

DIRECTORIO DE PROFESORES DEL CURSO: DISEÑO Y FABRICACION DE EQUIPO ELECTRICO

OCTUBRE - 1985

1. ING. MAURICIO JAVIER HUGUES VELEZ
GERENTE DE PRODUCCION
MELCO DE MEXICO, S.A. DE C.V.
KM. 4 CARR. SN. JUAN DEL RIO-TEQUISQUIAPAN
TEL. 2 10 45

2. ING. FRANCISCO JAVIER BORJA
GERENTE DE MERCADOTECNIA
FEDERAL PACIFIC ELECTRIC DE MEXICO
ORIENTE 233 No. 341
COL. AGRICOLA ORIENTAL
MEXICO, D.F.
TEL. 558 01 55

3. M. EN C. RICARDO BOLADO JIMENEZ
SUPETINTENDENTE
CONDUMEX, S.A. DE C.V.
PONIENTE 140 No. 720
COL. INDUSTRIAL VALLEJO
MEXICO, D.F.
TEL. 587 70 11 EXT. 553 Y 123

4. ING. JOAQUIN DEL CASTILLO PADILLA
CONSULTOR
CONDUMEX, S.A. DE C.V.
PONIENTE 140 No. 720
COL. INDUSTRIAL VALLEJO
MEXICO, D.F.
TEL. 587 70 11 EXT. 571

5. ING. JOSE CRUZ JIMENEZ HINOJOSA
JEFE DE DESARROLLO DE ACCESORIOS PARA
CABLES CABLES DE ENERGIA
DIVISION DE ACCESORIOS CONDUMEX
INDUSTRIAS APASEO, S.A.
PLONG. ALLENDE No. 380
APASEO EL GRANDE, GTO.
TEL. 91-461-8-23-25

6. ING. SERGIO RODRIGUEZ
BALMEC, S.A.
TEL. 576 23 23 EXT. 155 Y 126

DIRECTORIO DE PROFESORES DEL CURSO; DISEÑO Y FABRICACION DE EQUIPO ELECTRICO

OCTUBRE - 1985

7. ING. JORGE YOUNG F.
 JEFE DEL DPTO. DE ASISTENCIA TECNICA
 BROWN BOVERI MEXICANA, S.A. DE C.V.
 BLVD. CENTRO IND. No. 12 PTE. DE VIGAS
 TLANEPANTLA, EDO. DE MEXICO
 TEL. 565 40 11

8. ING. RICARDO GUIDO ROMERO ESCOBAR
 INGENIERO DE VENTAS A EMPRESAS ELECTRICAS
 CIA. BROWN BOVERY MEXICANA, S.A. DE C.V.
 BLVD. CENTRO IND. No. 12 PTE. DE VIGAS
 TLANEPANTLA, EDO. DE MEXICO
 TEL. 565 40 11

9. ING. JESUS RENE FLORES GONZALEZ
 SAB NIFE DE MEXICO, S.A. DE C.V.
 SAN LUIS TLATILCO No. 25
 PARQUE INDUSTRIAL NAUCALPAN
 53470 EDO. DE MEXICO
 TEL. 576 26 11

10. ING. ARMANDO OJEDA
 BROWN BOVERY MEXICANA, S.A. DE C.V.
 BLVD. CENTRO IND. No. 12 PTE. DE VIGAS
 TLANEPANTLA, EDO. DE MEXICO
 TEL. 565 40 11

11. ING. MAXIMILIANO LATOURNERIE
 BROWN BOVERY MEXICANA, S.A. DE C.V.
 BLVD. CENTRO IND. No. 12 PTE. DE VIGAS
 TLANEPANTLA, EDO. DE MEXICO
 TEL. 565 40 11

12. ING. GUARINO MEJIA
 MELCO DE MEXICO, S.A. DE C.V.
 KM. 4 CARR. SAN JUAN DEL RIO-TEQUISQUIAPAN
 TEL. 2 10 45

13. ING. ALEJANDRO FLORES MOLINA
 BALMEC, S.A.
 TEL. 576 23 23 EXT. 155 Y 126

CURSO DE DISEÑO Y FABRICACION DE EQUIPO ELECTRICO.

EMPRESA PARTICIPANTE	TEMA	PONENTES	DURACION (DIAS)
MELCO DE MEXICO	MAQUINA DE CORRIENTE DIRECTA	ING. MAURICIO HUGUES VELEZ ING. GUARINO MEJIA	7 OCT. 8 OCT.
FEDERAL PACIFIC ELECTRIC DE MEXICO	ARRANCADORES PARA MOTORES	ING. FRANCISCO JAVIER BORJA	9 OCT.
BALMEC S.A.	CAPACITORES DE POTENCIA	ING. SERGIO RODRIGUEZ ING. JUAN ANTONIO JUAREZ	10 OCT.
CONDUMEX	CABLES, EMPALMES Y TERMINALES	ING. ERNESTO DIAZ LOZANO ING. JOAQUIN DEL CASTILLO	11 OCT.
NIFE	BATERIAS Y CARGADORES	ING. JESUS RENE FLORES GONZALEZ	14 OCT. 15 OCT.
BROWN BOVERI	SUBESTACIONES E INTERRUPTORES DE SF ₆	ING. JORGE YOUNG ING. WIDO ROMERO	16 OCT.
BROWN BOVERI	HORNOS ELECTRICOS DE INDUCCION	ING. ARMANDO OJEDA ING. MAXIMILIANO LATOURNERIE	17 OCT.
MESA REDONDA TODOS LOS PONENTES			18 OCT.

COORDINADORES:

ING. JOSE RAULL MARTIN.
ING. ANGELICA MORENO ARGUELLO



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

DISEÑO Y FABRICACION DE EQUIPO ELECTRICO

DISEÑO Y FABRICACION DEL MOTOR DE TRACCION MB3230A

OCTUBRE, 1985

DISEÑO Y FABRICACION DEL MOTOR DE TRACCION MB3230A

- 1.- PRESENTACION.
- 2.- ESPECIFICACIONES DEL CLIENTE.
- 3.- DESCRIPCION DEL EQUIPO DE CONTROL.
- 4.- METODO PARA LA DETERMINACION DE LOS MOTORES DE TRACCION.
- 5.- MANUFACTURA DEL MOTOR DE TRACCION MB3230
- 6.- SISTEMA DE ASEGURAMIENTO DEL MOTOR DE TRACCION.
- 7.- PRUEBAS AL MOTOR DE TRACCION.
- 8.- OTRAS APLICACIONES.

EQUIPO DE CONTROL DEL CIRCUITO DE POTENCIA PARA MOTORES DE TRACCION.

1.- ESPECIFICACIONES DEL CLIENTE.

1.- CONDICIONES DE SERVICIO DE LOS TRENES EN EL METRO DE LA CIUDAD DE MEXICO.

- 1.1. CONDICIONES DE USO DE LOS CARROS Y RENDIMIENTOS A CUMPLIR.
- 1.2. CARACTERISTICAS A CONSIDERAR DE LA VIA.
- 1.3. VOLTAJE DE ALIMENTACION.
- 1.4. CARGAS.
- 1.5. ARRANQUE
- 1.6. FRENADO
- 1.7. VELOCIDAD
- 1.8. CONDICION DE MARCHA
- 1.9. ASPECTOS GENERALES.

2.- EQUIPO DE CONTROL DEL CIRCUITO DE POTENCIA.

- 2.1. GENERALIDADES
- 2.2. FRECUENCIAS UTILIZADAS
- 2.3. VARIACIONES DE CORRIENTE Y TENSION DE LINEA PERMITIDAS
- 2.4. CHOPPER
- 2.5. CONSTRUCCION Y MONTAJE
- 2.6. LOGICA
- 2.7. FILTRO DE LINEA
- 2.8. INDUCTANCIAS DE ALISAMIENTO
- 2.9. EQUIPOS DE INTERRUPCION Y CONMUTACION
- 2.10 FUSIBLES
- 2.11 INTERRUPTORES ULTRARAPIDOS
- 2.12 INTERRUPTORES
- 2.13 CONTACTORES
- 2.14 CONMUTADORES
- 2.15 VARIACION DE CAMPO
- 2.16 PUNTOS DE PRUEBA
- 2.17 APARATOS DE MANDO Y CONTROL
- 2.18 PROTECCIONES PARA LOS EQUIPOS DE TRACCION
- 2.19 VERIFICACION Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO
- 2.20 SEÑALIZACIONES LOCALES Y DE CABINA
- 2.21 CONMUTADOR DE ALIMENTACION.

III.- DESCRIPCION DEL EQUIPO DE CONTROL.

1. DESCRIPCION GENERAL

1.1. GENERALIDADES

1.2. ESPECIFICACIONES PRINCIPALES DE LOS CARROS

1.3. SISTEMA DE CONTROL

1.4. EQUIPO ELECTRICO PRINCIPAL

2. FUNCIONAMIENTO DEL TREN

2.1. FUNCIONAMIENTO EN TRACCION

2.2. FUNCIONAMIENTO DEL FRENADO REGENERATIVO

2.3. CURVAS

3. CIRCUITO ELECTRICO

3.1. PRINCIPIOS DEL SISTEMA DE CONTROL POR CHOPPER

3.2. PRINCIPIOS DEL CAMPO AUTOMATICO VARIABLE DEL SISTEMA DE CONTROL POR CHOPPER.

3.3. INFORMACION GENERAL DEL EQUIPO DE CONTROL.

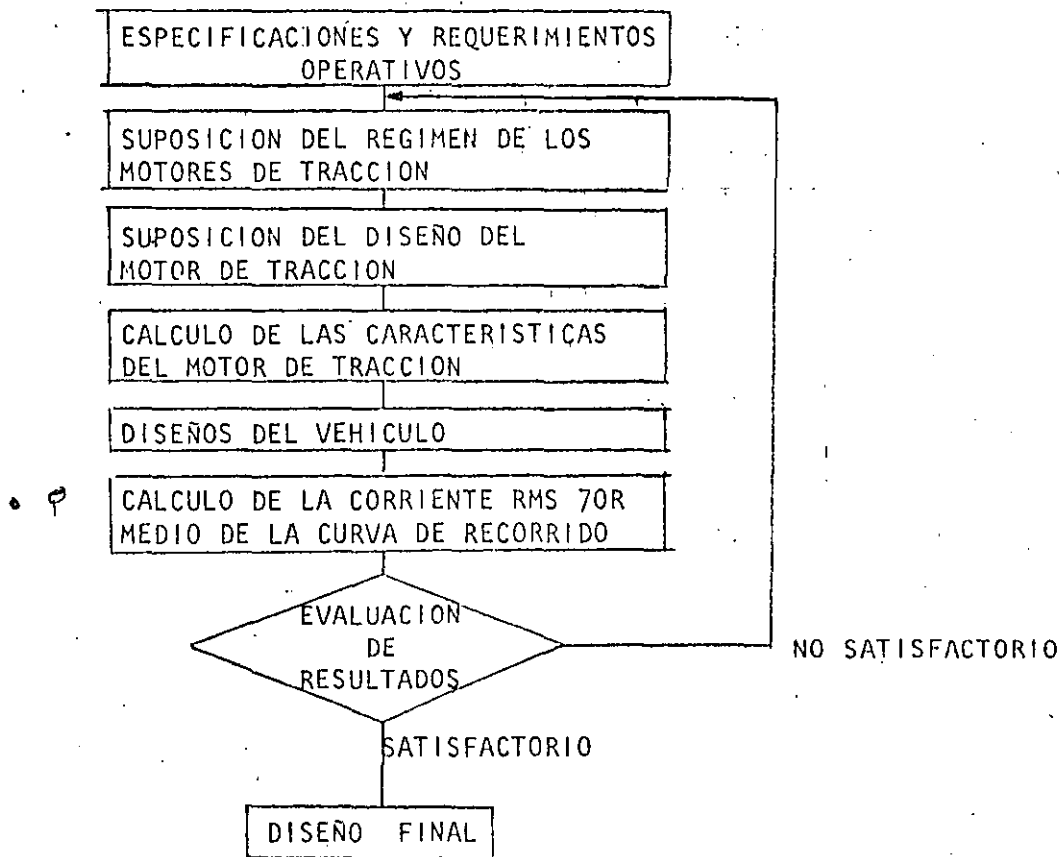
3.4. CIRCUITO PRINCIPAL.

METODO PARA LA DETERMINACION DE LOS MOTORES DE TRACCION

SE PRETENDE EXPONER LA METODOLOGIA APLICADA PARA LA DETERMINACION DE LAS CARACTERISTICAS ELECTROMECHANICAS DE LOS MOTORES DE TRACCION, CON LA FINALIDAD DE UNA APLICACION ESPECIFICA, TOMANDO COMO BASE PARA DICHA DETERMINACION DE CARACTERISTICAS, LOS PARAMETROS ESENCIALES DE LAS VIAS SOBRE LAS QUE CIRCULARA EL VEHICULO LAS CARACTERISTICAS DE ESTOS, ASI COMO LOS PARAMETROS BASICOS DE SU OPERACION.

METODOLOGIA:

LA SECUENCIA EN LAS ACCIONES QUE SE LLEVAN A CABO PARA LA DETERMINACION DE LOS MOTORES DE TRACCION SE ILUSTRAN EN EL SIGUIENTE DIAGRAMA:





MELCO DE MEXICO S.A. CV

OFICINAS: MARIANO ESCOBEDO 69, TLALNEPANTLA, EDO. DE MEXICO
PLANTA: KM. 4 CARR. SAN JUAN DEL RIO-TEQUISQUIAPAN, QRO.

TELS.: 665-82-70/71 TELEX-MELCME 172637
TELS.: 210-45/49-99 TELEX-MELCME (SJ) 12803

ESPECIFICACIONES Y REQUERIMIENTOS OPERATIVOS.

EL DIMENSIONAMIENTO REALISTA DE LOS MOTORES NECESITA EL CONOCIMIENTO EN TODO INSTANTE, DE LOS CAMBIOS DE ENERGIA (TENSION, CORRIENTE) EN EL MOTOR DE TRACCION.

ENTONCES, EL DIMENSIONAMIENTO DE LOS MOTORES SE EFECTUA EN FUNCION DE LAS CARACTERISTICAS DIMENSIONALES DEFINIDAS CON EL DESARROLLO DEL METODO, COMO:

- VELOCIDAD DE ROTACION MAXIMA
- PAR MAXIMO
- POTENCIA MAXIMA
- POTENCIA CONTINUA
- VELOCIDAD DE ROTACION A POTENCIA CONTINUA.

PARA LO CUAL ES NECESARIO DEFINIR UN CONJUNTO DE DATOS DESCRIPTIVOS RELATIVOS A LA VIA, EL VEHICULO Y A LA TECNOLOGIA DEL EQUIPO DE TRACCION, SIENDO:

A).- CARACTERISTICAS DE LA VIA.

- PENDIENTES DEL TERRENO
- RADIOS DE CURVATURA
- VELOCIDAD MAXIMA AUTORIZADA
- TIPO DE INSTALACION (AEREA, SUBTERRANEA O A NIVEL)
- ESTACIONES
- PERFIL DE LA LINEA.

B).- CARACTERISTICAS DEL VEHICULO

- MASA EN VACIO
- MASA CON CARGA
- MASA EQUIVALENTE A LAS INERCIAS ROTATIVAS
- NUMERO DE MOTORES
- TIPO DE TRNSMISION
- RENDIMIENTO DE LA TRANSMISION
- RESISTENCIA AL AVANCE.





C).- CARACTERISTICAS GLOBALES DE EXPLOTACION, COMO:

- ACELERACION MAXIMA AUTORIZADA (a_M)
- FRENADO NORMAL
- VELOCIDAD MAXIMA DE EXPLOTACION (VM).
- SEGURIDAD.

EL MANEJO DE ESTOS DATOS CARACTERISTICOS EN UNA FORMA CORRECTA NOS PERMITE ADEMAS:

- A).- GENERAR LOS LIMITES DEL DOMINIO DE REGULACION O CONTROL DE LOS MOTORES EN TRACCION.
- B).- EXTRAER, EN TODO PUNTO DE FUNCIONAMIENTO, LAS CONDICIONES DE ALIMENTACION DE LOS MOTORES DE TRACCION.

ESTOS DATOS CARACTERISTICOS SE PUEDEN CLASIFICAR EN TRES GRANDES DIVISIONES:

- A).- DESCRIPCION DE LA LINEA
- B).- DEFINICION DEL VEHICULO
- C).- DATOS IMPERATIVOS DE EXPLOTACION.

SUPOSICION DEL REGIMEN DE LOS MOTORES DE TRACCION:

LA EXPERIENCIA EN OTRO TIPO DE APLICACIONES SIMILARES, FACILITA LA ACCION DE SUPONER UN MOTOR DE TRACCION, PARA CUMPLIR SATISFACTORIAMENTE LOS REQUISITOS EXIGIDOS EN LA ESPECIFICACION (PUNTO ANTERIOR), TOMANDO COMO BASE LA SUPOSICION DEL REGIMEN DE LOS MOTORES DE TRACCION.

EXISTEN DIFERENTES METODOS DE ARRIBAR A LA SUPOSICION DEL REGIMEN DE LOS MOTORES, TALES COMO:

- METODO DEL ESFUERZO TRACTIVO:

CONSISTE EN CONOCER EL ESFUERZO TRACTIVO TOTAL, PARA VENCER LA INERCIA DEL TREN, LA RESISTENCIA POR PENDIENTE Y DAR LA ACCELERACION SOLICITADA.

- METODO POR ENERGIA CINETICA:

CONSISTE EN DETERMINAR LA ENERGIA CINETICA NECESARIA PARA LLEVAR AL TREN A UNA VELOCIDAD ESPECIFICA.





MELCO DE MEXICO S.A. CV.

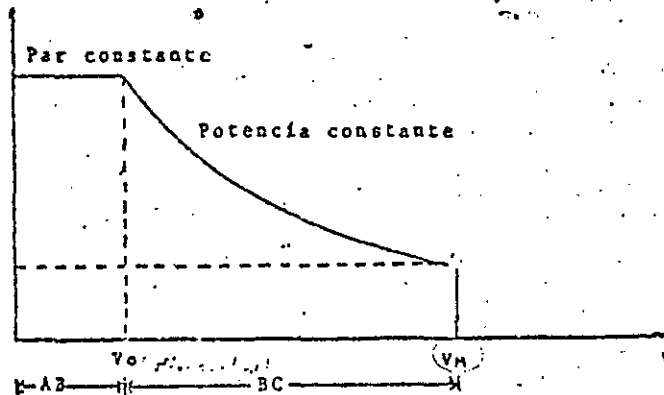
OFICINAS: MARIANO ESCOBEDO 69, TLALNEPANTLA, EDO. DE MEXICO
PLANTA: KM. 4 CARR. SAN JUAN DEL RIO-TEQUISQUIAPAN, QRO.

TELS.: 565-62-70/71 TELEX-MELCME 172637
TELS.: 210-45/49-99 TELEX-MELCME (SJ) 12803

- METODO POR VELOCIDADES (V_0 , V_M)

ESTE PROCEDIMIENTO DE METODO POR VELOCIDADES (V_0 , V_M) QUE SE PRESENTA A CONTINUACION, NOS LLEVA NECESARIAMENTE A LOS MISMOS RESULTADOS, Y SE BASA EN EL HECHO DE QUE TODOS LOS MOTORES DE TRACCION, CUANDO SON UTILIZADOS PARA LA TRACCION DE UN VEHICULO, SU DOMINIO DE REGULACION ESTA LIMITADO POR DOS CARACTERISTICAS PRINCIPALES, COMPRENDIDAS ENTRE LA VELOCIDAD CERO Y LA VELOCIDAD MAXIMA:

- DE LA VELOCIDAD CERO A LA VELOCIDAD V_0 . LLAMADA "VELOCIDAD BASE", EL DOMINIO DE FUNCIONAMIENTO ESTA LIMITADO POR UNA CARACTERISTICA A CORRIENTE MAXIMA CONSTANTE Y PAR CONSTANTE. (SEGMENTO AB DE LA SIGUIENTE FIGURA).
- DE LA VELOCIDAD V_0 A LA VELOCIDAD V_M , EL DOMINIO DE FUNCIONAMIENTO ESTA LIMITADO POR UNA CARACTERISTICA A TENSION MAXIMA Y POTENCIA (K_w) CONSTANTE, (SEGMENTO BC DE LA FIGURA).



RESUMIENDO, EL METODO CONSISTE EN DETERMINAR LOS DATOS CONOCIDOS:

- α_M = ACELERACION MAXIMA
- M_t = MASA DEL TREN
- V_M = VELOCIDAD MAXIMA
- t_M = TIEMPO PARA ALCANZAR LA VELOCIDAD MAXIMA.

EN TRACCION ELECTRICA EL ARRANQUE DE LOS MOTORES DE TRACCION SE REALIZA A PAR CONSTANTE, HASTA ALCANZAR UNA VELOCIDAD V_0 Y UNA VEZ ALCANZADA ESTA, SE APLICA UN CONTROL EN LA VELOCIDAD DE LOS MOTORES A POTENCIA CONSTANTE, ES DECIR: $F \text{ TRACTIVA} \times V = K$, DESDE V_0 HASTA V_M .

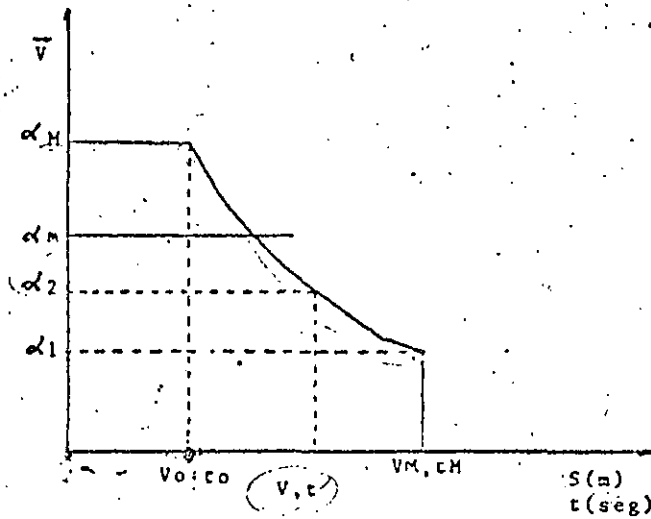




MELCO DE MEXICO S.A. C.V.

OFICINAS: MARIANO ESCOBEDO 69, TLALNEPANTLA, EDO. DE MEXICO
PLANTA: KM. 4 CARR. SAN JUAN DEL RIO-TEQUISQUIAPAN, QRO.

TELS.: 665-62-70/71 TELEX--MELCME 172637
TELS.: 210-45/49-99 TELEX--MELCME (SJ) 12803



DONDE: α_m = ACELERACION MEDIA
 α_1 = ACELERACION CORRESPONDIENTE A LA VELOCIDAD MAXIMA
 α_2 = ACELERACION CUALQUIERA
 V = VELOCIDAD CUALQUIERA.

LO EXPRESADO ANTERIORMENTE PERMITE ESCRIBIR LAS EXPRESIONES DE VELOCIDAD, TIEMPO Y ESPACIO COMO:

A). EN EL INTERVALO: $0 \leq V \leq V_0$

$$V_0 = \alpha_m \cdot t_0 \quad \text{--- (1)}$$

$$V_M = \alpha_1 \cdot t_M \quad \text{--- (2)}$$

$$S = \frac{1}{2} \alpha_m \cdot t^2 \quad \text{--- (3)}$$

$$\left(\begin{array}{l} V = \alpha_m t \\ S = \frac{1}{2} \alpha_m t^2 \end{array} \right)$$

B). EN EL INTERVALO $V_0 \leq V \leq V_M$

$$F \text{ TRACTIVA} \cdot V = F \text{ TRACTIVA} \cdot V_0 = F \text{ TRACTIVA} \cdot V_M = K'$$

SI SE DIVIDE ENTRE M_t A AMBOS MIEMBROS DE LA ECUACION, RESULTA:

$$\alpha_m \cdot V_0 = \alpha_1 \cdot V_M = K \quad \text{--- (4)}$$

$$\text{DONDE } K = \frac{K'}{M_t}$$

$$\text{COMO } \alpha_2 \cdot V = V \cdot \frac{dv}{dt} = K \quad \text{--- (5)}$$

$$\text{DONDE: } \alpha_2 = \frac{dv}{dt}$$

$$\text{TRABAJANDO CON } \frac{v dv}{dt} = K$$



MELCO DE MEXICO S.A. CV.

OFICINAS: MARIANO ESCOBEDO 69, TLALNEPANTLA, EDO. DE MEXICO
 PLANTA: KM. 4 CARR. SAN JUAN DEL RIO-TEQUISQUIAPAN, QRO.

TELS.: 565-62-70/71 TELEX-MELCME 172637
 TELS.: 210-45/49-99 TELEX-MELCME (SJ) 12803

$$v dv = k dt$$

$$\int_{v_0}^{v_M} v dv = K \int_{t_0}^{t_M} dt$$

$$\frac{v^2}{2} \Big|_{v_0}^{v_M} = K t \Big|_{t_0}^{t_M}$$

$$\frac{v_M^2 - v_0^2}{2} = K (t_M - t_0)$$

$$v_M^2 - v_0^2 = 2 K (t_M - t_0)$$

$$t_M = t_0 + \frac{v_M^2 - v_0^2}{2k} \dots \dots (6)$$

AHORA PARA OBTENER LA EXPRESIÓN DEL ESPACIO PARTIMOS DE LA ec. (4) y (5).

$$\alpha_1 \cdot v_M = \alpha_M \cdot v_0 = K \dots (4)$$

$$v \frac{dv}{dt} = K \dots (5)$$

MULTIPLICANDO EL PRIMER MIEMBRO DE LA ECUACION (5) POR $\frac{ds}{ds}$, TENEMOS:

$$\frac{v dv}{ds} \cdot \frac{ds}{dt} = K \quad ; \quad \text{DONDE } \frac{ds}{dt} = v$$

$$v^2 \frac{dv}{ds} = K$$

$$v^2 dv = k ds$$

$$\int_{v_0}^{v_M} v^2 dv = K \int_{s_0}^{s_M} ds$$

$$\left[\frac{v^3}{3} \right]_{v_0}^{v_M} = K \left[s \right]_{s_0}^{s_M}$$

$$\frac{v_M^3 - v_0^3}{3} = K (s_M - s_0) \quad s_0 = 0 \quad s_M = s$$

3

$$s = \frac{v_M^3 - v_0^3}{3K} \dots (7)$$



MELCO DE MEXICO S.A. CV.

OFICINAS: MARIANO ESCOBEDO 69, TLALNEPANTLA, EDO. DE MEXICO
PLANTA: KM. 4 CARR. SAN JUAN DEL RIO-TEQUISQUIAPAN, QRO.

TELS.: 565-62-70/71 TELEX-MELCME 172637
TELS.: 210-45/49-99 TELEX-MELCME (SJ) 12803

SUSTITUYENDO LAS ECUACIONES SIGUIENTES EN (6).

$$t_m = \frac{V_M}{\alpha_1} \text{ ---- (2); } t_o = \frac{V_o}{\alpha_M} \text{ ---- (1); } K = \alpha_M V_o \text{ ---- (4)}$$

TENEMOS:

$$\frac{V_M}{\alpha} = \frac{V_o}{\alpha_M} + \frac{V_M^2 - V_o^2}{2\alpha_M V_o} \text{ ---- (8)}$$

MULTIPLICANDO TODA LA ECUACION POR: $2\alpha_M \cdot V_o$. OBTENEMOS

$$0 = V_o^2 + V_M^2 - \frac{2\alpha_M V_o V_M}{\alpha} \text{ ---- (9)}$$

SE APRECIA QUE LA ECUACION (9), ES DE LA FORMA:

$$0 = 1 + \lambda^2 - \frac{2\alpha_M \lambda}{\alpha} \text{ ---- (10)}$$

DONDE $\lambda = \frac{V_o}{V_M} \text{ ---- (11)}$ $V_o = \lambda V_M \text{ ---- (11')}$

ENTONCES, SE PUEDE OBSERVAR QUE AL ENCONTRAR EL VALOR DE λ , PODEMOS ENCONTRAR IMPLICITAMENTE EL VALOR DE V_o (VELOCIDAD BASE), Y UNA VEZ OBTENIDO ESTE, SE APLICA LA EXPRESION "4" ($\alpha_M \cdot V_o = k$) Y ESTE VALOR DE k MULTIPLICADO POR LA MASA (M_t) DEL TREN, OBTENEMOS LA POTENCIA MAXIMA DEL EQUIPO DE TRACCION, ENTONCES:

$$P_{MAX} = K (M_t) \text{ ---- (12)}$$

$$P_{MAX} = (\alpha_M V_o) M_t \text{ ---- (13)}$$

UNA VEZ DETERMINADA LA POTENCIA MAXIMA DEL MOTOR DE TRACCION Y DE ACUERDO A OTRO TIPO DE APLICACIONES SIMILARES, SE FACILITA LA ACCION DE SUPONER UN MOTOR PARA LLENAR LOS REQUISITOS EXIGIDOS EN LA ESPECIFICACION.





SUPOSICION DEL DISEÑO DEL MOTOR DE TRACCION

EL MOTOR PROPUESTO ES TAL QUE EL DIMENSIONAMIENTO ADOPTADO ES CARACTERISTICO DE LAS CONDICIONES DE EXPLOTACION PREFIJADAS. ADEMÁS, A NIVEL DE SU CONCEPCION ELECTROTECNICA, SE DEBE TENER UN MOTOR DE DIMENSIONES EN LONGITUD REDUCIDA, PERO QUE PROPORCIONE EL PAR NECESARIO PARA SATISFACER LAS ESPECIFICACIONES DE ACELERACION, CON UN NIVEL DE CORRIENTE LIMITADA.

LA RELACION DE TRANSMISION ES ESCOGIDA DE TAL FORMA DE OBTENER UNA ADAPTACION QUE HAGA CORRESPONDER A LA VELOCIDAD MAXIMA DEL TREN A UNA VELOCIDAD DE ROTACION DEL MOTOR DE TRACCION ESPECIFICA.

SOBRE EL PLAN DE DIMENSIONAMIENTO Y DE LA CONCEPCION ELECTROTECNICA, LAS CARACTERISTICAS MAS IMPORTANTES SON: ..

A). REGIMEN DE EXPLOTACION:

1.- EL DIMENSIONAMIENTO TERMICO.

- a). CALENTAMIENTO DEL INDUCIDO.
- b). CALENTAMIENTO DEL COLECTOR
- c). CALENTAMIENTO DE LOS POLOS PRINCIPALES Y p. AUXILIARES.

2.- CORRIENTE DEMANDADA.

3.- CAMPO RESIDUAL EFECTIVO.

4.- UNA BUENA CONMUTACION Y BUENA INSENSIBILIDAD A LOS FLASHES, GARANTIZADA POR LAS SIGUIENTES DISPOSICIONES CONSTRUCTIVAS:

- a). LIMITACION DE LA TENSION MEDIA ENTRE DELGAS.
- b). COMPENSACION DE LOS AMPERES VUELTA DEL INDUCIDO.

B). REGIMEN DE FUNCIONAMIENTO.

1.- TENSIONES NORMALES TANTO EN TRACCION COMO EN FRENADO.

2.- REGIMEN CONTINUO.

POTENCIA EN EL EJE.

TENSION (v)

CORRIENTE (A).

VEL. DE ROTACION (RPM).

CAMPO RESIDUAL (%)

CALENTAMIENTO DEL INDUCIDO (°C)

CALENTAMIENTO DEL COLECTOR (°C)

CALENTAMIENTO DE LOS POLOS PRINCIPALES Y AUXILIARES (°C)





MELCO DE MEXICO S.A. CV.

OFICINAS: MARIANO ESCOBEDO 69, TLALNEPANTLA, EDO. DE MEXICO
PLANTA: KM. 4 CARR. SAN JUAN DEL RIO-TEQUISQUIAPAN, QRO.

TELS.: 665-62-70/71 TELEX-MELCME 172637
TELS.: 210-45/49-99 TELEX-MELCME (SJ) 12803

3.- REGIMEN MAXIMO:

IMAX (A)
TENSION MAXIMA (V).
VEL. MAXIMA (RPM).
VELOCIDAD DE EMBALAMIENTO (RPM)

CARACTERISTICAS CONSTRUCTIVAS.

LAS CARACTERISTICAS CONSTRUCTIVAS QUE SE DEBEN CONOCER SON:

INDUCIDO:

- DIAMETRO EXTERIOR.
- LONGITUD DEL HIERRO.
- CALIDAD DE LAS CHAPAS.
- DIMENSIONES DE LAS RANURAS.
- TIPO DE DEVANADO.
- NUMERO DE CONDUCTORES POR RANURA.
- DIMENSIONES DE LOS CONDUCTORES.
- CLASE DE AISLAMIENTO.

COLECTOR:

- DIAMETRO.
- PERIMETRO.
- NUMERO DE DELGAS.
- DIMENSION DE LAS ENTREDELGAS.

CONJUNTO PORTA-ESCOBILLAS:

- NUMERO DE LINEAS.
- NUMERO DE ESCOBILLAS POR LINEA.
- DIMENSIONES DE LAS ESCOBILLAS.

CARCASA MAGNETICA:

- MASAS POLARES.
- NUMERO DE POLOS.
- LONGITUD DEL HIERRO.





MELCO DE MEXICO S.A. CV.

OFICINAS: MARIANO ESCOBEDO 69, TLALNEPANTLA, EDO. DE MEXICO
PLANTA: KM. 4 CARR. SAN JUAN DEL RIO-TEQUISQUIAPAN, QRO.

TELS.: 565-62-70/71 TELEX-MELCME 172637
TELS.: 210-45/49-99 TELEX-MELCME (SJ) 12803

- ENTREHIERRO LADO CARCASA - INDUCIDO
- ENTREHIERRO LADO POLO-INDUCIDO
- NATURALEZA DE LA CARCASA
- NATURALEZA DE LAS MASAS POLARES.
- CALIDAD DE LAS LAMINAS DE LAS MASAS POLARES.

BOBINAS POLARES:

- DIMENSION DE LOS CONDUCTORES.
- DISPOSICION.
- ACOPLAMIENTO (SERIE O PARALELO)
- CLASE DE AISLAMIENTO

VENTILACION:

- NATURAL O FORZADA.
- GASTO DE AIRE.





MELCO DE MEXICO S.A. CV.

OFICINAS: MARIANO ESCOBEDO 69, TLALNEPANTLA, EDO. DE MEXICO
PLANTA: KM. 4 CARR. SAN JUAN DEL RIO-TEQUISQUIAPAN, QRO.

TELS.: 565-62-70/71 TELEX=MELCME 172637
TELS.: 210-45/49-99 TELEX=MELCME (SJ) 12803

CALCULO DE LAS CARACTERISTICAS DEL MOTOR DE TRACCION

SE DEBEN DETERMINAR LAS CARACTERISTICAS DEL MOTOR, CONSIDERANDO EL TIPO DE CONTROL QUE SE REALIZA. CON ESTO SE PUEDEN DAR SUS GRAFICAS.

- + PAR - CORRIENTE DE ARMADURA
- + VELOCIDAD - CORRIENTE DE ARMADURA
- + EFICIENCIA
- + PAR-VELOCIDAD.

DENTRO DEL CONTROL DEL MOTOR SE OBSERVAN REDUCCIONES DEL CAMPO DE EXCITACION, ENTONCES LAS CARACTERISTICAS DEBEN SER CALCULADAS PARA UN PORCENTAJE DE CAMPO MAXIMO, UNO INTERMEDIO Y UN PORCENTAJE DE CAMPO REDUCIDO DE EXCITACION.

LAS CARACTERISTICAS A DETERMINAR SON:

- AMPERES (I) - (REGIMEN CONTINUO)
- VOLTAJE APLICADO
- CAIDA DE TENSION DE LA ARMADURA
- CAIDA DE TENSION DE LAS ESCOBILLAS
- CAIDAS TOTALES
- FUERZA CONTRAELECTROMOTRIZ (f_{cem})
- FLUJO
- VELOCIDAD DEL MOTOR
- PERDIDAS EN EL COBRE
- PERDIDAS EN EL NUCLEO
- PERDIDAS EN LAS ESCOBILLAS
- PERDIDAS MECANICAS
- PERDIDAS INDETERMINADAS
- TOTAL DE PERDIDAS
- POTENCIA DE ENTRADA
- POTENCIA DE SALIDA
- EFICIENCIA DEL MOTOR
- EFICIENCIA DE LA TRANSMISION
- EFICIENCIA TOTAL
- PAR O ESFUERZO TRACTIVO

(I)
(V)
(I_a-R_a)
V_b
V_T = I_aR_a + V_b
f_{cem} = $\frac{V}{\beta}$
RPM
I_a².R
P_N: (kw)
I_a.V_b
PMEC: (kw)
PIND: (kw)
PERDIDAS
VI
VI - Σ PERDIDAS
η = POT SALIDA/ POT ENTRADA.
η TRANSMISION
η_t = η · η_{TRANSMISION}
F_T = $\frac{367 \cdot V \cdot I \cdot \eta_{TX} \cdot 10^{-3}}{\text{VELOCIDAD.}}$





CALCULO DEL DESEMPEÑO DEL VEHICULO

EN EL CALCULO DEL DESEMPEÑO DEL VEHICULO, SE NECESITA CONOCER EL COMPORTAMIENTO DE LOS MOTORES DE TRACCION EN LOS CARROS MOTRICES, PARA LO CUAL SE HACE UNA SIMULACION DE RECORRIDOS EN LA LINEA DE ACUERDO A LOS ESTADOS DE CARGA DEL VEHICULO, DEFINIENDOSE EL ESTADO DE CARGA NORMAL (3/4 DE CARGA) Y ASI COMO EL ESTADO DE CARGA DE AFLUENCIA (4/4 DE CARGA) Y LOS CICLOS DE RECOCIDO PARA DICHA SIMULACION SON DEL TIPO: R

- ^{CL}
CICLO A: RECORRIDO EN PLANO HORIZONTAL, CON UNA LONGITUD ESPECIFICA, CON UNA ACELERACION MAXIMA EN TRACCION HASTA ALCANZAR LA VELOCIDAD MAXIMA, UN TIEMPO DEFINIDO SIN TRACCIONAR A LOS MOTORES Y UNA DESACELERACION DE UN VALOR DETERMINADO EN UN TIEMPO DE RECORRIDO DADO.
- CICLO B: RECORRIDO EN RAMPA DE UN PORCENTAJE DE PENDIENTE (ARRANQUE EN PLANO HORIZONTAL EN UNA DISTANCIA DADA). CON UNA ACELERACION MAXIMA EN TRACCION HASTA ALCANZAR LA VELOCIDAD MAXIMA, UN TIEMPO DEFINIDO SIN TRACCIONAR A LOS MOTORES Y UNA DESACELERACION DE UN VALOR DETERMINADO. TIEMPO DE RECORRIDO ESPECIFICADO.
- CICLO C: RECORRIDO EN PLANO HORIZONTAL, DE UNA LONGITUD ESPECIFICA, CON UNA ACELERACION EN TRACCION MENOR A LA DEL CICLO A, HASTA ALCANZAR LA VELOCIDAD MAXIMA UNA DESACELERACION IGUAL A LAS ANTERIORES Y UN TIEMPO DE RECORRIDO.
- CICLO D: RECORRIDO DE LONGITUD ESPECIFICA EN RAMPA DE UNA PENDIENTE DADA (ARRANQUE EN PLANO HORIZONTAL UNA CIERTA DISTANCIA), CON UNA ACELERACION MAXIMA EN TRACCION UN TIEMPO EN NEUTRO Y UNA DESACELERACION TODO ESTO EN UN TIEMPO TOTAL.

LA SIMULACION DE RECORRIDO CONSISTE EN LA COMBINACION DE LOS CICLOS ANTERIORES, COMO SIGUE:

- 1.- SERVICIO CONTINUO : 10 CICLOS A + 5 CICLOS B + 10 CICLOS A + 10 CICLOS A + 5 CICLOS B + 10 CICLOS A.
- 2.- SERVICIO DE AFLUENCIA (SE HARAN DESPUES DEL SERVICIO CONTINUO Y SON:
8 VECES (10 CICLOS C + 5 CICLOS D + 10 CICLOS C) Y RESTABLECER EL SERVICIO CONTINUO.





MELCO DE MEXICO S.A. CV.

OFICINAS: MARIANO ESCOBEDO 69, TLALNEPANTLA, EDO. DE MEXICO
PLANTA: KM. 4 CARR. SAN JUAN DEL RIO-TEQUISQUIAPAN, ORO.

TELS.: 665-62-70/71 TELEX-MELCME 172637
TELS.: 210-45/49-99 TELEX-MELCME (SJ) 12803

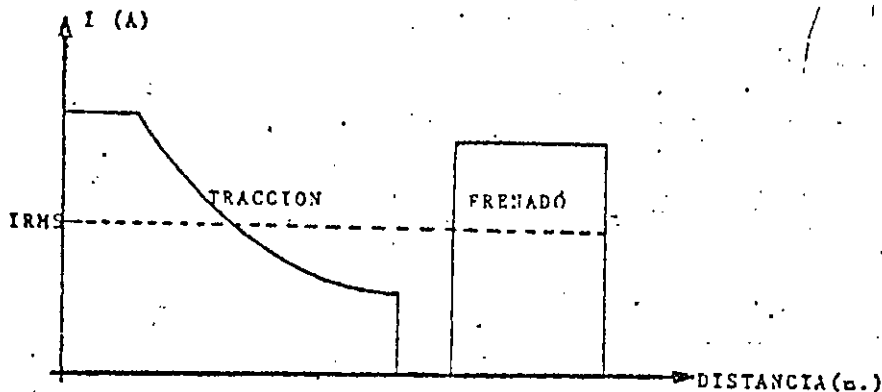
AL EFECTUAR LA SIMULACION ENUNCIADA, SE DEBEN OBTENER LOS REGISTROS - -
ADECUADOS QUE NOS PERMITAN EVALUAR EL COMPORTAMIENTO DEL VEHICULO Y CON ES- -
TO, EL DEL MOTOR DE TRACCION.

LOS REGISTROS A OBTENER DURANTE LA SIMULACION SON;

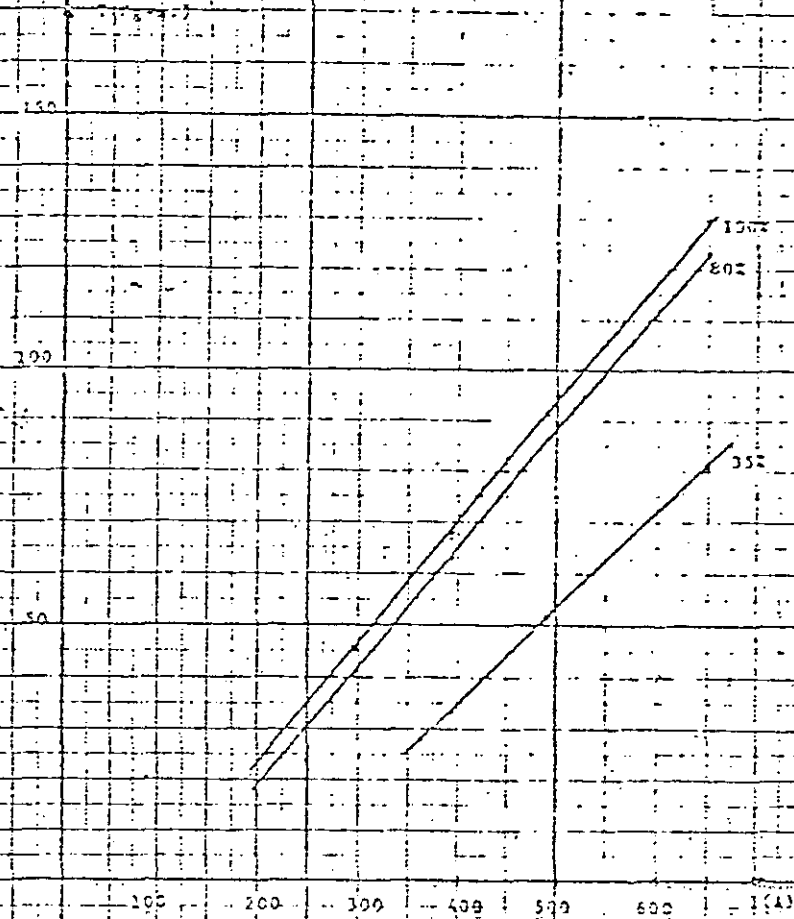
- CURVA DE CORRIENTE DE MOTORES EN TRACCION.
- CURVA DE CORRIENTE EN MOTORES DE FRENADO.
- REGISTROS DE TEMPERATURA EN INDUCIDO.
- REGISTROS DE TEMPERATURA EN COLECTOR.
- REGISTROS DE TEMPERATURA EN POLOS PRINCIPALES.
- REGISTROS DE TEMPERATURA EN POLOS AUXILIARES.
- CURVA VELOCIDAD = $f(t)$
- CURVA VELOCIDAD = $f(\text{DISTANCIA})$.

CALCULO DE LA CORRIENTE RMS POR MEDIO DE LA CURVA DE RECORRIDO.

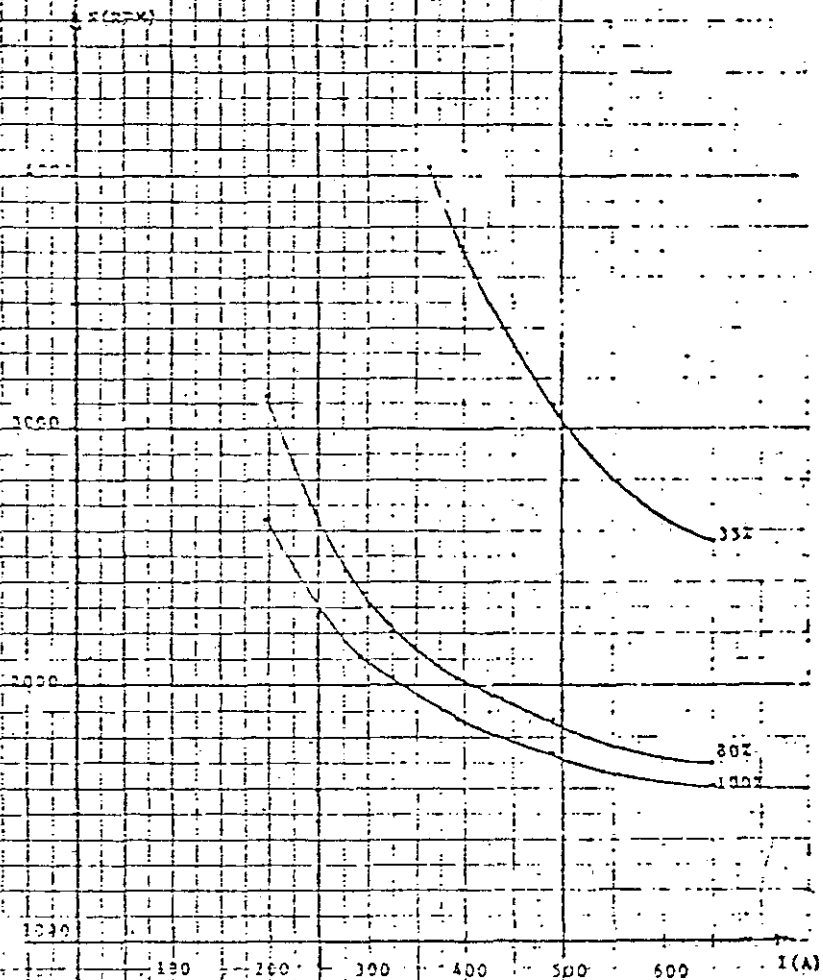
DESPUES DE HABER REALIZADO LA SIMULACION, POR MEDIO DE LOS CICLOS DE RECO-
RRIDO Y HABER OBTENIDO LOS REGISTROS DE LA CORRIENTE EN LOS MOTORES, TANTO -
PARA TRACCION COMO EN FRENADO, SE HACE EL CALCULO DE LA CORRIENTE EFECTIVA --
(IRMS).



CURVA PAR: 05. CORRIENTE.



CURVA VELOCIDAD VS. CORRIENTE.



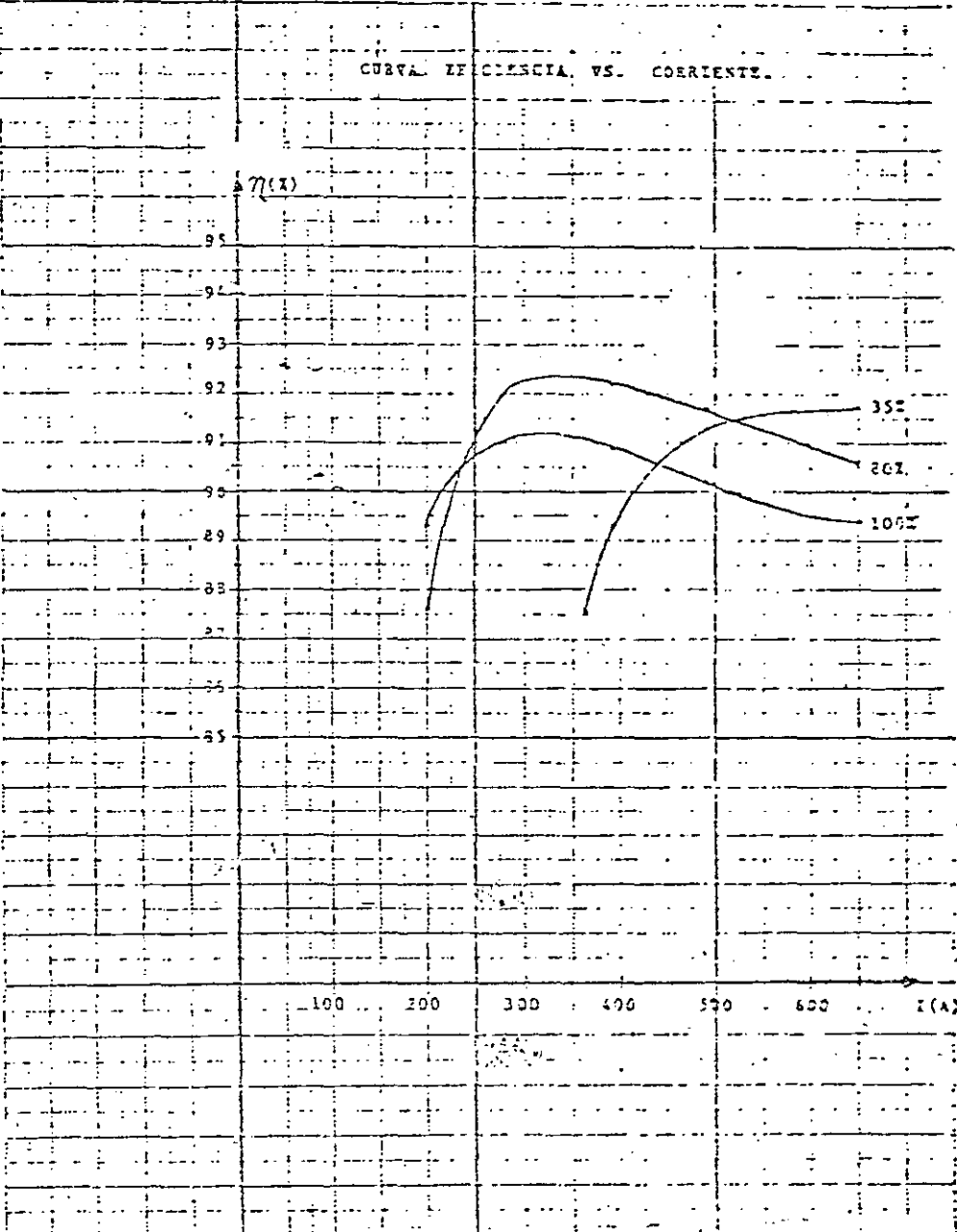
CURVA DE EFICIENCIA VS. CORRIENTE.

$\eta(\%)$

95
94
93
92
91
90
89
88
87
86
85

35%
20%
10%

100 200 300 400 500 600 I (A)





MELCO DE MEXICO S.A. CV.

OFICINAS: MARIANO ESCOBEDO 69, TLALNEPANTLA, EDO. DE MEXICO
PLANTA: KM. 4 CARR. SAN JUAN DEL RIO-TEQUISQUIAPAN, ORO.

TELS.: 565-62-70/71 TELEX-MELCME 172637
TELS.: 210-45/49-99 TELEX-MELCME (SJ) 12803

EL CALCULO SE EFECTUA UTILIZANDO METODOS NUMERICOS APLICABLES A LOS SISTEMAS COMPUTARIZADOS, O MEDIANTE EL CALCULO DEL AREA BAJO LA CURVA, DESCOMPONIENDOLA EN PORCIONES DE FACIL IDENTIFICACION CALCULANDO EL AREA DE CADA PORCION Y HACIENDO LA SUMATORIA DE AREA.

EVALUACION DE RESULTADOS.

AQUI SE DEBE ANALIZAR LOS RESULTADOS OBTENIDOS HASTA ESTE PUNTO, PRINCIPALMENTE EN:

- A). COMPORTAMIENTO DEL VEHICULO CON EL DESEMPEÑO PREVISTO EN LOS CICLOS DE RECORRIDO.

VERIFICANDO:

- OBTENCION DE LA ACELERACION MAXIMA EN TRACCION.
- OBTENCION DE LA DESACELERACION EN FRENADO.
- CUMPLIMIENTO DE LAS DISTANCIAS DADAS, EN EL TIEMPO PREVISTO.

- B). COMPROBACION DE LA IRMS CALCULADA POR LA CURVA DE RECORRIDO, SEA DE UN VALOR MENOR O IGUAL A LA CORRIENTE DE REGIMEN UNIHORARIO, CON LO QUE SE TENDRA UN REGIMEN DE CALENTAMIENTO DE LA MAQUINA OPTIMO.

- C). COMPROBACION DE LOS REGISTROS TERMICOS OBTENIDOS DURANTE LA CURVA DE RECORRIDO (SIMULACION), CONSTATANDO QUE ESTOS SEAN MENORES O IGUALES A LOS OBTENIDOS EN CONDICIONES DE REGIMEN CONTINUO. LOS LIMITES DE TEMPERATURA ESTAN FIJADOS POR LAS NORMAS UTILIZADAS.

VERIFICANDO:

- TEMPERATURA DEL INDUCIDO.
- TEMPERATURA DEL COLECTOR.
- TEMPERATURA DE LOS POLOS PRINCIPALES.
- TEMPERATURA DE LOS POLOS AUXILIARES.





MELCO DE MEXICO S.A. CV.

OFICINAS: MARIANO ESCOBEDO 69, TLALNEPANTLA, EDO. DE MEXICO
PLANTA: KM. 4 CARR. SAN JUAN DEL RIO-TEQUISQUIAPAN, QRO.

TELS.: 565-62-70/71 TELEX-MELCME-172637
TELS.: 210-45/49-99 TELEX-MELCME (SJ) 12803

III.- APLICACION DE LA METODOLOGIA AL CASO PARTICULAR DEL MATERIAL (NM 79).

PARA MOSTRAR LA APLICACION DEL METODO PARA LA DETERMINACION DE UN MOTOR DE TRACCION, SE EXPONE EL CASO PARTICULAR DEL MATERIAL NM-79 DEL METRO DE LA CIUDAD DE MEXICO.

SE DESARROLLA EL METODO EN BASE AL DIAGRAMA DE FLUJO PRESENTADO.

ESPECIFICACIONES Y REQUERIMIENTOS OPERATIVOS.

EL CLIMA DE LA CIUDAD DE MEXICO SE CARACTERIZA POR UNA TEMPERATURA VARIABLE DE 0°C a 30°C, CON VARIACIONES FUERTES DURANTE EL DIA DE LLUVIAS ABUNDANTES durante tres meses del año, LA ALTITUD MEDIA DE LA CIUDAD DE MEXICO ES DE 2240 m. SOBRE EL NIVEL DEL MAR.

CARACTERISTICAS DEL PERFIL DE VIA:

LAS CONDICIONES LIMITE DEL TRAZO SON:

- PENDIENTES HASTA 6.5%, LLEGANDO A SER EXCEPCIONALMENTE DE 8%.
- CURVA CONTINUA DE 45 m. DE RADIO, DE UN DESARROLLO SUPERIOR A LA LONGITUD DE DOS CARROS ENLAZADOS TANGENCIALMENTE, SIN ACOPLAMIENTO PARABOLICO EN LOS ALINEAMIENTOS QUE LO RODEAN, COMPRENDIENDO ESTOS POR LO MENOS LA LONGITUD DE UN CARRO.

TENSION DE ALIMENTACION:

- LA TENSION NOMINAL DE LA LINEA ES DE 750 V.C.C., Y DE ACUERDO CON LAS CONDICIONES DE CARGA DE LA RED, SE PUEDEN TENER VALORES LIMITES DE 900 V A 500 V, PUDIENDO VARIAR BRUSCAMENTE DE UN VALOR AL OTRO.
- PARA LOS CALCULOS DE LA DETERMINACION DEL MOTOR Y EL COMPORTAMIENTO, LA TENSION MEDIA SE CONSIDERA DE 720 V.C.C.

MOTORES DE TRACCION.

- LOS MOTORES DE TRACCION SERAN DE CORRIENTE CONTINUA, CON EXCITACION SERIE Y EXCITACION AVF (CAMPO VARIABLE AUTOMATICO).
- EL MOTOR ACTUARA EN UN MISMO EJE, POR MEDIO DE UN PUENTE DIFERENCIAL.
- LOS MOTORES DEBERAN SER AUTOVENTILADOS.
- LOS DOS MOTORES DE UNA MISMA CARRETILLA, PERMANECERAN CONECTADOS EN SERIE PERMANENTEMENTE, FORMANDO UN GRUPO. LOS DOS GRUPOS DE UN MISMO CARRO MOTRIZ, QUEDARAN PERMANENTEMENTE CONECTADOS EN PARALELO.





MELCO DE MEXICO S.A. CV.

OFICINAS: MARIANO ESCOBEDO 69, TLALNEPANTLA, EDO. DE MEXICO
PLANTA: KM. 4 CARR. SAN JUAN DEL RIO-TEQUISQUIAPAN, QRO.

TELS.: 565-62-70/71 TELEX--MELCME 172637
TELS.: 210-45/49-99 TELEX--MELCME (SJ) 12803

- EL NUMERO TOTAL DE MOTORES EN UN TREN SERA DE 24, TENIENDO 4 POR CARRO MOTRIZ.
- EL PUENTE DE CAMPO DE LOS MOTORES SERA DE ACUERDO AL SISTEMA AVF. LAS VARIACIONES DE CAMPO, TENDRAN UN FUNCIONAMIENTO CONTINUO A CONDICION DE QUE ESTO NO PERJUDIQUE A LOS MOTORES O A LAS CONDICIONES DE SERVICIO.
- ESTOS MOTORES PODRAN SER UTILIZADOS, TANTO EN TRACCION COMO EN FRENADO ELECTRICO (POR RECUPERACION O REOSTATICO).
- LOS MOTORES DEBERAN ESTAR APEGADOS A NORMAS TECNICAS INTERNACIONALMENTE RECONOCIDAS.

VELOCIDAD.

- LA VELOCIDAD MAXIMA DE SERVICIO ES 80 Km/hr.

CARACTERISTICAS DEL VEHICULO

- EL DESARROLLO DE LAS RUEDAS NEUMATICAS ES: 3.04 m.
- EFICIENCIA DE LA TRANSMISION = 0.92
- RELACION DE TRANSMISION = 9.2285
- LA RESISTENCIA AL RODAMIENTO PARA RUEDA NEUMATICA $R = \frac{11.6}{1000}$ DEL PESO.
- LA RESISTENCIA DEBIDA AL AIRE, PARA UN TREN DE 9 CARROS:
 $F_a = 0.20 v^2$.

CARGAS

- PARA EL CALCULO DEL COMPORTAMIENTO SE CONSIDERA LA SIGUIENTE TABLA, PARA UN TREN DE 9 CARROS.

	CARGA NOMINAL (3/4)	CARGA DE AFLUENCIA (4/4)
PESO	308 TON.	333 TON.
PESO DE INERCIA	351 TON.	376 TON.





- SE CONSIDERAN DOS ESTADOS DE CARGA:

- A). CARGA NORMAL (3/4 CARGA)
- B). CARGA DE AFLUENCIA (4/4 CARGA).

ARRANQUE

- EL COMANDO DE LA TRACCION Y DEL FREÑADO SERA CONTINUO, PARA EVITAR VARIACIONES BRUSCAS DEL PAR MOTOR PARA TENER SUAVIDAD DE MARCHA Y COMODIDAD PARA LOS USUARIOS.
- EL TREN CON 3/4 DE CARGA Y EN PLANO HORIZONTAL PODRA ALCANZAR 48 Km/hr EN 12.5 SEGUNDOS Y 72 Km/hr EN 30 SEG. COMO MAXIMO.
- LA ACELERACION MAXIMA SERA DE 1.4 m/seg² Y DEBEN PREVEERSE AJUSTES PARA PERMITIR UNA ACELERACION MEDIA DE 0.9 m/seg² Y LOS VALORES INTERMEDIOS ENTRE ELLOS.

FRENADO

- EN CASO DE QUE LA LINEA SEA TOTALMENTE RECEPTIVA, EL FREÑADO ELECTRICO REGENERATIVO DEBE SER CAPAZ DE PRODUCIR UNA DESACELERACION DE 0.9 m/seg², DESDE UNA VELOCIDAD DE 70 Km/hr, EN TERRENO HORIZONTAL Y CON UNA CARGA DE 3/4.

SUPOSICION DEL REGIMEN DE LOS MOTORES DE TRACCION.

PARA LA DETERMINACION DE LA POTENCIA DE LOS MOTORES DE TRACCION SE PARTE DE CONOCER LOS SIGUIENTES DATOS:

V_M = VELOCIDAD MAXIMA DEL TREN = 80 km/hr.

t_M = TIEMPO REQUERIDO PARA ALCANZAR LA VELOCIDAD MAXIMA 38s.

α = ACELERACION MEDIA = $\frac{V_M}{t_M} = \frac{80/3.6}{38} = 0.5847 \frac{m}{s^2}$

α_M = ACELERACION MAXIMA = 1.4 m/seg²

LOS CUALES SE APLICARAN A LA ECUACION (9) EXPUESTA EN INCISOS ANTERIORES.

$$1 + \lambda^2 = \frac{2\alpha_M \lambda}{\alpha} = 0 \quad (9)$$





MELCO DE MEXICO S.A. CV

OFICINAS: MARIANO ESCOBEDO 69, TLALNEPANTLA, EDO. DE MEXICO
PLANTA: KM. 4 CARR. SAN JUAN DEL RIO--TEQUISQUIAPAN, ORO.

TELS.: 665-62-70/71 TELEX--MELCME 172637
TELS.: 210-45/49-99 TELEX--MELCME (SJ) 12803

$$\lambda^2 - \frac{2(1.4)}{0.5847} \lambda + 1 = 0$$

$$\lambda^2 - 4.788 \lambda + 1 = 0$$

LA CUAL ES UNA ECUACION CUADRATICA, CUYA SOLUCION ES:

$$\lambda_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad \text{DONDE: } a = 1; b = -4.788; c = 1$$

$$= \frac{+4.788 \pm \sqrt{22.932 - 4}}{2}$$

$$\lambda_2 = \frac{+4.788 + 18.932}{2}$$

$$\lambda_1 = \frac{4.788 - 4.35}{2} = 4.569$$

$$\lambda_2 = \frac{4.788 - 4.36}{2} = 0.2188$$

DE DONDE SE ESCOGE EL VALOR DE $\lambda_2 = 0.2188$; YA QUE $v_0 < v_m$.

APLICANDO LA ECUACION 11 ($\lambda = \frac{v_0}{v_m}$), OBTENEMOS v_0 , QUE ES LA VELOCIDAD DE BASE:

$$v_0 = \lambda v_m \dots (11')$$

SUSTITUYENDO VALORES TENEMOS:

$$v_0 = 0.2188 (80 \text{ km/hr})$$

$$v_0 = 17.50 \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

APLICAMOS LA ECUACION "4" ($\alpha_M v_0 = k$)

SUSTITUYENDO LOS VALORES TENEMOS:

$$\alpha_M v_0 = k$$

$$\left(\frac{1.4 \text{ m}}{\text{s}^2} \right) \left(\frac{17.5 \text{ km}}{\text{hr}} / 3.6 \right) = k$$





MELCO DE MEXICO S.A. CV.

OFICINAS: MARIANO ESCOBEDO 69, TLALNEPANTLA, EDO. DE MEXICO
PLANTA: KM. 4 CARR. SAN JUAN DEL RIO-TEQUISQUIAPAN, QRO.

TELS.: 665-62-70/71 TELEX-MELCME 172637
TELS.: 210-45/49-99 TELEX-MELCME (SJ) 12803

$$\left(1.4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) \left(4.862 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right) = k$$

$$6.807 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^3} = k$$

LUEGO SE APLICA LA ECUACION 12: ($P_{\text{MAX}} = K M_T$)

DONDE: P_{MAX} = POTENCIA MAXIMA REQUERIDA

K = CTE.

M_t = MASA DEL TREN EN (kg)

SUSTITUYENDO VALORES, TENEMOS:

a). CARGA DE AFLUENCIA (4/4).

$$P_{\text{MAX}} = \left(6.807 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^3}\right) (376\ 000 \text{ kg})$$

$$P_{\text{MAX}} = 2559711.032 \text{ kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$= 2559711.032 \frac{\text{Nw-m}}{\text{s}}$$

$$= 2559711.032 \frac{\text{JOULES}}{\text{s}}$$

$$P_{\text{MAX}} = 2559711.032 \text{ WATTS}$$

FINALMENTE

$$P_{\text{MAX}} = 2559.711 \text{ kw}$$

PERO PARA DETERMINAR LA POTENCIA MAXIMA DE CADA UNO DE LOS MOTORES DE TRACCION, ES NECESARIO DIVIDIR LA POTENCIA MAXIMA OBTENIDA ENTRE EL NUMERO TOTAL DE MOTORES DE TRACCION CON QUE CUENTA EL TREN. SIENDO UN NUMERO DE 24 MOTORES, LA EXPRESION DE LA POTENCIA MAXIMA POR MOTOR NOS QUEDA.

$$P_{\text{MAX}} = \frac{2559.711 \text{ kw}}{24}$$

$$P_{\text{MAX}} = 106.65 \text{ kw}$$

POTENCIA EN LA RUEDA.





MELCO DE MEXICO S.A. CV

OFICINAS: MARIANO ESCOBEDO 69, TLALNEPANTLA, EDO. DE MEXICO
 PLANTA: KM. 4 CARR. SAN JUAN DEL RIO-TEQUISQUIAPAN, QRO.

TELS.: 566-82-69/70 TELEX-MELCME 178637
 TELS.: 210-45/49-99 TELEX-MELCME (SJ) 12803

P AHORA SI SE AFECTA POR LA EFICIENCIA DE LA TRANSMISION, TENDREMOS LA MAXIMA QUE ES NECESARIO SUMINISTRAR AL MOTOR DE TRACCION.

$$P_{MAX} = \frac{106.65 \text{ kw}}{0.92}$$

$$P_{MAX} = \frac{115.928 \text{ kw}}{0.92} \quad \text{POTENCIA-MECANICA EN LA FLECHA.}$$

AFECTANDOLA POR LA EFICIENCIA DEL MOTOR.

$$P_{MAX} = \frac{115.92}{0.9} = 128.8 \text{ kw} \quad \text{POTENCIA SUMINISTRADA AL MOTOR.}$$

b). PARA CARGA NOMINAL (3/4 DE CARGA)

PARA ESTE TIPO DE CARGA LA MASA DEL TREN ES 351 TONELADAS, ENTONCES LA POTENCIA MAXIMA ES:

$$P_{MAX} = \left(6.807 \frac{\text{M}^2}{\text{s}^3} \right) (351 \text{ 000 kg })$$

$$= 2389517.473 \text{ watts.}$$

$$P_{MAX} = 2389.5174 \text{ kw.}$$

$$P_{MAX} \text{ POR MOTOR} = 99.563 \text{ kw} \quad \text{POTENCIA MAXIMA EN LA RUEDA.}$$

AFECTANDOLA POR LA EFICIENCIA DE LA TRANSMISION = 92%

$$P_{MAX} \text{ POR MOTOR} = 108.22 \text{ kw} \quad \text{POTENCIA MAXIMA MECANICA EN LA FLECHA.}$$

AFECTANDOLA POR LA EFICIENCIA DEL MOTOR (0.9) TENEMOS:

$$P_{MAX} = 120.24 \text{ kw} \quad \text{POTENCIA SUMINISTRADA AL MOTOR}$$

EN DONDE PODEMOS ESTIMAR EL MANEJO DE CORRIENTE PARA DICHA POTENCIA MAXIMA:



MELCO DE MEXICO S.A. CV.

OFICINAS: MARIANO ESCOBEDO 69, TLALNEPANTLA, EDO. DE MEXICO
PLANTA: KM. 4 CARR. SAN JUAN DEL RIO-TEQUISQUIAPAN, QRO.

TELS.: 565-62-69/70 TELEX-MELCME 178637
TELS.: 210-45/49-99 TELEX-MELCME (SJ) 12803

$$P = VI$$

$$I = P/v$$

$$I = \frac{128.8 \text{ kw}}{360 \text{ V}}$$

$$I = 357.77 \text{ A}$$

SUPOSICION DEL DISEÑO DEL MOTOR DE TRACCION

EN BASE A LOS CALCULOS EFECTUADOS DENTRO DE LA SUPOSICION DEL REGIMEN DEL MOTOR DE TRACCION SE TIENE UN VALOR DE POTENCIA MAXIMA, Y DE CORRIENTE QUE CIRCULARA POR EL MOTOR DE TRACCION.

EN CATALOGOS DE MOTORES DE TRACCION ES OBSERVABLE QUE EL MOTOR CUYAS CARACTERISTICAS SON LO MAS PROXIMO POSIBLE A LO DETERMINADO POR LOS REQUERIMIENTOS, ES EL DENOMINADO COMO MB-3230A EL CUAL ES UN MOTOR DE TRACCION DE CORRIENTE CONTINUA, CON DEVANADOS SERIE, CON BOBINAS DE AVF (CAMPO VARIABLE AUTOMATICO), DE CUATRO POLOS Y DEL TIPO AUTOVENTILADO, CUYAS CARACTERISTICAS SON:

REGIMEN UNIHORARIO

POTENCIA 138 kw.
VOLTAJE 360 V
CORRIENTE 426 A
VELOCIDAD 1950 RPM

REGIMEN CONTINUO O DE EXPLOTACION

POTENCIA 128 kw
VOLTAJE 360 V.
CORRIENTE 395 A,
VELOCIDAD 2000 RPM

- PESO: APROXIMADAMENTE 690 kg.
- TIPO DE AISLAMIENTO: CLASE H.
- MAXIMA VELOCIDAD EN PRUEBAS: 5060 RPM
- TASA DE REDUCCION DE CAMPO MAXIMA: 35%

ARMADURA

DIAMETRO	330 mm
LONGITUD DEL HIERRO	173 mm
NUMERO DE RANURAS	42
TAMAÑO DE LA RANURA	7.5 x 33.8
BOBINAS POR RANURA	4
TOTAL DE CONDUCTORES	336
DIMENSIONES DEL CONDUCTOR	2.9 x 6.8
DENSIDAD DE CORRIENTE	5.15A/mm ²

R. CONTINUO



OFICINAS: MARIANO ESCOBEDO 69, TLALNEPANTLA, EDO. DE MEXICO
 PLANTA: KM. 4 CARR. SAN JUAN DEL RIO-TEQUISQUIAPAN, QRO.

TELS.: 665-62-69/70 TELEX-MELCME 178637
 TELS.: 210-45/49-99 TELEX-MELCME (SJ) 12803

POLO PRINCIPAL

ARCO POLAR	53°
ENTREHIERRO	5.7 mm
ANCHO DEL NUCLEO	130 mm
LONGITUD DEL NUCLEO	177 mm
NUMERO DE VUELTAS DE LAS BOBINAS:	
- BOBINA SERIE	8
- BOBINA AVF	15
DIMENSION DE LAS BOBINAS	
- BOBINA SERIE	2.8 x 39 mm
- BOBINA AVF	1.8 x 39 mm
DENSIDAD DE LA CORRIENTE	
- BOBINA SERIE	3.64 A/mm ² R. CONTINUO.
- BOBINA AVF	3.91 A/mm ²

POLO DE CONMUTACION

ANCHO DEL NUCLEO	32 mm
LONGITUD DEL NUCLEO	180 mm
NUMERO DE VUELTAS	14
DIMENSIONES DE LAS BOBINAS	4.1 x 22 mm
DENSIDAD DE CORRIENTE	4.4 A/mm ² R. CONTINUO
ENTREHIERRO	7.5 mm

CARCASA

DIAMETRO EXTERIOR	560 mm
DIAMETRO INTERIOR	438 mm
ANCHO x LONGITUD	38.5 x 350 mm

 **MELCO DE MEXICO S.A. CV.**

OFICINAS: MARIANO ESCOBEDO 69, TLALNEPANTLA, EDO. DE MEXICO
PLANTA: KM. 4 CARR. SAN JUAN DEL RIO-TEQUISQUIAPAN, ORO.

TELS.: 565-62-69/70 TELEX-MELCME 178637
TELS.: 210-45/49-99 TELEX-MELCME (SJ) 12803

CONMUTADOR

DIAMETRO	250 mm
NUMERO DE DELGAS	168
VOLTAJE ENTRE DELGAS	8.57 V.
NUMERO DE ESCOBILLAS	4 x 2
TAMAÑO DE LA ESCOBILLA	20 x 45 mm
DENSIDAD DE CORRIENTE EN LA ESCOBILLA	11 A/mm ²
	(R. CONTINUO)



CALCULO DE LAS CARACTERISTICAS DEL MOTOR DE TRACCION

ESTAS CARACTERISTICAS SE CONOCEN EN UN BANCO DE PRUEBAS, EN EL CUAL SE LE APLICA AL MOTOR UNA TENSION DE 360 V, UNA CORRIENTE DE 395 A. Y CONOCIENDO LA RESISTENCIA OHMICA DEL DEVANADO DE ARMADURA ($R_a = 0.025 \Omega$), SE CALCULA:

- CAIDA DE TENSION EN LA ARMADURA - (IR_A).

$$IR_A = (395 \text{ A}) (0.025 \Omega) = \underline{\underline{9.9 \text{ V}}}$$

- CAIDA DE TENSION EN LAS ESCOBILLAS - (V_b)

POR NORMAS, ESTE VALOR ES DE 2 VOLTS, POR LO TANTO $\underline{\underline{V_b = 2 \text{ V}}}$

- CAIDA DE TENSION TOTAL - (V_T)

$$V_T = IR_A + V_b = 9.9 + 2 = \underline{\underline{11.2 \text{ V}}}$$

- FUERZA CONTRA ELECTROMOTRIZ - (FCEM)

$$FCEM = V - V_T = 360 - 11.2 = \underline{\underline{348.1 \text{ V.}}}$$

- VELOCIDAD DEL MOTOR - (N).

$$N = \frac{FCEM}{K\phi} = \frac{348.1}{0.17} = \underline{\underline{2050 \text{ RPM}}}$$

DONDE: $K\phi = 0.17$ ES UNA CONSTANTE, DEBIDO A QUE EL PORCENTAJE DE CAMPO ESTA AUTOMATICAMENTE FIJADO POR LA RELACION DE CONDUCCION DEL SISTEMA DE CONTROL DE VELOCIDAD POR VOLTAJE (CHOPPER), ENTONCES EL FLUJO MAGNETICO ϕ TIENE UN VALOR UNICO, CUANDO SE SUPONE LA CORRIENTE DE ARMADURA Y LA RAZON DE CONDUCCION DEL SISTEMA DE CONTROL DE VELOCIDAD.

- VELOCIDAD DEL VEHICULO - (v)

$$v = \frac{N}{R.T} D \times \pi \times 60 \times 10^{-6}$$

DONDE: v = VELOCIDAD DEL VEHICULO EN km/hr.
 N = VELOCIDAD DEL MOTOR DE TRACCION EN RPM.

MELCO DE MEXICO S.A. CV.

OFICINAS: MARIANO ESCOBEDO 69, TLALNEPANTLA, EDO. DE MEXICO
 PLANTA: KM. 4 CARR. SAN JUAN DEL RIO-TEQUISQUIAPAN, QRO.

TELS.: 565-62-69/70 TELEX-MELCME 178637
 TELS.: 210-45/49-99 TELEX-MELCME (SJ) 12803

D_R = DIAMETRO DE LA RUEDA EN mm.

R.T= RELACION DE LA TRANSMISION

$$\text{ENTONCES } v = \frac{2050}{9.23} (967)(3.1416) (60 \times 10^{-6})$$

$$v = 40.4 \text{ km/hr.}$$

EL CALCULO DE LAS PERDIDAS EN EL MOTOR, SE EFECTUA PARA UNAS TASAS DE REDUCCION DE CAMPO DE 100%, 80% Y 35% (QUE EN NUESTRO CASO SON VALORES -- MUY REPRESENTATIVOS), CON LA FINALIDAD DE OBTENER LA EFICIENCIA DE LA MAQUINA, ASI COMO SU PAR TRACTIVO.

- PARA 100% DE CAMPO Y UNA TENSION DE 360 V. TENEMOS:

CORRIENTE DE ARMADURA (A)	200	296	395	494	650	
CORRIENTE DE AVF (A)	200	296	395	494	650	
VELOCIDAD DEL MOTOR (RPM)	2646	2116	1880	1746	1609	
PERDIDAS INDEPENDIENTES DE LA CORRIENTE (kw).	5.62	5.13	5.72	6.59	7.98	
PERDIDAS I^2R EN EL DEVANADO SERIE (kw)	1.01	2.20	3.92	6.14	10.63	
PERDIDAS I^2R EN EL DEVANADO DE AVF (kw)	0.58	1.28	2.28	3.56	6.17	
PERDIDAS EN LAS ESCOBILLAS (kw)	0.40	0.59	0.79	0.99	1.30	
PERDIDAS INDETERMINADAS (kw)	0.17	0.37	0.41	0.50	0.51	
TOTAL DE PERDIDAS (kw)	7.78	9.57	13.12	17.78	26.59	
POTENCIA DE ENTRADA (kw)	72.58	107.84	144.48	181.40	240.17	
POTENCIA DE SALIDA (kw)	64.8	98.27	131.36	163.62	213.58	
EFICIENCIA (%) $\frac{P. SALIDA}{P. ENTRADA} = ?$	89.3	91.1	90.9	90.2	88.9	
PAR (Kg/m); $\frac{P. SALIDA (kw)}{N(RPM)}$.975	23.9	45.3	68.1	91.4	129.4



MELCO DE MEXICO S.A. CV.

OFICINAS: MARIANO ESCOBEDO 69, TLALNEPANTLA, EDO. DE MEXICO
 PLANTA: KM. 4 CARR. SAN JUAN DEL RIO-TEQUISQUIAPAN, ORO.

TELS.: 565-62-69/70 TELEX-MELCME 178637
 TELS.: 210-45/49-99 TELEX-MELCME (SJ) 12803

- PARA 80% DE CAMPO Y UNA TENSION DE 360 V.

CORRIENTE DE ARMADURA (A)	200	296	395	494	650
CORRIENTE DE AVF (A)	139	205	274	343	451
VELOCIDAD DEL MOTOR (RPM)	3125	2364	2035	1865	1700
PERDIDAS INDEPENDIENTES DE LA CORRIENTE (kw)	6.86	4.86	4.90	5.50	6.72
PERDIDAS I^2R EN EL DEVANADO SERIE (kw)	1.01	2.20	3.92	6.14	10.63
PERDIDAS I^2R EN EL DEVANADO -- AVF (kw)	0.28	0.61	1.10	1.72	2.97
PERDIDAS EN LAS ESCOBILLAS (kw)	0.40	0.59	0.79	0.99	1.30
PERDIDAS INDETERMINADAS (kw)	0.39	0.14	0.41	0.60	0.65
TOTAL DE PERDIDAS (kw)	8.94	8.40	11.12	14.95	22.27
POTENCIA DE ENTRADA (kw)	72.28	107.17	143.3	179.56	236.97
POTENCIA DE SALIDA (kw)	63.34	98.77	132.18	164.61	214.7
EFICIENCIA (%)	87.6	92.2	92.2	91.7	90.6
PAR. (kg-m).	19.8	40.7	63.3	86.1	123.1

- PARA 35% DE CAMPO Y UNA TENSION DE 360 V.

CORRIENTE DE ARMADURA (A)	365	395	494	650
CORRIENTE DE AVF (A)	---	---	---	---
VELOCIDAD DEL MOTOR (RPM)	4017	3709	3094	2564
PERDIDAS INDEPENDIENTES DE LA CORRIENTE (kw)	10.36	8.83	6.42	5.40
PERDIDAS I^2R EN EL DEVANADO SERIE (kw)	3.35	3.92	6.14	10.63
PERDIDAS I^2R EN EL DEVANADO AVR (kw)	---	---	---	---
PERDIDAS EN LAS ESCOBILLAS (kw)	0.73	0.79	0.99	1.30
PERDIDAS INDETERMINADAS (kw)	1.93	1.62	1.95	2.19
TOTAL DE PERDIDAS (kw)	16.37	15.16	15.50	19.52
POTENCIA DE ENTRADA (kw)	131.4	142.2	177.84	234.0
POTENCIA DE SALIDA (kw)	115.03	127.04	162.3	214.48
EFICIENCIA (%)	87.5	89.3	91.3	91.7
PAR (kg-m)	27.9	33.4	51.2	81.6



MELCO DE MEXICO S.A. CV.

OFICINAS: MARIANO ESCOBEDO 69, TLALNEPANTLA, EDO. DE MEXICO TELS.: 566-62-69/70 TELEX-MELCME 178637
PLANTA: KM. 4 CARR. SAN JUAN DEL RIO-TEQUISQUIAPAN, GRO. TELS.: 210-45/49-99 TELEX-MELCME (SJ) 12803

LAS GRAFICAS CORRESPONDIENTES A CADA UNA DE ESTAS TABLAS, SE PRESENTAN EN LAS PAGINAS SIGUIENTES. EN ESTAS SE PUEDE APRECIAR QUE EL MOTOR SELECCIONADO, EN CONJUNTO CON SU CONTROL DE VELOCIDAD, ES CAPAZ DE SATISFACER ADECUADAMENTE CON LOS REQUERIMIENTOS ESTABLECIDOS, POR LO QUE ES PRECISO AHORA, COMPROBAR SU COMPORTAMIENTO SOBRE EL TREN Y EN CONDICIONES DE REGIMEN DE FUNCIONAMIENTO.





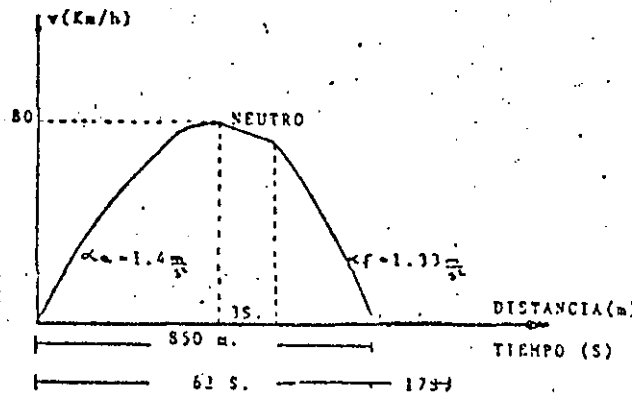
DESEMPEÑO DEL VEHICULO

PARA COMPROBAR EL DESEMPEÑO DEL VEHICULO, SE HACE UNA SIMULACION DEL RECORRIDO DEL TREN, LA CUAL PRETENDE REPRODUCIR LO MAS FIEL A LAS CONDICIONES DE CIRCULACION DEL TREN EN LA LINEA DE TRANSPORTE.

EN LA SIMULACION SE TIENE:

1.- PARA CARGA NORMAL SE CONSIDERAN DOS RECORRIDOS A CUMPLIR:

- A).- RECORRIDO DE 850 m. EN PLANO HORIZONTAL CON UNA ACELERACION MAXIMA DE 1.4 m/seg^2 , A UNA VELOCIDAD MAXIMA DE 80 km/h, 3 SEGUNDOS EN NEUTRO Y UNA DESACELERACION DE 1.33 m/seg^2 . EN UN TIEMPO TOTAL DE 62 SEG., CON UN PARO DE 17 SEGUNDOS EN PROMEDIO.



- B).- RECORRIDO DE 850 m, EN RAMPA DE 3%, (ARRANQUE EN PLANO HORIZONTAL SOBRE 20 m). CON UNA ACELERACION MAXIMA DE 1.4 m/seg^2 A UNA VELOCIDAD MAXIMA DE 67 km/h., 3 SEGUNDOS EN NEUTRO A UNA DESACELERACION DE 1.33 m/seg^2 EN UN TIEMPO TOTAL DE 65.2 SEG., PARO DE 17 SEG. PROMEDIO.

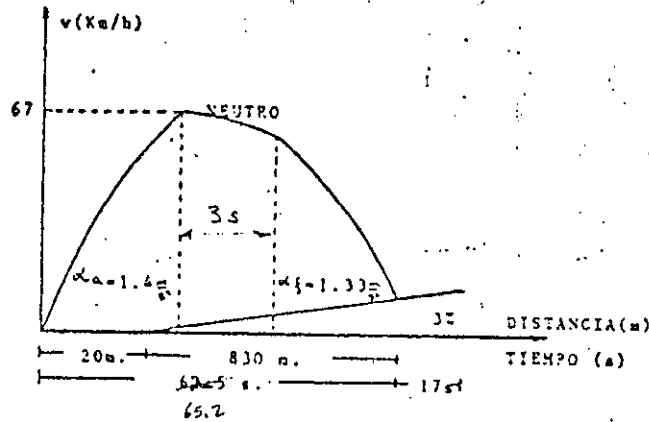




MELCO DE MEXICO S.A. C.V.

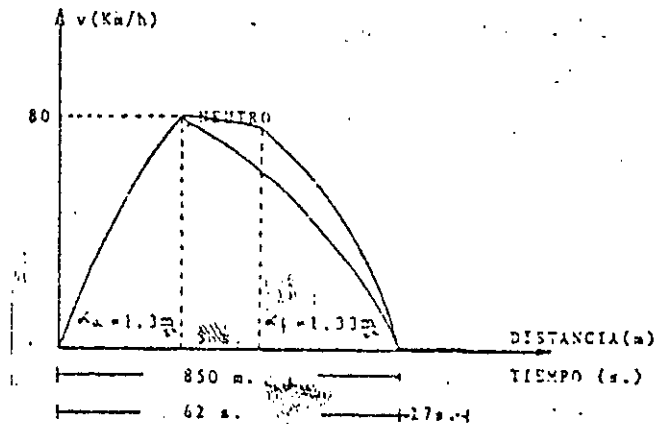
OFICINAS: MARIANO ESCOBEDO 69, TLALNEPANTLA, EDO. DE MEXICO
PLANTA: KM. 4 CARR. SAN JUAN DEL RIO-TEQUISQUIAPAN, QRO.

TELS.: 665-62-69/70 TELEX-MELCME 178637
TELS.: 210-45/49-99 TELEX-MELCME (SJ) 12803

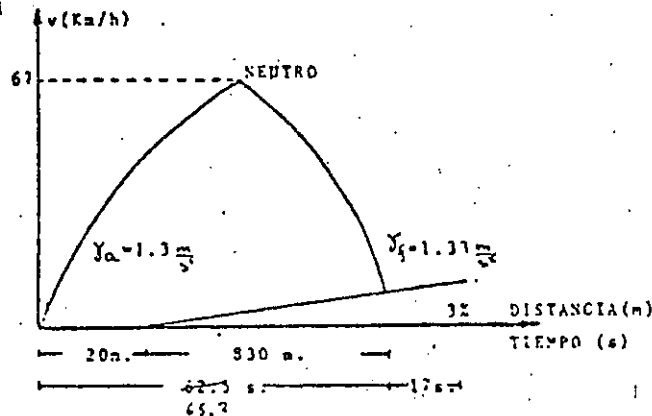


PARA CARGA DE AFLUENCIA SE CONSIDERARA:

C).- RECORRIDO DE 850 m. EN PLANO HORIZONTAL, CON UNA ACELERACION MAXIMA DE $1.3 \frac{m}{seg^2}$ A UNA VELOCIDAD MAXIMA DE 80 km/h Y UNA DESACELERACION DE $1.33 \frac{m}{seg^2}$ EN UN TIEMPO TOTAL DE 52 seg. PARO 17 SEG. PROMEDIO.



- D).- RECORRIDO DE 850 m EN RAMPA DE 3%, (ARRANQUE EN PLANO HORIZONTAL SOBRE 20 METROS) CON UNA ACELERACION MAXIMA DE 1.3 m/seg^2 , A UNA VELOCIDAD MAXIMA DE 67 km/h, UNA DESACELERACION DE 1.33 m/seg^2 EN UN TIEMPO TOTAL \bar{t} 65.2 SÉG. PARO 17 SEG. PROMEDIO.



PARA EL DISEÑO SE CONSIDERA LO SIGUIENTE:

1.- SERVICIO CONTINUO.

10 CICLOS A + 5 CICLOS B + 10 CICLOS A +
10 CICLOS A + 5 CICLOS B + 10 CICLOS A
ETC.

2.- SERVICIO DE AFLUENCIA (DESPUES DEL SERVICIO CONTINUO)

8 VECES (10 CICLOS C + 5 CICLOS D + 10 CICLOS C) Y RESTABLECIMIENTO DEL SERVICIO CONTINUO.

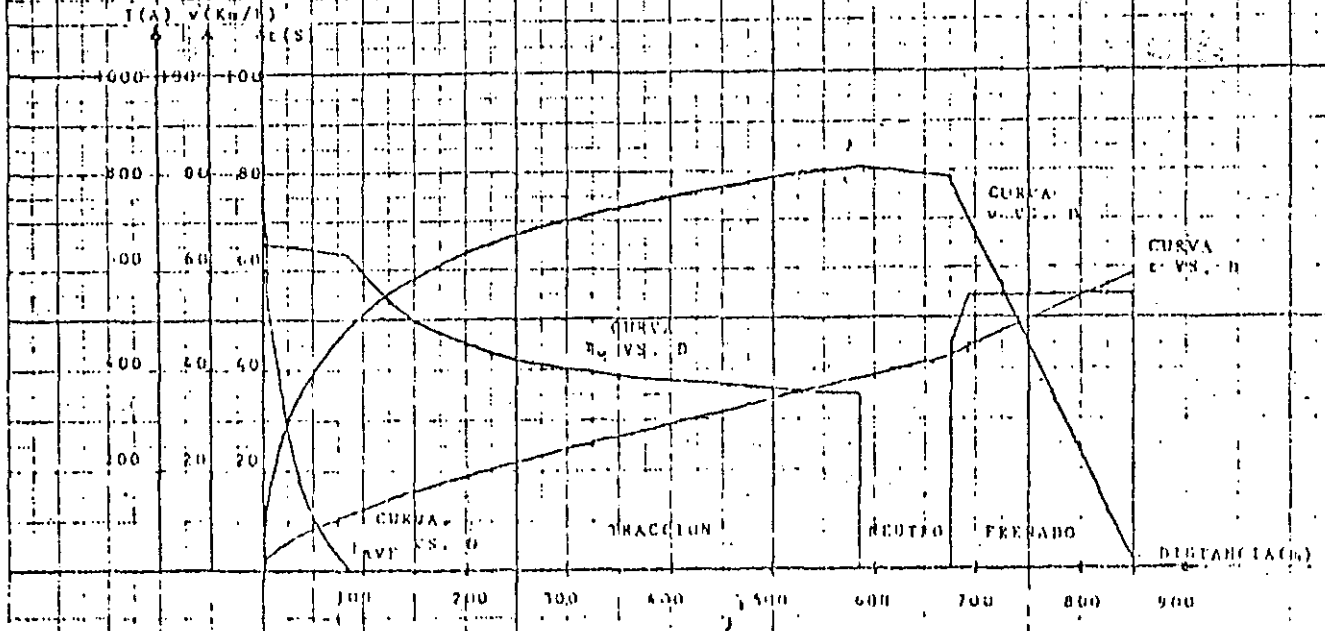
EL SERVICIO DE AFLUENCIA REPRESENTA APROXIMADAMENTE EL 40% DEL SERVICIO TOTAL.

EL RESULTADO DE ESTA SIMULACION, SE PRESENTA EN LAS GRAFICAS SIGUIENTES, EN LAS QUE SE PUEDE APRECIAR:

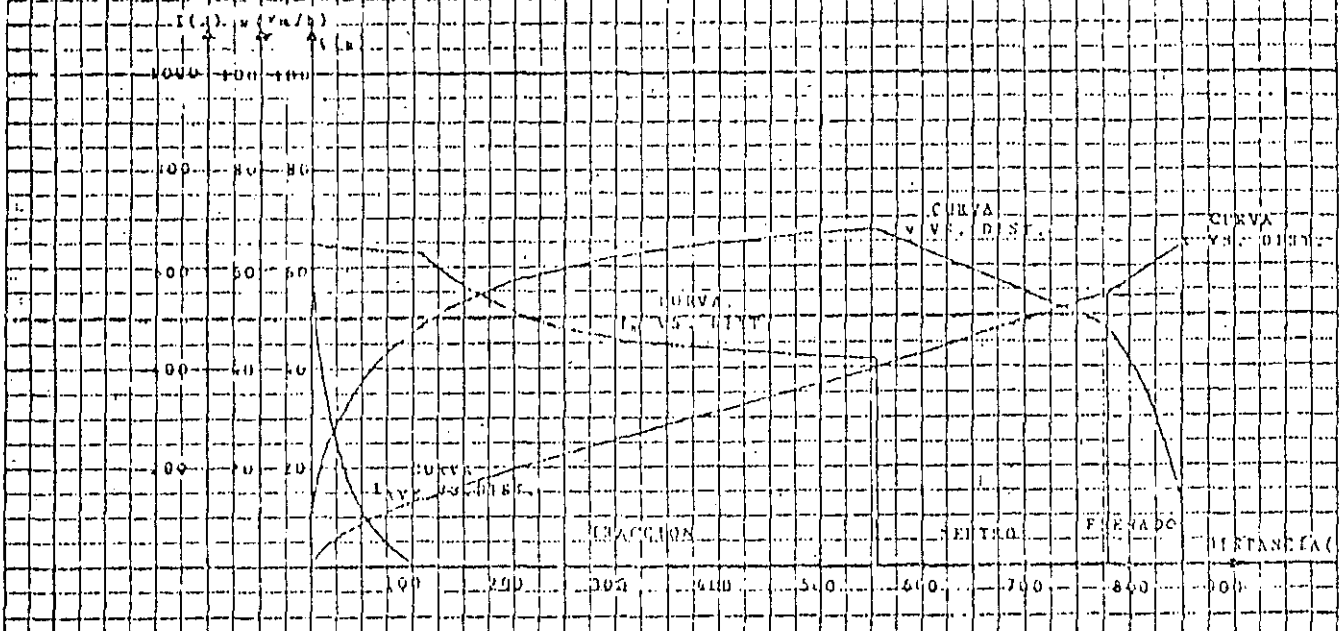
- VELOCIDAD CONTRA DISTANCIA.
- TIEMPO CONTRA DISTANCIA.
- CORRIENTE CONTRA DISTANCIA.

LO QUE NOS PERMITE EVALUAR EL COMPORTAMIENTO DEL VEHICULO EN LA LINEA, - NOTANDOSE QUE EL MOTOR SI CUMPLE CON LOS ITINERARIOS ESTABLECIDOS.

CURVAS DEL RECORRIDO "A"

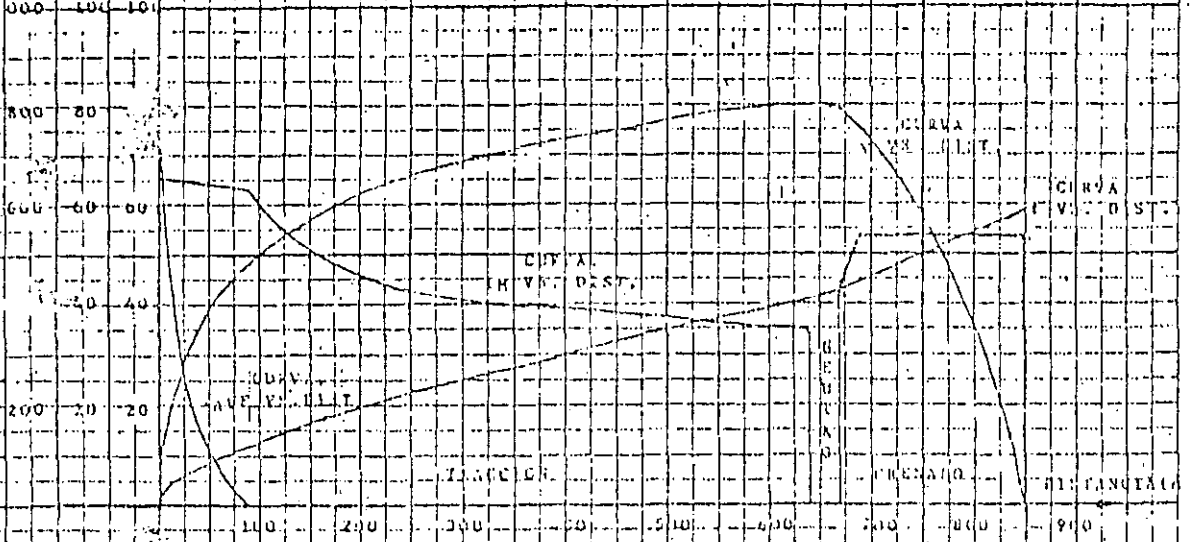


CURVAS DEL RECORRIDO "B"



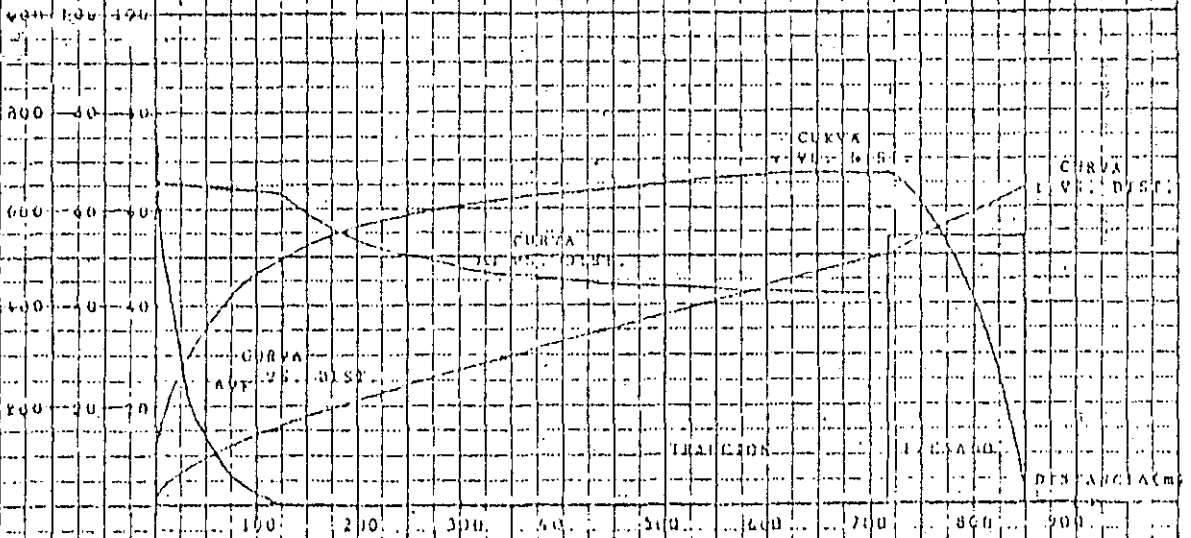
CURVAS DEL RECORRIDO D

$i(A) \vee (Km/h)$
 $\Delta i \vee \Delta t$



CURVAS DEL RECORRIDO D

$i(A) \vee (Km/h)$
 $\Delta i \vee \Delta t$



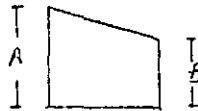
CALCULO DE LA CORRIENTE RMS POR MEDIO DE LA CURVA DE RECORRIDO

DE LAS GRAFICAS DE RECORRIDO, SE TIENE LA CURVA: CORRIENTE EN EL MOTOR vs DISTANCIA, DE LA CUAL SE OBTIENE LA I_{RMS} DEL MOTOR DE TRACCION DURANTE EL RECORRIDO.

a). CALCULO DE LA I_{RMS} DEL MOTOR EN EL RECORRIDO A.

$$I_{RMS A} = \sqrt{\frac{I_{RMS1}^2 \times t_1 + I_{RMS2}^2 \times t_2 + I_{RMS3}^2 \times t_3 + I_{RMS4}^2 \times t_4 + I_{RMS5}^2 \times t_5 + I_{RMS6}^2 \times t_6}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5}}$$

DONDE: $I_{RMS1} = \sqrt{\frac{A^2 + B^2 + AB}{3}}$



CON:

A = 650A
 B = 630A

$$I_{RMS1} = \sqrt{\frac{(650)^2 + (630)^2 + (650)(630)}{3}}$$

$I_{RMS1} = 640.02A ; t_1 = 11s$

$$I_{RMS2} = \sqrt{\frac{(630)^2 + (500)^2 + (630)(500)}{3}}$$

CON:

A = 630
 B = 500

$I_{RMS2} = 566.24A ; t_2 = 5s$

$$I_{RMS3} = \sqrt{\frac{(500)^2 + (400)^2 + (500)(400)}{3}}$$

$I_{RMS3} = 450.92A ; t_3 = 8s$

$$I_{RMS4} = \sqrt{\frac{(400)^2 + (350)^2 + (400)(350)}{3}}$$

$I_{RMS4} = 375.27 A ; t_4 = 14s$

MELCO DE MEXICO S.A. CV.

OFICINAS: MARIANO ESCOBEDO 69, TLALNEPANTLA, EDO. DE MEXICO.
PLANTA: KM. 4 CARR. SAN JUAN DEL RIO-TEQUISQUIAPAN, ORO.

TELS.: 565-62-69/70 TELEX-MELCME 178637
TELS.: 210-45/49-99 TELEX-MELCME (SJ) 12803

$$I_{RMS5} = \sqrt{\frac{(545)^2 + (450)^2 + (545)(450)}{3}} ; t = 1.5_s$$

$$I_{RMS5} = \underline{498.25 \text{ A}}$$

$$I_{RMS6} = \sqrt{\frac{1}{t_0} \int_0^{t_0} y^2 dt}$$

DONDE: $y = \text{CONSTANTE} = 549$

$t_0 = 16_s$

$$I_{RMS6} = \sqrt{\frac{1}{16} \int_0^{16} 549^2 dt}$$
$$= \sqrt{\frac{(549)^2}{16} \int_0^{16} dt} = 549A$$





MELCO DE MEXICO S.A. CV.

OFICINAS: MARIANO ESCOBEDO 68, TLALNEPANTLA, EDO. DE MEXICO
PLANTA: KM. 4 CARR. SAN JUAN DEL RIO-TEQUISQUIAPAN, QRO.

TELS.: 566-62-68/70 TELEX-MELCME 178637
TELS.: 210-45/48-99 TELEX-MELCME (SJ) 12803

TABLA DE CALCULO DEL CICLO B.-

No.	A(A)	B(A)	$I_{RMSn} = \sqrt{\frac{A^2+B^2+AB}{3}}$	TIEMPO (S)
1	650	630	640.02	13.5
2	630	550	590.45	3.5
3	550	500	525.20	4.0
4	500	460	480.13	4.5
5	460	448	454.00	3.2
6	448	420	434.00	11.1
7	0	0	0	14.2
8	545	545	545	10

$$I_{RMS_B} = \sqrt{\frac{14612500.12}{81}}$$

$$I_{RMS_B} = 424.73 \text{ A}$$

TABLA DE CALCULO DEL CICLO D.-

No.	A(A)	B(A)	$I_{RMS_N} = \sqrt{\frac{A^2+B^2+AB}{3}}$	TIEMPO (S)
1	650	635	542.50	16
2	635	575	605.25	3
3	575	535	555.10	2.8
4	535	455	495.50	10.4
5	455	430	442.55	8.8
6	430	425	427.50	4.2
7	425	420	422.50	4.8
8	540	540	540	14

$$I_{RMS_D} = \sqrt{\frac{57153600}{81}} = \sqrt{229016.8492}$$

$$I_{RMS_D} = 473.8 \text{ A}$$





MELCO DE MEXICO S.A. CV

OFICINAS: MARIANO ESCOBEDO 69, TLALNEPANTLA, EDO. DE MEXICO
PLANTA: KM. 4 CARR. SAN JUAN DEL RIO-TEQUISQUIAPAN, QRO.

TELS.: 665-62-70/71 TELEX-MELCME 172637
TELS.: 210-45/49-99 TELEX-MELCME (SJ) 12803

AHORA CONSIDERANDO EL CICLO: 10B + 5D + 10B, LA CORRIENTE RMS INCLUYENDO EL PARO DE 17_s EN LAS ESTACIONES Y 7 MINUTOS DE PARO EN LA ESTACION TERMINAL, TENEMOS:

$$I_{RMS_TOTAL} = \sqrt{\frac{10(I_{RMS_B})^2 t_B + 5(I_{RMS_D})^2 t_D + 10(I_{RMS_B})^2 t_B}{10t_B + 5t_D + 10t_B + 420_s}}$$

DÓNDE: 420_s = a 7 MINUTOS DE PARO EN LA ESTACION TERMINAL.

$$I_{RMS_total} = \sqrt{\frac{10(424.73)^2 (81) + 5(473.8)^2 (81)}{10(81) + 5(81) + 10(81) + 420}}$$

$$= \sqrt{\frac{146120414.1 + 90917008.2}{2445}}$$

$$= \sqrt{\frac{383057836.3}{2445}}$$

$$= \sqrt{156710.77}$$

$$I_{RMS_total} = 395.86 \text{ AMPERES.}$$





OFICINAS: MARIANO ESCOBEDO 69, TLALNEPANTLA, EDO. DE MEXICO
PLANTA: KM. 4 CARR. SAN JUAN DEL RIO-TEQUISQUIAPAN, QRO.

TELS.: 565-62-69/70 TELEX-MELCME 178637
TELS.: 210-45/49-99 TELEX-MELCME (SJ) 12803

EVALUACION DE RESULTADOS

A). COMPORTAMIENTO DEL VEHICULO CON EL DESEMPEÑO PREVISTO EN LOS CICLOS DE RECORRIDO.

* ¿ SE OBTIENE LA ACELERACION MAXIMA EN TRACCION ?

$$\alpha = \frac{M}{t} = \frac{48 \frac{\text{km}}{\text{h}}}{11 \text{ s}} \cdot 3.6 = 1.212 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\alpha_{\text{MAX}} = 1.212 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad \therefore \text{SI CUMPLE}$$

* ¿ SE OBTIENE LA DESACELERACION EN FRENADO ?

$$F = \frac{V}{t} = \frac{70 \text{ km/hr} / 3.6}{17 \text{ seg.}} = 1.1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad \therefore \text{CUMPLE}$$

* ¿ SE CUBREN LAS DISTANCIAS PREVISTAS EN EL TIEMPO PREVISTO ?

$$d = 850 \text{ m} \text{ CORRESPONDE A UN TIEMPO DE } 59 \text{ s} \quad \therefore \text{SI CUMPLE}$$

B). ES MENOR LA I_{RMS} CALCULADA EN EL CICLO COMPLETO DE RECORRIDO, A LA CORRIENTE DEL MOTOR EN REGIMEN UNIHORARIO ?

$$I_{\text{RMS ciclo}} = 395.86 \text{ A} \quad 426 \text{ A DE REGIMEN UNIHORARIO} \quad \therefore \text{SI CUMPLE}$$

C). ¿ SON MENORES LOS INCREMENTOS DE TEMPERATURA OBTENIDOS EN LA CURVA DE RECORRIDO, QUE LOS OBTENIDOS EN REGIMEN CONTINUO Y LOS LIMITES DE TEMPERATURA DADOS POR LA NORMA ?

- * At COLECTOR = 52.2°C
 - * At INDUCIDO = 51.4°C
 - * At POLOS SERIE = 54°C
 - * At POLOS AVF = 36.5°C
 - * POLOS AUXILIARES = 72.6°C
- ∴ SI CUMPLE

SE APRECIA QUE SE CUMPLEN SATISFACTORIAMENTE LAS CONDICIONES ANTERIORES, POR LO QUE EL MOTOR DE TRACCION EN ESTUDIO SE PUEDE CONSIDERAR COMO ADECUADO.



RECOMENDACIONES GENERALES PARA DIVERSOS PARAMETROS DE LOS MOTORES DE TRACCION

ESTOS PARAMETROS SE PUEDEN CLASIFICAR COMO:

- A) GEOMETRICOS Y CINEMATICO
- B) ELECTRICOS
- C) MAGNETICOS

a). GEOMETRICOS Y CINEMATICO: DENTRO DE ESTOS, PODEMOS MENCIONAR:

- DIAMETRO DEL INDUCIDO (D)

SE TIENE PARA LOS ACTUALES MOTORES DE TRACCION QUE EL VALOR DEL DIAMETRO DEL INDUCIDO ESTA COMPRENDIDO ENTRE: 0.5 a 1 m. Y EXCEPCIONALMENTE 1.5 m CONSTITUYE UN MAXIMO.

- LONGITUD DEL INDUCIDO: (L)

PRACTICAMENTE SE TIENE PARA LOS MOTORES DE TRACCION ACTUALES EL VALOR DE LA LONGITUD DEL INDUCIDO, ENTRE: 0.5 a 0.20 m.

EL VALOR DE (L) ESTA LIMITADO POR LOS VALORES DE LA INDUCCION MEDIA EN EL ENTREHIERRO (B) Y EL DE LA VELOCIDAD PERIFERICA DEL MISMO INDUCIDO (V_p), PARA TENER UNA TENSION DE REACTANCIA CONVENIENTE.

- PASO POLAR: (z)

EL PASO POLAR DE UN MOTOR DE TRACCION ESTA DEFINIDO COMO:

$$z = \frac{D}{2p}$$

DONDE: $2p$ = NO. DE POLOS

D = DIAMETRO DEL INDUCIDO

- ARCO POLAR UTIL.: (βz)

ES EL DESARROLLO DEL POLO A CONSIDERAR EFECTIVAMENTE PARA EL CALCULO DE LA INDUCCION REAL EN EL ENTREHIERRO. CONSIDERA EL DESARROLLO DE LAS LINEAS DE FLUJO EN LAS ZAPATAS POLARES.



MELCO DE MEXICO S.A. CV.

OFICINAS: MARIANO ESCOBEDO 89, TLALNEPANTLA, EDO. DE MEXICO
PLANTA: KM. 4 CARR. SAN JUAN DEL RIO-TEQUISQUIAPAN, QRO.

TELS.: 565-62-69/70 TELEX-MELCME 178637
TELS.: 210-45/49-99 TELEX-MELCME (SJ) 12803

- PARTE FRACCIONARIA DEL PASO POLAR: (β).

ESTA PARTE FRACCIONARIA DEL PASO POLAR SE OBTIENE MEDIANTE LA RELACION:

$$\beta = \frac{\text{ARCO POLAR}}{\text{PASO POLAR}}$$

Y EN GENERAL, PARA LOS MOTORES DE TRACCION DE CORRIENTE CONTINUA, SE TIENE:

$$\beta = \frac{2}{\pi} = 0.63$$

- VELOCIDAD LINEAL DEL INDUCIDO: (V_i)
LA VELOCIDAD PERIFERICA DEL INDUCIDO:
a). VELOCIDAD MAXIMA ES:

$$V := D N_{\text{MAX}} \quad (\text{m/seg}).$$

DONDE: D = DIAMETRO DEL INDUCIDO (m)

$N_{(\text{MAX})}$ = VELOCIDAD MAXIMA EN RPS.

ESTA VELOCIDAD ESTA LIMITADA POR RAZONES MECANICAS A 90 m/s.

b). VELOCIDAD EN REGIMEN CONTINUO, SE TIENE:

$$V_i = D N_s \pi$$

DONDE: N_s = VELOCIDAD EN REGIMEN CONTINUO (RPS).

LA CUAL TIENE LOS VALORES PRACTICOS DE 20 a 45 m/s.

- VELOCIDAD LINEAL DEL COLECTOR: (V_k).
ES LA VELOCIDAD PERIFERICA DEL COLECTOR, ESTA DEFINIDA COMO

$$V_k = D_k N_s$$

DONDE: D_k = DIAMETRO DEL COLECTOR

N_s = VELOCIDAD EN REGIMEN CONTINUO.

EL VALOR MAXIMO QUE PUEDE TOMAR LA VELOCIDAD LINEAL DEL COLECTOR ES DE APROXIMADAMENTE DE 55 a 60 m/s, DICHO VALOR ESTA LIMITADO POR:



OFICINAS: MARIANO ESCOBEDO 69, TLAJNEPANTLA, EDO. DE MEXICO
 PLANTA: KM. 4 CARR. SAN JUAN DEL RIO-TEQUISQUIAPAN, QRO.

TELS.: 565-62-69/70 TELEX-MELCME 178637
 TELS.: 210-45/49-99 TELEX-MELCME (SJ) 12803

A). LOS TIEMPOS DE CONMUTACION DECRECEN CUANDO V_k AUMENTA, CON LO QUE SE INCREMENTAN LOS PROBLEMAS DE LA CONMUTACION DEL MOTOR DE TRACCION.

B). MECANICAMENTE, EL CONTACTO ESCOBILLAS-COLECTOR ES MAS DIFICIL DE LOGRAR CUANDO LA VELOCIDAD PERIFERICA DEL COLECTOR ES MAS GRANDE.

ADEMAS, LOS DEFECTOS EN LA SUPERFICIE DEL COLECTOR SE ACENTUAN CON EL INCREMENTO DE LA VELOCIDAD PERIFERICA.

EN REGIMEN CONTINUO EL VALOR V_k VARIA ENTRE 15 a 30 m/s.

b). ELECTRICOS.

DENTRO DE LOS PARAMETROS ELECTRICOS SE DEBEN CONSIDERAR FUNDAMENTALMENTE:

- POTENCIA UTIL (P)
- TENSION (V)
- CORRIENTE (I)
- NUMERO DE CONDUCTORES PERIFERICOS DEL INDUCIDO (N)
- AMPERES CONDUCTORES TOTALES DEL INDUCIDO (Ni_a)

EN DONDE N = NUMERO DE CONDUCTORES PERIFERICOS DEL INDUCIDO.
 i_a = CORRIENTE EN UN CONDUCTOR DE INDUCIDO.

$$i_a = \frac{I}{2a}$$

DONDE 2 a = NUMERO DE VIAS DEL DEVANADO DEL INDUCIDO.

c). MAGNETICOS.

- FLUJO UTIL POR POLO (\emptyset)

EN LOS MOTORES DE TRACCION ACTUALES, EL FLUJO POR POLO ES DEL ORDEN DE 0.095 WEBERS PARA LOS MOTORES NO COMPENSADOS Y DE 0.075 WEBERS PARA LOS COMPENSADOS.

- B_m = INDUCCION MEDIA EN EL ENTREHIERRO.
 SE PUEDE EXPRESAR COMO:

$$V = E + RI$$

$$E = \frac{P}{a} N N_s \cdot \emptyset; \text{ CON } P = a \quad E = NN_s \emptyset$$

$$\emptyset = B.S$$



OFICINAS: MARIANO ESCOBEDO 69, TLALNEPANTLA, EDO. DE MEXICO
PLANTA: KM. 4 CARR. SAN JUAN DEL RIO--TEQUISQUIAPAN, QRO.

TELS.: 665-62-70/71 TELEX--MELCME 172637
TELS.: 210-45/49-99 TELEX--MELCME (SJ) 12803

-S SECCION UTIL DE PASO DEL FLUJO EN EL ENTREHIERRO:

$$S = \beta \tau L = \frac{\beta \pi D}{2p} L$$

$$\text{DE DONDE: } B = \frac{2P}{\beta DL} \text{ y } \theta = \frac{E}{NN_s} \text{ ó } \theta = \frac{V - RI}{N - N_s}$$

SE HACE NOTAR QUE ESTE VALOR DE B_m , FACIL DE CALCULAR ES UNA CARACTERIS- TICA DEL MOTOR, PERO QUE NO PUEDE SERVIR PARA EL CALCULO DE LOS AMPERES VUEL- TA NECESARIOS PARA HACER PASAR EL FLUJO EN EL ENTREHIERRO.

EN EFECTO, SE DEBE TENER EN CUENTA EN EL CALCULO DE LAS MAQUINAS QUE EL ENTREHIERRO NO ES SIEMPRE CONSTANTE, LA LONGITUD DEL ARCO POLAR, QUE LAS - - ABERTURAS DE LAS RANURAS MODIFICAN LA REPARTICION DEL FLUJO, QUE HAY FRANJAS DE LINEAS DE FUERZA QUE EXPANDEN EL FLUJO, ETC.

PARA LOS MOTORES DE TRACCION, EN REGIMEN CONTINUO SE TIENE:

$$0.8 < B < 1.45 \quad [\text{TESLA}]$$

DE FORMA GENERAL, B_m ESTA LIMITADO POR:

- EL DIAMETRO DEL INDUCIDO D
- LA FRECUENCIA DEL FLUJO $F = pNs$.

CON UN PEQUEÑO DIAMETRO D, (B) NO PUEDE SER GRANDE PORQUE NO TENDRA NE- CESIDAD DEL DEVANADO DE EXCITACION (CON D = 0.35 m. NO PUEDE B SOBREPASAR DEL ORDEN DE 0.45 TESLA PARA UNA MAQUINA CON DEVANADO DE EXCITACION).

SI LA FRECUENCIA F ES GRANDE, LAS PERDIDAS EN EL HIERRO SON PROPORCIO- NALES AL CUADRADO DE LA INDUCCION, B DEBE ESTAR LIMITADO .

EL VALOR DE FRECUENCIA F ES DEL ORDEN DE:

$$35 < F < 120 \quad [\text{HERTZ}]$$

PARA MOTORES DE TRACCION.

A).- LOS PARAMETROS FUNDAMENTALES.

a). TENSION MEDIA ENTRE DELGAS DEL COLECTOR:



OFICINAS: MARIANO ESCOBEDO 69, TLALNEPANTLA, EDO. DE MEXICO
 PLANTA: KM. 4 CARR. SAN JUAN DEL RIO-TEQUISQUIAPAN, QRO.

TELS: 565-02-70/71, TELEX-MELCME 172637

TELS: 210-45/49-99, TELEX-MELCME (SJ) 1280

DONDE $K = \text{TOTAL DE DELGAS DEL COLECTOR}$

$2p = \text{No. DE POLOS}$

$V = \text{TENSION EN LOS BORNES}$

$$e = \frac{2 \cdot PV}{K}$$

(RIGUROSAMENTE SE DEBERIA ESCRIBIR $e = \frac{2PE}{K}$, PERO E Y V SON CASI IGUALES)

PARA LOS MOTORES DE TRACCION QUE SE TIENE:

$12 \leq e \leq 20$ (VOLTS) ENTRE DELGAS.

CON LOS MOTORES COMPENSADOS PODRIA LLEGAR A SER DE 25 V. ACTUALMENTE EN LOS MOTORES (e) NO SOBREPASA 20 V.

EN REALIDAD LA TENSION ENTRE DELGAS VARIA DE 0 a (e_{Max}), (e_{max}) PUEDE SER 2 a 2.4 VECES EL VALOR DE (e) SEGUN LA FORMA DEL ENTREHIERRO, LA COMPENSACION O NO DEL MOTOR.

b). AMPERES.- CONDUCTORES POR METRO PERIFERICO O "CARGA LINEICA"

$$Q = \frac{N \cdot I_a}{\pi D} = \frac{n \cdot I}{2a \pi D}$$

ESTE VALOR TIENE LIMITES, DEPENDIENDO DEL VALOR DEL DIAMETRO DEL INDUCIDO, Q SERA MAS GRANDE, MIENTRAS QUE D SEA MAS PEQUEÑO. EN GENERAL $35000 \leq Q \leq 65000$

NO SE PUEDE AUMENTAR DEMASIADO EL VALOR DE Q POR UNA PARTE, PARA NO DISMINUIR DEMASIADO EL COEFICIENTE DE DISTORSION $\alpha = \frac{B}{Q}$ Y POR OTRA PARTE PARA OBTENER UN BUEN ENFRIAMIENTO (LO QUE CONDUCE A LIMITAR EL VALOR DEL PRODUCTO - $Q \delta$).

PARA LOS MOTORES DE TRACCION QUE ESTAN SUJETOS A SOBRECARGA, LOS VALORES DE Q SON UN TANTO MAS PEQUEÑOS SI LAS SOBRECARGAS SON MAS IMPORTANTES O MAS FRECUENTES.

LAS CONDICIONES DE CONMUTACION INTERVIENEN IGUALMENTE PARA LIMITAR EL VALOR DE Q.



MELCO DE MEXICO S.A. CV.

OFICINAS: MARIANO ESCOBEDO 69, TLALNEPANTLA, EDO. DE MEXICO
PLANTA: KM. 4 CARR. SAN JUAN DEL RIO-TEQUISQUIAPAN, ORO.

TELS.: 565-62-70/71 TELEX-MELCME 172637
TELS.: 210-45/49-99 TELEX-MELCME (SJ) 12803

c).- DENSIDAD DE CORRIENTE EN LOS CONDUCTORES DEL INDUCIDO.

$$j = \frac{I_a}{S}$$

DONDE I_a = CORRIENTE DE ARMADURA
 S = SECCION DE CONDUCTOR (mm^2)

ACTUALMENTE, LOS VALORES ADOPTADOS SON DEL ORDEN DE 7 a 8 A/ mm^2 , PARA LAS MAQUINAS VENTILADAS Y DE 5 a 6 A/ mm^2 , PARA LAS MAQUINAS AUTOVENTILADAS.

d).- LA DIMENSION DE LAS PERDIDAS POR EFECTO JOULE Q_s

ESTE PRODUCTO, ES PROPORCIONAL A LAS PERDIDAS JOULE OBTENIDAS EN LA SUPERFICIE DEL ENTREHIERRO, CARACTERIZADA DESDE EL PUNTO DE VISTA CALORIFICO LA CARGA DE COBRE DEL INDUCIDO. ESTA LIMITADO A UN CIERTO VALOR DEPENDIENDO DEL TIPO DE ENFRIAMIENTO ADOPTADO PARA EL MOTOR (AUTOVENTILADO O DE VENTILACION FORZADA). Q_s VARIA DESDE 200,000 A 350,000 O 400,000 (PARA MOTORES DE TRACCION VENTILADOS POR EL AIRE PROVENIENTE DE VENTILADORES ESPECIALES).

e).- COEFICIENTE DE DISTORSION $\alpha = \frac{B}{Q}$

ES UNA RELACION DE LOS AMPERES-VUELTA DE MAGNETIZACION DEL ENTREHIERRO PRODUCIDOS POR LA EXCITACION Y LOS AMPERES-VUELTA DE LA REACCION TRANSVERSAL DEL INDUCIDO, RESULTANTE DE LA CORRIENTE DEL INDUCIDO.

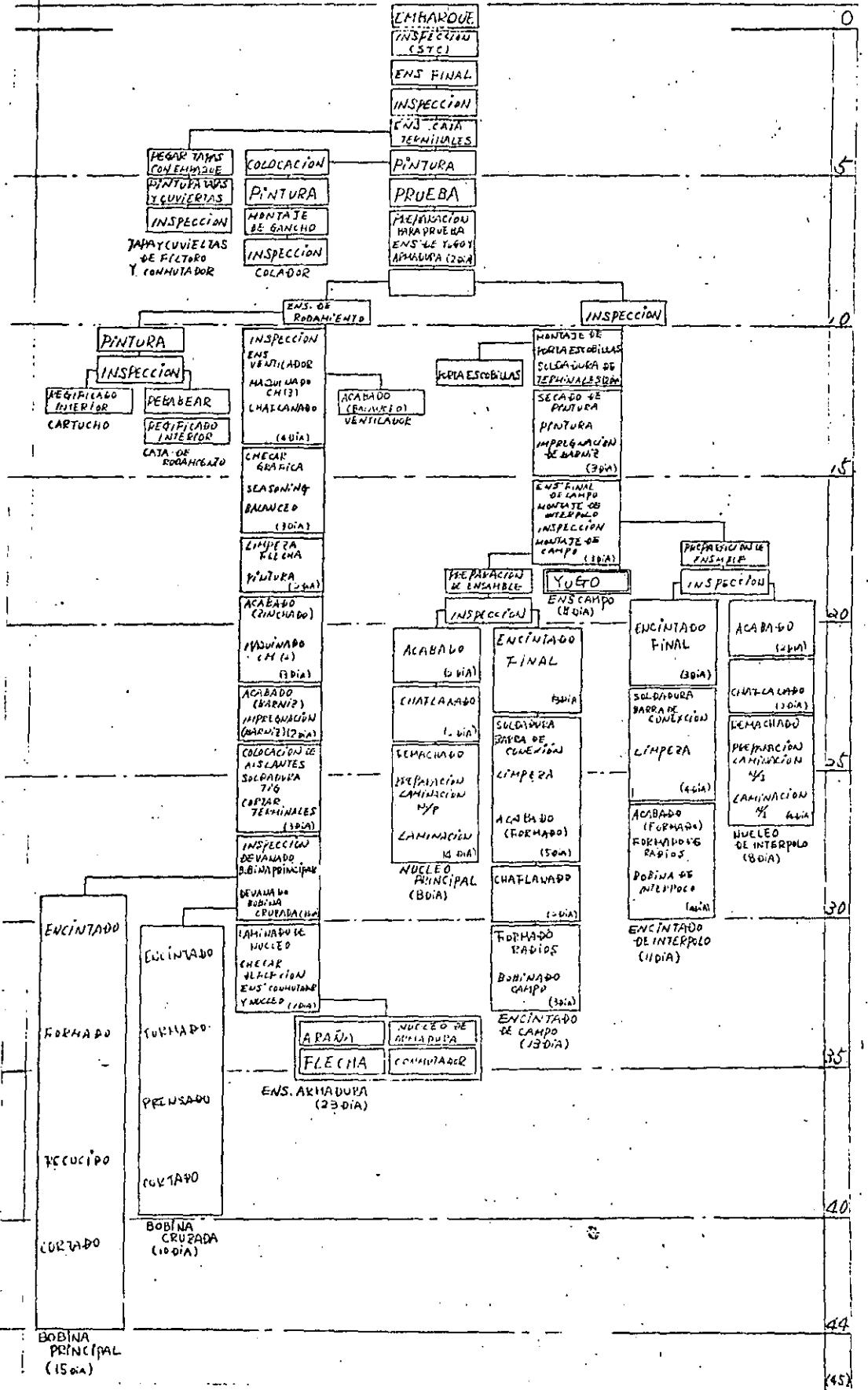
f).- EVOLUCION DE CIERTAS MEDIDAS.

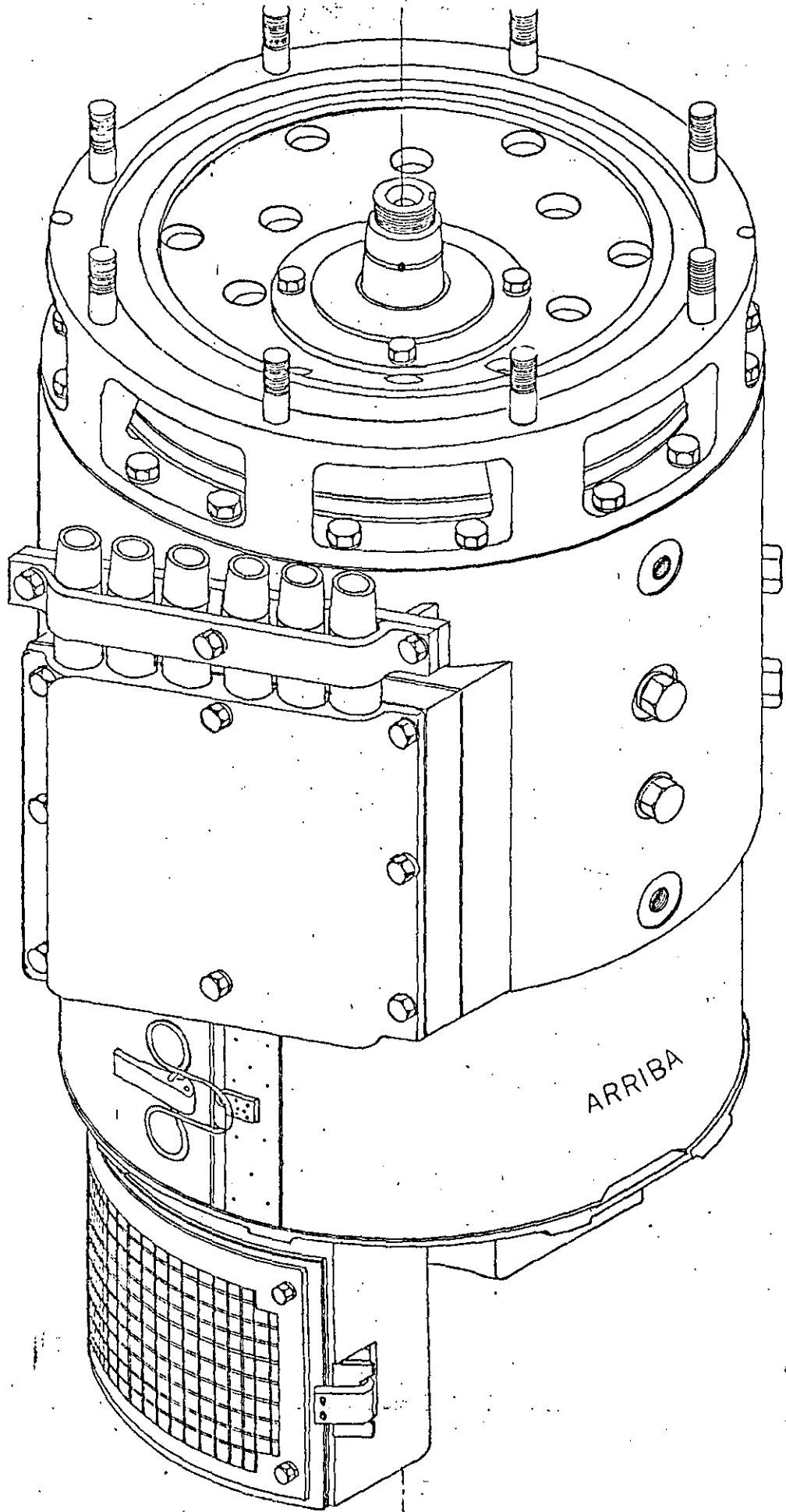
DE 1925 a 1965, CIERTOS PARAMETROS EN MEDIDAS CARACTERITICAS DE LOS MOTORES DE TRACCION, HAN EVOLUCIONADO CONSIDERABLEMENTE, ASI COMO LO INDICA EN LA TABLA SIGUIENTE:

VELOCIDAD PERIFERICA DEL INDUCIDO	SE HA MULTIPLICADO 2.8 VECES
VELOCIDAD PERIFERICA DEL COLECTOR	SE HA MULTIPLICADO 2.1 VECES
CARGA LINEICA	SE HA MULTIPLICADO 1.7 VECES
DENSIDAD DE CORRIENTE EN EL INDUCIDO	SE HA MULTIPLICADO 2.0 VECES
FACTOR DE CONMUTACION (ADLN 10-5)	SE HA MULTIPLICADO 3.4 VECES
POTENCIA POR UNIDAD DE VOLUMEN DEL INDUCIDO.	SE HA MULTIPLICADO 3.75 VECES
INDUCCION MEDIA EN EL ENTREHIERRO	SE HA MULTIPLICADO 1.2 VECES
INDUCCION EN LA BASE DE LOS DIENTES	SE HA MULTIPLICADO 0.74 VECES
ANCHO DEL AISLAMIENTO ENTRE EL COBRE Y EL HIERRO EN LA RANURA	SE HA MULTIPLICADO 0.3 VECES



DIAGRAMA DE FLUJO DE TIEMPO DE LA (TIPON 202)

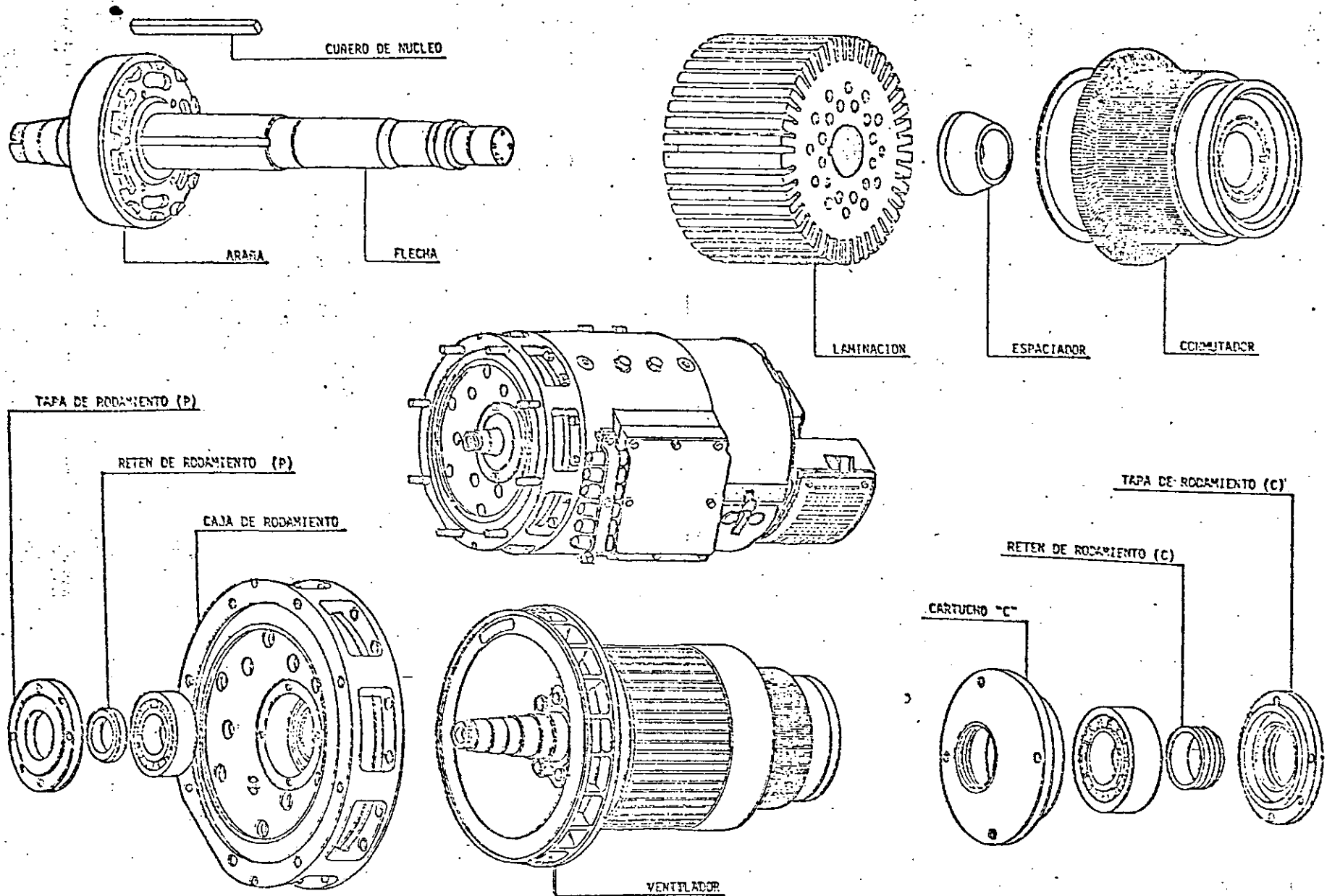


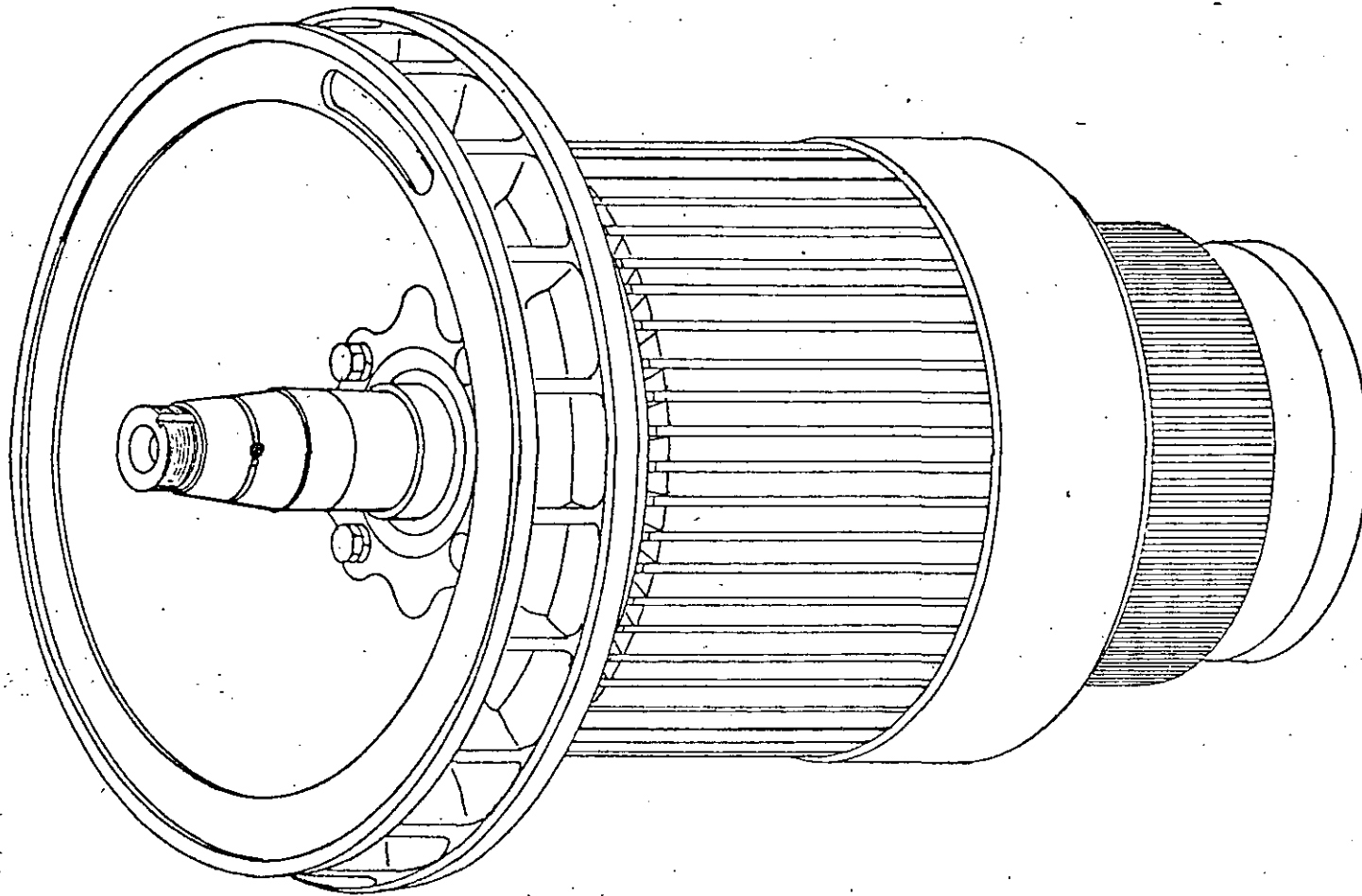


18-6-84 J. J. L.

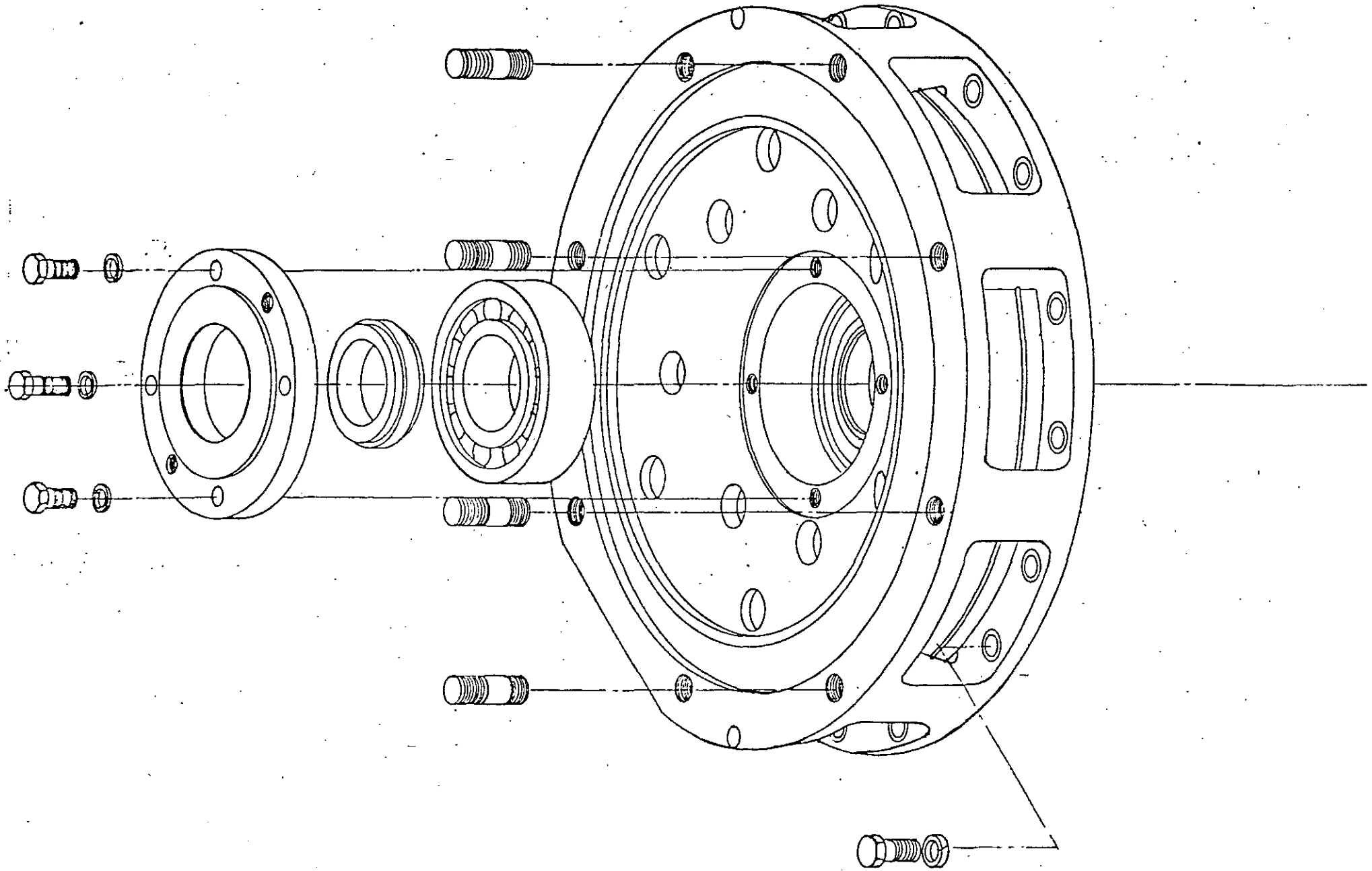
ARRIBA

MOTOR de TRACCION MB-3230-A

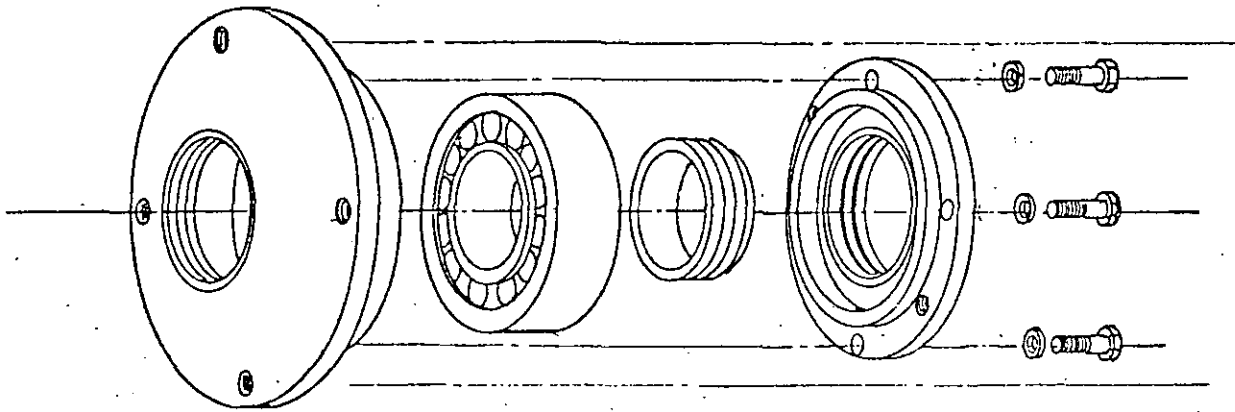




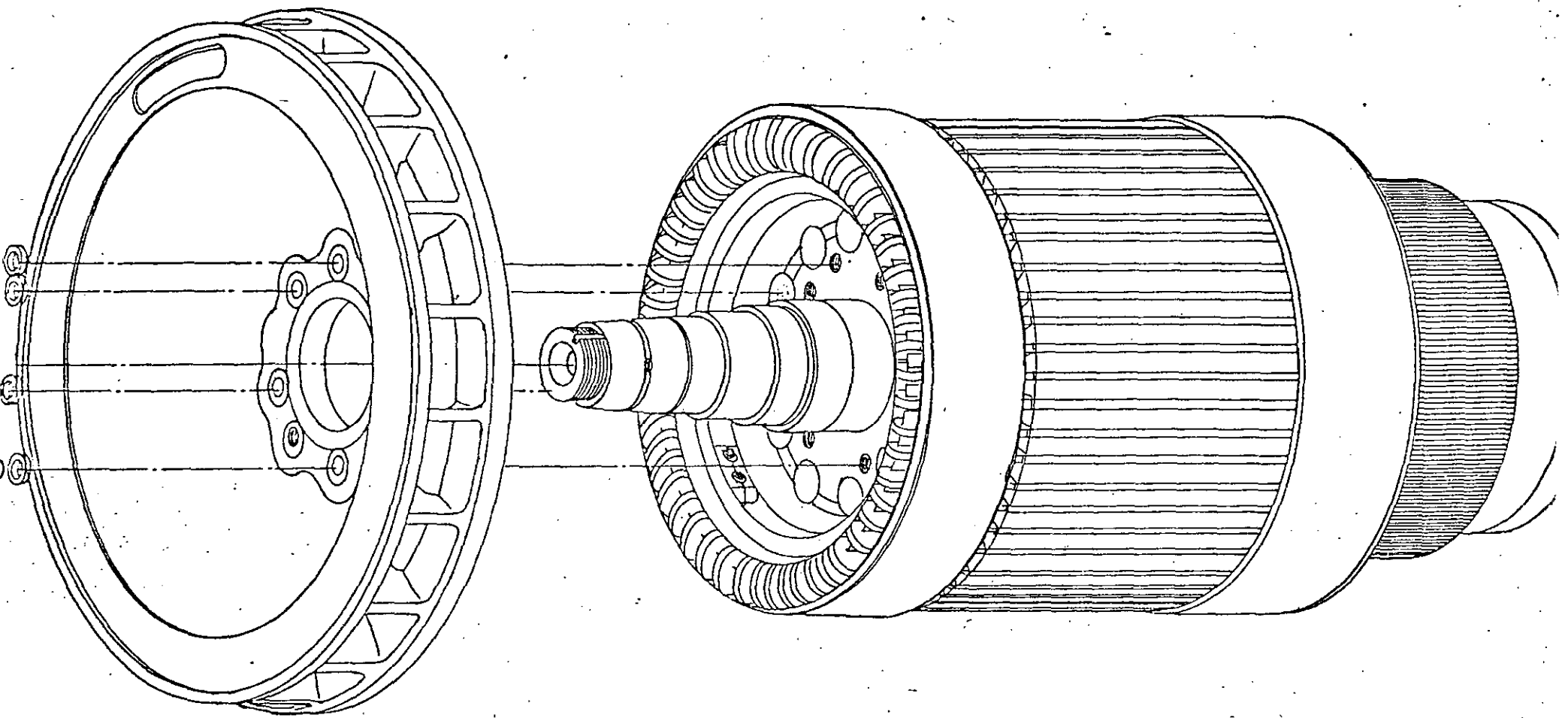
JULIO 24 DE 84 J. Subito



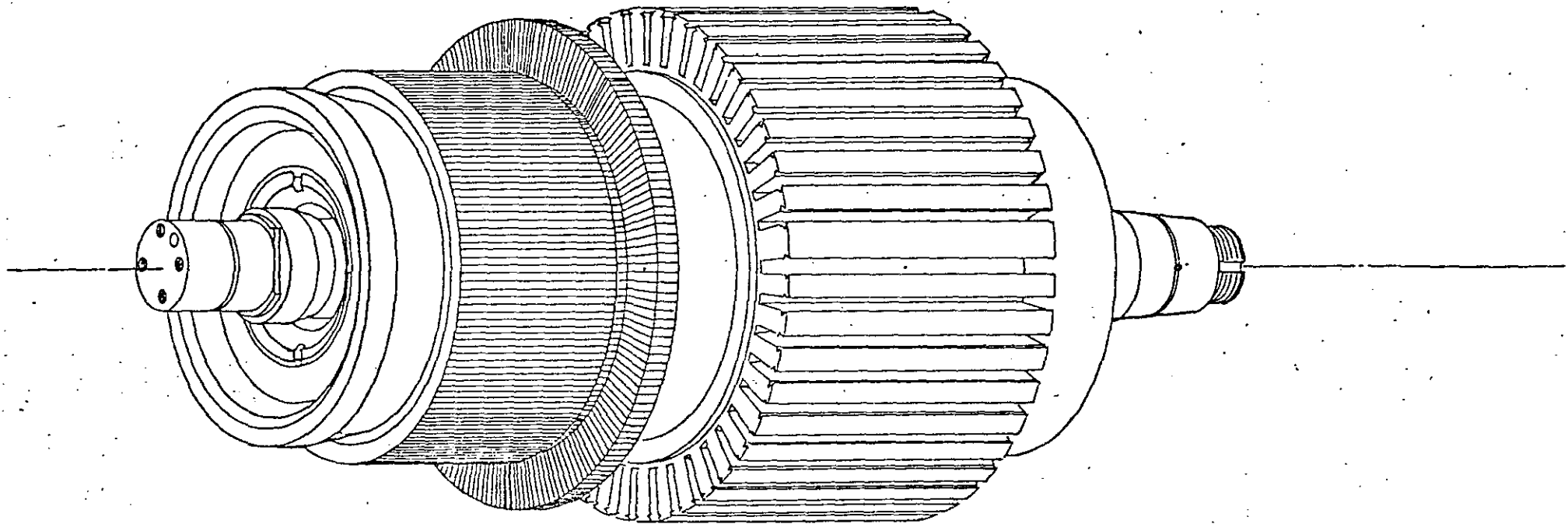
17-6-82 J. J. J. J.



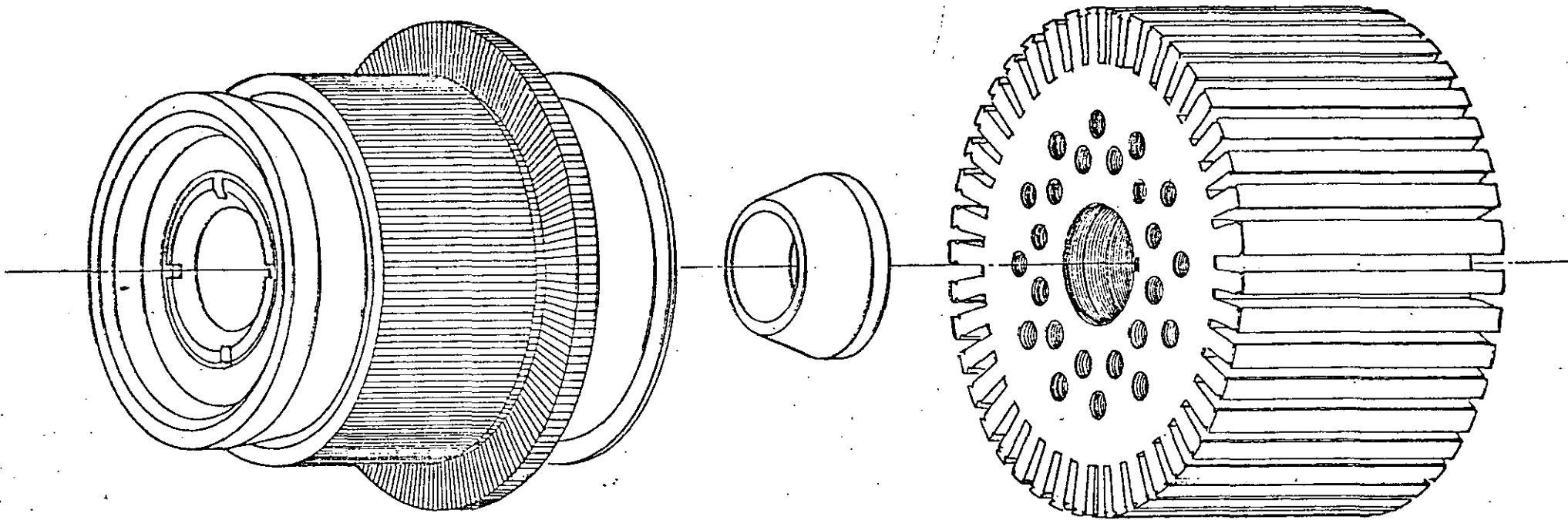
15-6-84 J. Roberts

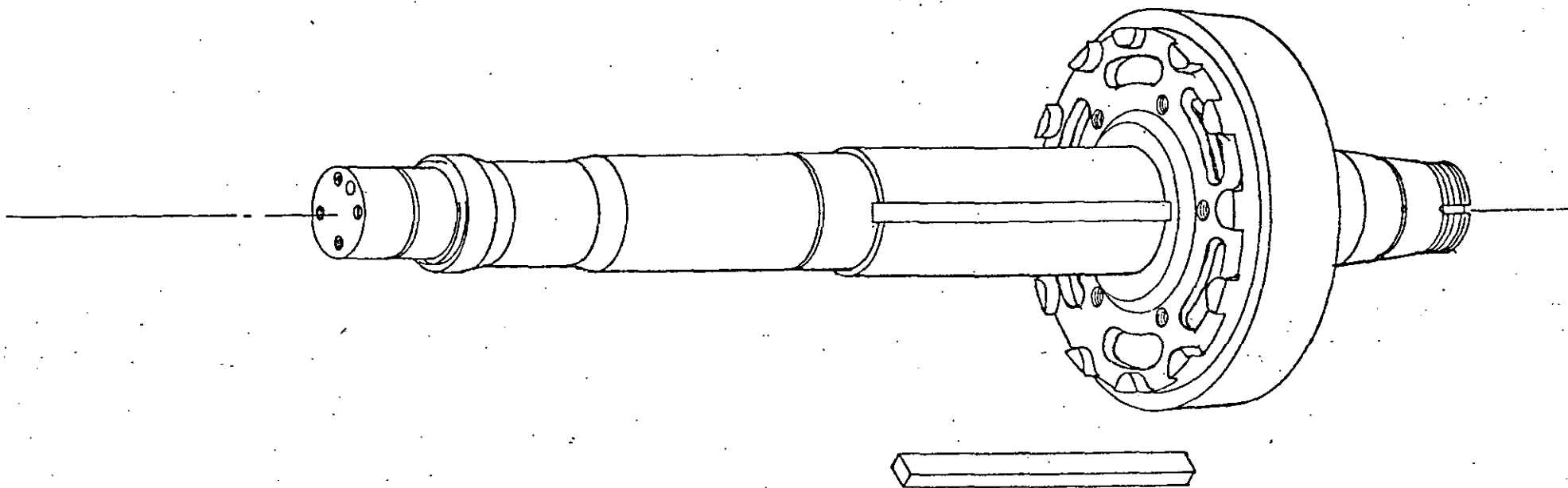


16-6-8A J. J. White



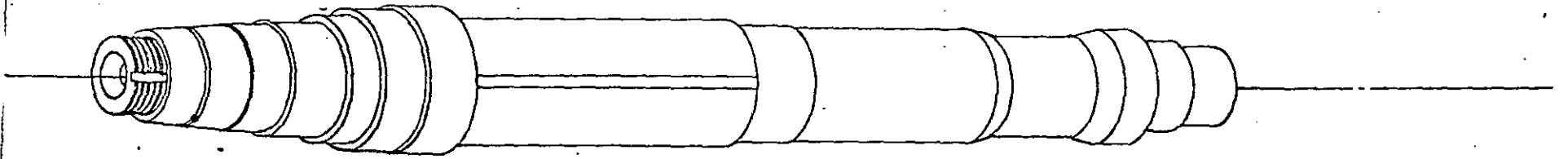
30-6-84 F.Jm



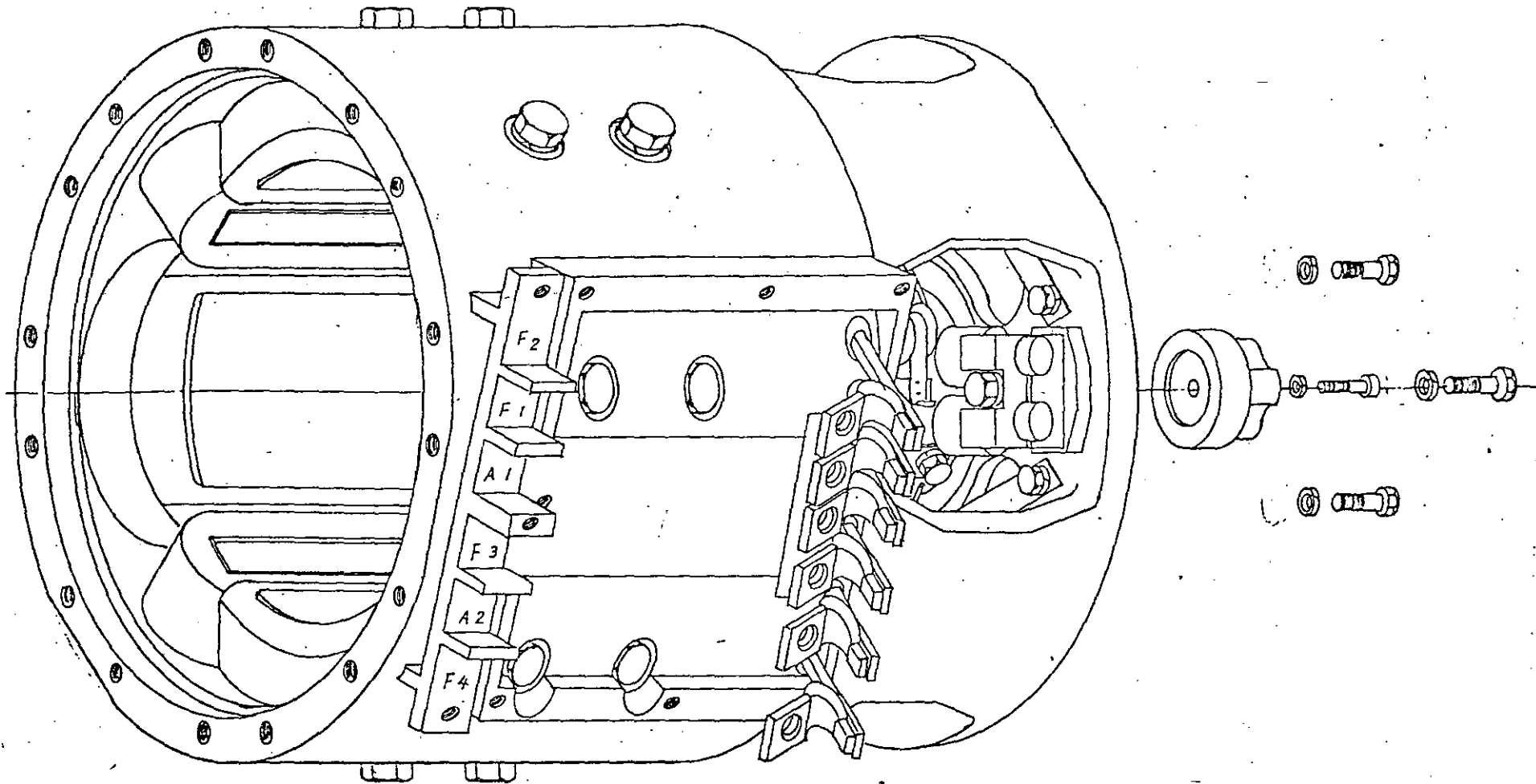


59

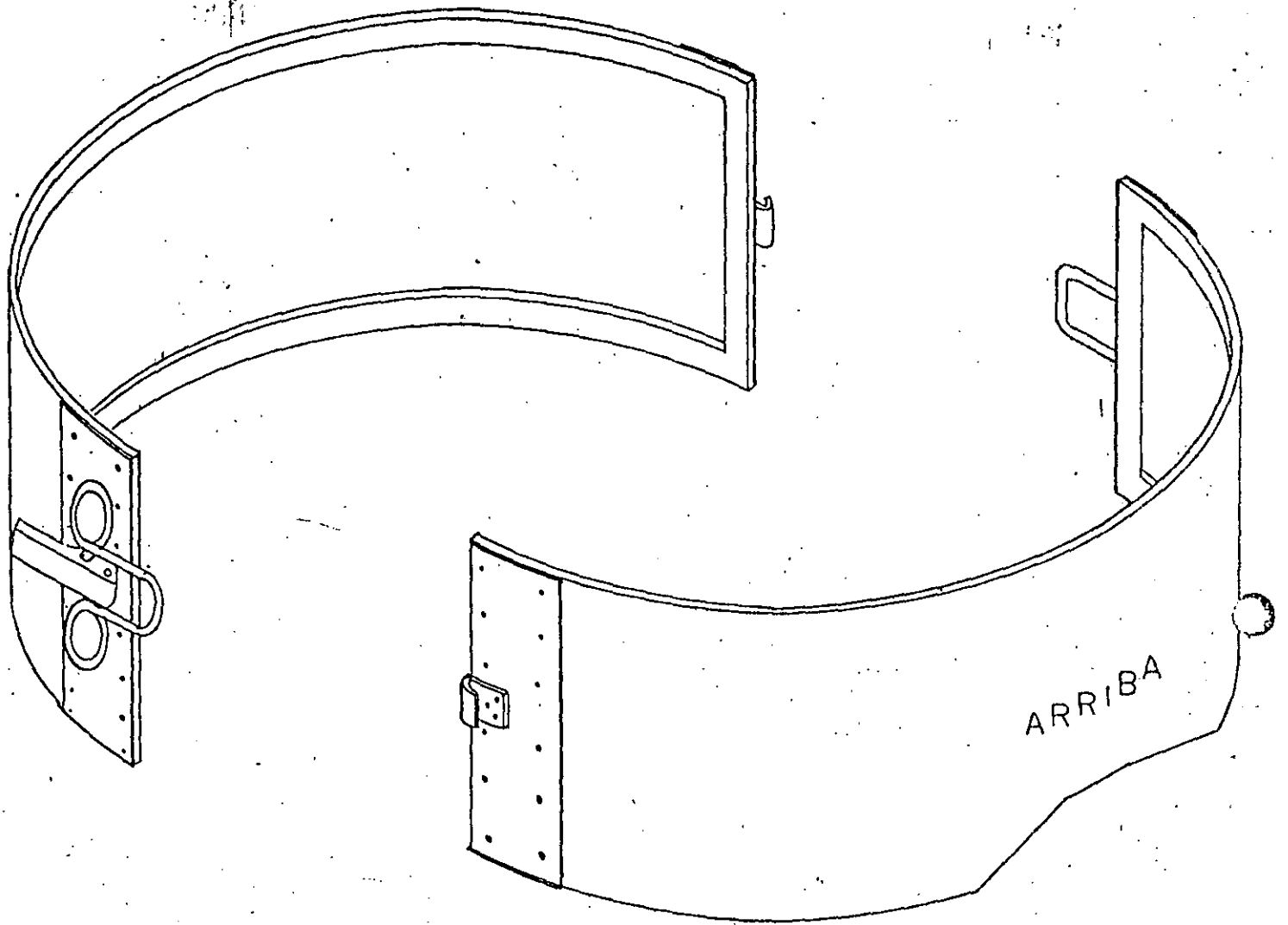
28-6-84 J. J. White

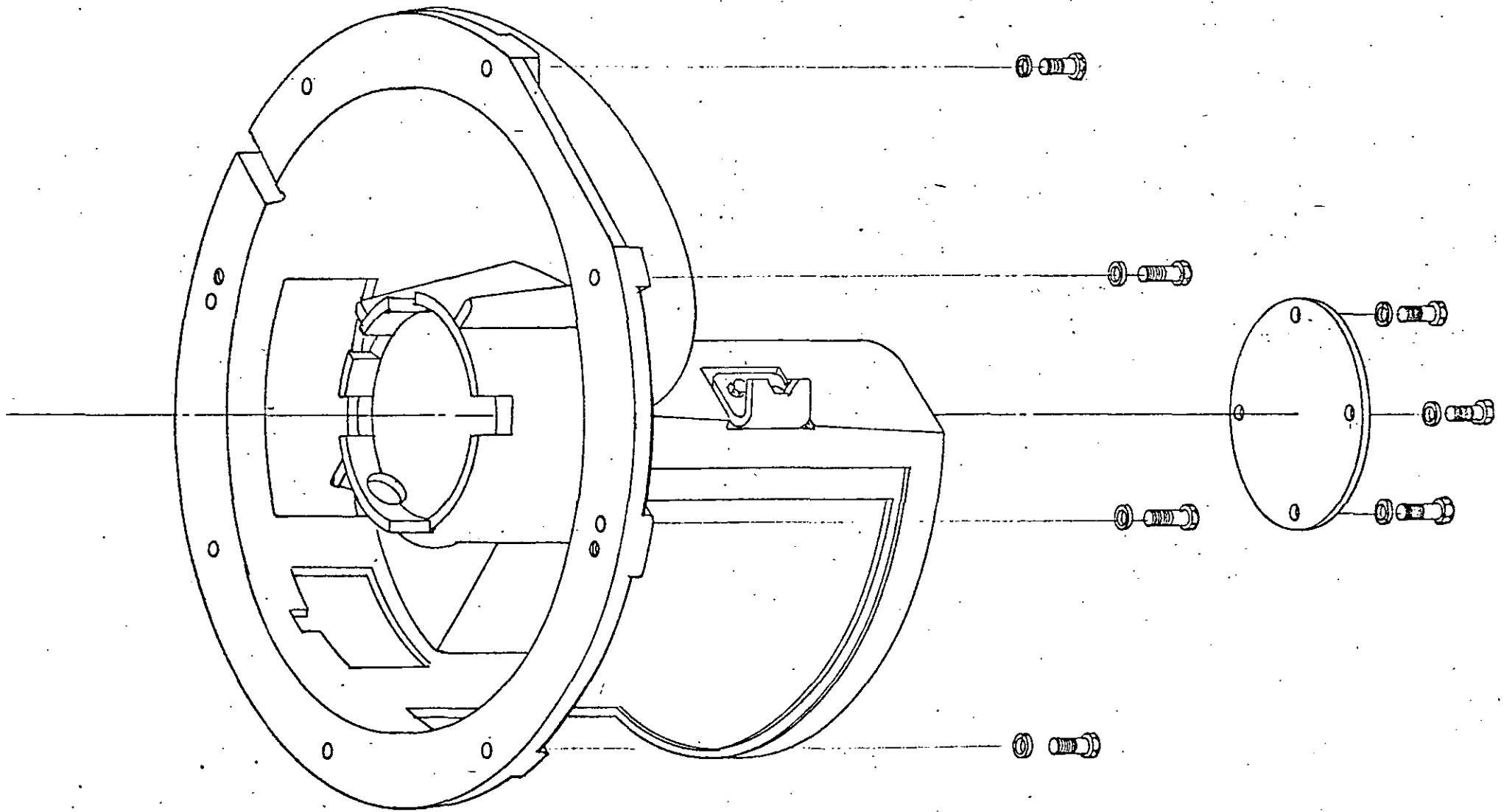


15-6-84 J. J. J. J.

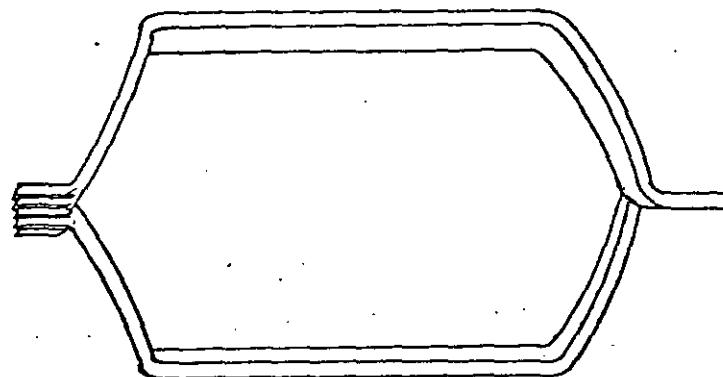
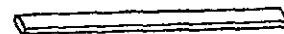
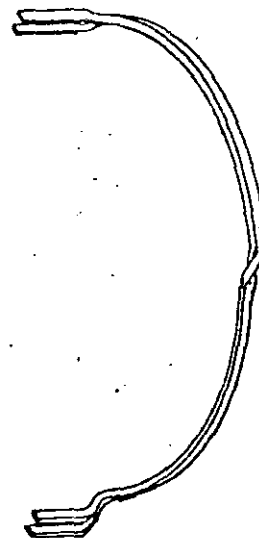
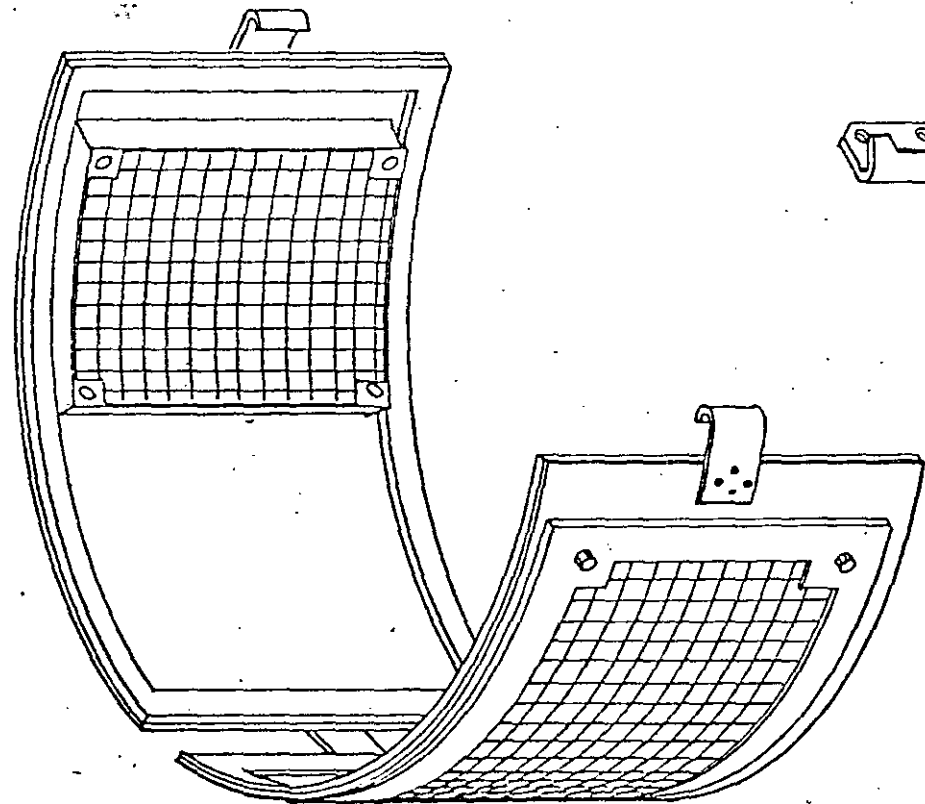


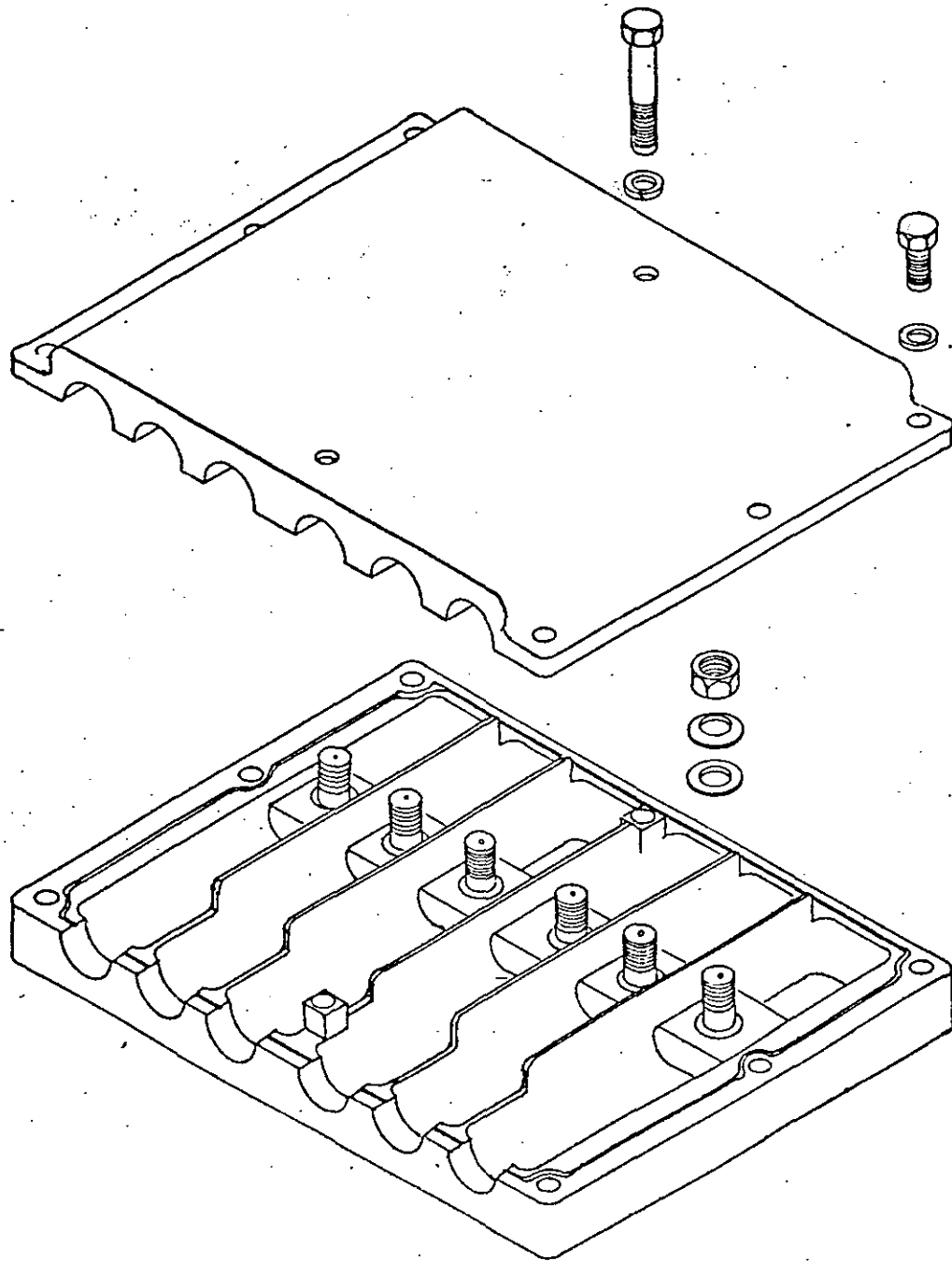
19-6-84 F. J. J. J.



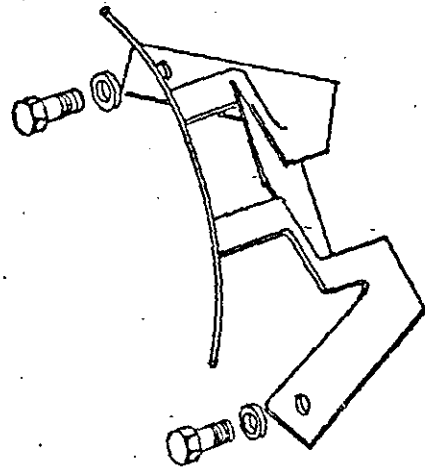
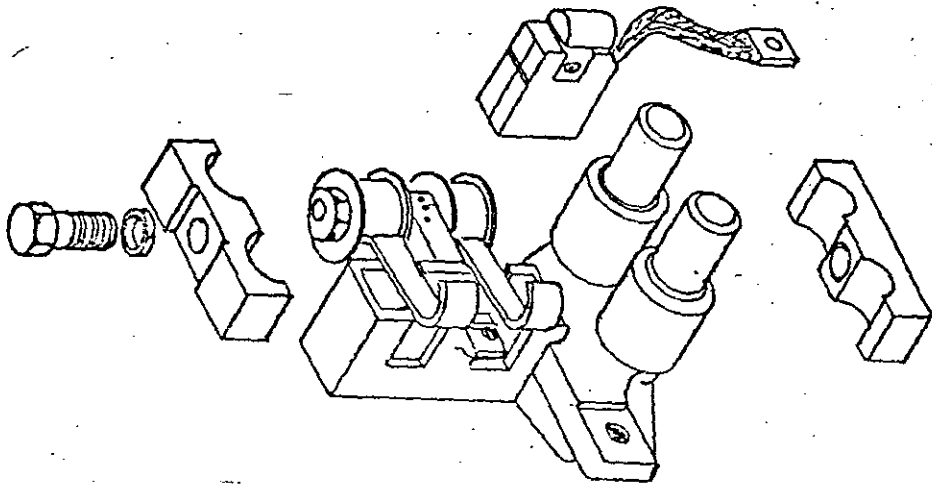
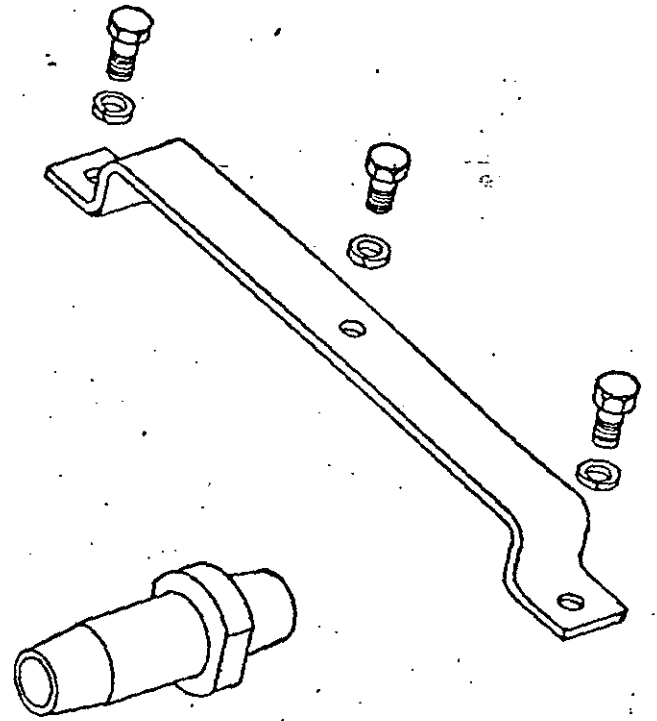
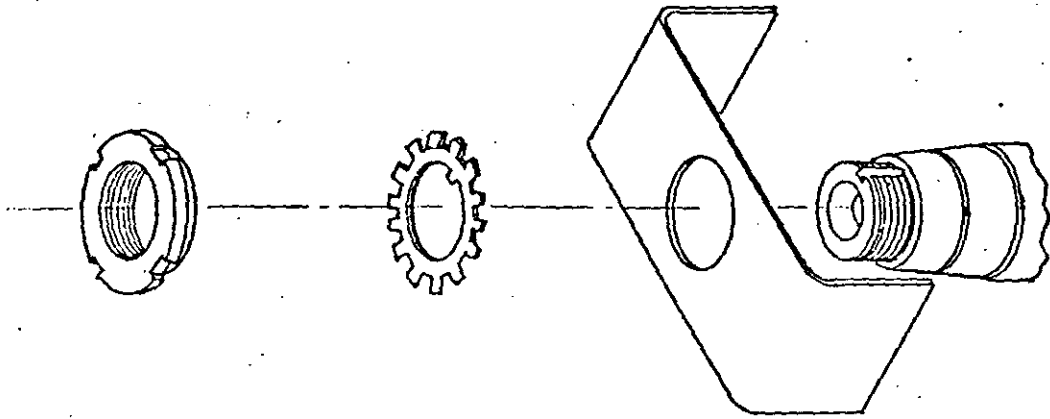


JULIO 23 DE 84 F. J. J. J.





JULIO 25 PE 27A J. J. J.



JULIO 23 02 84 F. J. J. J.



MELCO DE MEXICO S.A. CV

OFICINAS: MARIANO ESCOBEDO 69, TLALNEPANTLA, EDO. DE MEXICO
PLANTA: KM. 4 CARR. SAN JUAN DEL RIO-TEQUISQUIAPAN, QRO.

TELS.: 565-62-70/71 TELEX-MELCME 172637
TELS.: 210-45/49-99 TELEX-MELCME (SJ) 12803

SISTEMA DE ASEGURAMIENTO DE CALIDAD PARA MOTORES DE TRACCION

- 1.- PROCEDIMIENTO PARA ELABORACION DE NORMAS INTERNAS.
- 2.- PROCEDIMIENTO PARA ELABORACION DE DIBUJOS Y MODIFICACIONES A LOS MISMOS.
- 3.- PROCEDIMIENTO PARA ESTANDARIZACION Y NACIONALIZACION DE PARTES Y COMPONENTES.
- 4.- PROCEDIMIENTO PARA EL CONTROL DEL MEDIO AMBIENTE EN LAS AREAS DE MANUFACTURA.
- 5.- PROCEDIMIENTO DE INSPECCION Y AJUSTE A MAQUINARIA Y EQUIPO.
- 6.- PROCEDIMIENTO PARA CONTROL Y CALIBRACION DE INSTRUMENTOS DE MEDICION.
- 7.- PROCEDIMIENTO PARA CONTROL Y CALIBRACION DE PLANTILLAS Y HERRAMIENTAS.
- 8.- NORMAS DE INSPECCION DE RECEPCION PARA USO DEL DEPARTAMENTO DE COMPRAS.
- 9.- PROCEDIMIENTO DE INSPECCION DE RECEPCION Y EVALUACION DE PROVEEDORES.
- 10.- PROCEDIMIENTO DE INSPECCION DE MANUFACTURA DEL MOTOR DE TRACCION.
- 11.- PROCEDIMIENTO DE PRUEBAS SERIE Y TIPO PARA EL MOTOR DE TRACCION.
- 12.- ESTADISTICAS DE CONTROL DE CALIDAD.
- 13.- PROCEDIMIENTO PARA LA TOMA DE CONTRAMEDIDAS Y ACCIONES CORRECTIVAS.
- 14.- ACTIVIDADES PARA LA INTEGRACION DE CIRCULOS DE CALIDAD.
- 15.- AUDITORIAS DE CALIDAD.





MELCO DE MEXICO S.A. CV.

OFICINAS: MARIANO ESCOBEDO 60, TLALNEPANTLA, EDO. DE MEXICO

TELS.: 565-62-69/70 TELEX-MELCME 178637

PLANTA: KM. 4 CARR. SAN JUAN DEL RIO-TEQUISQUIAPAN, QRO.

TELS.: 210-45/49-99 TELEX-MELCME (SJ) 12803

PRUEBAS DEL MOTOR DE TRACCION

1.- EQUIPO GENERAL DE PRUEBAS

- 1.1. FUENTE PRINCIPAL DE POTENCIA
- 1.2. BANCO DE PRUEBAS
- 1.3. PUENTE AUXILIAR DE POTENCIA
- 1.4. BANCO DIELECTRICO.

2.- PRUEBAS.

- 2.1. PRUEBA DE VACIO
- 2.2. MEDICION DE RESISTENCIA
- 2.3. PRUEBA DE INCREMENTO DE TEMPERATURA
- 2.4. PRUEBA DE CONMUTACION
- 2.5. CURVAS CARACTERISTICAS DE VELOCIDAD
- 2.6. PRUEBA DE SOBREVELOCIDAD
- 2.7. MEDICION DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO
- 2.8. PRUEBA DIELECTRICA
- 2.9. MEDICION DE EFICIENCIA COMO MOTOR Y COMO GENERADOR
- 2.10. CURVA DE SATURACION EN VACIO
- 2.11. PRUEBA DE ARRANQUE
- 2.12. PRUEBA DE IMPEDANCIA
- 2.13. PRUEBA DE NIVEL DE RUIDO
- 2.14. PRUEBA DE IMPACTO
- 2.15. MEDICION DEL FLUJO DE AIRE.





**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

"DISEÑO Y FABRICACION DE EQUIPO ELECTRICO"

ARRANCADORES DE BAJA TENSION

ING. F. JAVIER BORJA S.

OCTUBRE, 1985.

ARRANCADORES DE BAJA TENSION

TEMARIO:

- QUE ES UN CONTACTOR.
- TIPOS DE CONTACTOR.
- PARTES DEL CONTACTOR.
- OPERACION DEL CONTACTOR.
- QUE ES UN RELEVADOR DE SOBRECARGA.
- TIPOS DE RELEVADOR.
- PARTES DEL RELEVADOR.
- OPERACION DEL RELEVADOR.
- QUE ES UN ARRANCADOR.
- TIPOS DE ARRANCADOR.
- FACTORES QUE DEBEN CONSIDERARSE PARA LA SELECCION DEL TIPO DE ARRANCADOR.
- TABLA COMPARATIVA.
- TABLA DE SELECCION.

ING. F. JAVIER BORJA S.
GERENTE DE MERCADOTECNIA.

1.- ¿ QUE ES UN CONTACTOR ?

Es un dispositivo actuado por medios electromagnéticos para abrir y cerrar un circuito eléctrico.

Son diseñados para soportar un largo número de operaciones mecánicas (millones) y eléctricas (miles).

La capacidad interruptiva de los contactores es baja comparada con la de interruptores.

2.- TIPOS DE CONTACTOR:

Atendiendo a que los circuitos de control para motores de C.A., demandan el uso de varios contactos que operan simultáneamente, los contactores de C.A., se construyen normalmente como contactores de polos múltiples de 2 hasta 5 polos que se pueden emplear en arrancadores a tensión plena (monofásicos), tensión reducida tipo autotransformador y en arrancadores para cambio del número de polos en motores. Existen dos diseños fundamentales de uso común en circuitos de 600 volts o menos:

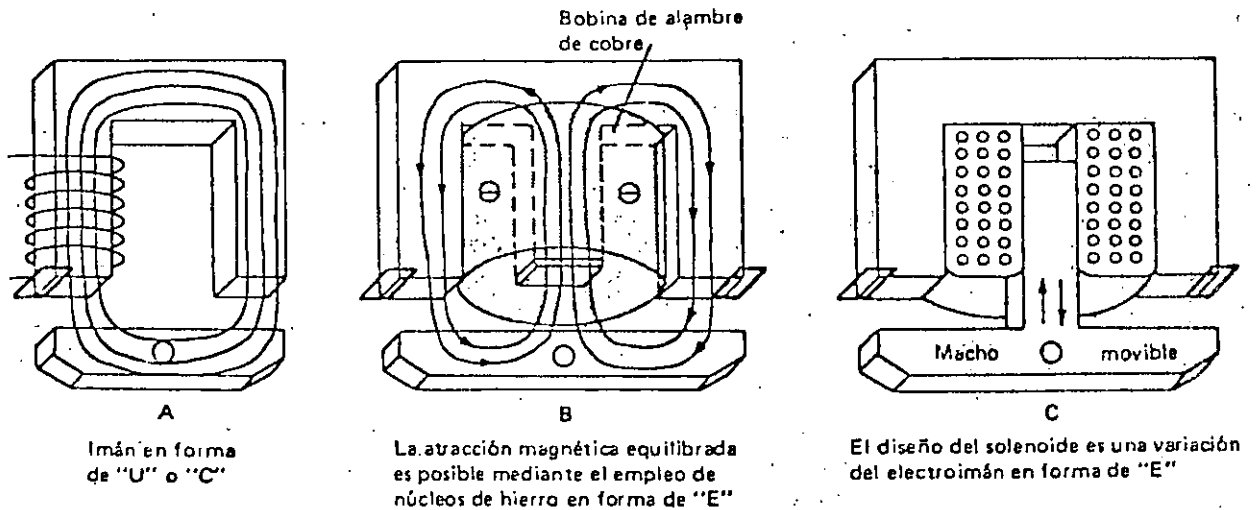
Tipo vertical.- Consiste de una armadura magnética que mueve o desplaza verticalmente los contactos móviles. Este diseño tiene la gran ventaja de su simplicidad y ha encontrado una gran aceptación hasta el tamaño 5. Tiene una capacidad de 300 Amp. en 8 hrs. Tiene el inconveniente que debido a la posición de sus contactos pueden almacenar polvo y basura.

Tipo horizontal.- Al igual que los del tipo vertical, la armadura magnética desplaza horizontalmente los contactos móviles, éste es un diseño que en realidad viene a ser una versión del tipo vertical, tiene el inconveniente de que si los resortes por algún motivo llegan a dejar de funcionar, los contactos se podrían quedar cerrados, cuando se necesitaría que abrieran el circuito.

Existe una versión más avanzada de este último, en él cual el movimiento vertical de la armadura móvil se transmite a los contactos en forma horizontal y la posibilidad de que los contactos se queden cerrados se eliminan debido a la acción de la gravedad sobre la armadura móvil.

3. - PARTES DEL CONTACTOR:

Magneto. - Las armaduras que más frecuentemente se emplean son tres:



TIPO " C " La armadura semeja un imán de C.C., el núcleo se extiende a través de la bobina y la armadura móvil está totalmente fuera de la bobina.

TIPO " E " La armadura tiene un núcleo de 3 piernas.

SOLENOIDE Este tipo tiene una armadura fija, su núcleo es un vástago que se aloja dentro de la bobina.

LOS TIPOS " C " Y " E " Se emplean por lo general en contactores grandes; mientras que los del tipo solenoide se emplean más en pequeños contactores y relevadores.

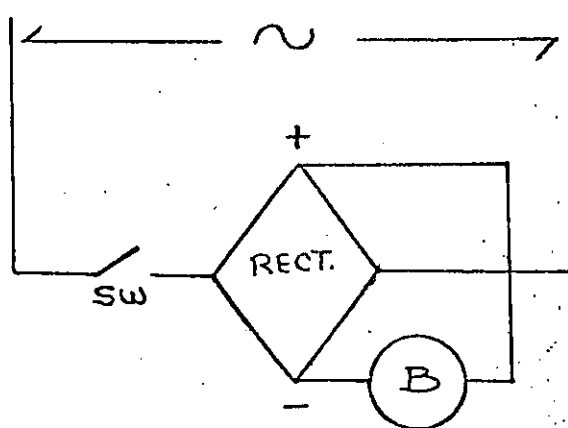
Esta acción es causa de un eventual desfiguramiento de la laminación. Las armaduras magnéticas de C.A., tienen inherentemente una vida más corta que las de C.C., en sus tamaños equivalentes.

Los contactores de C.A., al igual que los de C.C., se pueden sostener sellados por flujo residual cuando la bobina se desenergiza, aunque éste fenómeno no es tan pronunciado como en los contactores de C.C., es recomendable proveer un pequeño entrehierro en el diseño de la armadura.

Resulta difícil construir armaduras magnéticas para C.A., de gran tamaño que tengan una vida satisfactoria; por esta razón muchos contactores de tamaño grande se construyen con armadura para C.C. Esta construcción se usa más frecuentemente para contactores de 600 Amp. y más, también se puede obtener esta construcción para capacidades menores. En adición a una vida mecánica más larga, las armaduras magnéticas para C.C., tienen la ventaja de que no presentan problema de ruido.

Cualquier armadura magnética de C.A. produce un ligero zumbido que puede ser objetable cuando los contactores se instalan en áreas de silencio como escuelas, hospitales o habitaciones.

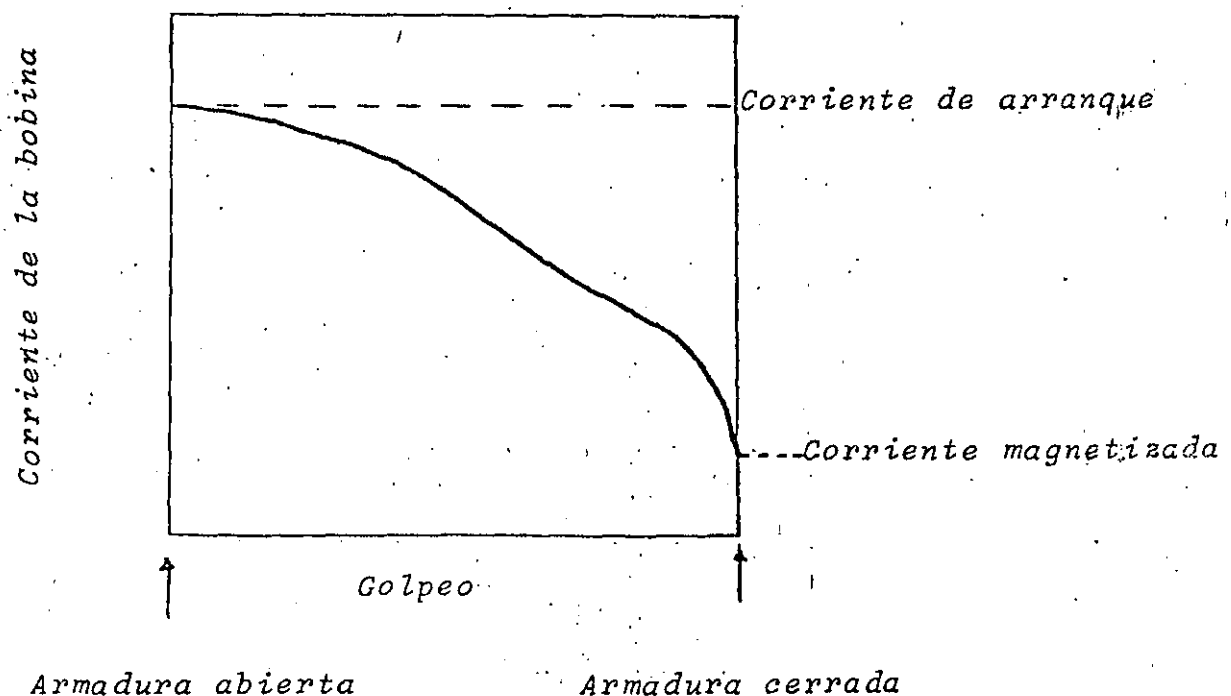
Circuitos típicos de control con C.C. para contactores de C.A. (de 600 Amp. y más).



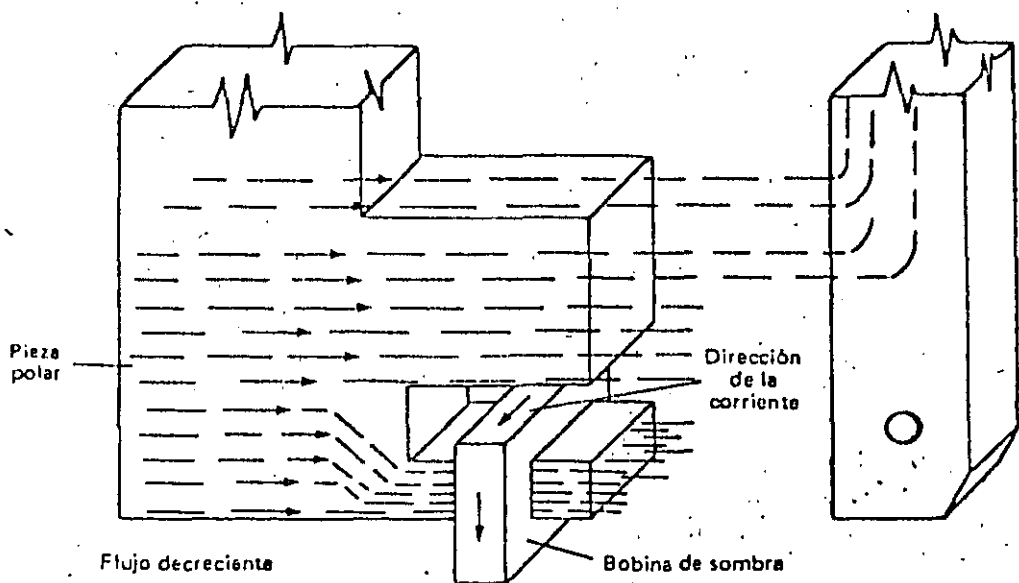
CONEXION PARA RECTIFICADOR DE ONDA COMPLETA.

La corriente en la bobina en armaduras de C.A., está determinada por la impedancia, consistiendo esta de reactancia y resistencia. Cuando la armadura está abierta, el entrehierro es largo; consecuentemente la reactancia (y la impedancia) es baja. La bobina demanda una alta corriente de arranque. A medida que la armadura cierra, el entrehierro se va haciendo más y más pequeño, con lo cual la reactancia aumenta y la corriente en la bobina disminuye. Cuando la armadura está cerrada, la corriente baja a la corriente magnetizante que es suficiente para mantener sellado el contactor contra la fuerza de los resortes en los contactos.

La siguiente figura muestra la relación corriente en la bobina contra fuerza en la armadura es decir la distancia por recorrer de la armadura entre la posición de abierta y la posición de cerrada aunque la forma exacta de la curva de corriente varía con el diseño de la armadura, la forma general de la curva es típica.

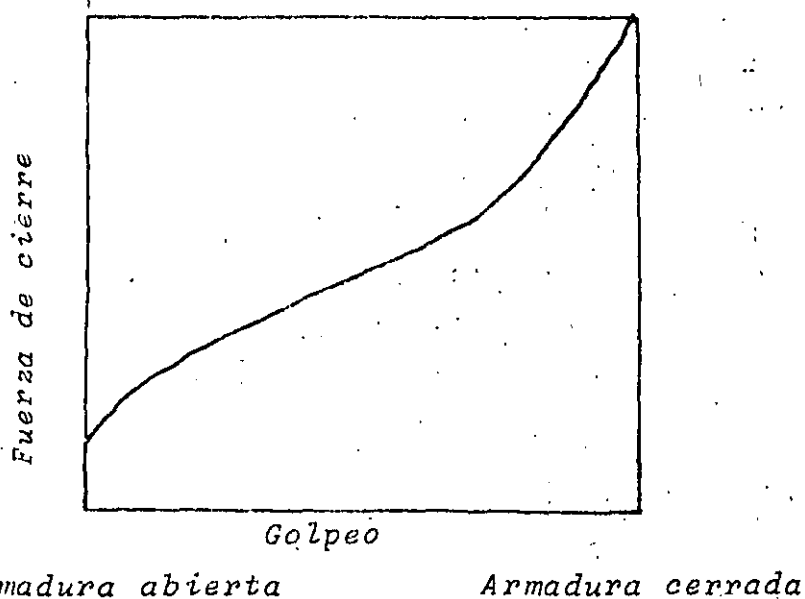


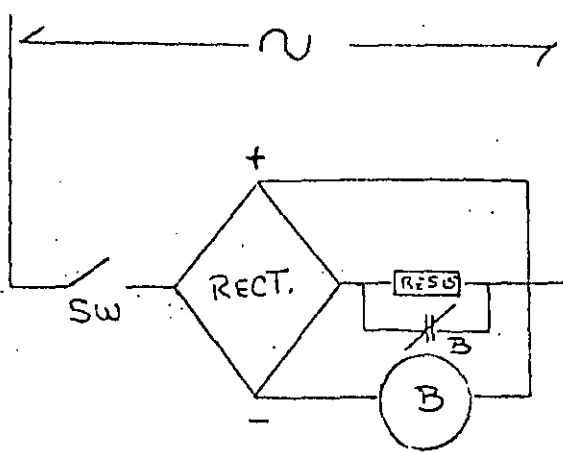
Cuando la bobina magnética se conecta a un circuito de control de C.A., la corriente magnetizante y el flujo magnético pasan por cero dos veces cada ciclo y la armadura tiende a abrir en cada inversión de flujo magnético. Esta condición puede originar vibración de la armadura, causando ruido y una prematura destrucción de la armadura por altos esfuerzos mecánicos. Para evitar la vibración se incluye una bobina auxiliar que recibe el nombre de "bobina de sombra", la cual se inserta en la cara polar de la armadura magnética. La "bobina de sombra" es una espira en corto circuito, de material conductor, puede ser troquelada o preformada de alambre, la corriente alterna que circula a través de ella se induce por el flujo alterno principal en la armadura magnética. La Resistencia y Reactancia de la bobina están proporcionadas en forma tal que la corriente inducida esté defasada 120° con el flujo principal. Siempre que el flujo principal pase por cero la bobina de sombra contribuye con un flujo auxiliar que mantiene cerrada la armadura magnética.



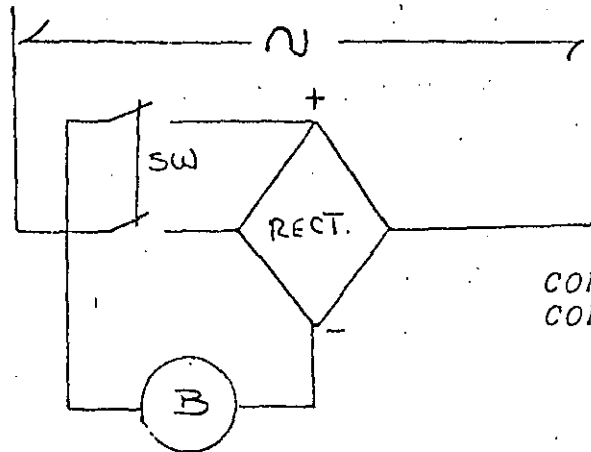
La relación de la corriente de arranque a la corriente magnetizante generalmente es baja para solenoides y alta para armaduras " E ". Las armaduras " C " caen entre estos dos valores. Se debe tomar en cuenta la corriente de arranque cuando se seleccionen relevadores o dispositivos pilotos para controlar contactores de C.A. Muy cerca de la posición de cerrado la corriente en la bobina cae subitamente; y un muy pequeño entrehierro en el circuito magnético puede causar una reducción súbita de la reactancia, produciendo un incremento apreciable de la corriente magnetizante con un resultante calentamiento. Siendo necesario mantener por esta razón limpias las superficies de sello entre las armaduras magnéticas para evitar sobrecalentamiento de la bobina.

La figura a continuación muestra la curva de la fuerza magnética con la cual es atraída la armadura a su posición de cerrado. Con la armadura abierta se ejerce una fuerza de bajo valor, pero suficiente para vencer el peso de la armadura y ponerla en movimiento. A medida que la armadura se aproxima a su posición de cerrado, la fuerza aumenta primero gradualmente y luego rápidamente. Cuando la armadura cierra, la fuerza alcanza un valor muy alto cerrando contra la armadura magnética fija como si fuera un martillo neumático.





CONEXION PARA RECTIFICADOR MAS ECONOMICO.



CONEXION PARA DESCONEXION RAPIDA.

Bobinas: Los contactores standard de C.A., se diseñan de tal manera que el contactor cierra cuando la tensión de control es de 15% abajo de la normal y su bobina no se sobrecalienta cuando la tensión de control es de 10% arriba de la normal. Cuando es necesario checar la caída de tensión en las terminales de control de la bobina se debe tomar en cuenta la corriente de arranque de la bobina para asegurarse de que la tensión aplicada no sea menor de 85% del valor normal, cuando fluya la corriente de arranque.

La desventaja de tener tensiones de control bajas es obvia. Si la tensión de control a través de las terminales de la bobina está por abajo del valor de la tensión de cierre del contactor, el contactor no funcionará adecuadamente. Si la bobina permanece energizada, sin que el contactor haya cerrado, la alta corriente de arranque originará calentamiento y la destrucción de la bobina.

No tan obvio sino también de importancia son las desventajas debidas a las altas tensiones de control. Si la tensión de control es más alta que la normal, la corriente magnetizante es mayor consecuentemente la bobina eleva su temperatura deteriorando más rapidamente su aislamiento. Sin embargo este efecto es de importancia secundaria. De mayor importancia es el efecto de las sobretensiones en la vida de la armadura magnética puesto que la fuerza con la cual se desplaza la armadura magnética móvil contra la fija es aproximadamente proporcional al cuadrado de la tensión de control aplicada a las terminales de la bobina, las tensiones de control tienen un efecto decisivo en la vida del contactor. Por lo tanto si las tensiones de control son considerablemente más altas que las normales, se deben emplear bobinas especiales con objeto de obtener una vida satisfactoria del contactor.

La corriente magnetizante en las bobinas de C.A. varía según la relación de la tensión y la frecuencia esto es, la misma bobina se puede usar para varias tensiones, observando que la tensión y la frecuencia varien con la misma relación. Por ejemplo una bobina de 110 V., 25 ciclos se puede usar en un circuito de control de 220 V., 60 ciclos.

Cuando se tienen circuitos de control de gran longitud entre los contactos de control y las bobinas de C.A., por ejemplo 300 metros o más, la capacitancia de los alambres terminales llega a ser tan alta que mantiene la tensión a través de las bobinas de los pequeños contactores o relevadores, por un período de tiempo de manera que los contactores abrirán lentamente o parcialmente cuando el circuito de control se interrumpe. Esta condición se puede remediar conectando una resistencia en paralelo con cada bobina, la cual suministra una trayectoria a través de la cual se puede descargar la carga capacitiva de los alambres terminales.

Contactos. - Constitución de los contactos - Interrupción del arco : Por lo que se refiere a conducción de corriente no hay diferencia entre contactos para C.A. o C.C. La misma consideración gobierna el diseño de los contactos para contactores de C.A. o C.C.

Existe una diferencia distintiva entre la interrupción de un arco de C.A. y uno de C.C. Cuando se interrumpe corriente alterna, la corriente pasa por cero dos veces cada ciclo. En cada punto de cero corriente el arco se extingue momentáneamente.

El restablecimiento o no restablecimiento de un arco depende entre otras cosas de la separación de los contactos y de la tensión entre los contactos durante el siguiente $1/2$ ciclo.

Para una cierta distancia entre contactos se requiere una mayor tensión para establecer un arco que para mantenerlo. Por lo tanto una corriente alterna se puede interrumpir con menos separación entre contactos y menos elongación del arco, que una corriente continua.

Los contactores para C.A., se diseñan de tal manera que se puedan emplear como contactores de línea para motores de C.A., Jaula de Ardilla. La sobrecarga más alta que un contactor puede manejar es la corriente a rotor bloqueado del motor, la cual es para motores de aplicaciones generales del orden de 6 veces la corriente normal a plena carga. Por esto y con objeto de tener cierto factor de seguridad, las normas NEMA establecen que los contactores de C.A., deben ser capaces de interrumpir 10 veces la corriente a plena carga del motor más grande para el cual el contactor se puede usar.

Bajo estas condiciones de tiene inevitablemente una cierta pérdida de material por interrupción del arco. Sin embargo se puede mantener una cantidad razonable mediante un diseño adecuado del contacto y la selección de un material adecuado.

En un contactor del tipo vertical los contactos son de plata-cobre de doble ruptura, la armadura móvil con sus puentes que hacen contacto con un par de contactos fijos en cada polo. Cuando el contactor abre se introducen dos rupturas en la trayectoria del arco en cada polo y la distancia de arqueo efectiva es dos veces la separación física entre contactos fijos y móviles y sin la presencia de soplos magnéticos. Los contactos están alojados en una cavidad adentro de la cámara de arqueo que sirve para confinar el arco y separar los polos uno de otro, reduciendo al mínimo el peligro de establecer un cortocircuito entre polos. La cámara de arqueo consiste de un material aislante resistente al arco eléctrico; la extinción del arco se efectúa como un resultado del enfriamiento en las superficies de la cavidad de la cámara de arqueo. En los contactores de mayor tamaño se utilizan insertos metálicos y moldeados en la cámaras de arqueo para ayudar al enfriamiento del arco. Debido a la configuración de los contactos y a las partes conductoras se obtiene cierto efecto de soplo magnético, pero de mucho menor valor que el obtenido con bobinas de soplo magnético, con la tendencia de estrechar el arco y forzarlo contra las paredes de la cámara de arqueo, mejorando el efecto enfriante.

La configuración de la cámara de arqueo y el tamaño de la cavidad son de importancia. Si la cavidad es demasiado pequeña la ionización es excesiva y el arco no puede ser extinguido. Si la cavidad es demasiado grande el arco no se enfria adecuadamente. El diseño de la cámara de arqueo no está basado en el análisis, sino más bien es determinado experimentalmente por pruebas de carga. El contactor se carga con el motor de mayor tamaño dentro de su anticipada capacidad, bloqueando entonces su rotor mecánicamente para simular una condición de rotor bloqueado. Las pruebas de carga se llevan a cabo en varios desarrollos de diseño de cámaras de arqueo hasta que ocurre la falla, determinando en esta forma los diseños más efectivos de cámaras de arqueo.

La velocidad de apertura de los contactos es igualmente de importancia. Para la interrupción de arcos de C.C., es esencial que los contactos se aparten a alta velocidad con objeto de alargar el arco rápidamente. Para la interrupción de arcos de C.A. contrariamente a lo que ocurre en C.C. no se requiere de una alta velocidad de apertura. La mejor interrupción se obtiene cuando el arco es extinguido en forma natural cuando la corriente pasa por cero y no hay restablecimiento en el subsecuente $1/2$ ciclo. Es preferible una moderada velocidad inicial de apertura. La apertura de los contactos no debe ser demasiado lenta pues de otra manera el arco se destruirá por demasiados ciclos antes de que se logre su extinción.

Cuando el contactor interrumpe un circuito con carga resistiva, la corriente y el voltaje pasan por cero simultáneamente. Sin embargo cuando se interrumpe un circuito inductivo, el voltaje está cerca de su máximo cuando la corriente pasa por cero, con una mayor tendencia a restablecer el arco. Por lo tanto los circuitos inductivos son más difíciles de interrumpir que los circuitos resistivos.

Capacidad de los contactores.- NEMA tiene establecidas las capacidades normales para contactores bajo la base de corriente y caballos de fuerza. La capacidad de corriente es la corriente que el contactor puede llevar por 8 hrs., siendo equivalente a capacidad continua pero sin exceder la sobreelevación de temperatura permitida cuando el contactor se instala en un medio abierto. (y sin caja). La capacidad en H.P. determina el motor más grande que el contactor puede conectar a la línea.

Las capacidades en H.P. de los contactores se basan en las corrientes a plena carga, las cuales naturalmente varían con el tipo de motor, su velocidad y su diferente manufactura.

Con objeto de reglamentar las capacidades en una base común, los fabricantes de control industrial han aceptado como una base de capacidad la media de las corrientes a ple-

na carga publicadas en el Código Nacional Eléctrico (NEC) como una base para seleccionar calibres de alambres y cables. El factor de seguridad tomado en cuenta en los contactores - construídos hoy en día permite soportar corrientes un poco mayor que las estipuladas en la placa de datos.

El análisis de las capacidades revelara que las corrientes a plena carga de los motores en la lista de capacidades son más pequeñas que las capacidades en amperes para contactores abiertos - 8 Hrs. La explicación para esta discrepancia es la siguiente:

Los contactores para arrancadores de motores a tensión plena son encerrados por lo general en gabinetes comparativamente pequeños, los cuales interfieren con la disipación de calor del contactor.

Por lo tanto la capacidad de conducción en amperes de un contactor encerrado se considera de 90% de su capacidad en amperes operando sin gabinete (tipo abierto). Además, los motores de C.A. para usos generales tienen un factor de servicio de 115% (motores americanos) lo cual significa que pueden soportar 115% de su carga nominal sin que el sobrecalentamiento (por encima de los $40^{\circ} C$) dañe el aislamiento del embobinado.

Las capacidades de los contactores han sido establecidas de manera que puedan soportar ese 15% de sobrecarga sin ningún daño para el contactor y conducir normalmente la corriente a plena carga sin exceder la sobreelevación de temperatura permitida de $65^{\circ} C$ en los contactos, $50^{\circ} C$ para los derivados (shunts), cintas y flexibles y terminales y $90^{\circ} C$ para las bobinas de extinción del arco, todo esto cuando se instala dentro de un gabinete. La capacidad interruptiva de 10 veces la capacidad nominal en amperes se basa también en la corriente a carga plena del motor más grande para el cual está designado el contactor.

La tabla " I " a continuación , nos proporciona la lista de las capacidades normales de NEMA para contactores que se usen en la línea con:

CAPACIDADES NORMALES NEMA DE CONTACTORES PARA C.A. EN BAJA TENSION

CAPACIDAD EN H. P.

TAMAÑO	CAP. EN AMPS. 8 HRS. ABIERTO	110 VOLTS.		220 VOLTS.		440 y 550 VOLTS.	
		3Ø	1Ø	3Ø	1Ø	3Ø	1Ø
00	10	3/4	1/2	1	3/4	1	1 1/2
0	15	1 1/2	1	2	1 1/2	2	5
1	25	3	1 1/2	5	3	7 1/2	10
2	50	7 1/2	3	15	7 1/2	25	25
3	100	15	7 1/2	30	15	50	
4	150	25		50		100	
5	300			100		200	
6	600			200		400	
7	900			300		600	
8	1350			450		900	
9	2500			800		1600	

TABLA " II "

CAPACIDADES NORMALES NEMA DE CONTACTORES PARA C.A. PARA SERVICIO PESADO DE ARRANQUES PULSATIVOS Y PAROS CON FRENADO POR CONTRA-CORRIENTE. (JOGGING - PLUG - STOP)

CAPACIDAD EN H. P.

TAMAÑO	110 VOLTS.		220 VOLTS.		440 - 550 VOLTS.	
	3Ø	1Ø	3Ø	1Ø	3Ø	1Ø
00	1/3	1/4	1/2	1/3	1/2	
0	3/4	1/2	1	3/4	1	3/4
1	2	1	3	2	5	3
2	5	2	10	5	15	7 1/2
3	10	5	20	10	30	15
4	15		30		60	
5			75		150	
6			150		300	

- a) Arrancadores a tensión plena, 1 velocidad para motores jaula de ardilla.
- b) Arrancadores a tensión plena, velocidad múltiple, para motores jaula de ardilla de par constante o variable.
- c) En Arrancadores de motor de rotor devanado con resistencia secundaria.

Como contactores de aceleración en: Arrancadores a tensión reducida de paso sencillo, para motores jaula de ardilla, - debiendo tener la misma capacidad que el contactor de línea para contactores de línea con una capacidad de 8Hrs. , de 300 Amp. o menos.

Si el contactor de línea es de más de 300 Amp. el contactor de aceleración puede ser un tamaño más chico que el contactor de línea. Si se usa más de un paso de aceleración, los contactores de aceleración se seleccionan de manera que su capacidad en 8 Hrs., para cada paso no sea menor de 1/6 de la corriente máxima en ese paso.

Las capacidades indicadas en la tabla " I " se aplican a condiciones medias de operación normal es decir, cuando los motores no son arrancados o caldos frecuentemente (jogging plugging)

Cuando los motores se someten a frecuentes arranques y paros por contracorriente, requiriendo el contactor más de 5 aperturas por minuto, los contactores seleccionados según la tabla " I " se sobrecalentarán y sufrirán un excesivo desgaste en los contactos. Por lo tanto NEMA ha establecido las capacidades que se indican en la tabla " II "

100.5
10
3/4
3
7 1/2
15

Otra excepción de la tabla " I " es la capacidad de contactos cuando se usan en arrancadores a tensión plena, para motores de velocidad múltiple de potencia constante, cuando se usen para arranques frecuentes y paros por contracorriente. Las capacidades se dan en la tabla " III "

CAPACIDADES NORMALES NEMA PARA MOTORES JAULA DE ARDILLA DE VELOCIDAD MULTIPLE.

<u>TAMAÑO</u>	<u>CAP. EN AMPS.</u> <u>TIPO ABIERTO 8 HRS.</u>	<u>CAPACIDAD EN H.P.</u>		
		<u>110 VOLTS.</u>	<u>220 VOLTS.</u>	<u>440 VOLTS</u>
00		3/4	3/4	
0	15	1	1 1/2	2
1	25	1 1/2	3	5
2	50	5	10	20
3	100	10	20	40
4	150	15	30	60
5	300		75	150
6	600		150	300

Cuando los contactores se usan como contactores de línea para arrancadores de motores sincronos se aplica la tabla " IV "

CAPACIDADES NORMALES NEMA DE CONTACTORES PARA MOTORES SINCRONOS

CAPACIDAD EN H.P.

<u>TAMAÑO</u>	<u>CAP. EN AMPERES TIPO ABIERTO 8HRS.</u>	<u>220 VOLTS.</u>		<u>440 - 550 VOLTS.</u>	
		<u>1.0 F.P.</u>	<u>0.8 F.P.</u>	<u>1.0 F.P.</u>	<u>0.8 F.P.</u>
2	50	20	15	30	25
3	100	40	30	60	50
4	150	60	50	125	100
5	300	125	100	250	200
6	600	250	200	500	400
7	900	350	300	700	600
8	1350	500	400	1000	800
9	2500	1000	800	2000	1600

Para servicio intermitente como en grúas se han establecido capacidades especiales del orden de 1/3 más de la capacidad de 8 Hrs. para 100 Amp. o más.

TABLA " V "

CAPACIDADES NORMALES NEMA PARA CONTACTORES DE C. A., PARA CARGAS DE LAMPARAS INCANDESCENTES

<u>TAMAÑO</u>	<u>CAP. EN AMPERES TIPO ABIERTO 8 HRS.</u>	<u>CAP. EN AMPERES CARGA DE LAMP. INC.</u>
00	10	5
0	15	8
1	25	12
2	50	30
3	100	60
4	150	120
5	300	240
6	600	480

NOTA. - PARA LAMPARAS FLOURESCENTES LA CAPACIDAD ES 100% Y 90% EN TIPO CERRADO.

TABLA " VI "

CAPACIDADES NORMALES NEMA PARA CONTACTORES PARA CARGA DE CAPACITORES

<u>TAMAÑO</u>	<u>CAMP. EN AMPS.</u> <u>8 HRS. ABIERTO</u>	<u>CAPACIDAD 3Ø EN KVAR.</u>		
		<u>230 VOLTS.</u>	<u>460 VOLTS.</u>	<u>575 VOLTS</u>
2	50	13	26	33
3	100	27	53	67
4	150	40	80	100
5	300	80	160	200
6	600	160	320	400
7	900	240	480	600
8	1350	360	720	900
9	2500	665	1325	1670

TABLA " VII "

CAPACIDADES NORMALES NEMA PARA CONTACTORES DE C. A., PARA CARGAS RESISTIVAS DE CALEFACCION.

<u>TAMAÑO</u>	<u>CAP. EN AMPS.</u> <u>8HRS. ABIERTO</u>	<u>CARGA DE CALEFACCION 1Ø (KW)</u>			
		<u>115 V.</u>	<u>230 V.</u>	<u>440 V.</u>	<u>550 V.</u>
1	25	2.5	5	10	12.5
2	50	5	10	20	25
3	100	10	20	40	50
4	150	15	30	60	75
5	300	30	60	120	150
6	600	60	120	240	300
7	900	90	180	360	450

1.- ¿ QUE ES UN ARRANCADOR ?

Es el medio para conectar y desconectar un motor, contando con protección por sobrecarga.

2.- TIPOS DE ARRANCADOR.

Para motores de corriente alterna en baja tensión hasta 600 Volts, se tienen los siguientes tipos de arranque:

a) tensión plena.

b) tensión reducida: Devanado bipartido.
Resistencias primarias.
Estrella - Delta.
Autotransformador.

3.- FACTORES QUE DEBEN CONSIDERARSE PARA LA SELECCION DEL TIPO DE ARRANCADOR.

Para decidir si se usa un arrancador a tensión plena o a tensión reducida se debe considerar:

a) Si la alimentación esta contratada en B. T.

Ajustarse a los limites establecidos por la Cía suministradora.

b) Si la alimentación esta contratada en A. T.

- Verificar que no causa problemas en A. T.

- Si no provocan caídas de tensión importante en la distribución.

c) Las características del motor, las cuales deberán satisfacer los requerimientos de la carga.

Un motor típico arrancado a voltaje pleno, desarrolla aproximadamente 150% del torque de plena carga, en el arranque y demanda una corriente de la fuente de aproximadamente el 600% de la corriente de plena carga.

Estos valores pueden exceder las limitaciones mecánicas de la carga o las eléctricas de la fuente, o ambas.

TAMAÑOCAP. EN AMPS.
8 HRS. ABIERTOCARGA DE CALEFACCION 3Ø (KW)
110 V. 220 V. 440 V. 550 V.

TAMAÑO	CAP. EN AMPS. 8 HRS. ABIERTO	110 V.	220 V.	440 V.	550 V.
1	25	4	8	17	21
2	50	8.5	17	34	43
3	100	17	34	68	86
4	150	26	52	105	130
5	300	52	105	210	260
6	600	105	210	415	515
7	900	155	315	625	775

Transformadores. - En transformadores de alumbrado de diseño moderno con bajas pérdidas la corriente magnetizante es del orden de 20 veces o más la corriente normal en el primario, valor que debe tomarse en cuenta al emplear contactores magnéticos con capacidad de 8 Hrs.

Marco. - Polimero (lexan) plástico termoestable cuyas características de resistencia a las altas temperaturas, mecánicas y dieléctricas, son ideales para contener, confinar y aislar a los elementos del contactor.

La operación del contactor es tan simple como se muestra en la figura de la derecha y consiste en la transmisión de un movimiento vertical en uno horizontal; al energizarse la bobina, el magneto móvil es atraído y el brazo de palanca cierra los contactos de fuerza. Cuando la bobina se desenergiza el magneto móvil cae por gravedad y los contactos se abren.

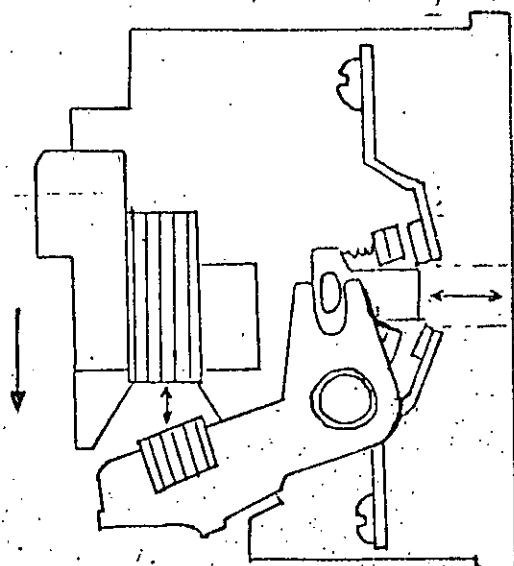


TABLA COMPARATIVA

Tipo de Arrancador	Características en % de los valores a voltaje pleno			VENTAJAS	DESVENTAJAS
	Voltaje del Motor	Corriente de Línea	Par de Arranque		
Autotransformador	80	64	64	<ol style="list-style-type: none"> Proporciona mayor par por amper de corriente de línea. Las derivaciones en el autotransformador permiten ajustes en el arranque. Conveniente para períodos largos de arranque. Arranque con transición cerrada. Durante el arranque, la corriente del motor es mayor que la corriente de línea. 	<ol style="list-style-type: none"> En potencias de bajo caballaje su aplicación es más cara. Bajo factor de potencia.
	65	42	42		
	50	25	25		
Resistencia Primarias	70	70	49	<ol style="list-style-type: none"> Aceleración suave el voltaje del motor se incrementa con la velocidad. Alto factor de potencia durante el arranque. Arranque con transición cerrada. En potencia de bajo caballaje su aplicación es menos cara que con autotransformador. Disponible con cuando menos 7 puntos de aceleración. 	<ol style="list-style-type: none"> Eficiencia del par baja. La resistencia libera calor. Arranques en exceso de 5 segundos requieren resistencias muy caras. El ajuste del voltaje de arranque es difícil para llenar condiciones variables.
Devanado Bipartido	100	65	48	<ol style="list-style-type: none"> Es el más económico de los 4 enlistados. Arranque con transición cerrada. La mayoría de los motores con voltaje dual pueden ser arrancados con devanado bipartido en el menor de los dos voltajes. 	<ol style="list-style-type: none"> No conveniente para cargas con alta inercia, que requieran arranques muy prolongados. Requiere un diseño especial del motor para voltajes mayores que 230 Volts.
Estrella Delta	100	33 1/3	33 1/3	<ol style="list-style-type: none"> Costo moderado menor que el de resistencia primaria o autotransformador. Conveniente para cargas con alta inercia que requieran arranques muy prolongados. Eficiencia del par alta. 	<ol style="list-style-type: none"> Requiere diseño especial del motor. Par de arranque bajo.

TABLA DE SELECCION

CARACTERISTICA NECESARIA	TIPO DE ARRANCADOR A USAR (Listado en orden de recomendación)	COMENTARIOS
Mínimo corriente de línea	<ol style="list-style-type: none"> Auto Transformador Estrella - Delta Devanado Bipartido Resistencia Primario 	Alternativas similares entre 1 y 2 ó entre 3 y 4.
Aceleración suave	<ol style="list-style-type: none"> Resistencia Primario Estrella - Delta Auto Transformador Devanado Bipartido 	
Alto par de arranque	<ol style="list-style-type: none"> Auto Transformador Resistencia Primario Devanado Bipartido 	El motor de devanado bipartido no es capaz de acelerar al 100% la carga hasta que el segundo devanado sea conectado.
Conveniencia por larga aceleración	<ol style="list-style-type: none"> Auto Transformador Estrella - Delta Resistencia Primario 	Para esta clasificación el arrancador de resistencia primaria debe ser provisto con una resistencia adecuada para uso en larga aceleración.
Conveniencia por frecuentes arranques	<ol style="list-style-type: none"> Resistencia Primario Auto Transformador Estrella - Delta 	En general el motor de devanado bipartido es inadecuado para arranques frecuentes.
Para fáciles cargas de arranque	<ol style="list-style-type: none"> Devanado Bipartido Estrella - Delta Resistencia Primario Auto Transformador 	
Bajo costo	<ol style="list-style-type: none"> Devanado Bipartido Estrella - Delta Auto Transformador Resistencia Primario 	Enlistado en orden del precio del arrancador por HP.



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

"DISEÑO Y FABRICACION DE EQUIPO ELECTRICO"

LA APLICACION DE RELEVADORES DE SOBRECARGA TERMICOS

OCTUBRE, 1985.

Los relevadores térmicos de sobrecarga sensores de corriente, resistentes, confiables y versátiles, son el medio más usado para la protección de motores. Sin embargo, es precisamente su versatilidad y la facilidad de alterar el punto de operación, la causá de que su aplicación inadecuada sea tan común. Este, Primero de Tres Artículos indica que factores hay que tomar en cuenta para ...

LA APLICACION DE RELEVADORES DE SOBRECARGA TERMICOS

Cierto motor, en una planta en Nueva Inglaterra, necesita 56 segundos para arrancar con carga normal. El motor de un pozo petrolero en Oklahoma sufrirá daños muy importantes si su rotor se bloquea y el motor no se desconecta de la línea en menos de 20 segundos. El motor de una banda transportadora en una planta de potasio en Florida puede resistir un 25 por ciento de sobrecarga durante 30 minutos, pero el motor hermético de un compresor en Minnesota puede quemarse en 3 minutos con la misma cantidad de sobrecarga.

Existe un factor común a todos estos casos hipotéticos. La protección contra sobrecarga debe ser aplicada adecuadamente en cada caso. El dispositivo de protección debe ser compatible con los requisitos de la corriente de arranque y también con los de protección, cuando se presenten corrientes anormales de sobrecarga. ¿Qué tipo de protección contra sobrecarga debe aplicarse en cada caso?

En la actualidad el ingeniero de planta se enfrenta con una variedad asombrosa de situaciones para la aplicación de motores. Muchas de ellas requieren motores especiales que necesitan esquemas especiales de protección. Aún cuando se utilicen motores "estándar", comunes, la importante tarea de seleccionar la protección adecuada no debe, ni tiene que hacerse de una manera empírica y al azar.

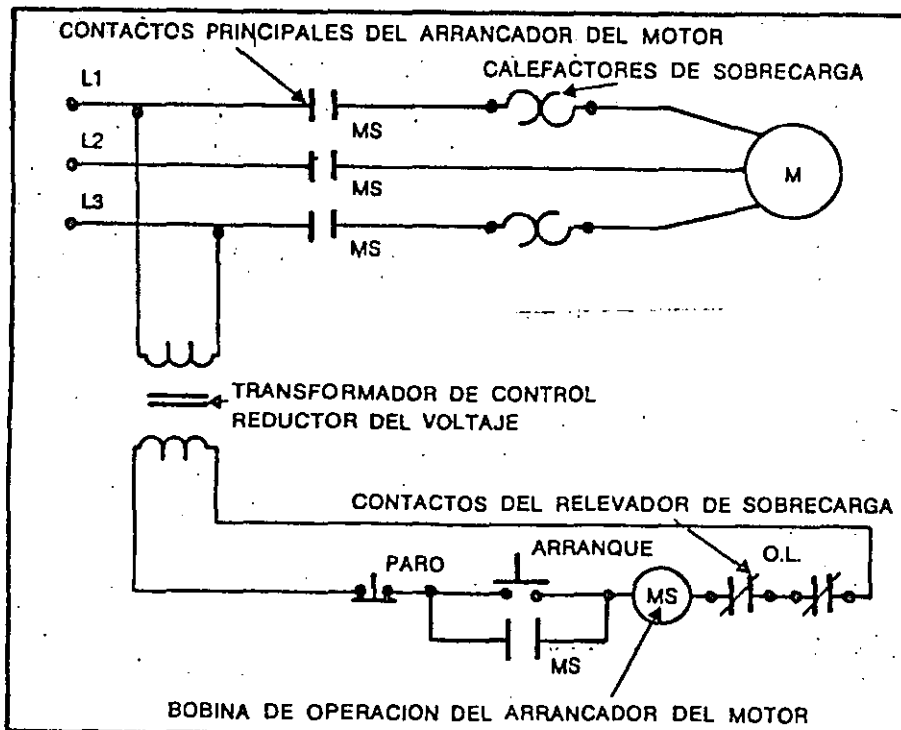
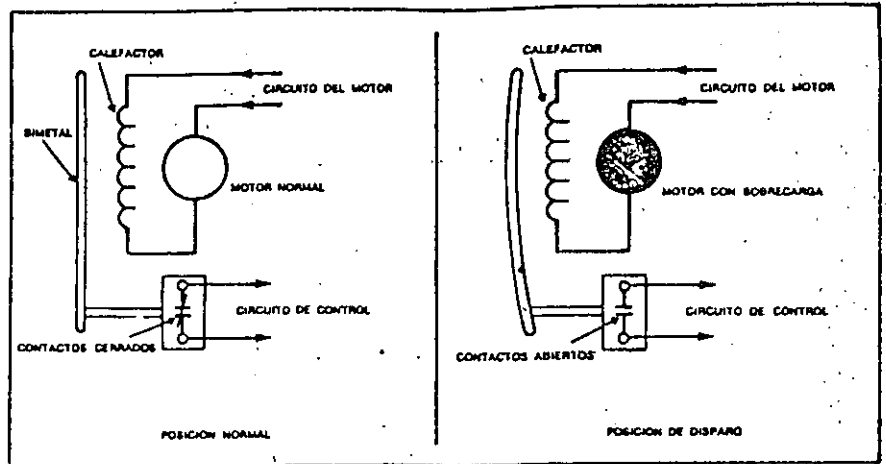


Fig. 1 Aplicación básica de los relevadores térmicos de sobrecarga. Botón de contacto momentáneo del circuito de control del motor. La mayoría de los motores en servicio tienen protección en dos fases solamente, tal y como se muestra aquí. Sin embargo, la práctica actual recomienda protección en las tres fases.

Fig. 2 Principio de operación de los relevadores de sobrecarga de tipo bimetalico. El actuador bimetalico opera un pequeño switch de control que puede ser repuesto automática o manualmente.



La protección contra el sobrecalentamiento de los motores, debido a una sobrecorriente, puede ser provista por una de dos familias básicas de dispositivos de protección:

1. Protectores de motor por monitoreo de temperatura. Estos brindan la mejor protección porque monitorean la temperatura real del motor. Los dispositivos sensores generalmente se integran en el motor. En algunos sistemas se incluyen los sensores en el embobinado del motor; éstos accionan una alarma, o disparo, externos y remotos. Tales esquemas, ya sea que actúen directamente o que funcionen a través de un dispositivo remoto, se conocen como "protección inherente". Este tipo de protección es el más eficaz, pero no el más económico.

2. La mejor protección para el motor por peso invertido se logra con el uso de dispositivos sensores de corriente. Los más simples y baratos de esta familia son los fusibles con características de tiempo definido, los relevadores de sobrecarga de amortiguador magnético y los relevadores térmicos de sobrecarga. El más eficaz de éstos es el relevador sensor de corriente de sobrecarga tipo térmico.

En general, un motor se quema como resultado de una sobrecarga de corriente que excede a la capacidad de corriente del mismo. El relevador de sobrecarga térmico traduce el exceso de

corriente a un aumento de temperatura. La sobret temperatura acciona al relevador y éste desconecta al motor de la línea.

Un elemento calefactor, en el relevador, se conecta en serie con el motor (fig. 1). Generalmente se obtiene el disparo cuando el relevador abre el circuito de control del motor. El punto de disparo (que se expresa en amperes) está determinado por la capacidad de calefactor.

Los calefactores de varias capacidades de corriente son intercambiables dentro de la línea específica de los productos de un mismo fabricante. La apariencia de los calefactores varía grandemente de un fabricante a otro y aún entre los distintos relevadores que ofrece un mismo fabricante. Sin embargo, todos los calefactores desempeñan la misma función: interpretan los incrementos de corriente en el motor a medida que aumenta la temperatura en el relevador.

Los dos tipos principales de relevadores térmicos de sobrecarga, que se usan en la actualidad, son los bimetalicos y los de aleación eutéctica. El tipo bimetalico funciona de manera similar a la de un termostato común de bimetalo. La corriente, al pasar por el calefactor, calienta la banda bimetalica y hace que ésta se desvie. Al desviarse, la banda abre un contacto, normalmente cerrado, que está alambreado en el circuito de control del motor. La fig. 2 muestra la operación de un relevador

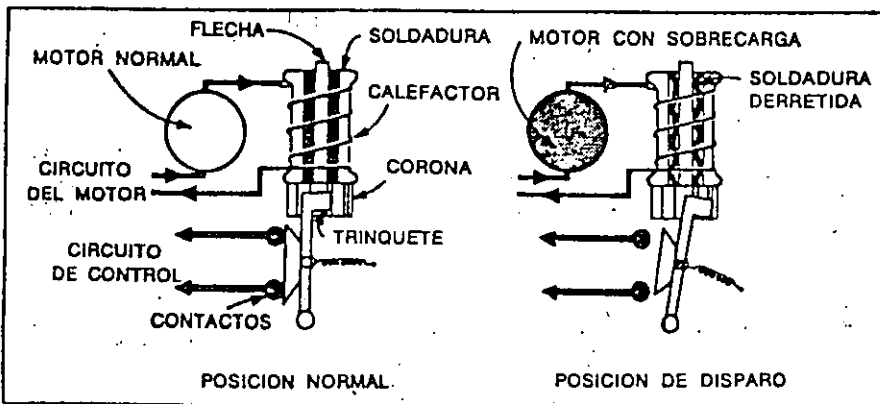


Fig. 3 Principio de operación del relevador de aleación eutéctica. Para corrientes por debajo del punto de disparo, la flecha de la corona está trabada por la soldadura endurecida. En el punto de disparo, la soldadura se funde, la corona desliza y el trinquete se desengancha.

dor de sobrecarga del tipo bimetálico.

Los relevadores de aleación eutéctica son llamados comúnmente "tipo soldadura". La operación de un relevador de aleación fusible está ilustrado en la fig. 3. En estos relevadores, los contactos se mantienen cerrados con la ayuda de una corona cargada por resorte que engancha en un trinquete. Cuando la corriente del motor está por debajo de la capacidad nominal del elemento calefactor, la flecha de la corona queda asegurada con una plasta de soldadura endurecida. Al aumentar la corriente hasta el valor determinado por la capacidad de elemento calefactor, la soldadura se derrite y permite que el trinquete se deslice y libere a la corona.

Los dos tipos tienen ventajas específicas. El tipo bimetálico está considerado más versátil que la variedad de aleación fusible. El tipo bimetálico debe ser usado en aquellos casos en que son necesarios la reposición automática, la compensación ambiental y el ajuste entre los incrementos de capacidad del calefactor. El tipo de aleación fusible da mejores resultados cuando el motor está sujeto a choque físico anormal y a vibraciones y cuando se requiere de una mayor capacidad del circuito de control.

En la mayoría de los casos, sin embargo, el factor crítico no es la selección del relevador de sobrecarga de aleación fusible sobre el de bimetálico, sino la selección adecuada del elemento calefactor.

El párrafo 430-32-a-1 del N.E.C. de los Estados Unidos define los límites de la capacidad permitida del protector de sobrecarga para motores. El dispositivo de protección debe disparar a no más del 125 por ciento de la capacidad de la corriente de plena carga del motor. Para determinar la manera como se clasificarán los calefactores, varios fabricantes emplean distintos métodos para llenar con seguridad los requisitos que marca el N.E.C. A pesar de la diferencia entre los métodos usados por los distintos fabricantes para determinar la capacidad de los diferentes calefactores, los resultados finales son los mismos.

Los calefactores son fabricados en incremen-

tos de corriente de aproximadamente 10 por ciento (se necesitan alrededor de 50 calefactores para cubrir la gama de 0.5 a 50 amperes). Cada calefactor puede ser aplicado sobre una banda del 10 por ciento de los amperes de plena carga del motor. El fabricante facilitará las tablas para la selección del calefactor, las cuales indican esta gama del 10 por ciento para distintas condiciones de aplicación. El punto de disparo del calefactor (amperes en que el disparo debe producirse) es del 125 por ciento del valor mínimo de esta gama de amperes de plena carga.

Entre los factores importantes que deben ser considerados para seleccionar el calefactor adecuado, está el ambiente en que se encuentran el motor y los dispositivos de protección. La temperatura ambiente es el factor más importante. En la actualidad, el punto de disparo de los calefactores y la capacidad de los motores se basan en una temperatura ambiente de 40°C. Los efectos de la temperatura ambiente serán discutidos con detalle en artículos posteriores de esta serie.

El párrafo 430-6-a del N.E.C. de los Estados Unidos estipula: "La protección específica de sobrecorriente para un motor en marcha debe basarse en la corriente nominal de placa del motor". Sin embargo, en el mismo artículo del N.E.C., las tablas 430-147 a 430-150 proporcionan las corrientes nominales de plena carga para motores de varias potencias. En el pasado era común que los ingenieros de planta seleccionaran la protección de sobrecarga de acuerdo con las corrientes nominales que aparecen en estas tablas. Desafortunadamente en la actualidad esta práctica sigue vigente en muchas plantas.

Debido a las diferencias de diseño, velocidad, eficiencia y factor de potencia, las corrientes nominales reales de diferentes motores con idéntica potencia pueden ser muy distintas. Un calefactor, seleccionado de acuerdo con las tablas del N.E.C. y no en base a la capacidad del motor indicada en la placa, puede ser muy alto o muy bajo. La aplicación de un criterio nominal para seleccionar el calefactor para un motor específico, siempre incluye riesgos innecesarios.

SEGUNDA PARTE.

En muchos casos y particularmente cuando se trata de proyectos grandes, la persona encargada de seleccionar el protector de sobrecarga para un motor no conoce a fondo las características específicas del motor en cuestión. Ante esta situación, el ingeniero sólo puede recomendar cierto tipo de protección de acuerdo con el criterio nominal (que se basa en la potencia) de las tablas estándares. Por el contrario, la persona que especifica el motor, tal vez desconozca el tipo de control que se le aplicará. Para poder especificar adecuadamente los elementos de protección, es necesario conocer las características del control y el ambiente en que se encuentran el motor y el control.

Una buena selección demanda que la protección para el motor se especifique en base a las características reales del mismo. Esto significa que la protección se seleccionará de acuerdo con la información inscrita en la placa del motor y no según las tablas que proporcionan las características nominales de cada una de las amplias clases de motores. Cuando el diseño está a cargo de un departamento de ingeniería de la planta remoto y centralizado, como sucede en el caso de un proyecto grande, el problema de la selección de los componentes de protección apropiados con frecuencia reside en la falta de comunicación.

La selección adecuada de los calefactores de sobrecarga tiene importancia para lograr la protección apropiada; es precisamente la mala selección del calefactor la causa de la aplicación errónea de la mayoría de los relevadores de sobrecarga térmicos. Existen varios caminos para evitar la falta de comunicación que con frecuencia resulta en la selección del calefactor equivocado:

1. El individuo a cargo de seleccionar el calefactor debe aceptar la tarea de determinar las características específicas del motor a proteger como una responsabilidad personal.
2. Las órdenes para control deben incluir la información necesaria acerca del motor para que la selección de los dispositivos de protección sea adecuada.
3. El fabricante del motor debe proporcionar una lista de los distintos calefactores aprobados para ser usados en un motor sujeto a diferentes condiciones ambientales.

4. La selección del calefactor debe hacerse en el lugar de trabajo, donde se tiene a mano la información inscrita en la placa del motor.

Además de la corriente nominal de plena carga del motor, ¿cuál es la información de placa que ayudará a seleccionar el calefactor apropiado? El párrafo 430-32-a-1 del N.E.C., estipula que los motores que muestran en su placa un factor de servicio menor que 1.15, deben ser protegidos por un dispositivo de corriente con disparo nomi-

nal no mayor que el 115 por ciento de la corriente de plena carga del motor.

Debido a que los elementos calefactores de los relevadores de sobrecarga son fabricados en incrementos de 10 por ciento, simplemente será necesario seleccionar un calefactor un tamaño más chico. Esto disminuirá el margen de protección del 125 por ciento de la capacidad estándar del motor al 115 por ciento requerido. Prácticamente todos los motores TCCV (totalmente cerrados con ventilador), con aislamientos clase B, reclasificados por la National Electrical Manufacturers Association (N.E.M.A.) de los Estados Unidos, tienen un factor de servicio de 1.0. La protección para estos motores debe ser hecha de acuerdo con este criterio (115 por ciento).

El párrafo 430-32-a-1 de N.E.C. también estipula que los motores marcados con una elevación de temperatura mayor que 40°C, deben ser protegidos igualmente a un máximo de 115 por ciento de su corriente de plena carga. Para dichos motores se debe seleccionar el calefactor del tamaño inmediatamente inferior de la tabla de selección de calefactores que proporcionan los fabricantes de relevadores.

Es un acuerdo general que la persona que especifica debe seguir la regla del 115 por ciento; siempre que el factor de servicio no se identifique en 1.15 o mayor o bien, cuando el incremento de temperatura no pueda ser determinado en un máximo de 40°C.

Un elemento de la placa del motor, que a menudo se pasa por alto al seleccionar el calefactor de sobrecarga adecuado, es la letra clave de rotor bloqueado. Esta letra clave designa la cantidad de kilovoltios-ampères por caballo (KVAT/HP) que el motor consumirá cuando el rotor esté bloqueado. La tabla I muestra las distintas letras clave.

La tabla II ayuda a relacionar la letra clave de rotor bloqueado con la protección de sobrecarga. Esta tabla establece la conexión entre la letra clave de rotor bloqueado y la razón mínima de rotor bloqueado a amperes de plena carga.

Debido a que la entrada de KVAs se considera constante, a pesar del voltaje, esta tabla es válida para todos los motores trifásicos de inducción, independientemente de que su voltaje nominal sea 115, 208, 230, 460, 575 o cualquier otro.

En la tabla II, la columna directamente a la derecha de cada letra clave indica la razón máxima de corriente de rotor bloqueado a corriente de plena carga. Por ejemplo: considérese un motor trifásico de inducción de 5 HP, con letra clave de rotor bloqueado J y una corriente nominal de plena carga de acuerdo con la tabla 430-150 del N.E.C. La corriente de rotor bloqueado de este motor estará entre 585 y 660 por ciento

Tabla I. Designación de las letras clave para condiciones de rotor bloqueado. Estos valores son una norma de la N.E.M.A., y se consignan en el artículo 430 del N.E.C., de los Estados Unidos.

Letra clave.	Kilovolt-Amperes por caballo de rotor bloqueado.
A	0 — 3.14
B	3.15 — 3.54
C	3.55 — 3.99
D	4.00 — 4.49
E	4.50 — 4.99
F	5.00 — 5.59
G	5.60 — 6.29
H	6.30 — 7.09
J	7.10 — 7.99
K	8.00 — 8.99
L	9.00 — 9.99
M	10.00 — 11.19
N	11.20 — 12.49
P	12.50 — 13.99
R	14.00 — 15.99
S	16.00 — 17.99
T	18.00 — 19.99
U	20.00 — 22.39
V	22.40 — ó más

de la corriente nominal de plena carga.

Por fortuna, la N.E.M.A. de los Estados Unidos ha adoptado un estándar de amperaje máximo a rotor bloqueado en los motores trifásicos de inducción. La última columna de la tabla II está basada en estos máximos establecidos. Tomando

como base estos máximos, es factible que la mayoría de los motores trifásicos de inducción estén marcados con una letra clave que caiga a la izquierda de la línea de definición de la tabla.

En la actualidad, la mayoría de los motores diseñados para desempeñar un trabajo estándar tienen corrientes de rotor bloqueado iguales a los máximos, o muy próximos a ellos, especificados por la N.E.M.A. Si se saca un promedio de estos valores para los motores con capacidad de 1 HP y mayores, se encontrará que la corriente promedio de rotor bloqueado es de 608 por ciento. Por esta razón, el equipo de protección contra sobrecarga que se fabrica en la actualidad estima una corriente promedio de rotor bloqueado de 600 por ciento. El consenso general entre los fabricantes de dispositivos de protección para motores, es que el tiempo de disparo para el 600 por ciento del valor nominal de plena carga debe ser de 20 segundos o menor. La fig. 4 muestra la curva de disparo de un relevador de sobrecarga térmico que se ajusta a este criterio del 600 por ciento — 20 segundos. En esta gráfica también se encuentra la curva que define los máximos especificados por los Underwriters' Laboratories de los Estados Unidos.

Puede haber necesidad de ciertas características especiales de disparo en caso de que la letra clave indique una corriente de rotor bloqueado por abajo de 500 por ciento. La fórmula para calcular la razón mínima para los motores trifásicos de inducción es:

Tabla II. Relación entre la letra clave, el por ciento de corriente a rotor bloqueado y potencia para motores de inducción trifásicos. La información que aparece en esta tabla está basada en las potencias nominales de motores dados en la edición 1968 del N.E.C.

LETRA CLAVE.	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	R	S	T	U	V
KVA A ROTOR BLOQUEADO POR HP	3.15	3.55	4.00	4.50	5.00	5.60	6.30	7.10	8.00	9.0	10.0	11.2	12.5	14.0	16.0	18.0	20.0	22.4
	3.55	4.00	4.50	5.00	5.60	6.30	7.10	8.00	9.00	10.0	11.2	12.5	14.0	16.0	18.0	20.0	22.4	ó más

POTENCIA	Amperes a rotor bloqueado del motor																		
	Por ciento mínimo									Amperes a plena carga del motor									
	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	R	S	T	U	V	
1/2	198	223	251	282	314	352	395	445	502	565	627	702	785	878	1000	1130	1260	1410	1600
3/4	212	238	268	302	336	376	423	476	536	604	671	751	840	940	1070	1210	1340	1500	1695
1	220	248	279	314	348	390	440	495	557	627	697	780	870	975	1120	1260	1390	1560	1834
1 1/2	228	256	289	325	361	404	455	513	577	650	722	810	905	1010	1160	1300	1440	1620	1770
2	233	263	296	333	370	415	466	525	592	665	740	830	925	1040	1180	1300	1490	1660	1735
3	247	278	314	353	392	440	494	557	628	705	784	880	980	1100	1260	1410	1570	1760	1867
5	260	293	330	371	413	462	520	585	660	742	825	925	1030	1160	1320	1490	1650	1850	1905
7 1/2	270	304	342	385	428	480	540	607	685	770	855	960	1070	1200	1370	1540	1710	1920	1977
10	282	318	358	404	448	502	565	636	716	806	896	1000	1120	1260	1430	1610	1790	2010	1978
15	282	318	358	404	448	502	565	636	716	806	896	1010	1120	1260	1430	1610	1790	2010	1953
20	293	330	372	420	465	520	585	660	745	837	930	1040	1160	1300	1490	1680	1860	2080	1937
25	292	328	370	417	463	518	583	657	740	833	925	1030	1160	1300	1480	1670	1850	2070	1937
30	296	334	376	423	470	527	593	668	752	845	940	1050	1180	1320	1510	1690	1880	2110	1954
40	304	343	386	435	483	540	608	685	772	870	965	1080	1210	1350	1550	1740	1930	2160	1958
50	304	343	386	435	483	540	608	685	772	870	965	1080	1210	1350	1550	1740	1930	2160	1958
60	308	348	392	440	490	548	615	695	782	880	978	1100	1220	1370	1570	1760	1960	2190	1965
75	309	348	392	442	490	550	618	695	785	882	980	1100	1230	1370	1570	1770	1960	2200	1965
100	318	358	404	455	505	565	635	715	810	910	1010	1120	1260	1410	1620	1820	2020	2260	1985
125	318	358	404	455	505	565	635	715	810	910	1010	1120	1260	1410	1620	1820	2020	2260	1982
150	331	373	420	473	525	590	660	745	840	945	1050	1180	1310	1470	1680	1890	2100	2350	1963
200	331	373	420	473	525	590	660	745	840	945	1050	1180	1310	1470	1680	1890	2100	2350	1964

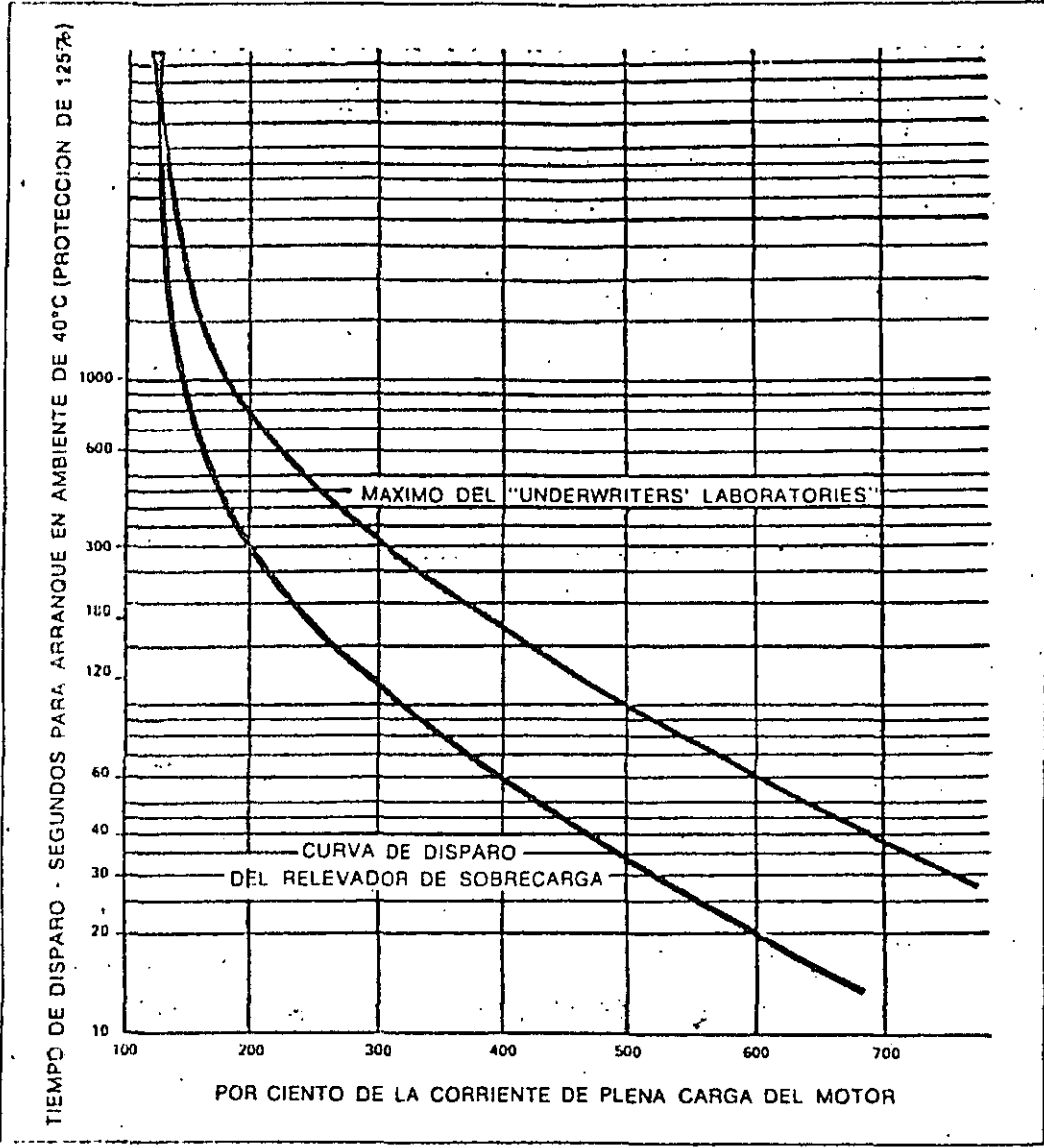


Fig. 4. El criterio prevaleciente entre los fabricantes de dispositivos protectores para motores es que el tiempo de disparo debe ser 20 segundos o menor a 600 por ciento de la corriente nominal. La curva interior está basada en este criterio; la curva superior muestra el máximo especificado por los "Underwriters' Laboratories".

Razón mínima a rotor bloqueado en por ciento/ampéres a plena carga =

$$\frac{1000 \text{ (KVA/HP de rotor bloqueado) min (HP)} \times 100}{\sqrt{3} \text{ (ampéres de plena carga) (voltaje)}}$$

Nótese que en la tabla II, las razones mínimas de rotor bloqueado/plena carga, se refieren a motores desde 1/2 hasta 200 HPs.

La capacidad de un motor para tolerar el calor generado a rotor bloqueado se ve afectada importantemente por la tasa de elevación de la temperatura (en grados C/segundo). Desafortunadamente, la placa del motor no proporciona esta tasa de elevación ni el tiempo de resistencia térmica del motor a rotor bloqueado. Se ha propuesto que N.E.M.A. Instituya un estándar para los varios niveles de protección requeridos por motores diseñados con diferentes criterios de resistencia a rotor bloqueado. Hasta que se adopte ese estándar, esta información existirá en distintas formas, según el fabricante de motores y de

relevadores de sobrecarga. No todos los fabricantes de controles y motores están en posibilidad de ofrecer esta información; aquellos que la proporcionan tienen su propio método para presentar el material.

La gráfica de la fig. 5 muestra la manera en que el tiempo de tolerancia a rotor bloqueado influye sobre la selección de la protección de sobrecarga. Las curvas representan el aumento aparente de temperatura de los estatores de algunos motores típicos, con relación al tiempo, a rotor bloqueado (nótese que estas curvas son sólo una de las formas para representar el criterio de tolerancia a rotor bloqueado). La elevación máxima de temperatura está indicada para los motores con aislamientos clase A y clase B (nótese la línea que define las características de disparo "20 segundos a 600 por ciento" con las que se diseñan la mayoría de los relevadores de sobrecarga).

Un motor con aislamiento clase A, que presenta una elevación aparente de temperatura de 5°C. por segundo a rotor bloqueado, está representada

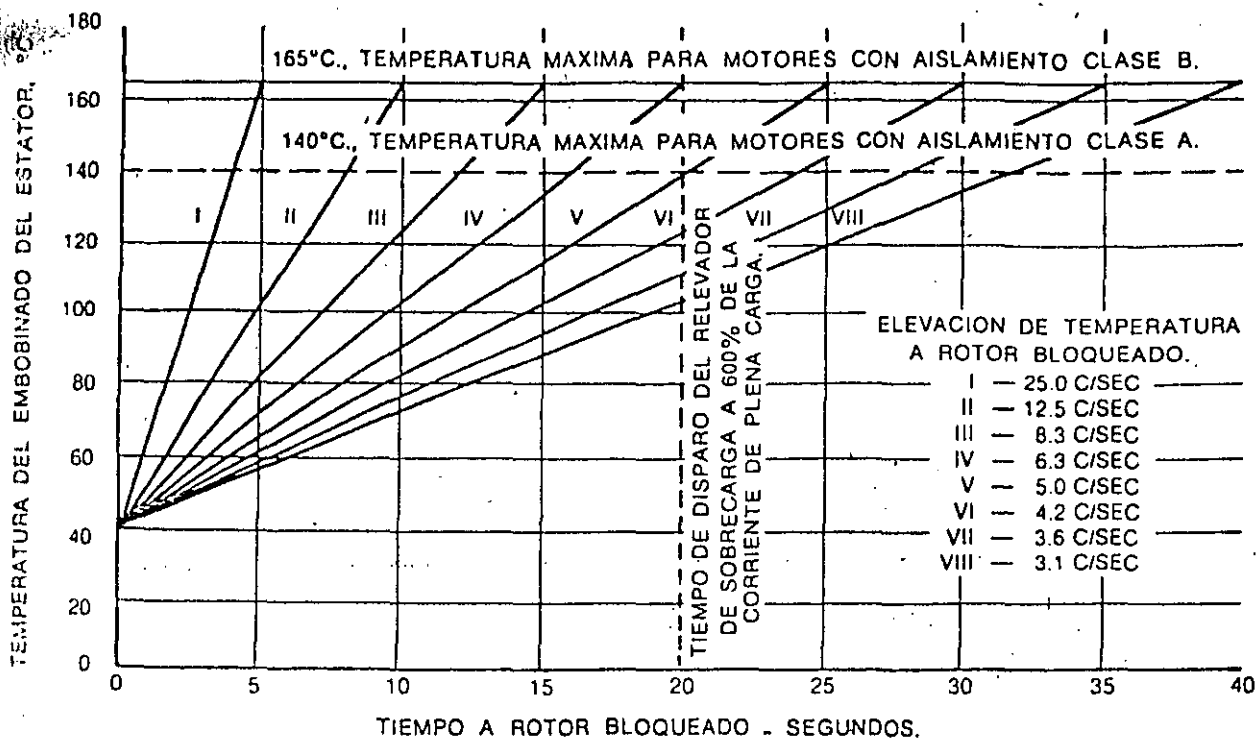


Fig. 5. Aumento aparente de temperatura para varios tipos de motores a rotor bloqueado. La línea de definición de los 20 segundos marca el tiempo de disparo para el cual mayoría de los relevadores de sobrecarga térmicos están diseñados; y asume una corriente de rotor bloqueado del 600 por ciento de la corriente nominal de plena carga del motor.

do por la curva V. Si la corriente a rotor bloqueado de este motor es de 600 por ciento o mayor, el relevador protegerá al motor. Sin embargo, si este motor llegara a tener 500 por ciento de corriente a rotor bloqueado, puede presentarse cierto sobrecalentamiento antes de que el relevador dispare.

Ahora, supóngase que este mismo motor (con 500 por ciento de corriente a rotor bloqueado) tiene la característica de elevación de temperatura dada en la curva VIII (32 segundos de tiempo de resistencia); en este caso, el relevador proporcionará la protección adecuada.

Los estándares reclasificados por N.E.M.A. en 1964 y el cambio al aislamiento clase B permiten que el motor funcione a temperaturas más altas. La reclasificación permite también tasas más rápidas de aumento de temperatura, sin disminuir los tiempos de resistencia. En la fig. 2, las curvas IV y V muestran el mismo tiempo de 20 segundos de tolerancia a rotor bloqueado, con aislamientos clase A y clase B respectivamente. Muchos fabricantes de motores han diseñado el mismo tiempo de tolerancia a rotor bloqueado (para la clase B y para la clase A ya existente) para sus motores

reclasificados. Sin embargo, no todos los fabricantes han incorporado esta característica en sus diseños.

Debido a que normalmente las pendientes de las curvas de resistencia a rotor bloqueado de los motores con aislamiento clase B son más inclinadas que las de los motores clase A, la selección de la protección de sobrecarga es ahora más importante que antes. En la fig. 5 puede verse que todos los motores con corrientes a rotor bloqueado de 600 por ciento aproximadamente y con tasas de aumento de temperatura iguales a los representados por las curvas IV - VIII y mayores, podrán ser protegidos satisfactoriamente con los relevadores diseñados para un tiempo de disparo de 20 segundos. Sólo aquellos motores con el aumento de temperatura de la curva III tendrán una protección dudosa. Los motores cuyas características de incremento de temperatura responden a las curvas I y II, han sido diseñados para bombas sumergibles, compresores herméticos, etc. Los motores de este tipo requieren relevadores especiales de disparo más rápido. En general, el fabricante de estos motores puede recomendar la protección apropiada.

TERCERA PARTE

Los relevadores térmicos de sobrecarga y los motores modernos están diseñados para desempeñar un trabajo continuo bajo una temperatura ambiente de 40°C. Cualquier desviación de este diseño básico de 40°C., ya sea en el sitio del motor o en el lugar que se instale el protector de sobrecarga, causará, en cierto grado, un efecto adverso en el esquema de protección.

La mayoría de los relevadores térmicos, actualmente en uso, no están compensados por ambiente; su punto de disparo variará de acuerdo con la temperatura ambiente del sitio donde funcionan. Debido a esto, los fabricantes de relevadores de sobrecarga térmicos facilitan varias tablas de calefactores, las cuales dan los cambios en el valor nominal del calefactor para diferentes aplicaciones. Estas tablas cubrirán principalmente el uso del relevador en las distintas opciones de cajas o cubiertas ofrecidas por el fabricante.

Cuando los relevadores sean usados en cajas estándar, ofrecidas por el fabricante del relevador, únicamente será necesario asegurarse de consultar la tabla apropiada antes de seleccionar el calefactor. Sin embargo, si el usuario obtiene un relevador de sobrecarga o un control de motor con el relevador de sobrecarga incorporado en su propio panel y caja, debe tomar en cuenta los factores que pueden contribuir al aumento de temperatura en la vecindad del relevador. Otros elementos, instalados en la caja, pueden influir de manera importante en la elevación de temperatura dentro de la misma.

Si el incremento de temperatura en el relevador es nulo, los valores de los elementos calefactores deberán ser los indicados originalmente por el fabricante. Si la temperatura en el relevador es mayor que la del ambiente (que normalmente es el mismo ambiente general que se encuentra en el motor), los valores nominales de los elementos térmicos deberán ser disminuidos.

El valor nominal de los elementos calefactores deberá ser disminuido a razón del 10 por ciento por cada 10 a 15 grados C., de incremento sobre la temperatura ambiente. Este criterio puede ser cumplido mediante el uso de un calefactor un tamaño mayor que el requerido por la corriente nominal de plena carga del motor.

Cuando las condiciones ambientales exigen el uso de un calefactor dos tamaños más grande que el que se indica en las tablas del fabricante, es recomendable el uso de los relevadores de sobrecarga del tipo de ambiente compensado. La razón de esto es que el uso de un calefactor un tamaño más grande que el recomendado para una corriente de motor específica, alterará ligeramente las características totales de disparo del relevador. Si se usan calefactores dos tamaños o más por encima de las recomendaciones bási-

cas, el cambio de las características de disparo puede ser muy importante.

El uso de relevadores del tipo compensador en tales situaciones elimina la necesidad de usar calefactores de mayor valor.

Los efectos de la temperatura ambiente son más importantes cuando el aumento de temperatura (con respecto al ambiente) en el relevador se combina con una localización del relevador en donde la temperatura ambiente, en sí, es mayor que la que existe en el motor. En ese caso, el uso de un calefactor de un tamaño más pequeño por cada 10 a 15 grados C., deberá estar basado en la diferencia de temperaturas entre el ambiente en el relevador y el ambiente en el motor.

Los cambios de temperatura debidos a las distintas estaciones pueden crear problemas en relación con la diferencia de ambientes. Durante el Verano, los ambientes pueden exceder los 40°C. (104°F.). Si el motor trabaja a plena carga en un ambiente mayor que 40°C., el relevador seguramente disparará. Tales disparos deben considerarse como normales, ya que es esa la función del relevador. La solución apropiada para evitar estos disparos consiste en instalar un motor que opere con un poco menos de la plena carga, o bien, instalar un motor diseñado para funcionar a temperaturas ambientales más altas.

Desafortunadamente, la solución indicada se aplica en muy pocos casos. En general se instala un calefactor de mayor capacidad, lo cual pone en peligro la protección anual del motor. Algunas veces se utilizan calefactores para "invierno" o "verano", pero este procedimiento exige más trabajo de mantenimiento. Si se debe tomar el riesgo de operar un motor durante periodos cortos, bajo las altas temperaturas de verano, se puede usar un relevador compensado por ambiente para evitar dichos disparos.

En general, los motores que mueven carga normal de baja inercia tienen un tiempo de arranque no mayor que tres segundos. Sin embargo, debido a que el tiempo de disparo de los relevadores de sobrecarga térmicos a rotor bloqueado es de 20 segundos o menor, es probable que cualquier motor, con un tiempo de arranque de 15 segundos o más, sea desconectado de la línea por el relevador de sobrecarga antes de que alcance su velocidad máxima. La temperatura ambiente, el bajo voltaje en el sistema y un intervalo corto entre los ciclos de trabajo, pueden reducir el tiempo disponible para el arranque a un máximo de 10 segundos. Cuando se trata de una carga de alta inercia, como en el caso del rotor de un ventilador grande, este tiempo de arranque puede ser insuficiente para que el motor alcance su velocidad de trabajo.

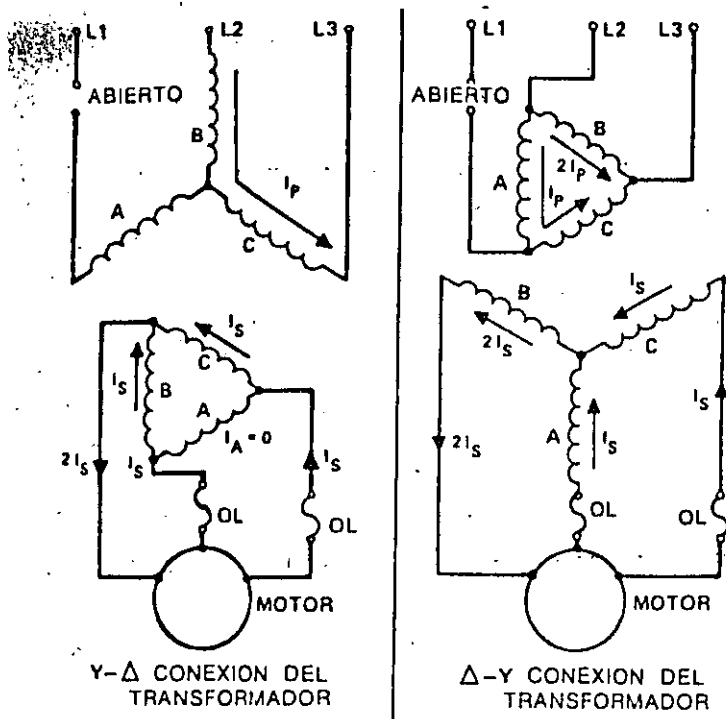


Fig. 6. Relaciones existentes entre las corrientes cuando una fase primaria se pierde en transformadores estrella-delta y delta-estrella que alimentan motores trifásicos. Aproximadamente el 173% de la corriente normal (designada I_s) aparecerá en dos fases del motor. La tercera fase llevará las sumas de las corrientes de las otras dos fases. Si la fase más fuertemente sobrecargada se encuentra sin protección, existirá una fuerte posibilidad de dañar seriamente el motor.

Se considera que aproximadamente durante el 80 por ciento del tiempo de arranque, circulará por el motor la corriente de rotor bloqueado, ya que la corriente de arranque no disminuirá apreciablemente hasta que la velocidad se aproxime a la nominal. Existen varias soluciones para alargar los tiempos de arranque:

— Derivadores saturables.— Algunos fabricantes los tienen para ser usados con los relevadores de sobrecarga térmicos. Montados en paralelo con cada elemento calefactor, los derivadores saturables ocasionan que aproximadamente 1/3 de la corriente de arranque (rotor bloqueado) sea desviada del calefactor durante el arranque. Cuando la corriente es la de plena carga, solamente un 3 por ciento de ésta no pasa a través del elemento calefactor. Las corrientes de plena carga deben ser ajustadas con este 3 por ciento para asegurar la protección adecuada del motor en marcha. Debe entenderse que en este caso, la protección contra rotor bloqueado se extenderá más de 20 segundos. Si existe alguna duda de que el motor no esté correctamente protegido, será necesario consultar a los fabricantes del motor y del control.

— Relevadores de sobrecarga o calefactores con características lentas de disparo. Estos alargarán el tiempo de disparo a más de los 20 segundos normales. Las curvas características de los calefactores deben ser obtenidas del fabricante para propósitos de comparación.

— Protección inherente. Esta puede ser proporcionada dentro del mismo motor y es posible seleccionar un elemento calefactor para relevador de sobrecarga que deje pasar únicamente la corriente de arranque. El relevador de sobrecarga protege al motor en condiciones de rotor bloqueado y de sobrecargas altas; los sensores de temperatura del embobinado del motor, lo protegerán contra sobrecargas de trabajo. Este método asegurará también que el motor tolere el tiempo de arranque requerido.

— Punteo de los elementos calefactores.— No es recomendable el punteo de los elementos calefactores por un tiempo corto durante el tiempo de arranque con otro contactor, pues la protección adecuada a rotor bloqueado podría perderse. Otro sistema similar utiliza dos arrancadores idénticos en paralelo, con los calefactores, en cada uno, como lo requiere la corriente de plena carga del motor.

En teoría, cada relevador de sobrecarga detecta 50 por ciento de la corriente de arranque. Un relevador de tiempo desconecta un arrancador después del intervalo de arranque. Este método se recomienda únicamente si se instala con pruebas de campo para ajustar el relevador de tiempo; esto asegurará la protección contra los valores máximos de rotor bloqueado. Cuando se emplee este sistema, se sugiere la utilización de un switch de velocidad cero; éste mantendrá uno de los arrancadores paralelos fuera del circuito en caso de que el motor no arranque.

Si se interrumpe una de las fases de un sistema trifásico, ¿será suficiente la protección dada

TIPO DE MOTOR	POR CIENTO DE LA CORRIENTE DE PLENA CARGA		
	Capacidad del fusible	Ajuste del interruptor	
		Tipo instantáneo	Tipo límite de tiempo
Todos los motores de C.A., monofásicos, polifásicos de jaula de ardilla y síncronos con arranque a voltaje pleno, por resistencia o por reactor.			
Letra Clave A.....	150	700	150
Letras Clave B a E.....	250	700	200
Letras Clave F a V.....	300	700	250
Todos los motores de C.A., de jaula de ardilla y síncronos, con arranque por autotransformador.			
Letra Clave A.....	150	700	150
Letras Clave B a E.....	200	700	200
Letras Clave F a V.....	250	700	200

Fig. 7. La tabla 430-152 del N.E.C. define el tamaño máximo del protector del circuito derivado del motor para una letra clave de rotor bloqueado determinada. Para algunas excepciones, véanse los artículos 430-52 y 430-54 del N.E.C. La tabla 430-153 del N.E.C., debe ser consultada para aquellos motores que no pueden ser identificados por su letra clave de rotor bloqueado.

¿El motor por los relevadores de sobrecarga en sólo dos fases del circuito del motor? La tabla 430-37 del N.E.C., señala que sólo dos conductores de los tres de un sistema de C.A., trifásico, no aterrizado, necesitan protección contra sobrecarga. Sin embargo, en un apéndice de la tabla se indica: "Cuando se instalen motores trifásicos en lugares aislados, inaccesibles o en sitios desatendidos, deben utilizarse tres elementos de protección contra sobrecalentamiento de trabajo.

Una fase abierta en el primario de un transformador estrella-delta ó delta-estrella que alimenta un motor, ocasionará que aparezca alrededor del doble de la corriente nominal en una fase del motor, en caso de que éste último continúe en marcha. No es raro que los motores sigan funcionando después de haber perdido una fase; comúnmente se conoce ésto como "operación en una fase". Si la fase en que ocurre la sobrecarga importante de corriente es aquella que carece de protección, el motor puede sufrir daños importantes.

Aún se cree, en general, que la protección de sólo dos fases es suficiente, ya que es poco probable que se presenten a un tiempo todos los factores que ocasionan esta condición de falta de protección. Sin embargo, hay que reconocer que el N.E.C., está pujando por una protección trifásica obligatoria. Los relevadores de sobrecarga de algunos fabricantes, recientemente introducidos en el medio, incluyen provisión en su diseño para que el usuario pueda agregar fácilmente la protección a la tercera fase.

Se presenta un problema especial cuando un motor que tiene un tiempo de arranque considerable, es arrancado muy frecuentemente. Al arrancar el motor, el calefactor se calienta; sin embargo, normalmente éste se enfriará más pronto que el motor puesto que la masa del último es mayor. Por lo tanto, el motor se calentará cada vez más con cada arranque y el relevador de sobrecarga no detectará el incremento de temperatura. Debe evitarse el arranque frecuente, a menos que el motor esté diseñado para arranques de posicionamiento y comprobación.

Los efectos de desgaste, producidos por la frecuencia de conexión, se manifiestan cuando el motor está trabajando en condiciones de sobrecarga, arrancándose y parándose mediante un relevador de sobrecarga de reposición automática. Debe tenerse en cuenta esta posibilidad al considerar un circuito de control de motor con relevador de sobrecarga con reposición automática. Se recomienda el tipo de protección inherente en el embobinado del motor cuando se pronostica el arranque frecuente.

Relevadores, con características más rápidas de disparo, son requeridos para proteger motores con razón a rotor bloqueado baja. Entre tales motores sobresalen los que han sido diseñados para usarse en bombas sumergibles y compresoras herméticos. Los motores de este tipo operan en un ambiente tal, que tienen que ser enfriados artificialmente. Debido a ésto, el motor puede

trabajar a una capacidad de plena carga mayor que la normal. La corriente de rotor bloqueado, sin embargo, es la misma que la de un motor comparable que opere en un ambiente convencional, lo cual da como resultado una razón de rotor bloqueado baja.

La mayoría de los fabricantes de dispositivos de protección para motores, ofrecen una línea de relevadores con características rápidas de disparo o bien, pueden proporcionar las tablas que definen a los calefactores que asegurarán la protección adecuada. Los fabricantes de motores para este tipo de servicio, normalmente especifican los protectores aceptables y la garantía del motor con frecuencia depende del uso de los protectores aprobados por ellos.

Ninguna discusión sobre la aplicación de los relevadores de sobrecarga térmicos estará completa si no incluye las consideraciones sobre la protección del relevador mismo. Los relevadores de sobrecarga y sus elementos calefactores están diseñados para soportar corrientes no mucho mayores que las de rotor bloqueado de los motores que protegerán. Sin embargo, si ocurren corrientes de falla, alrededor de 13 veces mayores que la corriente nominal de plena carga del motor y no existe la protección adecuada para el circuito derivado, el calefactor resultará dañado. No es raro que ocurran corrientes de falla que excedan en 100 veces la corriente nominal de plena carga del motor. Si ésto sucediera, el calefactor actuaría como fusible. Los efectos resultantes de la acción de un calefactor como fusible abierto, pueden dañar seriamente al relevador y otros equipos instalados en su vecindad.

La tabla 430-152 define el tamaño máximo de la protección para circuitos derivados para motor, de acuerdo con su letra clave para rotor bloqueado. El análisis de esta tabla indica que los siguientes máximos (expresados en por ciento de la corriente de plena carga del motor) serán válidos en la mayoría de los casos:

Fusible (sin características de tiempo diferido)	300%
Ajuste del disparo instantáneo del interruptor	700%
Interruptor térmico o con límite de tiempo	250%

Algunos fabricantes incluyen en sus tablas de calefactores, fusibles con una capacidad un poco mayor que el 300 por ciento. Estos proporcionarán la protección adecuada siempre que figuren en las tablas del "Underwriters' Laboratories".

Para lograr mejores resultados, el protector del circuito derivado para motor debe tener curvas de libramiento de falla que crucen la curva de disparo del relevador de sobrecarga en un punto arriba de la corriente de rotor bloqueado y por abajo de trece veces la corriente de plena carga del motor. Por esta razón, si se usan los

Fusibles con características de tiempo diferido, estos deben tener un valor de aproximadamente 150 por ciento de la corriente de plena carga del motor.

El N.E.C., no incluye como estándares los fusibles e interruptores con capacidades nominales abajo de 15 amperes; pero las tablas de calefactores de los fabricantes de relevadores de sobrecarga, muestran fusibles de un tamaño menor que los 15 amperes, las cuales protegerán al elemento calefactor de manera apropiada. En algunos casos, el tamaño de estos fusibles excede considerablemente el máximo de 300 por ciento, ya que únicamente los fusibles con capacidad de 1, 3, 6 y 10 amperes, abajo de 15 amperes, son "estándar". El párrafo 430-52 del N.E.C., establece que si una tabla de aplicación de calefactores de un fabricante lista un tamaño de fusible menor que 15 amperes como aceptable, entonces la protección por fusible puede ser provista con fusibles de 15 amperes como máximo. Si existieran más tamaños estándar de fusibles disponibles, por debajo de los 15 amperes, los mismos porcentajes para protección usados para aparatos ma-

yores que 15 amperes, podrían ser aplicados.

Para aquellos motores con corriente de plena carga menor que 6 amperes ($15/2.5$) deberá usarse un interruptor instantáneo, en lugar de uno de disparo térmico. Esto obedece a que no existen interruptores térmicos con una capacidad menor de 15 amperes. Muchos motores consumen menos de 6 amperes a plena carga y las curvas de los interruptores térmicos, no siempre cruzan la curva del calefactor entre "rotor bloqueado" y "13 veces más que la corriente de plena carga". Por esto, algunos fabricantes ofrecen interruptores "de disparo instantáneo solamente" para la protección de circuitos derivados para motor.

Se cree que eventualmente los interruptores de "disparo instantáneo solamente" serán reconocidos como el interruptor estándar para la protección de circuitos individuales para motor, ya que están citados en la edición 1968 del N.E.C. El párrafo 430-52 del N.E.C., estipula que el uso de los interruptores de disparo instantáneo debe ir acompañado por protección de sobrecarga en las tres fases de un sistema trifásico.



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

DISEÑO Y FABRICACION DE EQUIPO ELECTRICO

CAPACITADORES DE POTENCIA

OCTUBRE, 1985

CURSO: DISEÑO Y FABRICACION DE EQUIPO ELECTRICO.

TEMA: CAPACITORES DE POTENCIA.

I N D I C E

- I.- I N T R O D U C C I O N
- II.- GUIA DE DISEÑO
- III.- EJEMPLO DE APLICACION
- IV.- SECUENCIA DE FABRICACION DE CAPACITORES
- V.- PERSPECTIVAS DEL CAPACITOR DE POTENCIA Y
CONCLUSIONES

I.- INTRODUCCION.

1.- HISTORIA DEL CAPACITOR DE POTENCIA.

El capacitor eléctrico o condensador, fué descubierto en el año de 1745 - por Von Kleist, en Camin in Pommern y poco después e independientemente, - por Cunaeus y Muschenbroek en Leyden. En su primera versión, consistió - en un cilindro de vidrio recubierto en sus paredes interna y externa por - una laminilla metálica y fué utilizado como "almacenador" o "condensador - de cargas eléctricas".

En 1746, Wilson enunció la Ley de que la cantidad de carga eléctrica alma - cenada es inversamente proporcional al espesor del medio aislante inter - puesto entre las laminillas metálicas y más tarde, en el año 1830 aproxi - madamente, Faraday descubrió que dicha carga eléctrica dependía también - del medio aislante empleado, mostrando que la "capacidad de almacenamien - to específica" de substancias tales como el azufre, la laca y el vidrio, - era considerablemente mayor que la del aire. Faraday en sus estudios y - experimentos, introdujo el concepto de "dieléctrico" y determinó las pri - meras constantes dieléctricas conocidas.

Sin embargo, no fué sino hasta principios del siglo veinte, cuando empezó a fabricarse el capacitor en un forma industrial. De un primer período - de demanda insignificante, el capacitor pasó rápidamente a representar -- un instrumento indispensable en la explosión tecnológica, característica - de nuestro siglo. Se utilizó inicialmente como supresor de la chispa --- eléctrica en la desconexión de bobinas de inducción y pronto se multipli - caron sus aplicaciones, especialmente hacia la técnica de los sistemas de comunicación.

El desarrollo acelerado de la telegrafía sin hilos y la radiodifusión, -- dió impulso definitivo a la técnica del capacitor. Desde un principio se utilizaron dieléctricos de papel impregnado en laca, cera de abejas y pa - rafina y poco más tarde, papel impregnado de aceite mineral, naftaleno, - petróleo, aceite de siliconas y polybutano. Según las aplicaciones espe - cíficas, también se han venido utilizando dieléctricos de vidrio, cerámi - ca, mica, óxidos de aluminio o tántalo, electrolitos (ácido bórico, ácido fosfórico ..., etc.), plástico laminado e incluso aire; siempre en un es - fuerzo constante de obtener un dieléctrico con las mejores característi - cas para cada aplicación concreta.

Una de las aplicaciones más importantes del capacitor ha sido la de corregir el factor de potencia en líneas de transmisión y distribución y en instalaciones industriales, aumentando de esta forma la capacidad de transmitir energía de las líneas, la energía activa disponible en los generadores eléctricos, el aprovechamiento de la capacidad de los transformadores, la regulación del voltaje en los puntos de consumo y en general, la eficiencia de la transmisión y distribución de la energía eléctrica. Todo esto, a un costo considerablemente más bajo que el que supondría la inversión en nuevas líneas de transmisión y distribución y equipo o maquinaria necesarias para producir el mismo efecto de regulación de voltaje o aumento de la energía activa disponible. El capacitor dedicado a estos fines es llamado capacitor de potencia.

El uso del capacitor de potencia se inició en el año 1914, aproximadamente. Durante los primeros años se fabricó con dieléctricos de papel impregnado en aceite mineral. En el año 1932, la introducción de los askareles (hidrocarburos aromáticos clorados) como impregnantes, produjo una verdadera revolución en la técnica de los capacitores de potencia: Bajaron bruscamente los tamaños, pesos y costos de las unidades, lográndose además, un gran avance en la seguridad de su uso, debido al hecho de ser incombustible el nuevo impregnante.

En el año 1937, se produjo otro avance considerable al aparecer el capacitor de potencia para uso en intemperie. Desde entonces, el uso de capacitores de potencia se ha venido incrementando año tras año, de una forma extraordinaria.

La calidad de las materias primas ha venido experimentando constantes mejoras, que han venido haciendo posible el logro de unidades cada vez más estables, más seguras y de una vida media más duradera.

Al uso de celulosa más pura y laminada con mayor precisión se ha venido -- agregando el uso de sustancias purificadoras y estabilizadoras. Oxidos de aluminio, ciertas resinas..., etc., han venido incrementando paulatinamente la calidad de los dieléctricos.

La introducción de los dieléctricos de plástico en los capacitores de potencia marcó un nuevo paso adelante en la tecnología de este capacitor. -

El sistema papel-plástico-askarel, hizo posible la aparición de unidades significativamente más compactas, más resistentes a las descargas parciales, de mayor vida media y pérdidas dieléctricas considerablemente más bajas.

Ultimamente, a raíz del descubrimiento del efecto contaminante del askarel sobre el medio ambiente, al ser este líquido no biodegradable, se produjo una nueva revolución en el capacitor de potencia. Los mayores fabricantes de capacitores en el mundo se dieron a la búsqueda de un líquido que sustituyera al askarel y que mantuviera al capacitor con las ventajas ya logradas. El surgimiento de varios líquidos que superan actualmente al askarel en varios aspectos como son, biodegradabilidad, más estabilidad del capacitor a bajas temperaturas y menores pérdidas del capacitor, permitió reducir el tamaño de esta unidad y mantener en general las ventajas que se tenían con askarel. La única desventaja de los nuevos líquidos frente al askarel es que todos son inflamables a alta temperatura. Sin embargo, ante este riesgo se han perfeccionado día a día medios y sistemas de protección más confiables durante la operación de capacitores de potencia.

2.- ¿PORQUE DEL USO DE CAPACITORES?

En las redes eléctricas de corriente alterna, pueden distinguirse dos tipos fundamentales de cargas: cargas ohmicas o resistivas y cargas reactivas ideales.

Una carga real siempre puede considerarse como compuesta por una parte puramente resistiva y otra reactiva ideal. En las cargas representadas por líneas de transmisión y distribución, transformadores, lámparas fluorescentes, motores eléctricos, equipos de soldadura eléctrica, hornos de inducción, bobinas de reactancia, etc., la parte reactiva de la carga suele ser de una magnitud comparable o mucho mayor que la parte puramente resistiva.

En el caso particular de las instalaciones industriales, la carga total viene a ser de carácter inductivo y la corriente está retrasada con respecto al voltaje, o dicho de otra forma, el factor de potencia es de tipo atrasado.

Las limitaciones dadas por la reglamentación al uso de la energía eléc--

trica referente al bajo factor de potencia en una instalación industrial, (penalidad) y la reducción de capacidad de carga de transformadores y generadores, pérdidas por efecto joule en las líneas conductoras y su pérdida de regulación, obliga a medios compensadores de la carga inductiva con otra capacitiva, de donde los capacitores vienen a ser el medio más adecuado para este fin.

En resumen, el uso de capacitores es para:

- a) Compensar el bajo factor de potencia de una instalación industrial y evitar el pago de penalidad.
- b) Aumentar la capacidad de carga de los transformadores y generadores.
- c) Reducir pérdidas por efecto joule.
- d) Regulación de voltaje.

2.1.- AUMENTO DE LA CAPACIDAD DE CARGA DE LOS TRANSFORMADORES Y GENERADORES.

Cuando el banco, o los bancos de capacitores de potencia se instalan en el lado de baja tensión de los transformadores, es fácil calcular el aumento en capacidad de carga que se ha obtenido al pasarse de un factor de potencia $\cos \psi_1$, a un nuevo valor $\cos \psi_2$. Si llamamos KVA a la capacidad total de los transformadores en kilovolts-ampers; el aumento en potencia activa disponible puede calcularse según la expresión:

$$KW_2 - KW_1 = KVA (\cos \psi_2 - \cos \psi_1) \dots (1)$$

En caso de contar con un transformador de potencia de 500 KVA y operar a un factor $\cos \psi_1 = 0.70$ (70%), disponemos de una potencia activa de $500 \times 0.70 = 350$ kilowatts. Mejorando el factor de potencia a un valor de $\cos \psi_2 = 0.85$ (85%), obtendríamos un aumento en capacidad de carga de:

$$KW_2 - KW_1 = 500 (0.85 - 0.70) = 75 \text{ kilowatts.}$$

Es decir, un aumento en capacidad de carga de más del 20%.

Con exactitud, el aumento obtenido es de:

$$\Delta KW = 100 \left(\frac{\cos \psi_2}{\cos \psi_1} - 1 \right) \% \dots (2)$$

En el caso de que los transformadores se encuentren ya sobrecargados y se intente corregir esta sobrecarga, a base de mejorar el factor de potencia, podemos proceder de la forma siguiente:

Supongamos que KVA es el valor de la sobrecarga (diferencia entre el consumo actual de potencia aparente y la capacidad nominal de los transformadores de potencia), KVA es la capacidad nominal de los transformadores y KW representa el consumo actual (necesario) de potencia activa; con estos datos podemos calcular el factor de potencia actual

$$\cos \psi_1 = \frac{KW}{KVA + \Delta KVA}$$

y el factor de potencia que es necesario alcanzar para operar sin sobrecarga

$$\cos \psi_2 = \frac{KW}{KVA}$$

Conocidos $\cos \psi_1$, y $\cos \psi_2$, podemos calcular, por medio de la expresión (3), la potencia reactiva, en KVAR, que es necesario instalar.

Estas mismas consideraciones son aplicables al caso de un generador eléctrico, con una capacidad generadora expresada por la magnitud KVA.

$$KVAR = KW (tg \psi_1 - tg \psi_2) \dots (3)$$

2.2.- REDUCCION DE PERDIDAS POR EFECTO JOULE.

Además de los beneficios mencionados anteriormente, la instalación de bancos de capacitores de potencia produce otro beneficio adicional: Es la reducción de pérdidas por efecto Joule, en los tramos de línea que van desde los generadores a los puntos donde están instalados los capacitores.

En efecto, las pérdidas por calor producidas en las líneas provienen tanto de las corrientes activas como de las reactivas que circulan por las mismas y representan una energía perdida, que el consumidor paga como si la hubiese transformado en trabajo productivo.

Llamando P a estas pérdidas y R a la resistencia óhmica total de una instalación industrial, se tiene:

$$P = R I_A^2 + I_L^2$$

Teniendo en cuenta que $I^2 = I_A^2 + I_L^2$ esta expresión toma la forma:

$$P = R I^2$$

Vamos a llamar P_1 a las pérdidas correspondientes al factor de potencia $\cos \psi_1$ y P_2 a las pérdidas correspondientes al nuevo factor $\cos \psi_2$ obtenido al instalar capacitores de potencia junto a las cargas que consumen potencia reactiva. Suponiendo que tanto la demanda de potencia activa, como el voltaje, no cambian apreciablemente después de haberse instalado los capacitores, tendremos:

$$KW = \sqrt{3} (KV) I_1 \cos \psi_1 = \sqrt{3} (KV) I_2 \cos \psi_2$$

Expresión que nos relaciona las corrientes totales I_1 e I_2 , antes y después de la instalación del banco, con los factores de potencia respectivos.

Llamando

$$-\Delta P = 100 \times \frac{P_1 - P_2}{P_1}$$

Obtenemos finalmente

$$-\Delta P = 100 \left[1 - \left(\frac{\cos \psi_1}{\cos \psi_2} \right)^2 \right] \%$$

Expresión que nos da la disminución de pérdidas por efecto Joule, en tanto por ciento, obtenidas al mejorar el factor de potencia de un valor $\cos \psi_1$, al nuevo valor $\cos \psi_2$.

Puede comprobarse que el paso de un factor de potencia del 70% al 85%, -- por ejemplo, produce una disminución de pérdidas por valor de más de 30%.

Este efecto es particularmente importante en las líneas de transmisión y distribución de energía eléctrica.

Por razones económicas, es conveniente que en éstas, se mantenga constante la relación $\frac{P}{KW}$, independientemente de la potencia activa transportada.

Según la expresión

$$\frac{P}{KW} = \frac{R}{3(KV)^2} \frac{KW}{\cos^2 \psi}$$

(R: resistencia óhmica de la línea)

vemos que para que esto sea posible, es necesario que la relación $\frac{KW}{\cos^2 \psi}$ se mantenga constante.

Llamando $KW_{m\acute{a}x.}$ a la potencia activa transmitida cuando $\cos \psi = 1$ (máxima posible), se concluye que

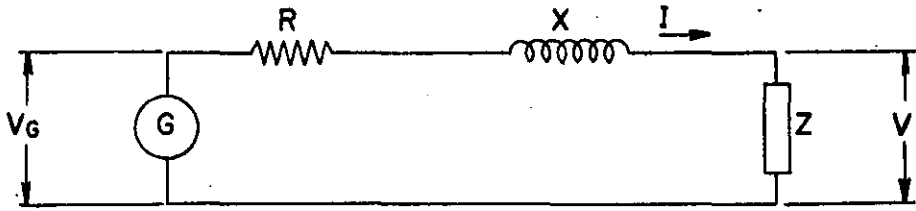
$$KW = KW_{m\acute{a}x.} \cos^2 \psi \tag{4}$$

Vemos pues, que siguiendo este criterio, la potencia activa transportable es proporcional al cuadrado del factor de potencia a que se efectúa la distribución. Para un factor $\cos \psi = 0.70$, la potencia transportable sería el 49% de la máxima posible; de donde se deduce la importancia del control del factor de potencia para lograr una distribución más económica.

2.3.- REGULACION DEL VOLTAJE.

Por último, vamos a tratar otro efecto importante logrado al instalar bancos de capacitores en líneas eléctricas y plantas industriales: Es la posibilidad de regular el voltaje de operación.

En la figura 1, representamos esquemáticamente una línea de distribución, que partiendo de un generador G, alimenta una carga de impedancia Z.

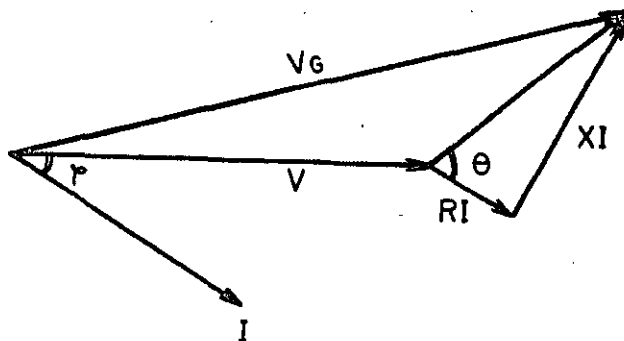


1.- Representación esquemática de una línea de distribución.

Vamos a llamar V_G al voltaje de operación del generador (prácticamente-

constante), V al voltaje que llega a la carga Z , e I a la corriente que circula por cada fase de la línea. La resistencia y reactancia equivalentes, por fase, de la línea se representan por R y X , respectivamente, siendo esta última de carácter inductivo, en el caso más frecuente de líneas aéreas operando con una carga superior a su carga crítica.

La figura 2, muestra una representación vectorial de las caídas de tensión en la línea y en la carga.



2.- Caídas de tensión en la línea de distribución y en la carga Z , de la figura 1.

Vemos en dicha figura, que la caída de tensión total en la línea (suma de los vectores RI y XI), depende de la corriente que circula por la misma y por consiguiente, de la potencia solicitada por la carga Z . Vemos pues, que la configuración del diagrama vectorial de la figura 2, va a variar según varíe la demanda de potencia en KW de la carga (la demanda de potencia reactiva de las instalaciones industriales suele experimentar variaciones mucho menores que las que experimenta la demanda de potencia activa). Al aumentar la demanda de potencia KW, aumentará la corriente I y por tanto, la caída de tensión total en la línea; como V_G se mantiene constante (en módulo), esto implicará una disminución de V (en módulo), siempre que los ángulos θ y ψ se mantengan constantes.

La disminución incontrolada del voltaje V , puede ocasionar graves perturbaciones en los centros de consumo de energía eléctrica, que es necesario evitar por medio de una regulación adecuada. Una forma económica y eficaz de lograr esta regulación consiste en controlar el ángulo θ , o bien el ángulo ψ , por medio de la instalación de bancos de capacitores en las líneas o en los centros de consumo, respectivamente. Resultan así dos procedimientos posibles de regulación de voltaje:

- a) Compensación de la línea. Disminuyendo el ángulo θ , o lo que es igual, la relación $\text{tg } \theta = \frac{X}{R}$, la caída de tensión total en la línea disminuye y por consiguiente, tiende a aumentar el voltaje V .
- b) Compensación de la carga. Disminuyendo el ángulo ψ , es decir, aumentando el $\cos \psi$, los vectores V_G y V tienden a formar los lados iguales de un triángulo isósceles, aumentando el voltaje V . Por añadidura, este efecto resulta especialmente favorecido por la reducción de corriente -- que los capacitores ocasionan en las líneas.

Teniendo en cuenta que, en la práctica, las magnitudes V_G y V , son mucho mayores que la caída de tensión total en la línea, es posible sustituir, a efectos de cálculo, la caída de tensión real $|V_G - V|$, por el valor aproximado:

$$\Delta V = RI \cos \psi + XI \sin \psi$$

Definiendo por $\mu = \frac{\Delta V}{V}$, la caída de tensión relativa y teniendo en cuenta que

$$KW = \sqrt{3} (KV) I \cos \psi$$

obtenemos

$$\mu = \frac{R}{10^3 (KV)^2} KW + \frac{X}{10^3 (KV)^2} KW \text{ tg } \psi \quad \dots (5)$$

En la práctica, debe lograrse que μ no sobrepase un valor prefijado (normalmente bastante pequeño), manteniéndose V prácticamente constante.

La máxima potencia transportable por una línea dada, sin sobrepasar este valor de μ , la obtendremos cuando se anule la componente reactiva X de la línea y al mismo tiempo, se anule el ángulo ψ . Esta potencia máxima viene dada por la expresión:

$$\mu = \frac{R}{10^3 (KV)^2} KW \text{ máx.}$$

Eliminando el voltaje V , entre esta expresión y la anterior, e introduciendo la notación $\text{tg } \theta = \frac{X}{R}$, queda:

$$KW = \frac{KW \text{ máx.}}{1 + \text{tg } \theta \cdot \text{tg } \psi} \quad \dots (6)$$

Esta expresión aproximada proporciona errores despreciables, siempre -- que se opere con valores de $\cos \psi$ inferiores a 0.95, cosa que es normal en la práctica y valores de μ del orden del 5%. De lo contrario, puede recurrirse a la expresión exacta, bastante más complicada en su forma, -- pero también muy sencilla de deducir partiendo del valor exacto de la -- caída de tensión en la línea $|V_G - V|$, en lugar del aproximado ΔV y -- siguiendo el mismo razonamiento expuesto anteriormente.

La expresión (6), nos permite conocer la potencia activa que es posible transmitir sin llegar a producir una caída de voltaje que sobrepase el -- porcentaje μ (recuérdese que $KW_{\text{máx.}}$, depende de μ), en función del factor $\text{tg } \theta$ y del factor de potencia a que se efectúa el suministro de -- energía eléctrica.

A título de ejemplo, se proporcionan en la tabla siguiente, cuatro valo -- res máximos de potencia activa que, según este criterio, es posible --- transmitir contando con las combinaciones de $\text{tg } \theta$ y $\cos \psi$, que se indi -- can a continuación:

$\text{tg } \theta$	$\cos \psi$	$KW/KW \text{ máx.}$
4	0.70	19.7%
4	0.85	28.9%
4	0.95	43.5%
1	0.85	61.9%

Inversamente, de la expresión (6) podemos deducir para cada valor de la -- potencia activa transmitida KW , el factor $\text{tg } \theta$ a que debe operar -- la línea (compensación de la línea), o el factor $\text{tg } \psi$ y por consiguiente, -- el $\cos \psi$, con que debe operar la carga (compensación de la carga). -- De dicha expresión se deduce que, cuando crece la demanda de potencia -- activa KW , debe disminuir el término $\text{tg } \theta$ (línea compensada), o bien el -- término $\text{tg } \psi$ (carga compensada). Esto último implica el aumentar el -- $\cos \psi$, es decir, mejorar el factor de potencia de la carga en las ho -- ras de mayor demanda.

Ambos efectos pueden lograrse controlando la potencia de los bancos de capacitores instalados en la línea o en la carga, respectivamente. En la práctica, este tipo de regulación se efectúa de una forma automática, por medio de controles adecuados.

De la expresión (5), se deduce fácilmente la elevación de voltaje lograda al conectar un banco de capacitores de potencia reactiva total Q, al final de una línea de distribución. Dicha elevación de voltaje puede calcularse según la expresión

$$\epsilon = \frac{X \cdot Q}{10 (KV)^2} \quad \dots (7)$$

Donde ϵ es la elevación de voltaje, expresada en tanto por ciento:

Q es la potencia reactiva del banco de capacitores en KVAR.

X es la reactancia total, por fase, de la línea en ohms.

KV es el voltaje nominal de la línea, en kilovolts.

3. ASPECTOS IMPORTANTES PARA EL DISEÑO DE CAPACITORES DE POTENCIA.

3.1. FRECUENCIA Y VOLTAJE DE OPERACION.

Los capacitores de potencia fabricados bajo normas americanas se diseñan para operar a una frecuencia nominal de 60 Hz. Sin embargo, no existe ningún inconveniente técnico para que estos capacitores operen a frecuencias más bajas. Esto implica una reducción de la potencia reactiva suministrada, proporcional a la reducción de frecuencias:

$$(\text{KVAR}) \text{ suministrados} = \frac{\text{Frecuencia aplicada}}{60} \times X \quad \dots (8)$$

X (KVAR) nominales

En operación normal, la frecuencia aplicada nunca debe exceder a los 60 Hz. nominales.

Análogamente, cuando los capacitores se operan a un voltaje inferior a su voltaje nominal, disminuye la potencia reactiva proporcionalmente al-

cuadrado de la relación de voltajes:

$$(KVAR) \text{ suministrados} = \left(\frac{\text{Volt. aplicado}}{\text{Volt. nominal}} \right)^2 \times X (KVAR) \text{ nominales} \quad \dots (9)$$

Los capacitores de potencia para alta tensión y a veces también los capacitores de potencia para bajas tensiones industriales, se fabrican de forma que puedan operar a sobrevoltajes de hasta el 10% del voltaje nominal, sin que aparezcan problemas de aislamientos, estabilidad térmica ..., etc. Esto es para prevenir posibles fluctuaciones de voltaje en las líneas -- eléctricas y los pequeños sobrevoltajes que pudieran ocasionar los mismos capacitores al operar en condiciones de baja carga.

Sin embargo, en operación normal, debe tratarse de que el voltaje aplicado a los capacitores no exceda al valor de su voltaje nominal, ya que el deterioro que produce el sobrevoltaje sobre los dieléctricos es análogo -- al deterioro mencionado anteriormente, producido por el sobrecalentamiento.

El operar permanentemente a un sobrevoltaje del 10%, puede disminuir la vida media de un capacitor en más de un 50%.

Las relaciones (8) y (9) son consecuencia de la expresión:

$$KVAR = 2\pi f C (KV)^2 \times 10^{-3} \quad \dots (10)$$

en donde es

KVAR: Potencia reactiva del capacitor, en kilovares.

f: Frecuencia de operación, en ciclos por segundo.

C: Capacidad del capacitor, en microfaradios.

KV: Voltaje aplicado entre bornes, en kilovolts.

Esta expresión se deduce fácilmente de la misma definición de potencia -- reactiva.

3.2. CORRIENTE NOMINAL DE OPERACION.

La corriente nominal de un capacitor monofásico puede calcularse por me--

dio de la expresión:

$$I_N = \frac{KVAR}{(KV)} \quad \dots (11)$$

siendo,

KVAR: Potencia reactiva nominal del capacitor, en kilovares.

(KV): Voltaje nominal, entre bornes, en kilovolts.

La corriente nominal, por fase, de un capacitor trifásico viene dada por la expresión:

$$I_{FN} = \frac{KVAR}{\sqrt{3} (KV)} \quad \dots (12)$$

siendo

KVAR: Potencia reactiva nominal del capacitor, en kilovares.

(KV): Voltaje nominal, entre fases, en kilovolts.

Esta expresión es independiente de que la conexión interna del capacitor sea en delta o en estrella.

Ambas expresiones (11) y (12), son una consecuencia inmediata de la definición de potencia reactiva.

Combinando las expresiones (10) y (11), se obtiene:

$$I = 2 \pi f C (KV) \times 10^{-2} \quad \dots (13)$$

de donde se deduce que la corriente que toma un capacitor de potencia es directamente proporcional a la frecuencia de operación, a su capacidad y al voltaje aplicado entre bornes.

3.3. PERTURBACIONES PRODUCIDAS POR CORRIENTES ARMONICAS.

Existen instalaciones industriales que son especialmente propicias a generar corrientes armónicas de importancia: Instalaciones de hornos metalúrgicos de arco, hornos de inducción, grandes motores que entran y salen de operación frecuentemente ..., etc. En estos casos, si no se toman ciertas pre

cauciones con los capacitores de potencia instalados en las mismas, es posible que éstos queden sometidos a corrientes excesivas que causen una -- disminución notable de su vida media e incluso fallos de unidades en un tiempo corto de operación.

La expresión (13) muestra claramente el efecto que producen estas armónicas sobre la corriente que toma un capacitor. Por ejemplo, una séptima armónica tendería a hacer pasar por el capacitor una corriente siete veces mayor que la nominal, si no se presentase con una amplitud de voltaje más reducida que la de la onda fundamental.

Las corrientes armónicas que suelen encontrarse en la práctica, son de orden impar. Si se determina, por medio de un osciloscopio o un voltímetro de armónicas, que la señal de voltaje que llega a los capacitores contiene las armónicas 3a., 5a., 7a. ..., etc., con valores eficaces e_3 , e_5 , e_7 , ... etc., respectivamente, medidos en tanto por ciento de la onda fundamental, el valor eficaz del voltaje total resultante aplicado en capacitor viene dado por la expresión:

$$V = 0.01 V_N \sqrt{100^2 + e_3^2 + e_5^2 + e_7^2 \dots} \quad \dots (14)$$

Y la corriente eficaz total que toma cada capacitor.

$$I = 0.01 I_N \sqrt{100^2 + 9 e_3^2 + 25 e_5^2 + 49 e_7^2 \dots} \quad \dots (15)$$

Siendo V_N e I_N , el voltaje y la corriente nominales, respectivamente, a la frecuencia nominal del capacitor.

El incremento de potencia reactiva de operación debido exclusivamente a la existencia de estas armónicas, puede calcularse, en tanto por ciento, según la expresión:

$$\Delta \text{ KVAR} = 0.01 (3 e_3^2 + 5 e_5^2 + 7 e_7^2 \dots) \% \quad \dots (16)$$

Como una aproximación aceptable, este porcentaje puede considerarse referido a la potencia reactiva nominal del banco instalado.

Para los capacitores de potencia de alta tensión, las normas CCONNIE, NEMA y ANSI, recomiendan un límite máximo de un 10%, en sobrevoltaje, para el voltaje total resultante.

La sobrecorriente máxima permisible, debida a la onda de voltaje fundamental y sus armónicas, es del 35% de la corriente nominal.

La combinación de ambos factores, sobrevoltaje y sobrecorriente, no debe sobrepasar el incremento de potencia reactiva de operación máximo permisible, que es del 35%, con respecto a la potencia reactiva nominal.

Para los capacitores de potencia de baja tensión, el fabricante puede especificar límites más bajos.

Cuando se presenta un problema de sobrecarga de corriente o de potencia, los capacitores suelen mostrar síntomas de una temperatura de operación excesivamente elevada y en las peores circunstancias, una deformación del tanque, que indica las altas presiones internas a las que está sometido el aparato, debido a la dilatación del líquido impregnante.

Cuando se planea un banco de capacitores para este tipo de instalaciones en las que cabe esperar en la onda fundamental de voltaje perturbaciones de consideración, debe preverse la existencia de estas sobrecorrientes, tanto en su alambrado como en todos sus accesorios y equipo auxiliar. Especialmente, deben tomarse las precauciones siguientes:

- a) Tomar un cuidado especial en la ventilación o incluso refrigeración del banco.
- b) Dejar el neutro flotante, en caso de conexión en estrella.

Y si realmente existe el problema de sobrecarga de corriente o de potencia, se puede ver si es posible:

- c) Desconectar el banco en los periodos de máxima generación de armónicas.
- d) Cambiar de emplazamiento el banco, para evitar posibles resonancias parciales.

Si nada de esto resuelve el problema, puede pensarse en instalar unas inductancias de choque, en serie con el banco de capacitores, cuya reactancia inductiva represente una pequeña fracción de la reactancia capacitiva por fase del banco, para la frecuencia fundamental, constituyendo un-

verdadero choque para las altas frecuencias. La inducción de diseño de estos reactores depende del orden de las armónicas que estén causando el problema. Por consiguiente, es necesario determinar previamente dichas armónicas, por medio de un osciloscopio, oscilógrafo o algún voltímetro de armónicas.

En caso de que los niveles de armónicas fluctúen excesivamente, presentando una gran gama de armónicas de bajas y altas frecuencias, puede ser prácticamente imposible el proteger los capacitores con unas inductancias de choque.

3.4. CONDICIONES ANORMALES DE OPERACION.

En general, cuando los capacitores de potencia van a ser instalados en condiciones de operación anormales, es conveniente que el fabricante sea puesto en antecedentes por el usuario. Las normas CCONNIE, NEMA y ANSI, especifican que el fabricante debe ser puesto en antecedente de condiciones anormales de servicio, tales como:

- a) Exposición a humos o vapores corrosivos.
- b) Exposición a polvos conductores o explosivos.
- c) Exposición a choques mecánicos o vibraciones.
- d) Exposición a radiaciones de calor provenientes de superficies que se encuentren a mayor temperatura que la temperatura ambiente máxima a la que se permite operar a los capacitores; excluyendo las radiaciones solares.
- e) Montaje que dificulte una ventilación adecuado; ya sea por el agrupamiento de los capacitores, o por el lugar y circunstancias de la instalación.
- f) Operación a temperaturas ambiente más altas que la máxima permitida según normas, o especificaciones especiales del fabricante.
- g) Operación a altitudes superiores a 1,800 m., sobre el nivel del mar.
- h) Formas de onda distorsionadas, con armónicas que causen sobrecargas de corriente o de potencia en los capacitores, superiores a las admitidas por las normas de fabricación de los mismos.
- i) Cualquier otro requerimiento especial, fuera de lo común.

II. GUIA DE DISEÑO DE CAPACITORES

DATOS INICIALES:

P = KVAR = KILOVOLTS AMPERES REACTIVOS

V = VOLTAJE NOMINAL

f = FRECUENCIA DEL SISTEMA

RELACIONANDO LOS DATOS ANTERIORES CON LA ACUACION DE POTENCIA:

$$P = \frac{V^2}{X_C} = \frac{V^2}{\frac{1}{2\pi f c}} = 2\pi f c V^2$$

SI P = VAR

$$\text{VAR} = 2\pi f c V^2$$

EXPRESANDO LA ECUACION ANTERIOR EN KVAR TENEMOS:

$$\text{KVAR} = 2\pi f c (\text{KV})^2 \times 10^{-3}$$

DE ESTA ECUACION QUE COMUNMENTE USAMOS, SE DESPEJA LA CAPACITANCIA:

$$C_N = \frac{\text{KVAR} \times 10^3}{2\pi f (\text{KV})^2} = [\mu\text{f}] \text{ DATO IMPORTANTE PARA DISEÑO}$$

CONEXION ELECTRICA DE BOBINAS:

B_s = BOBINAS SERIE

B_p = BOBINAS PARALELO

EL NUMERO DE SECCIONES CONECTADAS EN SERIE POR PAQUETE, SE DETERMINA RELACIONANDO:

$$B_s = \frac{V_n}{V_{\text{max. por bobina}}}$$

LAS BOBINAS CONECTADAS EN PARALELO SE DETERMINA RELACIONANDO:

$$B_p = \frac{I_N}{\text{Imax. por bobina}}$$

DE DONDE: $I_N = \frac{P}{V} = \frac{\text{KVAR}}{\text{KV}} \text{ Amp.}$

Y TOMANDO EN CUENTA LARGO O EN SU DEFECTO ESPESOR DE LA BOBINA, DEL PRODUCTO DE $B_s \times B_p = B$ DETERMINAMOS EL NUMERO TOTAL DE BOBINAS DE CADA CAPACITOR.

CAPACITANCIA NOMINAL POR BOBINA:

$$C_{NB} = C_N \frac{B_s}{B_p}$$

CAPACITANCIA DE DISEÑO POR BOBINA:

$$C_{B. \text{ DIS.}} = (1 + \%) C_{NB}$$

EL FACTOR DE % ES PARA ASEGURAR QUE LA CAPACITANCIA FINAL ESTE SIEMPRE DENTRO DE LA TOLERANCIA.

DIELECTRICO

CALCULO DE INTENSIDADES DE CAMPO ELECTRICO.

DATOS: e_p, e_f, k_f, k_p

e_p = ESPESOR DE PAPEL

e_f = ESPESOR DE LA BANDA DE POLIPROPILENO

k_p = CONSTANTE DIELECTRICA DEL PAPEL IMPREGNADO

k_f = CONSTANTE DIELECTRICA DE POLIPROPILENO IMPREGNADO

k' = CONSTANTE DIELECTRICA DEL DIELECTRICO IMPREGNADO

$$k' = \frac{E}{\frac{e_{f1} + e_{f2}}{k_f} + \frac{e_{p1}}{k_{p1}}}$$

E = SUMA DE ESPESORES DE LOS COMPONENTES DEL DIELECTRICO

$$E = \sum_{i=1}^n e_i$$

$$E = e_{f_1} + e_{f_2} + e_p \quad [\text{mil}''']$$

J = INTENSIDAD MEDIA DE CAMPO ELECTRICO EN EL DIELECTRICO
[VOLTS/MIL''']

J_F = INTENSIDAD DE CAMPO ELECTRICO EN EL POLIPROPILENO
[VOLTS/MIL''']

J_p = INTENSIDAD DE CAMPO ELECTRICO EN EL PAPEL IMPREGNADO
[VOLTS/MIL''']

LAS INTENSIDADES DE CAMPO ELECTRICO LAS OBTENEMOS RELACIONANDO:

$$J = \frac{V_n}{B_s} \quad [\text{VOLTS/MIL}]$$

$$J_F = \frac{K'}{K_F} \quad J \quad [\text{VOLTS/MIL}]$$

$$J_p = \frac{K'}{K_p} \quad J \quad [\text{VOLTS/MIL}]$$

ESTAS INTENSIDADES DE CAMPO ELECTRICO NOS PERMITEN SABER SI ESTAMOS DENTRO DE LOS VALORES PERMISIBLES DE -- LOS MATERIALES.

DETERMINACION DE LA CONSTANTE DIELECTRICA REAL.-

ESTA CONSTANTE SE DETERMINA EN FORMA EXPERIMENTAL PORQUE DEPENDE DE LA CONSTANTE DIELECTRICA DEL MATERIAL IMPREGNADO Y DE UN FACTOR DE CORRECCION DENOMINADO FACTOR ESPACIO e_R, es decir:

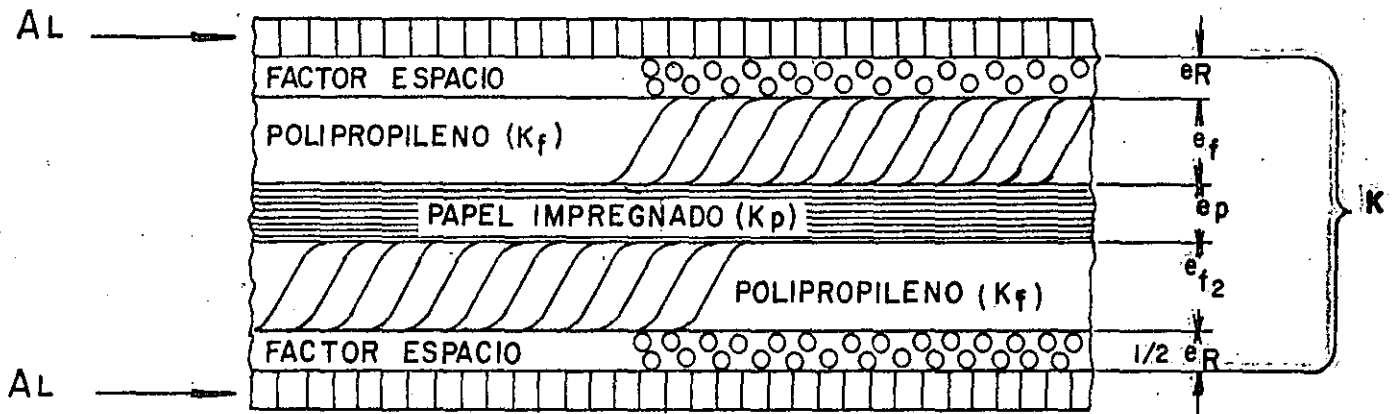
$$K = F (K' e_R)$$

DONDE:

K = CONSTANTE DIELECTRICA REAL DE TODOS LOS MATERIALES QUE FORMAN EL DIELECTRICO.

K^l = CONSTANTE DIELECTRICA DEL DIELECTRICO IMPREGNADO

e_r = SE DEFINE COMO UN PORCENTAJE (UN TANTO POR CIENTO) DEL ESPESOR E. SIRVE PARA TENER EN CUENTA EL ESPACIO OCUPADO POR EL IMPREGNANTE Y EL EFECTO DE UN BOBINADO MAS O MENOS TENSO, SE USA COMO VARIABLE DE AJUSTE EN LOS DISEÑOS



MODELO DE DIELECTRICO IMPREGNADO EN DONDE SE VISUALIZA LA PRESENCIA DEL FACTOR ESPACIO.

CALCULO DE LAS BOBINAS

S_{EB} = SUPERFICIE EFECTIVA DE PLACAS DE CADA BOBINA

K = CONSTANTE DIELECTRICA

E = SUMA DE LOS ESPESORES DE LOS COMPONENTE DEL DIELECTRICO

h_A = ANCHO DE LAS BANDAS DE ALUMINIO

C_B = CAPACITANCIA DE DISEÑO POR BOBINA

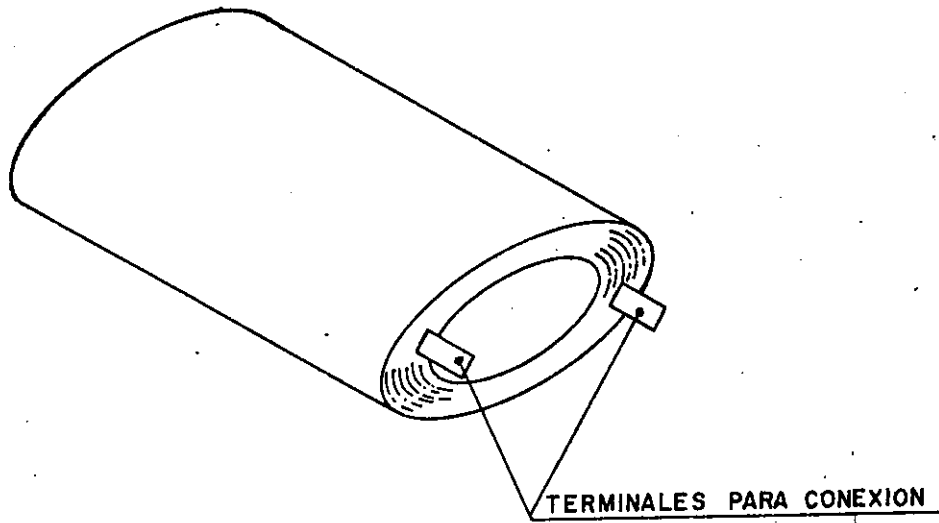
ϵ_0 = CONSTANTE DE PERMITIVIDAD DEL VACIO

ϵ = CONSTANTE DE PERMITIVIDAD DE LA SUBSTANCIA

e_r = FACTOR DE ESPACIO

L_A = LONGITUD DE LAS BANDAS DE ALUMINIO

δ = ESPESOR TOTAL DE LA BANDA BOBINADA



REPRESENTACION DE BOBINA INDIVIDUAL

DE LA ECUACION PARA UN CONDENSADOR DE LAMINAS PARALELAS EN EL VACIO:

$$C = \frac{q}{V_{ab}} = \epsilon_0 \frac{A}{d} \quad [\text{FARAD}]$$

CUANDO EL ESPACIO COMPRENDIDO ENTRE LAS LAMINAS ESTA OCUPADO POR UNA SUSTANCIA DE COEFICIENTE DIELECTRICO K_e :

TENEMOS:

$$\epsilon = K \epsilon_0$$

LA ECUACION DE CAPACIDAD ES:

$$C = \epsilon \frac{A}{d} \quad [\text{FARAD}]$$

$$C = K \epsilon_0 \frac{A}{d} \quad [\text{FARAD}]$$

DEBIDO A QUE K_e , ϵ_0 , A y d SON CONSTANTES PARA UN CONDENSADOR DADO, LA CAPACITANCIA ES UNA CONSTANTE, INDEPENDIENTE DE LA CARGA DEL CONDENSADOR Y ES DIRECTAMENTE PROPORCIONAL AL AREA DE LAS LAMINAS E INVERSAMENTE PROPORCIONAL A SU SEPARACION.

LA SUPERFICIE EFECTIVA DE PLACAS DE CADA BOBINA S_{EB} SE DETERMINA DE:

$$C = K \epsilon_0 \frac{A}{d} \quad [\text{FARAD}]$$

$$A = \frac{d}{\epsilon_0 K} C \quad [\text{m}^2]$$

$$S_{EB} = \frac{(1 + e_r) E \times 10^{-3}}{\epsilon_0 K} C_B \quad [\text{Pulg}^2]$$

$$A = S_{EB}$$

$$d = (1 + e_r) E \times 10^{-3}$$

$$C = C_B \text{ DIS.}$$

L_A = LONGITUD DE LAS BANDAS DE ALUMINIO

L_A SE DETERMINA DE:

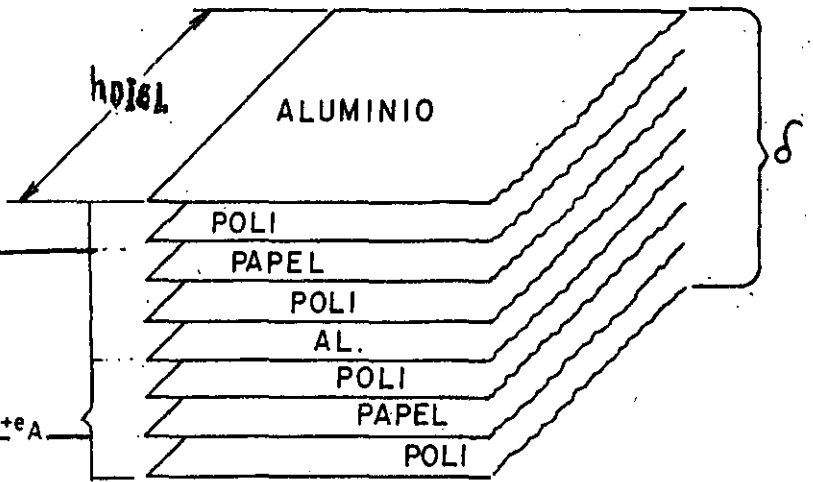
$$L_A = \frac{S_{EB}}{2 h_A} \quad [\text{Pulg.}]$$

h_A = ANCHO DEL ALUMINIO

δ = ESPESOR TOTAL DE LA BANDA BOBINADA

$$\delta = 2 \left[(1 + e_r) E + e_A \right]$$

$h_{diel.}$ = ANCHO DEL DIELECTRICO



$$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \frac{\text{Coul}^2}{\text{new} \cdot \text{m}^2}$$

$$Q = CV$$

$$C = \frac{Q}{V} \left[\frac{\text{Coul}}{\text{volt}} \right] = \text{farad}$$

$$V = \left[\frac{\text{Joule}}{\text{Coul}} \right]$$

$$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \frac{\text{Coul} \cdot \text{Coul}}{\text{new} \cdot \text{m} \cdot \text{m}}$$

$$\text{JOULE} = \text{new} \cdot \text{m}$$

$$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \frac{\text{Coul}}{\text{VOLT} \cdot \text{m}}$$

$$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \frac{\text{FARAD}}{\text{m}}$$

$$1\text{m} = \frac{100}{2.54} \text{ pulg}$$

$$1 \mu\text{f} = 10^{-6} \text{ f}$$

$$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \frac{10^6 \mu\text{f}}{100} \frac{\text{pulg}}{2.54}$$

$$1 \text{ f} = 10^6 \mu\text{f}$$

$$1 \text{ m} = 100 \text{ cm}$$

$$1 \text{ pulg} = 2.54 \text{ cm}$$

$$1 \text{ cm} = \frac{\text{pulg}}{2.54}$$

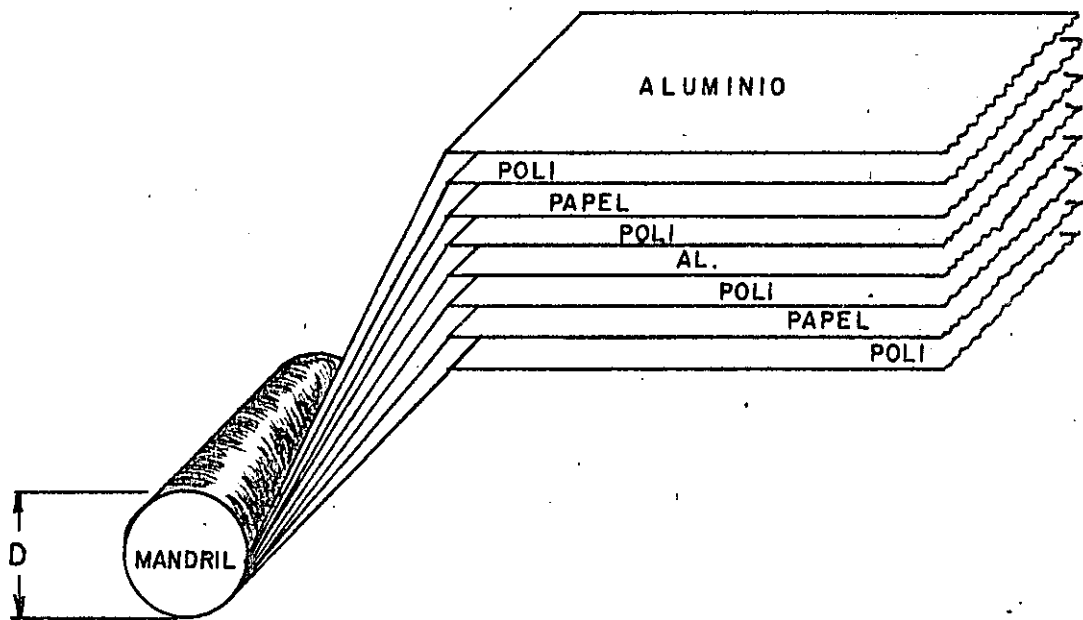
$$\epsilon_0 = 0.22479 \times 10^{-6} \frac{\mu\text{f}}{\text{pulg}}$$

DEFINICION DE ϵ_0

CALCULO DEL NUMERO DE VULTAS DE MANDRIL POR CADA BOBINA

PARTIENDO DE UN DIAMETRO DE MANDRIL D Y CONOCIENDO δ , L_A .

$$N = \frac{\sqrt{D^2 + \frac{4}{\pi} \delta L_A \times 10^{-3}} - D}{2 \delta \times 10^{-3}} \text{ (VUELTAS)}$$

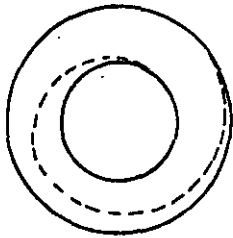


CALCULO DEL ESPESOR DE CADA BOBINA

U_B = ESPESOR DE CADA BOBINA [Pulg]

U_B : Se obtiene de

$$U_B = 2 \delta N \times 10^{-3} + 8 (1 + e_R) E \times 10^{-3}$$



DEFINICION - LONGITUD DE LA ESPIRAL

$$L_E = \pi (D + \delta)$$

DONDE δ = ESPESOR TOTAL DE LA BANDA

D = DIAMETRO EFECTIVO DEL MANDRIL [Pulg]

= DIAMETRO REAL DEL MANDRILLO MAS EL -
ESPESOR DEBIDO CADA VUELTA

LONGITUD DE LA PRIMERA VUELTA:

$$L_{E1} = \pi (D + \delta) \quad n = 1$$

LONGITUD DE LA SEGUNDA VUELTA:

$$L_{E2} = \pi (D + 3\delta) \quad n = 1$$

LONGITUD DE LA ENESIMA VUELTA:

$$L_{En} = \pi [D + (2n - 1)\delta] \quad n = N.$$

ENTONCES:

$$\sum_{n=1}^N L_{En} = \pi DN + \pi \delta (1 + 3 + 5 + \dots + 2N-1)$$

$$L_A = \pi DN + \pi \delta N^2$$

PARA OBTENER LA LONGITUD DE LA ULTIMA VUELTA SE CONSIDERA EL ESPESOR MEDIO

$$L_E = \pi (D + \delta)$$

LONGITUD DE LA PRIMERA VUELTA:

$$L_{E_1} = \pi (D + \delta) \quad n = 1$$

LONGITUD DE LA SEGUNDA VUELTA:

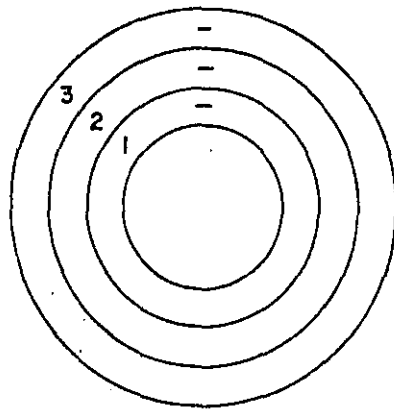
$$L_{E_2} = \pi (D + 3 \delta) \quad n = 2$$

LONGITUD DE LA TERCERA VUELTA:

$$L_{E_3} = \pi (D + 5 \delta) \quad n = 3$$

LONGITUD DE LA ENESIMA VUELTA:

$$L_{E_n} = \pi [D + (2N - 1) \delta] \quad n = N$$



ENTONCES PARA LA LONGITUD TOTAL

$$\sum L_{E_n} = \pi DN + \pi \delta [1 + 3 + 5 + \dots + (2N - 1)]$$

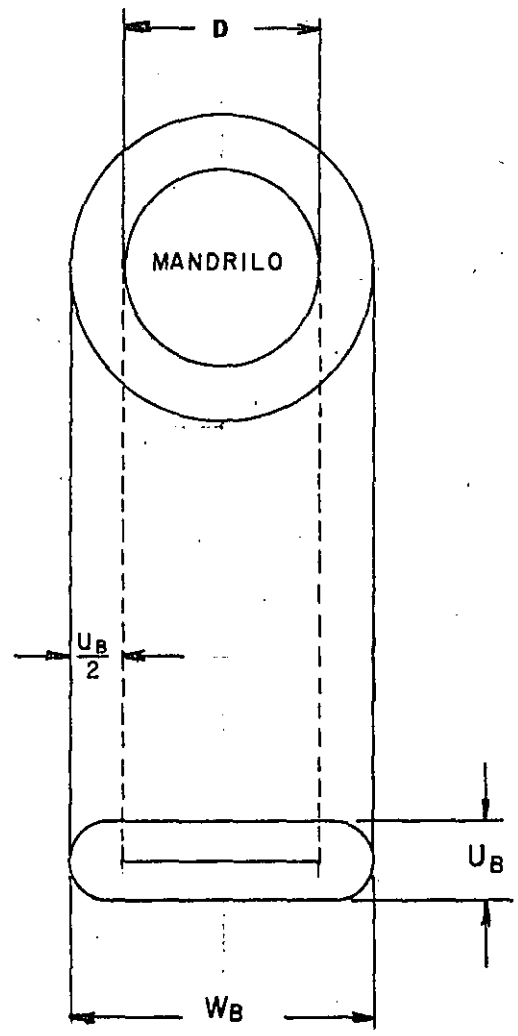
$$L_A = \pi DN + \pi \delta N^2$$

ANCHO REAL DE CADA BOBINA

W_B = ANCHO REAL DE CADA BOBINA

W_B SE OBTIENE DE

$$W_B = \frac{\pi D}{2} + U_B \text{ [PULG]}$$



$$P = \pi D$$

$$\frac{\pi D}{2} + \frac{U_B}{2} + \frac{U_B}{2} = W_B$$

$$W_B = \frac{\pi D}{2} + U_B \text{ [PULG]}$$

LONGITUD DE LAS BANDAS DE POLIPROPILENO Y PAPEL

$$L_F = L_P = L_A + 6 W_B \quad [\text{PULG}]$$

DIMENSIONES DEL PAQUETE

UNA VEZ CONOCIENDO W_B , U_B , h_A SE DETERMINA EL TAMAÑO DEL PAQUETE QUE FORMARÁN LAS BOBINAS:

H_p = ALTURA DEL PAQUETE

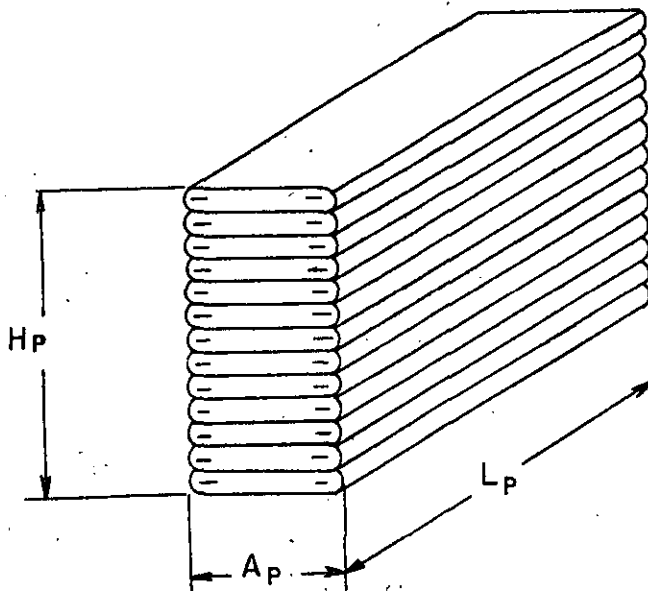
$$H_p = U_B \times B \quad [\text{PULG}]$$

A_p = ANCHO DEL PAQUETE

$$A_p = W_B \quad [\text{PULG}]$$

L_p = LARGO DEL PAQUETE

$$L_p = h_D \quad [\text{PULG}]$$



AISLAMIENTO DEL PAQUETE:

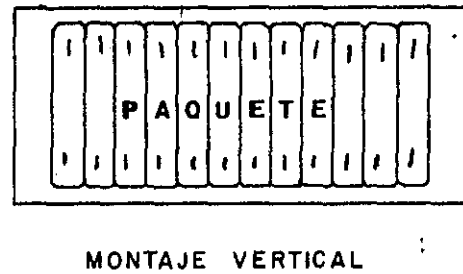
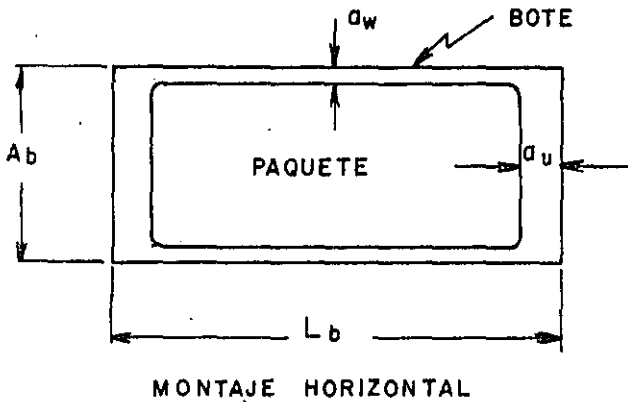
SE DETERMINA RELACIONANDO EL VOLTAJE NOMINAL DEL CAPACITOR Y LA RESISTENCIA DIELECTRICA DEL PAPEL COMPRIMIDO.

$$a_w = \text{AISLAMIENTO DEL PAQUETE [m-Pulg]}$$

$$a_w = \frac{V_n}{\frac{V}{m \text{ pulg}}} \text{ [mills-pulg]}$$

CALCULO DE LAS DIMENSIONES DEL BOTE

DE UN CORTE DE PLANTA SE OBSERVA QUE:



ANCHO DEL BOTE:

$$A_b = A_p + 2a_w$$

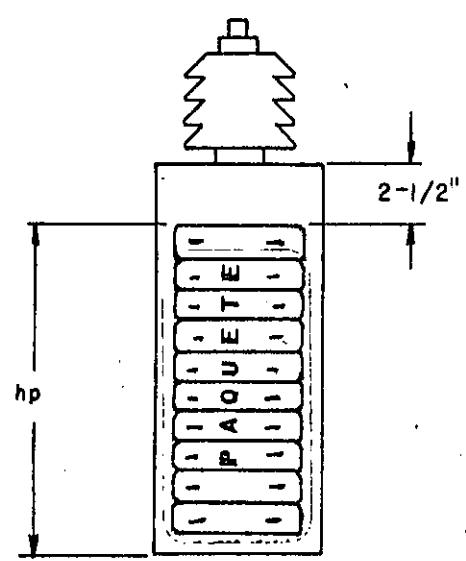
LARGO DEL BOTE: ESTABLECIDO POR NORMAS PARA MONTAJES VERTICAL COMO HORIZON TAL

$$L_b = L_p + 2a_u$$

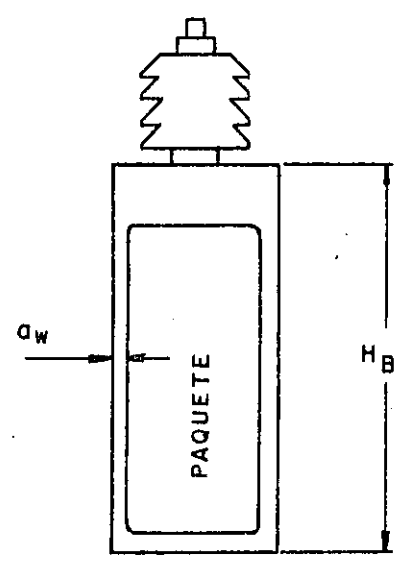
a_u = ESPACIO QUE OCUPA EL AISLAMIENTO EN EL SENTIDO LONGI-TUDINAL DEL BOTE.

EN EL MONTAJE HORIZONTAL, EL LARGO DEL PAQUETE ESTA DADO POR EL ANCHO DEL MATERIAL.

DE UN CORTE LATERAL SE OBSERVA QUE:



MONTAJE HORIZONTAL



MONTAJE VERTICAL

$$H_B = H_p + 2.5 \text{ Pulg.}$$

2.5 PULG. ES EL ESPACIO RESERVADO PARA RESISTENCIAS DE DESCARGA Y TERMINALES DE CONEXION.

LA ALTURA DEL PAQUETE EN EL MONTAJE VERTICAL ESTA DADO POR EL ANCHO DEL MATERIAL DE LA BOBINA.

CALCULO DEL PESO DE CADA ELEMENTO DE BOBINA.

V = VOLUMEN DE CADA ELEMENTO CONTENIDO POR BOBINA

$$V = 16.387 \times 10^{-6} \times L \times h \times e \quad [\text{dm}^3]$$

DONDE:

$$1 \text{ pulg} = 2.54 \text{ cm}$$

$$1 \text{ dm} = 10 \text{ cm}$$

$$1 \text{ pulg} = 2.54 \frac{\text{dm}}{10}$$

$$1 \text{ pulg}^3 = 0.016387 \text{ dm}^3$$

$$\text{como } e = 10^{-3} \text{ pulg}$$

$$1 \text{ pulg}^3 = 16.387 \times 10^{-3} \text{ dm}^3$$

P = PESO DE CADA ELEMENTO

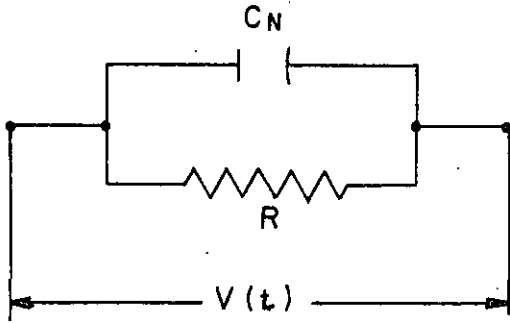
d = DENSIDAD DE CADA ELEMENTO

$$P = Vd \quad [\text{KG}]$$

I M P R E G N A N T E .

$$P_{\text{imp}} = (V_{\text{bote}} - V_{\text{paquete}} + \% \text{ DE ABSORCION})d \quad [\text{KG}]$$

CALCULO DE LA RESISTENCIA DE DESCARGA



$$V = V_{\max} e^{-\frac{t}{RC}}$$

$$V = \frac{V_{\max}}{e^{t/RC}}$$

$$e^{t/RC} = \frac{V_{\max}}{V} = \frac{\sqrt{2} \times V_N}{50}$$

DE NORMA LA TENSION ENTRE TERMINALES DEBE DISMINUIR A UN VALOR IGUAL O MENOR A 50 - VOLTS EN TIEMPO MAXIMO DE 5 MINUTOS EN ALTA TENSION Y UN MINUTO EN BAJA TENSION.

$$\frac{T}{RC} = n \frac{\sqrt{2} \times V_N}{50}$$

PARA $T < 300$ seg

$$R = \frac{T}{C \frac{\sqrt{2} \times V_N}{50}}$$

DE NORMA $C = 1.15 C_N$

$$R = \frac{300 \text{ seg}}{1.15 C_N \frac{\sqrt{2} V_N}{50}} \quad \left[M \ \Omega \right]$$

NUMERO DE BOQUILLAS

PARA CAPACITORES DE 1 FASE LLEVARAN 1 O 2 BOQUILLAS

PARA CAPACITORES DE 3 FASES LLEVARAN 3 O 4 BOQUILLAS, DEPENDIENDO DE LA CONE-
XION.

LAS BOQUILLAS SE SELECCIONARAN EN BASE AL TIPO DE SERVICIO, CONDICIONES AM---
BIENTALES Y CARACTERISTICAS ELECTRICAS COMO SE INDICA EN LA SIGUIENTE TABLA:

CARACTERISTICAS ELECTRICAS DE BOQUILLAS*Y

TENSION NOMINAL DEL CAPACITOR VOLTS	CLASE DE AISLAMIENTO kV	DISTANCIA DE FUGA MINIMA# mm	TENSION ALTERNA APLICADA +		TENSION DE IMPULSO + (1.2 X 50 s) VALOR DE CRESTA kV
			EN SECO (1 MIN) kV	EN HUMEDO (10 S) kV	
0 - 1200	1.2	50.8	10	6	30
1201 - 5000	8.7	139.7	27	24	75
5001 - 15000	15	254.0	35	30	95
11560 - 15000	18	381.0	42	36	125
11560 - 25000	25	430	70	70	150

* ESTOS VALORES ESTAN DADOS A 1000 METROS SOBRE EL NIVEL DEL MAR Y A UNA TEMPERATURA AMBIENTE DE 25 °C.

EN CASO DE QUE LOS CAPACITORES SE OPEREN A ALTITUDES MAYORES DE 1000 M, SE RECO---
MIENDA AUMENTAR LA DISTANCIA DE FUGA, APLICANDO LOS FACTORES DE CORRECCION DE LA -
TABLA.

T A B L A

FACTORES DE CORRECCION POR ALTITUD

ALTITUD	FACTOR DE CORRECCION
1000	1
1200	0.98
1500	0.95
1800	0.92
2100	0.89
2400	0.86
2700	0.83
3000	0.80

III.- EJEMPLO DE APLICACION

DATOS INICIALES: (EJEMPLO)

100 KVAR

7960 VOLTS

60 HZ

CAPACITANCIA NOMINAL

$$C_N = \frac{\text{KVAR} \times 10^3}{2 \pi f (\text{KV})^2}$$

$$C_N = \frac{100 \times 10^3}{2 \pi (60)(7.960)^2} = 4.186 \mu\text{f}$$

BOBINAS EN SERIE

$$B_S = \frac{V_N}{V_B} \quad \text{VOLTAJE MAXIMO/BOBINA} = 1600 \text{ VOLTS}$$

$$B_S = \frac{7960}{1600} = 4.957 \quad B_S \approx 5 \text{ EN SERIE}$$

BOBINAS EN PARALELO

CORRIENTE MAXIMA/TAP = 2.5 AMPERES

TAP DE ALUMINIO DE 0.0625 X 15.5 X 0.005

$$B_P = \frac{I_N}{\text{AMP/TAP} \times \text{PARES DE TAPS}}$$

$$I_N = \frac{\text{KVAR}}{\text{KV}}$$

$$I_N = \frac{100 \text{ KVAR}}{7.960 \text{ KV}} = 12.56 \text{ AMP}$$

$$B_P = \frac{12.56}{2.5(2)} = 2.51 \text{ BOBINAS}$$

$$B_P \approx 3 \text{ EN PARALELO}$$

BOBINAS TOTALES

$$B = B_s \times B_p$$

$$B = (5)(3) = 15$$

$$B = 15 \text{ BOBINAS}$$

CAPACITANCIA NOMINAL POR BOBINA

$$C_{NB} = C_N \frac{B_s}{B_p}$$

$$C_{NB} = 4.18 \mu f \left(\frac{5}{3} \right) = 6.977 \mu f/\text{BOBINA}$$

CAPACITANCIA DE DISEÑO

$$C_B = 1.04 C_{NB}$$

$$C_B = 1.04 (6.977) = 7.256 \mu f/\text{BOBINA}$$

CALCULO DE INTENSIDADES DE CAMPO ELECTRICO

$$E = \sum_{i=1}^n e_i$$

$$E = e_{f1} + e_{f2} + e_p$$

$$E = 0.60 + 0.50 + 0.50 = 1.6 \text{ MILLS}$$

$$K' = \frac{E}{\frac{e_{f1} + e_{f2}}{k_f} + \frac{e_{p1}}{k_{p1}}}$$

$$k_f = 2.25$$

$$k_p = 5.99$$

$$K' = \frac{1.6}{\frac{0.60 + 0.50}{2.25} + \frac{0.50}{5.99}}$$

$$K' = 2.79543$$

$$J = \frac{V_N/B_S}{E}$$

$$J = \frac{7960}{1.6} = 995 \text{ VOLTS/MILLS}$$

$$J_F = \frac{K'}{K_F} J$$

$$J_F = \frac{2.79543}{2.25} (995)$$

$$J_F = 1236.2 \text{ VOLTS/MILLS}$$

$$J_p = \frac{K'}{K_p} J$$

$$J_p = \frac{K'}{K_p} J$$

$$J_p = \frac{2.79543}{5.99} (995)$$

$$J_p = 464.35 \text{ VOLTS/MIL}$$

ESFUERZO DIELECTRICO MAXIMO = 1262 VOLTS/MILLS

$$1236.2 < 1262$$

LA CONSTANTE DIELECTRICA REAL DE TODOS LOS MATERIALES QUE FORMAN EL DIELECTRICO EN ESTE CASO ES:

$$K = 2.985$$

SUPERFICIE EFECTIVA DE LAS PLACAS DE CADA BOBINA

$$S_{EB} = \frac{(1 + e_r) E \times 10^{-3}}{E_o K} C_B$$

$$S_{EB} = \frac{(1 + 0.14)(1.60 \times 10^{-3}) \text{ PULG}}{(0.226 \times 10^{-6} \frac{\mu\text{f}}{\text{PULG}})(2.985)} \quad (7.256 \mu\text{f}/\text{BOBINA})$$

$$S_{EB} = 1.9617 \times 10^4 \text{ PULG}^2$$

LONGITUD DE LAS BANDAS DE ALUMINIO

$$L_A = \frac{S_{EB}}{2 h_A}$$

$$L_A = \frac{1.9617 \times 10^4 \text{ PULG}^2}{2(11.5) \text{ PULG}}$$

$$L_A = 852.937 \text{ PULG}$$

ESPESOR TOTAL DE LA BANDA BOBINADA

$$\delta = 2 \left[(1 + e_R) E + e_A \right]$$

$$\delta = 2 \left[(1 + 0.14) 1.60 + 0.30 \right]$$

$$\delta = 4.248 \text{ MILLS}$$

NUMERO DE VUELTAS DEL MANDRIL POR CADA BOBINA

$$N = \frac{\sqrt{D^2 + \frac{4}{\pi} \delta L_A \times 10^{-3}} - D}{2 \delta \times 10^{-3}}$$

PROPONRIENDO UN DIAMETRO DE MANDRIL $D = 2.57 \text{ PULG}$

$$N = \frac{\sqrt{(2.57)^2 + \frac{4}{\pi} (4.248)(852.937) \times 10^{-3}} - 2.57}{2 (4.248) \times 10^{-3}}$$

$$N = 91.732 \text{ VULETAS}$$

ESPESOR DE CADA BOBINA

$$U_B = 2 \delta N \times 10^{-3} + 8 (1 + e_R) E \times 10^{-3}$$

$$U_B = 2(4.248)(91.732) * 10^{-3} + 8 (1 + 0.14) 1.60 \times 10^{-3}$$

$$U_B = 0.79395 \text{ PULG}$$

ANCHO REAL DE CADA BOBINA

$$W_B = \frac{\pi D}{2} + U_B$$

$$W_B = \frac{\pi (2.57)}{2} + 0.79394$$

$$W_B = 4.83089 \text{ PULG}$$

LONGITUD DE LAS BANDAS DE POLIPROPILENO Y PAPEL

$$L_F = L_P = L_A + 4W_B \text{ PULG}$$

$$L_F = L_P = 852.937 + 4 (4.83089)$$

$$L_F = L_P = 872.26065 \text{ PULG}$$

DIMENSIONES DEL PAQUETE

MONTAJE VERTICAL

ALTURA DEL PAQUETE

$$H_p = U_B \times B + 0.250''$$

$$H_p = 0.79395 (15) + 0.250''$$

$$H_p = 12.15925''$$

ANCHO DEL PAQUETE

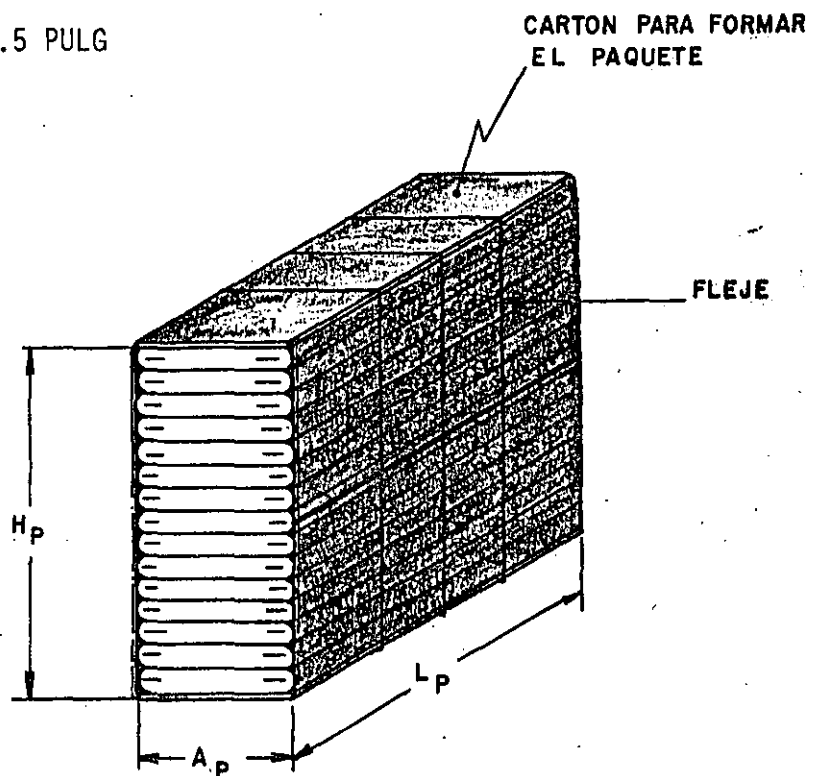
$$A_p = W_B$$

$$A_p = 4.83089 \text{ PULG}$$

LARGO DEL PAQUETE

$$L_p = h_D$$

$$L_p = 11.5 \text{ PULG}$$



AISLAMIENTO DEL PAQUETE

$$w = \frac{V_n}{V}$$

mills

PARA UN PAPEL DE 0.005"

$$w = \frac{7960}{240 \text{ V/mills}} = 33.1666 \text{ Mills}$$

$$n = \frac{a_w}{5 \text{ mills}}$$

$$n = \frac{33.1666}{5}$$

n = 6.63 ≈ 7 VUELTAS DE AISLAMIENTO

$$a_w = 3.5 \text{ mills}$$

DIMENSIONES DEL BOTE

ANCHO DEL BOTE:

$$A_b = A_p + 2a_w$$

$$A_b = 4.83089 + 2 (3.5) \times 10^{-3}$$

$$A_b = 4.83789 \text{ Pulg}$$

$$A_b \approx 5.00 \text{ Pulg}$$

LARGO DEL BOTE: DIMENSIONES ESTANDAR 13.5 "

$$L_b = L_p + u$$

EN ESTE CASO DE MONTAJE HORIZONTAL a_u ES EL ESPACIO NECESARIO PARA AISLAMIENTO CONEXIONES Y RESISTENCIAS DE DESCARGA.

ALTURA DEL BOTE

$$H_b = H_p + 2.5''$$

$$H_b = 12.1292 + 2.5$$

$$H_b = 14.65 \text{ g}'' \approx 14.75''$$

DIMENSIONES FINALES DEL BOTE

LARGO 13 1/2''

ANCHO 5''

ALTURA 14 3/4''

CALCULO DE RESISTENCIAS DE
DESCARGA

$$R_{\max} = \frac{300 \text{ SEG}}{1.15 C_N \frac{\sqrt{2} V_n}{50}} \quad [M\Omega]$$

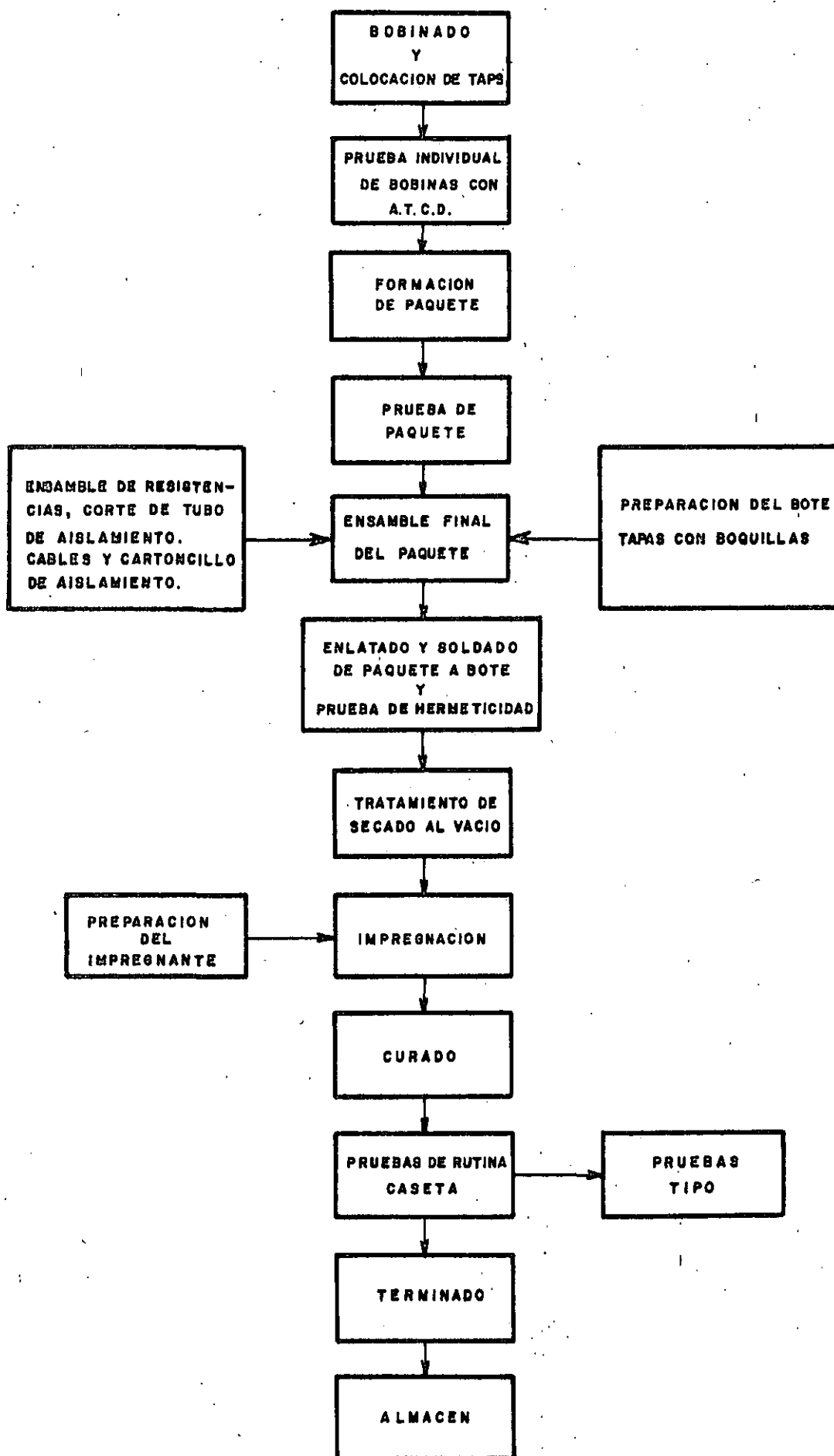
V = 7960 VOLTS

$C_N = 4.186 \mu f$

$$R_{\max} = \frac{300 \text{ SEG}}{1.15 (4.186 \times 10^{-6}) \frac{\sqrt{2} (7960)}{50}}$$

$$R_{\max} = 11.505 M\Omega$$

IV.- SECUENCIA DE FABRICACION DE UN CAPACITOR DE POTENCIA



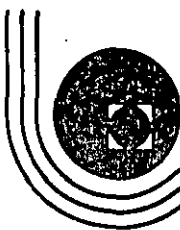
V. PERSPECTIVAS DEL CAPACITOR DE POTENCIA Y CONCLUSIONES.

En la época actual la constante renovación tecnológica y la competencia en el mercado, hacen que el diseño de un capacitor de potencia sea modificado continuamente. La búsqueda de nuevos materiales dieléctricos, la sustitución del papel, la mejora en el líquido impregnante..., etc., está haciendo cada día de mejores y más económicos capacitores de potencia.

La tendencia actual es en principio, sustituir el papel por polipropileno únicamente, o sea capacitores sin papel, denominados ALL-FILM y posteriormente encontrar un líquido de propiedades cercanas al askarel, como son no inflamabilidad y alta constante dieléctrica.

En baja tensión la renovación tecnológica ha sido a tal grado que eliminó el uso de papel y líquido como impregnante. La tecnología del polipropileno metalizado y el principio de autoregeneración, revolucionaron el diseño del capacitor de potencia, de tal forma que para baja tensión, este diseño es secreto de unas cuantas empresas en el mundo y el diseño que se ha presentado aquí, resulta útil solamente para capacitores en alta tensión.

Sin embargo, este estudio y el ejemplo presentados, son una base real para cualquier diseño de capacitores que se quiera hacer, con los materiales y líquido que se elijan y los parámetros eléctricos seleccionados. Asimismo, hay que recalcar que las constantes que se mencionan en el ejemplo se han determinado en base a la experiencia, de ahí que el uso de materiales y líquido distintos, obliga a la determinación de dichos valores en forma experimental.



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

DISEÑO Y FABRICACION DE EQUIPO ELECTRICICO

SISTEMAS DE ENERGIA ELECTRICA EN CD

ACUMULADORES ELECTRICOS
CARGADORES DE BATERIAS
APLICACIONES

OCTUBRE, 1985



TEMARIO DE PLATICAS

SISTEMAS DE ENERGIA ELECTRICA EN CD

- PARTE I ACUMULADORES ELECTRICOS
- PARTE II CARGADORES DE BATERIAS
- PARTE III APLICACIONES



PARTE I

ACUMULADORES ELECTRICOS

A. INTRODUCCION

- Historia de las baterías
- Diferentes tipos de baterías
- Estado actual de baterías

B. CARACTERISTICAS ELECTRICAS DEL ACUMULADOR

- Voltaje en bornes
- Capacidad
- Rendimiento
- Autodescarga
- Electrolito

C. CARGA DE ACUMULADORES ELECTRICOS

- Con intensidad constante
- A voltaje constante
- Con intensidad decreciente

D. MANTENIMIENTO

- Voltajes de carga
- Adición de agua
- Limpieza

E. CALCULO DE UNA BATERIA NIFE

- Ejemplo 1
- Ejemplo 2



PARTE II

CARGADORES DE BATERIAS

A. INTRODUCCION

- *Que es un cargador de baterías*
- *Tipos básicos*

B. CARACTERISTICAS DE UN CARGADOR DE BATERIAS

- *Regulación*
- *Niveles de voltajes de carga*
- *Limitación de corriente*

C. PARTES COMPONENTES DE UN CARGADOR DE BATERIAS NIFE

- *Transformador*
- *Puente rectificador*
- *Tarjetas de control*
- *Instrumentos de medida y señalización*
- *Mantenimiento*

D. CALCULO DE UN CARGADOR DE BATERIAS

- *Ejemplo*



PARTE IIII

APLICACIONES

A. INTRODUCCION

- Donde utilizar acumuladores eléctricos

BATERIA

APLICACION TIPICA

- KAP - Alumbrado de emergencia
- Alumbrado y sistemas de control en Trenes
- Telecomunicaciones, etc.

- MDP - Maniobra de interruptores
- Alimentación de onduladores (UPS)
- Sistemas de comunicaciones, etc.

- HIP - Arranque de motores
- Arranque de turbinas
- Alimentación de onduladores
- Maniobra de interruptores

CARACTERISTICAS ELECTRICAS - CAPACIDAD - DESCARGA Y CARGA -
CALCULO DE BATERIAS Y CARGADORES.

En lo que sigue se pretende dar unas ideas sobre el comportamiento eléctrico de un acumulador NIFE de níquel-cadmio, incluyendo además unas reglas sencillas para su cálculo y el del cargador correspondiente.

Este estudio no pretende ser exhaustivo ni excesivamente riguroso sino aclarar unos conceptos básicos y ayudar al proyectista.

1. ACUMULADOR, BATERIA Y ELEMENTOS

Un acumulador eléctrico es un sistema que recibe energía en forma eléctrica, la almacena en forma química y la suministra en forma eléctrica.

Su unidad física completa mas simple es el elemento. El conjunto de varios elementos unidos forma una batería.

2. DESCARGA Y CARGA

Cuando se descarga un acumulador NIFE la tensión se mantiene, como término medio en 1,2 V. Por eso decimos que la "tensión media de descarga" es 1,2 V.

Normalmente comienza en 1,3 V y termina en 1,1 ó 1,0 V según la curva de la fig. 1.

Sin embargo luego explicaremos cómo la tensión varía fuertemente con la intensidad de descarga.

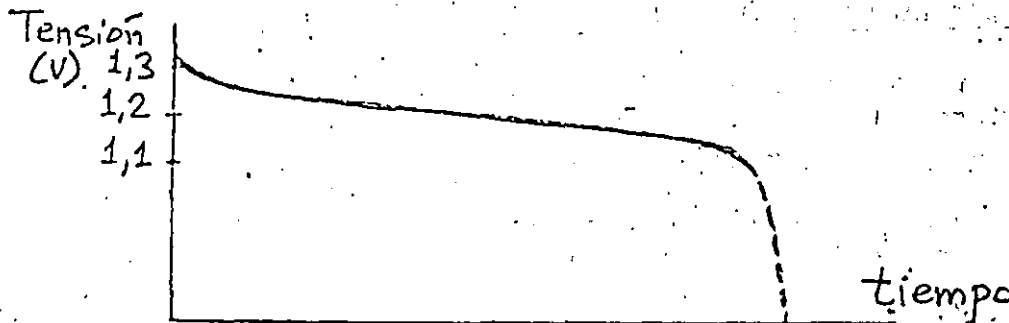
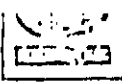


Fig.1. Curva típica de descarga de un acumulador NIFE.

En carga la tensión aumenta. Normalmente el valor máximo es de 1,6 V aproximadamente, produciéndose al final una gasificación en el electrolito.

3. ¿ QUE ES CAPACIDAD ?

Es la cantidad de electricidad almacenada durante la carga y susceptible de ser entregada en un proceso de descarga.



La capacidad es el producto de la intensidad de descarga por el tiempo que dura la descarga, calculado hasta que se alcanza una tensión final establecida y a una temperatura dada.

La capacidad se mide en amperios-hora (Ah)

La capacidad obtenible en la descarga de un acumulador depende, entre otros factores, de

- la intensidad de descarga
- la tensión final a la que cortemos la descarga.
- la temperatura

4. INFLUENCIA DE LA INTENSIDAD DE DESCARGA SOBRE LA CAPACIDAD.

Supongamos que la tensión final es fija, por ejemplo 1,1 V. Tenemos una batería de capacidad $C = 100$ Ah.

Si la descargamos con 20 A nos da un tiempo de 5 h :

$$C_1 = 20 \text{ A} \times 5 \text{ h} = 100 \text{ Ah}$$

Pero si la descargamos con 100 no da 1 h : $C \neq 100 \text{ A} \times 1 \text{ h}$, sino bastante menor, por ejemplo: 1/2 h.

$$C_2 = 100 \text{ A} \times 0,5 \text{ h} = 50 \text{ Ah.}$$

Hemos obtenido el 50% de la capacidad C_1 .

Luego puede afirmarse que, a igualdad de tensión final, cuanto mayor sea la intensidad de descarga, menor es la capacidad aprovechable de un acumulador en esa descarga.

5. INFLUENCIA DE LA TENSION FINAL SOBRE LA CAPACIDAD.

Por otra parte supongamos una descarga con una cierta intensidad. Si cortamos la descarga en una tensión $U_1 = 1,25$ V obtendremos un tiempo t_1 relativamente corto.

Si prolongamos la descarga hasta que la tensión sea $U_2 = 1,15$ V el tiempo t_2 será mayor. (Fig.2).

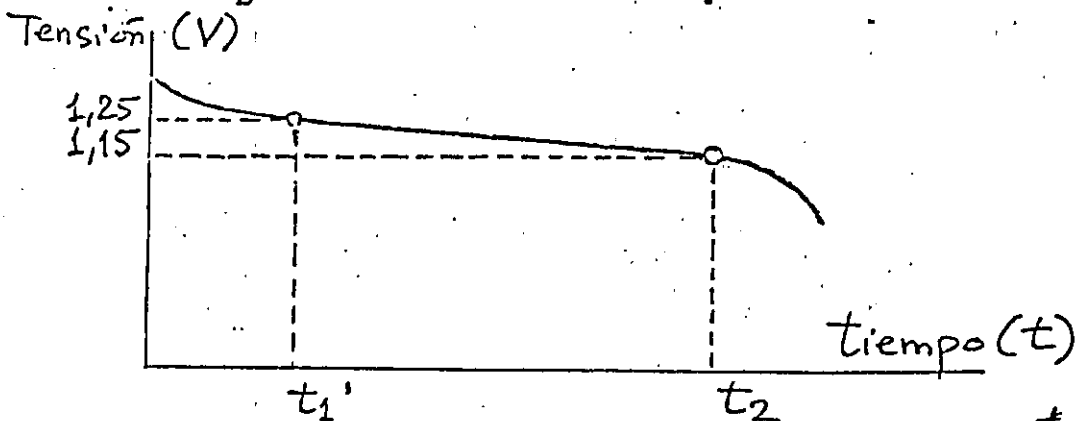


Fig.2. Si la tensión final es más baja el t de descarga es mayor

Si hemos descargado con $I = 20$ A hasta $1,25$ V y t_1 ha sido de 1 hora, la capacidad obtenida ha sido

$$C_1 = 20 \text{ A} \times 1 \text{ h} = 20 \text{ Ah}$$

Si al descargar con $I = 20$ A hasta $1,15$ V, t_2 ha sido 4 h, la capacidad obtenida ha sido

$$C_2 = 20 \text{ A} \times 4 \text{ h} = 80 \text{ Ah}$$

Luego, a igualdad de intensidad, la capacidad obtenible es mayor cuanto mas baja sea la tensión a que cortemos la descarga.

Esto tiene una limitación importante y es que al final de la descarga la tensión cae muy bruscamente a cero y por tanto hay una zona final que no tiene interés práctico.

6. CONCEPTO DE CAPACIDAD NOMINAL. REGIMEN DE DESCARGA.

De lo anterior se concluye que para definir la capacidad nominal de un acumulador hay que fijar cual es el tiempo de descarga y la tensión final.

El tiempo de descarga se suele fijar en 5 horas (a veces en 10 h.). El tiempo de descarga nominal es el "régimen de descarga". La tensión final se suele fijar en $1,10$ V.

Así pues, si decimos que:

La capacidad C de un acumulador NIFE es de 100 Ah en régimen de descarga de 5 h hasta la tensión final de 1,1 V queremos decir que descargando con 20 A la descarga dura 5 h cuando llega a 1,1 V.

Pero, como vimos en 4 y 5, la capacidad real obtenida puede ser muy diferente al variar I , t ó U final.

Como ejemplo, en un rayo la corriente puede ser de 100.000 A y el tiempo de descarga de 0,0001 seg. Teóricamente, una batería de 0,003 Ah podría dar tal descarga pero en la práctica debería tener millones de veces esa capacidad.

Por lo tanto, la conclusión es:

La capacidad obtenible en la descarga de un acumulador es un valor que depende de muchos parámetros por lo que el único modo de calcular las prestaciones de una batería es acudir a un catálogo.

Tal es así que últimamente se está abandonando el concepto de capacidad por el de prestaciones reales.

Los conceptos aquí expuestos valen también para otro tipo de batería como la de plomo, aunque los valores de tensión, etc. son diferentes.



7. INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA SOBRE LA CAPACIDAD.

Los valores nominales se refieren a 25° C. Si la temperatura aumenta, la capacidad aumenta ligeramente.
Si la temperatura desciende, la capacidad disminuye.

8. INFLUENCIA DE LA INTENSIDAD DE DESCARGA SOBRE LA TENSION.

Al descargar un acumulador con una intensidad I_1 la tensión toma unos ciertos valores (curva U_1) durante la descarga.
Si la intensidad es mayor (I_2), la tensión (curva U_2) se mantiene siempre por debajo de la U_1 .

En la fig. 3 se observa un elemento que se descarga con una intensidad I_1 de 20 A por ejemplo, o bien con $I_2 = 40$ A. En ambos casos el tiempo de descarga será diferente, pero lo importante es tener en cuenta que las tensiones son diferentes en ambos casos.

Se puede afirmar que cuando la intensidad de descarga es grande la tensión cae mas y por lo tanto, se debe permitir una tensión mínima mas baja so pena de aprovechar menos la capacidad.

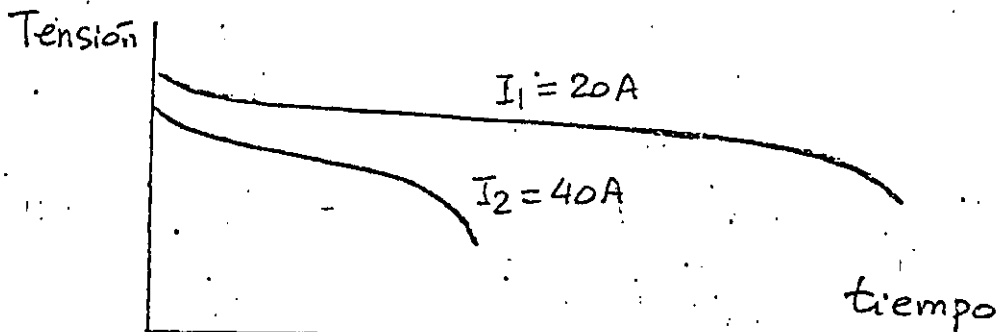


Fig.3. La tensión es menor cuando I aumenta.

Por lo tanto:

La tensión que siempre se menciona como media en un elemento NIFE, es decir, 1,2 V puede que en una cierta descarga fuerte no se alcance ni siquiera al principio.

O bien, si la descarga es de intensidad pequeña, la tensión se mantiene siempre por encima de 1,2 V excepto en los momentos finales

La conclusión es la de siempre: acudir a los catálogos.

9. RESISTENCIA INTERNA. TRES TIPOS DE ELEMENTOS NIFE.

La variación de la tensión U con la intensidad de descarga I (ver punto 8), depende de la resistencia interna de la batería R_i .

Cuanto menor sea R_i , menos cae la tensión y mas se aprovecha la capacidad en descargas de I fuerte.

NIFE dispone de 3 series de elementos.

- Tipos KA y KAP (KAP en vasos de plástico). Resistencia interna relativamente grande.
- Tipos MD y MDP. Resistencia interna media.
- Tipos HI y HIP. Resistencia interna muy baja.
- Tipos KA y KAP. Son buenos para descargas prolongadas y por tanto con intensidad pequeña. Por ejemplo, durante tres horas o mas.
- Tipos MD y MDP. Son buenos para descargas medias. De 30 minutos a tres horas aproximadamente.
- Tipos HI y HIP. Son muy buenos para descargas de intensidad grande y tiempos breves o para tensiones finales altas. Tiempo inferior a 30 minutos.

La calidad en los tres tipos es la misma. Cada uno se usa en unos casos o en otros.

10. COMO SE LEEN LAS TABLAS DE DESCARGA EN LOS CATALOGOS.

Tomamos cualquiera de los tres catálogos, por ejemplo el de los tipos KAP/KA.

Un elemento KAP-10 tiene una capacidad nominal de 95 Ah y da 29 A durante 2 horas si se descarga hasta 1,14 V, pero da 41 A en 2 horas si le permitimos descargarse hasta 1 V.

En el primer caso hemos obtenido una capacidad de $29 \text{ A} \times 2 \text{ h} = 58 \text{ Ah}$, es decir, un 61% de la nominal, en el segundo caso 82 Ah o sea un 86% de C.

Si tomamos el catálogo de la serie MDP/MD vemos que un elemento MDP-10 tiene 100 Ah de capacidad nominal.

Si se descarga hasta 1,14 V con 38 A la duración es de 2 horas, aprovechando un 76% de la capacidad nominal. Descargando hasta 1 V da 46 A aprovechando el 92% de C.

Si tomamos la serie HIP/!I veremos la extraordinaria respuesta ante descargas muy fuertes.

Un elemento HI-15 de 150 Ah puede dar 2220 A en 1 seg. hasta 0,65 V (arranque de un motor).

11. COMO SE LEEN LAS CURVAS DE DESCARGA EN LOS CATALOGOS.

Tomamos la serie HIP/!I, por ejemplo. Vemos las "curvas típicas de descarga a 25° C".



En ordenadas aparece la tensión de cada elemento. En abscisas podría aparecer el tiempo de descarga pero es mucho más legible y más útil poner el porcentaje de la capacidad real obtenida en una descarga sobre la capacidad nominal C.

Las diferentes curvas se refieren a una cierta intensidad de descarga I en función de la capacidad.

Supongamos un elemento HI-15, C = 150 Ah.

Si lo descargamos con I = 300 A tenemos que ir a la curva I = 2 x C puesto que I/C = 2.

La curva nos dice que cuando la tensión es U = 1,0 V hemos obtenido el 83% de la capacidad nominal, es decir 150 Ah x 0,83 = 124,5 Ah.

Como hemos descargado con 300 A el tiempo es:

$$t = 124,5 \text{ Ah} / 300 \text{ A}$$

$$t = 0,415 \text{ h} = 25 \text{ minutos}$$

12. DESCARGAS EN PUNTA. LECTURA EN CATALOGOS.

Siguiendo con el catálogo HIP/HI de las "características de descargas en punta" se desprende que, por ejemplo: un elemento de capacidad C = 150 Ah puede dar una intensidad I = 10 x C, es decir, 1500 A, en 1 segundo con una caída de tensión hasta 0,92 V, supuesto completamente cargado y a 25° C.

La tensión se recupera rápidamente al cesar la punta.

13. CARGA DE UN ACUMULADOR NIFE.

Para que la reacción química de carga pueda efectuarse por completo se requiere conectar al acumulador un rectificador que pueda suministrar una cierta intensidad a una tensión determinada.

La corriente inicial debe estar comprendida entre 0,05 x C y 0,1 x C Amperios (siendo C la capacidad nominal) y 0,5 x C Amperios, aproximadamente, como máximo.

La tensión debe poder llegar a alcanzar un valor máximo de 1,55 V - 1,70 V, según los casos.

Este valor máximo de la tensión depende:

- intensidad de carga.
- temperatura.
- resistencia interna.



Durante el final del proceso de carga se produce un fenómeno de electrólisis con una elevación de la tensión necesaria para la carga y una gasificación visible.

Cuanto mayor es la intensidad de carga, mayor es la tensión y viceversa.

Al ser menor la resistencia interna de un elemento, la tensión necesaria para cargarlo es algo menor y viceversa.

Por lo tanto se puede deducir que disminuyendo la intensidad de carga, aumentando la temperatura y eligiendo un elemento HI la tensión de carga es mas baja. Esto es cierto pero, por una parte, el tiempo de carga aumenta y por otra hay un límite mínimo de alrededor de 1,55 V para un elemento HI a 25° C por debajo del cual no se alcanza un 100% de la carga aunque sí se puede llegar a porcentajes próximos.

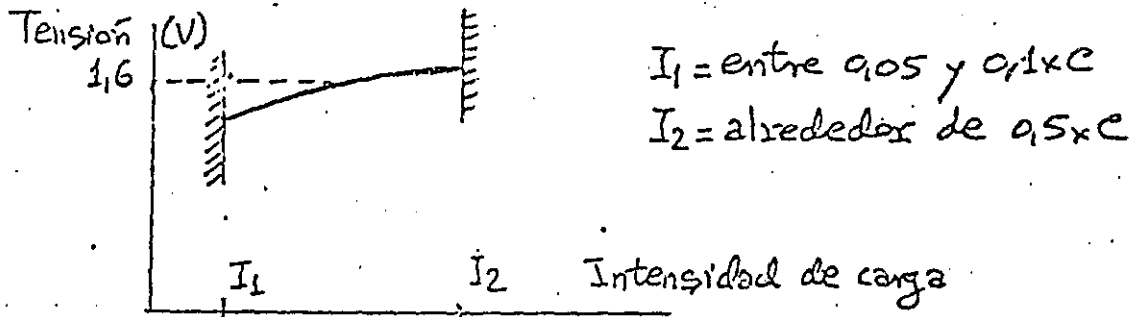


Fig. 4 La tensión de carga es función de la intensidad ó viceversa.

Existen dos formas principales de cargar un acumulador.

14. CARGA A INTENSIDAD CONSTANTE.

Si el rectificador es del tipo de intensidad constante la carga se desarrolla según la fig. 5.

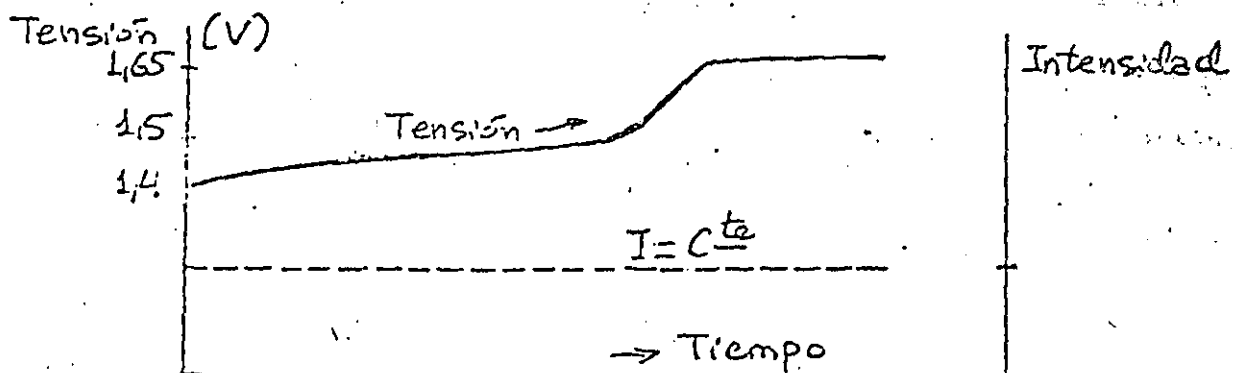


Fig.5. Carga a intensidad constante.



Un ejemplo típico:

Un elemento MD se carga con una intensidad $I = 0,2 \times C$ siendo C la capacidad, en 7 horas hasta una tensión final de 1,65 V aproximadamente.

Lo mas frecuente es que los cargadores de este tipo no den intensidad constante sino decreciente. El sistema es mas sencillo de hacer y a las baterías les viene bien que la corriente final sea menor que la inicial, sobre todo a las de plomo. La curva de tensión es prácticamente igual aunque sube algo menos.

Este método se emplea, por ejemplo, en los cargadores para baterías de alumbrado de emergencia. Ver sistema EA de NIFE.

15. CARGA A TENSION CONSTANTE.

Si el rectificador da una tensión constante la intensidad tiende a ser muy grande al principio. Por eso no se usa en la práctica.

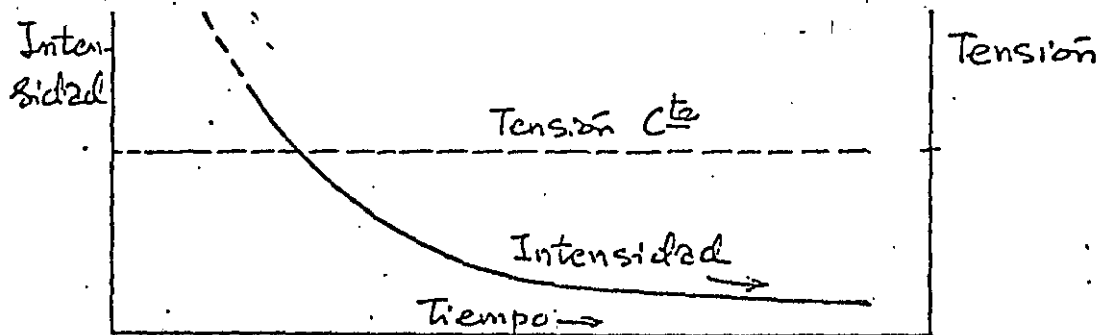


Fig.6. Carga a tensión constante.

16. CARGA A TENSION CONSTANTE E INTENSIDAD LIMITADA.

En el sistema anterior se introduce una limitación de la corriente de carga en las primeras horas, y se eviten los problemas de exceso de corriente. Durante esas primeras horas la intensidad es constante y la tensión ascendente.

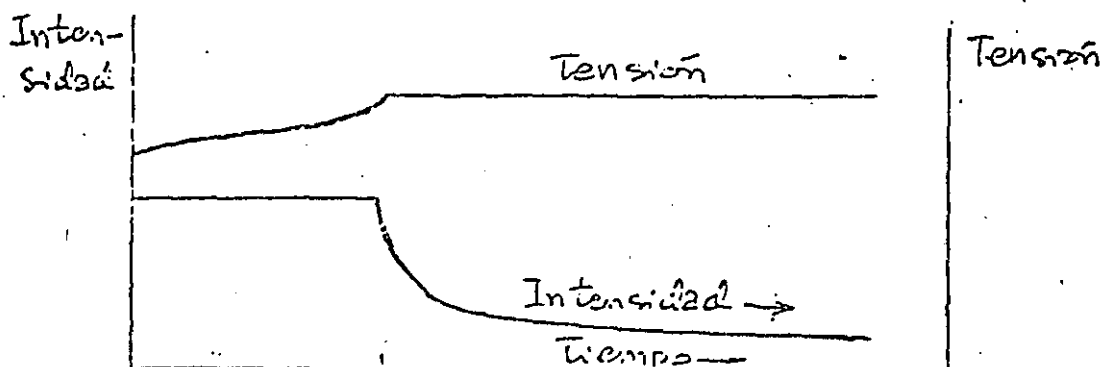


Fig.7. Carga a tensión constante e intensidad limitada.

Este método es el mas usado hoy en los cargadores de baterías de la industria. Ver el sistema FE de NIFE.

Un valor muy normal de la intensidad de carga limitada es $I = 0,2 \times C$.

Un valor muy normal de la tensión constante es 1,6 V.

Un tiempo de carga muy normal es de 15 horas.

17. AUTODESCARGA, CARGA DE MANTENIMIENTO.

Si se carga cualquier acumulador y se deja en vacío, se produce una disminución lenta de la carga.

Por ejemplo, en un elemento KA la pérdida de capacidad es del 15% después de 6 meses. En otros tipos es mayor.

Para compensar esta autodescarga se da una "carga de mantenimiento" constantemente.

Esta carga es de 0,5 a 1 mA por cada Ah de capacidad. Para ello se usa un pequeño rectificador de corriente constante o bien una toma del rectificador que asegure una corriente constante del valor necesario.

Como consecuencia, se observa que la tensión de cada elemento de la batería es de 1,4 V aproximadamente.

18. CARGA DE FLOTACION

En flotación se conecta la batería en paralelo con la salida a los servicios de corriente continua y con el rectificador. Este es del tipo de tensión constante con corriente total limitada. Fig. 8

El rectificador se ajusta a una tensión que suele ser 1,4 V por elemento de batería.

Si la batería está cargada, la intensidad de carga es muy pequeña, de varios mA, y sirve para mantener la batería "en forma".

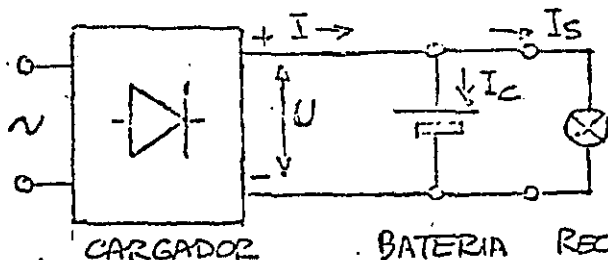
Pero si la batería sufre alguna descarga, el rectificador da a la batería una corriente mayor para compensar la descarga sufrida, volviendo al equilibrio al cabo de un tiempo.

Los rectificadores modernos dan una salida de tensión estabilizada, generalmente en $\pm 1\%$.

De este modo, la batería mantiene su tensión y por tanto su carga de conservación óptima aunque haya variaciones en la alterna de entrada o en el consumo de los receptores de continua.



Si las descargas de la batería son frecuentes y de importancia, la carga de flotación no es suficiente para reponer toda la capacidad. Entonces conviene dar alguna carga completa a tensión de 1,6 V aproximadamente. Ver punto 16.



EN EQUILIBRIO:
TENSION = $1,4 \times n$ (en flotación)
($n = n^\circ$ de elementos)

INTENSIDAD: $I = I_s + I_c$
 $I_s = I$ DE CONSUMO PERMANENTE
 $I_c = I$ DE CARGA

Fig. 8 Batería y rectificador en flotación

19. CARGA EN TAMPÓN

Hay ocasiones en que las descargas de la batería son frecuentes e intensas y disponemos de un cargador de un solo nivel de tensión.

En estos casos se ajusta la tensión a un valor intermedio entre 1,4 y 1,6 V, por ejemplo a 1,5 V.

A tensiones superiores a 1,4 V/elem. la carga es más rápida y más intensa. Solo se puede dar continuamente si las descargas son frecuentes. Este sistema se usa en vehículos ferroviarios.

SOLUCIONES PARA EL TRABAJO CONJUNTO BATERIA-CARGADOR.

20. EQUIPOS DE EMERGENCIA SIN CONSUMO PERMANENTE.

Nos estamos refiriendo a unos receptores de corriente continua que sólo requieren ser alimentados en una situación de emergencia.

Por ejemplo una instalación de alumbrado de emergencia.

Normalmente el rectificador da la carga de mantenimiento a la batería pero no alimenta ningún receptor más.

Al producirse un fallo de alterna la batería entra en descarga.

Al volver la alterna hay que cargar la batería, pero el rectificador solo da unos miliamperios en la posición en que está.

Entonces bien manual o bien automáticamente se debe dar una carga completa (ver punto 14), al final de la cual se vuelve a carga de mantenimiento.

Un cargador típico es el EA de NIFE.



Tiene dos posiciones, una de carga de mantenimiento y otra de carga a fondo con intensidad decreciente y tensión creciente y un sistema automático para el paso de una a otra.

Pero no puede dar ningún consumo permanente. Solo está para cargar la batería.

21. EQUIPOS CON CONSUMO PERMANENTE EN CONTINUA.

En muchos casos el rectificador alimenta unos servicios en continua con un consumo permanente que puede ser constante, variable o no existir, haya o no alterna en la red.

Por ejemplo en una subestación. Hay consumos de relés, lámparas de señalización, interruptores, etc.

Por ejemplo en un ondulador. Normalmente éste está trabajando y requiere ser alimentado con continuidad.

Por ejemplo en un equipo de telefonía, con consumos variables en transmisión o recepción.

Todos estos consumos los da un rectificador de tensión constante y corriente limitada, como el RE de NIFE.

El rectificador se calibra de modo que su intensidad sea la suma de la permanente de servicios mas la de carga de la batería. Ver fig.8.

Normalmente tiene dos niveles de tensión: flotación y carga rápida, ajustados a 1,4 V y 1,6 V aproximadamente por cada elemento de batería.

La posición normal es la de flotación. El consumo permanente lo da el rectificador.

La batería recibe una pequeña carga.

La batería se descarga esporádicamente: puntas de corriente, cortes de red, etc.

Y se carga a continuación.

En el caso de descargas profundas se recupera sin salir del nivel de flotación, aunque no hasta un 100%.

Para ello existe el nivel superior de carga rápida, que puede aplicarse manual o automáticamente tras una descarga importante o bien una vez cada varios meses, dimensionando algo mas la batería previamente.



Si la tensión de carga rápida se da a un nivel inferior a 1,55 V aproximadamente, se puede evitar una sobretensión excesiva a la salida pero la carga no es completa. En la elección de este nivel se puede llegar a un compromiso según la forma de trabajo del equipo.

22. CALCULO DE BATERIAS NIFE Y SUS CARGADORES.

NIFE dispone de unos cuadernos donde se detallan los cálculos necesarios para determinar una batería NIFE y su cargador. Estos cuadernos son:

- 4126-3-S Baterías NIFE para arranque de motores
- 4128-3-S " " para alumbrado de emergencia
- 4133-3-S " " para energía de reserva
- 4135-3-S " " para maniobra.

Aquí se trata de dar unas ideas mas resumidas y de aplicación rápida.

23. CALCULO DE EQUIPOS DE EMERGENCIA, SIN CONSUMO PERMANENTE.

Ver puntos : 14, 17 y 20.

Los datos necesarios son:

- Tensión nominal. Tensión mínima.
- Intensidad de descarga en emergencia.
- Tiempo de la emergencia.
- Tensión de alterna para el cargador.

En un equipo de alumbrado de emergencia, por ejemplo, no suelen existir problemas de tensión alta durante la carga porque la batería solo se conecta a la red de alumbrado cuando falta la alterna y, por tanto no se carga.

Calculamos el número de elementos dividiendo la tensión nominal por 1,2 V.

$$n^{\circ} \text{ de elementos de la batería} = n = \frac{\text{Tensión nominal}}{1,2 \text{ V/ elem.}}$$

Supongamos una tensión de 24 V.

$$n = \frac{24}{1,2} = \underline{20 \text{ elem.}}$$

En alumbrado se puede tolerar una caída de tensión al final de la descarga del orden de un 15% o más.

Si suponemos que la tensión mínima admisible es 20 V tenemos:

$$\text{Tensión mínima por elem.} = U_{\text{min}} = \frac{20 \text{ V}}{20 \text{ elem.}} = 1.0 \text{ V/elem.}$$

Ahora acudimos al cuaderno 4128-3-S, "Baterías NIFE para alumbrado de emergencia". En las páginas finales entramos en abscisas por el tiempo de emergencia (supongamos que es de 1 hora) y en ordenadas por la intensidad de descarga (supongamos que es de 50 A) y obtenemos la capacidad. El tipo inmediato superior es el MDP-7 de 70 Ah.

La batería es: 20 elementos MDP-7

Usando los catálogos el camino es el siguiente:

Por ser el tiempo 1 h, el tipo mas adecuado será el MDP/MD (ver punto 9).

Vamos a la tabla, en la que $U_{\min} = 1,0 \text{ V/elem.}$

En la columna de 1 h, el tipo superior que de mas de 50 A es el MDP-7 (da 52,5 A).

El cargador debe tener una intensidad de carga que podemos fijar entre $I = 0,15 \times C$ y $I = 0,25 \times C$ como regla general, aunque otros valores también podrían servir.

Es decir, entre 10 y 17 A.

Tomamos un cargador NIFE 24/10 EA o bien 24/15 EA.

Y si va en el mismo armario que la batería

24/10 EA 20/27 ó bien 24/15 EA 20/27

24. CALCULO DE EQUIPOS CON CONSUMO PERMANENTE.

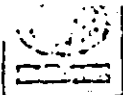
Ver puntos 15,16, 18 y 21.

Los datos necesarios son:

- Tensión nominal. Tensión máxima. Tensión mínima.
- Consumo permanente máximo.
- Consumo (s) en puntas.
- Consumo (s) en emergencia.
- Tiempo (s) de los consumos en emergencia.
- Tensión de alterna para el cargador.

Hay una serie de consideraciones que recomiendan que sea un técnico de NIFE el que calcule la batería y el cargador adecuado. Para ello conviene dar cuantos mas datos mejor acerca de la temperatura, longitud de los cables de salida, proceso de trabajo, dimensiones mínimas, filtrado, etc.

Aquí damos unas reglas para hacer un cálculo aproximado.



a) Tensiones admisibles.

Es habitual que haya unos márgenes de tensión que limitan la zona de trabajo de la batería por arriba y por abajo.

En equipos para maniobra (subestaciones y centrales) puede ser + 10, - 15%. En alimentación a calculadores \pm 15%. En telefonía 54-43 V, etc.

Se tiende a procurar que el margen superior coincida con el nivel de carga rápida y el inferior con la tensión mínima de descarga. Con frecuencia esto no es posible. Entonces se reduce la tensión de salida en carga rápida (véase unidad U en rectificador FE), se da dicha carga solo cuando los receptores más sensibles están fuera de servicio o se usan sistemas adecuados (equipo NIFE tipo IN).

Lo más frecuente es tomar la tensión de flotación algo inferior a la máxima.

b) Estudiemos el siguiente ejemplo:

Ejemplo 1

Datos:

- Tensión de salida: 110 V + 10% - 15%.
- Consumo permanente: 5 A
- Consumo de emergencia: 40 A.
- Duración de la emergencia: 1 h.

Con 110 V + 10% - 15% la tensión de carga rápida sale fuera de 110 V + 10% de modo que se usa cualquier solución mencionada en a).

Tensión máxima: 110 V + 10% : 121 V

Si la tensión máxima fuera la de flotación el número de elementos de la batería sería:

$$n = \frac{121 \text{ V}}{1,4 \text{ V/elemento}} = 86,4$$

Es decir, tomando 86 elementos estamos por debajo de 110 V + 10% en flotación.



Supongamos $n = 85$ elementos.

La tensión máxima es $85 \times 1,4 = 119$ V

La tensión mínima = 110 V - $15\% = 93,5$ V

La tensión mínima por elemento es $93,5$ V/ 85 elem. = $1,10$ V/elem.

Según el catálogo, en la tabla de $1,10$ V/elem. encontramos, en la columna de l-h, que el elemento MDP-7 da 42 A.

Batería = 85 elementos MDP-7.

Rectificador:

Ya hemos dicho que un buen valor de la corriente de carga es
 $I = 0,2 \times C$.

Si cargamos entre $I = 0,15 \times C$ e $I = 0,25 \times C$ tenemos 10 y 17 A.

Como hay un consumo permanente de 5 A, la intensidad estaría entre $10 + 5$ y $17 + 5$ A.

Si usamos un cargador $110/15$ FE estamos en el primer caso. Si usamos el tipo siguiente $110/25$ FE cargamos la batería con $25,5 = 20$ A, es decir $I = 0,28 \times C$ que es perfectamente admisible.

Luego usaremos uno u otro según queramos cargar la batería en un tiempo mas breve o no.

Rectificador = 110/15 FE ó bien 110/25 FE

Si se desea que todo se aloje en un armario conjunto:

Rectificador en armario de batería =

110/15 FE 85/27 ó bien 110/25 FE 85/27

c) Supongamos que hay puntas:

Ejemplo 2.

Datos según el ejemplo 1 mas puntas de 80 A en 1 seg.

Una punta de 80 A en 1 seg. supone una descarga de $0,022$ Ah, es decir, es despreciable.

Sin embargo, se produce una caída de tensión que hay que tener en cuenta.



Si la punta se produce al principio de la descarga o mientras hay alterna hasta comprobar que el elemento puede darla según el catálogo.

En este se ve que en 1 seg. y hasta 1,1 V/elem., el tipo MDP-7 da 160 A.

Luego el MDP-7 es válido.

Si la punta se produce al final de la descarga o en un punto intermedio el problema se complica.

Supongamos que la punta de 80 A se produce al final de la descarga de 1 hora.

Acudimos a las curvas de descarga.

La intensidad I_1 de 40 A supone moverse en la curva $I_1 = 0,57 \times C$ ya que $0,57 = I_1/C = 40/70$.

La punta I_2 de 80 A corresponde a $I_2 = 1,14 \times C$ ya que $I_2/C = 80/70 = 1,14$.

Durante 1 hora hemos descargado, con $I_1 = 40$ A:

$$C_1 = 40 \text{ A} \times 1 \text{ h} = 40 \text{ Ah} = 57\% \text{ de } C.$$

Tomamos en abscisas 57% de C. la curva $I_1 = 0,57 \times C$ indica que la tensión es 1,1 V/elem. aproximadamente.

Ahora viene la punta con $I_2 = 1,14 \times C$. Bajamos en vertical hasta I_2 y tenemos que la tensión es 0,95 V/elem. es decir, inferior a la mínima exigida, que es 1,1 V/elem.

Luego el elemento MDP-7 no es suficiente

En general conviene acudir a la serie HIP/HI cuando hay puntas importantes, sobre todo si se producen al final de la descarga.

Supongamos que el elemento es el HIP-6 de 55 Ah.

Repetimos el cálculo:

$$I_1 = 40 \text{ A} = 0,73 \times C$$

$$I_2 = 80 \text{ A} = 1,46 \times C$$



La capacidad descargada con I_1 durante 1 h ha sido

$$C_1 = 40 \text{ A} \times 1 \text{ h} = 40 \text{ Ah} = 73\% \text{ de } C$$

Según las curvas, la tensión es 1,16 V aprox.

Viene la punta $I_2 = 80 \text{ A}$. Bajamos hasta $I_2 = 1,46 \times C$ y la tensión es 1,12 V.

$$1,12 \text{ V} \times 85 \text{ elem.} = 95 \text{ V} \quad 93,5 \text{ V}$$

La batería es 85 x HIP-6

El rectificador es 110/15 FE

O bien, en armario : 110/15 FE 85/36

Y si ponemos reductor de tensión en carga rápida:

110/15FE + U ó bien 110/15 FE 85/36 + U

Es interesante observar como un elemento de la serie HIP, con menos capacidad que otro MDP (55 contra 70 Ah) se comporta mucho mas favorablemente en determinadas condiciones de descarga.

25. CALCULO CON CONSUMO DE POTENCIA CONSTANTE. ONDULADORES.

En el caso en que el rectificador y la batería alimenten un ondulador hay que tener en cuenta que la potencia de salida es constante y por lo tanto la corriente varía. Veámos un ejemplo de cálculo. (Para mas detalles ver "Baterías NIFE para energía de reserva" 4133-3-5).

Supongamos un ondulador que tiene que dar una potencia constante de tal valor que, teniendo en cuenta el factor de potencia y el rendimiento, absorbe 50 Kw.

Supongamos también que la batería tiene que dar esa potencia en emergencia de 10 minutos.

Los límites máx. y mín. de tensión a la entrada del ondulador son, por ejem., $U_{\text{max.}} = 280 \text{ V}$ y $U_{\text{mín.}} = 205 \text{ V}$.

Cálculo de la batería:

Los márgenes de tensión son suficientemente amplios. La tensión máxima la hacemos coincidir con la de carga rápida y la mínima con la de descarga.

Si la de carga máxima es 1,55 V/elem.:
 $n^\circ \text{ de elementos } = n = 280 \text{ V} / 1,55 \text{ V/elem.} = 180 \text{ elem.}$



La tensión mínima por elem. es = $U_{\text{mín.}} / \text{elem.} = 205 \text{ V} / 180 \text{ elem.} = 1,14 \text{ V/elem.}$

La tensión de descarga de la batería es variable. De hecho empezará en unos 220 V aprox. y terminará en 205 V. Luego la corriente será variable también.

Una buena norma es tomar la corriente máxima, es decir, a la tensión mínima.

$$I_{\text{máx.}} = \frac{50.000 \text{ W}}{205 \text{ V}} = 244 \text{ A}$$

y hacer el cálculo con este valor. Según el catálogo HIP/MI, el elemento HIP-14 de 125 Ah da 250 A en 10 min. hasta 1,14 V/elem.

La batería tiene 180 elementos HIP-14, de 125 Ah

Cálculo del rectificador:

Cuando el rectificador está en flotación, la intensidad que absorbe el ondulator es:

$$I_{\text{F}} = \frac{50.000 \text{ W}}{1,4 \text{ V/elem.} \times 180 \text{ elem.}} = 199 \text{ A}$$

Si cargamos la batería con $I_{\text{c}} = 0,2 \times C$, $I_{\text{c}} = 25 \text{ A}$

Luego la intensidad total del rectificador debería ser:

$$I = 199 + 25 = 225 \text{ A aprox.}$$

Sin embargo veamos lo que ocurre cuando se produce una descarga de la batería y vuelve la alterna de red.

La tensión de la batería es entonces de 205 V y por tanto la intensidad que absorbe el ondulator en ese momento es

$$I = \frac{50.000 \text{ W}}{205 \text{ V}} = 244 \text{ A}$$

Como el rectificador solo da 225 A significa que, al volver la alterna, este no puede dar la potencia de salida y la batería se descarga mas y mas. Por lo tanto la corriente total del cargador debe ser mayor de 244 A. Por ejemplo 250 A.

Cargador = 220/250 SE



DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

DISEÑO Y FABRICACION DE EQUIPO ELÉCTRICO

INTERRUPTORES DE POTENCIA

ING. JORGE YOUNG

SUBESTACIONES ENCAPSULADAS

ING. GUIDO ROMERO

OCTUBRE, 1985

P R E S E N T A C I O N

I N T E R R U P T O R E S D E P O T E N C I A

POR ING. JORGE YOUNG

S U B E S T A C I O N E S E N C A P S U L A D A S
E N S F 6

POR ING. GUIDO ROMERO

ING. JORGE YOUNG F.

INGENIERO ELECTRICISTA
ESTUDIÓ EN MÉXICO Y ALEMANIA

HA LABORADO EN EL INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELÉCTRICAS COMO
BECARIO EN EL PROYECTO DEL LABORATORIO SINTÉTICO.

FUE SUBGERENTE DE CAMPO DE PRUEBAS EN LA COMPAÑÍA DE IMEX.

ACUTALMENTE ES JEFE DEL DEPARTAMENTO DE ASISTENCIA TÉCNICA EN
BROWN BOVERI MÉXICANA, S.A. DE C.V., TENIENDO COMO OBJETIVO
PRINCIPAL EL DESARROLLO DE PIEZAS DE INTEGRACIÓN NACIONAL EN
INTERRUPTORES DE POTENCIA Y EL DESARROLLO DE NUEVOS EQUIPOS
DE FABRICACIÓN NACIONAL.

INTERRUPTORES DE POTENCIA EN SF6

INDICE:

- I.- INTRODUCCION
- II.- ASPECTOS GENERALES SOBRE EL DISEÑO DE LAS CAMARAS DE INTERRUPCION MAS COMUNES SEGUN EL MEDIO DE EXTINCION DEL ARCO ELECTRICO
- III.- DISEÑO DEL INTERRUPTOR EN SF6
- IV.- PROGRAMA DE FABRICACION DE INTERRUPTORES EN SF6
- V.- MANTENIMIENTO
- VI.- SUBESTACIONES ENCAPSULADAS EN SF6

I.- INTRODUCCION

EN TODAS LAS FASES DE LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS COMO SON GENERACIÓN, TRANSFORMACIÓN, TRANSMISIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA, LOS INTERRUPTORES DE POTENCIA CUBREN UNA MUY IMPORTANTE ACCIÓN. NO SOLO ENERGIZAN Y DEENERGIZAN CIRCUITOS DE ALTA TENSIÓN O CONMUTAN LA CORRIENTE ELÉCTRICA DE UN CIRCUITO A OTRO EN ESTADO NORMAL SINO QUE PRINCIPALMENTE EL INTERRUPTOR DE POTENCIA ES EL ELEMENTO QUE CORTA LA CORRIENTE ELÉCTRICA EN UN CIRCUITO EN ESTADO DE FALLA, AISLANDO LA ZONA DAÑADA Y PROTEGIENDO ASÍ A LOS COMPONENTES DEL SISTEMA ELÉCTRICO (GENERADORES, TRANSFORMADORES, LÍNEAS DE TRANSMISIÓN Y CARGAS).

FIGURA 1

PARA PODER ACTUAR, EL INTERRUPTOR RECIBE UNA SEÑAL PROVENIENTE DE UN CONMUTADOR, UNA COMPUTADORA O BIEN DE UN DISPOSITIVO DE PROTECCIÓN.

FIGURA 2

NORMALMENTE EL INTERRUPTOR DE POTENCIA PERMANECE CERRADO O ABIERTO DURANTE VARIOS MESES INCLUSO AÑOS, SIN SER TOCADO NI SER ATENDIDO PERO CUANDO RECIBE UNA SEÑAL POR EJEMPLO DE ALGUN DISPOSITIVO DE PROTECCIÓN DEBE SER CAPAZ DE LIBRAR CUALQUIER FALLA EN 30 A 50 MILI SEGUNDOS LO CUAL IMPLICA UNA GRAN TECNOLOGÍA EN SU DISEÑO.

LA OPERACIÓN MÁS DIFÍCIL QUE EL INTERRUPTOR DE POTENCIA DEBE CUMPLIR ES LA INTERRUPTIÓN DE CORTOS CIRCUITOS Y LA SEVERIDAD DE ESTA OPERACIÓN HA CRECIDO INMENSAMENTE DURANTE LOS ÚLTIMOS 60 AÑOS COMO RESULTADO DEL CRECIMIENTO EN TAMAÑO DE LAS REDES ELÉCTRICAS DE POTENCIA.

FIGURA 3

LAS TENSIONES NOMINALES DE LAS REDES HAN CRECIDO DE 132 KV HASTA 800 KV Y LLEGAN EN PLAN EXPERIMENTAL HASTA 1000 KV.

LAS POTENCIAS DE INTERRUPCIÓN NOMINALES HAN CRECIDO EN ESTE PERIODO DE APROX. 10^6 KVA (5 KA, 132 KV) CON BAJOS FACTORES DE SEVERIDAD EN EL CIRCUITO ASOCIADOS CON TÉCNICAS DE PRUEBA Y MEDICIÓN SUMAMENTE IMPRECISAS HASTA HOY 10^6 KVA (80 KA, 800 KV) EN REDES QUE INVOLUCRAN FACTORES MUY SEVEROS EN LOS CIRCUITOS ASOCIADOS CON TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL ARCO ELÉCTRICO, EL USO DE LA FOTOGRAFÍA DE EXTRA ALTA VELOCIDAD Y TÉCNICAS DE PRUEBA MUY ELABORADAS.

RESPECTO AL TIEMPO TOTAL DE INTERRUPCIÓN REQUERIDO PARA CORTAR CORRIENTES DE CORTO CIRCUITO SE HA DISMINUIDO RADICALMENTE EN INTERÉS DE LA ESTABILIDAD DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y LA MEJOR PROTECCIÓN DE SUS COMPONENTES.

POR EJEMPLO EN 1920 UN INTERRUPTOR EN PLENO VOLUMEN DE ACEITE REQUERÍA DEL ORDEN DE 10 A 20 CICLOS (170 A 340 MILLISEGUNDOS); CON LA INTRODUCCIÓN DE LOS "SISTEMAS DE CONTROL DE ARCO" SE REDUJO ESTE TIEMPO A 6 - 8 CICLOS (100 A 140 MILLISEGUNDOS); Y CON MEJORAS TÉCNICAS CONSIDERABLES SE HA ALCANZADO EN LAS ÚLTIMAS DECADAS 3 CICLOS (50 MILLISEGUNDOS) Y EN LOS ÚLTIMOS AÑOS 2 CICLOS (33 MILLISEGUNDOS).

COMO PUEDEN VER EL AVANCE TECNOLÓGICO EN EL DISEÑO DE INTERRUPTORES DE POTENCIA HA SIDO GRANDE.

OTRO FACTOR IMPRESIONANTE EN EL DESARROLLO DE LOS INTERRUPTORES DE POTENCIA ES LA DISMINUCIÓN CONSIDERABLE DEL PESO DEL INTERRUPTOR SEGÚN LA POTENCIA DE INTERRUPCIÓN. PARA APRECIAR MEJOR ESTE AVANCE, PONGAMOS EL EJEMPLO DE UNA SOLA COMPANÍA, BROWN BOVERI, EN LAS ÚLTIMAS 2 DECADAS.

- 3 -

EL ESPESOR DE CADA BANDA ES DEBIDA A LOS DIFERENTES NIVELES DE TENSION Y DE CORRIENTE.

LA REDUCCION DEL PESO/MVA EN UN FACTOR DE 4 LOGRADO EN SOLO UNA QUINCENA DE AÑOS ES UN RESULTADO MÁS DE UNA CONTINUA INVESTIGACION Y DESARROLLO INTEGRAL EN TODAS LAS FASES DEL DISEÑO DE INTERRUPTORES DE POTENCIA BASADO EN UN MEJOR EMPLEO DE

- MATERIALES
- MEDIOS DE EXTINCION
- TÉCNICAS DE INTERRUPCION
- ACCIONAMIENTOS MÁS EFICACES

- 4 -

II.- ASPECTOS GENERALES SOBRE EL DISEÑO DE LAS CÁMARA DE
INTERRUPCIÓN MAS COMUNES SEGUN EL MEDIO EMPLEADO PARA
LA EXTINCIÓN DEL ARCO ELÉCTRICO

EN LA CÁMARA DE EXTINCIÓN ES DONDE SE REALIZA LA FUNCIÓN MÁS IMPORTANTE DEL INTERRUPTOR DE POTENCIA QUE ES LA DE EXTINGUIR EL ARCO ELÉCTRICO PARA INTERRUMPIR LA CORRIENTE ELÉCTRICA EN UN CIRCUITO YA SEA EN CONDICIONES NORMALES O BIEN DE FALLA DEL SISTEMA EN UN TIEMPO MÍNIMO.

ESENCIALMENTE LA CREACIÓN Y EXTINCIÓN DEL ARCO ES UNA TRANSICIÓN ENTRE 2 CONDICIONES ESTABLES:

- CIRCUITO CERRADO CON CIRCULACIÓN DE CORRIENTE A TRAVÉS DEL INTERRUPTOR (LA CÁMARA DE INTERRUPCIÓN PRESENTA UNA RESISTENCIA MÍNIMA $\rightarrow 0$)
- CIRCUITO ABIERTO CON APARICIÓN DE TENSIÓN EN LAS TERMINALES DEL INTERRUPTOR (LA CÁMARA DE INTERRUPCIÓN PRESENTA UNA RESISTENCIA ALTÍSIMA $\rightarrow \infty$)

EL DISEÑO DE UN INTERRUPTOR DE POTENCIA TOMA EN CONSIDERACIÓN LOS TRES ESTADOS DEL INTERRUPTOR: CERRADO, TRANSICIÓN Y ABIERTO, EN SISTEMAS ELÉCTRICOS EN CONDICIONES NORMALES Y DE FALLA.

FIGURA 6 A

.../5

- 5 -

ORIGINALMENTE EL INTERRUPTOR ESTÁ SOMETIDO A LOS EFECTOS QUE CAUSA EL PASO DE LA CORRIENTE A TRAVÉS DE ÉL.

A PARTIR DEL MOMENTO EN QUE SE INICIA LA SEPARACIÓN DE LOS CONTACTOS METÁLICOS SE INICIA EL ARCO ELÉCTRICO CON TODAS SUS IMPLICACIONES RESPECTO A SU TENSIÓN, INTENSIDAD, ENERGÍA Y DURACIÓN. DURANTE ESTE PERIODO LA PRINCIPAL SOLICITACIÓN A LA QUE ESTÁ SOMETIDO EL INTERRUPTOR ES LA CORRIENTE.

EXISTEN 2 FORMAS PARA EXTINGUIR EL ARCO ELÉCTRICO. UNA DE ELLAS ES AUMENTANDO GRADUALMENTE LA RESISTENCIA ELÉCTRICA DEL ARCO DISMINUYENDO ASÍ GRADUALMENTE LA MAGNITUD DE LA CORRIENTE (ESTE PROCESO NO ES COMUNMENTE EMPLEADO EN INTERRUPTORES DE POTENCIA) Y LA OTRA ES EL QUE EL MEDIO DONDE SE CREA EL ARCO PRESENTE PRIMERO UNA CONDUCTIVIDAD MUY ALTA Y QUE EN ALGUNO DE LOS PASOS POR CERO DE LA CORRIENTE LA CONDUCTIVIDAD DEL MEDIO SE REDUZCA DRÁSTICAMENTE EXTINGUIENDO ASÍ AL ARCO. AL ALCANZAR EL PUNTO DE EXTINCIÓN SE INICIA LA TENSIÓN TRANSITORIA DE RECUPERACIÓN. A PARTIR DE ESTE MOMENTO EL INTERRUPTOR QUEDA SUJETO A LA RESPUESTA DEL SISTEMA QUE DETERMINA EL COMPARTAMIENTO DE LA TENSIÓN DE RECUPERACIÓN HASTA QUE SE NORMALICE LA TENSIÓN ENTRE LAS TERMINALES DEL INTERRUPTOR.

LAS FIGURAS 5 MUESTRAN LAS MÁS IMPORTANTES OPERACIONES DE INTERRUPCIÓN.

FIGURAS 5 A Y 5 B

.../6

EN ESTE CAPÍTULO NOS CONCENTRAREMOS EN EL DISEÑO DE LAS CÁMARA DE INTERRUPCIÓN EN EL PERÍODO DE TRANSICIÓN Y POSTERIORMENTE VEREMOS LOS IMPACTOS EN EL DISEÑO EN LOS PERIODOS ESTABLES.

EN LA FIGURA 6 B SE VE EL COMPORTAMIENTO DE LA TENSIÓN Y CORRIENTE EN EL ESTADO TRANSITORIO DEL PROCESO DE INTERRUPCIÓN DE CORRIENTE POR VARIACIÓN DRÁSTICA DE LA CONDUCTIVIDAD DEL MEDIO DE EXTINCIÓN.

AL INICIARSE LA SEPARACIÓN DE LOS CONTACTOS SE ENCIENDE UN ARCO ELÉCTRICO ENTRE ELLOS; LA INTERRUPCIÓN DE LA CORRIENTE CONSISTE EN EXTINGUIR ESTE ARCO.

EL OBJETIVO PRINCIPAL QUE DEBE CUMPLIR EL DISEÑO DE LA CÁMARA DE INTERRUPCIÓN ES EL DE LOGRAR MANTENER EL ARCO EN UN MEDIO DE ALTÍSIMA CONDUCTIVIDAD DURANTE EL PERÍODO DE FLUJO DE CORRIENTE PARA MINIMIZAR LA ENERGÍA DISIPADA EN FORMA DE CALOR (RI^2) EN EL INTERRUPTOR DE POTENCIA Y CAUSAR QUE LA CONDUCTANCIA CAIGA RÁPIDAMENTE MUY POCOS MICROSEGUNDOS ANTES DE QUE LA CORRIENTE PASE POR CERO, ABATIENDO DRÁSTICAMENTE LA CONDUCTIVIDAD AUMENTANDO LA RIGIDEZ DIELECTRICA.

FIGURA 7

SI SUPONEMOS QUE UN INTERRUPTOR DE POTENCIA EN UN SISTEMA ELÉCTRICO GRANDE PRESENTARA RESISTENCIA QUE VARÍE GRADUALMENTE EN

UN PERIÓDO TAN CORTO COMO PUEDE SER 10 MILISEGUNDOS DISIPARÁ ENERGÍA TÉRMICA SUFICIENTE QUE NO PODRÁ SER CONTROLADA CON ELEMENTOS TECNOLÓGICOS LO SUFICIENTEMENTE ECONÓMICOS; POR CONSECUENCIA PARA LOS INTERRUPTORES DE POTENCIA UN CAMBIO RÁPIDO EN LA CONDUCTIVIDAD SE VUELVE ESCENCIAL SIENDO EL CAMBIO SINCRONIZADO CON EL PASO DE LA CORRIENTE POR CERO.

NOTA: ALGUNOS INTERRUPTORES PARA 15 kV Y MENORES SON DISEÑADOS PARA REDUCIR Y MANTENER LA CORRIENTE DE FALLA A $1/3$ DEL VALOR QUE SE ESPERARÍA Y EL ARCO ES EXTINGUIDO CUANDO LA CORRIENTE ES CERO.

EL RANGO DE ENERGÍA DISIPADA POR LA CAÍDA DEL ARCO PARA ESTOS INTERRUPTORES ES CERCA DE LA MÁXIMA POTENCIA QUE EL SISTEMA ELÉCTRICO PUEDE DESARROLLAR Y POR LO TANTO ESTA TÉCNICA ES LIMITADA A CIRCUITOS DE BAJA POTENCIA.

EL PROBLEMA DE DISEÑO CONSISTE EN CONTROLAR EL ARCO DE TAL FORMA QUE EL PROCESO DE REMOCIÓN DE ENERGÍA AL PASO POR CERO DE LA CORRIENTE SEA TAN INTENSO PARA HACER QUE LA RESISTENCIA DEL MEDIO CREZCA LO SUFICIENTEMENTE RÁPIDO EN $I=0$ PARA PREVENIR LA REIGNICIÓN EN CASOS DE CORRIENTE DE FALLA GRANDE, Y ADEMÁS NO DEBE SER DEMASIADO INTENSO, QUE CAUSE QUE PEQUEÑAS CORRIENTES (COMO PUEDE SER LAS NOMINALES EN CIRCUITOS SIN FALLA O BIEN PEQUEÑAS CORRIENTES DE FALLA) SEAN CORTADAS ANTES DE SU PASO POR CERO CREANDO ALTAS SOBRETENSIONES EN LAS INDUCTANCIAS DEL CIRCUITO.

PERO COMO DISEÑAR UNA CÁMARA DE INTERRUPCIÓN QUE PRIMERO PRESENTE UNA RESISTENCIA DESPRECIABLE AL FLUJO DE LA CORRIENTE Y EXACTAMENTE CUANDO ESTA CORRIENTE PASE POR CERO SINCRONICE ALGO PARA QUE PRESENTE UNA RESISTENCIA ALTÍSIMA?

AFORTUNADAMENTE ESTE PRIMORDIAL PROBLEMA DE DISEÑO PUEDE COMPENDERSE MEJOR EN NUESTROS DÍAS AL CONJUNTARSE EL GRAN DESARROLLO EN LAS TÉCNICAS DE MEDICIÓN Y EL ESTUDIO ANALÍTICO Y PRÁCTICO DE VARIOS FENÓMENOS FÍSICOS PRESENTES EN EL PROCESO DE INTERRUPCIÓN DE CORRIENTES, DONDE SE INVOLUCRAN ENTRE OTROS CONOCIMIENTOS EL COMPORTAMIENTO DEL ARCO ELÉCTRICO EN DIVERSOS MEDIOS DE EXTINCIÓN, LA FÍSICA DEL PLASMA, LA MECÁNICA CUANTICA Y TEORÍA DE ÁTOMOS.

NO PRETENDO PROFUNDIZAR SOBRE ESTOS TEMAS YA QUE UNA ACLARACIÓN ANALÍTICA EN DETALLE TOMARÍA MUCHO TIEMPO, ADEMÁS ENTRARÍAMOS EN ÁREAS MUY COMPLEJAS, QUE INCLUSIVE EN NUESTROS DÍAS MUCHOS DE LOS PROCESOS INVOLUCRADOS SON TODAVÍA OSCUROS O BIEN DEBIDO A SU COMPLEJIDAD AÚN NO SE PUEDEN TRATAR ANALÍTICAMENTE. MÁS BIEN INTENTARÉ INDICAR LOS RAZGOS MÁS GENERALES DE LOS FENÓMENOS Y PARA SIMPLIFICAR NO MENCIONARÉ LOS EFECTOS SECUNDARIOS LOS CUALES AFECTAN DEMASIADO EL COMPORTAMIENTO ESCENCIAL DEL PROCESO DE INTERRUPCIÓN DE CORRIENTES.

DEBIDO A QUE LOS FENÓMENOS QUE INFLUYEN EN EL COMPORTAMIENTO DEL ARCO SON ESCENCIALMENTE DISTINTOS CUANDO EL MEDIO DE EXTINCIÓN EMPLEADO ESTA BAJO PRESIÓN QUE CUANDO ESTÁ EN VACÍO, Y PARA SIMPLIFICAR, DIVIDAMOS EL ESTUDIO EN

A) MEDIOS DE EXTINCIÓN BAJO PRESIÓN:

- AIRE A PRESIÓN ATMOSFÉRICA
- AIRE A SOBREPRESIÓN
- ACEITE
- SF6

B) MEDIO DE EXTINCIÓN EN VACÍO

FIGURA 8

LA FIGURA 8 NOS MUESTRA LOS MEDIOS DE EXTINCIÓN MÁS COMUN-
MENTE USADOS EN INTERRUPTORES DE POTENCIA.

EL COMPORTAMIENTO DEL ARCO ELÉCTRICO EN ESTOS DOS MEDIOS SE CO-
MENTARÁ EN FORMA GENERAL A CONTINUACIÓN:

MEDIOS DE EXTINCIÓN BAJO PRESIÓN

EL MEDIO POR EL QUE SE CREA Y EXTINGUE EL ARCO ES UN GAS YA
SEA AIRE, SF6 O HIDRÓGENO EN EL INTERRUPTOR DE ACEITE.

LA FIGURA 9 MUESTRA LA COMPOSICIÓN USADA PARA ESTUDIOS TEÓRICOS
Y LOS RANGOS DE PRESIÓN INVOLUCRADOS.

FIGURA 9

DE ESTE TABLA SE DESPRENDE QUE LOS GASES DE MAYOR INTERÉS PARA
EFECTOS TEÓRICOS SON

- AIRE
- N2
- H2
- SF6

AL INICIARSE LA SEPARACIÓN DE LOS CONTACTOS EL GAS QUE SE ENCUEN-

- 11 -

TRE EN ESA ZONA SE IONIZA TERMICAMENTE CREANDO PLASMA.

LA COLUMNA DEL ARCO ES EN ESTE CASO UNA REGIÓN CILÍNDRICA QUE AL IONIZAR AL GAS CREA IGUAL NÚMERO DE CARGAS POSITIVAS QUE NEGATIVAS AUMENTANDO DRÁSTICAMENTE LA DENSIDAD DE CORRIENTE QUE PASA ENTRE LOS ELECTRODOS Y CON RELATIVAMENTE BAJO CAMPO ELÉCTRICO AXIAL.

EL CALOR PRODUCIDO POR I^2R EN LA COLUMNA DEL ARCO MANTIENE LA IONIZACIÓN Y FLUYE AXIALMENTE HACÍA LOS ELECTRODOS Y RADIALMENTE HACIA EL EXTERIOR DEL ARCO.

EN MUCHOS ESTUDIOS DE ARCOS DE BAJA CORRIENTE EL FLUJO AXIAL DEL CALOR ES DESPRECIABLE SIN EMBARGO ES IMPORTANTE EN LOS INTERRUPTORES DE EMBOLO DE SOPLADO.

FIGURA 10

LA IONIZACIÓN EN LA COLUMNA ES MANTENIDA POR LA ENERGÍA DISIPADA EN EL ARCO Y COMO CONTINUAMENTE SE PIERDE CALOR EN LA PERIFERÍA Y LIMITE DEL ARCO EL ARCO ESTÁ TODO EL TIEMPO AJUSTANDO SUS CONDICIONES DE TAL FORMA QUE LA ENTRADA DE CALOR POR UNIDAD DE TIEMPO ES IGUAL AL CALOR ALMACENADO POR UNIDAD DE TIEMPO MÁS LA PERDIDA DE CALOR POR UNIDAD DE TIEMPO.

- 12 -

EN 1940 STEENBECK DEMOSTRÓ QUE EN ESTADO ESTABLE UN ARCO MODIFICA SUS DIÁMETROS Y TEMPERATURAS DE TAL FORMA QUE LA PERDIDA DE POTENCIA DE UN ARCO ES MÍNIMA.

IONIZACIÓN DEL MEDIO DE INTERRUCCIÓN

LA IONIZACIÓN EN EL MEDIO POR DONDE EXISTE ARCO SE REALIZA CUANDO CUALQUIER PROCESO OCURRE EN EL CUAL UNA ENERGÍA SUFICIENTE PUEDE SUMINISTRARSE A PARTICULAS NEUTRAS PARA DESPRENDER UNO O MAS ELECTRONES.

EN EL DISEÑO DE LAS CÁMARAS DE INTERRUCCIÓN SON 2 LOS PROCESOS DE IONIZACIÓN MÁS IMPORTANTES:

- IONIZACIÓN TÉRMICA, - ES CASI LA ÚNICA PRESENTE EN EL PERIODO DE CONDUCCIÓN DEL MEDIO Y ES CAUSADA POR LA AGITACIÓN TÉRMICA DE LAS PARTICULAS MUY CALIENTES DEL GAS.
- IONIZACIÓN POR COLISIÓN DE ELECTRONES, - ES CASI LA ÚNICA PRESENTE EN LA ZONA DONDE LA CORRIENTE PASA POR CERO.

LA DEPENDENCIA DE LA CONDUCTIVIDAD EN UN MEDIO DE EXTINCIÓN DE ARCO ES PROPORCIONAL AL GRADO DE IONIZACIÓN DEL MISMO MEDIO.

IONIZACIÓN TÉRMICA

OCURRE CUANDO LA MASA DE UN GAS ES CALENTADA SUFICIENTEMENTE POR LOS IMPACTOS DE SUS PARTÍCULAS A GRANDES VELOCIDADES PERO TENIENDO DIRECCIONES ERRÁTICAS

EL GRADO DE IONIZACIÓN ESTÁ EN FUNCIÓN NO SOLO DE LA TEMPERATURA SINO TAMBIÉN DE LA PRESIÓN, Y DEL POTENCIAL DE IONIZACIÓN DEL GAS O VAPOR.

POTENCIAL DE IONIZACIÓN = TRABAJO PARA REMOVER UN ELECTRÓN DE UN ÁTOMO O PARTÍCULA (EN ELECTRÓN-VOLT) MÁS DE UN ELECTRÓN POR PARTICULA PUEDE SER REMOVIDO EN PLASMAS ALTAMENTE IONIZADOS

EL PROCESO DEL LADO DE COLISIÓN DE MASAS QUE CAUSA IONIZACIÓN TÉRMICA VARIA DE ACUERDO A LA TEMPERATURA DEL GAS.

A BAJAS TEMPERATURAS DONDE EL GRADO DE IONIZACIÓN ES PEQUEÑO LAS MOLECULAS Y FOTONES QUE IMPACTAN CON MOLECULAS O ATOMOS SON RESPONSABLES EN GRAN PROPORCIÓN POR LAS COLISIONES DE IONIZACIÓN

A ALTAS TEMPERATURAS EL PROCESO DE IONIZACIÓN ES DEBIDO PRINCIPALMENTE A LA COLISIÓN DE ELECTRONES CON MOLECULAS. ESTOS ELECTRONES SE MUEVEN ERRÁTICAMENTE A GRAN VELOCIDAD

LA ENERGÍA DE LAS PARTÍCULAS QUE IMPACTAN ES OBTENIDA TÉRMICAMENTE DEBIDO A LA ALTA TEMPERATURA DEL GAS Y NO DEBIDA A ALGÚN CAMPO ELÉCTRICO QUE ACELERE A LAS PARTÍCULAS.

POTENCIALES TÍPICOS DE IONIZACIÓN:

- S = 10,3 eV
- O₂ = 12,2 eV PRESIÓN ATMOSFÉRICA
- HE = 24,5 eV
- H₂ = 15,4 eV TEMPERATURA AMBIENTE

13

EN EL CASO DEL SF₆, ESTE SE DESASOCIA EN SF₂ Y SF₄ ENTRE 1000 Y 3000 K Y AUMENTANDO LA TEMPERATURA SE IONIZA.

IONIZACIÓN POR COLISIÓN

TAMBIÉN SE LOGRA IONIZAR AL GAS POR LA COLISIÓN DE ELECTRONES QUE SON DIRECTAMENTE ACELERADOS POR GRANDES GRADIENTES ELÉCTRICOS EN EL ARCO Y CUYAS VELOCIDADES NO SON MÁS ALTAS QUE LAS QUE DEBERÍAN TENER SI ESTUVIERAN EN EQUILIBRIO TÉRMICO A LA TEMPERATURA DEL ARCO.

EL DESPLAZAMIENTO DE LOS ELECTRONES NO ES ERRÁTICO SINO DIRIGIDO POR EL CAMPO ELÉCTRICO.

FIGURA 11

LA PROBABILIDAD DE IONIZACIÓN POR COLISIÓN ES CERO CUANDO EL ELECTRÓN DE IMPACTO TIENE UNA ENERGÍA MENOR A LA DEL POTENCIAL DE IONIZACIÓN DE LA PARTÍCULA NEUTRA CONTRA LA CUAL CHOCA.

LA PROBABILIDAD DE IONIZACIÓN POR COLISIÓN CRECE A UN MÁXIMO DE 100 eV PARA LA MAYORÍA DE LOS GASES CAYENDO LENTAMENTE CUANDO LA ENERGÍA DEL ELECTRÓN DE IMPACTO ES INCREMENTADA. VER FIG. 11.

FORMACIÓN DE IONES NEGATIVOS

NO SOLO SE FORMAN IONES POSITIVOS POR LA REMOCIÓN DE ELECTRONES EN UN ÁTOMO O MOLÉCULA PREVIAMENTE NEURO; SINO QUE TAMBIÉN ALGUNOS GASES TIENEN AFINIDAD A FORMAR IONES NEGATIVOS AL ENGANCHAR UN ELECTRÓN ADICIONAL Y POR LO TANTO LA MOLÉCULA PRESENTA UNA CARGA NEGATIVA.

- 16 -

UN SOLO ENCUENTRO SERÁ DE SOLAMENTE 10^{-7} .

EN LOS RESULTADOS DE MEDICIONES ESTA POSIBILIDAD VARIA DE 10^{-4} PARA LOS GASES ALTAMENTE ELECTRONEGATIVOS PARA ABAJO.

CONSIDERANDO LA EXISTENCIA Y MOVIMIENTO DE UN ELECTRÓN EN UN GAS ELECTRONEGATIVO, ES POSIBLE DEFINIR EL TIEMPO DE ENGANCHE COMO EL PROMEDIO DE TIEMPO EN EL CUAL UN ELECTRÓN EXISTE LIBRE EN UN GAS A TEMPERATURA Y PRESIÓN ATMOSFÉRICA ANTES DE SER ABSORVIDO POR UNA PARTÍCULA NEUTRA PARA FORMAR UN IÓN NEGATIVO.

TIEMPOS DE ENGANCHE APROXIMADOS

GAS	TIEMPO DE ENGANCHE EN SEG.
NOBLE	∞
CO	10^{-3}
NH ₃	$3 \cdot 10^{-4}$
AIRE	$6 \cdot 10^{-7}$
O ₂ , H ₂ O	$2 \cdot 10^{-7}$
SF ₆	4×10^{-9}

ES LÓGICO PENSAR QUE LOS IONES NEGATIVOS SON MÁS FACILES DE FORMAR A BAJAS TEMPERATURAS DONDE LOS ELECTRONES SON MÁS LENTOS Y POR ESTO PERMANECEN MÁS TIEMPO EN LA VECINDAD DEL ÁTOMO O MOLÉCULA QUE A ALTAS TEMPERATURAS DONDE LA MOVILIDAD DE LOS ELECTRONES ES MAYOR.

- 15 -

ESTA AFINIDAD DE CIERTOS ELEMENTOS PARA ENGANCHAR ELECTRONES DEPENDE DE LA ESTABILIDAD DE LA CUBIERTA DE ELECTRONES EN EL ÁTOMO. SE LLAMAN GASES ELECTRONEGATIVOS AQUELLOS QUE TIENEN GRAN AFINIDAD A FORMAR IONES NEGATIVOS. LA ENERGÍA DE IONIZACIÓN PARA FORMAR IONES NEGATIVOS EN UN GAS SE INDICA A CONTINUACIÓN:

$$F = 3,9 \text{ EV}$$

$$O = 2 \text{ EV}$$

$$O_2 = 1 \text{ EV}$$

$$H = 0,7 \text{ EV}$$

LA MECÁNICA CUÁNTICA INDICA QUE CUANDO UN ION NEGATIVO ES FORMADO, LA ENERGÍA CINÉTICA DEL ELECTRÓN INCIDENTE Y LA AFINIDAD DE ELECTRONES DEBE SER DE ALGUNA FORMA DISIPADA. ESTO OCURRE A MENUDO CON LA EMISIÓN DE UN FÓTON (CUANTO DE ENERGÍA DE ENERGÍA $E = h \nu$, $h = \text{CTE. PLANCK } 6,62 \cdot 10^{-27} \text{ ERGS/SEG.}$, $\nu = \text{FRECUENCIA DEL MOVIMIENTO VIBRATORIO CON VELOCIDAD DE LA LUZ CON MASA EN MOVIMIENTO Y SIN MASA EN REPOSO}$) AUNQUE TAMBIÉN EN LA CAPTURA DE ELECTRONES LA MOLÉCULA PUEDE TRANSFERIR ENERGÍA CINÉTICA A UNA TERCER PARTICULA.

MIENTRAS MÁS BAJAS SEAN LAS VELOCIDADES DE LOS ELECTRONES MÁS ALTAS SON LAS PROBABILIDADES DE FORMACIÓN DE UN ION NEGATIVO.

LA FORMACIÓN DE IONES NEGATIVOS DEPENDE DE LA FACILIDAD DE LA PARTICULA POR EMITIR ESPONTANEAMENTE UN CUANTO DE ENERGÍA DURANTE EL TIEMPO EN QUE EL ELECTRÓN INCIDENTE ESTÁ EN EL ÁTOMO.

POR EJEMPLO UN ELECTRÓN CON ENERGÍA DE 1 EV QUE ATRAVIESE UN ÁTOMO EN 10^{-15} SEG. Y EL COEFICIENTE DE EMISIÓN ESPONTANEA DE LA MOLÉCULA SEA DE 10^8 , LA PROBABILIDAD DE QUE ESE ELECTRÓN SEA CAPTURADO Y POR LO TANTO DE QUE UN IÓN NEGATIVO SEA FORMADO EN

- 17 -

RECOMBINACIÓN

AL EXISTIR PARTÍCULAS CARGADAS POSITIVA Y NEGATIVAMENTE EN UN GAS EXISTE UNA RELACIÓN DE COMBINACIÓN DE PARES DE PARTÍCULAS CON CARGAS OPUESTAS COMBINANDOSE PARA FORMAR PARTÍCULAS NEUTRAS.

LA RECOMBINACIÓN PRODUCE ENERGÍA CINÉTICA O RADIACIÓN SIENDO EL MONTO IGUAL A LA ENERGIA DE IONIZACIÓN DE LAS PARTÍCULAS. DE AQUI QUE EL GRADO DE IONIZACIÓN ALCANZADO POR UN GAS SUJETO A ALGUNA INFLUENCIA DE IONIZACIÓN COMO ES LA ALTA TEMPERATURA, ETC. ES UNA SITUACIÓN DE EQUILIBRO DONDE LA RELACIÓN DE FORMACIÓN DE PARES DE IONES BALANCEA EXACTAMENTE LA RELACIÓN DE RECOMBINACIÓN.

EN CUALQUIER PROCESO DE RECOMBINACIÓN LAS PARTÍCULAS DEBEN PERMANECER LO SUFICIENTEMENTE CERCANAS LAS UNAS A LAS OTRAS POR UN TIEMPO SUFICIENTE PARA QUE PUEDA OCURRIR LA RECOMBINACIÓN. DE AQUI QUE LA EMISIÓN DE ENERGÍA EN EXCESO NO OCURRE INSTANTAMENTE SINO QUE TOMA ALGUNOS NANOSEGUNDOS.

ÉSTO SIGNIFICA QUE LA RECOMBINACIÓN OCURRE MÁS RAPIDAMENTE A BAJAS TEMPERATURAS DONDE LAS PARTÍCULAS TIENEN VELOCIDADES MÁS BAJAS QUE A ALTAS TEMPERATURAS.

EN EL DISEÑO DE INTERRUPTORES ES ESCENCIAL EL CONOCIMIENTO DE LA RECOMBINACIÓN EN EL MEDIO DE EXTINCIÓN DEL ARCO COMO SE VERÁ POSTERIORMENTE.

PROCESOS PRINCIPALES DE RECOMBINACIÓN

- RECOMBINACIÓN EN SUPERFICIES SOLIDAS
- RECOMBINACIÓN ION NEGATIVO CON ION POSITIVO
- RECOMBINACIÓN ELECTRÓN CON ION POSITIVO

RECOMBINACIÓN EN SUPERFICIES SOLIDAS

ES ALTAMENTE EFECTIVA YA QUE CUANDO UN ION POSITIVO (EXISTENTE POR EJEMPLO EN EL VAPOR DE METAL RODEANDO A UN ELECTRODO) CHOCA CON LA SUPERFICIE DEL ELECTRODO (CONTACTO) ES NEUTRALIZADO RÁPIDAMENTE Y PUEDE ABANDONAR LA SUPERFICIE COMO UNA PARTÍCULA NEUTRA.

EN CÁMARAS DE INTERRUPCIÓN CON MEDIOS DE EXTINCIÓN A PRESIÓN ESTE PROCESO DE RECOMBINACIÓN NO ES IMPORTANTE YA QUE EL CAMINO LIBRE PROMEDIO ENTRE EL ION POSITIVO Y EL CONTACTO ES DE APROX. 10^{-5} CM Y MENOR; ES TAN CORTO QUE LOS IONES EN LA REGIÓN CRÍTICA DEL CANAL DE DESCARGA CASI NUNCA ENCUENTRAN UNA SUPERFICIE SOLIDA. EN LOS INTERRUPTORES EN VACIO DONDE EL CAMINO LIBRE PROMEDIO ES DE VARIOS CENTIMETROS, ESTE PROCESO DE RECOMBINACIÓN ES EL MÁS DOMINANTE SIENDO LOS IONES DE ORIGEN METÁLICO (CONTACTOS) Y RECOMBINADOS EN LOS MISMOS CONTACTOS.

RECOMBINACIÓN ION NEGATIVO CON ION POSITIVO

ESTA RECOMBINACIÓN ES MÁS PROBABLE QUE LA RECOMBINACIÓN DE UN ELECTRÓN CON UN ION POSITIVO YA QUE LOS IONES SE MUEVEN MÁS LENTAMENTE DEBIDO A SU MASA EN CUALQUIER TEMPERATURA Y POR ESTO PERMANECEN ADYACENTES POR UN TIEMPO MAYOR.

COEFICIENTE DE RECOMBINACIÓN: $C_I = \frac{1}{N_I^2} \frac{dN_I}{dt}$

VALOR TIPICO $C_I = 10^{-6} \text{ cm}^3/\text{s}$,

N_I = NÚMERO DE IONES EN RECOMBINACIÓN POR cm^2 POR SEGUNDO

- 19 -

RECOMBINACIÓN ELECTRON CON ION POSITIVO

COEFICIENTE DE RECOMBINACIÓN

$$C_E = \frac{1}{N E^2} \cdot \frac{D N E}{D T} \quad \text{VALOR TIPICO } C_E = 10^{-8} \text{ CM}^3/\text{SEG.}$$

LAS RELACIONES DE RECOMBINACIÓN SON MUY SENSITIVAS A LA TEMPERATURA Y PRESIÓN.

LAS IMPUREZAS ELECTRONEGATIVAS EN UN GAS FORMARÁN IONES NEGATIVOS E INCREMENTARÁN GRANDEMENTE LA RELACIÓN DE RECOMBINACIÓN.

CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA EN LA COLUMNA DEL ARCO

FIGURA 12

LOS PROCESOS DE IONIZACIÓN Y RECOMBINACIÓN SON LOS CAUSANTES DEL CAMBIO DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA EN EL ARCO.

LA CORRIENTE QUE FLUYE EN EL ARCO POR UNIDAD DE AREA ES PROPORCIONAL AL NO. DE CARGAS QUE CRUZAN EL AREA PERPENDICULAR AL EJE DE LA COLUMNA POR SEGUNDO.

LOS IONES POSITIVOS SE MUEVEN EN DIRECCIÓN OPUESTA A LOS ELECTRONES.

LA CORRIENTE DEBIDA A IONES POSITIVOS ES ADICIONADA A LA CORRIENTE DE ELECTRONES.

LA MOVILIDAD DE LOS ELECTRONES ES APROXIMADAMENTE $10 \cdot 10^4 \frac{\text{CM}^2}{\text{S.V}}$ Y LA DE IONES POSITIVOS O NEGATIVOS DE 1 A $10 \frac{\text{CM}^2}{\text{S.V}}$.

LAS VELOCIDADES DE LAS PARTÍCULAS SON IGUALES A SUS RESPECTIVAS MOVILIDADES MULTIPLICADAS POR EL CAMPO ELÉCTRICO.

SIENDO LA MOVILIDAD DE IONES APROXIMADAMENTE 1/1000 DE LA DE LOS ELECTRONES (DEBIDO A LA DIFERENCIA DE MASAS) LA CORRIENTE DEBIDA A LOS IONES ES DE APROXIMADAMENTE 0,1 % DE LA CORRIENTE TOTAL POR LO TANTO SE PUEDE DESPRECIAR.

$$J = E \cdot Q \cdot N_E (\mu_E + \mu_I) \approx E \cdot Q \cdot N_E \cdot \mu_E$$

$$\sigma = Q \cdot N_E (\mu_E + \mu_I) \approx Q \cdot N_E \cdot \mu_E$$

J = DENSIDAD DE CORRIENTE

E = GRADIENTE ELÉCTRICO

Q = CARGA ELECTRONICA

N_E = DENSIDAD DE ELECTRONES

N_I = DENSIDAD DE IONES

σ = CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

μ_E = MOVILIDAD DE ELECTRONES

μ_I = MOVILIDAD DE IONES

CUANDO EL ARCO SE ENCUENTRA EN UN GAS ELECTRONEGATIVO O BIEN DONDE HAY SUFICIENTES IMPUREZAS ELECTRONEGATIVAS LOS ELECTRONES LLEGAN A SER ENGANCHADOS PARA FORMAR IONES NEGATIVOS, CUANDO LA TEMPERATURA CAE ANTES DE I=0. LAS CORRIENTES DE IONES POSITIVOS Y NEGATIVOS SON AHORA IGUALES Y CADA UNA ES APROX. 1/1000 DE LA CORRIENTE DEL ELECTRON QUE FLUIRÍA SI EL ENGANCHE NO HUBIERA TENIDO LUGAR.

$$\sigma = 2 \cdot Q \cdot N_I \cdot \mu_I$$

$$\text{COMO } \mu_I = 10^{-3} \mu_E \quad \sigma_{I=0} = 1/500 \sigma$$

- 21 -

LA CONDUCTIVIDAD EN EL PERIODO DE CORRIENTE CERO CAE A 1/500 DE LA CONDUCTIVIDAD DEBIDA A LOS ELECTRONES EN EL GAS IONIZADO A ALTA TEMPERATURA (PLASMA).

CON ESTO SE INDICA LA IMPORTANCIA DE LAS INTERACCIONES ENTRE LA TEMPERATURA, LA IONIZACIÓN Y LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA EN EL MEDIO DE EXTINCIÓN DEL ARCO CUYO CONOCIMIENTO ES FUNDAMENTAL EN EL DISEÑO DE LAS CÁMARAS DE EXTINCIÓN DE LOS INTERRUPTORES CON MEDIO DE EXTINCIÓN A PRESIÓN.

FIGURA 12

SI COMPARAMOS ESTA FIGURA No. 12 CON LA FIGURA 7 VEMOS QUE EL EMPLEO DE UN MEDIO DE EXTINCIÓN CON GAS ELECTRONEGATIVO ES MUY CONVENIENTE.

LA IDEA ES QUE EL DISEÑO DE LA CÁMARA DE INTERRUPCIÓN LOGRE QUE EL ARCO SE MANTENGA EN EL PLASMA COMPLETAMENTE IONIZADO TRATANDO DE NO CAER EN LA ZONA TRANSITORIA DE CONDUCTIVIDAD ($5 \text{ A } 20 \cdot 10^3 \text{ K}$) Y QUE CUANDO LA CORRIENTE PASE POR ALGUN CERO LA TEMPERATURA SEA MENOR QUE LA MÍNIMA DEL PERÍODO TRANSITORIO.

LAS CONDUCTIVIDADES DE ESTOS GASES SON SIMILARES CON TEMPERATURA ARRIBA DE 5000° K ; EN LA ZONA DE 2000° K EL SF₆ MUESTRA UNA CONDUCTIVIDAD AÚN MÁSBAJA QUE PARA EL HIDRÓGENO Y NITRÓGENO.

FENÓMENOS TÉRMICOS DEL ARCO

LOS MÁS IMPORTANTES SON

- A) TRANSFERENCIA DE CALOR EN EL ARCO
- B) PERDIDA DE CALOR DE LA SUPERFICIE DEL ARCO

FIGURA 13

LA FIGURA 13 MUESTRA LA CURVA DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DEL HIDROGENO, NITROGENO Y SF₆.

SE OBSERVA QUE LAS CURVAS PRESENTAN PICOS EN LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA A VARIAS TEMPERATURAS. ESTOS PICOS OCURREN EN AQUELLAS TEMPERATURAS DONDE HAY CAMBIO MÁXIMO A DISOCIACIÓN O IONIZACIÓN POR TEMPERATURA.

LA CAUSA DE LOS PICOS DE DISOCIACIÓN SON LAS PARTÍCULAS QUE SE DIFUNDEN A LAS REGIONES FRÍAS LLEVANDO SU ENERGÍA DE DISOCIACIÓN CON ELLAS MIENTRAS QUE LAS PARTÍCULAS NO DISOCIADAS SE DIFUNDEN DE LAS REGIONES FRÍAS A LAS CALIENTES SIN LLEVAR ENERGÍA DE DISOCIACIÓN. LO MISMO OCURRE CON LOS PICOS DE IONIZACIÓN. LOS PICOS OCURREN PARA LA SEGUNDA Y POSTERIORES IONIZACIONES AL IGUAL QUE PARA LA PRIMERA.

FIGURA 14

LA FIGURA 14 MUESTRA LA VISCOSIDAD DE LOS GASES A LA TEMPERATURA DEL ARCO.

SE MUESTRA QUE LA VISCOSIDAD A LA TEMPERATURA DEL ARCO ES MUCHO MAYOR QUE A LA TEMPERATURA AMBIENTE.

ESTE INCREMENTO EN LA VISCOSIDAD SIGNIFICA QUE DENTRO DEL ARCO EL FLUJO ES FRECUENTEMENTE LAMINAR CUANDO EL FLUJO QUE LO RODEA ES TURBULENTO.

LA TEMPERATURA DE DISTRIBUCIÓN RADIAL EN LOS ARCOS EN UN FLUJO DE N₂ SE MUESTRA EN LA FIGURA 15 CALCULADO CON LA FORMULA DE ELENBASS-HELLER.

FIGURA 15

FENÓMENOS MAGNÉTICOS

EL ARCO ELÉCTRICO CREA CAMPOS MAGNÉTICOS AL IGUAL QUE LOS CREA UN CONDUCTOR SÓLIDO LLEVANDO LA MISMA CORRIENTE.

EL CAMPO MAGNÉTICO TRANSVERSAL, DEBIDO EN PARTE A LA CORRIENTE FLUYENDO EN EL MISMO ARCO, HARÁ QUE UN ARCO ESTRECHO SE VEA ARQUEADO SIEMPRE BAJO LA INFLUENCIA DE SU PROPIO CAMPO MAGNÉTICO.

DEBIDO A QUE LAS FUERZAS MAGNÉTICAS AUTOGENERADAS EN CIRCUITOS TIENDEN A INCREMENTAR LA INDUCTANCIA DEL CIRCUITO, EL ARCO SE CURVEARÁ EN UNA GRAN ESPIRA Y EN ARCOS GRANDES, ESTOS PUEDEN TENER LA FORMA HELICOIDAL BAJO LA INFLUENCIA DE ESTAS FUERZAS.

SI SE EVITA QUE UN ARCO EN UN CAMPO MAGNÉTICO TRANSVERSAL (SU PROPIO CAMPO O BIEN UN CAMPO SEPARADO) PUEDA MOVERSE TRANSVERSALMENTE SIENDO PRESIONADO CONTRA UNA SERIE DE PLACAS REFRACTARIAS (COMO SUCEDE EN ALGUNOS INTERRUPTORES DE CAÍDA DE ARCO) EL GRADIENTE DE PRESIÓN TRANSVERSAL BOMBLEARÁ GAS A TRAVÉS DEL ARCO (BOMBEO MAGNÉTO-HIDRODINÁMICO) Y CUANDO ALGÚN INTERRUPTOR DE CAÍDA DE ARCO INTERRUMPE CORRIENTES DE FALLA EL FLUJO CREADO POR EL CAMPO MAGNÉTICO TRANSVERSAL ALCANZARÁ VELOCIDADES SONICAS.

EN UN INTERRUPTOR DEL TIPO DE EMBOLO DE SOPLADO LA PRESIÓN MAGNÉTICA ES EVITADA DEBIDO AL FLUJO DE GAS EN EL PROCESO DE EXTINCIÓN.

CORRIENTE POST-CERO:

HASTA LA FECHA NO HAY UN MODELO MATEMÁTICO QUE SE APROXIME AL COMPARTAMIENTO EN CUALQUIER ESTADO DEL ARCO.

DESDE 1930 A LA FECHA HA HABIDO MUCHAS APROXIMACIONES AL MODELO MATEMÁTICO DEL ARCO (1938: CASSIE, 1943: MAYR, 1948: BROWNE, 1972: BUTLER Y WHITTAKER), LOS CUALES HAN SIDO REBATIDOS O CONFIRMADOS A MEDIDA QUE EXISTEN MEJORES FORMAS DE MEDICIÓN.

UNA DE LAS TEORÍAS MÁS RECIENTES SOBRE EL COMPORTAMIENTO DEL ARCO EN LA REGIÓN DE CORRIENTE CERO TOMANDO UN MODELO DE ARCO QUE EN EL CENTRO O EN LA REGION CONDUCTORA DEL ARCO TOME EN CONSIDERACIÓN ENERGÍA ALMACENADA, ADEMÁS DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA Y ELÉCTRICA Y EN LA CUAL LA UNICA PERDIDA SIGNIFICATIVA EN LA REGIÓN CENTRAL ES LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA.

SI CONSIDERAMOS ESTA TEORÍA DE ENERGÍA ALMACENADA EN LA COLUMNA DE ARCO SIGNIFICA QUE LA CURVA DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL ARCO CAERÁ A CERO UN TIEMPO DESPUÉS QUE LA CORRIENTE PASE POR CERO. ESTO SIGNIFICA QUE A ALTAS CORRIENTES HABRÁ FLUJO DE CORRIENTE POST-CERO, LA CUAL PUEDE O NO PUEDE SER SUFICIENTE PARA MODIFICAR NOTABLEMENTE EL PERFIL DE LA TENSIÓN TRANSITORIA DE RESTABLECIMIENTO.

FIGURA 16

LA MAGNITUD Y DURACIÓN DE LA CORRIENTE POST-CERO DEPENDE DE LOS PARAMETROS DEL CIRCUITO Y DEL DISEÑO DE LA CÁMARA DE INTERRUPCIÓN.

ES RELATIVAMENTE MAYOR ESTA CORRIENTE POST-CERO EN INTERRUPTORES DE EMBOLO DE SOPLADO CON BOQUILLAS GRANDES.

CASO DE INTERRUPCIÓN DE UN ARCO EN VACÍO

EL CASO DE INTERRUPCIÓN DE UN ARCO EN VACÍO ES DIFERENTE AL DE LA INTERRUPCIÓN BAJO PRESIÓN.

LOS IONES SON GENERADOS EN ESTE CASO POR EL ARCO ACTUANDO SOBRE LOS CONTACTOS, CREANDO UNA NUBE DE IONES POSITIVOS. DE AQUÍ QUE CUANDO EL ARCO ES EXTINGUIDO, LA DENSIDAD DE LA NUBE DE IONES ENTRE Y ALREDEDOR DE LOS CONTACTOS ES SUBSTANCIALMENTE CERO DEJANDO DE NUEVO UN BUEN VACÍO.

EL PLASMA CREADO ES DE PERFIL CÓNICO CON EL VÉRTICE DEL CONO EN EL CÁTODO Y LA BASE EN EL ÁNODO.

LA CORRIENTE ES FORMADA EN EL PLASMA POR LOS ELECTRONES EMITIDOS A PARTIR DEL CÁTODO Y SE EXTIENDE HACIA EL CONO. LOS ELECTRONES EN EL CONO DE PLASMA EN UN ARCO DE COBRE TIENEN UNA VELOCIDAD HACIA EL ANODO DE 10^8 CM/S. EL VAPOR DE METAL EMITIDO POR EL SPOT SE EXPANDE TAMBIÉN HACIA EL CONO DESDE LA REGIÓN DE ALTA PRESIÓN. EN FRENTE DEL SPOT LA VELOCIDAD DEL COBRE ES 10^6 CM/S. IONES POSITIVOS DE METAL SE FORMAN EN LA REGIÓN DE ALTA PRESIÓN EN FRENTE DEL SPOT Y TAMBIÉN ENTRAN EN EL CONO DE PLASMA ACELERADO CONTRA EL CAMPO ELÉCTRICO POR EL MOMENTO TRANSFERIDO DE LAS PARTÍCULAS EN LA REGIÓN DE ALTA PRESIÓN. DE AQUÍ QUE SE TIENE UN VIAJE DE IONES POSITIVOS DEL CÁTODO AL ÁNODO DEBIDO A SU ALTA ENERGÍA INICIAL.

UNA CONSECUENCIA ES QUE EL GRADIENTE DE TENSIÓN EN LA REGIÓN DEL PLASMA DE UN ARCO DE BAJA CORRIENTE DIFUSO ES EFECTIVAMENTE CERO.

EN EL DISEÑO DE LAS CÁMARAS DE INTERRUPCIÓN LAS BASES EXPUESTAS AQUÍ EN FORMA GENERAL Y SIMPLIFICADA (LOS FENÓMENOS SON DE HECHO MUCHO MÁS COMPLEJOS) INTERVIENEN EN FORMA IMPORTANTE.

LOS ARREGLOS BÁSICOS DE LAS CÁMARAS DE INTERRUPCIÓN, DEPENDIENDO DEL MEDIO DE INTERRUPCIÓN, SE MUESTRAN EN LA SIGUIENTE FIGURA.

FIGURA 17

PARA LOS INTERRUPTORES QUE EXTINGUEN EL ARCO CUANDO LA CORRIENTE PASA POR CERO LOS SIGUIENTES ASPECTOS BÁSICOS DEBEN CONSIDERARSE EN SU DISEÑO

FIGURA 18

LOS PROGRESOS ALCANZADOS EN LAS CÁMARAS DE INTERRUPCIÓN EN FUNCIÓN DEL MEDIO DE EXTINCIÓN SE MUESTRA EN LA FIGURA 19 A.

FIGURA 19 A

AQUÍ SE MUESTRA EL DESARROLLO DE LA CAPACIDAD INTERRUPTIVA POR UNIDAD DE CÁMARA DE INTERRUPCIÓN EN FUNCIÓN DEL TIEMPO.

DE ESTE DIAGRAMA SE DESPRENDE QUE LOS VALORES ALCANZADOS MÁS ALTOS SE HAN LOGRADO EMPLEANDO AIRE COMPRIMIDO Y SF₆.

OTRA FORMA DE VISUALIZAR EL PROGRESO EN EL DISEÑO DE LAS CÁMARAS DE EXTINCIÓN SE MUESTRA EN LA FIGURA 19 B.

FIGURA 19 B

EN ESTA GRÁFICA SE VEN LAS GRANDES VENTAJAS DE LA CÁMARA DE INTERRUPCIÓN EN SF₆ PARA TENSIONES HASTA 400 KV RESPECTO AL INTERRUPTOR EN POCO VOLUMEN DE ACEITE Y AL DE AIRE COMPRIMIDO.

EL GRAN ADELANTO EN EL DISEÑO DE INTERRUPTORES SE HA LOGRADO CON EL USO DEL GAS SF₆ CUYAS CARACTERÍSTICAS SE MENCIONAN EN EL SIGUIENTE TEMA.

CONCEPTOS GENERALES DEL EMPLEO DEL SF6 COMO MEDIO DE EXTINCIÓN

LOS RESULTADOS ANTES MENCIONADOS SOBRE TODO EN EL EMPLEO DEL SF6 COMO MEDIO AISLANTE EN LOS INTERRUPTORES DE POTENCIA, SE DEBEN BÁSICAMENTE A LAS EXTRAORDINARIAS PROPIEDADES DEL GAS, TANTO DIELECTRICA COMO TÉRMICAMENTE.

EL SF6 ES UN GAS NO COMBUSTIBLE, NO TÓXICO, INODORO, INCOLORO Y QUÍMICAMENTE ESTABLE E INERTE. SU PESO ESPECÍFICO ES DE 6.14 GR./LITRO Y ES APROXIMADAMENTE 5 VECES MÁS PESADO QUE EL AIRE. SU PESO MOLECULAR ES 146.

LA FIGURA NR. 20 MUESTRA LA CURVA DE LICUEFACCIÓN DE GAS EN FUNCIÓN DE LA PRESIÓN Y LA TEMPERATURA.

FIGURA 20.

EL SF6 ALCANZA DE 2.5 A 3 VECES MAYOR RIGIDEZ DIELECTRICA QUE EL AIRE A LA MISMA PRESIÓN.

ADEMÁS DE MUY BIEN GAS AISLANTE, HA PROBADO SER UN EXCELENTE MEDIO DE EXTINCIÓN DEL ARCO ELÉCTRICO. A UNA TEMPERATURA DE APROXIMADAMENTE 2000° K., TIENE UNA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA ALTA, LO CUAL FAVORECE EL ENFRIAMIENTO DEL PLASMA DEL ARCO ANTES Y DURANTE EL PASO POR CERO DE LA CORRIENTE, Y POR LO TANTO, FACILITA LA EXTINCIÓN DEL MISMO.

EL COMPORTAMIENTO ELECTRONEGATIVO DEL GAS SF6, ES DECIR, LA PROPIEDAD DE CAPTURAR ELECTRONES LIBRES Y FORMAR IONES NEGATIVOS, ES EL RESPONSABLE DE LAS ALTAS CARACTERÍSTICAS DE RUPTURA DEL GAS Y POR TANTO DE LA RECUPERACIÓN DIELECTRICA DEL CANAL ENTRE CONTACTOS INMEDIATAMENTE DESPUÉS DE LA EXTINCIÓN DEL ARCO.

III.- DISEÑO DEL INTERRUPTOR EN SF6

EN EL TEMA ANTERIOR VIMOS GENERALMENTE LAS GRANDES VENTAJAS DE EMPLEO SF6 COMO MEDIO DE EXTINCIÓN.

A CONTINUACIÓN SE MENCIONARÁN LAS CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO DEL INTERRUPTOR DE POTENCIA EN SF6 MARCA BROWN BOVERI.

EL DISEÑO ES MODULAR Y CONSTA DE LAS SIGUIENTES SECCIONES:

- 1.- CÁMARA DE INTERRUPCIÓN.
- 2.- AISLAMIENTO A TIERRA;
- 3.- SISTEMA DE ACCIONAMIENTO INCLUYENDO LA BARRA DE ACCIONAMIENTO DE MATERIAL AISLANTE.
- 4.- GABINETE DE CONTROL.
- 5.- SISTEMA DE CONTROL DE DENSIDAD DE SF6
- 6.- SISTEMA DE SELLADO.
- 7.- ESTRUCTURA SOPORTE.

ESTAS SECCIONES SE MUESTRAN EN LAS SIGUIENTES FIGURAS.

FIGURA 21

PARA TENER UNA IDEA DEL TAMAÑO DE LOS INTERRUPTORES SE MUESTRA LA SIGUIENTE FIGURA

FIGURA 21 G

CAMARA DE INTERRUPCION

PARA CUMPLIR CON LAS EXIGENCIAS MENCIONADAS SE DISEÑÓ LA CÁMARA DE INTERRUPCIÓN QUE SE MUESTRA EN LA FIGURA SIGUIENTE.

FIGURA 22

TANTO LA CÁMARA DE INTERRUPCIÓN COMO EL AISLADOR SOPORTE ESTAN LLENOS CON SF6 A PRESIÓN DE 4 A 7 BARS LO CUAL ASEGURA UNA RIGIDEZ DIELECTRICA ADECUADA ENTRE LOS CONTACTOS.

HAY DOS SISTEMAS DE CONTACTOS.

- CONTACTOS PARA PASO DE CORRIENTE PERMANENTE.
- CONTACTOS DE EXTINCIÓN DE ARCO.

LA PRESIÓN Y SOPLADO CON SF6 SON AUTOGENERADORES POR EL PISTÓN DE SOPLADO COMPUESTO POR EL CILINDRO DE SOPLADO, EL CUAL ESTÁ FIJO AL CONTACTO MÓVIL, Y EL PORTACONTACTO MÓVIL.

CUANDO EL INTERRUPTOR ESTÁ CERRADO, LA CORRIENTE PASA POR LOS CONTACTOS DE CORRIENTE PERMANENTE.

AL INICIAR LA APERTURA SE CONMUTA LA CORRIENTE DE LOS CONTACTOS PERMANENTES A LOS CONTACTOS DE EXTINCIÓN DE ARCO.

VENTAJAS: MAYOR DURACIÓN DE LOS CONTACTOS, YA QUE UNOS ESTAN DISEÑADOS PARA EL PASO PERMANENTE DE LA CORRIENTE NOMINAL, EN ESPECIAL PARA SOPORTAR EL CALENTAMIENTO PRODUCIDO POR ESTA CORRIENTE, Y OTROS PARA SOPORTAR LAS GRANDES TEMPERATURAS DEL ARCO.

CONTACTOS PERMANENTES:

LA CORRIENTE PASA POR LA TAPA AL PORTACONTACTO FIJO, A LOS DEDOS DE CONTACTO DE CORRIENTE PERMANENTE, AL CILINDRO DE SOPLADO, EL CUAL TIENE UNA DOBLE FUNCIÓN (SOPLAR EL PLASMA DEL ARCO Y PASAR CORRIENTE) AL PORTACONTACTO MÓVIL POR MEDIO DE LA LÁMINA MULTICONTACTO, DEL PORTACONTACTO MÓVIL A LA BRIDA DE CONTACTO Y DE AHÍ A LA LINEA DE ALTA TENSIÓN.

TANTO EL PORTACONTACTO FIJO COMO EL MÓVIL SON DE UNA ALEACIÓN DE ALUMINIO Y LA PARTE DE CONTACTO ELÉCTRICO ES PLATEADA PARA DISMINUIR LA RESISTENCIA DE CONTACTO.

CONTACTOS DE EXTINCIÓN DE ARCO:

AL MOVERSE EL SISTEMA DE CONTACTOS SE CREA UNA COMPRESIÓN EN LA CÁMARA DEL CILINDRO. EN EL MOMENTO DE QUE SE INICIA LA OPERACIÓN DE APERTURA SE CONMUTA LA CORRIENTE A LOS CONTACTOS DE EXTINCIÓN.

ESTOS CONTACTOS DE EXTINCIÓN SON DE UN MATERIAL MUY RESISTENTE A LA TEMPERATURA QUE ES UNA ALEACIÓN DE TUNGSTENO/COBRE: 80/20.

AL SEPARARSE LOS CONTACTOS DE EXTINCIÓN SE CREA EL ARCO ELÉCTRICO EL CUAL PUEDE TENER UN RANGO INFINITO DE INTENSIDAD.

PARA MOTIVOS PRÁCTICOS CONSIDERAMOS QUE LA INTENSIDAD MÍNIMA QUE DEBERÁ INTERRUMPIRSE ES LA INTENSIDAD NOMINAL Y LA MÁXIMA ES LA CAPACIDAD DE INTERRUPCIÓN.

EN LOS INTERRUPTORES ESTANDARD HECHOS EN MÉXICO LA CORRIENTE NOMINAL VA DESDE 2500 A Y LA CAPACIDAD DE INTERRUPCIÓN LLEGA A 40 KA.

CUANDO LA CORRIENTE QUE PASA POR EL INTERRUPTOR ES PEQUEÑA, EL SOPLO DE SF6 DEBERÁ PRIMERO CENTRAR AL ARCO EN LA ZONA DE EXTINCIÓN, ENFRIAR EL PLASMA ALREDEDOR DEL ARCO INYECTANDO SF6 FRÍO A UNA VELOCIDAD ÓPTIMA PARA QUE EL ARCO NO SEA CORTADO BRUSCAMENTE PROVOCANDO SOBRE TENSION. LA EXTINCIÓN DEL ARCO SE REALIZA ENTONCES EN LOS PRIMEROS PASOS POR CERO DE LA CORRIENTE.

EL FLUJO DE SF6 DE ENFRIAMIENTO ES PRODUCIDO POR LA COMPRESIÓN DEL CILINDRO DE SOPLADO CONTRA EL PORTACONTACTO MÓVIL.

DESPUÉS DE QUE SE EXTINGUE EL ARCO, EL CILINDRO DE COMPRESIÓN CONTINUA SU CARRERA AVANTANDO SF6 FRÍO A LA ZONA DE EXTINCIÓN.

EN CASO DE QUE EL ARCO SEA MÁS RESISTENTE (PROVOCADO POR UNA CORRIENTE DE FALLA SEVERA) LA DUREZA DEL PLASMA BLOQUEA AL FLUJO DE SF6 AVANTADO POR LA COMPRESIÓN DEL PISTÓN DE SOPLADO. POR LO TANTO LA PRESIÓN DEL SF6 SE INCREMENTA AUTOMATICAMENTE YA QUE NO HAY DESCARGA DE SF6 RESULTANDO UN SOPLADO MAYOR.

ESTA REGULACIÓN AUTO AJUSTADA DE PRESIÓN APOYA A LA EXTINCIÓN DE CORRIENTES DE ALTA MAGNITUD. LO ANTERIOR SUMADO A LAS CARACTERÍSTICAS DEL SF6 EN PARTICULAR SUS PROPIEDADES ELECTRONEGATIVAS AL IGUAL QUE SU BAJA CONSTANTE DE TIEMPO TÉRMICA SON VENTAJAS MUY SIGNIFICATIVAS EN LA EFICIENCIA DE LA CÁMARA DE EXTINCIÓN DE ESTE TIPO. TIENE UNA TENSION TRANSITORIA DE RECUPERACIÓN CON UNA TANGENTE MUY PRONUNCIADA EN EL CASO DE FALLAS DE CORTO CIRCUITO Y ADEMÁS ESTA CÁMARA DE EXTINCIÓN ASEGURA UNA INTERRUPCIÓN DE CORRIENTES CAPACITIVAS SIN REENCENDIDO (AL ENERGIZAR LINEAS SIN CARGA O CABLES O BANCO DE CAPACITORES).

EL DISEÑO DE LA BOQUILLA ES UN ASPECTO MUY IMPORTANTE DE LA CÁMARA DE INTERRUPCIÓN YA QUE ES LA PIEZA QUE GUÍA EL FLUJO DE SF₆ Y SU PERFIL DEBE SER ÓPTIMO PARA QUE ESTA IMPORTANTÍSIMA ACCIÓN SEA EFICAZ, ES DECIR QUE EL ARCO ESTÉ EN UNA ZONA SUJETA A GRADIENTES DE PRESIÓN AXIAL PARA CAMBIAR LA CONDUCTIVIDAD DEL MEDIO RAPIDAMENTE.

EL MATERIAL EMPLEADO ES TEFLÓN GRAFITADO QUE APARTE DE SER FÁCILMENTE MAQUINABLE DA UNA GRAN RESISTENCIA MECÁNICA. LA OPERACIÓN DE CIERRE NO REQUIERE DE MAYORES COMENTARIOS SOLO CABE ACLARAR QUE UN PREARCO SE ESTABLECE ENTRE LOS CONTACTOS DE EXTINCIÓN Y NO ENTRE LOS CONTACTOS DE CORRIENTE PERMANENTE. UN DISEÑO ADECUADO DE LA CÁMARA DE INTERRUPCIÓN EVITA LA CREACIÓN DE VAPORES METÁLICOS EN LA ZONA CRÍTICA DEL ARCO. ESTO SE LOGRA CUBRIENDO LA ESTRUCTURA CIRCUNDANTE MEDIANTE GUÍAS DE FLUJO HECHAS DE TEFLÓN.

EN LA FIGURA SIGUIENTE SE MUESTRAN LOS COMPONENTES ACTIVOS DE LA CÁMARA DE INTERRUPCIÓN Y ADEMÁS LA BARRA DE MANIOBRA DE MATERIAL AISLANTE.

FIGURA 23

LOS RESULTADOS DE LA OPTIMIZACIÓN DE ESTOS COMPONENTES SE MUESTRAN A CONTINUACIÓN.

EL SISTEMA DE DOBLE BOQUILLA EN EL CUAL EL ARCO SE CREA Y EXTINGUE EN EL INTERIOR PROPORCIONA GRADIENTES DE PRESIÓN AXIAL.

EN ESTA ZONA SUJETA A GRADIENTE DE PRESIÓN AXIAL EL PLASMA LIGERO ES ACELERADO A UNA VELOCIDAD AXIAL DE APROX. 10000 M/S. EL PLASMA EXPULSADO ES REEMPLAZADO POR CALENTAMIENTO DEL ARCO. DEBIDO A LA GRAN VELOCIDAD DEL PLASMA ESTE BALANCE ENTRE CALENTAMIENTO Y CONVECCIÓN SE ESTABLECE EN UN PERIODO DE TIEMPO EXTREMADAMENTE CORTO (APROX. 10 μs). ESTO PROVOCA UN CAMBIO DEL DIÁMETRO DEL ARCO VIRTUALMENTE

INSTANTANEO A LA CORRIENTE. COMO RESULTADO EL CANAL DE DESCARGA CONDUCTIVO SE VUELVE MUY DELGADO A LA CORRIENTE CERO.

FIGURA 24

LA SECCIÓN DEL ARCO ES CONTINUAMENTE FOTOGRAFIADA A TRAVÉS DE UNA INCISIÓN EN LA CÁMARA DE INTERRUPCIÓN ENTRE LOS CONTACTOS. ESTA SUCESIÓN DE FOTOS ES TOMADA SINCRONIZADAMENTE CON EL OSCILOGRAMA UNOS POCOS MICROSEGUNDOS ANTES DE $I=0$. EN $I=0$ EL ARCO TIENE UN DIÁMETRO MENOR A 1 MM.

LA FOTOGRAFÍA DE SUCESIÓN SIGUIENTE MUESTRA COMO LA TURBULENCIA AFECTA EL ARCO. SE APRECIA QUE EL FLUJO TURBULENTO DEFORMA EL ESPESOR DEL CANAL DE DESCARGA EN LA BOQUILLA.

FIGURA 25

UNA VEZ QUE LA CORRIENTE HA SIDO INTERRUMPIDA EXITOSAMENTE LA CÁMARA DE INTERRUPCIÓN DEBE SER CAPAZ DE Oponer UNA GRAN RIGIDEZ DIELECTRICA DEBIDA A LA TENSION TRANSITORIA DE RECUPERACION. EL VALOR PICO ES DE CERCA DE 1,7 EL VALOR DE LA TENSION NOMINAL.

CUANDO ESTA RIGIDEZ OCURRE HAY RESIDUOS DE GAS CALIENTE A TEMPERATURAS DE ENTRE 300 GRADOS KELVIN Y VARIOS MILES DE GRADOS KELVIN ENTRE LOS CONTACTOS, DEPENDIENDO DE LA MAGNITUD DE LA CORRIENTE INTERRUMPIDA. ESTO SE DEBE AL HECHO DE QUE LA ZONA DE GAS ADYACENTE AL ARCO REAL DISMINUYE A UNA VELOCIDAD MENOR A LA DEL MISMO ARCO SEGUN SE HA EXPLICADO EN EL CAPITULO ANTERIOR.

(DEBIDO A QUE ESTE GAS CALIENTE REMANENTE TIENE UNA DENSIDAD MAYOR A LA DEL PLASMA Y SU VELOCIDAD ES MAS PEQUEÑA COMO CONSECUENCIA DEL INTERCAMBIO DE ENERGÍAS).

LA FIGURA SIGUIENTE MUESTRA UNA FOTO DE SECUENCIA MOSTRANDO EL CALOR DEL ARCO.

FIGURA 26

.../34

COMO A ESTA TEMPERATURA EL GAS NO EMITE RAYOS DE LUZ SE USA FOTOGRAFÍA INFRAROJA PARA HACER VISIBLE AL GAS CALIENTE.

SE VE EN ESTA FOTOGRAFÍA ENTRE LOS CONTACTOS QUE LA ZONA CALIENTE DE GAS (NEGRO) SE CONTRAE Y VA DISMINUYENDO HACÍA CERO PERO PERSISTE CERCA DE $100 \mu s$ DESPUÉS DE $I=0$. DE AQUI SE VE QUE EL PICO DE TENSION ESTA SUJETA A UN LIMITE DEPENDIENDO DE LA CORRIENTE.

EN ESTADO PERMANENTE Y PASANDO LA CORRIENTE NOMINAL DEL INTERRUPTOR, LA CURVA DE TEMPERATURAS ALCANZADAS SE MUESTRA EN LA FIGURA SIGUIENTE

FIGURA 27

OTRO ASPECTO IMPORTANTE EN EL DISEÑO DE LAS CÁMARAS DE INTERRUPCIÓN ES LA TAPA DE LA CÁMARA Y LA BRIDA DE CONTACTO.

LA FIGURA 28 MUESTRA VARIAS FOTOGRAFÍAS.

FIGURA 28

PARA EL DISEÑO DE LA TAPA Y DE LA BRIDA DE CONTACTO SE TOMAN LAS SIGUIENTES CONSIDERACIONES:

- CORRIENTE PERMANENTE QUE DEBE SOPORTAR PROCUCIENDOSE UN CALENTAMIENTO CONTROLABLE.

NOTESE LAS NERVADERAS DE ENFRIAMIENTO EN LA TAPA.

- HERMETICIDAD PARA NO DEJAR QUE EL SF6 SE ESCAPE.

TANTO LAS TAPAS COMO LAS BRIDAS DE CONTACTO ASÍ COMO LAS BRIDAS GUÍAS QUE SE VERÁN DESPUÉS ESTAN HECHAS DE UNA ALEACIÓN DE AL.

LA PRESENCIA PREDOMINANTE DEL AL DA GRAN CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA,
GRAN RESISTENCIA A LA CORROSIÓN.

EL HECHO DE ADICIONAR SILICIO TIENE COMO CONSECUENCIA:

- MEJORAS EN LA REPRODUCCIÓN DE FORMAS DIFÍCILES EN FUNDICIÓN
- MAYOR RESISTENCIA A LA CORROSIÓN
- EN ESTA ALEACIÓN SE PUEDE "MODIFICAR" LA FASE DEL SI QUE ES EL HECHO DE DESAPARECER LAS AGUJAS DEL SILICIO QUE DAN FRAGILIDAD, BAJA DUCTILIDAD Y ADEMÁS CON LA MODIFICACIÓN SE REDUCE LA SENSIBILIDAD A LA FORMACIÓN DE POROS POR LOS CUALES SE PUEDE ESCAPAR EL SF₆.
- REDUCE EL COEFICIENTE DE DILATACIÓN POR TEMPERATURA

LA ALEACIÓN AL SI CON MG TODAVÍA MEJORA LAS CARACTERÍSTICAS:

- REACCIONA AL TRATAMIENTO TÉRMICO MEJORANDO LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN
- MEJORA LA RESISTENCIA A LA CORROSIÓN
- MEJORA LA MAQUINABILIDAD

LA FIGURA 29 MUESTRA UNA FOTOGRAFÍA DEL COMPUESTO DE AL MAL MODIFICADA (NOTENSE LAS AGUJAS DE SI) Y UNA BIEN MODIFICADA DONDE SE MEJORAN LAS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE RESISTENCIA A LA TENSIÓN Y DISMINUYEN LOS POROS.

AISLADORES A TIERRA

TANTO LA CÁMARA DE INTERRUPCIÓN COMO LOS AISLADORES A TIERRA ESTAN FORMADOS POR UNA CUBIERTA DE PORCELANA EN CUYOS EXTREMOS SE ENCUENTRAN BRIDAS QUE PUEDEN SER DE AL O DE HIERRO GRIS.

EL DISEÑO Y LA CONSTRUCCIÓN DE ESTOS AISLADORES Y SUS BRIDAS DEBEN SER TAL QUE CUMPLA LO SIGUIENTE:

- HERMETICIDAD EN CUALQUIER PUNTO Y PARTICULARMENTE EN LA UNIÓN DE LAS BRIDAS CON LA PORCELANA.
- RIGIDEZ PARA QUE SOPORTEN TODOS LOS ESFUERZOS MECÁNICOS PRESENTES SIN QUE SE ROMPA EL CEMENTO DE UNIÓN.
- RIGIDEZ DELÉCTRICA ESPECIFICADA
- EL CONJUNTO DEBE RESISTIR LAS FUERZAS DE ROTURA A LA FLEXIÓN ESPECIFICADAS.
- CONCENTRICIDAD Y PARALELISMO MUY PRECISOS.

PARA AUMENTAR LA RIGIDEZ DIELECTRICA EN LA SUPERFICIE DE LA PORCELANA, EL PÉRFIL DE LA MISMA PUEDE MODIFICARSE AUMENTANDO LA DISTANCIA DE FUGA.

LA FIGURA 30 MUESTRA ESTOS PÉRFILES.

FIGURA 30

LA DISTANCIA DE FUGA MÁS COMUN ES DE 3,5 A 4,5 CM/KV.

LA RIGIDEZ DIELECTRICA ALCANZADA POR EL AISLADOR DEBE SER TAL QUE

NO HAYA ARQUEOS POR SOBRETENSIONES ATMOSFÉRICAS.

SISTEMA DE ACCIONAMIENTO

EL SISTEMA MECÁNICO QUE ACCIONA A LA CÁMARA DE INTERRUPCIÓN PUEDE SER

- NEUMÁTICO
- HIDRONEUMÁTICO
- RESORTE

NOS CONCENTRAREMOS SOBRE EL ACCIONAMIENTO NEUMÁTICO EL CUAL ES EMPLEADO EN LOS INTERRUPTORES BROWN BOVERI HECHOS EN MÉXICO.

EL SISTEMA NEUMÁTICO DE ACCIONAMIENTO SE MUESTRA EN LA FIGURA 31 A PARA EL CASO DE QUE UN SOLO PISTÓN DIFERENCIAL ACTUA SOBRE LOS 3 POLOS Y 31 B DONDE HAY 3 PISTONES DIFERENCIALES CADA UNO DE ELLOS ACTUANDO SOBRE CADA UNO DE LOS 3 POLOS.

FIGURA 31

EL COMPRESOR CARGA AIRE AL TANQUE A UNA PRESIÓN DE 21 A 31,5 BAR EFECTIVOS. CUANDO LA VALVULA PRINCIPAL ES ACCIONADA POR LAS BOBINAS DE DISPARO O DE CONEXIÓN, EL AIRE A PRESIÓN ENTRA EN EL PISTÓN DIFERENCIAL EL CUAL SE MUEVE A LA VELOCIDAD REQUERIDA Y TRANSMITE EL MOVIMIENTO A LA (O LAS) CÁMARA(S) DE INTERRUPCIÓN LOGRANDOSE ASÍ LA FUNCIÓN DE CIERRE O APERTURA SEGÚN SEA EL CASO.

EN LA FIGURA SIGUIENTE SE MUESTRA UN DIBUJO DEL COMPRESOR, GABINETE Y TANQUE.

FIGURA 32

A CONTINUACIÓN SE MUESTRA UN DIBUJO DEL MOTOR-COMPRESOR DESARMADO.

FIGURA 33

SE PUEDE NOTAR UNA GRAN SENCILLEZ DEL DISEÑO PERO NO HAY QUE OLVIDAR QUE ESTE MOTOR-COMPRESOR DEBE TRABAJAR 2000 HORAS EFECTIVAS SIN LUBRICACIÓN EN SUS PARTES MÓVILES ANTES DE SER REVISADO.

EL DISEÑO COMPACTO, LA ALTA PRESIÓN DE COMPRESIÓN Y EL HECHO DE QUE NO REQUIERA LUBRICACIÓN HACEN A ESTE MOTOR-COMPRESOR UN ELEMENTO MUY CONFIABLE.

EL PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL PISTÓN DIFERENCIAL SE MUESTRA EN LA SIGUIENTE FIGURA.

FIGURA 34

LA SUPERFICIE MÁS PEQUEÑA ES LA DE "CIERRE" Y CONTUAMENTE TIENE APLICADO AIRE A PRESIÓN, MIENTRAS QUE LA SUPERFICIE DE "APERTURA" DEL PISTÓN ES MAYOR QUE LA DE "CIERRE" POR LO TANTO LA FUERZA RESULTANTE A IGUAL PRESIÓN DESPLAZA AL PISTÓN HACÍA ADENTRO.

EN LA SIGUIENTE FIGURA SE MUESTRA EL FUNCIONAMIENTO DEL PISTÓN DIFERENCIAL CON LA VÁLVULA PRINCIPAL.

FIGURA 35

LAS VÁLVULAS ELECTROMAGNÉTICAS CONTROLAN EL FLÚJO DEL AIRE EN LOS 2 EXTREMOS DEL PISTÓN DIFERENCIAL.

EN LA FIGURA SE MUESTRAN 3 VÁLVULAS ELECTROMAGNÉTICAS QUE SON DE IZQUIERDA A DERECHA: VÁLVULA DE APERTURA 1, VÁLVULA DE APERTURA 2 (AUXILIAR) Y VÁLVULA DE CIERRE.

EN LA FIGURA DE ARRIBA A LA IZQUIERDA SE MUESTRA EL PISTÓN DIFERENCIAL EN POSICIÓN "CERRADO".

PARA INICIAR LA OPERACIÓN DE APERTURA SE ACTUA SOBRE ALGUNA DE LAS 2 VÁLVULAS DE APERTURA. AL HACER ESTO SE PRESURIZA EL VOLUMEN DEBAJO DE LAS VÁLVULAS ELECTROMAGNÉTICAS Y POR EL PRINCIPIO DE PISTÓN DIFERENCIAL SE MUEVE LA VÁLVULA PRINCIPAL HACIA ABAJO; AL MOVERSE LA VÁLVULA PRINCIPAL ES AIRE A PRESIÓN ES TRANS-

MITIDO AL ÁREA DE MAYOR SUPERFICIE DEL PISTÓN DIFERENCIAL Y POR LO TANTO SE INICIA EL MOVIMIENTO HACÍA ABAJO.

CERCA DE LA POSICIÓN FINAL DE APERTURA SE CREA UNA SOBREPRESIÓN (ROJO) CREANDO UN AMORTIGUAMIENTO, LO CUAL ASEGURA UN MOVIMIENTO DE LOS CONTACTOS LIBRE DE IMPACTO.

LA FIGURA DE ABAJO A LA IZQUIERDA MUESTRA AL PISTÓN DIFERENCIAL EN POSICIÓN "ABIERTO". PARA INICIAR EL "CIERRE" SE ACTUA SOBRE LA VÁLVULA ELECTROMAGNÉTICA DE CIERRE, CON ESTO SE ESCAPA EL AIRE A PRESIÓN DE LA PARTE INFERIOR DE LAS ELECTROVÁLVULAS, LA VÁLVULA PRINCIPAL SE DESPLAZA HACIA ARRIBA Y SE DESPRESURIZA EL ÁREA MAYOR DEL PISTÓN DIFERENCIAL CON LO QUE SE LOGRA EL MOVIMIENTO HACÍA ARRIBA.

AL IGUAL QUE EL CASO DE LA APERTURA, SE CREA UNA SOBRETENSIÓN EN EL PISTÓN DE AMORTIGUAMIENTO CERCA DE LA POSICIÓN FINAL ASEGURANDO UN MOVIMIENTO LIBRE DE IMPACTO.

EL DISPOSITIVO DE BLOQUEO DEL PISTÓN (VER FIGURA 35 B) ASEGURA QUE EL INTERRUPTOR NO ABRA LENTAMENTE EN CASO DE PERDIDA DE PRESIÓN DE AIRE EN EL ACCIONAMIENTO. EL PERNO SE RETRAE CUANDO HAY SUFICIENTE PRESIÓN DE AIRE SOLTANDO AL PISTÓN DIFERENCIAL PERO CUANDO LA PRESIÓN DE AIRE CAE BLOQUEA AL PISTÓN DIFERENCIAL.

NOTA: NO ES NECESARIO UN SISTEMA SIMILAR PARA EL CASO DE QUE

CUANDO EL INTERRUPTOR SE ENCUENTRE EN POSICIÓN "ABIERTO" Y LA PRESIÓN DE AIRE CAIGA YA QUE POR GRAVEDAD EL INTERRUPTOR PERMANECERÁ "ABIERTO".

ESTE SISTEMA DE ACCIONAMIENTO HA DEMOSTRADO UNA GRAN EFICIENCIA COMPARADO CON EL ACCIONAMIENTO HIDRONEUMÁTICO DONDE A MENUDO HAY FUGAS DE ACEITE Y DONDE HAY SISTEMAS DE MICROVÁLVULAS MUY SOFISTICADOS. TAMBIÉN HA DEMOSTRADO POR SU DISEÑO SENCILLO VENTAJAS CONSTRUCTIVAS Y DE MANTENIMIENTO RESPECTO AL SISTEMA DE RESORTE.

EN LA SIGUIENTE FIGURA SE MUESTRA EL SISTEMA DE PALANCAS Y VARILLAS QUE TRANSMITEN EL MOVIMIENTO DEL PISTÓN DIFERENCIAL A LAS BARRAS DE MANIOBRA Y DE AHÍ A LAS CÁMARAS DE EXTINCIÓN.

FIGURA 36

GABINETE DE CONTROL

EN LA FIGURA 32 SE MUESTRA EL DIBUJO DIMENSIONAL DEL GABINETE PARA EL INTERRUPTOR 123 KV, Y EN LA FIGURA 31 B EL DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DEL MISMO.

FIGURA 32

LA CARCASA ES DE HIERRO GALVANIZADO QUE EVITA LA CORROSION EN CUALQUIER MEDIO AMBIENTE, Y ESTA SELLADO CONTRA EL POLVO.

INTERNAMENTE EL GABINETE CONTIENE UN MANÓMETRO PARA LA PRESIÓN DE AIRE, LA VÁLVULA DE NO RETORNO PARA MANTENER LA PRESIÓN EN EL TANQUE, LA VÁLVULA DE SEGURIDAD QUE EVITA LA SOBREPRESIÓN PELIGROSA EN EL TANQUE, Y UN PISTÓN NEUMÁTICO QUE ACCIONA A UNOS MICROINTERRUPTORES PARA DAR LAS SEÑALES DE ALARMA Y BLOQUEO POR BAJA PRESIÓN ADEMÁS DA LA ORDEN DE CONECTAR Y DESCONECTAR AL COMPRESOR.

EN EL GABINETE TAMBIÉN SE ENCUENTRAN UN CONTADOR DE HORAS, UN CONTADOR DE OPERACIONES Y RELEVADORES Y CONTACTORES PARA HACER DIVERSAS FUNCIONES COMO:

- CONECTAR Y DESCONECTAR AL COMPRESOR DEPENDIENDO DE LA PRESIÓN EN EL TANQUE
- ANTI BOMBEO (SEÑAL DE CERRAR Y ABRIR SIULTANEAS)
- SUPERVISIÓN DE DISCREPANCIA ENTRE POLOS
- SELECTOR DE OPERACIÓN LOCAL/REMOTA
- CONMUTADOR DE OPERACIÓN LOCAL

EN EL INTERIOR DEL GABINETE SE ENCUENTRAN TAMBIÉN LAS TABLILLAS TERMINALES DONDE SE CONECTAN LOS CABLES QUE VAN AL TABLERO DE

CONTROL Y PROTECCIÓN DE LA SUBESTACIÓN.

ESTOS CABLES SON:

- ALIMENTACIÓN EN C.A. Y C.D.
- SEÑAL DE CIERRE Y APERTURA
- POSICIÓN DEL INTERRUPTOR (ABIERTO/CERRADO)
- SUPERVISIÓN DE DENSIDAD
- SUPERVISIÓN DE PRESIÓN DE AIRE

SISTEMA DE CONTROL DE LA DENSIDAD DEL SF6

LA CAPACIDAD INTERRUPTIVA DE UN INTERRUPTOR EN SF6 DEPENDE DE LA DENSIDAD DEL GAS ES DECIR DE LA CANTIDAD DE GRAMOS DE SF6 POR LITRO. SI BIEN EL VOLUMEN DENTRO DEL INTERRUPTOR PERMANECE CONSTANTE, LA TEMPERATURA VARIA Y POR LO TANTO LA PRESIÓN DEL GAS TAMBIÉN VARIA; ESTO NOS CONDUCE A QUE LA SUPERVISIÓN DEL GAS DEBE HACERSE VIGILANDO LA DENSIDAD Y NO LA PRESIÓN.

PARA LOGRAR LO ANTERIOR SE HA DESARROLLADO UN VIGILADOR DE DENSIDAD DEL GAS SF6 O DENSÍMETRO QUE SE INSTALA EN TODOS LOS INTERRUPTORES Y OPERA DE LA SIGUIENTE FORMA.

LOS MICRO-INTERRUPTORES SON ACCIONADOS POR UNA VARILLA LA CUAL ESTA SUJETA A DOS FUERZAS CONTRARIAS UNA PROVOCADA POR LA PRESIÓN DE SF6 Y LA OTRA POR LA TEMPERATURA.

AL LLENAR AL INTERRUPTOR A LA PRESIÓN DE SF6 NOMINAL TENIENDO EN CUENTA LA TEMPERATURA AMBIENTE EL EQUILIBRIO DE FUERZAS DE PRESIÓN Y TEMPERATURA LOGRA QUE LOS MICRO-INTERRUPTORES ESTÉN CERRADOS.

EN CASO DE UN AUMENTO O DISMINUCIÓN DE PRESIÓN, PROVOCADO POR UN AUMENTO O DISMINUCIÓN DE TEMPERATURA NO HABRÁ MOVIMIENTO DE LA VARILLA DE TRANSMISIÓN Y LOS MICRO-INTERRUPTORES NO CAMBIAN DE ESTADO.

EN CASO DE FUGA DE SF6 DISMINUYE LA PRESIÓN LA CUAL NO ES ACOMPAÑADA POR UNA DISMINUCIÓN DE TEMPERATURA, POR LO TANTO LA VARILLA DE TRANSMISIÓN SE DESPLAZA HACÍA ABAJO Y LOS MICRO-INTERRUPTORES CAMBIAN DE ESTADO DANDO UNA SEÑAL DE ALARMA "RE-CARGAR SF6".

SI EL SF6 CONTINUA SALIENDOSE DEL INTERRUPTOR EL DENSÍMETRO MANDARÁ UNA SEÑAL DE BLOQUEO DE OPERACIONES DEL INTERRUPTOR.

SISTEMA DE SELLADO

LA CONFIABILIDAD DE UN INTERRUPTOR EN SF6 DEPENDE EN GRAN PARTE DE SU HERMETICIDAD, ES DECIR EN EVITAR LAS FUGAS DE GAS.

A ESTE RESPECTO EL SISTEMA DE SELLADO ACOPLADO A BARRA DE MANIOBRA DEBE GARANTIZAR UN MÍNIMO DE FUGAS A LO LARGO DE LOS AÑOS DE OPERACIÓN DEL INTERRUPTOR EN CONDICIONES EXTREMAS DE TEMPERATURA.

LAS FUGAS ANUALES DE GAS EN UN INTERRUPTOR NO DEBEN ESCEDER DEL 2 % DEL VOLUMEN TOTAL DEL GAS DENTRO DE LAS CÁMARAS DE INTERRUPTOR Y DE LOS AISLADORES A TIERRA.

PARA GARANTIZAR QUE LAS FUGAS DE GAS SEAN MENORES AL 2 % SE DISEÑA EL SISTEMA DOBLE DE SELLADO QUE INCLUYE UN SELLO DE FRICCIÓN Y DOS SELLOS DE IMPACTO PARA LOS INTERRUPTORES CON 3 ACCIONAMIENTOS NEUMÁTICOS.

FIGURA 38 (AMARILLO REPRESENTA SF6)

EN LA FIGURA SE MUESTRA QUE SIEMPRE SON 2 LOS SELLOS QUE INTERVIENEN EN POSICIÓN INTERRUPTOR CERRADO Y ABIERTO.

LOS SELLOS MÁS SOLICITADOS (DE FRICCIÓN Y DE IMPACTO AL CIERRE YA QUE UN INTERRUPTOR ESTÁ LA MAYOR PARTE DEL TIEMPO CERRADO).

PUEDEN SER REEMPLAZADOS SIN TENER QUE EVACUAR AL SF6.

EN LA FIGURA 39 SE MUESTRA UNA FOTOGRAFÍA DE ESTE TIPO DE SELLO DOBLE.

FIGURA 39

EL SISTEMA DE SELLADO RADIAL PARA LOS INTERRUPTORES QUE TIENEN UN SOLO ACCIONAMIENTO PARA LOS 3 POLOS SE MUESTRA EN LA SIGUIENTE FIGURA.

FIGURA 40

EL TRIPLE SELLADO GARANTIZA UNA FUGA MÍNIMA.

PARA EL LLENADO DE SF6 SE USA EL SISTEMA MOSTRADO EN LA FIGURA 41.

FIGURA 41

ESTE SISTEMA DE SELLADO EVITA FUGAS DE SF6 AL DESACOPLARSE EL SISTEMA DE LLENADO DE SF6.

PARA PODER EMPACAR, AL INTERRUPTOR HAY QUE SEPARARLO EN VARIOS ELEMENTOS Y MANTENER A ESTOS ELEMENTOS CON UNA LIGERA SOBREPRESIÓN.

SIÓN DE SF₆ (0,5 BAR) PARA EVITAR QUE HAYA HUMEDAD O INCLUSIÓN DE POLVO O CUERPOS EXTRAÑOS DENTRO DE LA CÁMARA DE INTERRUPCIÓN Y DENTRO DE LOS AISLADORES A TIERRA. POR EJEMPLO EN EL CASO DE LOS INTERRUPTORES DE DOBLE CÁMARA DE INTERRUPCIÓN POR POLO LA UNIDAD DE DOBLE CÁMARA SE SEPARA DE LOS AISLADORES A TIERRA. EL SISTEMA DE SELLADO DE LA FIGURA 42 GARANTIZA QUE NO HABRÁ FUGAS DE SF₆ DURANTE EL TRANSPORTE Y MONTAJE DEL INTERRUPTOR.

FIGURA 42

ESTRUCTURA SOPORTE

LA ESTRUCTURA SOPORTE ES DISEÑADA PARA SOPORTAR MECANICAMENTE A LOS COMPONENTES DEL INTERRUPTOR Y A LOS ESFUERZOS MECÁNICOS Y VIBRACIONES CREADOS AL OPERAR.

EL MATERIAL EMPLEADO ES PLACA DE HIERRO, GALVANIZADA PARA RESISTIR CUALQUIER CONDICIÓN AMBIENTAL.

IV.- PROGRAMA DE FABRICACION DE INTERRUPTORES EN SF6:

EL PROGRAMA DE FABRICACIÓN DE INTERRUPTORES DE POTENCIA BROWN BOVERI SE MUESTRA EN EL SIGUIENTE DIAGRAMA.

FIGURA 43

EL DIAGRAMA RELACIONA LA TENSIÓN NOMINAL (KV) CON LA CAPACIDAD DE INTERRUPCIÓN (KA).

COMO SE PUEDE VER EL DESARROLLO DE INTERRUPTORES DE POTENCIA BROWN BOVERI PERMITE QUE LOS INTERRUPTORES TRIFÁSICOS CON UNA SOLA CÁMARA DE INTERRUPCIÓN POR FASE LLEGUEN HASTA 245 KV DE TENSIÓN NOMINAL CON UNA CAPACIDAD INTERRUPTIVA DE 40 KA.

LOS INTERRUPTORES CON 2 CÁMARAS DE INTERRUPCIÓN LLEGAN HASTA 420 KV CON 50 KA CON CÁMARA DE INTERRUPCIÓN TIPO SL, CON CÁMARA DE INTERRUPCIÓN TIPO SN/SM SE LLEGA HASTA 420 KV CON 63 KA.

LOS INTERRUPTORES DE 550 KV A 800 KV, 50 KA TIENEN 4 CÁMARAS DE EXTINCIÓN TIPO SL Y PUEDEN LLEGAR A 63 KA CON CÁMARA DE EXTINCIÓN TIPO SN/SM.

EL INTERRUPTOR CON 4 CÁMARAS DE EXTINCIÓN TIPO SN/SM PUEDE LLEGAR HASTA 80 KA DE CAPACIDAD INTERRUPTIVA A 420 KV DE TENSIÓN NOMINAL.

UN RESUMEN DE CARACTERÍSTICAS SE MUESTRA EN LA FIGURA 44 PARA CÁMARAS TIPO SF Y SL. LA TABLA DE DATOS TÉCNICOS PARA LOS INTERRUPTORES HECHOS EN MÉXICO SE MUESTRA EN LA FIGURA 45.

FIGURA 45

V.- MANTENIMIENTO

COMO HEMOS VISTO, UN INTERRUPTOR DE POTENCIA, SIENDO UNO DE LOS ELEMENTOS MÁS IMPORTANTES DEL SISTEMA ELÉCTRICO, ESTÁ DISEÑADO PARA OPERAR CON GRAN PRECISIÓN Y BAJO CUALQUIER CIRCUNSTANCIA.

LOS PARÁMETROS DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DEBEN CONCLUIR EN LA PRODUCCIÓN DE INTERRUPTORES DE POTENCIA CONFIABLES.

LA SIGUIENTE FIGURA MUESTRA LOS INTERVALOS DE MANTENIMIENTO DEL INTERRUPTOR DE POTENCIA.

FIGURA 46

COMENTARIOS ADICIONALES:

1. EL NÚMERO PROMEDIO DE OPERACIONES POR AÑO DE UN INTERRUPTOR DE POTENCIA ES APROXIMADAMENTE 30 OPERACIONES, DE AQUÍ QUE ES PROBABLE QUE EL REEMPLAZO DE CONTACTOS NO SE REQUIERA EN 10 AÑOS.
2. CON UNA FUGA DE SF₆ DE 2 % DEL VOLUMEN POR AÑO Y CONSIDERANDO UN NÚMERO PROMEDIO DE OPERACIONES DE INTERRUPTIÓN SE REQUERIRÁ RELLENAR AL INTERRUPTOR EN UN PERIODO DE 5 A 7 AÑOS.

3. CON UNA BOTELLA DE 40 KG DE SF6 SE PUEDEN LLENAR

10	INTERRUPTORES	72,5	KV	
7	INTERRUPTORES	123	KV	
3	INTERRUPTORES	245	KV	2 CÁMARAS
5	INTERRUPTORES	245	KV	1 CÁMARA
2	INTERRUPTORES	420	KV	2 CÁMARAS
1	INTERRUPTOR	420	KV	4 CÁMARAS

CONCLUSIONES

REVISANDO EL DESARROLLO LOGRADO EN LA TÉCNICA DE LOS INTERRUPTORES DE POTENCIA EN LOS ÚLTIMOS 60 AÑOS ES IMPRESIONANTE VER EL ALCANCE LOGRADO HASTA LA FECHA, SIN EMBARGO LA INVESTIGACIÓN Y DISEÑO DE LOS MISMOS AÚN NO HA ALCANZADO SU FIN.

ACTUALMENTE SE INVESTIGA Y DISEÑAN NUEVOS DESARROLLOS EN LOS INTERRUPTORES TENDIENTES A ALCANZAR CARACTERÍSTICAS DIFÍCILMENTE CREÍDAS HACE 10 O 5 AÑOS.

EL HECHO DE REDUCIR AÚN MÁS EL TIEMPO TOTAL DE INTERRUPCIÓN (ABAJO DE 2 CICLOS), EL CONTROL DE SOBRETENSIONES AUMENTANDO A MÁS DE 1000 KV LA TENSION NOMINAL DEL SISTEMA ELÉCTRICO, INCRE-

MENTANDO LAS CAPACIDADES DE INTERRUPCIÓN A MÁS DE 80 KÅ E INTENTANDO REDUCIR EL NÚMERO DE CÁMARAS DE INTERRUPCIÓN REQUERIDAS POR FASE, SON ALGUNAS DE LAS SORPRESAS QUE NOS DEPARA EL FUTURO PRÓXIMO.

TODOS ESTOS SORPRENDENTES AVANCES TECNOLÓGICOS DEBERÁN IR ACOMPAÑADOS DE VARIOS FACTORES IMPORTANTES COMO SON

- EL INCREMENTO DE LA CONFIABILIDAD DEL INTERRUPTOR.
- MEJORAS EN LA YA EXCELENTE PERIODICIDAD DE MANTENIMIENTO INCREMENTANDO AÚN MÁS LA DURABILIDAD Y RESISTENCIA DE SUS PIEZAS.
- OPTIMIZACIÓN DE MATERIALES.
- NUEVAS TECNOLOGÍAS DE FABRICACIÓN MÁS EFICACES.
- MEJORAS EN LOS COSTOS EFECTIVOS.

EN UNA PALABRA LA TÉCNICA Y EL ARTE AL SERVICIO DEL HOMBRE.

BIBLIOGRAFIA

- ULTIMOS DESARROLLOS EN LA TECNOLOGÍA DEL APAGADO DEL ARCO VOLTAICO Y SU APLICACIÓN EN INTERRUPTORES M Y A.T.

PUBLICACIÓN BBC No. CH-A 840315S (1984)

- DISYUNTORES EN SF6

PUBLICACIÓN BBC No. CH-A 083322S (1983)

- BROWN BOVERI REVIEW No. 4 DE ABRIL 1979

- BROWN BOVERI REVIEW No. 5 DE MAYO 1979

- IEEE SPECTRUM 8 (1971) - SWITCHING IN VACUUM

A. SELZER

- INVESTIGATIONS OF A HIGH CURRENT FREE BURNING ELECTRIC ARC
IEE CONT. PUBL. 90, PGES. 221 - 223, BY BARRAULT M.R.,
BLACKBURN, I.R., EDELS H. AND SATYNARAYANA.

- PHYSICS OF CIRCUIT BREAKER ARCS BY MP REECE IEE MONOGRAPH
SERIES 17 (1975).

COMPORTAMIENTO DEL SF6 EN EL ARCO ELECTRICO

EL GAS SF6 SE HAYA EXPUESTO A MUY ALTAS TEMPERATURAS DEL ARCO ELÉCTRICO EN EL INTERRUPTOR DURANTE LA APERTURA DEL MISMO. NUEVOS COMPUESTOS QUE CONTIENEN SULFUROS Y/O FLUORUROS, QUE NO EXISTÍAN PREVIAMENTE, PUEDEN FORMARSE, SIENDO ESTOS LLAMADOS FRECUENTEMENTE PRODUCTOS DE DESCOMPOSICIÓN.

SIN EMBARGO, ESTE TÉRMINO NO SOLO ES INCORRECTO, SINO QUE TAMBIÉN PROVOCA CONFUSIÓN, POR LO QUE SU USO DEBERÁ DE EVITARSE AL MÁXIMO. PARA EXPLICAR LA SITUACIÓN ACTUAL, ES NECESARIO DAR UN BREVE RESUMEN DE LA FÍSICA DE ARCOS.

LOS GASES A TEMPERATURAS NORMALES SON MEDIOS AISLANTES, PERO SON MUY BUENOS CONDUCTORES A ALTAS TEMPERATURAS, A PARTIR DEL MOMENTO EN QUE SE TIENEN PRESENTES EN EL GAS SUFICIENTES IONES Y ELECTRONES LIBRES.

LA ALTA TEMPERATURA DEL ARCO ES MANTENIDA POR EL CONSUMO DE ENERGÍA EN EL MISMO ($I^2 \cdot RLB$ O ULB). (I = CORRIENTE DE APERTURA; RLB = RESISTENCIA DEL ARCO, ULB = VOLTAJE DEL ARCO).

NINGÚN COMPUESTO QUÍMICO ES ESTABLE A TEMPERATURAS DE VARIOS MILES DE KELVIN. LA MOLÉCULA DE SF6 SE DISASOCIA GRADUALMENTE EN SF4 Y SF2 EN EL RANGO DE TEMPERATURA ENTR 1000 Y 3000 K, CON ÁTOMOS LIBRES DE FLÚOR A PARTIR DE 1000 K Y ÁTOMOS LIBRES DE AZUFRE A PARTIR DE 2000 K. PARA TEMPERATURAS MAYORES DE 6000 K EL GAS CONTIENE SIMPLEMENTE ÁTOMOS. LA IONIZACIÓN DE LOS ÁTOMOS DE S EXISTENTES SUCEDE A PARTIR DE 3000 K Y DE LOS ÁTOMOS DE F A PARTIR DE 6000 K. ESTO ES UNO O MÁS ELÉCTRONES ORBITALES SON SEPARADOS DEL ÁTOMO DURANTE COLISIONES TÉRMICAS CON OTROS ÁTOMOS O IONES. AHORA EL GAS CONTIENE IONES DE FLÚOR Y AZUFRE CON CARGAS POSITIVAS ASÍ COMO ELECTRONES LIBRES, SIENDO ENTONCES TRANSFORMADO EN PLASMA ELECTRI-

CAMENTE CONDUCTIVO.

DURANTE LA EXTINCIÓN DEL ARCO EL PLASMA SE ENFRÍA MUY RÁPIDAMENTE (CONSTANTE TÉRMICA DE TIEMPO EN EL ORDEN DE MICRO-SEGUNDOS), Y EL PROCESO SUCEDE A LA INVERSA, ESTO ES, LOS ELECTRONES LIBRES SON CAPTURADOS POR LOS IONES, FORMANDO NUEVAMENTE ÁTOMOS NEUTROS, ÁTOMOS DE S Y F SE RECOMBINAN PARA FORMAR SF₆.

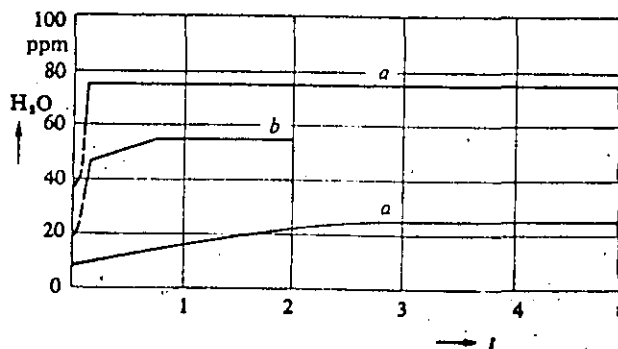
ASÍMISMO, EN LA PRÁCTICA EL SF₆ ES EL PRODUCTO IMPORTANTE EN LA RECOMBINACIÓN YA QUE SOLAMENTE EL SF₄, EL SF₂ ASÍ COMO LOS ÁTOMOS LIBRES (O IONES) DE AZUFRE O FLÚOR PUEDEN SER DESIGNADOS COMO "PRODUCTOS DE DESCOMPOSICIÓN O DE DEGRADACIÓN" (DE CORTA VIDA).

DE ACUERDO CON ESPECIFICACIONES (IC, PUBLICACIÓN 376) EL SF₆ INDUSTRIAL TIENE UNA PUREZA DE 99,9 % EN PESO DE SF₆ Y PUEDE TENER LAS SIGUIENTES IMPUREZAS: 0.05 % SF₄, 0.05 % O₂ + N₂ (O AIRE), 15 PPM H₂O Y 1 PPM HF. DESPUÉS DE LLENAR EL INTERRUPTOR CON SF₆, EL NIVEL DE HUMEDAD EN EL GAS AUMENTA LIGERAMENTE DURANTE LOS PRIMEROS DÍAS, DEBIDO A LA HUMEDAD DE LOS AISLADORES, PERO LUEGO ES CONSTANTE DURANTE VARIOS AÑOS. LOS VALORES DE LA HUMEDAD VARÍAN ENTRE 20 Y 100 PPM POR PESO (FIG. 4).

FIG. 4: CONTENIDO DE HUMEDAD (H_2O) EN EL GAS DE SF_6 PARA INTERRUPTORES, EN FUNCIÓN DEL PERIODO DE OPERACIÓN T.

A = RANGO DE DISPERSIÓN DE LOS VALORES MEDIDOS EN VARIAS CÁMARAS DE GAS.

B = VALORES MEDIDOS DURANTE LAS PRUEBAS DE DESARROLLO.



POR LO TANTO, DURANTE LA RECOMBINACIÓN AL ENFRIAR EL PLASMA NO SOLO HAY ÁTOMOS DE S Y F EN RELACIÓN DE 1 : 6, SINO QUE TAMBIÉN HAY OXÍGENO, HIDRÓGENO, NITRÓGENO Y OTROS ELEMENTOS; LOS CUALES PUEDEN RECOMBINARSE ENTRE ELLOS O CON ÁTOMOS DE S Y F PARA FORMAR NUEVAS MOLÉCULAS EN LAS CONDICIONES ACTUALES, SIENDO ESTOS LOS LLAMADOS "PRODUCTOS SECUNDARIOS". BASTANTES PUBLICACIONES QUE TRATAN SOBRE LOS PRODUCTOS SECUNDARIOS DEL SF₆, CAUSADOS POR LOS EFECTOS DE LOS ARCOS, APARECIERON YA EN LOS CINCUENTAS.

ESTA CUESTIÓN FUE DE CRUCIAL IMPORTANCIA PARA LA APLICACIÓN DEL SF₆ EN INTERRUPTORES Y HA TENIDO QUE SER AMPLIAMENTE ESTUDIADA ANTES DE QUE SE INICIERON LOS RESPECTIVOS DESARROLLOS. LE DAREMOS AQUÍ UN BREVE SUMARIO GENERAL:

PRODUCTOS SECUNDARIOS GASEOSOS

CON LOS MATERIALES SELECCIONADOS QUE SE UTILIZAN HOY EN DÍA DE LOS INTERRUPTORES, ASÍ COMO EL NIVEL MONITOREADO DE PUREZA DEL GAS SF₆, LA CANTIDAD DE PRODUCTOS SECUNDARIOS DEPENDE PRIMERA-MENTE DE LA ENERGÍA DEL ARCO TRANSFORMADA EN LA CÁMARA DE GAS, ESTO ES, DEL PRODUCTO ULB.I.T. LA PROPORCIÓN DE PRODUCTOS SECUNDARIOS EN EL INTERRUPTOR DESPUÉS DE MÁS O MENOS 10 OPERACIONES DE APERTURA EN CORTO CIRCUITO, O DESPUÉS DE MÁS DE 1000 DESCONEXIONES CON CARGA ES APROXIMADAMENTE 1 % DE LA CANTIDAD DE GAS.

PARA LA RECOLECCIÓN DE LA MAYOR PARTE DE PRODUCTOS SECUNDARIOS Y HUMEDAD, SE INTALAN ABSORBEDORES CON ALÚMINA ACTIVADA.

EL MÁS IMPORTANTE PRODUCTO SECUNDARIO QUE SE FORMA A PARTIR DEL SF₆ BAJO EL EFECTO DEL ARCO ES SIEMPRE EL SOF₂, QUE ES ACRE,

PICANTE, Y COMO EL OLOR DEL SO_2 PUEDE SER DETECTADO EN CONCENTRACIONES MUY PEQUEÑAS (APROX. 1 PPM EN VOLUMEN), LO QUE ES MUY POR DEBAJO DEL LÍMITE DE PELOGRO PARA SERES HUMANOS.

OTROS PRODUCTOS SECUNDARIOS DEL SF_6 , COMO EL SO_2F_2 Y HF APARECEN SIEMPRE EN PEQUEÑAS CONCENTRACIONES, Y TAMBIÉN TIENEN MAYORES VALORES PERMISIBLES PARA CONCENTRACIONES EN LUGARES DE TRABAJO.

PRODUCTOS SECUNDARIOS SÓLIDOS (EN FORMA DE POLVO).

FLUORUROS Y SULFUROS METÁLICOS TALES COMO WF_6 , CUF Y OTROS SE FORMAN POR LA REACCIÓN DE ÁTOMOS DE F Y S CON EL MATERIAL DEL ELECTRODO BAJO EL EFECTO DE UN ARCO. NO SON CONDUCTORES ELÉCTRICOS Y SE DEPOSITAN COMO POLVO. EL EFECTO CORROSIVO DE LOS PRODUCTOS SECUNDARIOS HA SIDO ESTUDIADO EN GRAN DETALLE. LOS MATERIALES MÁS ESTABLES NO MUESTRAN SEÑAL DE ATAQUE, INCLUYENDO EL ALUMINIO, ACERO Y COBRE ENTRE LOS METALES. EN CUANTO MATERIALES SINTÉTICOS, SE HA OBSERVADO UNA DETERIORACIÓN DE LAS PROPIEDADES AISLANTES, EJEMPLO: RESINAS FENÓLICAS, Y POR EL CONTRARIO RESINAS EPÓXICAS, RESINAS DE POLIURETANO, Y PTFE NO MOSTRARON NINGUNA REDUCCIÓN DE SUS VALORES MECÁNICAS Y ELÉCTRICAS.

Subestacion 1

Subestacion 2

Interruptores

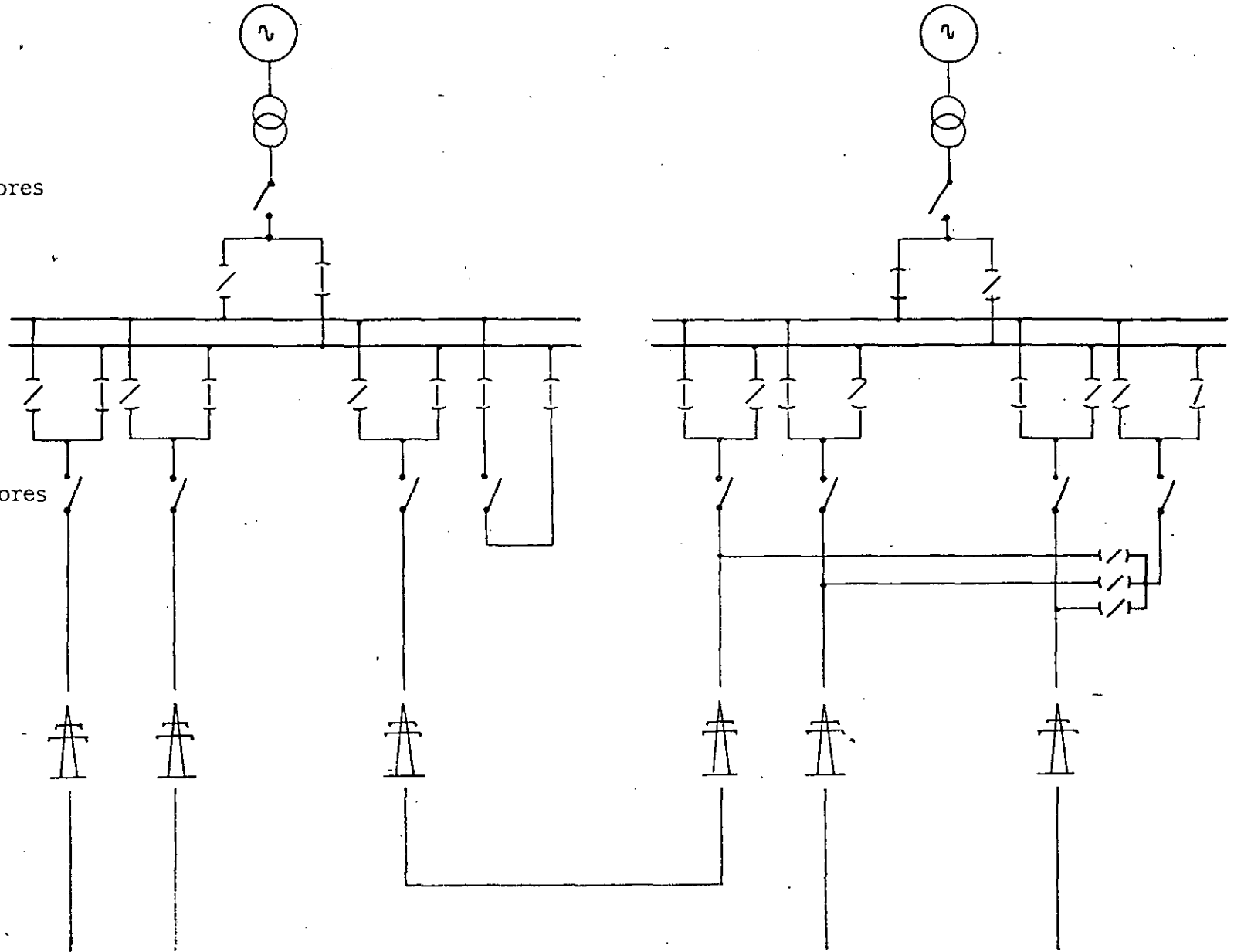
Cuchillas

Cuchillas

Interruptores

Cuchillas

L.T.



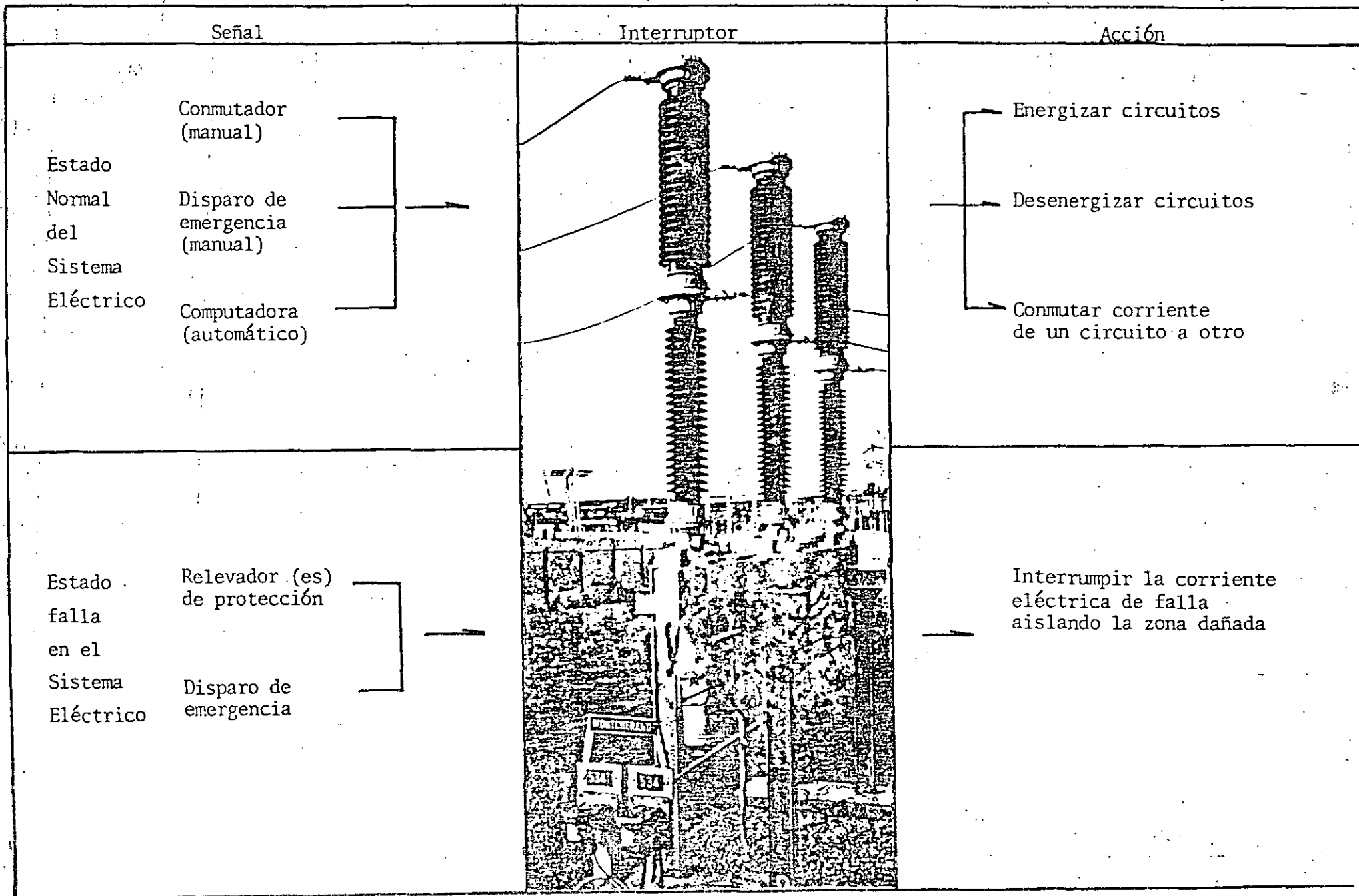


Fig. 2

COMPARACION EN LAS CARACTERISTICAS DE INTERRUPCION DE FALLAS DE CORTO CIRCUITO EN INTERRUPTORES ESTANDARD DE HACE 60 AÑOS Y ACTUALES

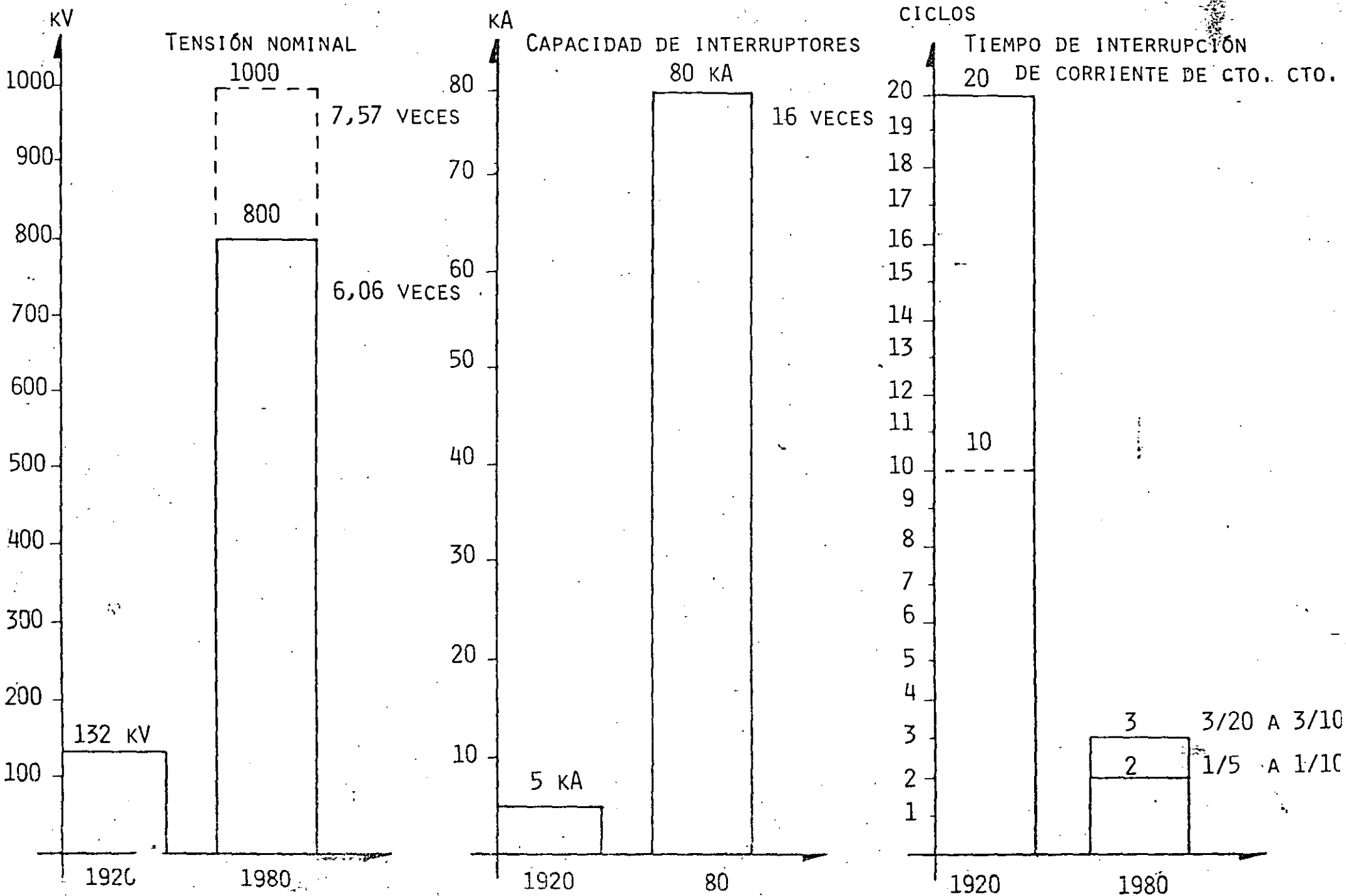


FIGURA 3

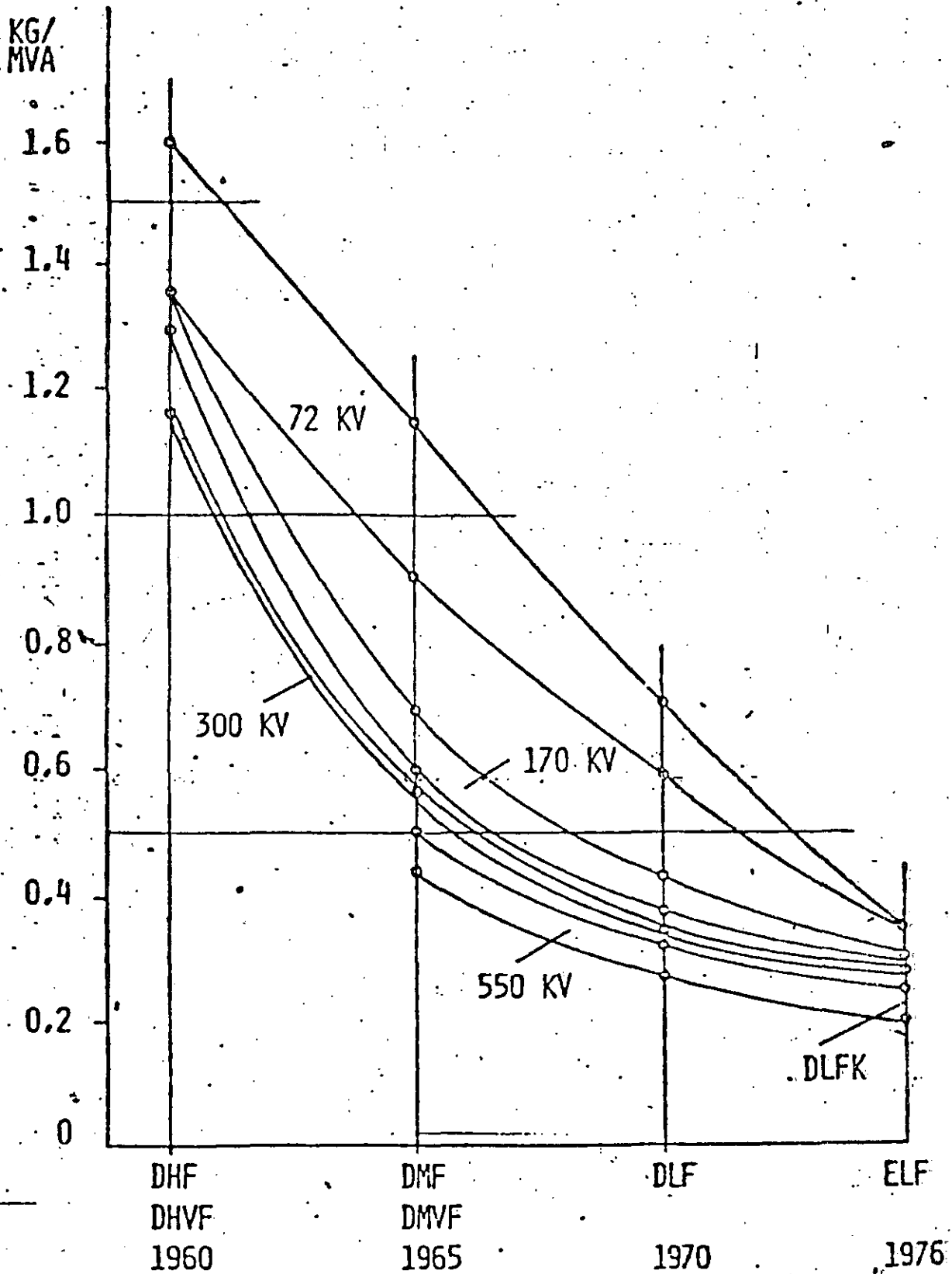


FIGURA 4

PROGRESOS EN LA TECNICA DE INTERRUPTORES
(EXPERIENCIA DE BROWN BOVERI)

Peso en Kg/MVA Vs. Años y tipos de interruptores.

CORRIENTES PARA CIERRE Y APERTURA DE INTERRUPTORES

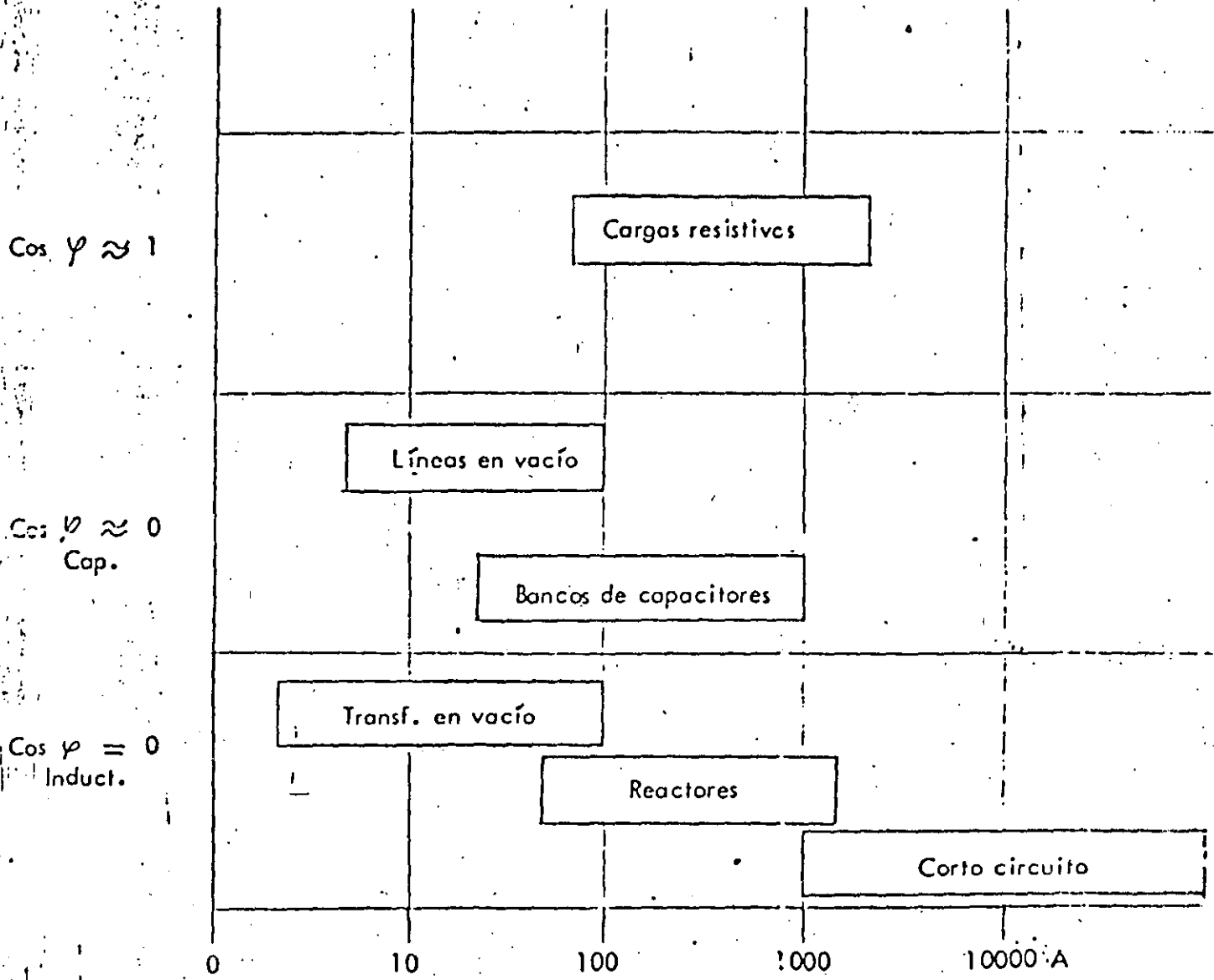
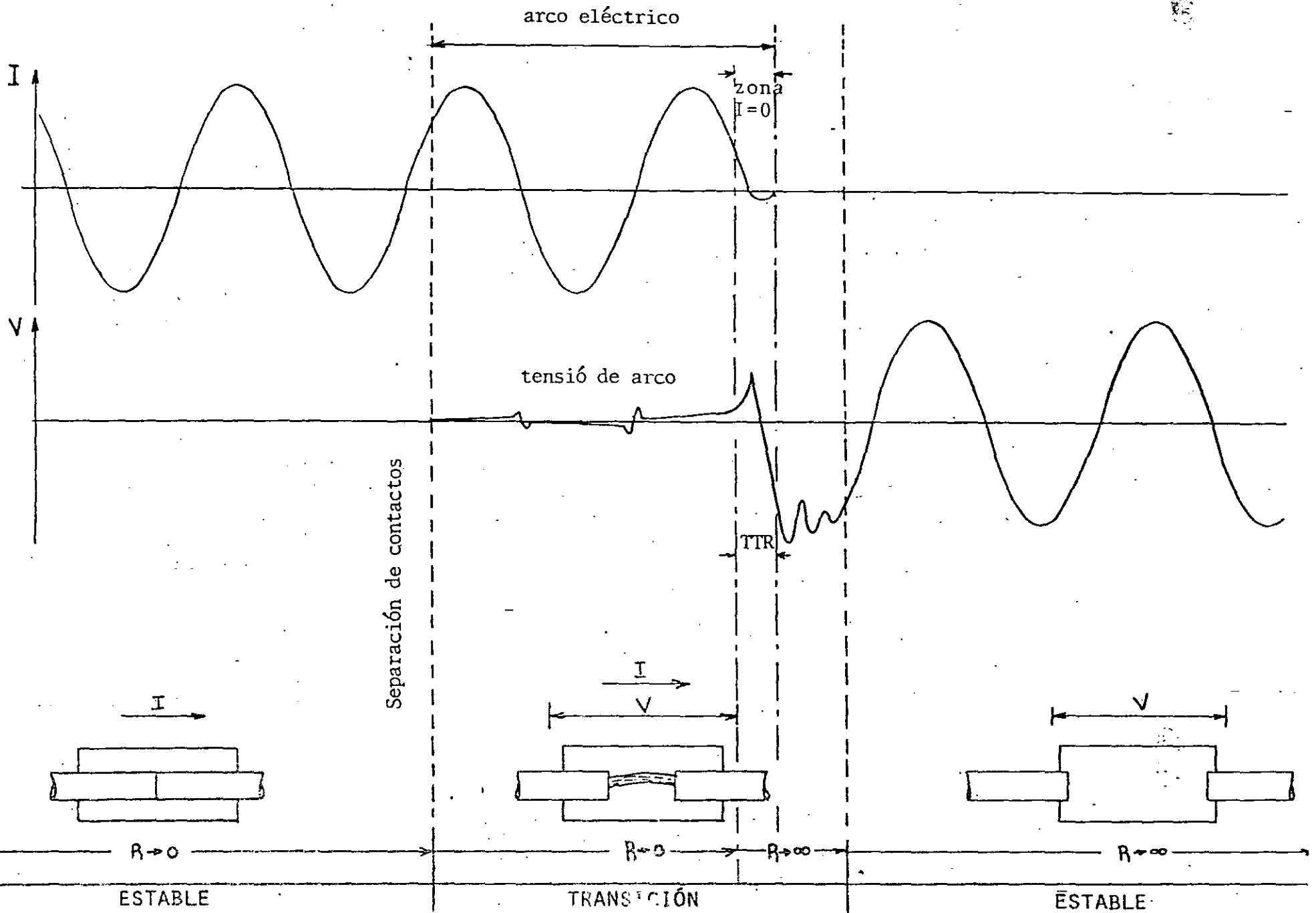
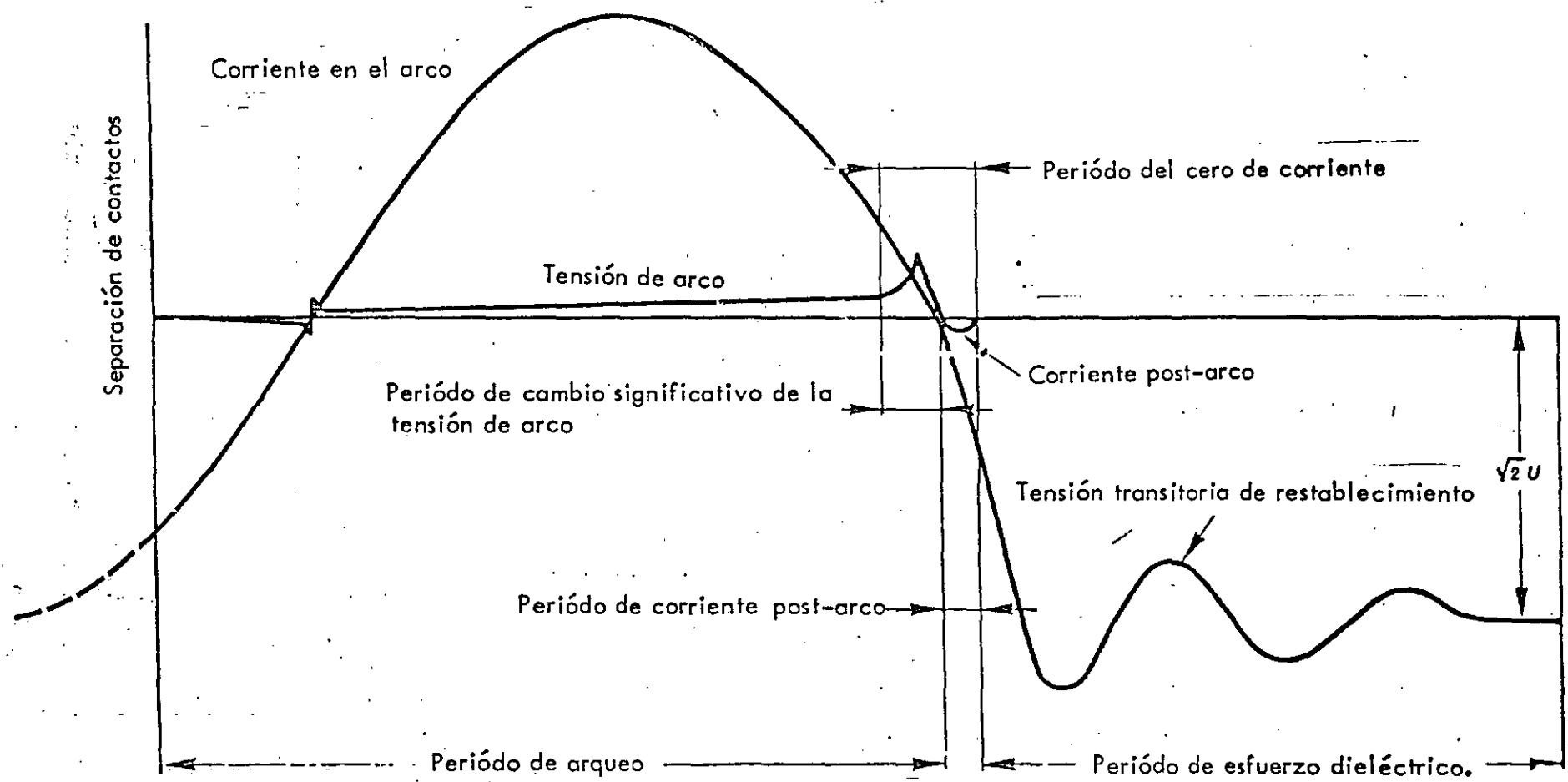


DIAGRAMA BASICO	TENSION DE RECUPERACION	
		Corto circuito
		Falla de línea corta
		Oposición de fases
		Interrupción de pequeñas corrientes inductivas.
		Interrupción de corrientes capacitivas.

Fig. 6 a



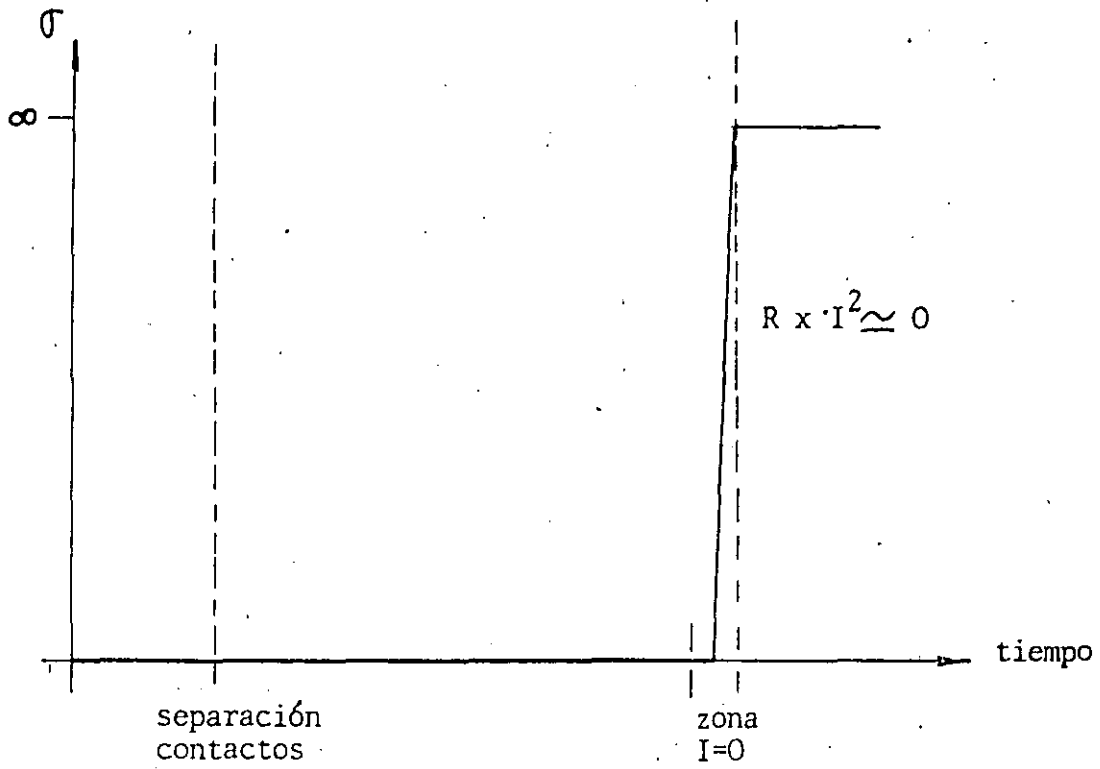


Solamente esquemático - No hay escala

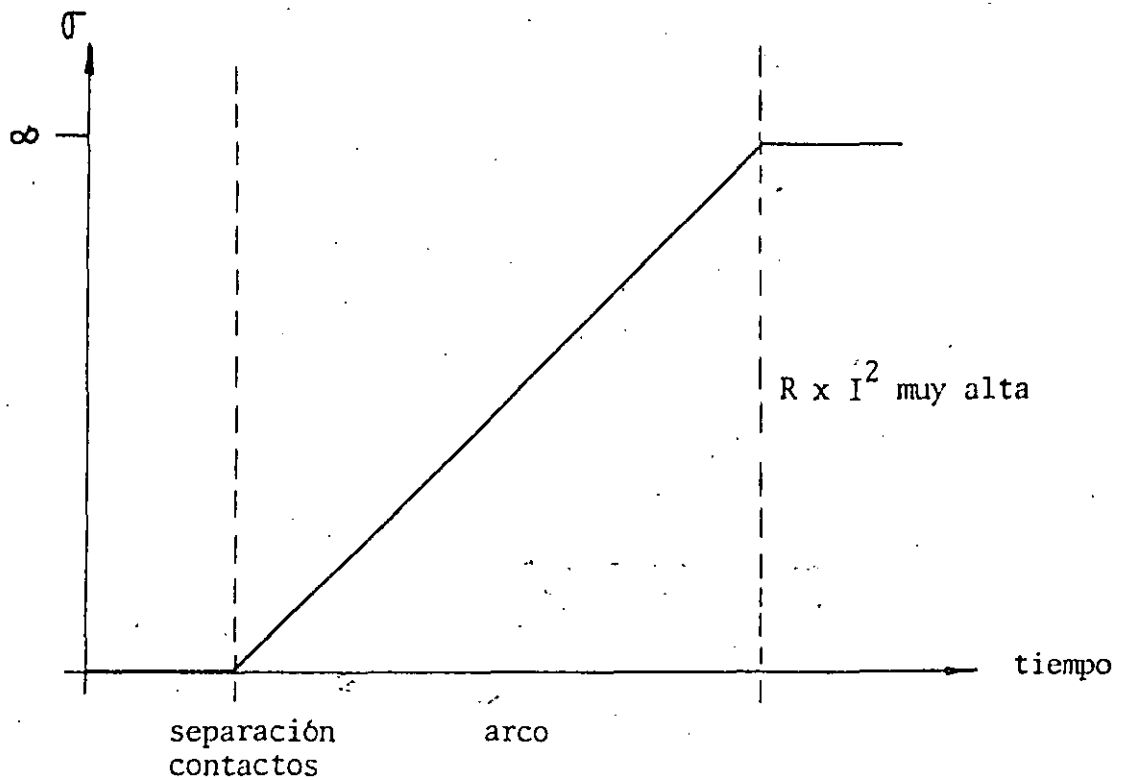
Períodos durante el proceso de ruptura de corriente

CONDUCTIVIDAD IDEAL EN DOS TIPOS DE INTERRUPTORES

INTERRUPCION EN I=0



INTERRUPCION POR CAIDA DE ARCO



MEDIOS DE INTERRUPCION

— AIRE

— ACEITE

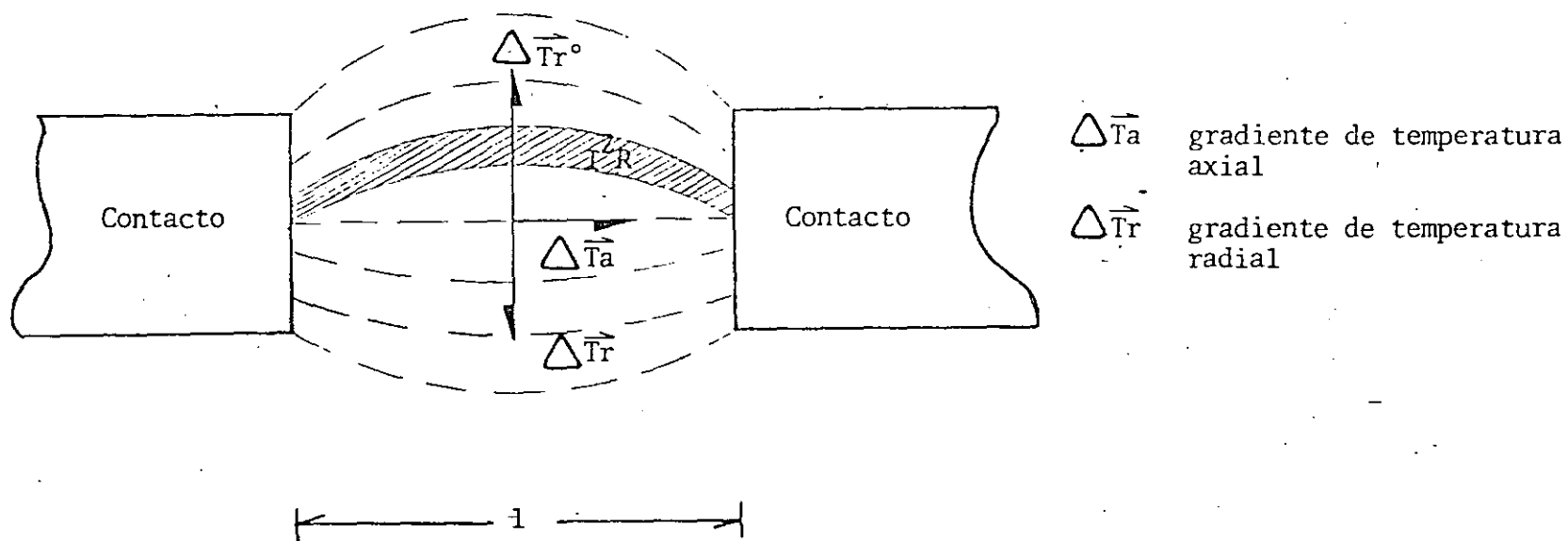
— HEXAFLUORURO DE
AZUFRE (SF_6)

— VACIO

COMPOSICION Y PRESION DE LOS GASES EN LAS CAMARAS
DE INTERRUPCION

COMPOSICIÓN QUÍMICA	COMPOSICIÓN NOMINAL PARA EFECTOS TEORICOS	RANGO DE PRESIÓN APROXIMADO	APLICACIONES
AIRE 100 %	AIRE 100 % O A MENUDO N ₂ 100 %	1 ATM 5 ATM A VARIOS CIENTOS DE ATM	- INTERRUPTORES DE CAÍDA DE ARCO - INTERRUPTORES DE BARRIDO DE AIRE E INTERRUPTORES DE CARGAS A E.H.V.
H ₂ 70 % ACETILENO 25 % CH ₄ 5 % Y TRAZAS DE HIDROCARBUROS	H ₂ 100 %	1 - 3 ATM 3 - 100 ATM	- INTERRUPTORES DE ACEITE PARA CARGAS - INTERRUPTORES ACEITE GRAN Y POCO VOL. DE ACEITE
SF ₆ 100 % AUNQUE PUEDEN CONTENER AIRE O N ₂	SF ₆ 100 %	3 - 15 ATM	- INTERRUPTORES SF ₆ DE PRESIÓN SIMPLE Y DOBLE E INTERRUPTORES PARA CARGAS E.H.V.
GAS PESADO H ₂ , CO ₂ Y OTROS	ESTUDIOS TEORICOS NO DETALLADOS	1 - 10 ATM	- INTERRUPTORES DE CARGA Y FUSIBLES DE EXPULSIÓN

CALOR PRODUCIDO EN LA COLUMNA DEL ARCO



La ionización de la columna de plasma es mantenida por la energía disipada en el arco.
Ionización térmica

Conductividad del plasma proporcional a su ionización.

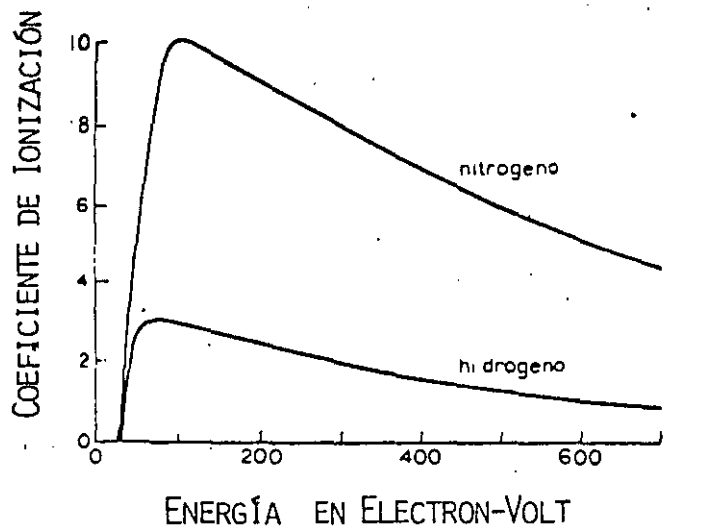


FIG. 11 EFICIENCIA EN LA IONIZACIÓN POR COLISIÓN

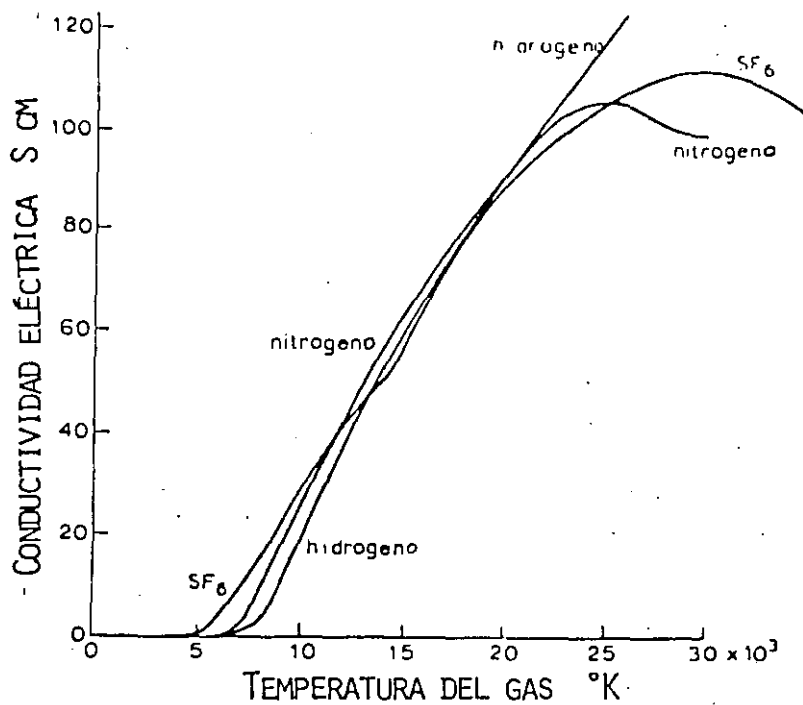
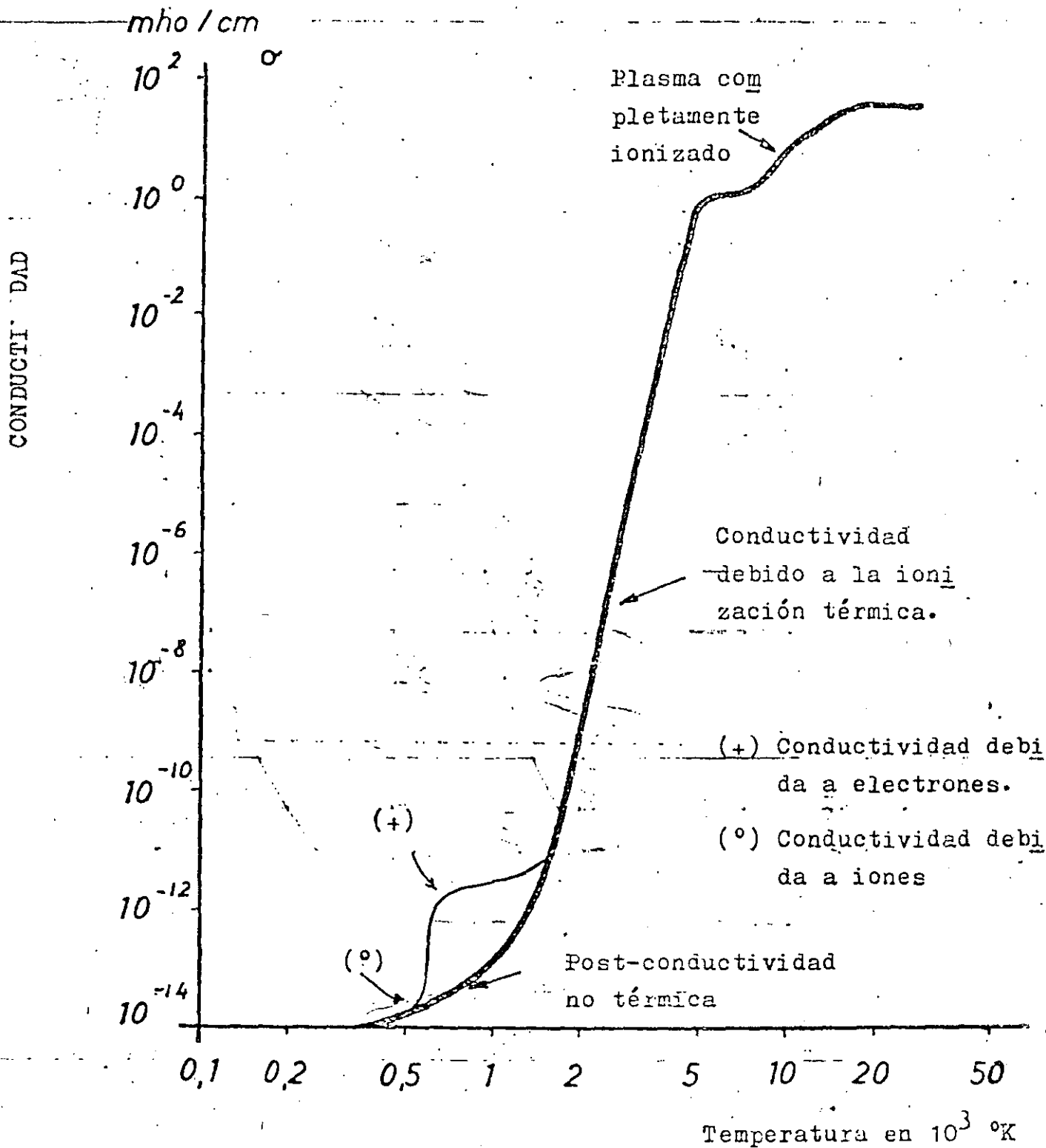


FIG. 12 EFECTO DE LA TEMPERATURA DEL GAS SOBRE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA



Conductividad eléctrica del aire a la presión atmosférica vs. temperatura

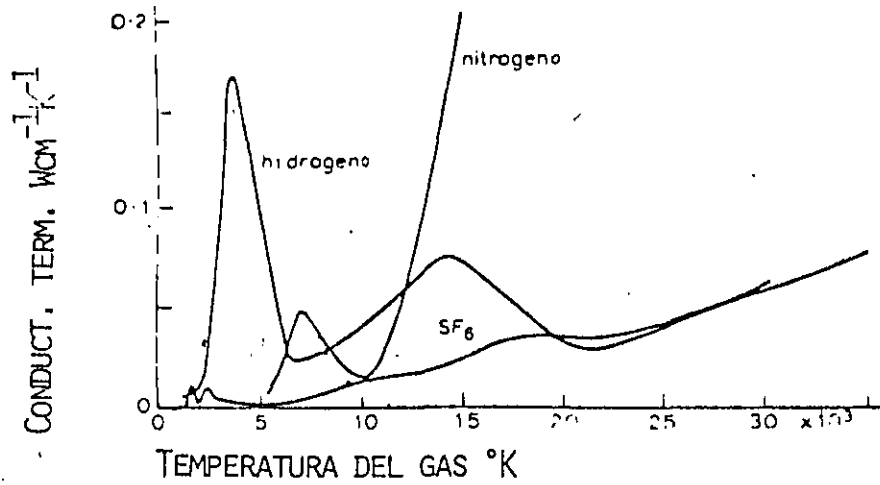


FIG. 13 CONDUCTIVIDAD TÉRMICA CONTRA TEMPERATURA

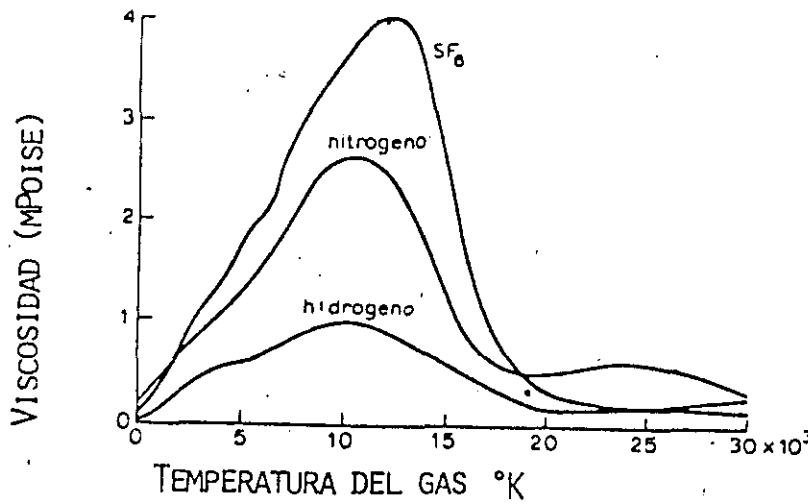
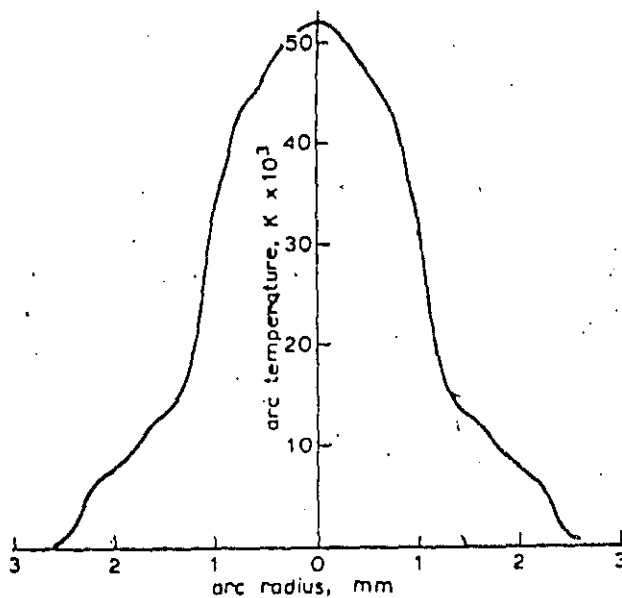


FIG. 14 VISCOSIDAD CONTRA TEMPERATURA

FIG. 15 TEMPERATURA DE DISTRIBUCIÓN RADIAL EN UN ARCO ELÉCTRICO EN UN FLUJO DE NITRÓGENO, CORRIENTE DE ARCO 1kA CALCULADO CON LA FÓRMULA DE ELENBASS-HELLER:



$$S(T) = \sigma E^2 + \frac{1}{R} \cdot \frac{D}{DR} \left(R, K, \frac{DT}{DR} \right)$$

E = GRADIENTE DE CAMPO ELÉCTRICO

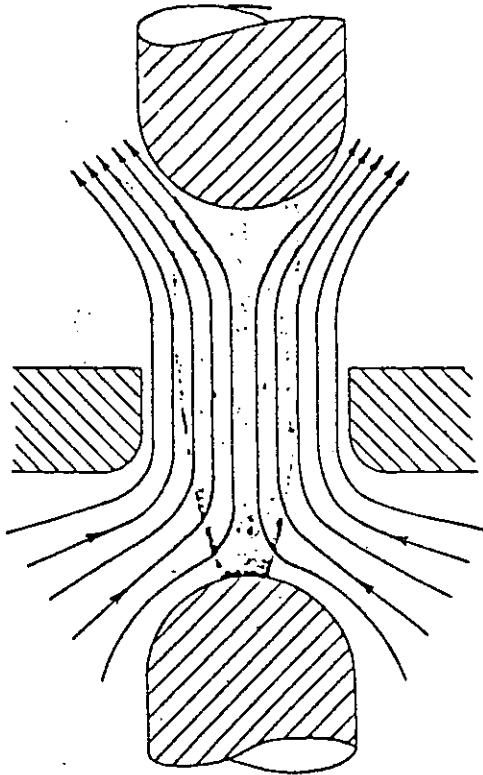
S(T) = PÉRDIDA DE RADIACIÓN EN LA COLUMNA DEL ARCO

T = TEMPERATURA DEL ARCO

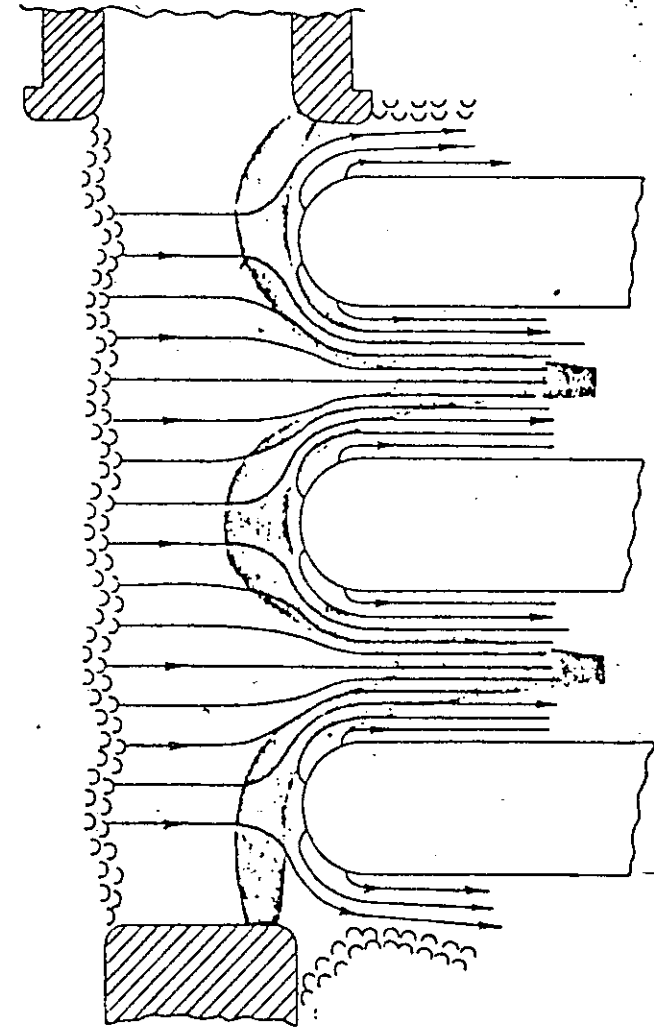
R = RADIO DEL ARCO

K = CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DEL ARCO.

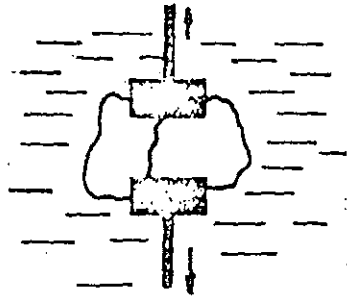
σ = CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA.



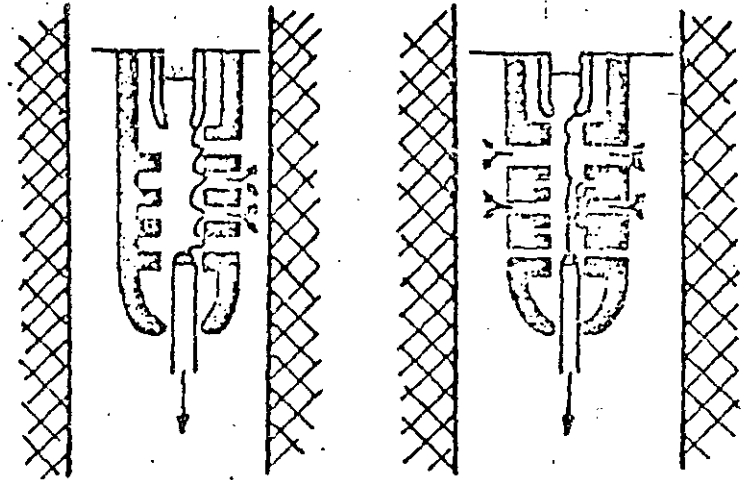
FLUJO DE GAS AXIAL EN INTERRUPTOR DE AIRE A PRESIÓN
Y SF₆



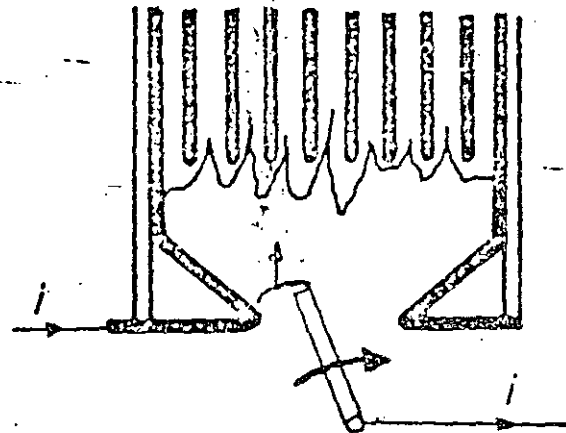
GENERACIÓN Y FLUJO DE GAS EN INTERRUPTOR DE POCO
VOLUMEN DE ACEITE



Interruptor en gran volúmen de aceite

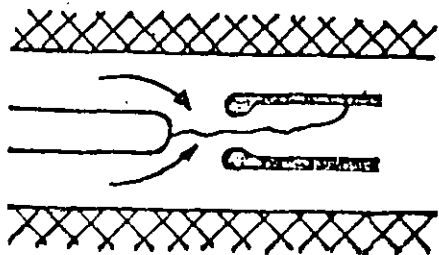


Interruptor en poco volumen de aceite.

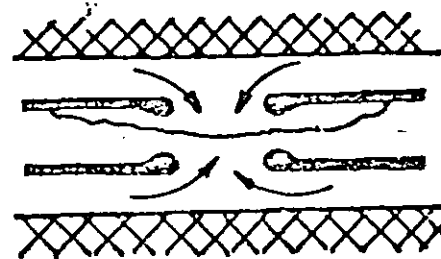


Interruptor en aire con soplo magnético.

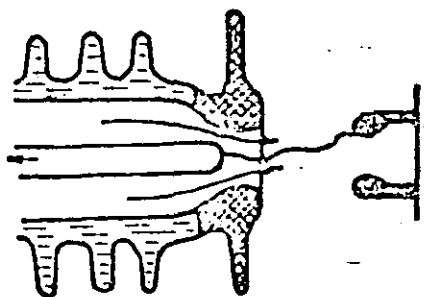
Interruptores con Gas (Aire comprimido ó Sf6)



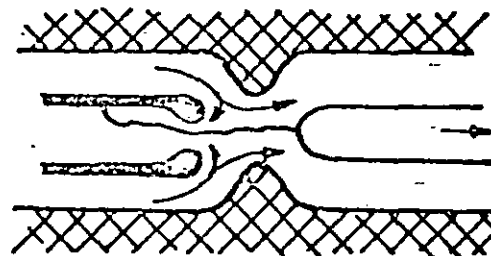
Tabera de soplado sencillo.



Tabera de soplado doble



Tabera de chorro libre.



Tabera Aislante

FIGURA 18

CONCEPTOS BASICOS GENERALES DEL DISENO DE LAS CAMARAS DE EXTINCION

1.- EN CONDICIONES ESTABLES:

- A) SOPORTAR LAS CORRIENTES Y SUS EFECTOS (CALOR, CAMPOS MAGNÉTICOS) TANTO EN CASOS DE CIRCUITOS EN ESTADO NORMAL COMO EN ESTADO DE FALLA ELÉCTRICA, CUALQUIERA QUE ESTA SEA.
- B) SOPORTAR LAS TENSIONES Y SUS EFECTOS EN CASOS NORMALES COMO DE FALLA.
- C) CONTROLAR LA DENSIDAD DEL MEDIO DE EXTINCIÓN INDEPENDIENTEMENTE DE LA TEMPERATURA Y PRESIÓN.
- D) PROPORCIONAR UNA GRAN HERMETICIDAD PARA EVITAR QUE EL MEDIO DE EXTINCIÓN SE ESCAPE, INDEPENDIENTEMENTE DE LA TEMPERATURA.
- E) NO REQUERIR RELLENAR O CAMBIAR FRECUENTEMENTE EL MEDIO DE EXTINCIÓN.
- F) EVITAR EFECTOS DE CONCENTRACIÓN DE CAMPO ELÉCTRICO.

- 2 -

FIGURA 18

CONCEPTOS BASICOS GENERALES DEL DISEÑO DE LAS CAMARAS DE EXTINCIÓN

2.- EN CONDICIONES TRANSITORIAS

- A) TENER UN TIEMPO MÍNIMO DE RESPUESTA TOTAL DE INTERRUPCIÓN PARA TODOS LOS CASOS DE FALLA.
- B) CONTROLAR LA TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL ARCO DE TAL FORMA, QUE SE PUEDA TENER UN COMPARTAMIENTO DE LA CONDUCTIVIDAD LO MÁS CERCAÑO A LA CURVA IDEAL.
- C) PROPORCIONAR UN MEDIO DIELECTRICO AL EXTINGUIR EL ARCO LO SUFICIENTEMENTE RÍGIDO PARA QUE NO SE PRESENTE LA REIGNICIÓN DEL ARCO.
- D) CONTROLAR EL FLUJO TURBULENTO DEL GAS EXTINGTOR EN UNA GEOMETRÍA CAMBIANTE A ALTAS VELOCIDADES (100 A 1000 M/S EN INTERRUPTORES BBC DE SF6).
- E) CONCENTRAR AL ARCO EN LA ZONA DE LOS CONTACTOS DISEÑADA PARA LA EXTINCIÓN DEL MISMO.
- F) NO SOPLAR EL ARCO DE FORMA QUE LAS PEQUEÑAS CORRIENTES LLEGUEN A SER CORTADAS, CREANDO SOBRETENSIONES PELIGROSAS EN CIRCUITOS INDUCTIVOS.

PROGRESOS EN LA TECNICA DE INTERRUPTORES

Capacidad de interrupción en MVA por cámara de extinción Vs. años

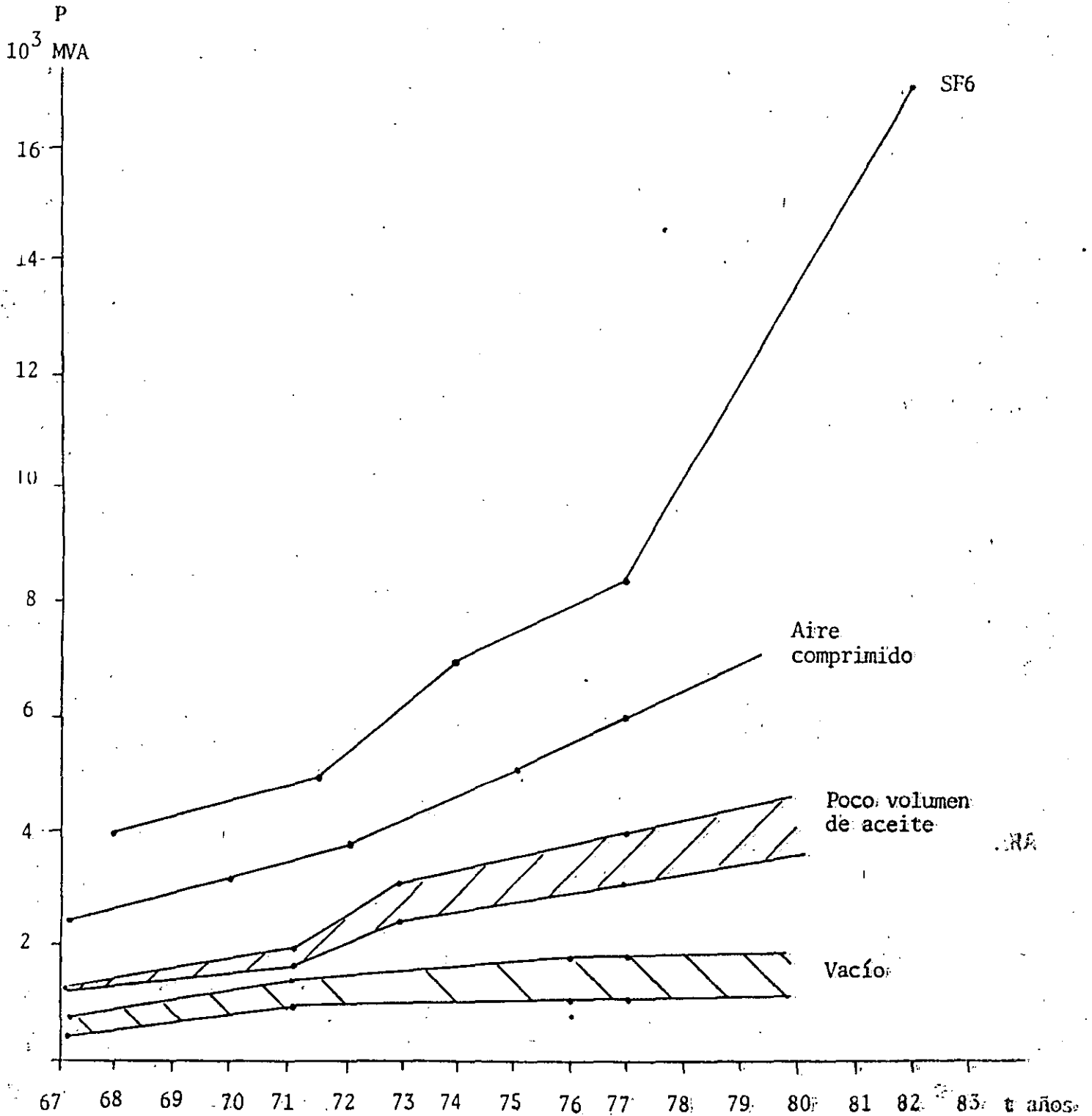


FIG. 19

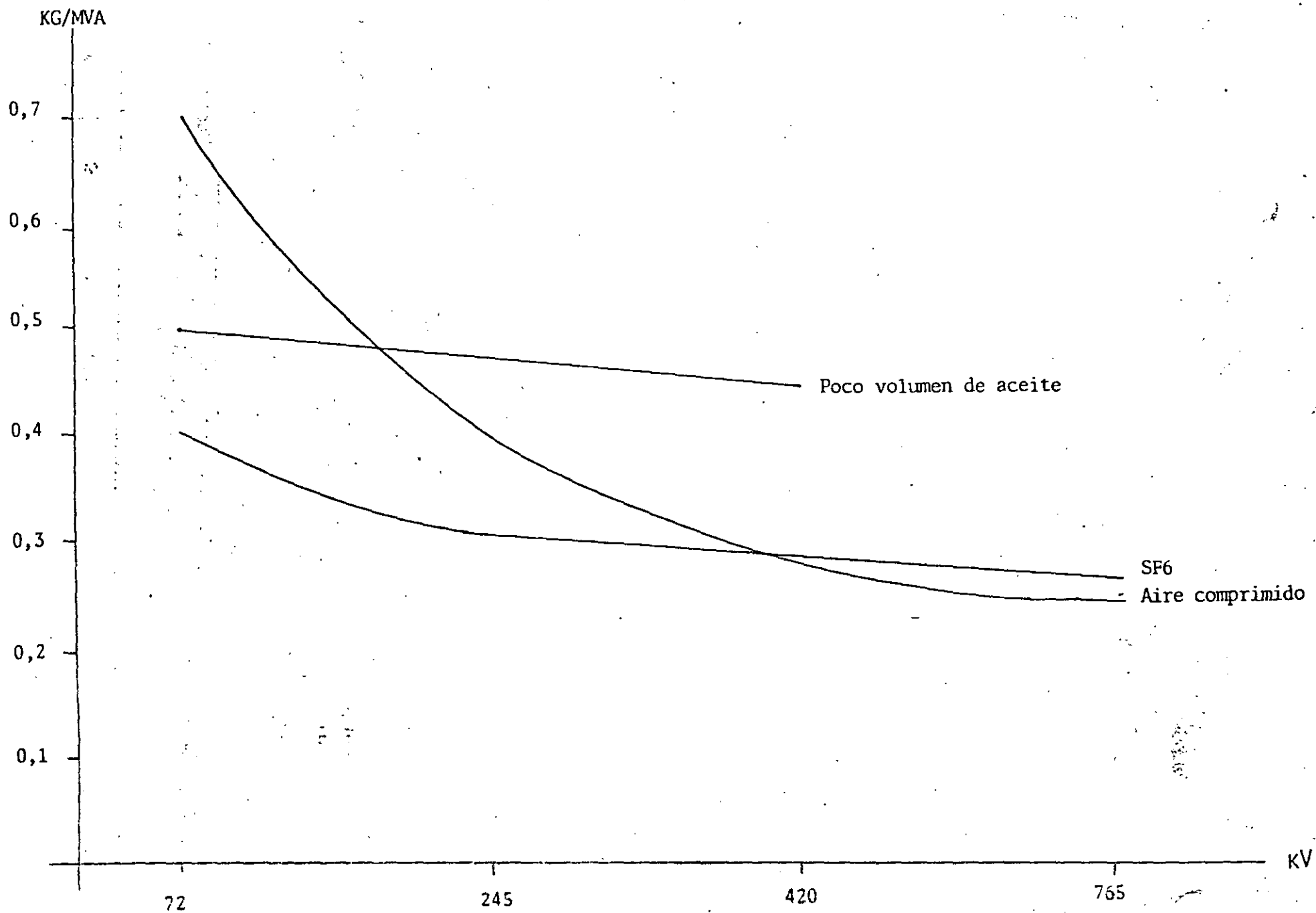
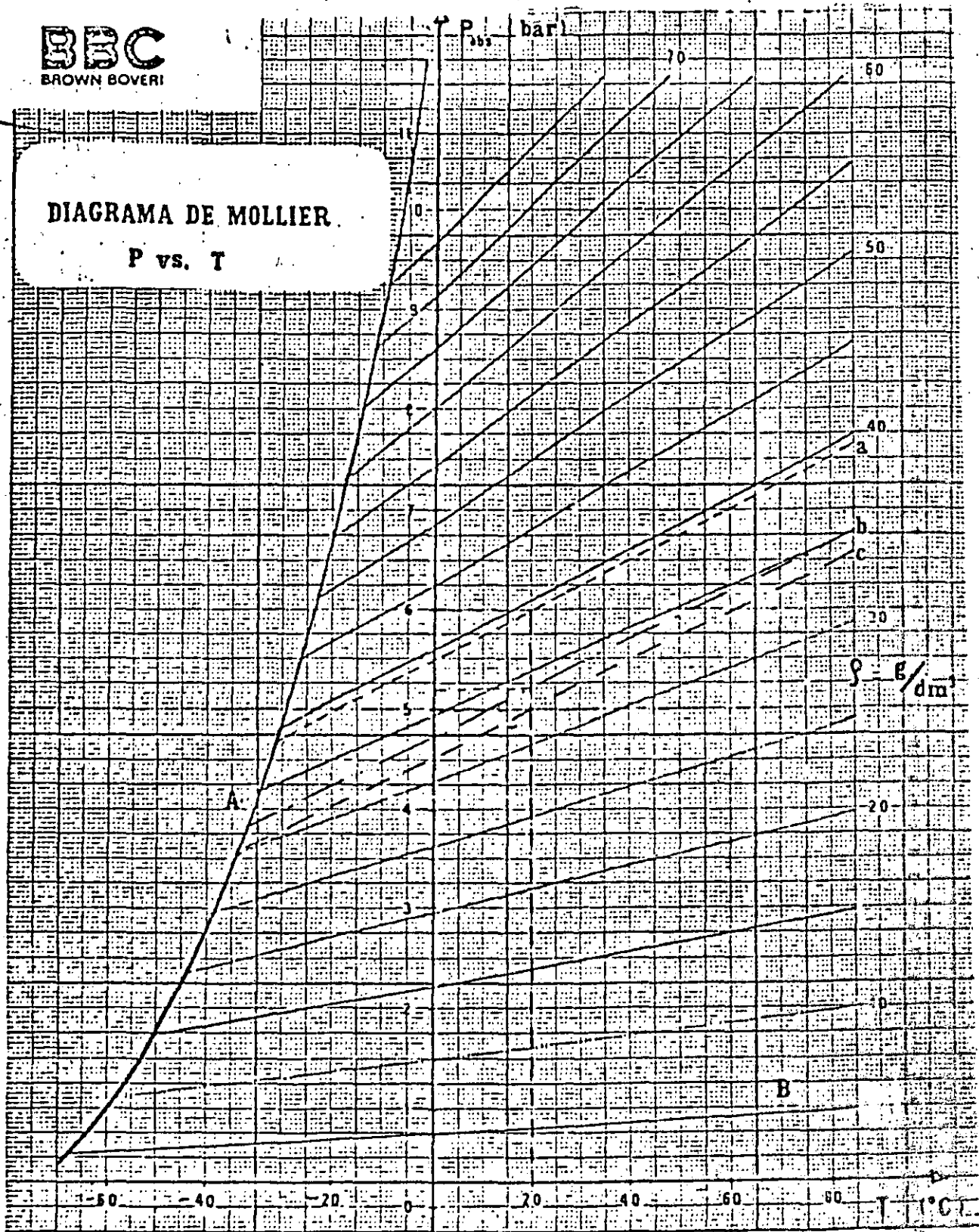


DIAGRAMA DE MOLLIER.
P vs. T



A = Línea de licuefacción
 B = Línea de densidad constante
 $\rho =$ Densidad (g/dm³)

a = Línea de llenado
 b = Línea de relleno
 c = Línea de bloqueo

FIG. 20

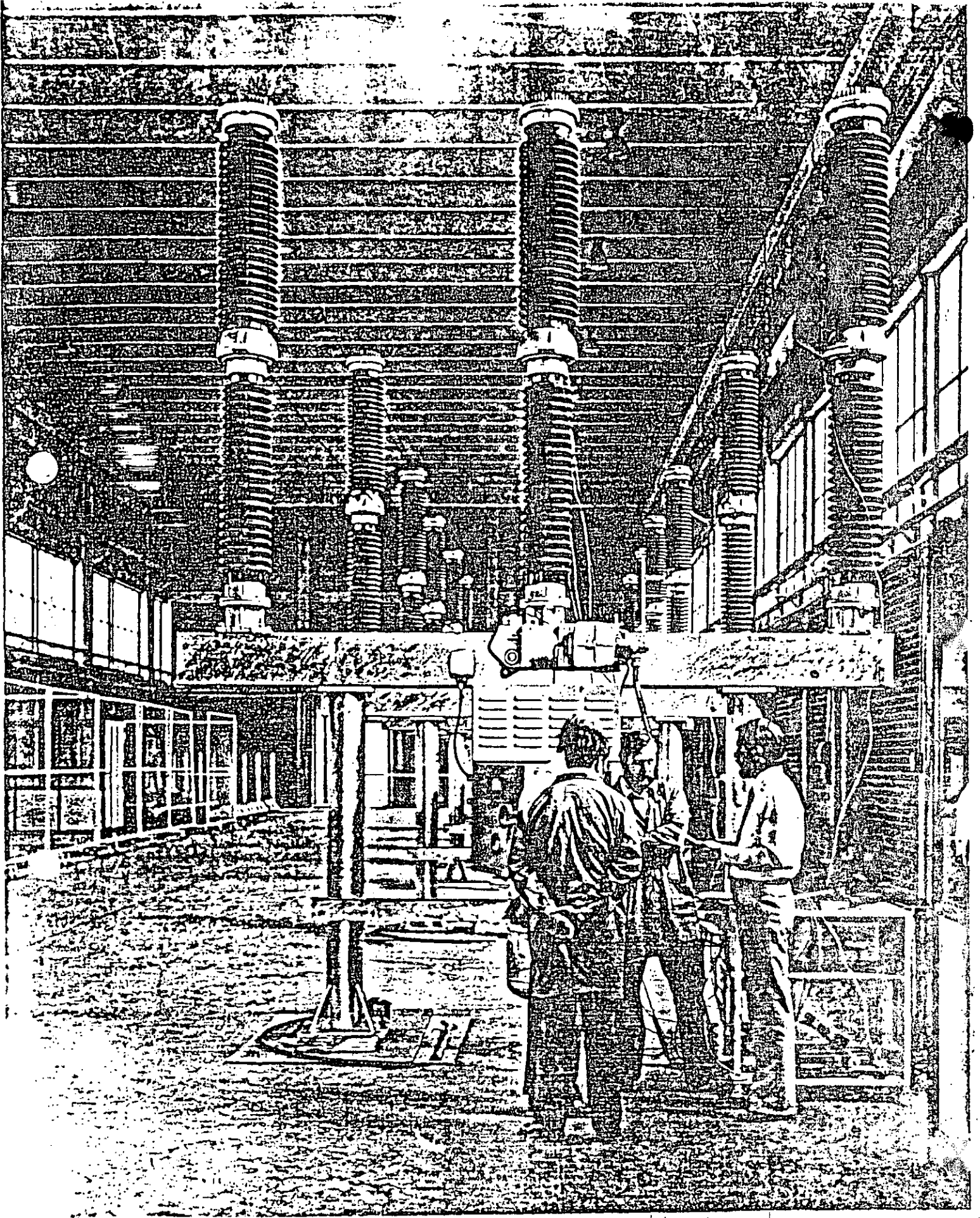


Fig. 21 A

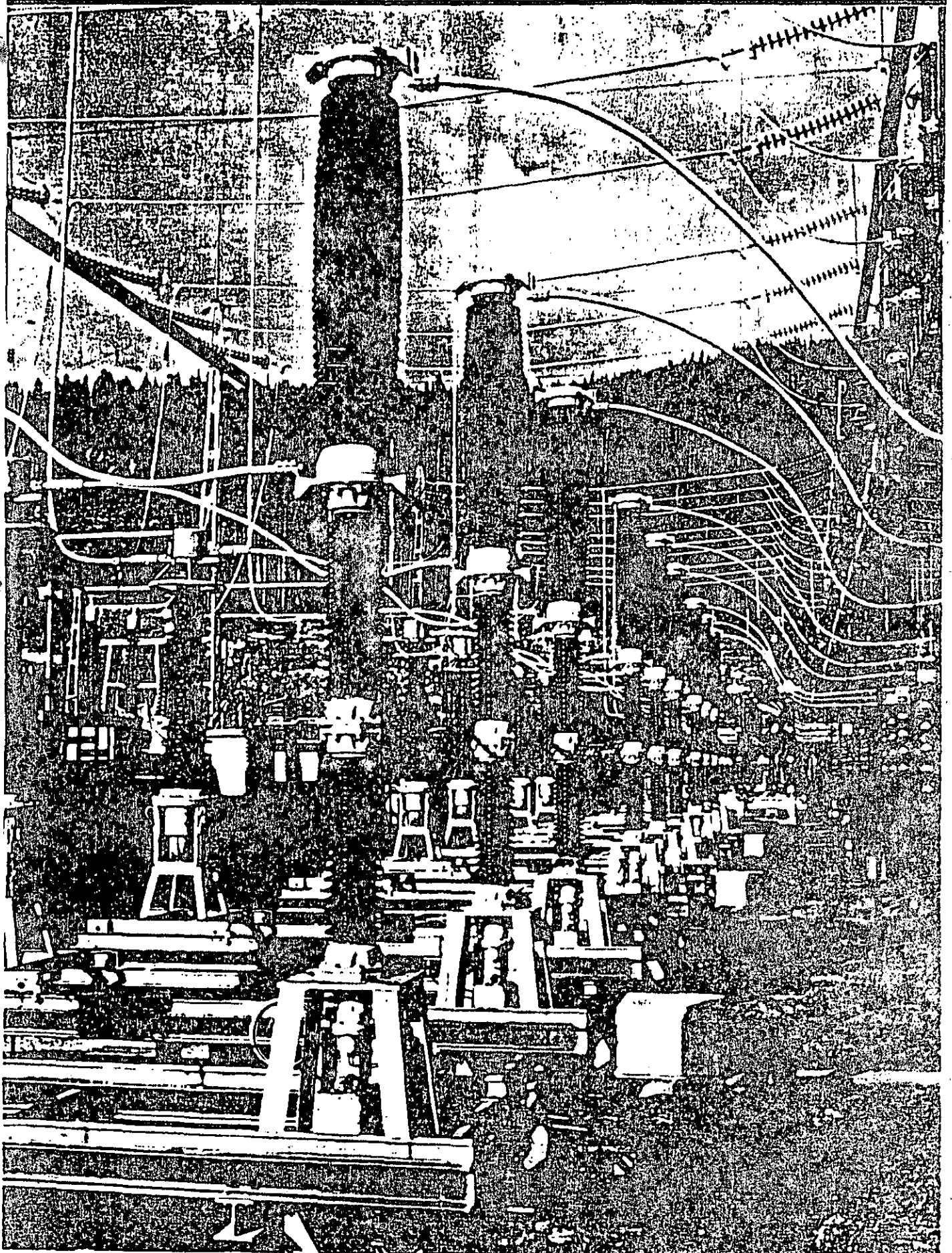
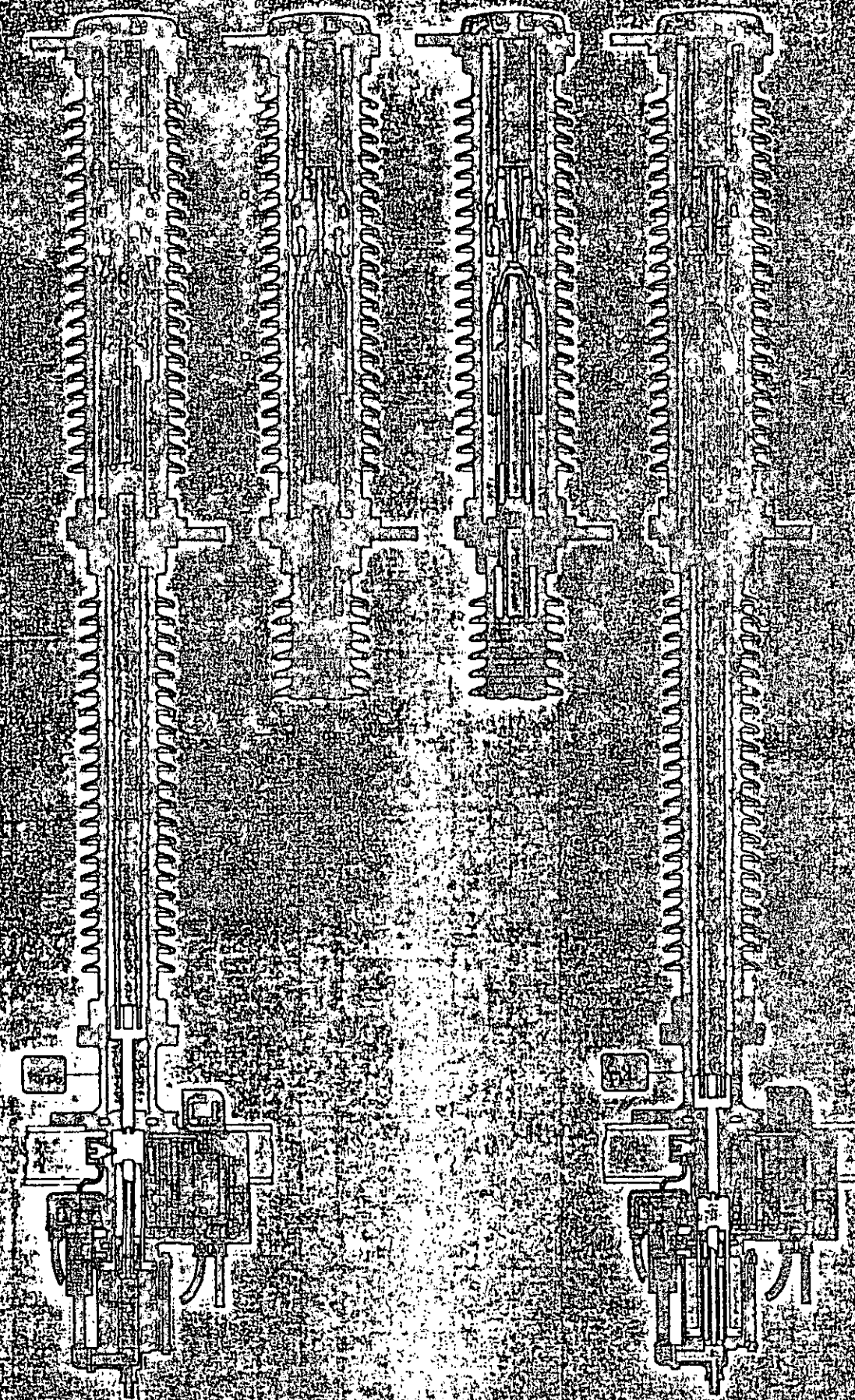


FIG. 21 B



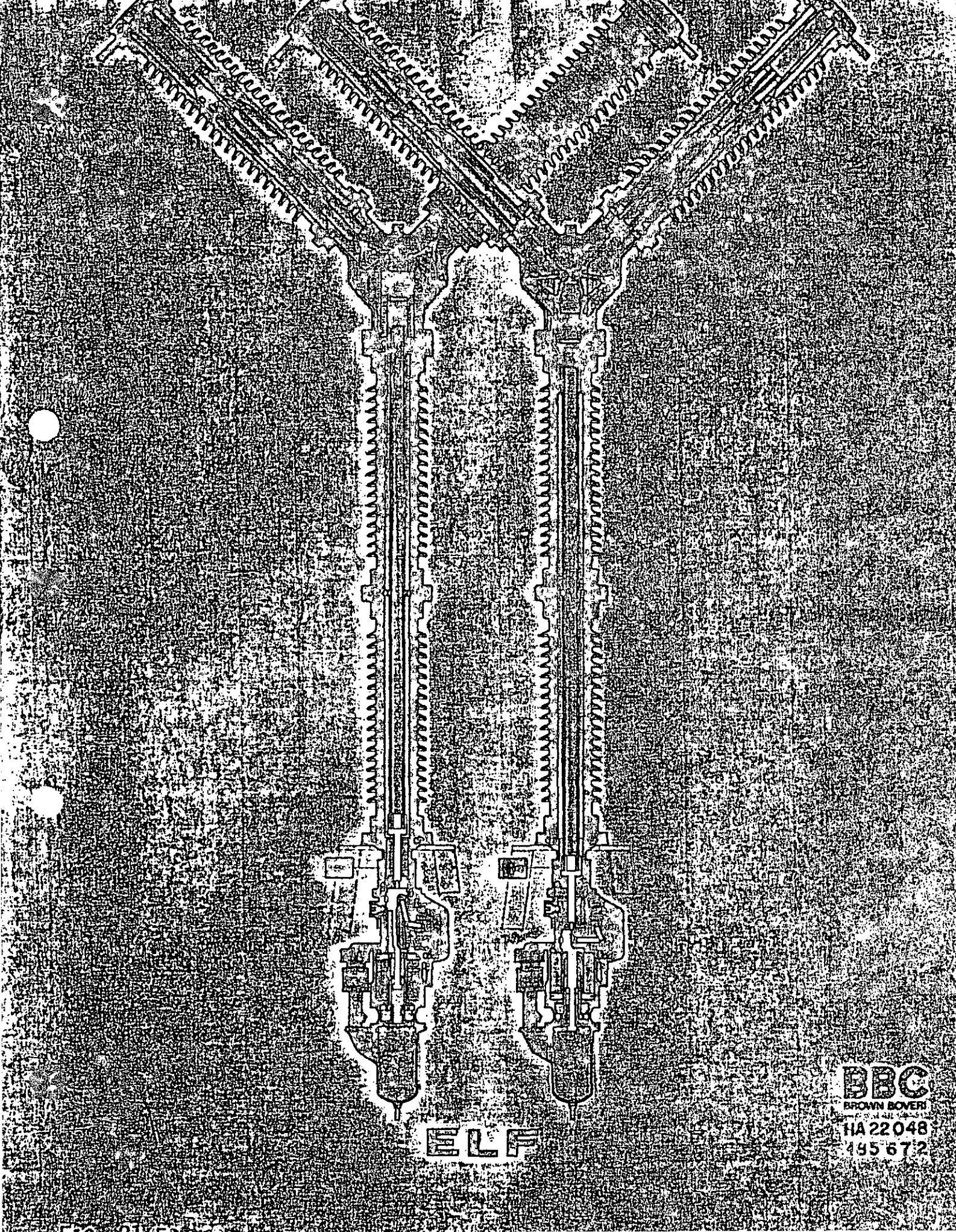
ELF

BBC

SPAWN COVER

HA22046

185 673



ELF

BBC
BROWN BOVERI

HA 22048

455 672

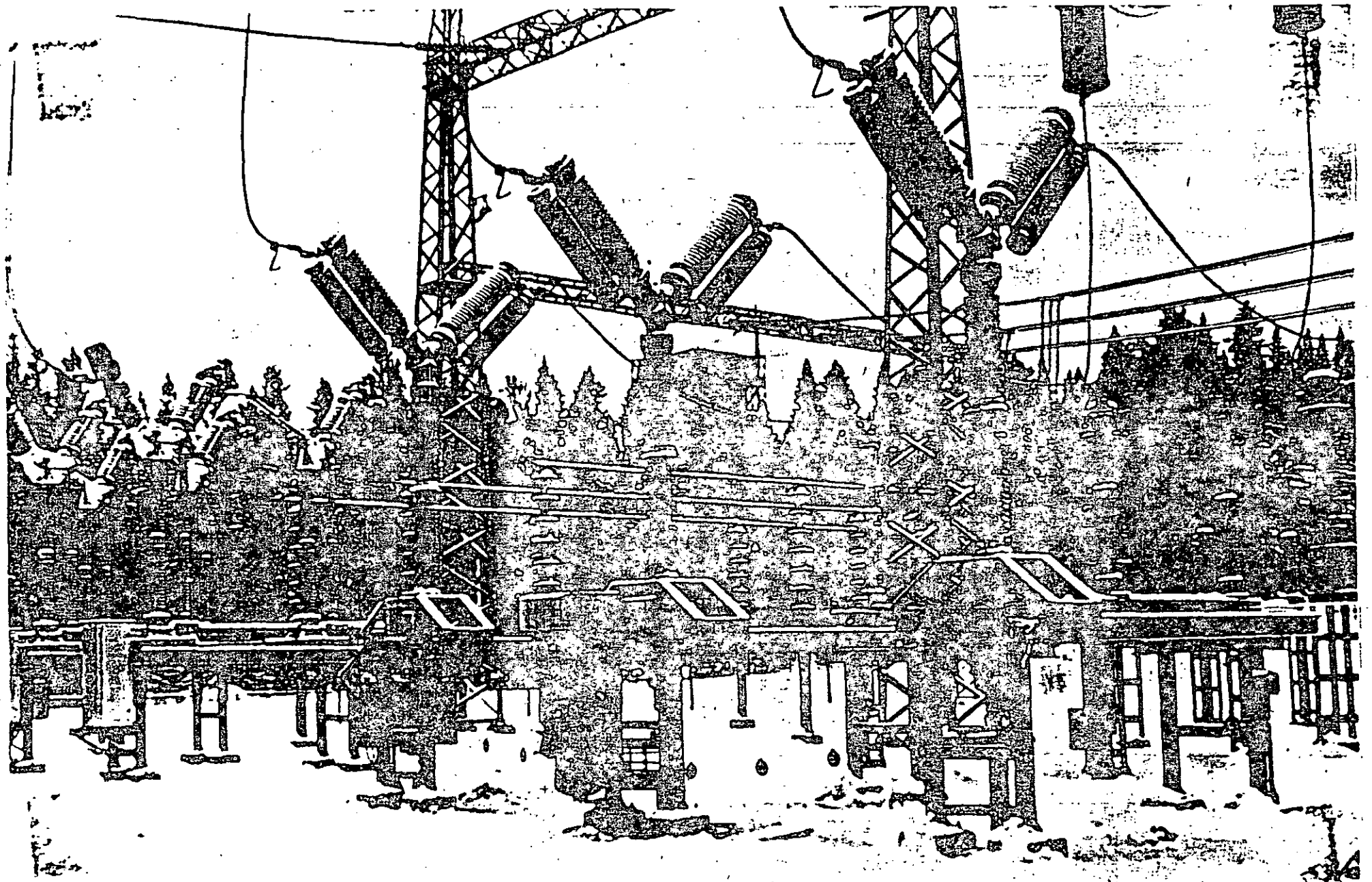
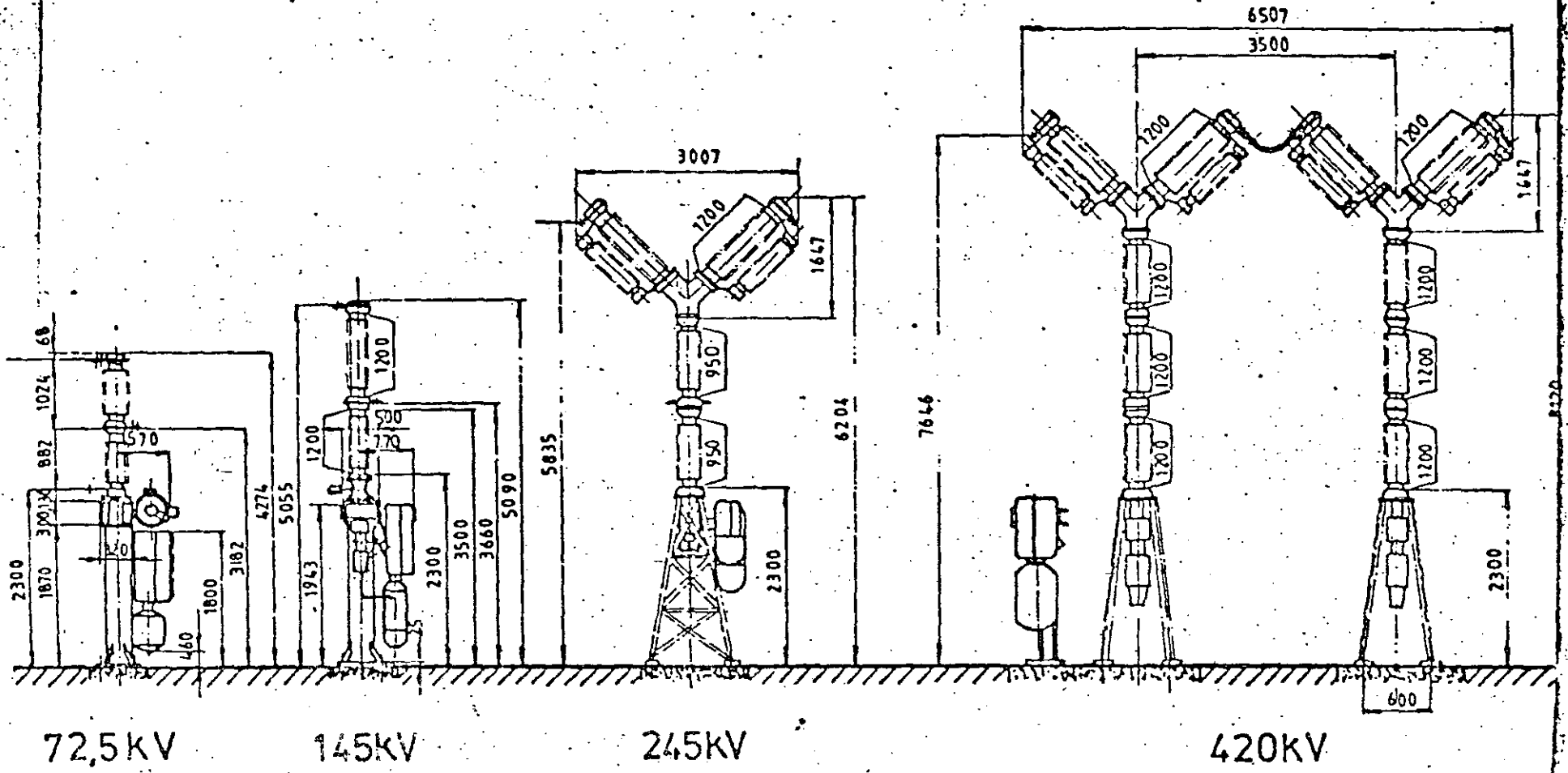
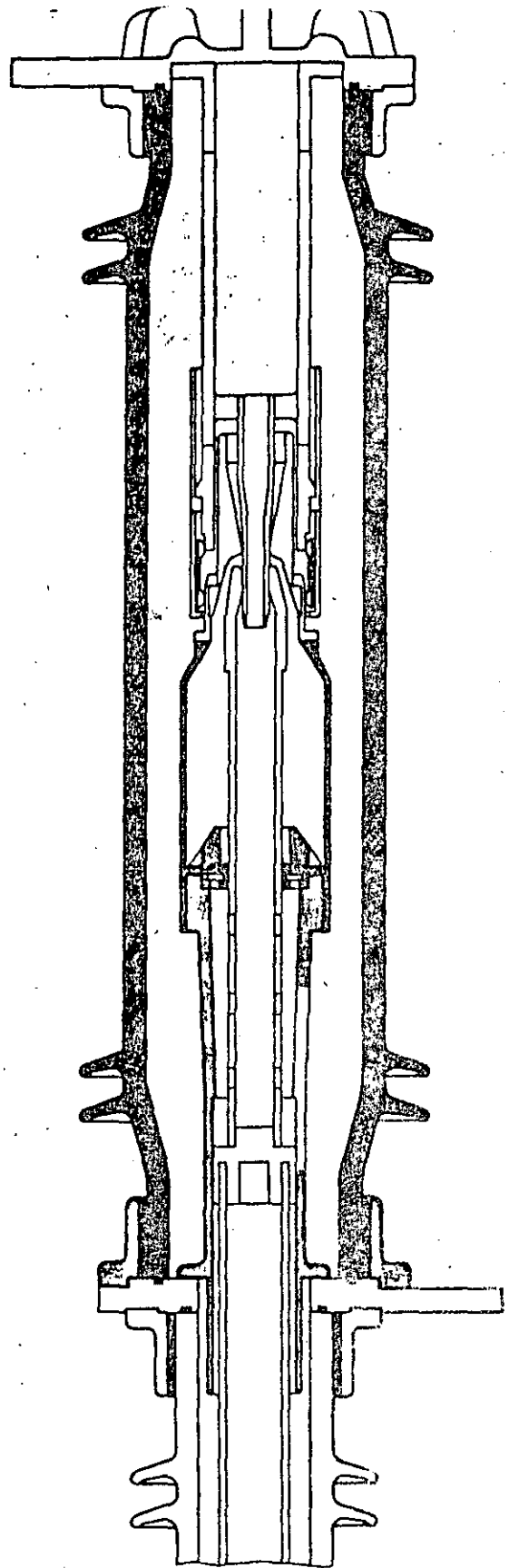
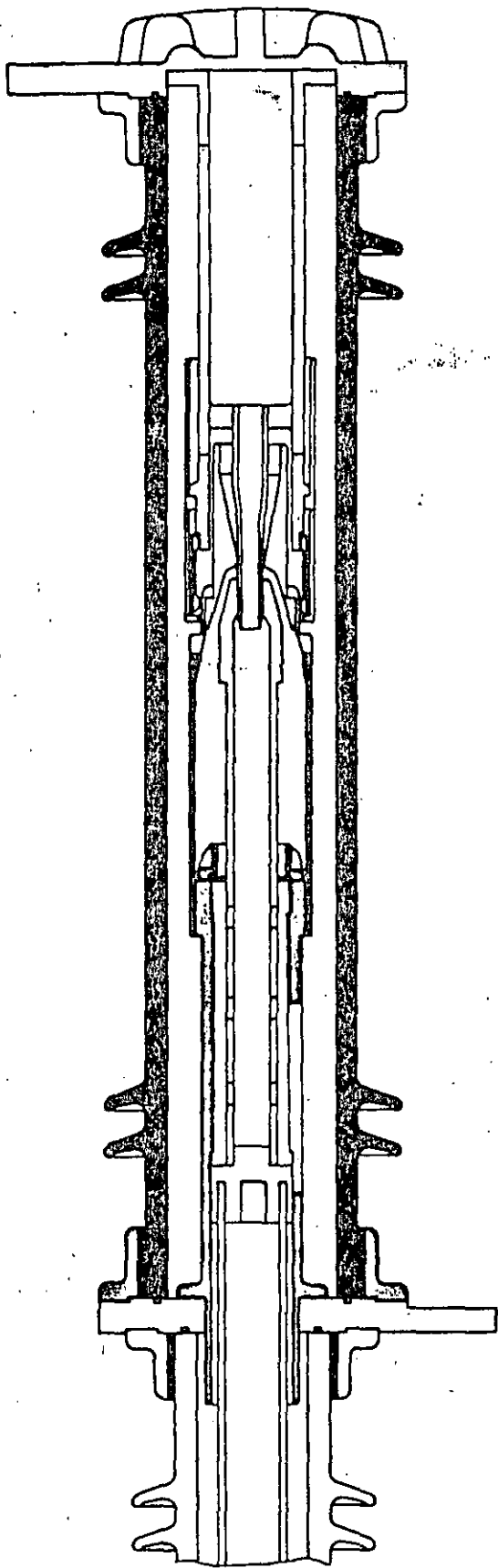


FIG. 21 G

LÍNEA DE INTERRUPTORES EN SF6 TIPO ELF
de 20 a 40 KA





BBC
BROWN BOVERI

ELF

HA22063
187308c

Interruptor
ELF

Cámara de Extinción

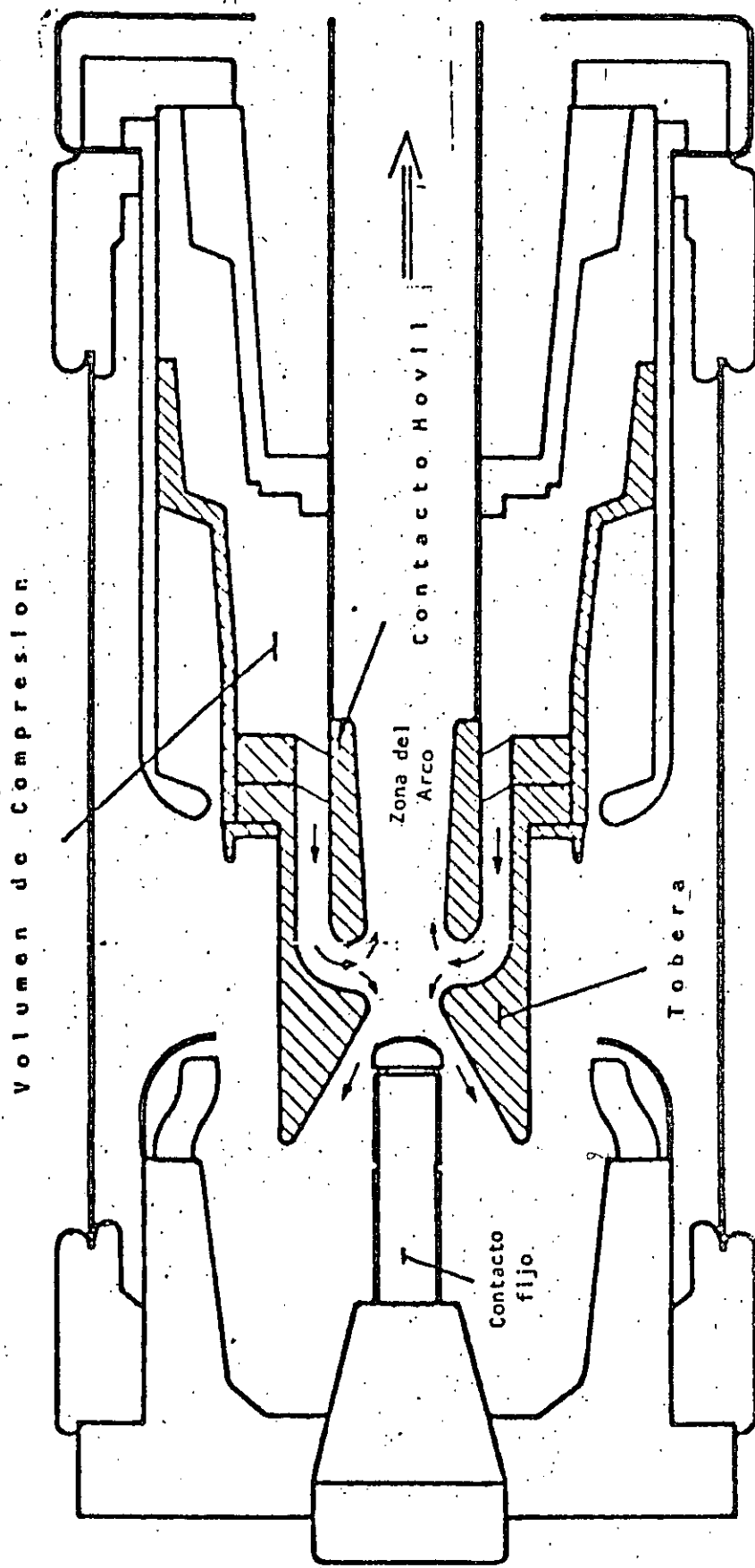
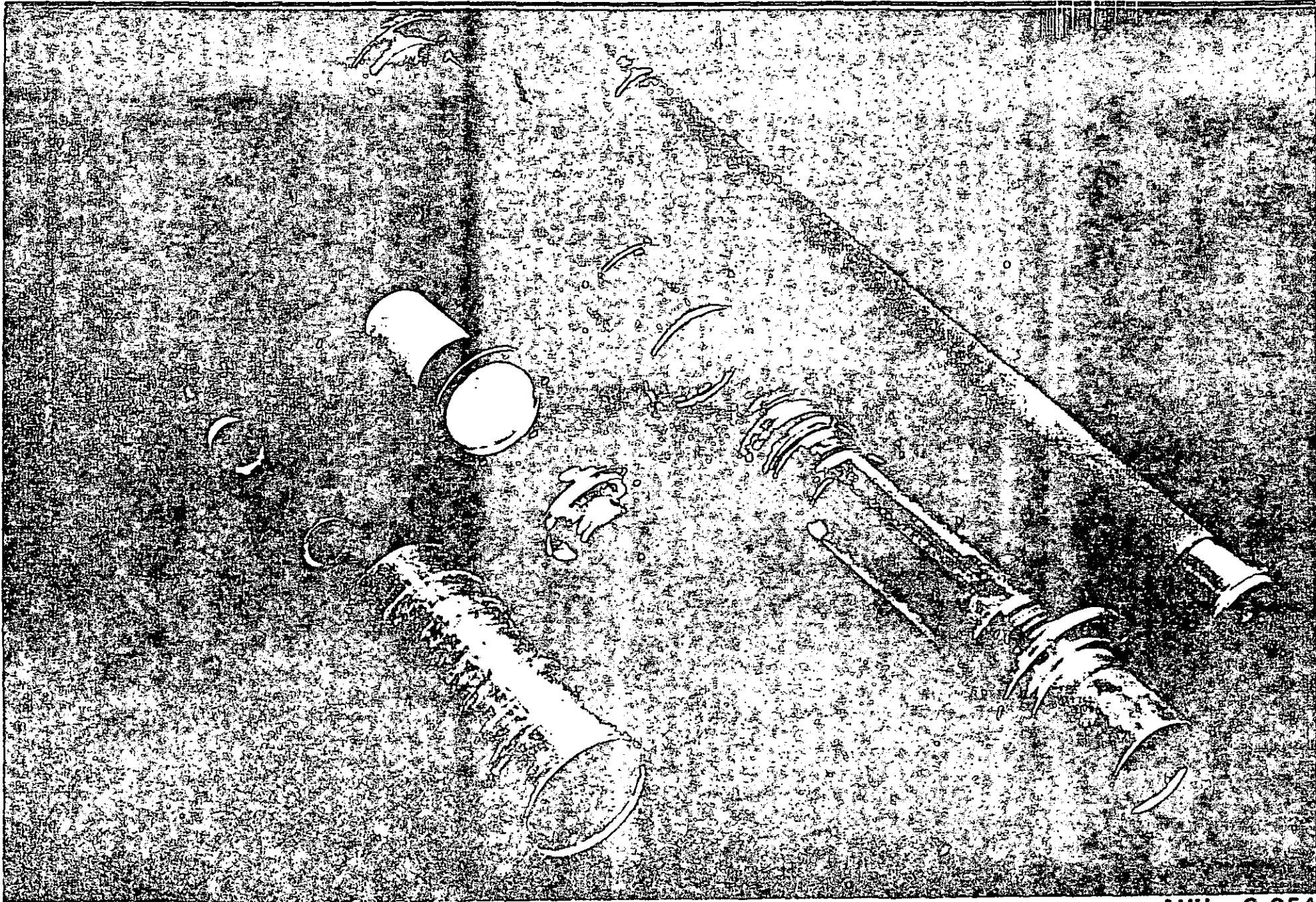


FIG. 22

MLF

BBC
BROWN BOVERI



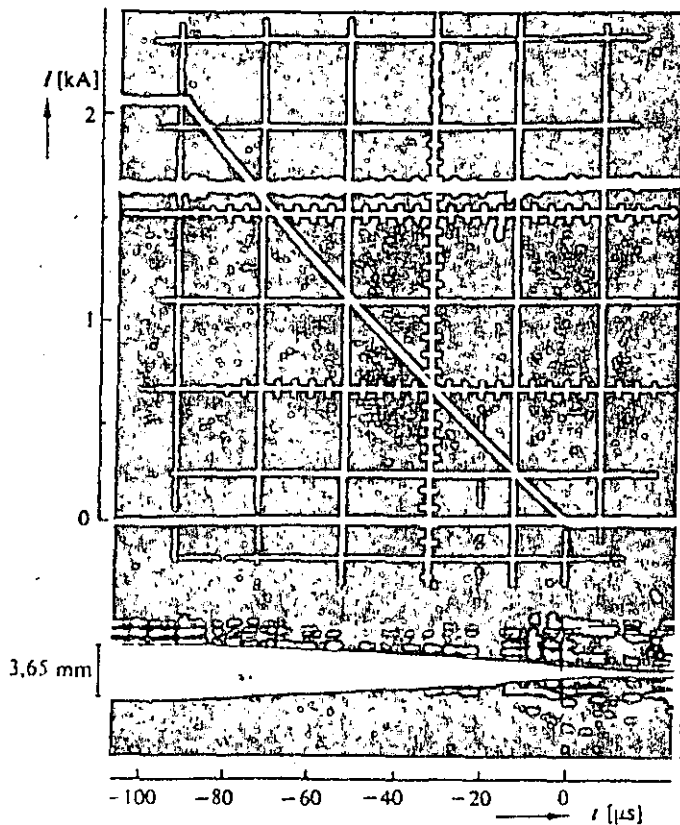


FIG. 24 OSCILOGRAMA EN LA VECINDAD DE CORRIENTE CERO.
LA CORRIENTE ES INTERRUMPIDA EN EL INSTANTE DONDE $I = 0$

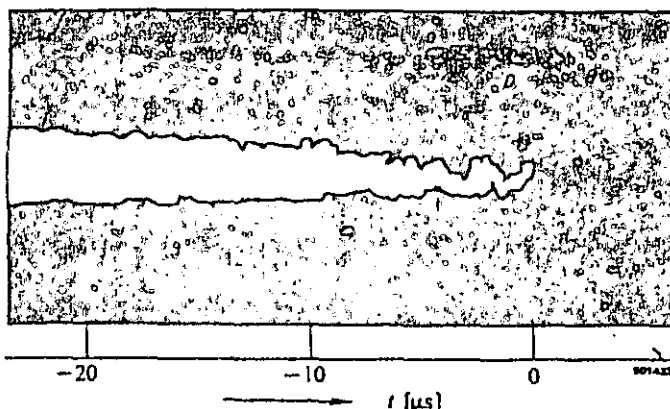


FIG. 25 FOTOGRAFIA DE SECUENCIA DEL ARCO EN LA BOQUILLA.
SE MUESTRA COMO LA TURBULENCIA AFECTA AL ARCO

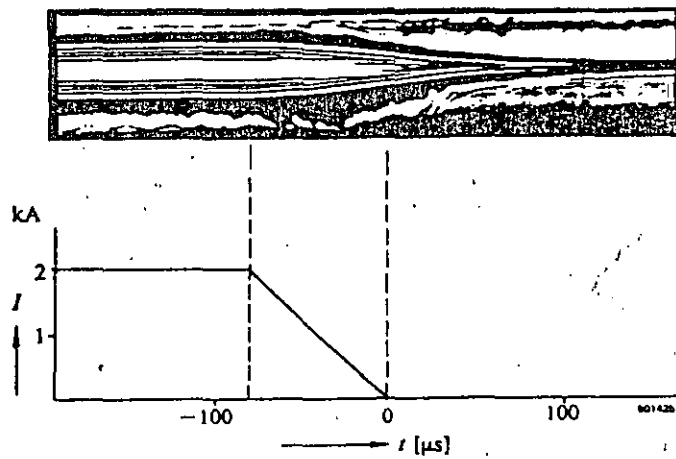
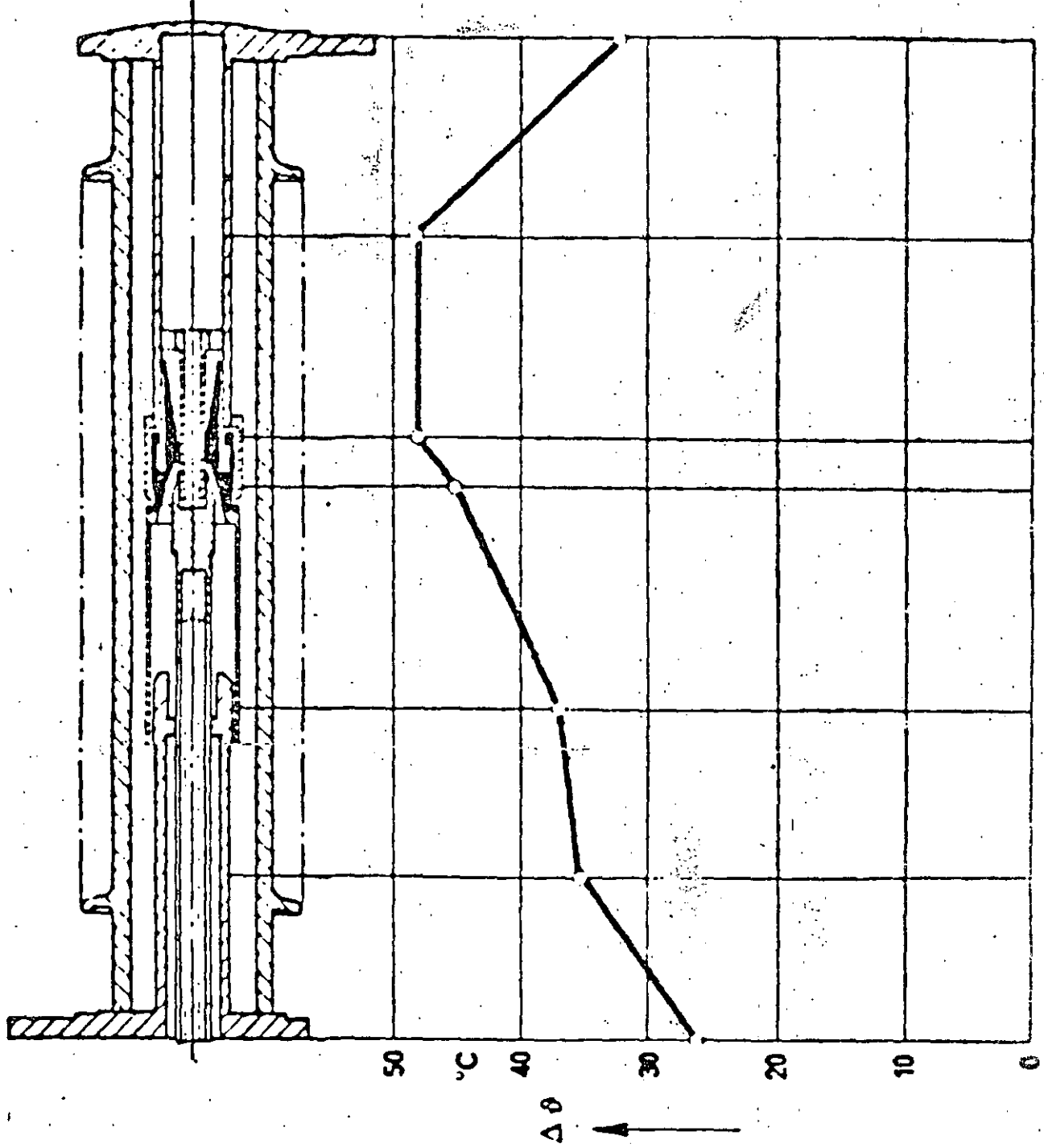


FIG. 26 FOTOGRAFIA DE SECUENCIA DONDE SE MUESTRA LA REDUCCI3N DE LA ZONA CALIENTE ENTRE LOS CONTACTOS.

INTERRUPTOR
ELF

TEMPERATURAS EN LA CAMARA DE EXTINCION



2500 A

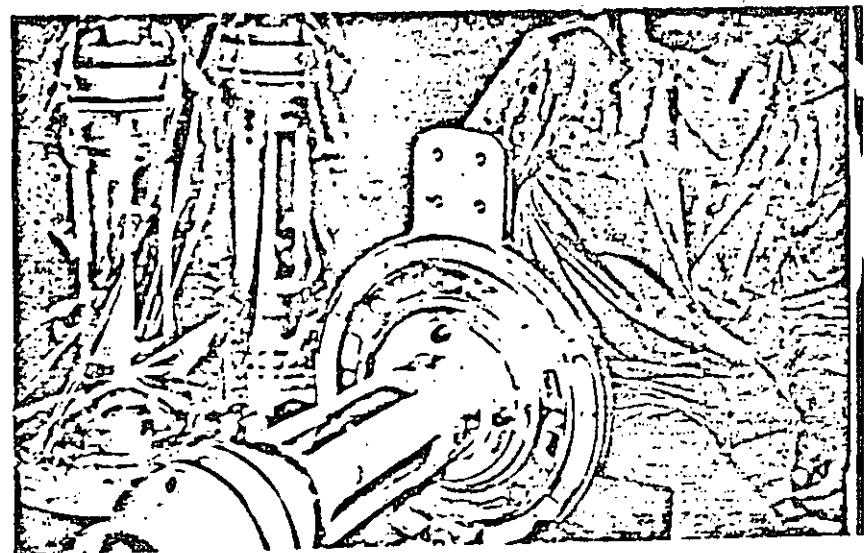
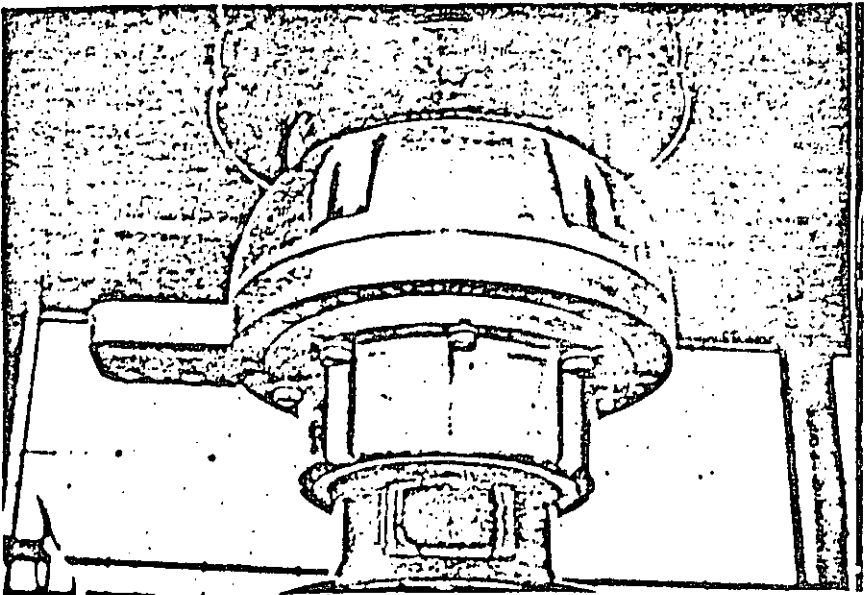


FIG. 28

ESTRUCTURA DE LA ALEACION AL SI 10 MG

=====

Metalografias



Resistencia a la tracción

19000 lb/pulg² *

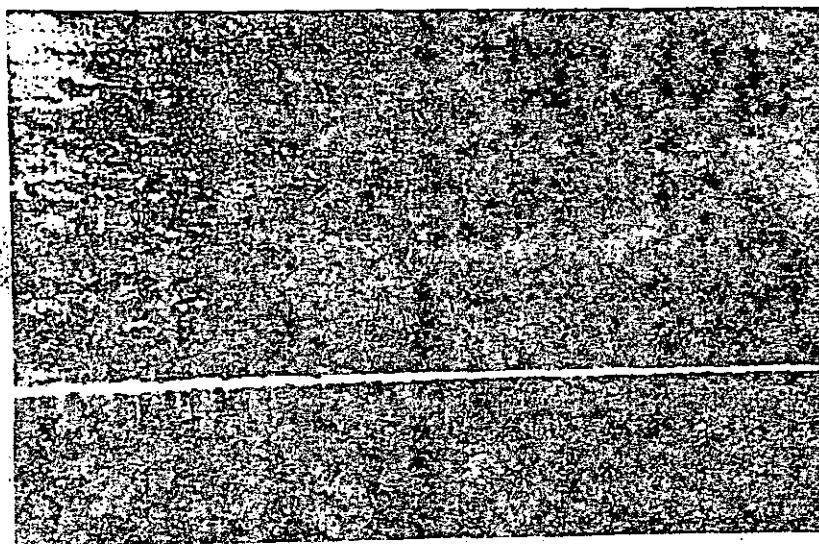
39000 lb/pulg² *

Elongación

0,7 %

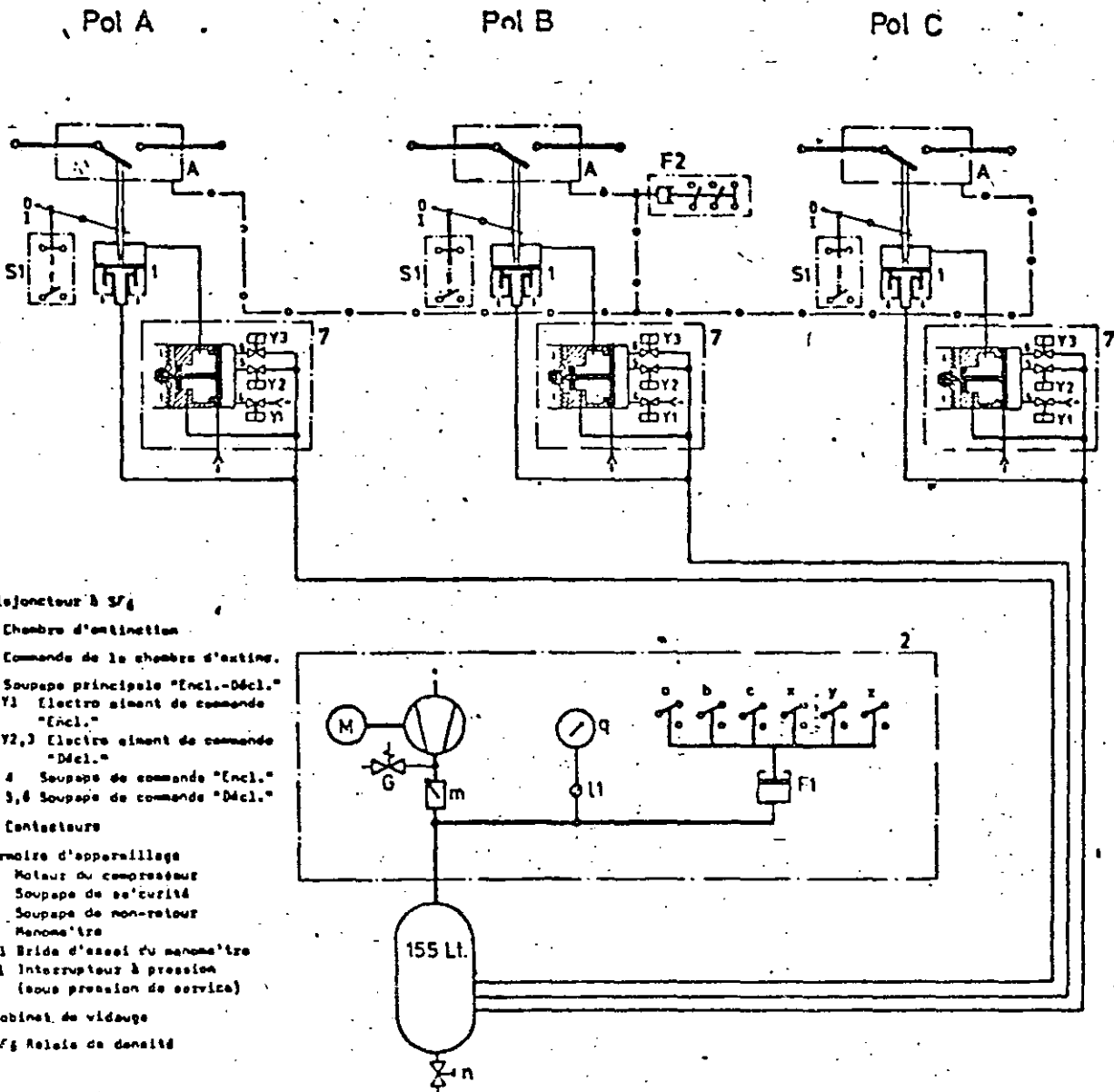
2,1 %

* después de tratamiento térmico



Pieza Porosa

FIG. 31 A

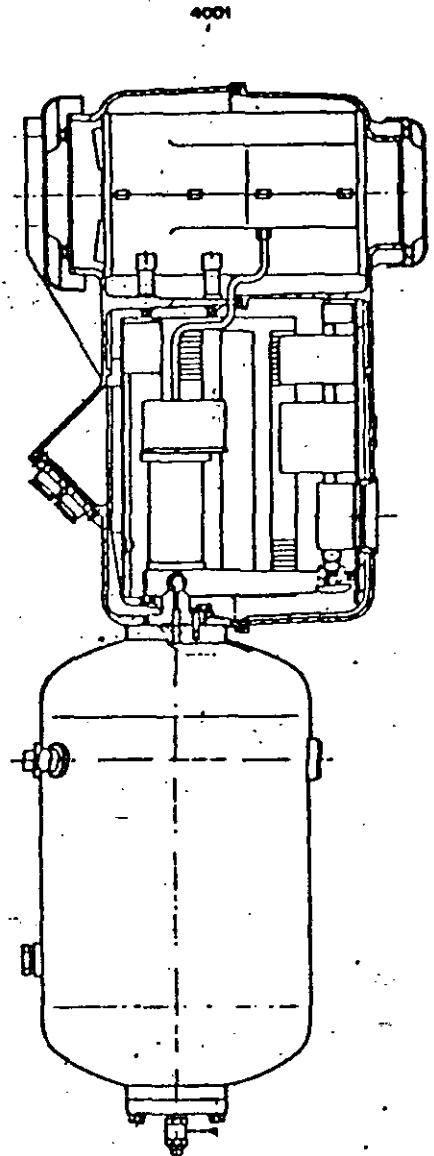
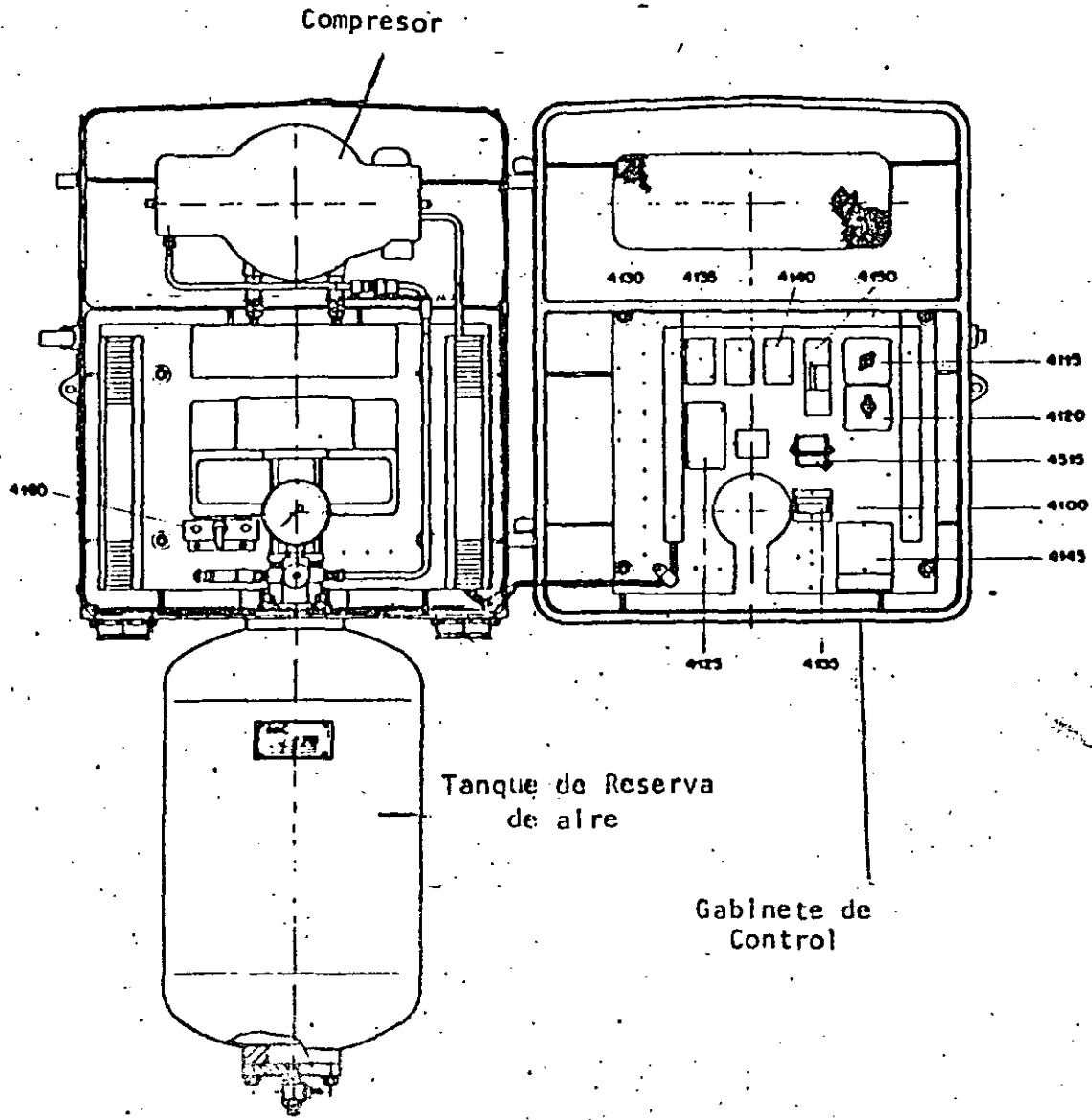


- A,B,C SF₆ Schalter
- A Löschkammer
 - 1 Löschkammerantrieb
 - 7 Hauptventil "EIN-AUS"
 - Y1 Steuermagnet EIN
 - Y2,3 Steuermagnet AUS
 - 4 Steuerventil EIN
 - 5,6 Steuerventil AUS
 - S1 Hilfschalter

- 2 Apparatschrank
- R Kompressormotor
 - G Sicherheitsventil
 - q Rückschlagventil
 - q Manometer
 - l1 Manometeröffnungsch
 - F1 Druckschalter (unter Betriebsdruck)
- n Entleerungshahn
- F2 SF₆ Dichtrelais

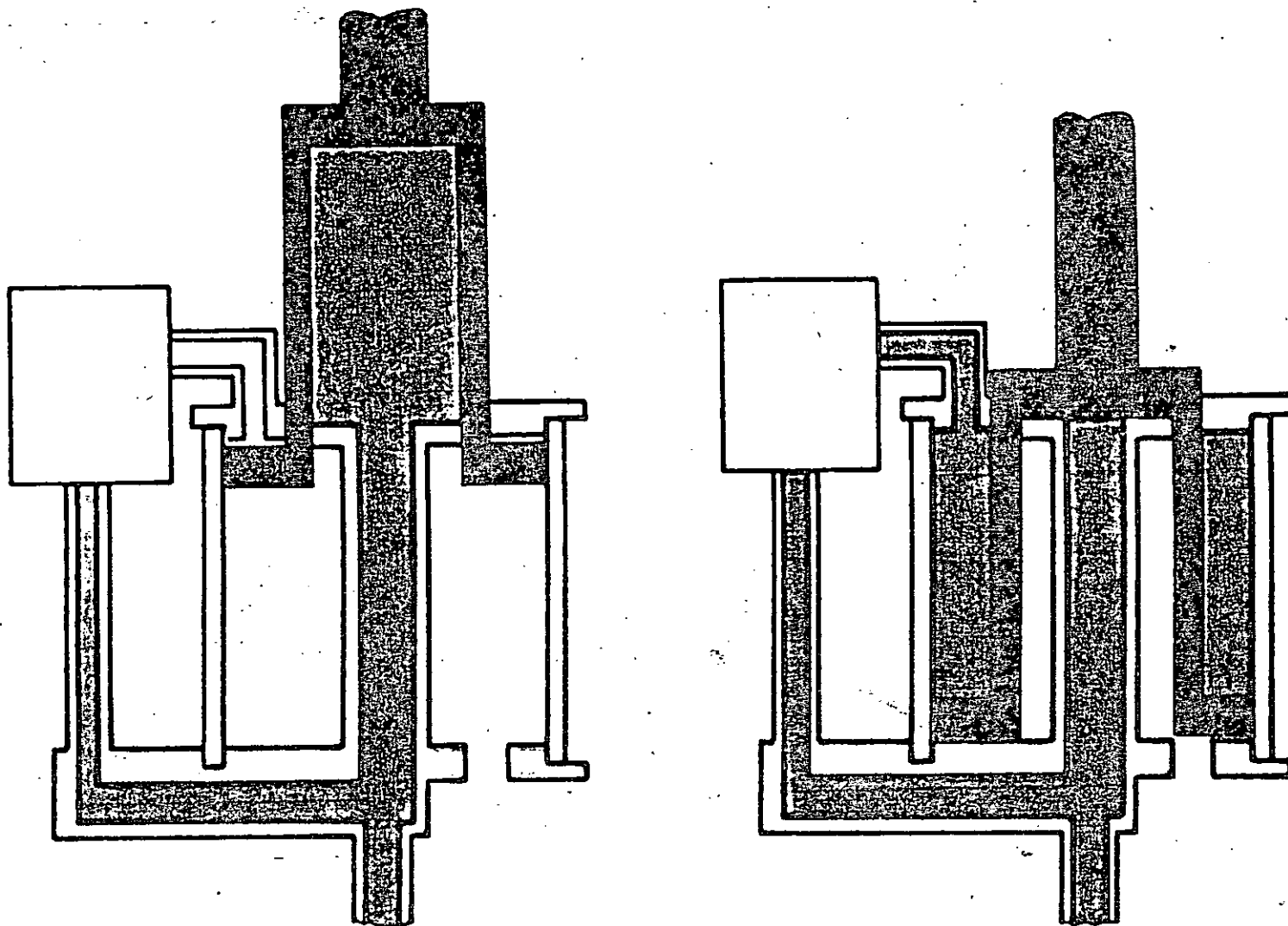
- A,B,C SF₆ circuit breaker
- A arcing chamber
 - 1 arcing chamber drive
 - 7 main valve "ON-OFF"
 - Y1 control magnet ON
 - Y2,3 control magnet OFF
 - 4 control valve ON
 - 5,6 control valve OFF
 - S1 auxiliary switch
- 2 Apparatus box
- R compressor
 - G safety valve
 - q check valve
 - q pressure gauge
 - l1 plug meter setting
 - F1 pressure switch
- n drain screw
- F2 SF₆ density relay

- A,B,C Disjoncteur à SF₆
- A Chambre d'extinction
- 1 Commande de la chambre d'extinc.
 - 7 Soupape principale "Encl.-Décl."
 - Y1 Electro aimant de commande "Encl."
 - Y2,3 Electro aimant de commande "Décl."
 - 4 Soupape de commande "Encl."
 - 5,6 Soupape de commande "Décl."
- S1 Contacteurs
- 2 Armoire d'appareillage
- R Moteur du compresseur
 - G Soupape de sécurité
 - q Soupape de non-retour
 - q Manomètre
 - l1 Bride d'essai du manomètre
 - F1 Interrupteur à pression (sous pression de service)
- n Robinet de vidange
- F2 SF₆ Relais de densité



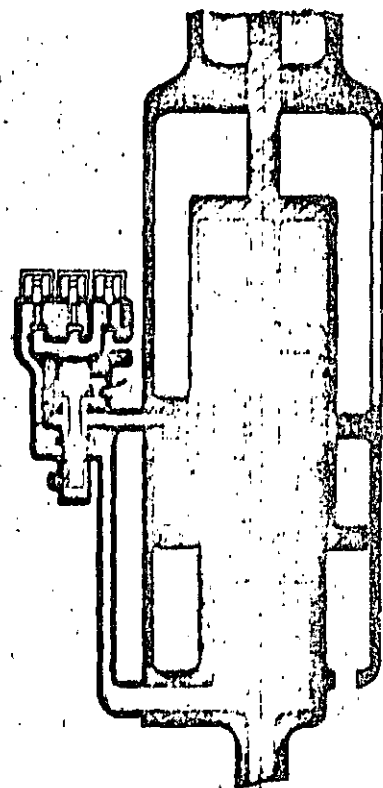
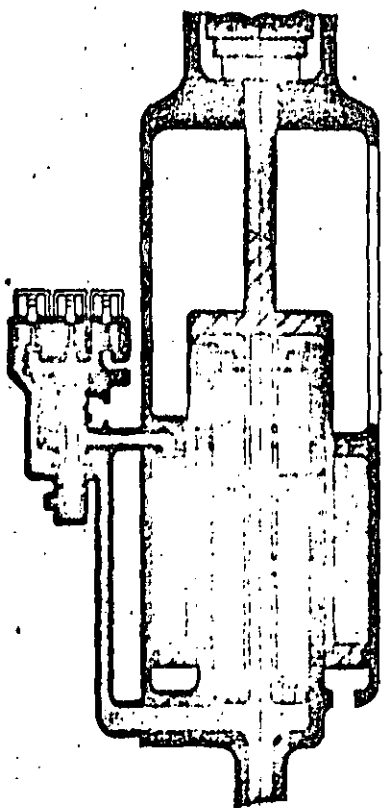
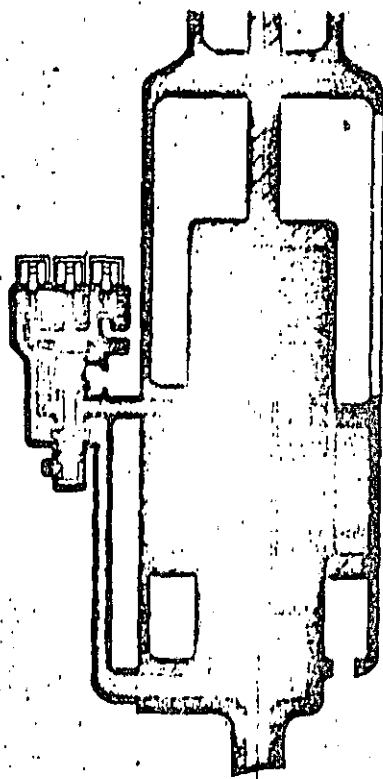
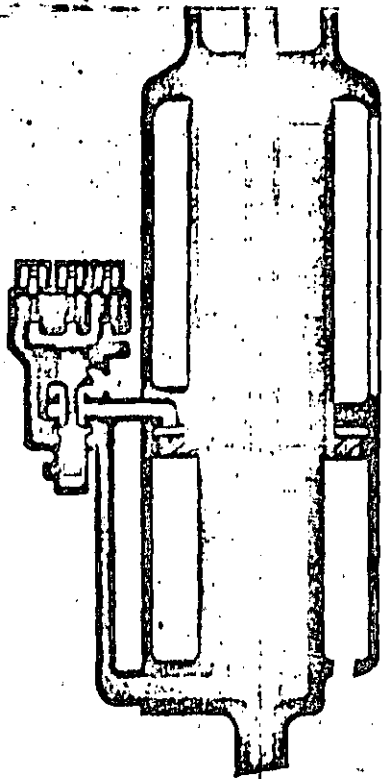
Operation principle of the differential piston

FIG. 34



on

off

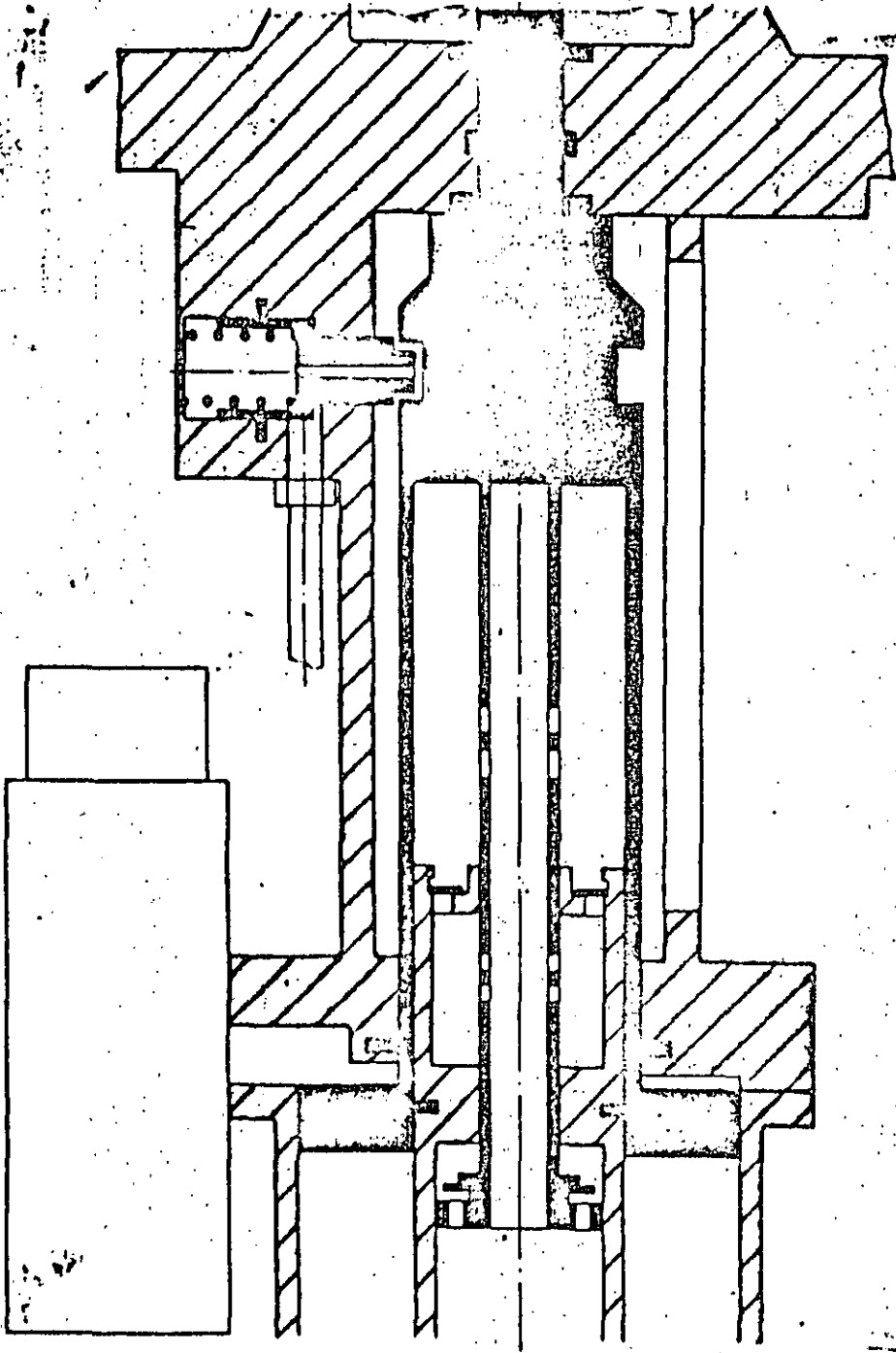


Pneumatic drive

FIG 35 A
BBC

ELF

HA 22 083
187 865C

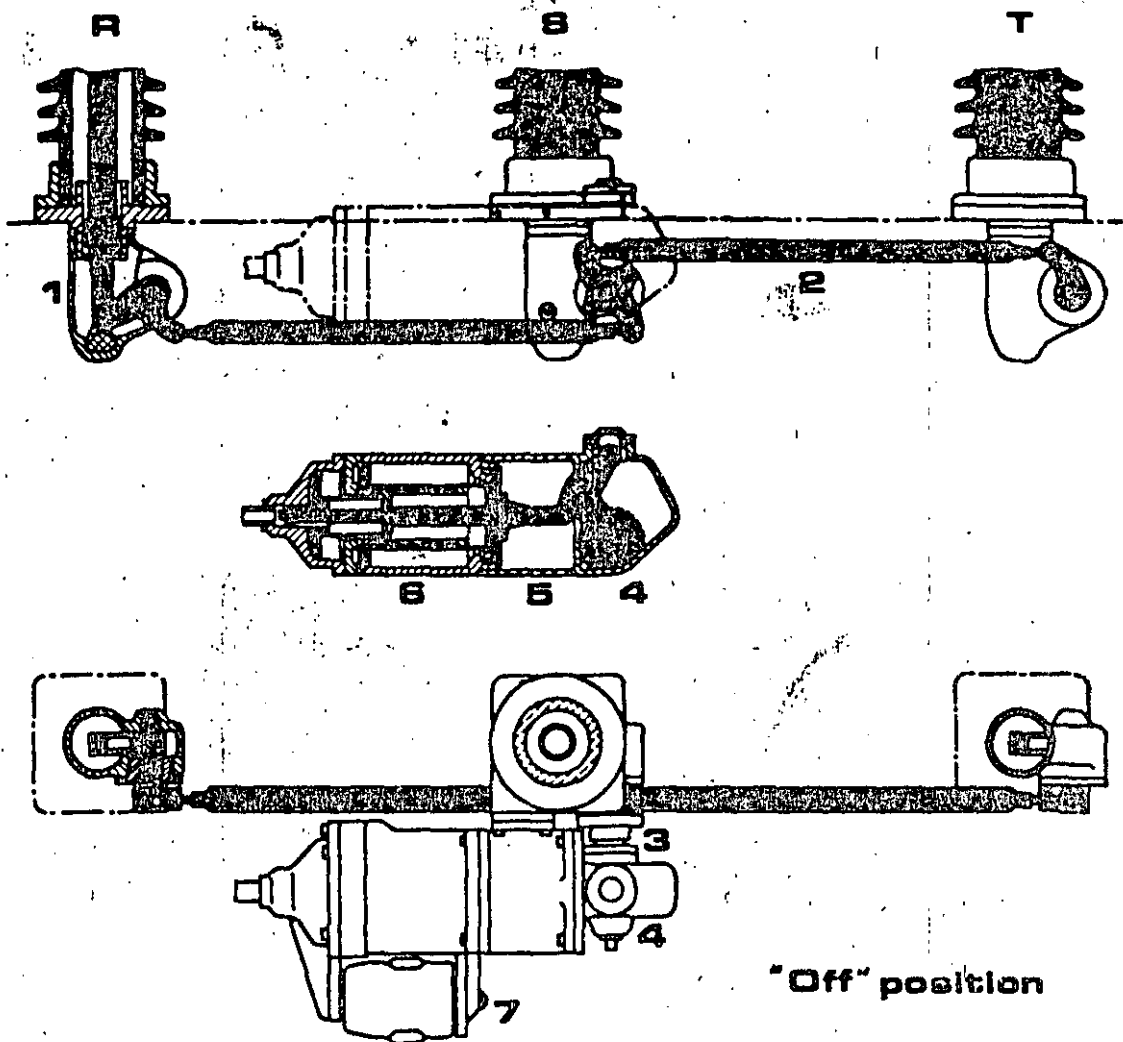


**LOCKING IN 'CLOSED' POSITION
AT REDUCED DRIVE PRESSURE**

FIG. 35 B
BBC

ELF

HA 22 078
187 860C



- 1 Pole base
- 2 Pole coupling rods
- 3 Coupling
- 4 Stroke/angle gear
- 5 Support housing
- 6 Differential piston drive
- 7 Control valve unit

3-Pole drive system

BBC
BROWN BOVERI

ELF

HA 22 059
487 304c

ELF Density Monitor

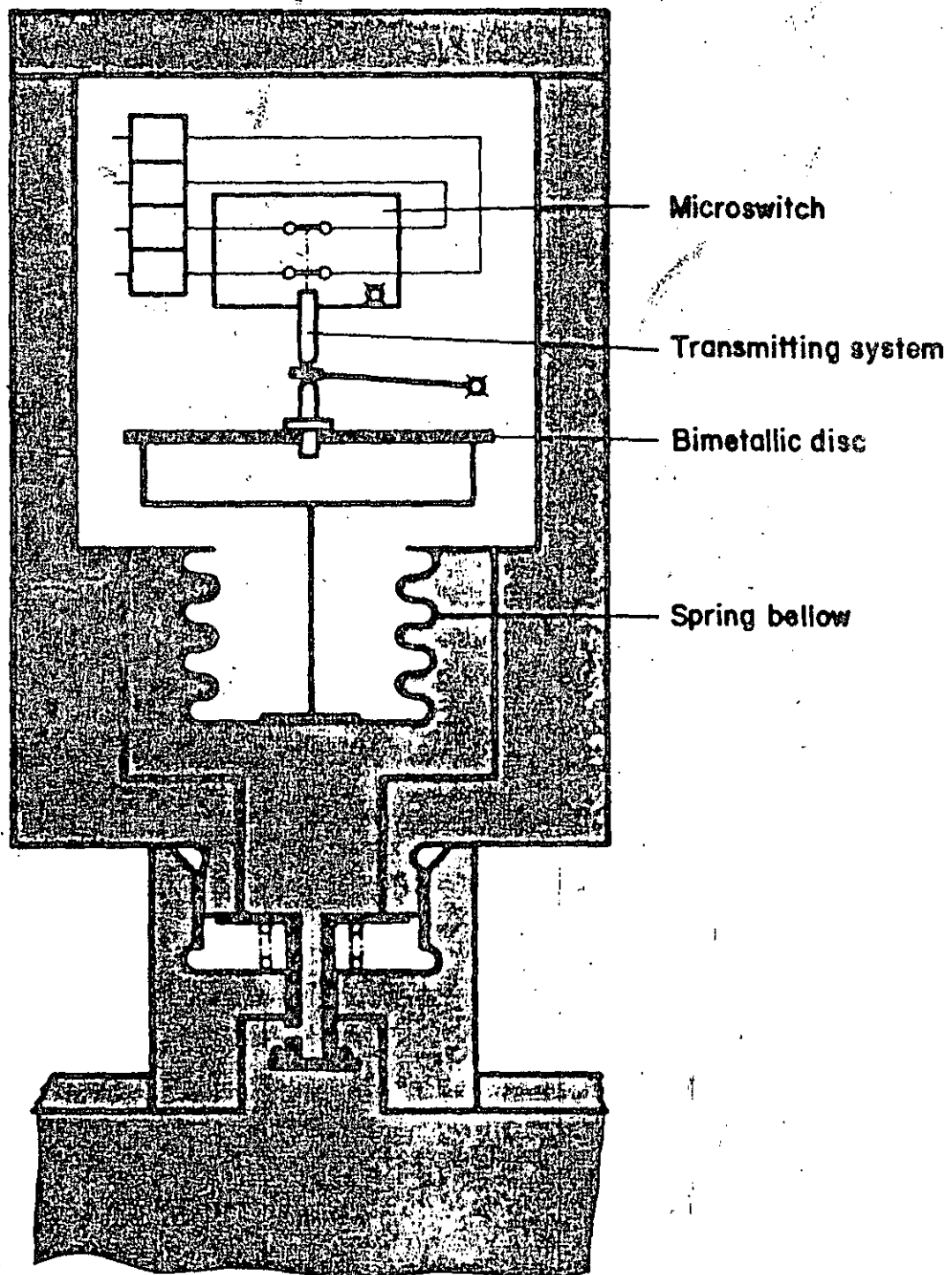
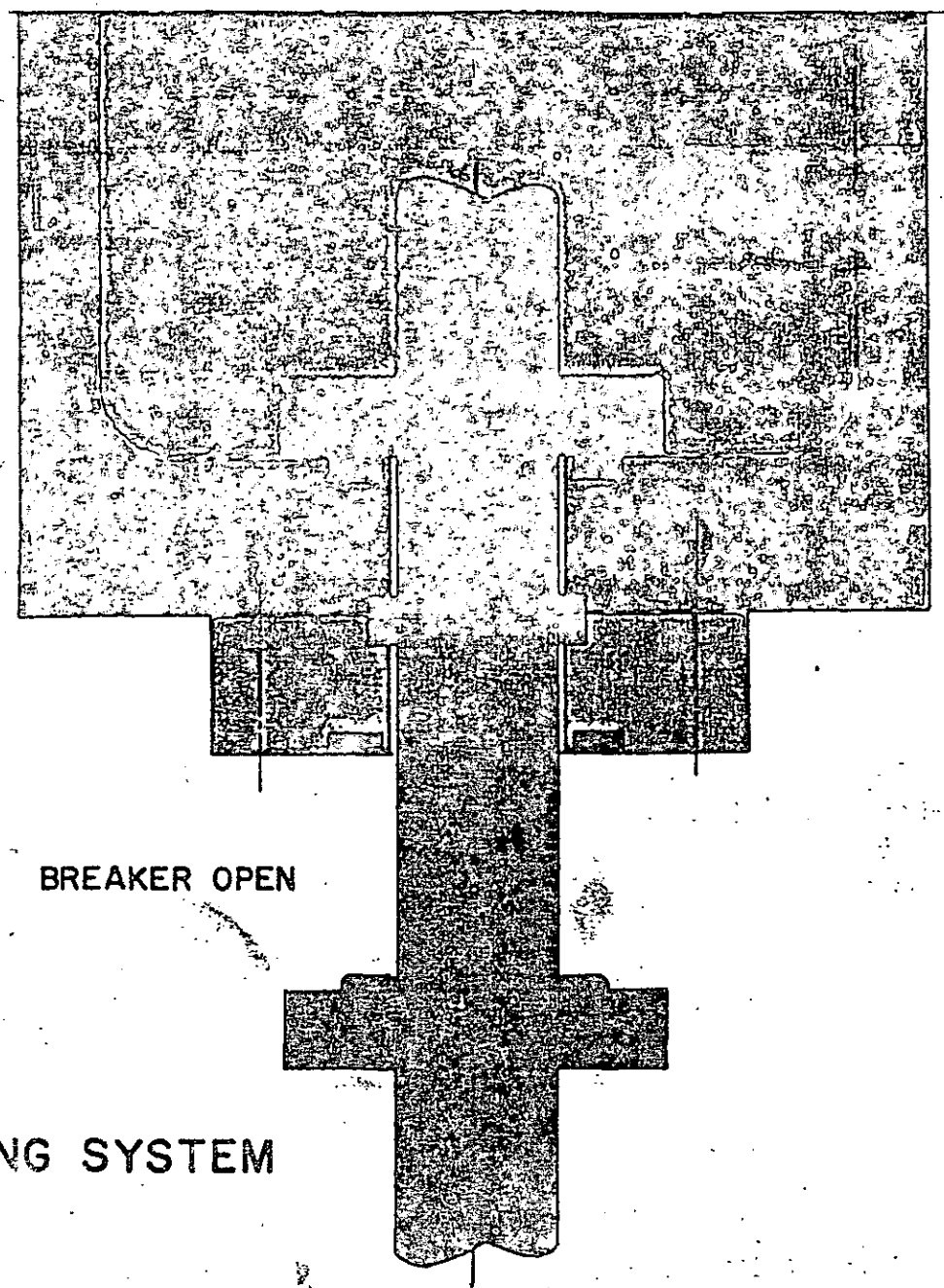
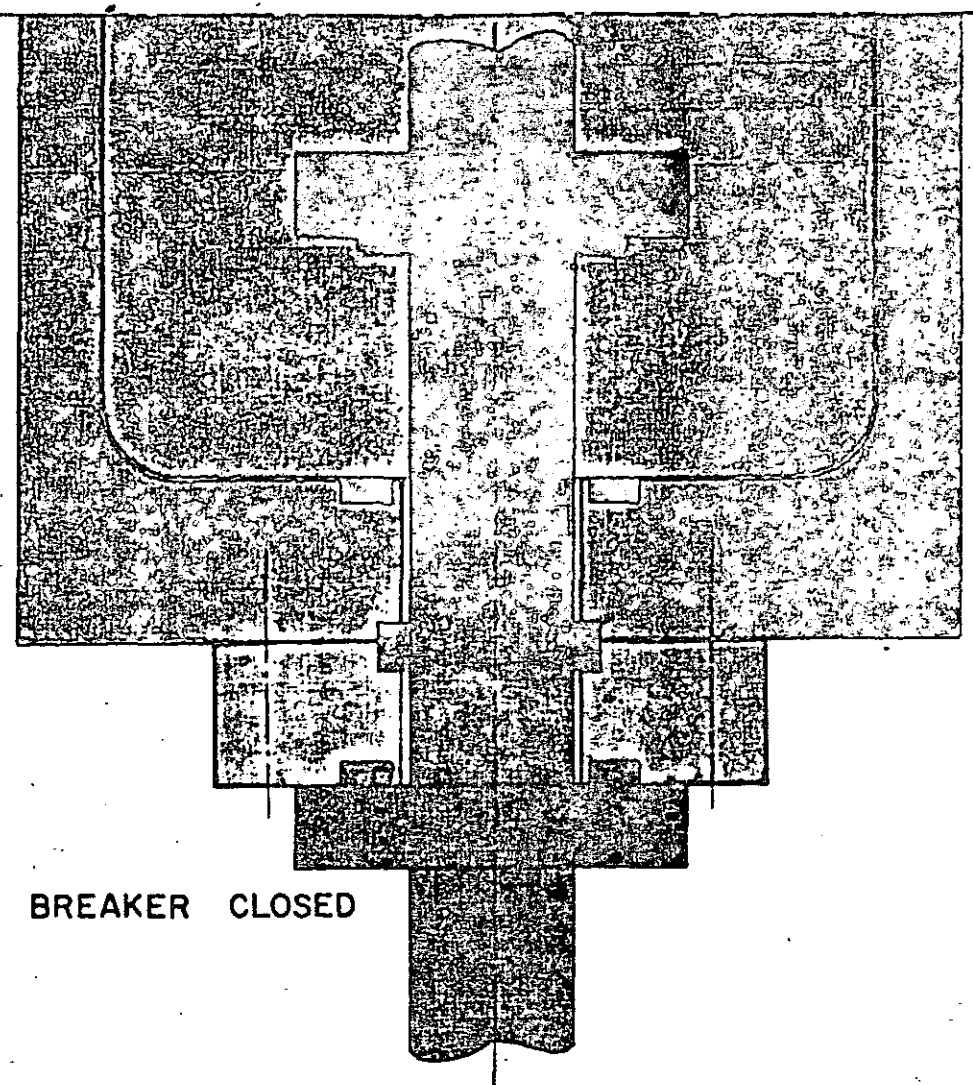


FIG. 37



BREAKER CLOSED

BREAKER OPEN

SF₆ - SEALING SYSTEM

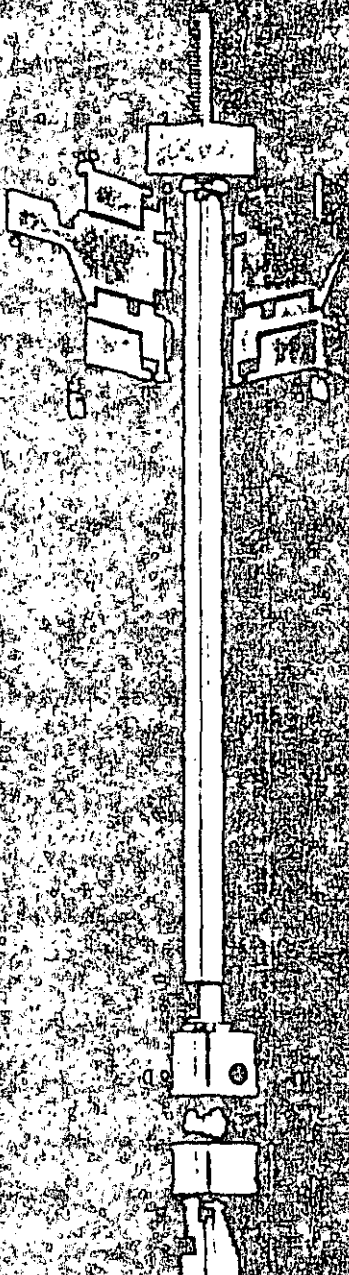
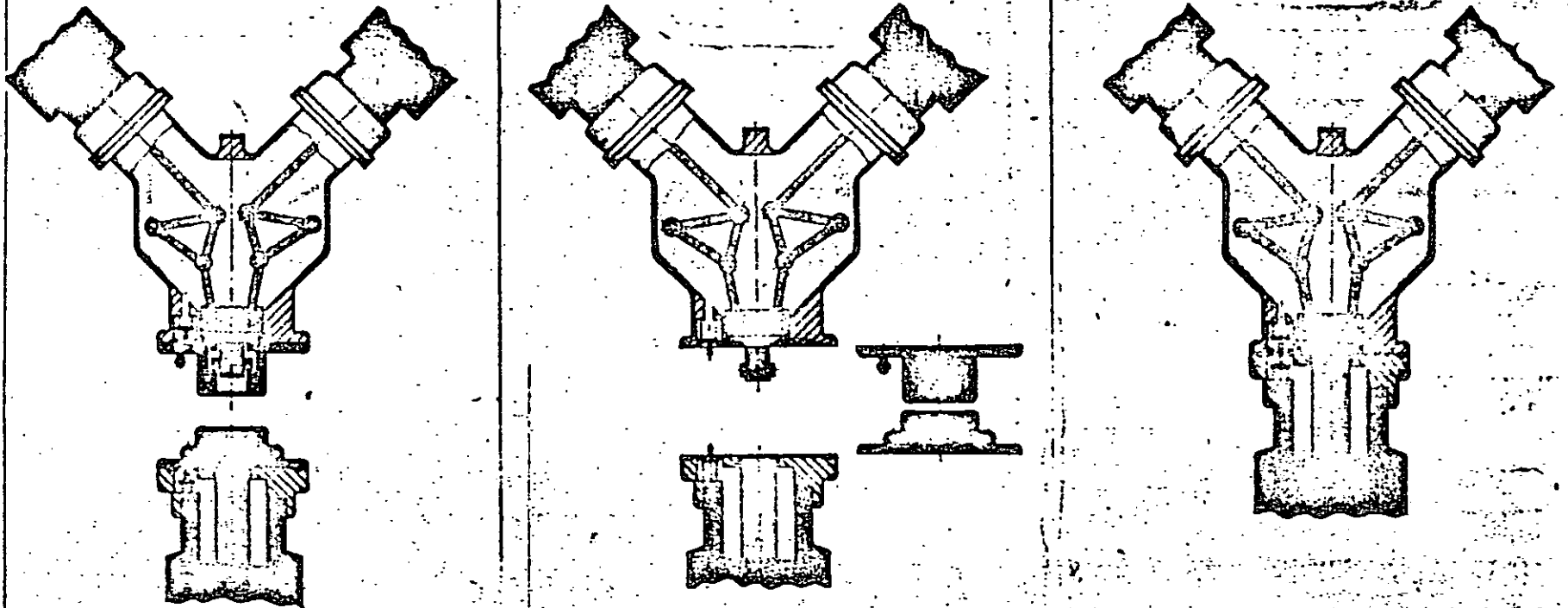


FIG. 42



Fitting of modular elements

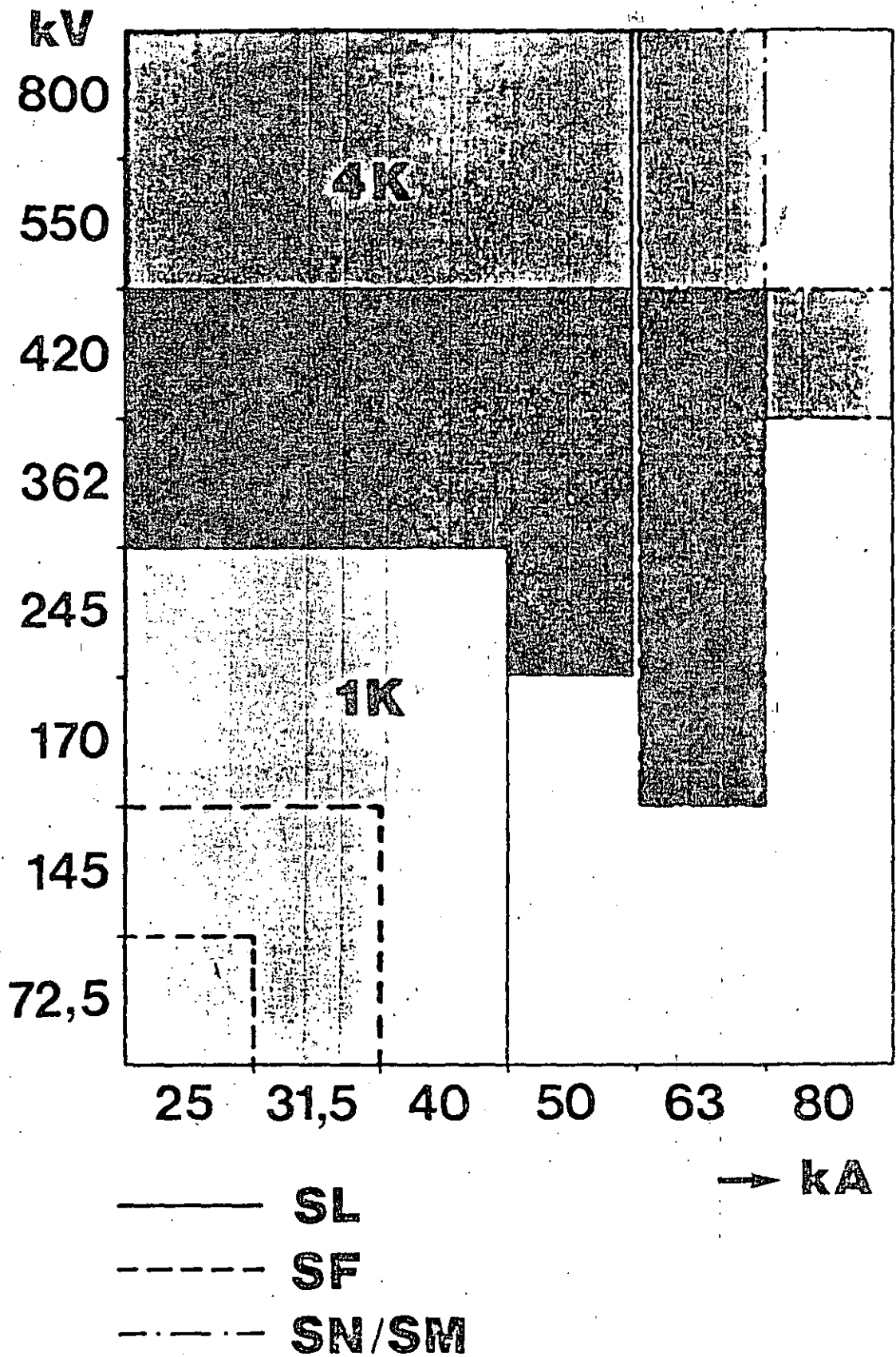
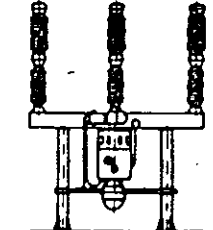
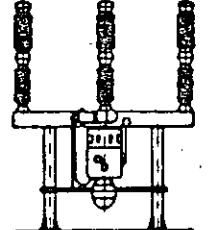
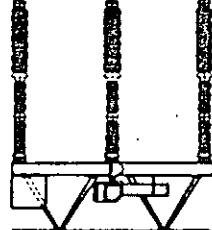
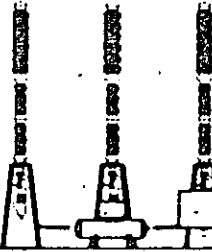
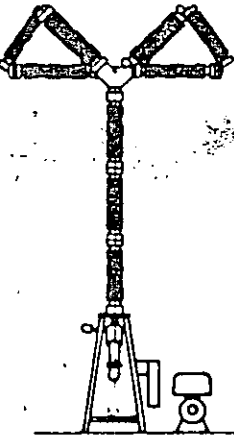
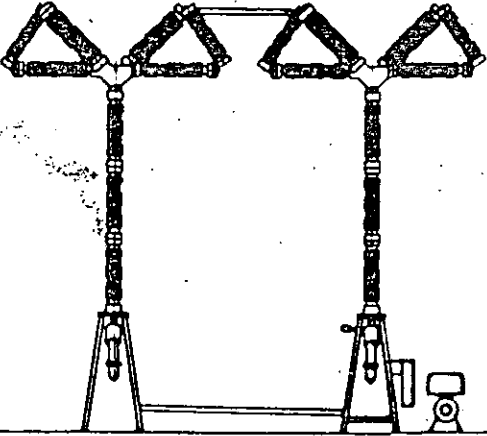


FIG. 43

SF₆ – Outdoor Breaker – ELF SF/SL

Types	ELF	SF 2-1	SL 3-1	ELF SL 2-1 3-1 4-1	SL 4-2 5-2 6-2	SL 7-4 8-4
Breaker arrangement						
Rated voltage kV		123-145	170	145-245	245-420	550-800
Insulation level kV		≅ 650	≅ 750	≅ 1050	≅ 1425	≅ 2100
Rated current A		3150	4000	4000	4000	2000...4000
Breaking current kA		31.5 (40)	31.5	40	40-50	40-50
Breaking time cycles		3.5	3.5	3-3.5	2/3	2/3
Drive		Pneum. 3-pol. Pneum. 1-pol.* (PKA)	Pneum. 3-pol.	Pn. 1-pol. (PKA) hydr. 3-pol. (HKA 12)	Pn. hydr.	Pn. hydr.

II DATOS TECNICOS PRINCIPALES PARA LOS INTERRUPTORES STANDARD*

DESCRIPCION	UNIDAD	T I P O S							
		72,5	SL2-1	SL-3	SL4-1	SL4-2	SL5-2	SL6-2	SL7-4
Tensión Nominal	KV	72,5	123/145	145/170	170/245	245	245	420	420
Tensión Sostenida 60 Hz, (60s Seco, 10s Humedo)	KV	230	230/275	275/325	325/460	460	460	630	630
Tensión de Impulso onda 1,2/50µs	KV	350	550/650	650/750	750/1050	1050	1050	1425	1425
Tensión de Impulso de maniobra onda 250/2500µs	KV	-	-	-	-	-	-	1050	1050
FRECUENCIA	HZ	60	60	60	60	60	60	60	60
Corriente Nominal	A	3150	3150	3150	3150	3150	3150	3150	3150
Capacidad Interruptiva	KA	31,5	31,5	31,5	31,5	40	40	40	40
Capacidad de cierre (Valor Cresta)	KA	80	80	80	80	100	100	100	100
Factor de Fase (IEC)		1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Duración del arco eléctrico máxima	ms	23	23	23	23	23	23	23	23
Tiempo propio de apertura	ms	25	25	25	25	25	25	25	25
Tiempo total de interrupción	ms	50	50	50	50	50	50	50	50
Tiempo de cierre	ms	125	125	125	125	125	125	125	125
Tiempo de recierre	ms	350	350	350	350	350	350	350	350
CICLO DE OPERACION IEC		A - 0,3 segundos - CA - 3 minutos CA							
Altura de operación sobre el nivel del mar	m	2400	2400/1200	2400/1400	2400/1200	1200	2400	1200	2400

* Los INTERRUPTORES CON DISTINTAS CARACTERISTICAS TECNICAS A LAS INDICADAS EN ESTA TABLA, FAVOR DE CONSULTAR CON RBMex.

INTERVALOS DE MANTENIMIENTO DE LOS INTERRUPTORES DE POTENCIA EN SF6
 =====

I.- CAMARA DE INTERRUPCION

Reemplazo de contactos:

	Después de 5000 operaciones a	3	kA
o	" " 2000	" 5	kA
o	" " 450	" 10	kA
o	" " 110	" 20	kA
o	" " 65	" 25	kA
o	" " 40	" 31,5	kA
o	" " 25	" 40	kA
o	" " 18	" 50	kA

II.- COMPRESOR

Revisión después de 2000 horas de trabajo efectivas; esto es para una relación de 10/20/40 litros/hora el periodo de servicio sin mantenimiento es:

20 años con 300 C-A por año
 10 años con 500 C-A por año
 5 años con 2000 C-A por año

III.- PERIODOS DE REVISION DEL INTERRUPTOR

Revisión de los sistemas de sellado (juntas) después de 5000 operaciones.

ING. GUIDO ROMERO E.

INGENIERO ELECTRICISTA EGRESADO DE LA ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA DEL INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL.

HA TRABAJADO COMO PROYECTISTA Y SUPERVISOR DE INSTALACIONES ELECTRICAS DE ALUMBRADO Y FUERZA EN LA COMPAÑIA CONSTRUCTORA ELECTRICA, S. A.

POSTERIORMENTE TRABAJO EN EL DEPARTAMENTO DE MERCADEO-INTERNACIONAL DE LA COMPAÑIA GENERAL ELECTRIC DE MEXICO, S.A. DENTRO DE LA GERENCIA DE VENTAS A EMPRESAS ELECTRICAS SECCION TRANSMISION Y DISTRIBUCION ELECTRICA.

ACTUALMENTE TRABAJA DENTRO DE LA GERENCIA DE VENTAS-DISTRIBUCION ELECTRICA SECCION VENTAS AL GOBIERNO Y EMPRESAS ELECTRICAS PRINCIPALMENTE PARA EQUIPOS DE ALTA TENSION COMO SON LAS SUB-ESTACIONES ENCAPSULADAS EN SF₆, INTERRUPTORES DE POTENCIA EN SF₆ Y APARTARRAYOS DE OXIDO METALICO.

VI. SUB-ESTACIONES ENCAPSULADAS EN GAS HEXAFLUORURO DE AZUFRE (SF₆)

GENERALIDADES

LA INTRODUCCIÓN DEL GAS HEXAFLUORURO DE AZUFRE (SF₆) COMO MEDIO AISLANTE Y MEDIO DE EXTINCIÓN DEL ARCO EN LA TECNOLOGÍA DE EQUIPOS EN ALTA TENSIÓN PERMITIERON LA UTILIZACIÓN A PARTIR DE LOS 60'S DE SUB-ESTACIONES BLINDADAS Y AISLADAS EN SF₆ PARA TENSIONES NOMINALES HASTA 245 KV.

LAS EXPERIENCIAS QUE SE FUERON GANANDO EN EL TRANSCURSO DEL TIEMPO EN ESTE RAMO, COMBINADAS CON CRECIENTES DEMANDAS DE ENERGÍA PERMITIERON EL DESARROLLO Y CONSTRUCCIÓN DE SUB-ESTACIONES DE ESTE TIPO PARA TENSIONES DE HASTA 800 KV (ANEXO 1).

TODO LOS ELEMENTOS DE QUE ESTÁ CONSTITUIDA LA SUB-ESTACIÓN (BUSHINGS SF₆/AIRE, BUSHINGS SF₆/ACEITE, CAJAS TERMINALES DE CABLES, CUCHILLAS SECCIONADORAS, CUCHILLAS DE PUESTA A TIERRA, TRANSFORMADORES DE POTENCIAL, TRANSFORMADORES DE CORRIENTE E INTERRUPTORES) CONSTITUYEN "MÓDULOS" INDEPENDIENTES, FÁCILMENTE CONECTABLES A TRAVÉS DE BRIDAS.

ESTE CONCEPTO DE MODULARIDAD PERMITE CONSTRUIR PRÁCTICAMENTE CUALQUIER ARREGLO DE SUB-ESTACIÓN (ANEXOS 2 Y 3) FACILITANDO ADEMÁS EL MONTAJE.

TODAS LAS PARTES VIVAS DE LA SUB-ESTACIÓN ESTÁN DISPUESTAS DENTRO DE UNA ENVOLVENTE METÁLICA LLENA DE SF₆, LO CUAL COMBINADO CON LA MODULARIDAD DE SUS COMPONENTES Y LA EJECUCIÓN COMPACTA DE ESTE TIPO DE EQUIPO BLINDADO (EL GAS SF₆ PRESENTA UNA RIGI-

DEZ DIELECTRICA DE 2.5 A 3 VECES SUPERIOR A LA DEL AIRE BAJO UNA MISMA PRESIÓN) NOS CONDUCE A SUS SIGUIENTES VENTAJAS CON RESPECTO A UNA INSTALACIÓN DEL TIPO CONVENCIONAL:

- APROXIMADAMENTE UN 94% DE AHORRO DE ESPACIO (ANEXO 4).
- 80% DE AHORRO EN TIEMPO DE MONTAJE CON SU CORRESPONDIENTE AHORRO EN COSTOS.
- INMUNE A LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA.
- REDUCIDO MANTENIMIENTO.
- SEGURIDAD PARA EL PERSONAL.
- ALTA CONFIABILIDAD.

REFERENTE A LA EJECUCIÓN DE ESTE TIPO DE EQUIPO NOTARÁN USTÉDES EN EL ANEXO 1 LA EXISTENCIA DE 2 TIPOS DE EJECUCIÓN FUNDAMENTALES, ES DECIR; POR UNA PARTE EL ENCAPSULAMIENTO MONOFÁSICO Y POR OTRA PARTE EL ENCAPSULAMIENTO TRIFÁSICO (ELK-0). BAJO ENCAPSULAMIENTO MONOFÁSICO SE ENTIENDE QUE CADA UNA DE LAS 3 FASES DE LA SUB-ESTACIÓN ESTÁN COLOCADAS DENTRO UNA ENVOLVENTE METÁLICA (FASES AISLADAS) MIENTRAS QUE EN EL CASO DEL ENCAPSULAMIENTO TRIFÁSICO SE ENTIENDE QUE LAS 3 FASES DE LA SUB-ESTACIÓN ESTÁN COLOCADAS DENTRO DE UNA ENVOLVENTE COMÚN.

POR LO GENERAL LA EJECUCIÓN CON ENCAPSULAMIENTO COMÚN PARA LAS 3 FASES SE UTILIZA EN EQUIPOS PARA TENSIONES HASTA 145 KV, MIENTRAS QUE PARA TENSIONES MAYORES SE UTILIZA LA EJECUCIÓN CON ENCAPSULAMIENTO MONOFÁSICO.

LA RAZÓN POR LA CUAL EL EQUIPO CON ENVOLVENTE TRIFÁSICA SE UTI

LIZA PARA TENSIONES HASTA 145 KV SE BASA FUNDAMENTALMENTE EN LA RIGIDEZ DIELECTRICA DEL GAS SF₆, ES DECIR EN EL AISLAMIENTO ENTRE LAS 3 FASES Y POR LO TANTO EN LA DISTANCIA QUE SE TENDRIA QUE DEJAR ENTRE LAS MISMAS, LO CUAL POR DISEÑO DARIA UN EQUIPO RELATIVAMENTE VOLUMINOSO Y POR ENDE MÁS COSTOSO QUE EL EQUIPO CON ENVOLVENTE MONOFÁSICA PARA TENSIONES MAYORES A LA ARRIBA CITADA.

EL ANEXO 5 INDICA ALGUNAS DE LAS VENTAJAS QUE PRESENTA EL EQUIPO CON ENVOLVENTE TRIFÁSICA CON RESPECTO AL EQUIPO CON ENVOLVENTE MONOFÁSICA.

ANALICEMOS LOS DIFERENTES COMPONENTES DE UNA SUB-ESTACIÓN BLINDADA Y AISLADA EN SF₆ (VER ANEXO 6A Y 6B).

1) ENVOLVENTES

LOS MATERIALES UTILIZADOS PARA LAS ENVOLVENTES METÁLICAS DE LAS SUB-ESTACIONES EN SF₆ PUEDEN SER DE ACERO O BIEN DE UNA ALEACIÓN LIGERA DE ALUMINIO. EN SÍ, LA ALEACIÓN LIGERA DE ALUMINIO ES LA TÉCNICA MÁS UTILIZADA POR LOS FABRICANTES DE ESTE EQUIPO POR LAS VENTAJAS TÉCNICAS QUE PRESENTA ÉSTA ÚLTIMA CON RESPECTO AL ACERO, SEGÚN EL ANEXO 7.

2) AISLAMIENTO Y HERMETISMO

EL AISLAMIENTO ENTRE PARTES VIVAS Y LA ENVOLVENTE METÁLICA SE LOGRA GRACIAS A LA UTILIZACIÓN DEL GAS SF₆ A UNA PRESIÓN ABSOLUTA DE 3.5 A 4.5 BARS, EXCEPTO EN LOS INTERRUPTORES (6 A 7 BARS) EN DONDE EL GAS SE UTILIZA NO SOLAMENTE COMO MEDIO AISLANTE, SINO TAMBIÉN COMO MEDIO DE EXTINCIÓN DEL ARCO.

LA ENVOLVENTE METÁLICA CON UN MÍNIMO DE PUNTOS DE SOLDADURA, ASÍ COMO EL SISTEMA DE HERMETISMO A BASE DE ANILLOS DE SELLO RESISTENTES AL ENVEJECIMIENTO ASEGURAN UN ALTO GRADO DE HERMETISMO DURANTE LARGOS AÑOS DE SERVICIO. EN SÍ SE GARANTIZA UNA PÉRDIDA ANUAL DE GAS MENOR O IGUAL A 1% DEL PESO TOTAL DE GAS DISPONIBLE EN LA SUB-ESTACIÓN.

3) AISLADORES

AISLADORES EN MATERIA SINTÉTICA SON UTILIZADOS POR UNA PARTE PARA SOPORTAR LOS CONDUCTORES Y ELEMENTOS DENTRO DEL ENCAPSULAMIENTO Y POR OTRA PARTE PARA SEPARAR LOS COMPARTIMIENTOS DE GAS. LO ESENCIAL DE ESTA TECNOLOGÍA SE BASA EN UN MATERIAL A BASE DE UNA RESINA SINTÉTICA CON ÓXIDO DE ALUMINIO, LA CUAL ES RESISTENTE A LA CORROSIÓN Y AL ENVEJECIMIENTO Y A ESFUERZOS MECÁNICOS (ESFUERZOS ELECTRODINÁMICOS IMPORTANTES EN CASO DE CORTO CIRCUITO PRINCIPALMENTE PARA EL EQUIPO CON ENVOLVENTE TRIFÁSICA).

4) SISTEMA DE BARRAS

EL SISTEMA DE BARRAS SE COMPONE BÁSICAMENTE DE MÓDULOS FORMADOS POR BARRAS CONDUCTORAS DE COBRE O BIEN ALUMINIO (SEGÚN INTENSIDAD NOMINAL).

LOS TRAMOS DE BARRAS SE UNEN LOS UNOS A LOS OTROS A TRAVÉS DE CONTACTOS DE TIPO TULIPÁN. LA DILATACIÓN TÉRMICA DE LOS CONDUCTORES ES ABSORBIDA POR LOS CONTACTOS TULIPANES EN TAL FORMA QUE LAS PARTES ACTIVAS Y LOS AISLADORES SOPORTES Y DE BARRERA NO ESTÁN SUJETOS A ESFUERZOS MECÁNICOS RESULTANTES DE LA DIFERENCIA DE TEMPERATURA ENTRE EL CONDUCTOR Y LA ENVOLVENTE.

PARA COMPENSAR LAS DILATACIONES TÉRMICAS DE LA ENVOLVENTE (SOBRE TODO BARRAS MONOFÁSICAS) Y TAMBIÉN CIERTAS TOLERANCIAS DE MONTAJE, LAS INSTALACIONES MAYORES VIENEN EQUIPADAS CON FUELLES METÁLICOS DE COMPENSACIÓN.

LOS MÓDULOS DE EQUIPO ADYACENTES AL JUEGO DE BARRAS ESTÁN SEGREGADOS DEL PUNTO DE VISTA DE GAS DEL SISTEMA DE BARRAS A TRAVÉS DE UN AISLADOR SOPORTE HERMÉTICO O DE BARRERA ASEGURANDO DE ESTA MANERA LA INTEGRIDAD DEL SISTEMA DE BARRAS. LO ANTERIOR EVITA QUE PARTÍCULAS METÁLICAS QUE PUDIESEN DESPRENDERSE POR EJEMPLO DE LOS CONTACTOS DE UNAS CUCHILLAS SECCIONADORAS SE INTRODUZCAN EN EL SISTEMA DE BARRAS.

5) CUCHILLAS SECCIONADORAS

LOS CONTACTOS DE LAS CUCHILLAS SECCIONADORAS TIENEN UN MOVIMIENTO CONCÉNTRICO DENTRO DE LA CARCASA SIENDO ACCIONADO POR MEDIO DE UNA CREMALLERA. LOS SECCIONADORES PUEDEN SER ACOPLADOS A CUALQUIERA DE LOS MÓDULOS DE LA SUB-ESTACIÓN EN POSICIÓN HORIZONTAL O VERTICAL.

LAS CUCHILLAS SECCIONADORAS CUENTAN CON UN MECANISMO MOTORIZADO DE OPERACIÓN PARA EFECTUAR LA MANIOBRA SINCRONIZADA DE LOS 3 POLOS.

EL MANDO DE LAS CUCHILLAS SECCIONADORAS SE PUEDE EFECTUAR DESDE EL TABLERO DE CONTROL O EN FORMA MANUAL EN CASO DE EMERGENCIA POR MEDIO DE UN MECANISMO ACCIONADO MANUALMENTE.

LAS CUCHILLAS ESTÁN EQUIPADAS CON UN INDICADOR DE POSICIÓN Y CON CONTACTOS AUXILIARES NA Y NC PARA SEÑALIZACIÓN REMOTA Y REALIZACIÓN DE LOS BLOQUEOS NECESARIOS.

POR RAZONES DE SEGURIDAD POR UNA PARTE LA POSICIÓN "ABIERTO" NO SE SEÑALIZA HASTA QUE LOS CONTACTOS TENGAN LA SEPARACIÓN SUFICIENTE PARA GARANTIZAR EL PLENO NIVEL DE AISLAMIENTO Y POR OTRA PARTE LA POSICIÓN "CERRADO" NO DEBE SEÑALIZARSE ANTES DE QUE LOS CONTACTOS HAYAN ALCANZADO UNA POSICIÓN TAL QUE LA CORRIENTE NOMINAL Y LA CORRIENTE DE CORTO TIEMPO PUEDAN SOPORTARSE CON PLENA SEGURIDAD. SE PUEDE CONTAR TAMBIÉN CON CUCHILLAS SECCIONADORAS DE OPERACIÓN -- CON CARGA, LAS CUALES ESTÁN DISEÑADAS PARA PODER ABRIR LA CORRIENTE NOMINAL EN EL CIRCUITO Y POR ENDE ESTÁN EQUIPADAS CON UN DISPOSITIVO PARA EXTINCIÓN DEL ARCO ELÉCTRICO -- SIMILAR QUE EL QUE EQUIPA EL DE LOS INTERRUPTORES DE POTENCIA.

6) INTERRUPTORES DE POTENCIA

EL INTERRUPTOR DE POTENCIA QUE SE UTILIZA EN LAS SUB-ESTACIONES EN SF₆ TIENEN EL MISMO DISEÑO (CÁMARA DE ARQUEO) QUE LOS INTERRUPTORES EN SF₆ TIPO ELF PARA SUB-ESTACIONES DE TIPO ABIERTO QUE FUERON EXPUESTOS A USTEDES ANTERIORMENTE. ES DECIR QUE LO QUE VIENE A SER EL CORAZÓN DEL INTERRUPTOR O SEA LA CÁMARA DE INTERRUPCIÓN TRABAJA SEGÚN EL PRINCIPIO DEL PISTÓN DE SOPLADO, EN LA CUAL EL CAUDAL DE GAS SF₆ NECESARIO PARA EL SOPLADO DEL ARCO SE GENERA POR MEDIO DE UN PISTÓN ACOPLADO MECÁNICAMENTE AL CONTACTO MÓVIL DE LA CÁMARA. DE UTILIZARSE VARIAS CÁMARAS POR POLO SE ASEGURA LA DISTRIBUCIÓN UNIFORME DE LA TENSIÓN POR MEDIO DE CONDENSADORES.

PARA UTILIZACIONES ESPECIALES EN DONDE ES NECESARIO EVITAR SOBRETENSIONES IMPORTANTES, LOS INTERRUPTORES PODRÁN SER EQUIPADOS CON RESISTENCIAS DE PREINSERCIÓN.

7) CUCHILLAS DE PUESTA A TIERRA

LOS MÓDULOS DE LAS CUCHILLAS DE PUESTA A TIERRA SON ELEMENTOS DE SUMA IMPORTANCIA EN UNA SUB-ESTACIÓN ENCAPSULADA EN SF₆ DEBIDO A LA NO ACCESIBILIDAD DE LAS PARTES VIVAS Y CUMPLEN CON LA MUY IMPORTANTE FUNCIÓN DE SEGURIDAD DEL PERSONAL EN CASO DE MANTENIMIENTO.

EN SÍ, LAS CUCHILLAS DE PUESTA A TIERRA SE DISEÑAN PARA EL EQUIPO ENCAPSULADO EN SF₆ BAJO 2 VARIANTES QUE SON:

- CUCHILLAS DE PUESTA A TIERRA DE OPERACIÓN MANUAL QUE TIENEN BÁSICAMENTE LA MISMA FUNCIÓN QUE LAS YA CONOCIDAS CUCHILLAS DE ESTE TIPO EN SUB-ESTACIONES DE TIPO CONVENCIONAL, ES DECIR PONER A TIERRA UNA PARTE DE LA SUB-ESTACIÓN QUE ESTÉ BAJO MANTENIMIENTO Y DE ALLÍ QUE SE COMBINEN GENERALMENTE CON CUCHILLAS SECCIONADORAS.
- CUCHILLAS DE PUESTA A TIERRA DE OPERACIÓN RÁPIDA (CON PLENO PODER DE CONEXIÓN) MOTORIZADAS (ENERGÍA ALMACENADA) LAS CUALES ESTÁN DISEÑADAS PARA TENER UNA CAPACIDAD DE CONEXIÓN SUFICIENTE PARA PODER CERRAR SOBRE UNA LÍNEA VIVA SIN SUFRIR DAÑOS. ESTAS CUCHILLAS SE UBICAN POR UNA PARTE EN LA ENTRADA DE LÍNEAS Y/O CABLES DONDE NO ES POSIBLE TENER UN ENCLAVAMIENTO CON LOS INTERRUPTORES DEL OTRO EXTREMO DE LA LÍNEA Y POR OTRA PARTE EN LA CONEXIÓN A TRANSFORMADORES DE POTENCIA.

EL OBJETO DE ESTE TIPO DE CUCHILLAS ES EL DE SERVIR COMO ELEMENTO DE PROTECCIÓN RÁPIDA.

DEBIDO A LA NO ACCESIBILIDAD DE LOS CONDUCTORES, POR LO GENERAL LAS CUCHILLAS DE PUESTA A TIERRA SE PUEDEN AISLAR DE LA ENVOLVENTE METÁLICA, LO CUAL FACILITA LA ELABORACIÓN DE PRUEBAS TALES COMO; VERIFICACIÓN DE RELACIÓN DE TRANSFORMADORES DE CORRIENTE (INYECCIÓN DE CORRIENTE), RESISTENCIA DE CONTACTOS (MEDICIÓN DE LA CAÍDA DE TENSIÓN), TIEMPO DE APERTURA DE INTERRUPTORES, ETC. SIN TENER QUE ABRIR COM PARTIMIENTOS DE LA SUB-ESTACIÓN. EN CONDICIÓN NORMAL DE SERVICIO EL AISLAMIENTO DE LAS CUCHILLAS DE PUESTA A TIERRA QUEDA ELIMINADO MEDIANTE UN DISPOSITIVO DE PUENTE DE LA PLACA AISLANTE DISPUESTA ENTRE EL MÓDULO DE LA CUCHILLA Y LA ENVOLVENTE DE LA SUB-ESTACIÓN.

8) TRANSFORMADORES DE CORRIENTE

SE UTILIZAN TRANSFORMADORES DE CORRIENTE TOROIDALES MONTADOS SOBRE UN TUBO DE ALUMINIO QUE A SU VEZ SIRVE DE BLINDAJE HACIA EL ÁREA DE ALTA TENSIÓN. SE CUENTA CON MUY DIVERSA CANTIDAD DE TAMAÑOS DE CARCASAS LAS CUALES PERMITEN CUMPLIR CON TODOS LOS DESEOS DE LOS USUARIOS CON RESPECTO A CANTIDAD DE NÚCLEOS, CLASE Y PRECISIÓN DE LOS TRANSFORMADORES DE CORRIENTE. ES DE DESTACAR, SIN EMBARGO, QUE EXISTEN CIERTAS LIMITACIONES CUANDO SE TRATA DE RELACIONES DE TRANSFORMACIÓN PEQUEÑAS ASOCIADAS CON UNA ALTA PRECISIÓN Y CLASE DE LOS NÚCLEOS.

EN EL CASO DE SALIDAS CON CABLES SE HAN UTILIZADO TAMBIÉN TRANSFORMADORES TOROIDALES ESPECIALES PARA LOS CABLES.

9) TRANSFORMADORES DE TENSIÓN

EL PROGRAMA CONTEMPLA TANTO TRANSFORMADORES DE TENSIÓN CAPA

CITIVOS COMO INDUCTIVOS (SEGÚN NIVELES DE TENSIÓN) AMBOS AISLADOS EN GAS SF₆. ESTOS TRANSFORMADORES SE ENCUENTRAN EN UNA CARCASA LA CUAL POR MEDIO DE BRIDAS SE PUEDE CONECTAR DIRECTAMENTE A LA INSTALACIÓN. TODAS LAS EXIGENCIAS USUALES CON RESPECTO A CLASE Y PRECISIÓN PUEDEN SER CUMPLIDAS.

10) BUSHINGS SF₆/AIRE

CON EL FIN DE PODER CONECTAR UNA ACOMETIDA AÉREA AL EQUIPO EN SF₆ O BIEN, ÉSTE MISMO A UN TRANSFORMADOR DE POTENCIA EQUIPADO CON BUSHINGS A.T. CONVENCIONALES (AIRE/ACEITE) SE UTILIZA EN ESTE CASO LOS BUSHINGS SF₆/AIRE, LOS CUALES ESTÁN EQUIPADOS CON UNA PORCELANA DEL TIPO CONVENCIONAL, LA CUAL ASÉGURA EL AISLAMIENTO EXTERNO ENTRE FASE Y TIERRA -- MIENTRAS QUE EL AISLAMIENTO INTERNO ES ASEGURADO POR EL GAS SF₆.

11) UNIDAD TERMINAL DE CABLE

OTRA POSIBILIDAD DE CONECTAR EL EQUIPO BLINDADO EN SF₆ A OTRO ELEMENTO DE UN SISTEMA ELÉCTRICO ES MEDIANTE EL USO DE CABLES AISLADOS EN ALTA TENSIÓN. EN ESTE CASO SE CUENTA CON MÓDULOS DE UNIDAD TERMINAL DE CABLES, LOS CUALES PUEDEN RECIBIR TODO TIPO DE CABLES A.T. CON EL FIN DE REALIZAR PRUEBAS A LOS CABLES, LOS ANTES MENCIONADOS MÓDULOS PREVEEN UNA BRIDA CON UNA TAPA DE MONTAJE Y UN PUENTE DE DESCONEXIÓN DE LOS CONDUCTORES DE LA SUB-ESTACIÓN EN SF₆ PARA ASÍ AISLARLA MIENTRAS SE REALIZA UNA PRUEBA DE ALTA TENSIÓN A LOS CABLES.

12) BUSHINGS SF₆/ACEITE

REALIZAR LA CONEXIÓN DIRECTA ENTRE LA SUB-ESTACIÓN EN SF₆ Y TRANSFORMADORES DE POTENCIA.

CON ESTE TIPO DE CONEXIÓN DIRECTA ES NECESARIO UTILIZAR UN FUELLE ELÁSTICO CON EL FIN DE NO TRANSMITIR LAS VIBRACIONES DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA AL EQUIPO ENCAPSULADO.

13) MÓDULOS SUPLEMENTARIOS

TODO TIPO DE MÓDULOS ESTÁN DISPONIBLES CON EL FIN DE DAR A LA SUB-ESTACIÓN EL ARREGLO FÍSICO, EL MÁS COMPACTO Y DE ACUERDO A LAS NECESIDADES QUE SE REQUIERAN PARA SU INSTALACIÓN Y MONTAJE.

LOS MÓDULOS MÁS USUALES SON PIEZAS EN T, CODOS A 60°, 90°, ETC.

TODOS ESTOS MÓDULOS TIENEN LA MISMA IMPORTANCIA QUE EL RESTO DE LOS COMPONENTES DE LA INSTALACIÓN Y SE CONECTAN MEDIANTE BRIDAS Y CONTACTOS TULIPÁN.

14) SISTEMA DE GAS (VER ANEXO 8)

CONSIDERANDO EL DOBLE USO QUE SE LE DA AL GAS HEXAFLUORURO DE AZUFRE (SF₆) EN ESTE TIPO DE INSTALACIONES, ES DECIR COMO MEDIO DE EXTINCIÓN DEL ARCO Y MEDIO AISLANTE, CONSIDERAMOS CONVENIENTE EL DIFERENCIAR POR UNA PARTE EL INTERRUPTOR, EL CUAL SE LLENA CON UNA PRESIÓN DE GAS DE 6 A 7 BARS A 20°C Y LOS DIFERENTES MÓDULOS DE LA SUB-ESTACIÓN TALES COMO JUEGO DE BARRAS, TP'S, TC'S, CUCHILLAS, LOS CUALES SE LLENAN CON UNA PRESIÓN DE GAS DE 3.5 A 4.5 BARS A 20°C.

LOS DIFERENTES COMPARTIMIENTOS SE SEGREGAN A TRAVÉS DE AIS

LADORES BARRERA SOPORTE Y LA PRESIÓN EN CADA UNO DE ELLOS ESTÁ MONITOREADA CON RELÉS DE PRESIÓN COMPENSADOS EN TEMPERATURA (RELÉS DE DENSIDAD DE GAS).

ES IMPORTANTE RECORDAR EN ESTE CASO QUE LA RIGIDEZ DIELECTRICA DEL GAS DEPENDE DE SU DENSIDAD, LO CUAL ES EL CRITERIO A TOMAR EN CUENTA PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO ENCAPSULADO. SIN EMBARGO EN LA PRÁCTICA SE EXPRESA LA DENSIDAD POR LA PRESIÓN REFERIDA A UNA TEMPERATURA, POR EJEMPLO 20°C, CON EL FIN DE CONTAR CON UN VALOR MÁS FÁCILMENTE MEDIBLE Y COMPRENDIBLE.

LOS MONITORES DE DENSIDAD DE GAS EN CASO DE QUE LA PRESIÓN DE GAS LLEGUE A UN NIVEL INFERIOR AL VALOR NOMINAL DARÁN UNA SEÑAL DE ALARMA QUE ANUNCIE DICHA DISMINUCIÓN Y PODER DE ESTA MANERA RELLENAR EL MÓDULO AFECTADO.

CADA UNO DE LOS COMPARTIMIENTOS DE GAS TIENE UN DIAFRAGMA DE SOBREPRESIÓN PARA ALIVIAR SOBREPRESIONES PRODUCIDAS POR ELEVACIÓN EXCESIVA DE LA TEMPERATURA DEL GAS, POR LO GENERAL OCASIONADAS POR FALLAS ELÉCTRICAS (ARCO) EVITÁNDOSE ASÍ EL RIESGO DE EXPLOSIÓN O DEFORMACIÓN PERMANENTE DE UN MÓDULO. CABE MENCIONAR TAMBIÉN QUE LA DIVISIÓN DE LA SUB-ESTACIÓN ENCAPSULADA EN VARIOS MÓDULOS NO SÓLO RESIDE EN LA PRESENCIA DE 2 DIFERENTES PRESIONES DE GAS, SINO TAMBIÉN PERMITE EVITAR QUE CUCHILLAS SECCIONADORAS PUEDAN CONTAMINAR OTRAS SECCIONES DE LA SUB-ESTACIÓN Y A LA VEZ ESTA SEPARACIÓN ES TAMBIÉN IMPORTANTE PARA EVITAR LA PRÓPAGACIÓN DE EVENTUALES FALLAS A OTROS ELEMENTOS DE LA SUB-ESTACIÓN, LO CUAL PERMITE TAMBIÉN LOCALIZAR EL LUGAR DONDE OCURRIÓ LA FALLA.

TODAS LAS SEÑALES DE LA SUPERVISIÓN DE GAS Y OTRAS ALARMAS SE CONCENTRAN EN UN ARMARIO DE CONTROL LOCAL. EL ARMARIO DE CONTROL CONCENTRA ADEMÁS TODOS LOS ELEMENTOS DE MANDO E INDICACIÓN DE UN ALIMENTADOR. TAMBIÉN LOS ENCLAVAMIENTOS ELÉCTRICOS Y TODA LA SUPERVISIÓN DEL ACCIONAMIENTO DEL INTERRUPTOR SE EJECUTA DENTRO DEL ARMARIO DE CONTROL.

16) TRANSPORTE, MONTAJE, PUESTA EN SERVICIO, MANTENIMIENTO

TODOS LOS ELEMENTOS DE QUE ESTÁ CONSTITUIDA LA SUB-ESTACIÓN SE PRUEBAN EN FÁBRICA ANTES DE SU EMBARQUE, NO COMO ELEMENTOS SEPARADOS SINO EN CONJUNTO, SIENDO ESTOS CONJUNTOS HASTA UN ALIMENTADOR COMPLETO EN SUB-ESTACIONES PARA TENSIONES NOMINALES HASTA 145 KV. PARA TENSIONES MAYORES ESTOS CONJUNTOS CONSISTEN EN UNIDADES TAN GRANDES COMO SEA POSIBLE PARA SER EMBARCADAS.

CONSECUENTEMENTE LA NECESIDAD DE REALIZAR PRUEBAS EN EL SITIO DE LA INSTALACIÓN SE VE REDUCIDA A UN MÍNIMO Y ANTES DE LA PUESTA EN SERVICIO DEL EQUIPO SE PROCEDE A HACER UNA REVISIÓN DEL HERMETISMO DEL EQUIPO MEDIANTE UN DETECTOR DE FUGAS DE GAS, UNA REVISIÓN DE LOS DIFERENTES ACCIONAMIENTOS Y BLOQUEOS, UN CHEQUEO DE LA HUMEDAD DEL GAS MEDIANTE UN MEDIDOR DE PUNTO DE ROCÍO DEL MISMO Y FINALMENTE SE PROCEDE A HACER UNA PRUEBA DE ALTA TENSIÓN.

LA SEGURIDAD DE SERVICIO DE INSTALACIONES ENCAPSULADAS Y AISLADAS EN SF₆ NO DEPENDE DE INFLUENCIAS EXTERIORES COMO CONTAMINACIÓN, HUMEDAD, ETC. COMO CONSECUENCIA LAS EXIGENCIAS CON RESPECTO AL MANTENIMIENTO DE ESTAS INSTALACIONES ES MÍNIMO.

CONCLUSIÓN

BASADO SOBRE LA EXPERIENCIA DE FABRICACIÓN Y EXPLOTACIÓN OBTENIDA CON LAS PRIMERAS SUB-ESTACIONES ENCAPSULADAS EN SF₆ LA NUEVA GENERACIÓN DE ESTE TIPO DE EQUIPO ES EL FRUTO DE UN ARDUO TRABAJO DE DESARROLLO QUE PERMITE HOY EN DÍA EL SATISFACER TODO TIPO DE NECESIDADES EN EL ÁREA DE LA DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA TENSIONES NOMINALES HASTA 800 KV.

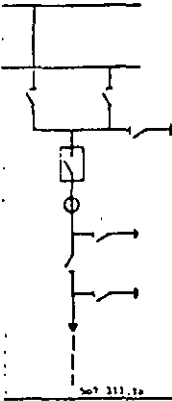

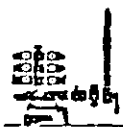
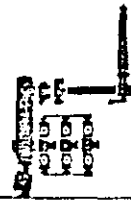


LA PELÍCULA QUE A CONTINUACIÓN LES MOSTRAREMOS PERMITIRÁ ILUSTRAR LA PLANIFICACIÓN, FABRICACIÓN, MONTAJE E INSTALACIÓN DE UNA SUB-ESTACIÓN EN SF₆.

**** BIBLIOGRAFIA ******SUB-ESTACIONES ENCAPSULADAS EN GAS HEXAFLUORURO DE AZUFRE (SF₆)**

- 1) H.P. Szente-Varga, N. Krafft: Metal Clad high-voltage switchgear with SF₆ insulation. Brown Boveri Review 54 1967.
- 2) H.P. Szente-Varga: Metalclad switchgear with SF₆ insulation for 72 to 525 KV. Brown Boveri Review 56 1969.
- 3) G. Mauthe, W. Bischofberger, K.D. Schmidt, A. Ueber: Type ELK circuit-breaker for metal-enclosed SF₆ insulated switchgear installations. Brown Boveri Rev. 61 1974.
- 4) A. Mejer, K.D. Schmidt: High-voltage switch-disconnectors for metal-enclosed SF₆ insulated switchgear. Brown Boveri Review 65 1978.
- 5) G. Hermann, W. Stolarz: Extension of a 245 KV switchgear installation without interruption of service. Brown Boveri Review 63 1976.
- 6) W. Bischofberger, R. Wehrli: Circuit-breaker type ELK with closing resistors for metalclad SF₆ installations. Brown Boveri Review 65 1978.
- 7) A. Maier, R. Ottischnig, W. Stolarz: High-voltage SF₆ insulated switchgear-gas monitoring, maintenance and servicing. Brown Boveri Review 59 1972.
- 8) P. Höegg, W. Schmidt: On-site high-voltage testing of SF₆ metalclad switchgear and gas insulated cable. IEE Conference 1977, Publ. 157.
- 9) G. Mauthe, G. H. Krieter: Earthing switches in metalclad, high-voltage SF₆ switchgear installations. Brown Boveri Review 64 1977.

ANEXO NO. J

Principal performance data

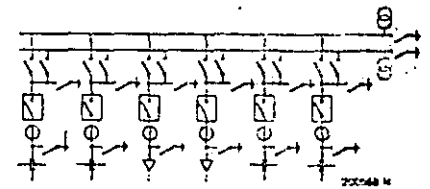
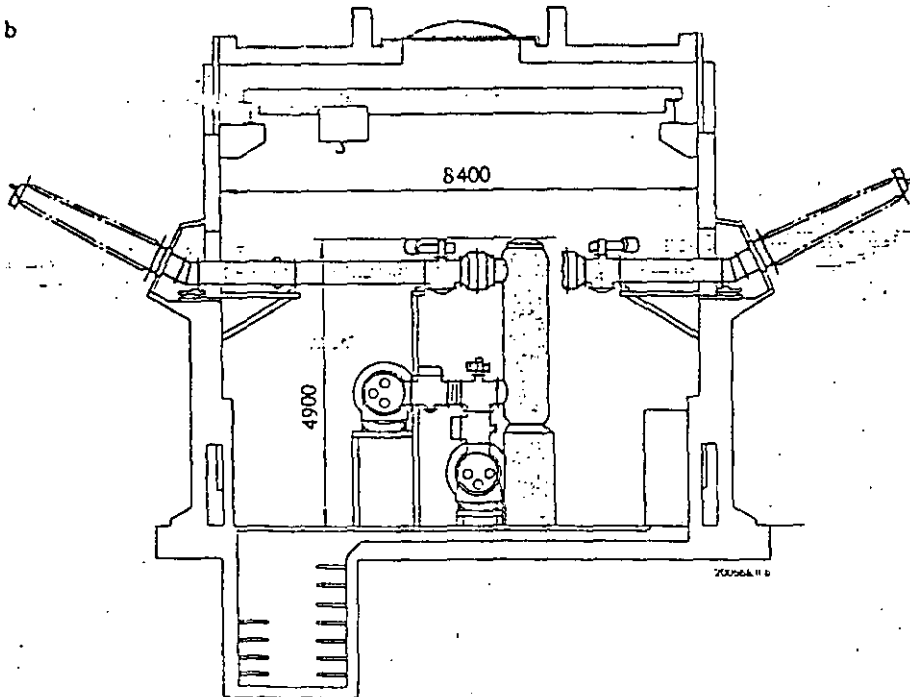
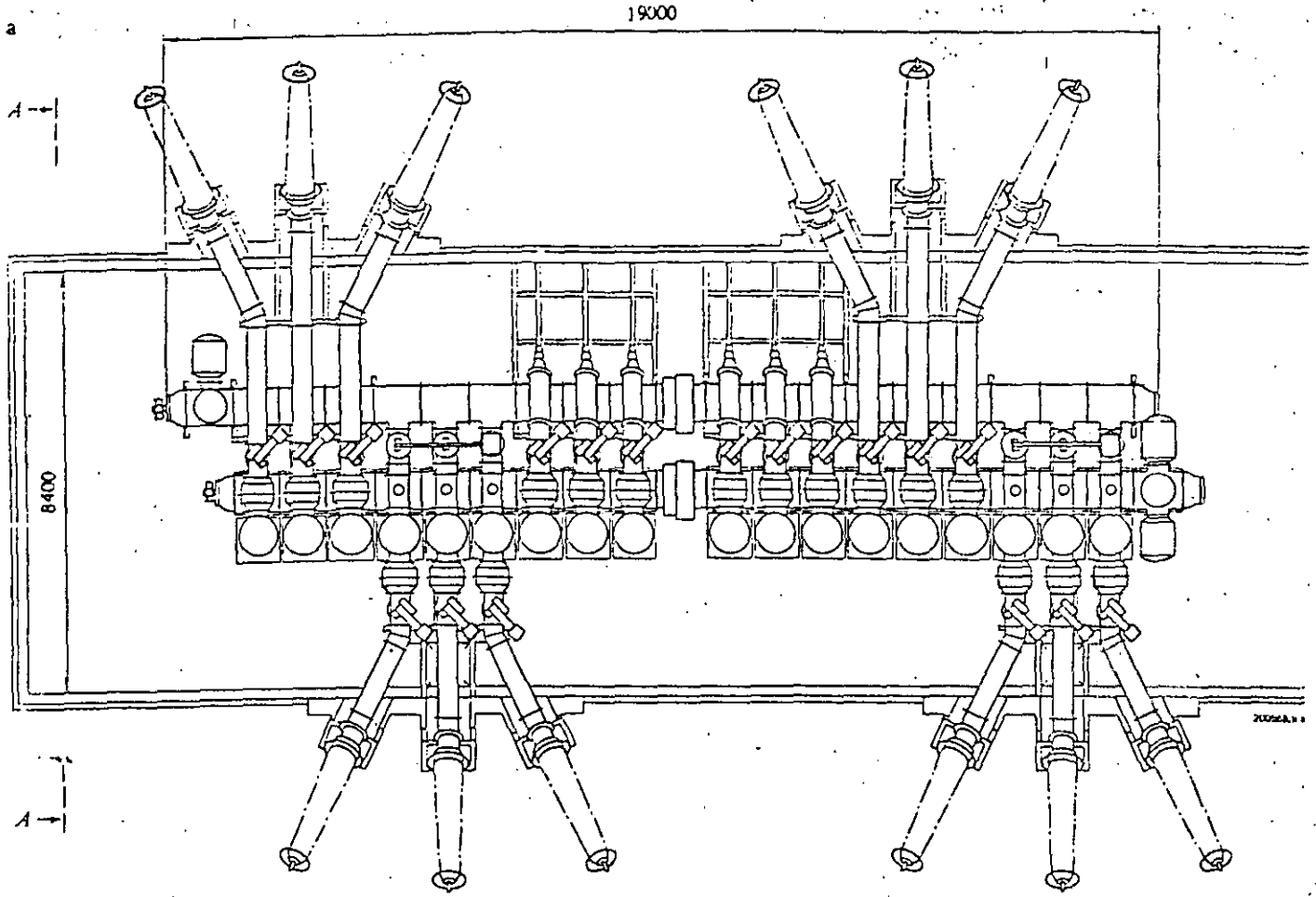
Type		ELK-0	ELK-1	ELK-2	ELK-3	ELK-4
						
Rated voltage	kV	72.5-145	170-245	245-362	420-550	765-800
Rated one minute power frequency withstand voltage	kV	140-275	325-460	425-520	620-740	830-1100
Rated lightning impulse withstand voltage	kV	325-650	750-1050	1050-1300	1425-1550	1800-2100
Rated frequency		50/60	50/60	50/60	50/60	50/60
Rated current	A	2000/3150	3150/4000	3150/4000	4000/6300	5000/6300
Rated short-circuit current	KA	25-40	40-63	40-63	40-63	40-50
Number of breaks per pole		1	1/2	1/2	2/3/4	4
Dimension per circuit-breaker bay						
Width	approx. m	1.2	1.8	2.7	3.2	6.0
Height	approx. m	3.5	3.5	5.0	6.5	7.8
Depth	approx. m	5.3	4.4	4.4	4.9	6.3
Weight per circuit-breaker bay	approx. t	4.8	5.9	9.9	14.0	30.0

The above data refers to the standard equipment. Higher values have been realized and are available on request.

Concepto de diseño y datos técnicos de sub-estaciones en SF6 tipos ELK.

El presente documento es propiedad de Brown Boveri Mexicana, S. A. de C. V. y no debe ser distribuido sin el consentimiento escrito de la misma.

ANEXO NO. 2

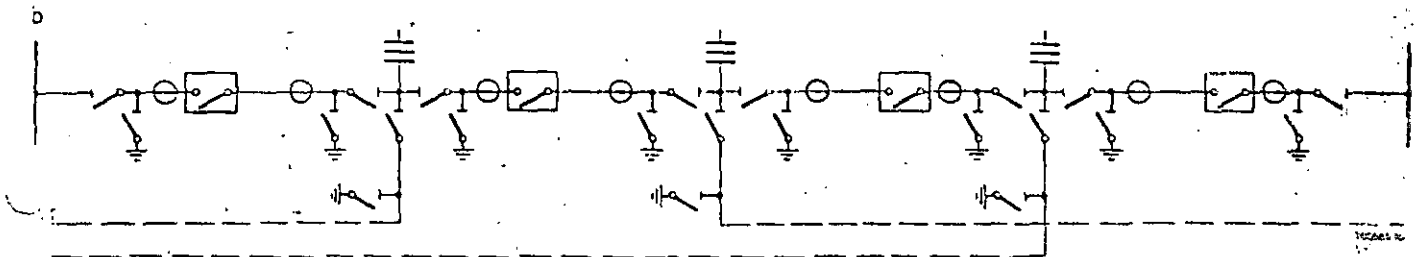
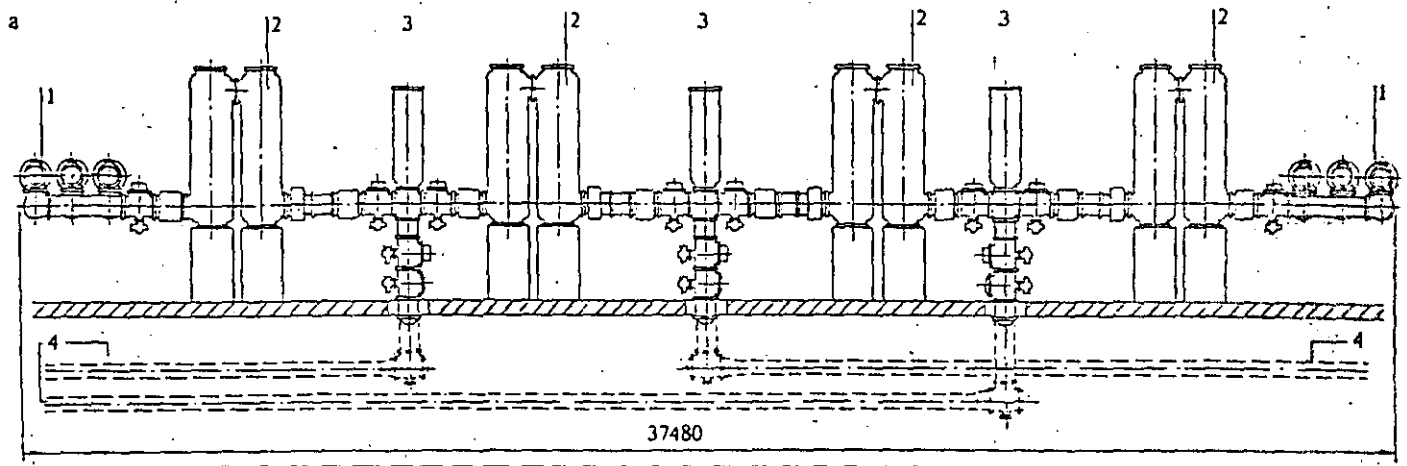


- 245 kV SF₆ switching station,
La Foretaille, Geneva

- a: Plan view
- b: Switching bay at A-A
- c: Circuit diagram

AHORRO DE ESPACIO

ANEXO NO. 3



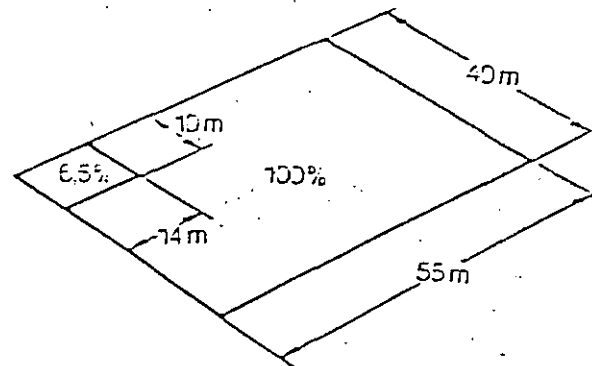
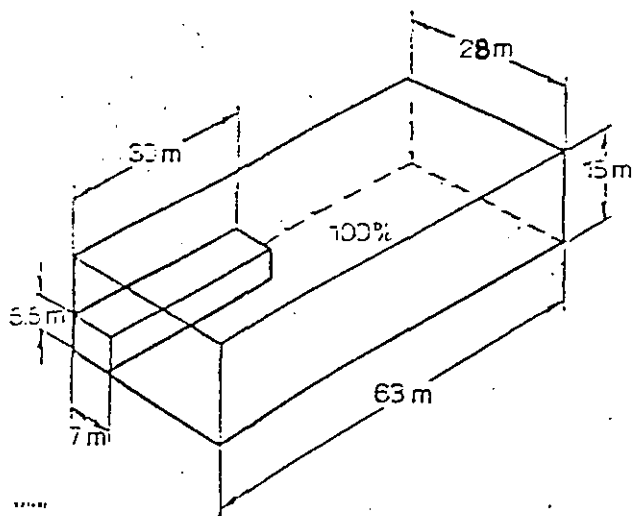
- 525 kV SF₆ switchgear, Woodbridge, Canada

: Section
: Circuit diagram

- 1 = Busbars
- 2 = Circuit-breaker
- 3 = Branch
- 4 = Bars connecting 10 overhead lines

ANEXO NO. 4

AHORRO DE ESPACIO:



Instalación Interior

Instalación Intemperie

Subestación en 145 KV. con 12 alimentadores y arreglo de doble barra:

Subestación en 145 KV. con 12 alimentadores y arreglo del interruptor y medio.

- Convencional: $26,460 \text{ M}^3$
- S.E. Blindada: $1,150 \text{ M}^3$

- Convencional: $2,200 \text{ M}^2$
- S.E. Blindada: 140 M^2

ANEXO NO. 5

SUB-ESTACIONES EN SF₆ MARCA "BBC" CON ENVOLVENTE TRIFASICA TIPO ELK-0

Ventajas de la Envolvente Trifásica con respecto a la Envolvente Monofásica

1) SEGURIDAD CONTRA FALLAS INTERNAS

Numerosas pruebas con el diseño trifásico ELK-0 han permitido establecer que una falla iniciada, originalmente, entre una fase y la envolvente se convierte en cuestión de milisegundos en una falla entre fases, extinguiéndose la falla inicial originada entre fase y tierra (envolvente) y permitiendo así que la seguridad de la actuación de los sistemas de protección se aumente dado que una falla a tierra se transforma, rápidamente, en una falla trifásica.

Por consiguiente, inclusive después de un tiempo largo, como por ejemplo; 500 ms (falla del sistema de protecciones del equipo) y debido al fenómeno antes descrito, la perforación de la envolvente del sistema ELK-0, originada por un arco, es sumamente reducida, por otro lado la sobrepresión de gas SF₆ que se origine dentro del módulo de la Sub-estación, donde se originó la falla es liberada gracias a los dispositivos para sobrepresiones que equipan cada uno de los compartimientos de gas del equipo. A la vez, después de la prueba, antes mencionada, hecha al equipo ELK-0, no se notó ningún cambio en la rigidez mecánica de la envolvente. En otras palabras y como conclusión, a lo expuesto líneas arriba, los sistemas con envolventes monofásicas están sujetos a un fenómeno no controlable de la perforación de la envolvente y es to con todos los inconvenientes que se derivan para el usuario del equipo, mientras que en el caso del diseño trifásico se descarta la posibilidad de una perforación de la envolvente, limitándose el fenómeno de falla interna a un control de sobrepresiones de gas en caso de falla en el sistema de protección. El sistema ELK-0 ofrece un nivel superior de seguridad, tanto como para el personal y el equipo propiamente dicho.

2) MANTENIMIENTO

El arreglo físico de Sub-estaciones con equipo de ejecución con envolvente trifásica, resulta mas claro y entendible para la gente de mantenimiento, puesto que existen menos envolventes, instrumentos, ejes de mando, etc., los cuales podrían causar confusión a los operadores, en caso de mantenimiento. A la vez para dar servicio a los contactos del equipo (por ejemplo; interruptor) se requiere solo remover una brida en vez de tres.

Por otro lado las carcasas de los equipos trifásicos tienen un diámetro interno más grande, permitiendo la entrada más fácil para la realización de trabajos de inspección y reparación, en caso que sea necesario.

3) CONFIABILIDAD MECÁNICA

Mediante la ley de las estadísticas se puede demostrar que la confiabilidad de cualquier equipo es inversamente proporcional al número de componentes o partes que forman éste último. El concepto de envolvente trifásica tiene por diseño 50% menos partes móviles y por lo tanto más confiabilidad como es el caso del sistema de BBC tipo ELK-0, donde no existen enlaces de accionamiento entre polos y solo un sistema hidráulico para el accionamiento de los tres polos del interruptor.

4) ESTANQUEIDAD

Las Sub-estaciones blindadas en SF₆ con envolvente común para las 3 fases, cuentan, comparado con un diseño monofásico, con solo un tercio de envolventes, así como bridas, válvulas de llenado, relés de monitoreo, de densidad de gas, etc., lo anterior disminuyendo las probabilidades de fugas de gas. A la vez, las tuberías de gas SF₆ que suelen, en ocasiones, utilizarse para interconectar las diferentes fases de un alimentador con envolvente monofásica, que son totalmente eliminadas en la ejecución trifásica, lo cual disminuye considerablemente las posibilidades de fallas o daños a las tuberías (a menudo utilizadas como perchas para ropa por las cuadrillas de mantenimiento).

5) ESPACIO

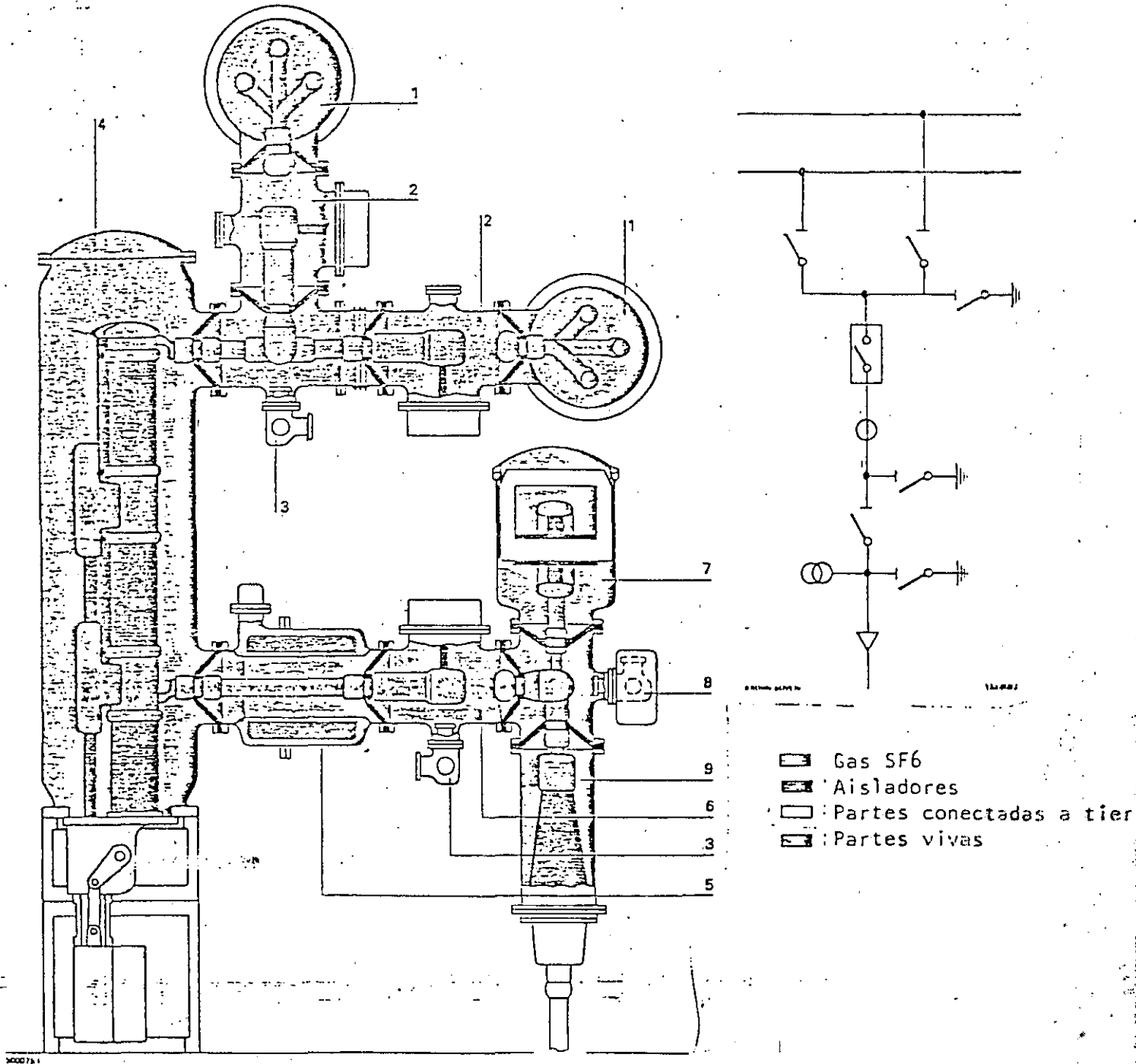
El sistema trifásico es más compacto que el sistema monofásico, en efecto; el ancho de un alimentador trifásico es de, aproximadamente, 1.2 metros, mientras que un alimentador monofásico tiene un ancho, aproximado, de 1.7 a 2 metros.

6) PERDIDAS

En los equipos trifásicos los campos eléctricos se compensan, eliminando así la posibilidad de "EDDY CURRENTS" que representan pérdidas eléctricas y económicas.

La gran experiencia, adquirida por BROWN BOVERI & CIE., con equipo aislado en SF₆ con envolvente de Aluminio común para las tres fases, así como la confiabilidad de su diseño ELK-0 para una tensión de operación hasta 145 KV está respaldado por 445 alimentadores ELK-0, actualmente en operación o proceso de montaje y fabricación para diferentes países del mundo.

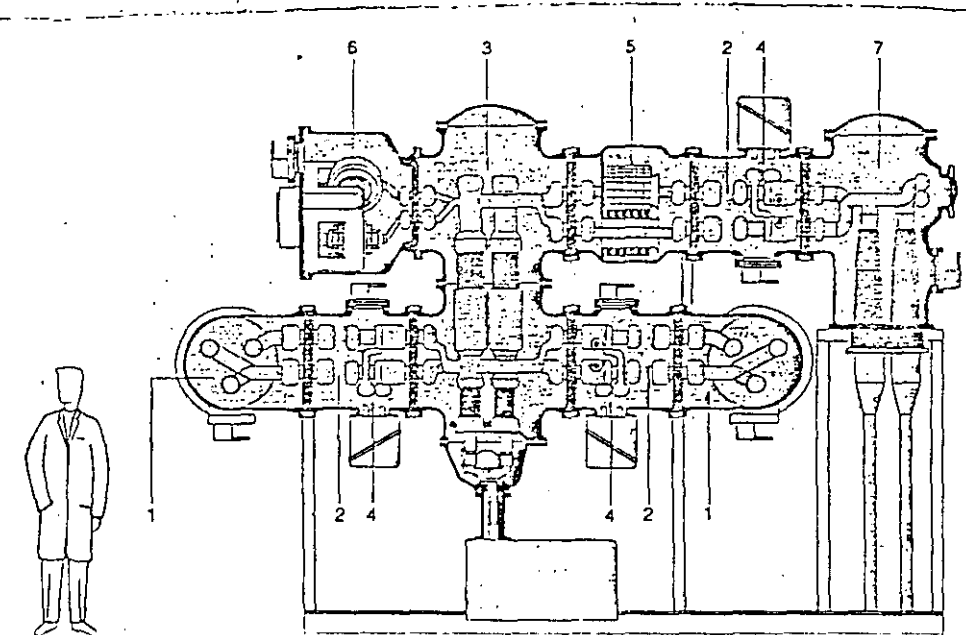
ANEXO NO. 6-A



- 1. Barras (buses)
- 2. Cuchillas desconectoras
Cuchillas de puesta a tierra
Interruptor

- 5. Transformador de corriente
- 6. Cuchilla desconectora
- 7. Transformador de Potencial
- 8. Cuchilla de puesta a tierra (rápida)
- 9. Terminación para cable (caja terminal)

ANEXO NO. 6-B



507 394

Corte de una subestación encapsulada en SF6 745 KV. Envoltura trifásica.

- 1. Juego de barras de aluminio con un envoltorio de aluminio hueco.
- 2. Cuchillas seccionadoras.
- 3. Interruptor.
- 4. Cuchillas de puesta a tierra.
- 5. Transformador de corriente.
- 6. Transformador de potencial.
- 7. Unidad terminal de cable.

ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE ENVOLVENTES DE ALUMINIO Y ENVOLVENTES DE ACERO, PARA SUBESTACIONES COMPACTAS-AISLADAS EN GAS SF₆

- 1) El peso reducido de un equipo con aleación ligera de Aluminio, facilita el manejo de este (Facilidad para transporte y montaje) y reduce el tamaño y costo de las cimentaciones requeridas para soportarlo. Las estructuras de soporte no son por lo tanto de grandes dimensiones y la grúa requerida para la instalación es de poco tonelaje.
- 2) El Aluminio es un material más resistente a la corrosión que el Acero. Este punto garantiza al equipo con envoltorio de Aluminio en un largo plazo, una mayor estanquidad ya que las superficies de empacaduras no pueden sufrir un empeoramiento por corrosión. Por corrosión se entiende la que -- pudiese ocasionar la contaminación ambiental o bien sub-productos provenientes de la descomposición del gas en SF₆, en presencia de un arco eléctrico (Interruptor).
- 3) El fabricante de equipo blindado y aislado en SF₆, al utilizar el Aluminio para la ejecución de las carcasas, estas últimas se realizarán con la técnica de fundición. En el caso de la técnica de fundición, se puede realizar una forma óptima de la carcasa a fin de obtener una distribución homogénea de las líneas de fuerza del campo eléctrico, mejor que en el caso de la construcción soldada como en el caso del Acero. Al obtener una mejor distribución homogénea del campo eléctrico, se puede aprovechar plenamente la alta resistividad dieléctrica del gas SF₆, lo anterior permitiendo realizar alimentadores con dimensiones especialmente pequeñas.

Estas pequeñas dimensiones combinadas con un peso reducido según indicado bajo el ítem (a), permite al fabricante transportar alimentadores completos montados y probados en fábrica.

Este último punto permite obtener tiempos menores de montaje en sitio (únicamente montaje restante) y elevada seguridad de servicio (El montaje principal de equipo se realiza en la fábrica bajo condiciones adecuadas del ambiente en cuanto a limpieza, libertad de polvo, mínima humedad y pruebas finales sin desmontar el alimentador para su transporte).

- 4) El equipo con envoltorio de Acero, tiene una gran resistencia al arco y el tiempo requerido para que el arco atravesase el Acero es 4 veces mayor que para el Aluminio.

Los fabricantes de equipo blindado con envoltorio de Aluminio han contrastado este problema al aumentar el espesor de la envoltorio ya que si bien el tiempo de fusión del Acero es 4 veces mayor al del Aluminio, lo anterior se basa en la suposición de un mismo espesor de material.

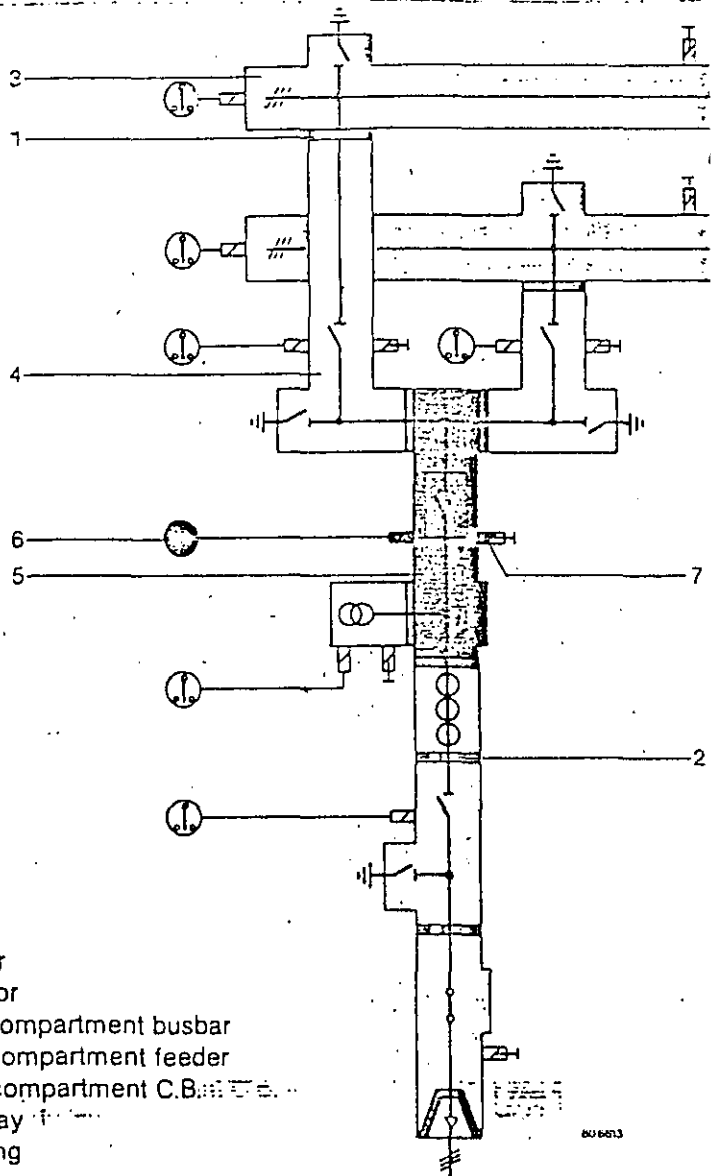
Por razones de rigidez y de fabricación, las carcasas de Aluminio son de mayor espesor que las de Acero.

Por otro lado al aparecer un arco eléctrico entre el conductor y su envoltorio éste por efectos de la interacción entre corriente, la inducción magnética creada por la propia corriente de falla, no se quedará en un punto fijo, sino que recorrerá la instalación a aproximadamente 15m/s, hasta ser

detenido por un obstáculo es decir los aisladores soporte que se utilizan para separar 2 compartimientos adyacentes en donde precisamente en este punto y por razones de fabricación (técnica de fundición), el espesor de la envolvente es especialmente grueso.

Cabe hacer mención que en el caso de un equipo con encapsulamiento trifásico una falla a tierra (Conductor/envolvente), se transforma rápidamente en un corto circuito trifásico sin contacto a tierra, lo cual no conduce a la fusión de la carcasa (Corroborado por pruebas).

ANEXO NO. 8

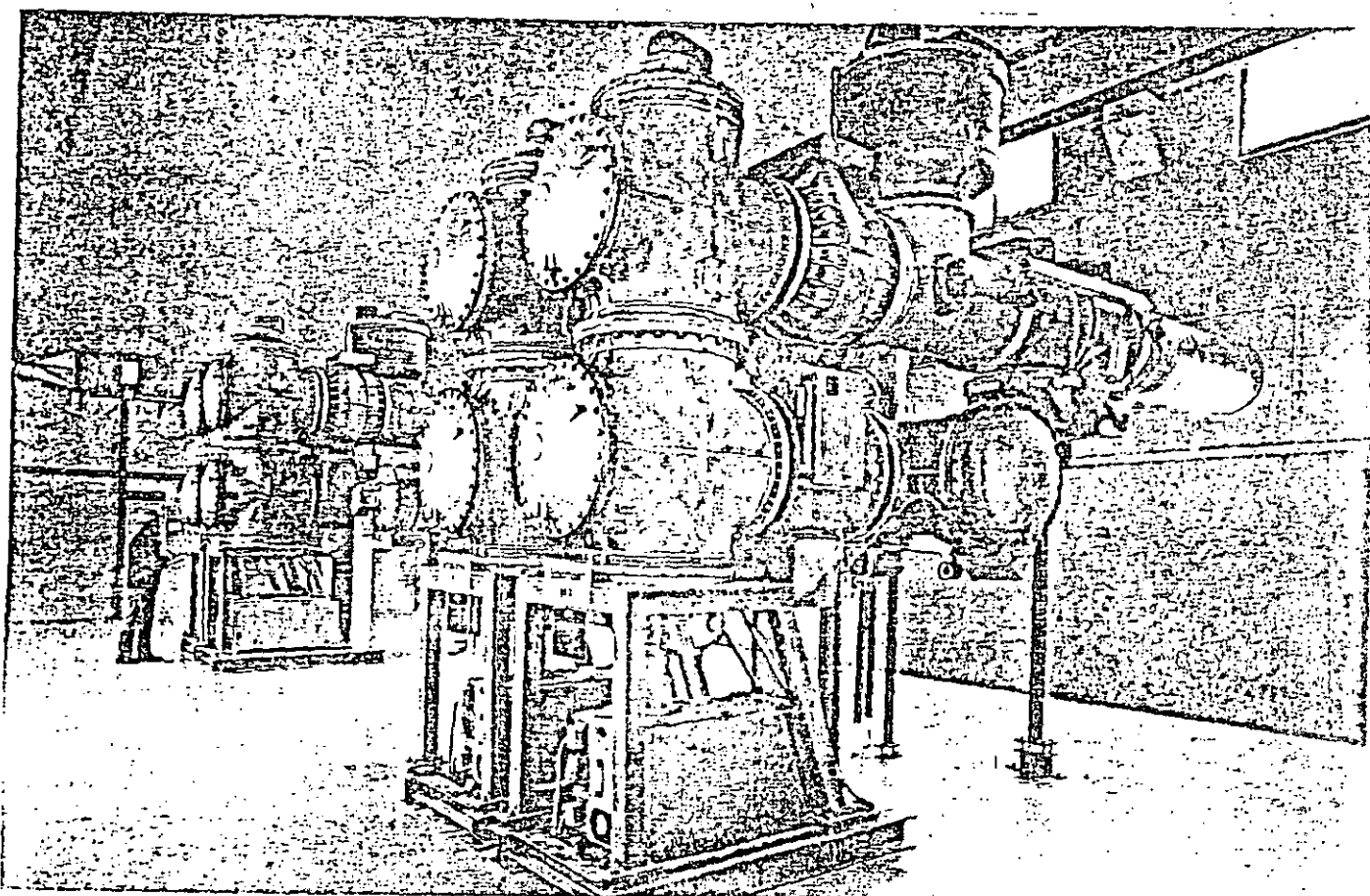


Gas system

- 1 Barrier insulator
- 2 Support insulator
- 3 Insulating gas compartment busbar
- 4 Insulating gas compartment feeder
- 5 Switching gas compartment C.B. ...
- 6 Gas density relay
- 7 Vacuum coupling

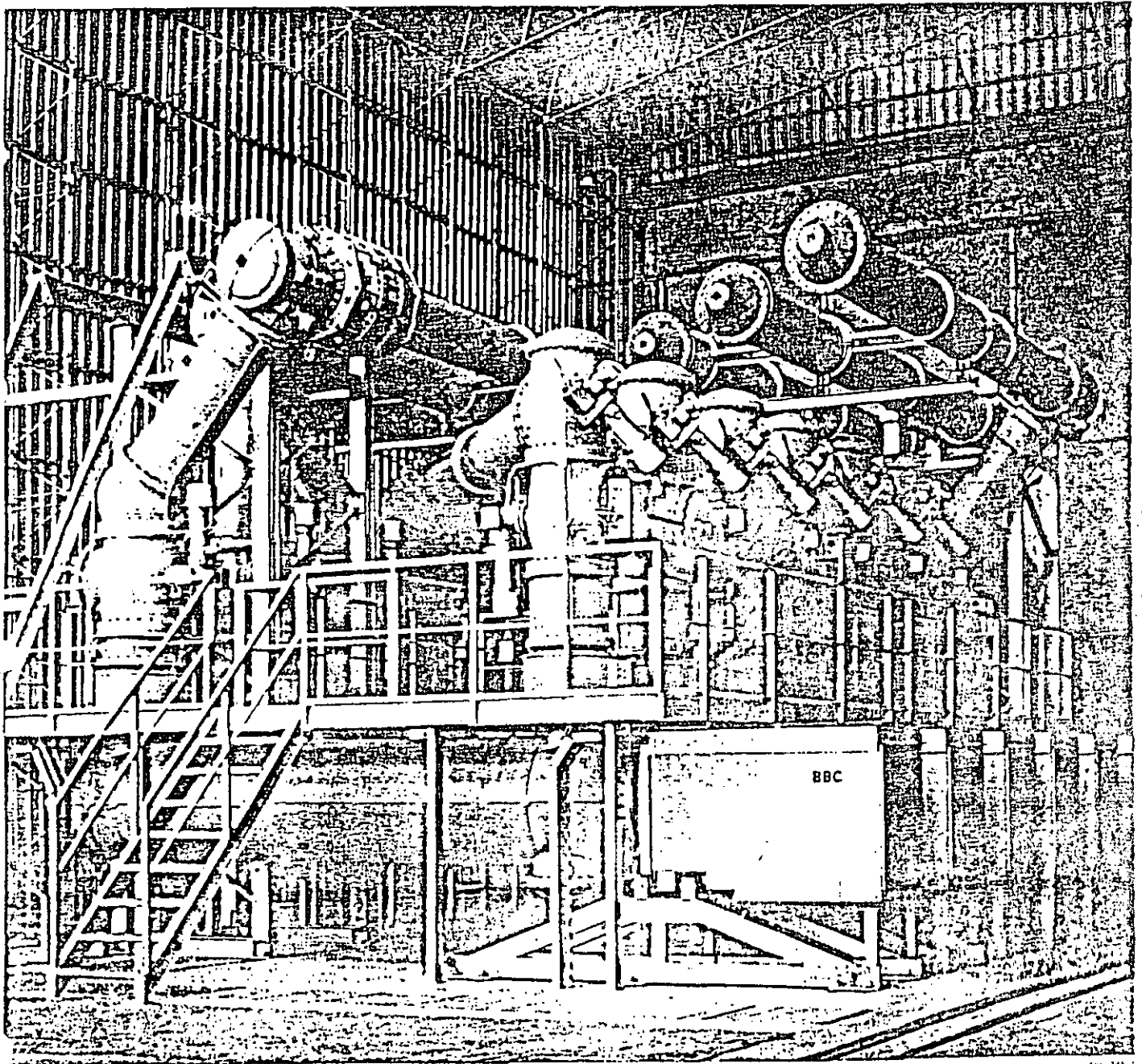
806613

ANEXO NO. 9



Sub-estación en SF₆ tipo ELK-0 con 4 bahías, barra sencilla, voltaje nominal 123 KV, corriente nominal 2500 A, capacidad interruptiva 25 KA.

ANEXO NO. 10



Alimentador en 550 KV de la sub-estación en SF6, para Itaipú/Brasil, corriente nominal 4000 A, capacidad interruptiva 63 KA.



DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

DISEÑO Y FABRICACION DE EQUIPO ELECTRICO

HORNOS DE INDUCCION SIN NUCLEO
PARA FUSION DE METALES FERROSOS Y NO FERROSOS

ING. MAXIMILIANO LATOURNERIE D.

OCTUBRE, 1985.

HORNOS DE INDUCCION SIN NUCLEO
PARA FUSION DE METALES FERROSOS Y NO FERROSOS

1. Principio Básico de Operación.
2. Hornos a Frecuencia de la Red.
3. Hornos de Media Frecuencia
4. Sistema Hidráulico.
5. Sistema de Agua de Enfriamiento.
6. Ensamble del horno.
7. Inductancia Electromagnética.
8. Selección de Potencia y Frecuencia.
9. Cálculo de la Relación de Potencia.
10. Cálculo del Menisco.
11. Cálculo de la Productividad para una Potencia Dada.
12. Efecto del Desgaste del Crisol.
13. Relación entre la Potencia del Horno y Potencia de Simetría.

Ing. Maximiliano Latournerie D.

1. PRINCIPIOS BASICOS DE OPERACION.

CORRIENTE ALTERNA.- Como estaremos hablando de un horno de inducción trataremos con corriente alterna. Una corriente que no cambia su dirección de flujo se llama corriente directa o DC.

Una batería o rectificador producen DC. Una corriente que cambia su dirección de flujo periódicamente se llama corriente alterna o AC. Un circuito conectado a una fuente AC. En un circuito conectado a una fuente AC, la fuerza electromotriz o voltaje cambia su dirección de cero a un máximo positivo, de ahí regresa a cero, de cero a un máximo negativo y regresa a cero. El cambio de 0 a +, a 0 a -, y a 0 en un segundo se le llama un ciclo o un Hertz. Ver figura 2.

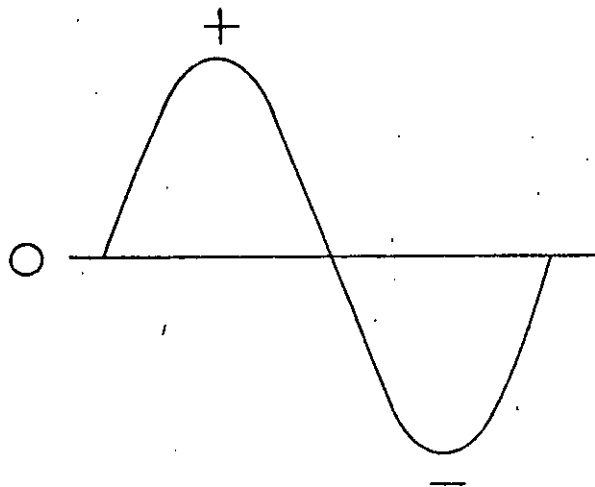
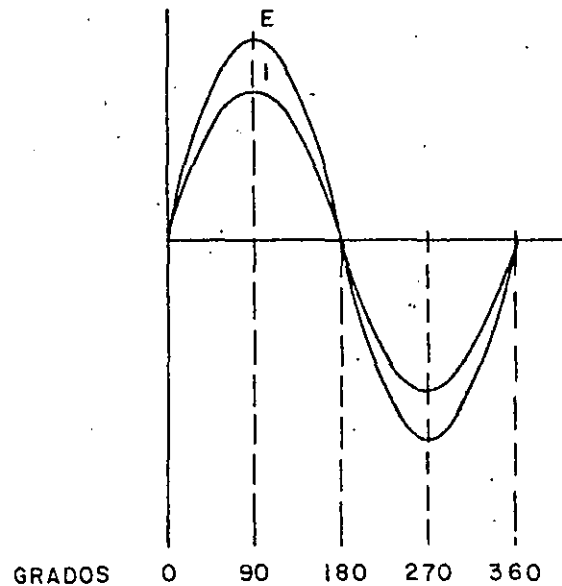


FIGURA 2 - 1 CICLO O 1 HERTZ.

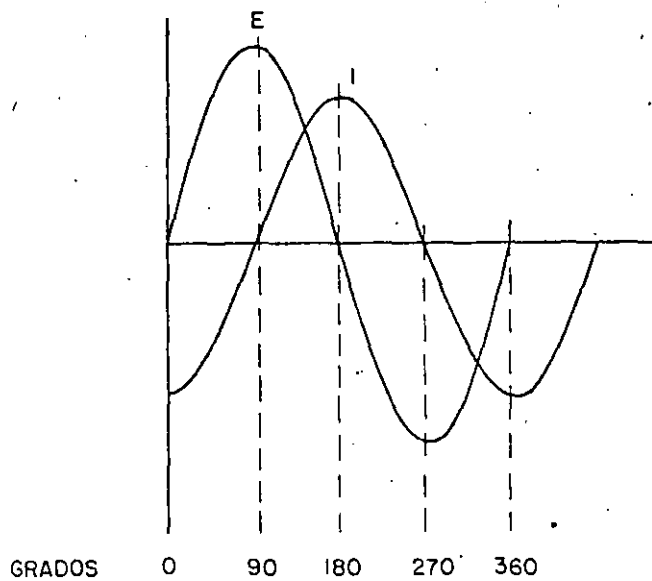
FACTOR DE POTENCIA.- La figura 2 muestra un ciclo, que puede ser cualquier onda de voltaje o corriente. Cuando corriente alterna fluye a través de un resistor, el voltaje que fluye por la resistencia está en fase con la corriente; decimos que una onda de voltaje y corriente están en fase cuando alcanzan el máximo al mismo tiempo y pasan por cero al mismo instante. Ver figura 3.



VOLTAJE Y CORRIENTE EN FASE

FIGURA 3 - FUENTE A-C CONECTADA A TRAVES
DE UNA RESISTENCIA.

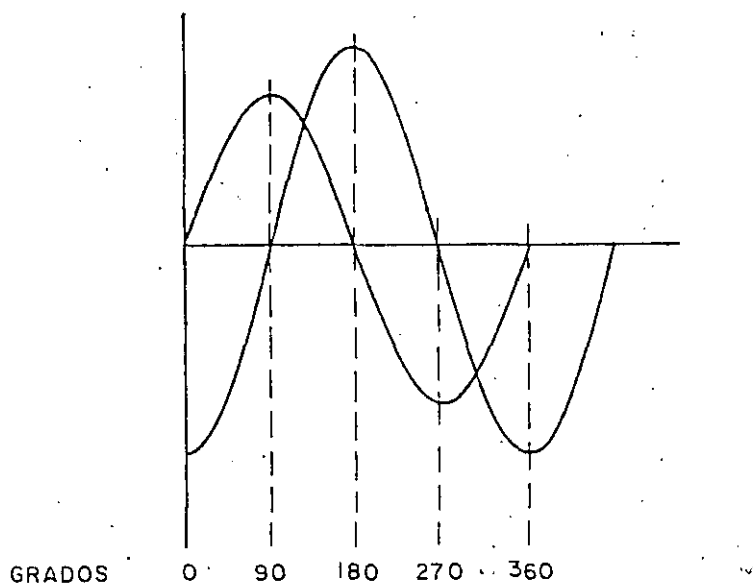
Cuando una fuente AC se conecta a una bobina de inducción, la corriente sigue al voltaje en 90° . Esto quiere decir - que cuando el voltaje alcanza el máximo, la corriente está en cero. En el lenguaje eléctrico esto es llamado : "Corriente de atraso". Ver figura 4.



CORRIENTE ATRASADA 90°
CAPACITOR CONECTADO A UNA FUENTE C.A.

FIGURA 4

Cuando una fuente AC se conecta a un capacitor, tenemos la acción inversa, esto quiere decir, el voltaje sigue a la corriente en 90° , y la conocemos como "corriente de adelanto". Ver figura 5.



CORRIENTE ADELANTADA 90°
CAPACITOR CONECTADO A UNA FUENTE C. A.

FIGURA 5

El ángulo de desviación entre el voltaje y corriente es el coseno de ϕ . Cuando la corriente y el voltaje están en fase, el ángulo es cero grados y el coseno de cero es igual a 1. En éste caso, la potencia aparente $P = E \times I$ es la potencia real. Cuando hay una diferencia de fase, el ángulo de fase tendrá un coseno que es menor que uno y tiene que considerarse cuando calculamos la potencia real.

$$P = E \times I \times \cos \phi$$

La potencia real decreserá con un incremento en el ángulo de fase. La diferencia entre la potencia real y la potencia aparente es la potencia reactiva. La cual puede ser inductiva o capacitiva. La figura 6 muestra las relaciones entre la potencia real, aparente y reactiva.

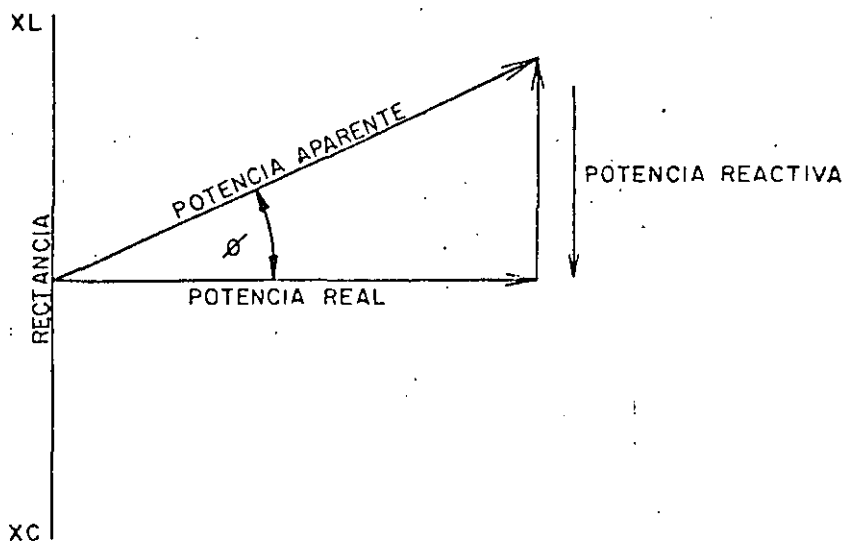


FIGURA 6

El coseno del ángulo ϕ es el factor de potencia. En caso de un factor de potencia unitario, la potencia aparente es igual a la potencia real.

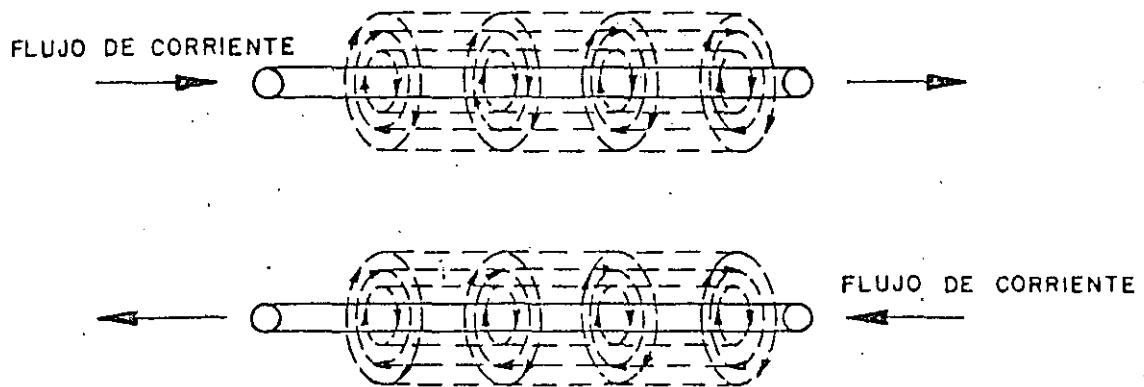
Para calcular la potencia real, podemos utilizar la siguiente ecuación :

$$\text{Potencia Real (watts)} = \sqrt{(\text{Potencia Aparente})^2 - (\text{Potencia Reactiva})^2}$$

$$\cos \phi \text{ (factor de potencia)} = \frac{\sqrt{(\text{Corriente del Horno})^2 - (\text{Corriente Reactiva})^2}}{\text{Corriente del Horno}}$$

INDUCCION

- a) FLUJO MAGNETICO.- Cuando una corriente pasa a través de un conductor, el conductor es rodeado por un campo magnético. Observando en la dirección del flujo de corriente, las líneas magnéticas se están moviendo alrededor del conductor en el sentido del reloj. (Figura 7).



FLUJO MAGNETICO RODEANDO UN CONDUCTOR.

FIGURA 7

Ya que estamos tratando con corriente alterna, a 60 ciclos, sabemos que la corriente cambia 60 veces en un segundo de $0a + a0$; y 60 veces de $0a - a0$. Cada vez que la corriente va de $+$ a 0 ésta decrece y cuando alcanza 0 ésta se cae o se anula.

La intensidad del campo magnético es proporcional a la cantidad de corriente fluyendo a través del conductor. Si la corriente es más alta, la intensidad del campo magnético crece.

La inducción electromagnética, que es el principio básico del horno de inducción, puede únicamente ser creado por el campo magnético, justamente descrito.

- b) TRANSFERENCIA DE ENERGIA.- Cuando la corriente fluye por un conductor, líneas magnéticas están rodeando al conductor como se muestra en la figura 7.

Cuando una bobina es formada colocando vueltas de alambre adyacentes unas a otras, el campo magnético individual de las vueltas se combinan y forman un solo campo magnético alrededor de la bobina. Figura 8.

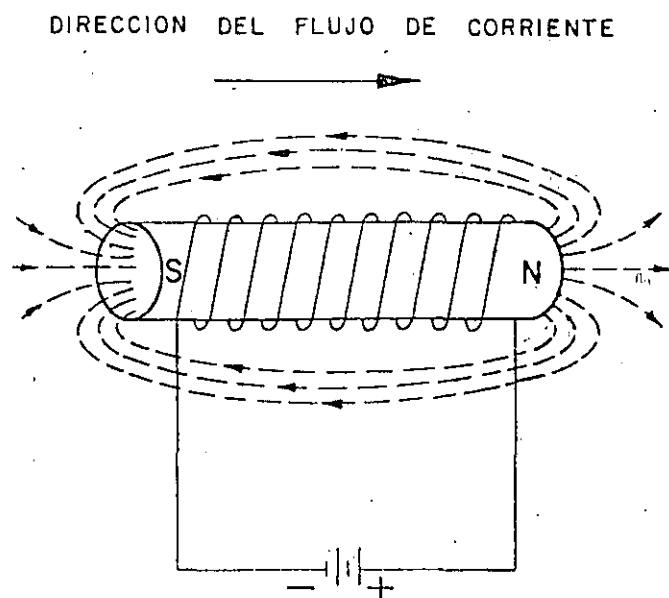


FIGURA 8

En la figura 8 una fuente DC (Batería) es conectada a la bobina. Moviendo el conductor de izquierda a derecha a través del campo magnético, cortando líneas magnéticas, un flujo de corriente en el conductor será generado. -- Este fenómeno es llamado inducción. Fue primeramente descubierto por el científico inglés Maxwell.

En lugar de mover un conductor a través de una bobina de inducción para generar un flujo de corriente, el mismo efecto será creado si se conecta una fuente A-C a la bobina.

Hemos aprendido que el campo magnético creado por una fuente A-C, crece y decrece al ritmo de 60 ciclos. Este ritmo de crecer y decrecer sustituye el movimiento del conductor en un campo magnético creado por una fuente D-C. Figura 9.

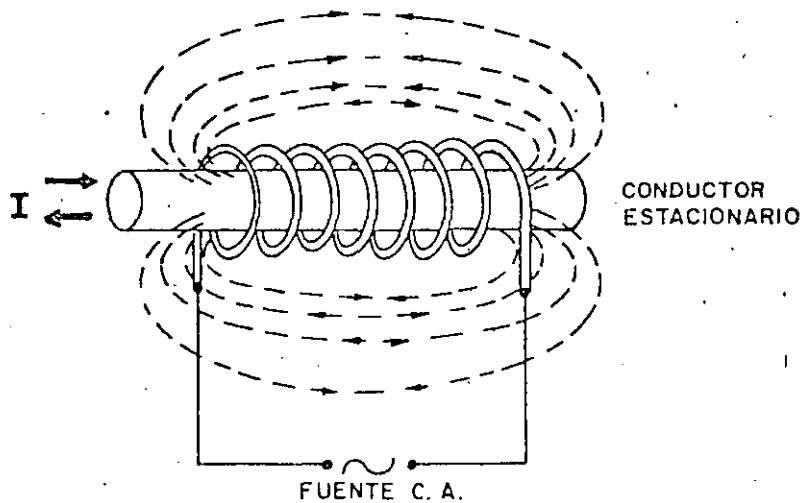
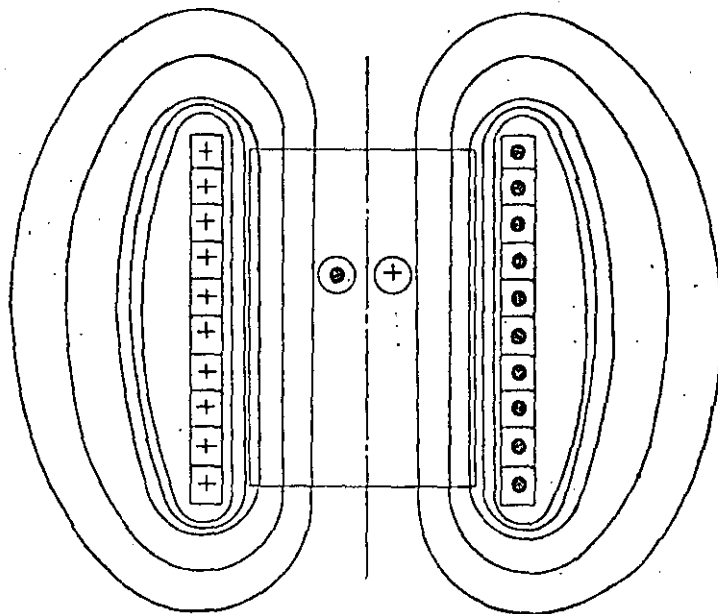


FIGURA 9

La parte principal de el horno es la bobina de inducción de forma cilíndrica que se puede comparar con la bobina primaria de un transformador. Una fuente de potencia de 60 ciclos conectada a la bobina crea un campo electromagnético alterno. (Ver figura 11).



BOBINA CONECTADA A UNA FUENTE C.A.
(YUGOS NO INSTALADOS)

FIGURA 11

Cuando un material conductor es colocado dentro de este campo, un potencial eléctrico es generado el cual origina una corriente eléctrica. El valor de la corriente generada depende sobre el voltaje aplicado a la bobina, la relación de potencia y la cantidad de vueltas de la bobina.

Para ilustrar la función del horno, haremos un ejemplo --- usando las fórmulas explicadas anteriormente:

"Ejemplo"

Voltaje del Horno	2950 Volts
Número de vueltas de la bobina	41
Relación de KW de la bobina del Horno	4000 KW

Ignoraremos el factor de potencia para este cálculo.

Primero calculemos la corriente fluyendo a través de la bobina :

$$I = \frac{P}{E} = \frac{4'000,000}{2,950} = 1356 \text{ A.}$$

Ya que la bobina tiene 41 vueltas, el metal en el horno tiene que ser considerado como una vuelta; tenemos relación de 41:1.

Por lo tanto el voltaje secundario es :

$$\frac{2950}{41} = 72 \text{ Volts}$$

El valor de la corriente es :

$$\frac{4'000,000}{72} = 55,555 \text{ A.}$$

Como el valor de la potencia está dado en volts x ampere = voltamperes, la potencia de entrada actual tiene que ser calculada usando la fórmula :

$$P = I^2 R$$

La resistencia R varía con el tipo de metal ha ser fundido y con la temperatura.

- d) EFECTO PIEL.- La densidad de flujo sobre la sección completa de la bobina no es constante, la (figura 11) muestra que el campo magnético es más concentrado cercano a la bobina y decrece hacia el centro del horno. La corriente inducida en la carga genera un campo magnético que tiene la dirección opuesta a la del campo magnético de la bobina del horno. El campo secundario empuja al campo primario sobre la cercanía de la bobina, como la concentración de

energía en la carga está en la capa exterior o piel se le llama "Efecto Piel". El efecto piel o espesor de penetración depende de la resistividad del metal. Cuando consideramos usar un horno de inducción, no para hierro únicamente, sino también para latón, cobre, aluminio, conocemos que todos esos metales tienen una resistividad eléctrica diferente.

Otro factor es la característica magnética o permeabilidad de la carga cuando se funde acero o hierro. Pero comenzando con una carga fría, el hierro es todavía magnético, y por lo tanto afecta al espesor de penetración también.

Tanto como la carga es magnética, la absorción de potencia es mayor; cuando la carga alcanza al punto curie (1350°F) (730°C), la absorción de potencia es menor. El tercer factor es la frecuencia, un incremento de frecuencia por un factor de 3 decrecerá el espesor de penetración por la raíz cuadrada de 3 ó un factor de 1.73.

La fórmula para calcular el espesor de penetración es :

$$\delta = 50.3 \sqrt{\frac{\rho}{\mu f}} \text{ en cm.}$$

ρ = Resistividad elect. específica en permeabilidad $\Omega \frac{m \cdot m^2}{m}$

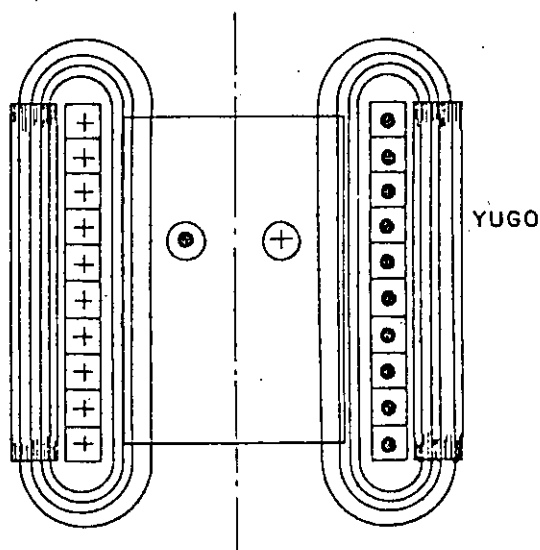
μ = Permeabilidad

f = Frecuencia

Para un horno de 60 ciclos, un tamaño de carga mínima de 8" por pieza es requerido para poder absorber suficiente potencia. Si la carga es lo suficientemente densa, diversas piezas pequeñas se fundirán juntamente y formarán una masa más grande. Una vez que la carga es líquida, ésta absorberá más energía y disuelve piezas más pequeñas. Si un nivel de metal líquido es presente, el tamaño de la chatarra para cargar el horno ya no es importante, ya que se absorben y se funden rápidamente. Como muchos hornos operan con lo que se llama fusión de colada continua. Un cierto tamaño de carga es siempre agregada en el metal líquido; el tamaño de la chatarra es únicamente importante para un arranque en frío.

Sabemos que el campo magnético pasando a través del metal que va a ser fundido, genera un potencial que resulta en un flujo de corriente lo suficientemente alta para calentar el metal y finalmente fundirlo. La misma cantidad de líneas magnéticas presentes en el lado interior de la bobina están viajando alrededor del lado exterior de la bobina. Esas líneas pueden inducir una corriente en la estructura de acero del cuerpo del horno. Por lo que para alejar esas líneas magnéticas del cuerpo del horno, yugos de acero laminado son instalados alrededor de la bobina para mantener el flujo magnético próximo a la bobina. Además los yugos también proporcionan a la bobina un soporte mecánico.

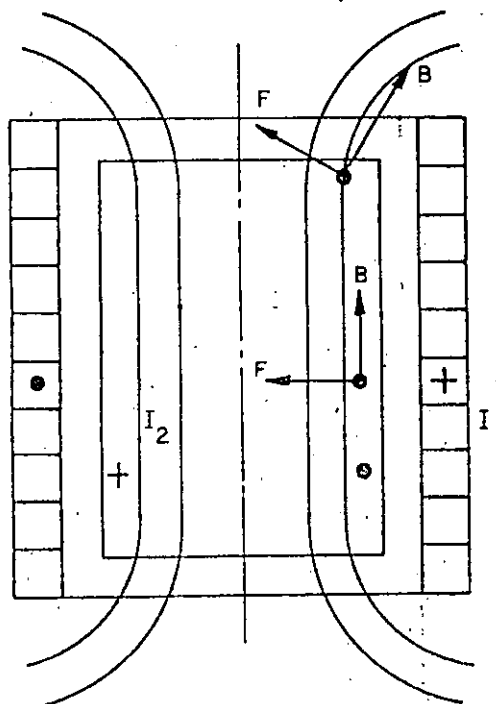
(Fig. 12).



BOBINA CONECTADA A UNA FUENTE C.A.
(CON YUGOS INSTALADOS)

FIGURA 12.

- e) AGITACION.- Ya que el campo magnético en la carga está en oposición al campo alrededor de la bobina, una repulsión mutua entre los dos campos es establecida. Esto origina una fuerza magnética F . (Ver figura 13)

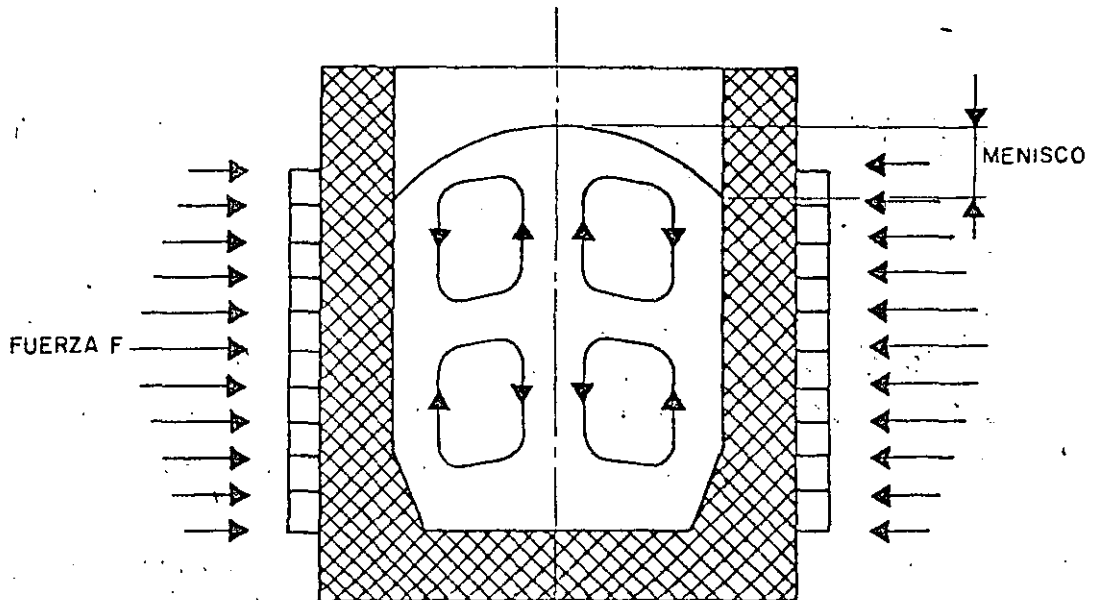


FUERZA MECANICA EN UN CAMPO MAGNETICO

FIGURA 13

Como ilustra la figura 13, las líneas magnéticas corren paralelas únicamente con la parte central de la bobina. En el fondo y el tope de la bobina las líneas magnéticas están girando hacia el exterior. Una fuerza mecánica es siempre perpendicular a la dirección de las líneas magnéticas. Además, como se muestra en la figura 13, la fuerza mecánica permanece vertical al campo en el centro de la bobina únicamente. En ambos extremos de la bobina cambia su dirección. Esta desigual distribución de la fuerza magnética crea un movimiento del metal, también llamado agitación.

A través del efecto del metal en el centro de la bobina, el metal es empujado de la bobina hacia el centro, moviéndose hacia arriba y hacia abajo y fluye pegado a la pared (Ver figura 14). Del movimiento del metal se origina también una formación convexa en la superficie que es llamada Menisco.



MOVIMIENTO DEL BAÑO Y MENISCO

FIGURA 14

La agitación es directamente proporcional a la potencia inducida; en otras palabras si la potencia de entrada aumenta la agitación será más grande y también el menisco.

- f) EFICIENCIA.- La eficiencia es la potencia absorbida en porcentaje comparado con la potencia aplicada. Podemos dividir la eficiencia total en dos partes : pérdidas eléctricas y pérdidas térmicas.

Pérdidas eléctricas. El espesor de la pared del crisol dicta la distancia entre la bobina y la carga. La pared refractaria, que es de un material no conductor, es también rodea

do con líneas magnéticas que, sin embargo no son usadas porque no alcanzan el metal en el crisol.

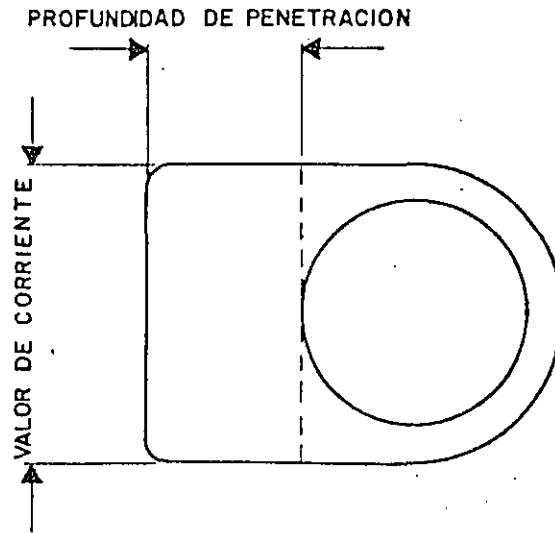
La energía almacenada en el crisol, pero no usada es llamada energía reactiva. Otras líneas magnéticas no alcanzan la longitud total de la bobina y viajan únicamente entre las mismas vueltas de la bobina. Esas líneas no son efectivas en lo que a transmisión real se refiere.

El número de líneas magnéticas es directamente proporcional a la corriente. Cada diseñador de hornos tratará de mantener la potencia real en un máximo y la potencia reactiva en un mínimo.

El crisol tiene que ser diseñado de tal manera que pueda absorber la presión de el metal pero también dar una vida de refractario razonable.

La configuración de la bobina; la altura, diámetro, espaciamiento entre vueltas y el perfil de cobre es también un factor muy importante. La relación de cobre a aislamiento debe mantenerse a un máximo, ya que el espesor del aislamiento es dictado por el potencial eléctrico entre vueltas

El perfil de cobre de la bobina tiene que ser seleccionado de tal manera que el ancho permita una densidad de corriente máxima. El espesor de la parte portadora de corriente del perfil es dictado por el espesor de penetración. Para una bobina de 60 ciclos la pared de cobre debe ser 3/8". (Ver figura 15).



PERFIL DE COBRE DE LA BOBINA

FIGURA 15

Tomando todos estos factores en consideración, podemos decir que una bobina de bajo voltaje necesita menos aislamiento entre vueltas, lo que mantiene la relación de cobre a aislamiento en un máximo con lo que resulta una mayor eficiencia. Una bobina de alto voltaje que tiene mayor aislamiento entre vueltas, tiene una eficiencia más baja.

Pérdidas térmicas. Como estamos fundiendo metal en un material refractario, tratamos con pérdidas de calor a través de la pared del crisol.

2. HORNOS A FRECUENCIA DE LA RED.

SISTEMA ELECTRICO

Con el objeto de satisfacer necesidades eléctricas, se debe seleccionar el suministro de energía adecuado.

Una instalación típica de un Horno de Inducción consta de:

- a) Subestación.
- b) Transformador reductor.
- c) Contactor principal.
- d) Resistencia de arranque y contactor de puenteo.
- e) Balanceo de fases.
- f) Autotransformador.
- g) Banco de capacitores para corrección del factor de potencia.
- h) Switch de transferencia (para instalaciones de 2 hornos y una fuente de potencia).
- i) Instrumentación.
- j) Control y supervisión.

a) SUBESTACION

La selección depende del voltaje de alimentación suministrado por C.F.E. Para hacer una instalación económica, hornos de mayor potencia deben ser conectados a voltajes más altos.

Este equipo puede ser una cuchilla interruptora bajo carga con fusibles, lo cual es más barato. Otra alternativa es un interruptor con protección el cual puede operarse a control remoto desde el tablero de control.

b) TRANSFORMADOR REDUCTOR

El objeto de este transformador es acoplar el sistema de alta tensión al voltaje nominal de operación del horno. El lado primario es conectado en DELTA y el lado secundario es conectado en ESTRELLA CON NEUTRO FLOTANTE.

c) CONTACTOR PRINCIPAL

Observando el diagrama de la figura 18 vemos que el lado secundario del transformador es conectado al contactor principal en el cual operan todas las protecciones o dispositivos de seguridad del horno (sobre carga, corto circuito, sobre y bajo voltaje, falla de agua de enfriamiento, falla a tierra, cirsol desgastado).

d) RESISTENCIA DE ARRANQUE Y CONTACTOR DE PUENTE

El contactor principal es conectado a través de unas resistencias de arranque; debido a su alta inductancia, la bobina del horno de inducción tiene un bajo factor de potencia. Cuando se arranca un horno desde frío, el factor de potencia es desconocido y además los picos de corriente pueden exceder el límite permitido, para evitar

esto se utilizan las resistencias de arranque. Cuando se conecta la potencia del horno (cerrando el contactor principal) el voltaje cae a través de la resistencia, amortiguando la alimentación de corriente al horno. La corrección del factor de potencia se lleva a cabo bajo estas condiciones y entonces el contactor de puenteo entra en operación para dejar fuera de servicio a las resistencias de arranque, alimentando así al horno a su voltaje nominal.

e) BALANCEO DE FASES

Ya que la alimentación al sistema es trifásico y el horno representa una carga monofásica, por lo tanto se requiere un sistema para balancear la fase no conectada a la bobina.

Para llevar a cabo este balanceo se conecta entre las fases A y B un reactor y entre las fases B y C un banco de capacitores. La potencia de simetría (reactores y capacitores) guardan una relación con la potencia del horno de la siguiente manera:

$$P_s = \frac{P_h}{3}$$

f) AUTO-TRANSFORMADOR

Monofásico consta de ocho derivaciones de voltaje, los cuales se utilizan como reguladores de potencia de acuerdo a las condiciones del metal y el crisol.

Su operación es motorizada sin carga y es controlado directamente desde el tablero de control. Cuenta con una serie de dispositivos de seguridad para evitar su operación bajo carga y además que llegue a quedar fuera de posición.

g) BANCO DE CAPACITORES

Como se menciona anteriormente una gran cantidad de líneas magnéticas que rodean a la bobina están viajando a través de la pared del crisol y no crearán potencia real pero sí potencia reactiva.

Para poder compensar esta potencia reactiva inductiva, un banco de capacitores es instalado en paralelo a la bobina de horno. Ya que la cantidad de potencia reactiva cambian con las condiciones del metal en el horno y con la condición del crisol, la mayor parte del banco de capacitores es conectable quedando distribuidos de la siguiente manera:

1. Banco fijo (conectados permanentemente).
2. Banco conectable bajo carga (varios pasos).
3. Banco conectable sin carga (varios pasos).

La secuencia para conexión o desconexión es diseñada de tal manera que siempre se aumenta o se resta la misma cantidad de KVAR. Con esto se logra que el factor de potencia sea garantizado a un mínimo de 0.98.

h) CONTACTOR DE TRANSFERENCIA

La completa eficiencia del equipo depende sobre el tipo de operación. Vaciando el metal en ollas pequeñas, cargando el horno continuamente por no tener una olla de carga con la capacidad requerida, tiempos excesivos para desescoriar, todo esto reducirá la eficiencia ya que tienen que hacerse con la potencia del horno fuera.

Para lograr la máxima utilización de una instalación, un segundo horno debe ser instalado y conectado a la fuente de potencia tan pronto como el primer horno ha completado su ciclo de fusión. El único tiempo muerto será el tiempo cuando se transfiere la potencia de un horno al otro. El tipo de contactor utilizado es para altas corrientes reactivas y motorizados.

i) INSTRUMENTACION

La instalación es equipada con un número de instrumentos, algunos son indicadores, otros indicadores y controladores.

Comenzando con la fuente de potencia, hay 3 transformadores de potencia instalados en el lado secundario del transformador. Esos transformadores son conectados a un selector en el tablero de control y que a la vez está conectado a un ampérmetro. Girando el selector a cualquiera de las fases A, B ó C, su respectiva corriente será indicada en el ampérmetro.

El ampermetro es de gran ayuda cuando se tienen problemas. Si por cualquier razón el controlador de capacitores no funciona correctamente, el factor de potencia puede ser corregido manualmente - observando las lecturas en el ampermetro de fases. Para un factor de potencia unitario las fases A y C deben tener el mismo valor de corriente. Si el factor de potencia es adelantado (capacitivo), la fase A indicará una corriente mayor; si el factor de potencia es de atraso (inductivo), la fase C tendrá un valor mayor de corriente. Algunas instalaciones tienen 3 ampérmetros uno para cada fase, aunque ésto no es necesario.

Otro instrumento indicador es el vóltmetro, que está conectado a un transformador de potencial. Este es un aparato indicador y controlador, su finalidad es la de controlar el voltaje para proteger a los capacitores de sobre voltaje, el límite superior se ajusta a 110% del voltaje nominal de los capacitores y que es el máximo transmisible. El límite inferior se ajusta a 28%, si al aguja indicadora alcanza cualquiera de los dos límites; ésta automáticamente desconecta el horno.

Un transformador de corriente conectado al circuito del horno se conecta también al ampérmetro del horno. Este transformador de corriente y el de potencial son usados para alimentar al registrador de KW, watt-hourímetro y al transductor del factor de potencia.

El monitor de resistencia a tierra tiene como finalidad la de medir la resistencia a tierra del sistema del horno; así también la resistencia entre la bobina del horno y el metal fundido, por medio de los electrodos de tierra instalados en el fondo del crisol.

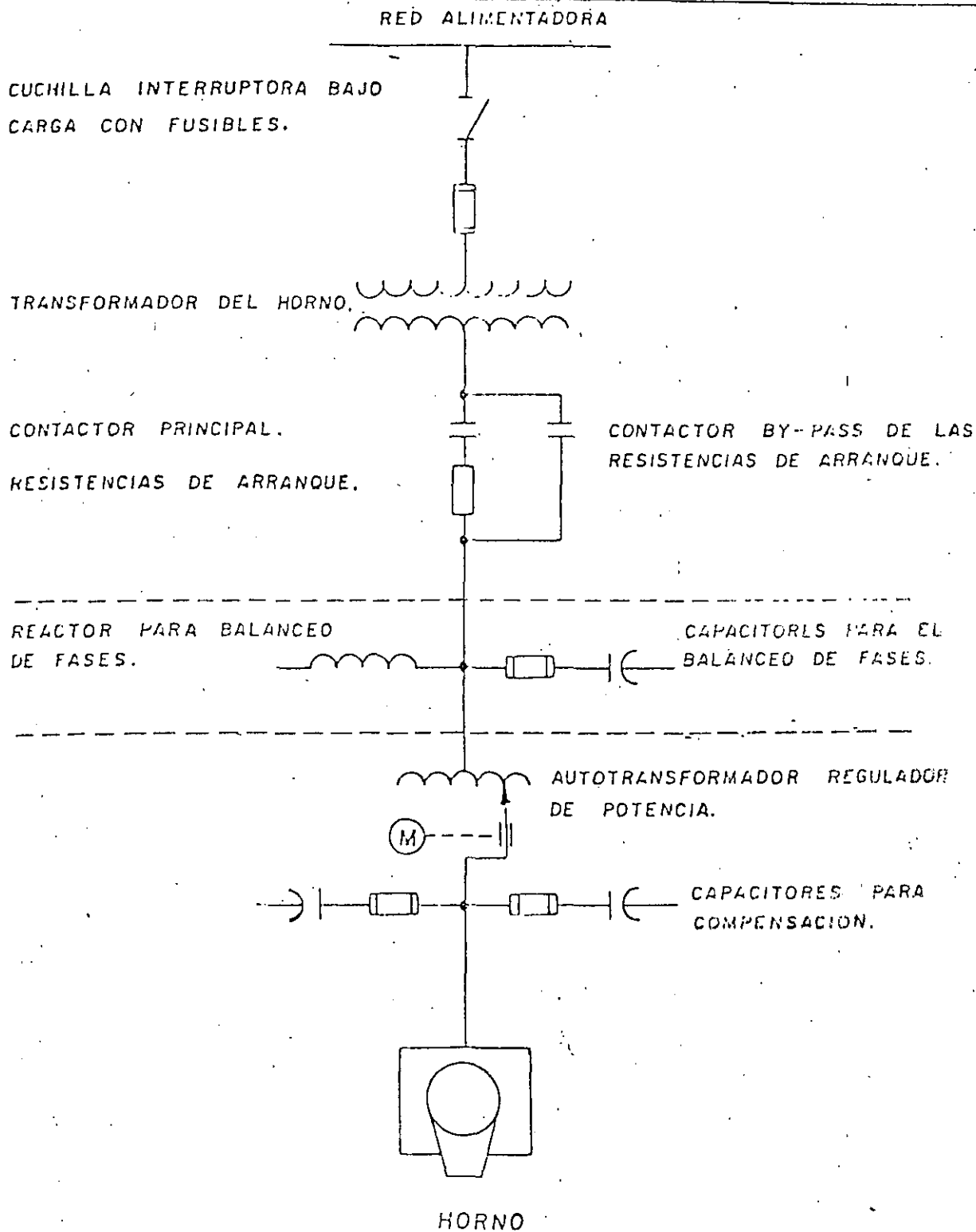


DIAGRAMA ELECTRICO ELEMENTAL

FIG. No. 1

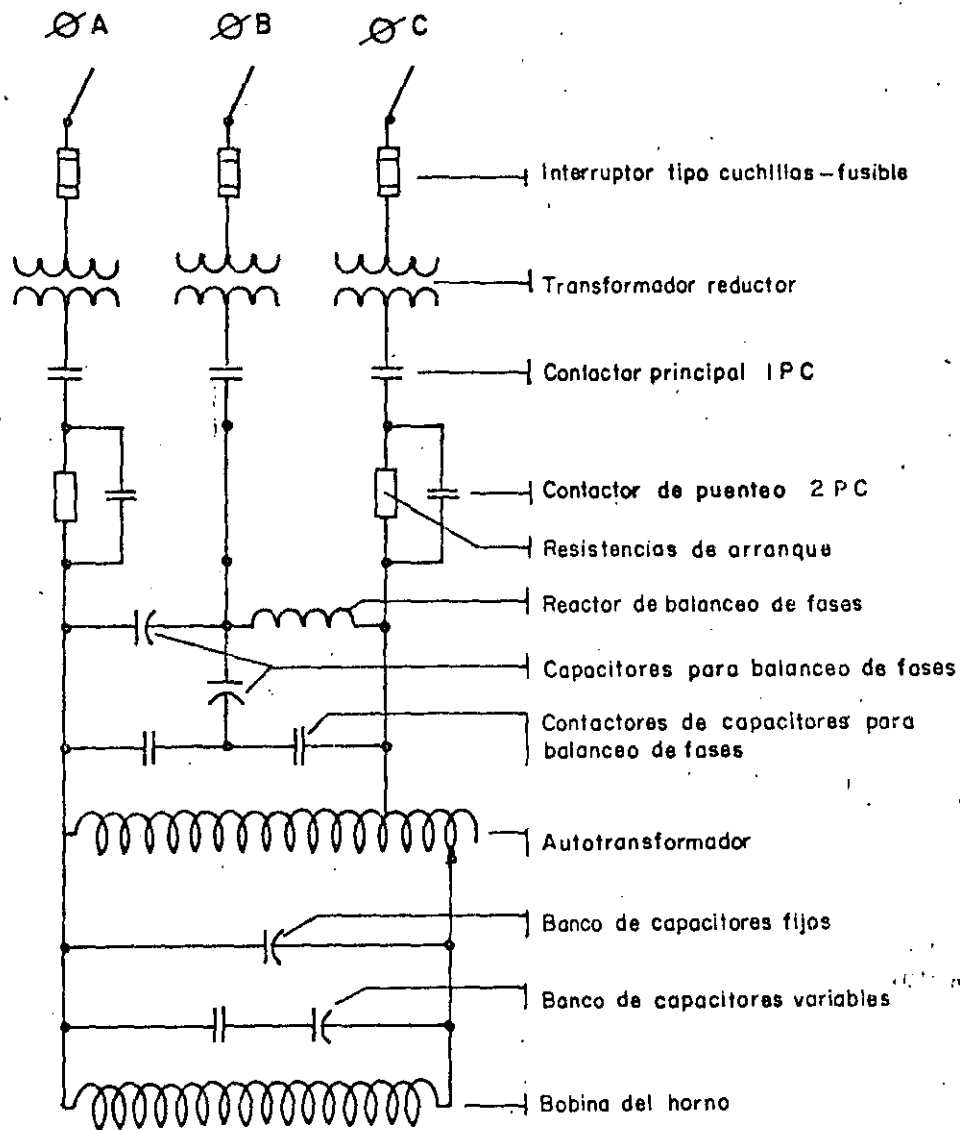


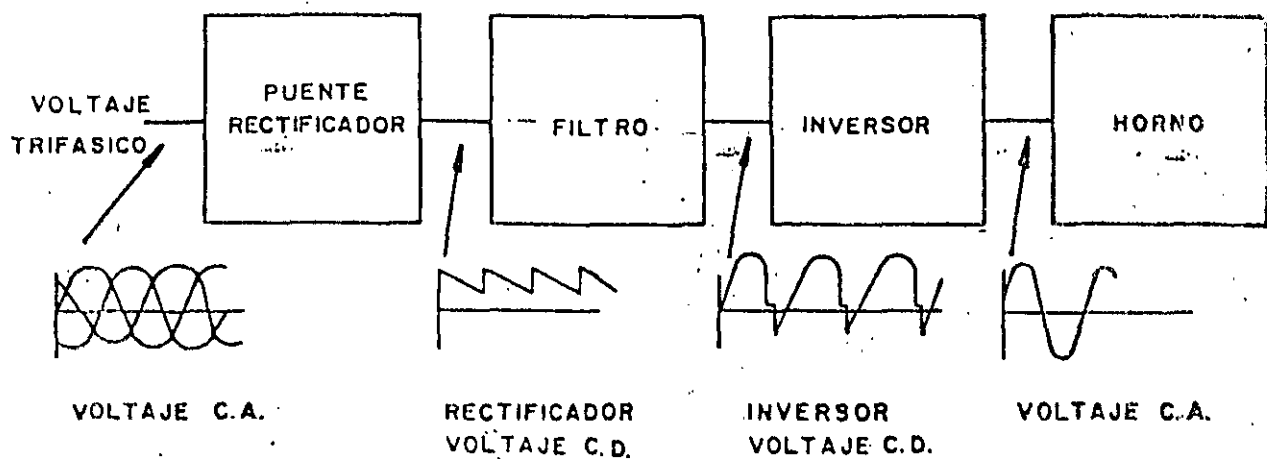
FIGURA 18

3. HORNO DE MEDIA FRECUENCIA

Principio básico de operación de la fuente de potencia del tipo "Thyromatic".

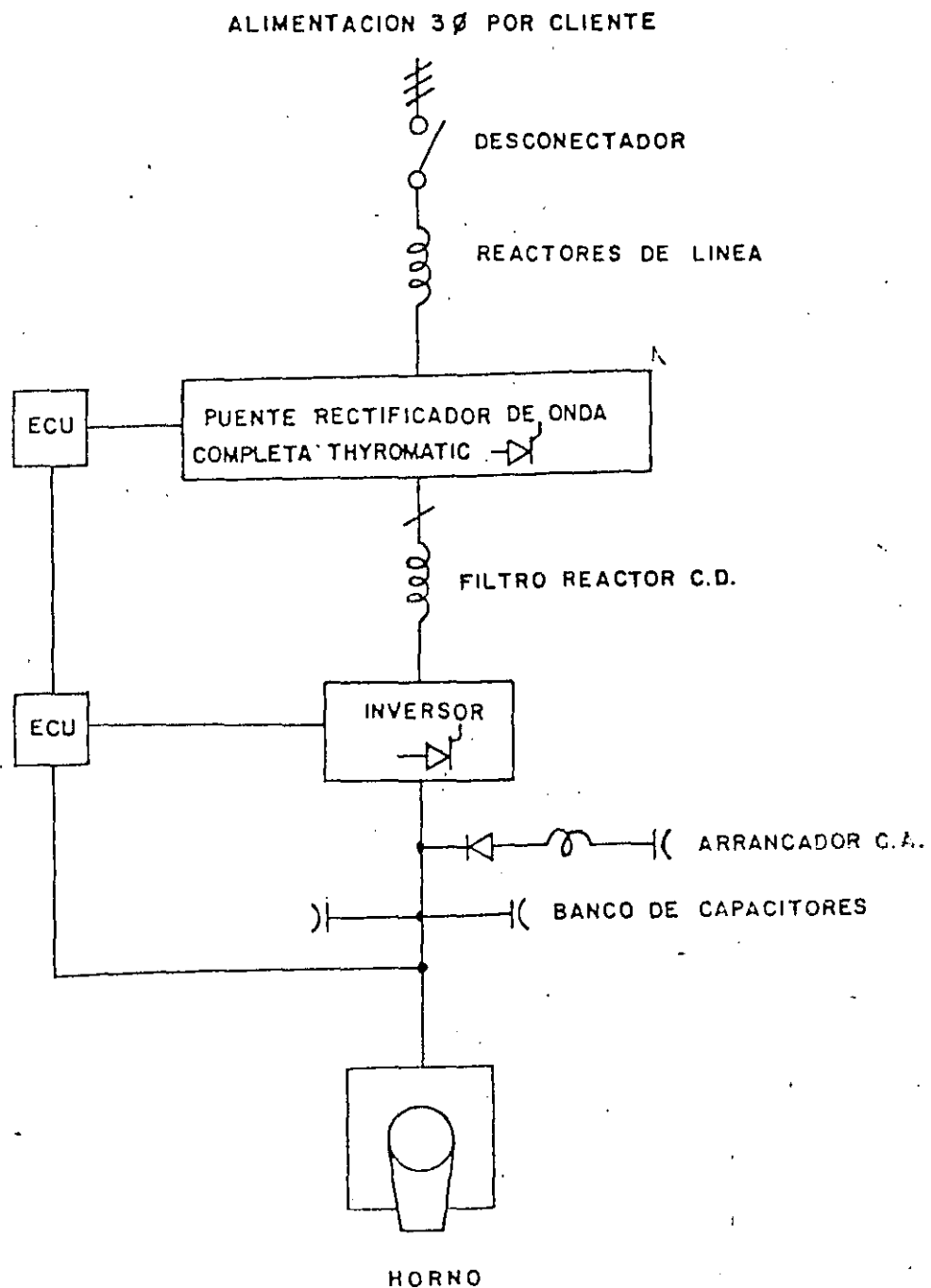
La fuente de potencia Thyromatic toma el voltaje de la línea de entrada trifásica y mediante el uso de interruptores electrónicos, llamados tiristores, hace lo siguiente:

1. Rectifica el voltaje trifásico dentro de un voltaje variable de corriente directa.
2. Filtra el voltaje de salida de CD del puente tiristor de onda completa.
3. Cambia este voltaje de corriente directa a un voltaje de frecuencia variable (CA) el cual es aplicado al horno. El dispositivo que lleva a cabo esto es el "inversor".



Operación del Sistema Completo y Diagrama Unifilar

Ahora que ya hemos introducido cada uno de los bloques del sistema, consideremos el Diagrama Unifilar de una unidad del horno Brown Boveri completa.



4. SISTEMA HIDRAULICO

El sistema hidráulico en una instalación del horno de inducción es relativamente simple. Una bomba de tipo paleta o de engranes conectada a un tanque o recipiente del fluido utilizado. Válvulas direccionales, válvulas de alivio y de control de flujo son utilizadas.

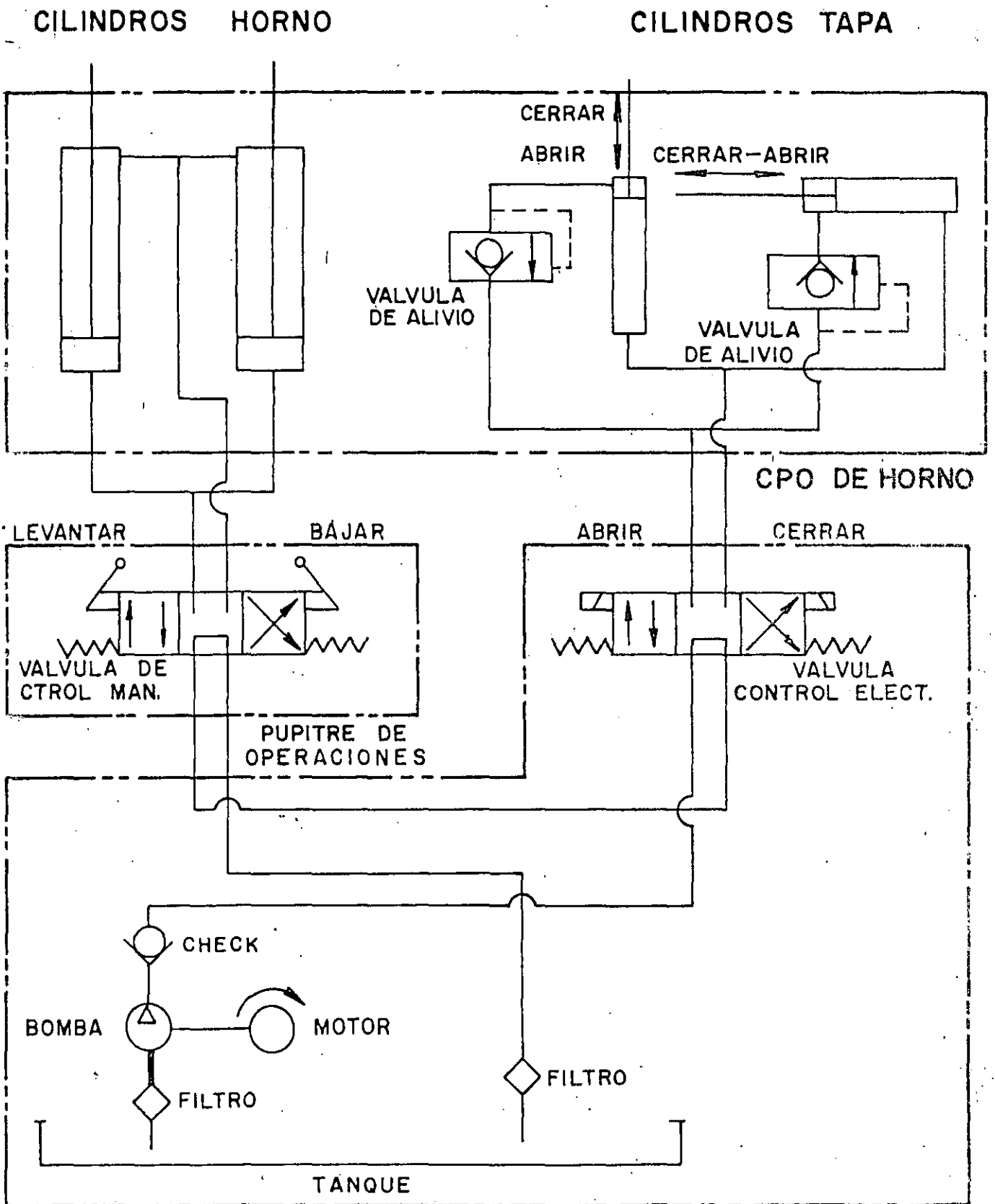
Para el basculamiento del horno se lleva a cabo por medio de dos cilindros operados por una válvula manual localizada en el pupitre del horno. La operación de la tapa es por medio de válvulas de solenoide.

Cada cilindro tiene una válvula de control de flujo para prevenir la caída del horno (VER DIAGRAMA ANEXO).

5. SISTEMA DE AGUA DE ENFRIAMIENTO

Las pérdidas por $I^2 R$, debido a la densidad de alta corriente en la bobina del horno y las pérdidas de calor a través de la pared del crisol hacen al agua de enfriamiento de la bobina necesario.

El sistema de enfriamiento usado en el horno es del tipo cerrado. Por lo tanto para enfriar el agua caliente que está dejando la bobina, un intercambiador de calor es instalado dentro del circuito y es del tipo evaporativo.



UNIDAD HIDRAULICA

DIAGRAMA HIDRAULICO

El agua de enfriamiento que pasa a través del horno debe tener ciertas cualidades;

SOLIDOS DISUELTOS	:	500 ppm ó menos.
SOLIDOS SIN DISOLVER	:	10 ppm ó menos.
FACTOR (PH) ALCALINA O ACIDA	:	6.5 a 8
CONDUCTIVIDAD	:	625 micro-mhos ó menos.
RESISTIVIDAD	:	1600 ohms / cm ²

Cuando el agua de enfriamiento no presenta estas especificaciones ocasionará problemas en el futuro. Cantidad excesiva de sólidos sin disolver origina atascamiento de los filtros. Más de 500 ppm de sólidos disueltos cambiará el agua química ó eléctricamente. Veremos primero el lado químico:

El factor PH determina la cantidad de iones de hidrógeno en el agua líquida. La escala del factor PH va de 0 a 14.

Factor PH de 0 a 7 hace que el agua sea ácida.

Factor PH 7 hace que el agua sea neutra.

Factor PH de 7 a 14 hace que el agua sea alcalina.

Si el agua está del lado ácida crea erosiones que finalmente destruirán la tubería.

Si el agua está del lado alcalina origina formación de lodos lo que ocasiona una reducción del flujo y consecuen-
temente una sobretemperatura del agua,

Si el agua no presenta nuestras especificaciones, un tra-
tamiento de agua tiene que usarse. El tipo de tratamiento
tiene que elegirse cuidadosamente porque mucha química ha
ce al agua más conductiva eléctricamente.

La conductividad y la resistividad que están relacionadas
una con otra son importantes porque la columna de agua --
en las mangueras debe tener una cierta resistencia, que -
no permita una diferencia de potencial entre la bobina del
horno y tierra. (VER DIAGRAMA ANEXO).

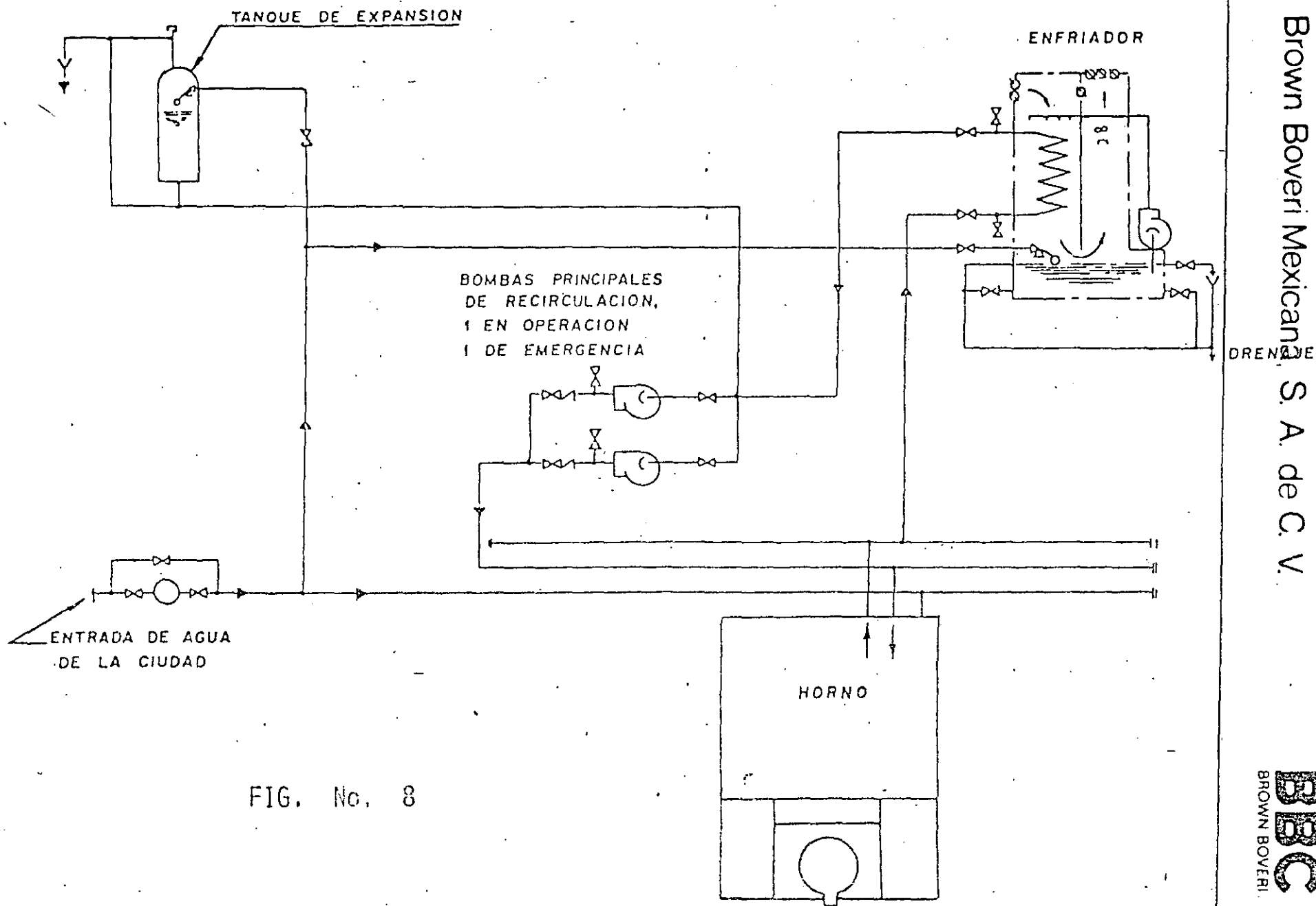


FIG. No. 8

Brown Boveri Mexicana S. A. de C. V.



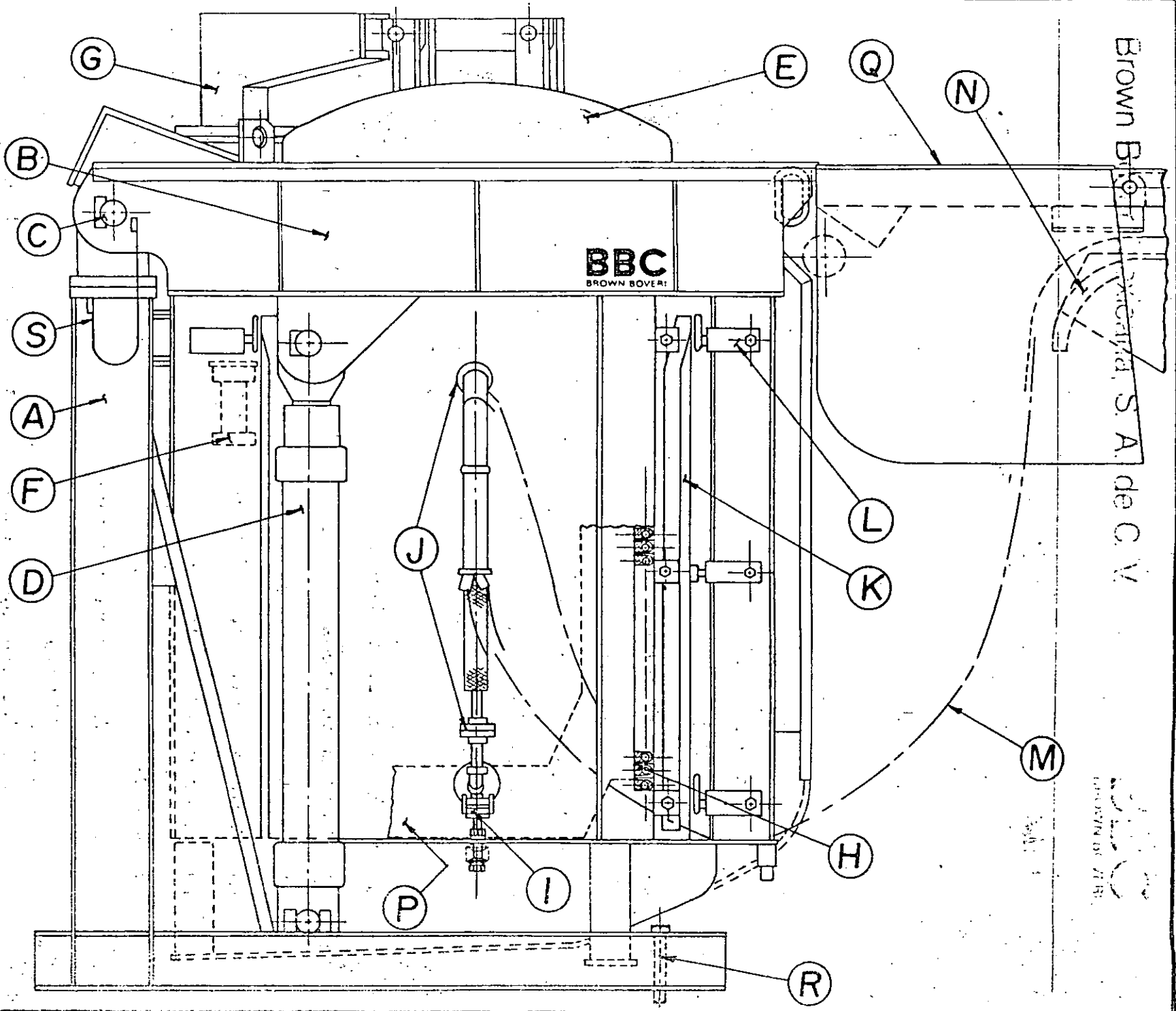
** 37 **

6. ENSAMBLE DEL HORNO

Descripción de la figura 1

- A) Armazón de volteo
- B) Cuerpo de horno
- C) Chumaceras de volteo
- D) Cilindro de volteo
- E) Tapa del horno
- F) Cilindro de la tapa
- G) Brazo de la tapa
- H) Bobina
- I) Soporte de la bobina
- J) Terminales de la bobina
- K) Yugos magnéticos
- L) Pernos de los yugos
- M) Cable de potencia enfriado por agua
- N) Soporte del cable
- P) Crisol
- Q) Plataforma trasera giratoria
- R) Ferno de anclaje
- S) Cable de tierra (del cuerpo del armazón de volteo)

Brown Boveri
S. A. de C. V.



ENSAMBLE DEL HORNO

FIG. 1

** 59 **

CONSTRUCCION Y REFRACTARIOS

CONSTRUCCION

El Horno de Inducción se compone de las siguientes partes principales :

Armazón de volteo, cuerpo de Horno, tapa con su mecanismo y cilindros para su accionamiento, bobina de inducción, yugos, cilindros de volteo, refractarios y cables enfriados por agua.

ARMAZON DE VOLTEO

Este soporte va anclado a la cimentación y es de construcción pesada, y que como su nombre lo indica soporta el Horno completo y sirve de apoyo para el volteo del mismo.

Este armazón tiene en su parte frontal dos columnas, las cuales -- tienen en su parte superior dos chumaceras con rodamientos de rótula que son las que sirven de centro de giro al Horno para el vaciado del metal ; estas columnas están soportadas en su parte inferior por vigas en las cuales se apoya la parte inferior de los cilindros de volteo además se encuentran las anclas que fijan el Horno a la cimentación, estas vigas y columnas están unidas entre sí por otros miembros estructurales para darle a todo el soporte una mayor rigidez.

El armazón de volteo tiene al frente unas láminas de acero que sirven para proteger al cuerpo de salpicaduras del metal fundido.

CUERPO DE HORNO

El cuerpo de Horno completamente ensamblado, consiste de las siguientes partes: Estructura de acero, yugos magnéticos, bobina, anillos de concreto, fondo de concreto, crisol, aislamientos y terminales de la bobina, tapa del Horno con su mecanismo y cilindros hidráulicos para su accionamiento.

La estructura de acero la componen varias columnas de viguetas unidas entre sí tanto en su parte inferior como en la superior por anillos formados de placa de acero, en la parte inferior además tiene un piso abombado torisférico para alojar el concreto refractario.

En el anillo inferior se encuentran localizados los soportes de la bobina, los cuales tienen una serie de roldanas cónicas que actúan como muelles para absorber las dilataciones y vibraciones de la bobina, este soporte está hecho de material antimagnético ya que se encuentran expuestos a la corriente magnética que produce la bobina.

Las columnas tienen integradas los apoyos de los tornillos que aprietan a los yugos contra la bobina; aquí se cuenta también con roldanas cónicas para asegurar el apriete constante de los tornillos.

YUGOS MAGNETICOS

Los yugos magnéticos están formados por laminillas de acero al silicio de grano orientado, las laminillas están colocadas de tal manera que tiene el radio que conforma el aislante de la bobina, ya que se montan alrededor de la bobina.

Los yugos tienen dos funciones :

- 1o. Guiar las líneas de fuerza del campo magnético por el exterior del crisol para evitar pérdidas; y
- 2o. Dar a la bobina y al crisol mayor resistencia mecánica en el sentido radial.

BOBINA

La bobina y el crisol forman prácticamente el corazón del Horno.

La bobina está formada por un tubo de cobre extruido de sección especial, de tal manera que puede ser enfriada con agua.

Entre espira y espira de la bobina se encuentran segmentos aislantes convenientemente separados para asegurar la salida de la humedad del recubrimiento refractario, lo cual permite un rápido y uniforme sinterizado del crisol.

La bobina debe ser probada hidrostáticamente antes de ser instalada.

Los aislantes de la bobina son cartón asbesto y cinta de fibra de vidrio.

Las terminales de la bobina están preparadas para recibir los cables de potencia que son enfriados por agua. Tanto los cables como la bobina, tienen en su extremo bridas de bronce selladas para no permitir la salida del agua y asegurar un buen contacto para la transmisión de la energía eléctrica.

TAPA DEL HORNO

Esta tapa está hecha de placa de acero con forma abombada torisférica y en su interior colocado el concreto refractario, en la parte superior de la tapa se encuentran soldadas unas orejas, de donde se sujeta a un brazo que es el que la suspende y la mueve según sea el requerimiento; este brazo actúa como una palanca con apoyo en el centro, y en el otro extremo de la palanca o brazo actúa el mecanismo para darle movimiento.

Este mecanismo de accionamiento de la tapa, consta de dos cilindros hidráulicos, uno horizontal y otro vertical; el accionamiento de estos cilindros es como sigue: Estando la tapa cerrada y se quiere abrir :

1o. Se acciona el cilindro vertical, éste hace que la tapa se levante lo suficiente como para que cuando la tapa gire, ésta no roce con el cuerpo y

20. Se acciona el cilindro horizontal, haciendo girar a la tapa que está apoyada en la columna del mecanismo, esta columna, tiene en su interior dos rodamientos, los cuales facilitan notablemente este movimiento.

La tapa abre lo suficiente como para dejar completamente libre el crisol para las maniobras de carga del Horno.

Los cilindros tienen al final de la carrera un amortiguamiento que hace que al empezar y al finalizar el movimiento no tengan acciones bruscas ya que éstas producirían grietas en el refractario de la tapa.

CILINDROS DE VOLTEO

Los cilindros de volteo tienen como fin voltear el Horno para vaciar la carga una vez terminado el ciclo de fusión, el ángulo de giro puede ser de 95°.

Estos cilindros son dos y se encuentran a los lados del cuerpo del Horno, tienen en sus extremos rodamientos de rótula, son muy robustos ya que el volteo del Horno con todo el material fundido representa grandes cargas y trabajo pesado y continuo.

Para voltear el Horno se aplica presión hidráulica a los cilindros y para regresar a su posición original lo hace por el propio peso del Horno, también en estos cilindros tenemos un amortiguamiento al final de la carrera ya que los impactos que se producirían al no existir este amortiguamiento repercutirían directamente a todos los refractarios usados en el Horno y muy particularmente al crisol, pudiendo ésto causar graves daños al cuerpo y a la bobina.

Los cilindros de volteo y de accionamiento de la tapa son accionados desde un pupitre de operaciones colocado en la parte superior de la plataforma principal donde se domina perfectamente la trayectoria del metal al vaciar el Horno.

CABLES ENFRIADOS POR AGUA

Estos cables son los que alimentan a la bobina de la corriente eléctrica para lograr la potencia necesaria, deben ser huecos y cubiertos de hule para permitir la circulación de agua de enfriamiento, teniendo además gran flexibilidad para permitir el volteo del Horno.

REFRACTARIOS

El cuerpo del Horno tiene diferentes refractarios, los cuales se moldean dentro del cuerpo mismo, estos refractarios previenen los sobrecalentamientos en la estructura de acero del cuerpo de Horno, aseguran una mejor operación del crisol y disminuyen las pérdidas de calor.

Del estado de refractarios de un Horno dependen su producción y la seguridad de la instalación, si los refractarios están en malas condiciones pueden producirse muchos problemas.

FONDO DE CONCRETO

Sobre el fondo abombado de acero del cuerpo del Horno se colocará un piso adecuado para soportar grandes cargas.

El peso total del refractario, crisol y de la carga del Horno serán soportadas por este piso.

Este fondo de concreto dura varios años, a menos que sea dañado por metal escurrido del fondo del Horno.

ANILLO INFERIOR DE CONCRETO

Soportando el crisol entre el extremo inferior de la bobina y la capa superior del fondo de concreto está el anillo inferior de concreto.

Dependiendo de la operación del Horno este anillo deberá ser reemplazado cada uno a dos años.

ANILLO SUPERIOR DE CONCRETO

Soportando el crisol entre el extremo superior de la bobina de cobre y la plataforma del Horno incluyendo el pico de colada, está el anillo superior de concreto.

Dicho anillo, además de proporcionar un soporte radial al crisol ayuda a mantener verticalmente la bobina en su lugar.

Si este anillo está desgastado, la bobina será empujada hacia arriba.

El desgaste del anillo es causado por :

- 1.- La Olla de carga golpea demasiado fuerte en la superficie del anillo.
- 2.- Calor excesivo sobre la superficie más gastada del recubrimiento.

En contraste con el anillo inferior mencionado antes, el anillo superior gastado únicamente en su superficie, puede ser reparado fácilmente por composturas parciales. Esto se puede llevar a cabo un cierto número de veces hasta que las condiciones generales del anillo requieran que se reemplace totalmente.

Para los anillos de concreto, se recomienda usar un concreto -- extrafuerte con bajo contenido de hierro. Se requiere pureza en esta mezcla, porque la bobina está en contacto físico con ella.

RECUBRIMIENTO PARA LA BOBINA

La masa para la bobina es una mezcla de 30% de cemento de alúmina y 70% sílice. Revuelto con agua se hace una mezcla y con una paleta se cubre la superficie de la bobina del Horno.

La masa sirve para proteger la bobina del metal que se pueda colar y de la alta temperatura del crisol.

Dependiendo de la operación del Horno y de la cantidad de metal que se coló, puede suceder que al cabo de un año de vida de la masa, ésta requiera de una reparación.

El material con que se hace la masa para la bobina, una vez que se ha mezclado con el agua, se seca rápidamente, es por esto -- que se deben mezclar pequeñas cantidades y utilizarlas rápidamente, emparejando la superficie con una regla de aluminio del tamaño conveniente.

El material sílica, usado frecuentemente en el crisol, puede -- ser preparado con anterioridad utilizando una malla para cernir del # 18 ó # 20 y usando solo el material cernido.

RECUBRIMIENTO DE ASBESTO

El propósito del recubrimiento de asbesto, colocado entre la masa de la bobina y el crisol, es lograr un buen aislamiento térmico y procurar espacio para la expansión del crisol.

TAPA DEL HORNO

El diseño de la estructura de acero de la tapa del Horno está -- hecho para utilizar refractario apisonado ó de concreto ya que tiene convenientemente dispuestas una serie de anclas para sostener el concreto refractario.

PICO DE COLADA

Se puede obtener una cierta variedad de refractarios para altas temperaturas y con resistencia física bastante aceptable. Este tipo de refractarios se recomienda para recubrir el pico de colada.

Es preferible usar un refractario plástico ya que su aplicación es más fácil y se han obtenido buenos resultados, pues es fácil separar la escoria que se adhiere al pico de colada.

PLATAFORMA

La plataforma del Horno de Inducción está expuesta al calor proveniente directamente de la parte superior del crisol, de la tapa al abrir ésta para cargar el Horno y de las Ollas de Carga cuando la carga está precalentada. Estas circunstancias hicieron que se usara un piso refractario en la plataforma, este refractario no es de tanta calidad como se requiere en las otras partes del Horno, pero debe ser resistente a impactos.

CRISOL

Este es el refractario más importante en el Horno, debido a que es el que contiene el metal fundido y por esto es al que mayor cuidado debemos prestar, ya que la producción del Horno depende en gran parte del estado del crisol.

7. INDUCTANCIA ELECTROMAGNETICA.- o el coeficiente de inducción propia, L es definido de cualquiera de las siguientes ecuaciones fundamentales:

$$e = L \frac{di}{dt}$$

$$w = \frac{i^2 L}{2}$$

La primera ecuación expresa que el voltaje (e) inducido es proporcional al cambio de la corriente (i) en función del tiempo (t) en el circuito, y (L), el coeficiente de proporcionalidad llamada Inductancia Propia.

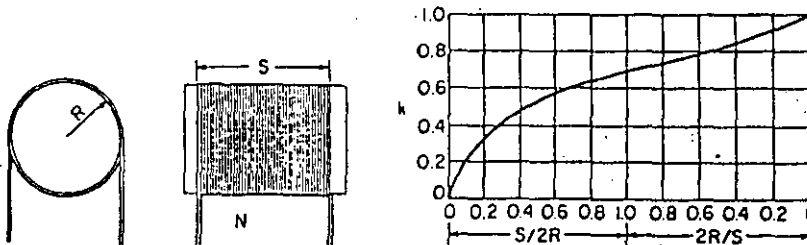
En la segunda ecuación, la energía magnética (w) almacenada en el circuito es proporcional al cuadrado de la corriente (i), donde (L) es el coeficiente de proporcionalidad. Las unidades de las ecuaciones anteriores son:

(e = volts); (i = Amperes); (t = segundos); (w = joules) y (L = Henry).

INDUCTANCIA DE UN SOLENOIDE FINITA,- es dada por la siguiente ecuación:

$$L = k \frac{4 \cdot 10^{-7} N^2 R^2}{S} \text{ (Henry).}$$

Donde el valor de k para varias relaciones de R y S son dadas por la siguiente figura: Donde (N = número de vueltas); (R = radio); (S = long.)



8. SELECCION DE POTENCIA Y FRECUENCIA

Es muy común que en la práctica se use densidades de potencia de 250-300 KW/TON. en un horno de inducción a 60 HZ. Esto permite que la agitación ayude a mantener el mismo analisis químico en todo el baño metálico.

Para calcular las densidades de potencia para hornos a frecuencia mayor y que proporcione el mismo efecto de agitación que los hornos a frecuencia de la red, puede utilizarse la siguiente fórmula:

$$\frac{P1}{P2} = \sqrt{\frac{F2}{F1}} \quad \Longrightarrow \quad P1 = P2 \sqrt{\frac{F2}{F1}}$$

Donde:

- P1 = Densidad de Potencia a Frecuencia Mayor
- P2 = 250 KW / Ton. (Densidad de Potencia a 60 Hz.).
- F1 = 60 Hz. (Frecuencia de la Red).
- F2 = Frecuencia Mayor.

Sustituyendo valores:

$$P1 = 250 \sqrt{\frac{F2}{60}} \quad \Longrightarrow \quad P1 = 32,27 \sqrt{F2}$$

A continuación proporcionamos unos valores para determinadas frecuencias:

Frecuencia	Densidad de Potencia
240 Hz	500 KW / Tón.
300 Hz	559 KW / Ton.
600 Hz,	790 KW / Ton,
1000 Hz,	1020 KW / Ton,

9. CALCULO DE LA RELACION DE POTENCIA.

La altura del menisco es dada por la fórmula:

$$H = \frac{P \times n \times 10^2}{\ell \times d \times \sqrt{f}} \times \frac{1}{r \sqrt{\rho}}$$

Donde:

H = Altura del Menisco en cm.

P = Relación de Potencia del Horno en KW.

n = Eficiencia del Horno de Porcentaje.

ℓ = Altura del la Bobina desde el fondo del Horno en cm.

d = Diámetro interior del Horno en cm

r = Peso específico del Metal (Kg/dm^3).

ρ = Resistividad del Metal.

f = Frecuencia en Hz.

Para un Horno dado y un metal determinado n, ℓ , d, r y ρ pueden suponerse constantes:

$$H = K \frac{P}{\sqrt{f}}$$

Para obtener el mismo efecto del Menisco en dos Hornos del mismo tamaño, colocaremos sufijos 1 y 2 para distinguir un Horno del otro:

$$\text{Se quiere } H_1 = H_2$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \frac{P_1 \sqrt{f_2}}{P_2 \sqrt{f_1}}$$

$$\text{de donde : } P_1 \sqrt{f_2} = P_2 \sqrt{f_1}$$

$$P_2 = P_1 \sqrt{\frac{f_2}{f_1}}$$

Ejemplos:

Si $f_2 = 600 \text{ Hz}$, y $f_1 = 60 \text{ Hz}$,

se tiene:

$$P_2 = P_1 \sqrt{\frac{600}{60}} = 3.16 P_1$$

$$\underline{\underline{P_2 = 3.16 P_1}}$$

Si la relación de Potencia es conocida para 60 Hz, entonces para 600 Hz la relación de potencia puede calcularse para obtener la misma altura del menisco,

Ejemplos:

a). Si $P_1 = 250 \text{ KW}$ para $f_1 = 60 \text{ Hz}$,

$$P_2 = 3.16 \times 250 \text{ KW} = 790 \text{ KW para } 600 \text{ Hz},$$

b). Si $P_1 = 300 \text{ KW}$ para $f = 60 \text{ Hz}$.

$$P_2 = 3.16 \times 300 \text{ KW} = 948 \text{ para } 600 \text{ Hz}.$$

En donde P representa el rango ideal de la densidad de potencia para la frecuencia del Horno.

* * * *

10, CALCULO DEL MENISCO

El efecto de Agitación de un Horno puede ser medido en términos - de la altura del Menisco.

$$H = \frac{P \times n \times 10^2}{\ell \times d \times \sqrt{f}} \times \frac{1}{r\sqrt{\rho}}$$

Ejemplo:

a). Un horno con capacidad de 1000 Kg y con los siguientes datos:

$$P = 750 \text{ KW} \quad ; \quad f = 600 \text{ Hz.} \quad n = 81\%$$

$$\ell = 56,7 \text{ cm.} \quad ; \quad d = 53,4 \text{ cm.} \quad r = 6,8 \text{ Kg/dm}^3$$

$$\rho = 1,8 \text{ ohms - cm.}$$

$$H = \frac{750 \times 81 \times 10^2}{56,7 \times 53,4 \sqrt{600}} \times \frac{1}{6,8 \sqrt{1,8}} = 8,97 \text{ cm.}$$

b). Para un Horno con capacidad de 1000 Kg.:

$$P = 750 \text{ KW} \quad ; \quad f = 1000 \text{ Hz.} \quad n = 81\%$$

$$\ell = 56,7 \text{ cm} \quad ; \quad d = 53,4 \text{ cm.} \quad r = 6,8 \text{ Kg/dm}^3$$

$$\rho = 1,8 \text{ ohms - cm}$$

$$H = \frac{750 \times 81 \times 10^2}{56,7 \times 53,4 \sqrt{1000}} \times \frac{1}{6,8 \sqrt{1,8}} = 6,36 \text{ cm.}$$

c). Para un Horno con capacidad de 1500 Kg.

$$P = 750 \text{ KW} \quad ; \quad f = 600 \text{ Hz} \quad ; \quad n = 81\%$$

$$l = 63.7 \text{ cm} \quad ; \quad d = 61.5 \text{ cm} \quad ; \quad r = 6.8 \text{ Kg/dm}^3$$

$$\rho = 1.8 \text{ ohms - cm}$$

$$H = \frac{750 \times 81 \times 10^2}{63.7 \times 61.5 \sqrt{600}} \times \frac{1}{6.8 \sqrt{1.8}} = 6.9 \text{ cm.}$$

Conclusión:

1. Un horno de 1000 Kg - 750 KW - 600 Hz proporciona el efecto de -
Agitación equivalente a un Horno de 60 Hz.
2. Un horno de 1000 Kg - 750 KW - 1000 Hz, así como un Horno, de 1500 Kg. -
750 KW - 600 Hz tendrán una agitación muy por abajo de un Horno equi-
valente a 60 Hz.
3. Cualquier variación será una falla en la propia Homogeneidad y aleación
del baño metálico

* * * *

11. CALCULO DE LA PRODUCTIVIDAD PARA UNA POTENCIA DADA.

$$A = B \left(\frac{J \cdot (I) - G - F}{D} \right)$$

Donde:

- A = Productividad requerida en (Ton / Hr),
- B = Utilización del Horno en (%)
- C = Velocidad de fusión del Horno en (Ton/Hr),
- D = Contenido de calor (Entalpía) del metal (KWH).
- E = Potencia disponible en (KW),
- F = Pérdidas por tapa abierta (KWH),
- G = Pérdidas por radiación (KWH),
- H = Potencia inducida (KW)
- I = Eficiencia de la bobina (%)
- J = Potencia necesaria (KW)

Ejemplos:

Un horno con una potencia de 3650 KW, eficiencia de la bobina 80%, pérdidas de calor por radiación 120 KWH; pérdidas de calor por tapa abierta 400 KWH; entalpía del acero a 1540° C es 359 KWH/Ton.; factor de utilización del horno es 75%; calcular la productividad:

a) Potencia inducida (H).

$$H = J \times I = (3650 \text{ KW}) (0,8) = 2920 \text{ KW},$$

b) Potencia disponible (E).

$$E = H - G - F = 2920 - 120 - 400 = 2400 \text{ KW}$$

c) Velocidad de fusión (C):

$$C = \frac{E}{D} = \frac{2400 \text{ KW}}{359 \text{ KWH/T}} = 6.69 \text{ Ton/hr.}$$

d) Producción resultante:

$$A = C \times B = 6.69 \times 0.75 = 5.01 \text{ Ton/hr.}$$

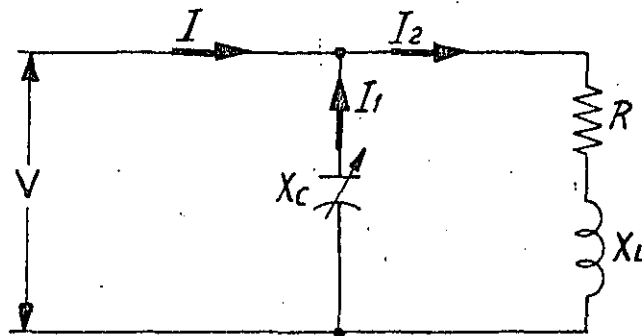
Podemos concluir que hay dos factores que influyen directamente en el resultado de la productividad y son:

F = Pérdidas por tapa abierta, esto quiere decir que hay que minimizar el tiempo con tapa abierta (cargado, desescoriado, vaciado ajuste químico y control de temp.).

B = Utilización del horno, quiere decir que hay que reducir los tiempos muertos a un mínimo, que consecuencia del punto anterior ya que para desescoriar, cargar, vaciar, etc., debe hacer se con la potencia del horno fuera.

12. EFECTO DEL DESGASTE DEL CRISOL DE UN HORNO DE INDUCCION EN EL SISTEMA ELECTRICO

El desgaste del crisol origina que cambien los parámetros eléctricos del sistema, principalmente la resistencia equivalente y la inductancia. Por ejemplo, una reducción en el espesor del crisol incrementa el acoplamiento magnético entre la bobina y el baño metálico resultando una inductancia más baja. Consideremos el siguiente circuito del horno simplificado:



Donde:

- R = Resistencia equivalente consistiendo de la resistencia del baño metálico (carga secundaria) y resistencia de la bobina (primario).
- XL = Reactancia equivalente consistiendo de la reactancia del baño metálico (carga secundaria) y reactancia de la bobina (primaria).
- XC = Reactancia capacitiva conectada a través de la bobina del horno, para compensar el factor de potencia.
- V = Voltaje aplicado a la bobina del horno.
- I = Corriente del horno después de la compensación del factor de potencia (componente activa).

I_1 = Corriente en banco de capacitores

I_2 = Corriente en la bobina

La resistencia y reactancia equivalente varían dependiendo de las condiciones del baño del horno, (temperatura, nivel del baño metálico, material, análisis, etc). La reactancia capacitiva es variable para que la reactancia inductiva de la bobina sea compensada durante la operación y el factor de potencia del sistema es mantenido en la unidad; sin embargo, para estudiar los efectos del desgaste del crisol, debemos considerar que las condiciones no cambian:

Tomando como ejemplo un horno IT7P de 13,5 Ton. capacidad de crisol. Ver gráfica P-I-2466.

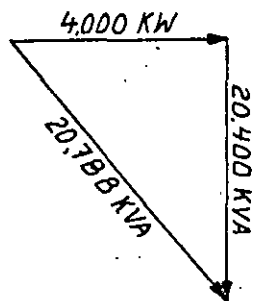
Con crisol nuevo:

Espesor del crisol : 140 mm.

Voltaje : 2950 V.

Potencia activa (P_A): 4000 KW.

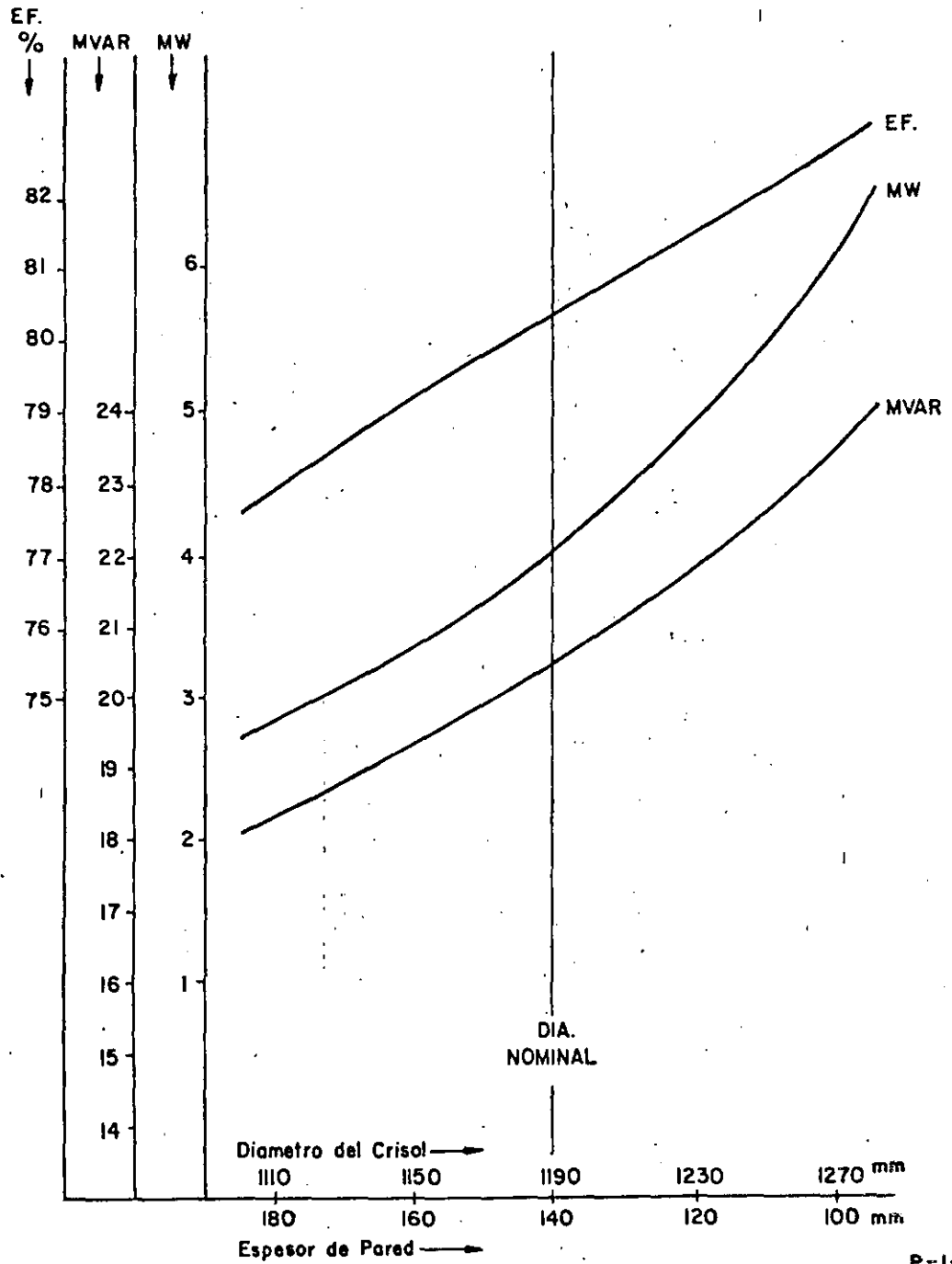
Potencia reactiva : 20,400 KVA.



$$\begin{aligned} \text{Potencia total} &= \sqrt{(4000)^2 + (20,400)^2} \\ &= 20,788 \text{ KVA.} \end{aligned}$$

$$I = \frac{40,000 \text{ KW}}{2,950 \text{ V}} = 1,356 \text{ A.}$$

$$I_1 = \frac{20,400 \text{ KVA}}{2,950 \text{ V}} = 6,915 \text{ A.}$$



P-1-2466

HORNO IT7P, 4000 KW

E = 2950 V. f = 60 Hz.
 dl = 1470 mm. ll = 1497 mm.
 n = 41 31 x 39 mm.
 HIERRO GRIS = 2 OHM mm²/m

$$\vec{I}_2 = \vec{I} + \vec{I}_1 \quad \text{de donde} \quad I_2 = \sqrt{I^2 + I_1^2}$$

$$I_2 = \sqrt{(6,915)^2 + (1,356)^2} = 7,047 \text{ A.}$$

$$R = \frac{P_A}{I_2^2} = \frac{4,000 \text{ KW}}{(7,047)^2} = 0.0805 \text{ ohms.}$$

$$X_L = \frac{P_R}{I_2^2} = \frac{20,400 \text{ KVA}}{(7,047)^2} = 0.4108 \text{ ohms.}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = 0.4186 \text{ ohms.}$$

Con un desgaste de crisol a sus dos terceras partes, de la gráfica -
tenemos:

Esesor del crisol	:	100 mm
Voltaje	:	2950 V.
Potencia activa	:	6300 KW.
Potencia reactiva	:	23400 KVA.

$$\text{Potencia total} = \sqrt{(6,300)^2 + (23,400)^2} = 24,230 \text{ KVA.}$$

$$I = \frac{6,300 \text{ KW}}{2,950 \text{ V}} = 2,136 \text{ A.}$$

$$I_1 = \frac{23,400 \text{ KVA}}{2,950 \text{ V}} = 7,932 \text{ A.}$$

$$I_2 = \sqrt{(2,136)^2 + (7,932)^2} = 8,214 \text{ A.}$$

$$R = \frac{6,300 \text{ KW}}{(8,214)^2} = 0,0938 \text{ ohms.}$$

$$X_L = \frac{23,400 \text{ KVA}}{(8,214)^2} = 0,3468 \text{ ohms,}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = 0.3593 \text{ ohms,}$$

Es obvio de lo anterior que la potencia se aumenta considerablemente cuando el crisol se reduce en 2/3 partes con el voltaje constante. - Esto puede atribuirse a lo siguiente:

- 1) Con el acoplamiento magnético fortalecido, la la reactancia inductiva se reduce, la impedancia total se reduce de (0,4186 a 0,3593 ohms) y la corriente a través de la resistencia equivalente se incrementa,
- 2) La resistencia equivalente se incrementa (de 0,0805 a 0,0938 ohms), ya que hay más metal en el horno debido al aumento del diámetro del crisol,
- 3) La eficiencia de la bobina se incrementa debido a la reducción de la distancia entre el metal y al bobina.
Sin embargo, no es práctico permitir que la potencia del horno se -- incremente arriba de un límite. Por ejemplo: éste horno está diseñado para operar a su máxima potencia 4000KW. Por lo tanto, el voltaje de la bobina tiene que reducirse cuando el desgaste del crisol toma lugar,

Limitando a la potencia a 4000 KW.

Espesor del crisol 100 mm

Potencia activa 4000 KW,

$$I_2 = \sqrt{\frac{P \text{ activa}}{R}} = \sqrt{\frac{4000 \text{ KW}}{0,0938}} = 6,530 \text{ A,}$$

$$\begin{aligned} \text{Potencia Reactiva} &= I_2^2 X_L = (6,530)^2 \times 0.3468 \\ &= 14,788 \text{ KVA.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Caída de voltaje en la resistencia} &= I_2 R = 6,530 \times 0.0938 \\ &= 612.5 \text{ Volts.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Caída de voltaje en la reactancia } I_2 X_L &= 6,530 \times 0.3468 \\ &= 2,265 \text{ Volts.} \end{aligned}$$

$$\text{Voltaje a través de la bobina } \sqrt{(612.5)^2 + (2,265)^2} = \underline{\underline{2,346 \text{ V}}}$$

Para la misma potencia (4000 KW), la potencia reactiva con crisol desgastado es considerablemente menor que con crisol nuevo (crisol desgastado 14,788 KVA, crisol nuevo 20,400 KVA) y es el resultado del mejor acoplamiento magnético.

Sin embargo, no es práctico ni económico instalar capacitores con diferentes relaciones de voltaje, por ejemplo, un banco relacionado a 2,346 V. La práctica común es usar capacitores relacionados al voltaje más alto. Como el crisol se desgasta, el voltaje será reducido para limitar la potencia. Esto reduce los KVAR de los capacitores en relación del cuadrado del voltaje.

Por lo que se necesita conectar más capacitores a través de la reactancia del horno. En el caso del IT7P la capacidad instalada es -- 20,400 KVA a 2,950 V. Con el crisol nuevo los requerimientos de capacitores son 20,400 KVA a 2,950 V y 4000 KW.

Con dos terceras partes de desgaste del crisol, el voltaje tiene que reducirse a 2,346 V. y la capacidad del banco de capacitores a este voltaje se reduce a 12,900 KVA. De los cálculos anteriores establecimos que la potencia reactiva para el horno con crisol desgastado era 14,788 KVA. Esto puede entenderse de que no se cuenta con suficientes capacitores para el desgaste mencionado, esto es - cierto, sin embargo, es prácticamente imposible tener un desgaste uniforme en todo el crisol. Ya que el desgaste no es uniforme, nunca bajaremos el voltaje a 2.346 V, el voltaje más bajo con 4000 KW - es 2,650 V.

Bajo estas condiciones, es justificable el proporcionar el banco de capacitores ligeramente menor:

Calculemos los parámetros para 2,650 V.

Suponiendo que todos los capacitores están conectados:

$$\text{Potencia Reactiva} = \left(\frac{2650 \text{ V}}{2950 \text{ V}} \right)^2 \times 20,400 \text{ KVA} = 16,460 \text{ KVA.}$$

$$\text{Potencia Activa} = 4,000 \text{ KW.}$$

$$I = \frac{4,000 \text{ KW}}{2,650 \text{ V}} = 1,510 \text{ A.}$$

$$I_1 = \frac{16,460 \text{ KVA}}{2,650 \text{ V}} = 6,210 \text{ A.}$$

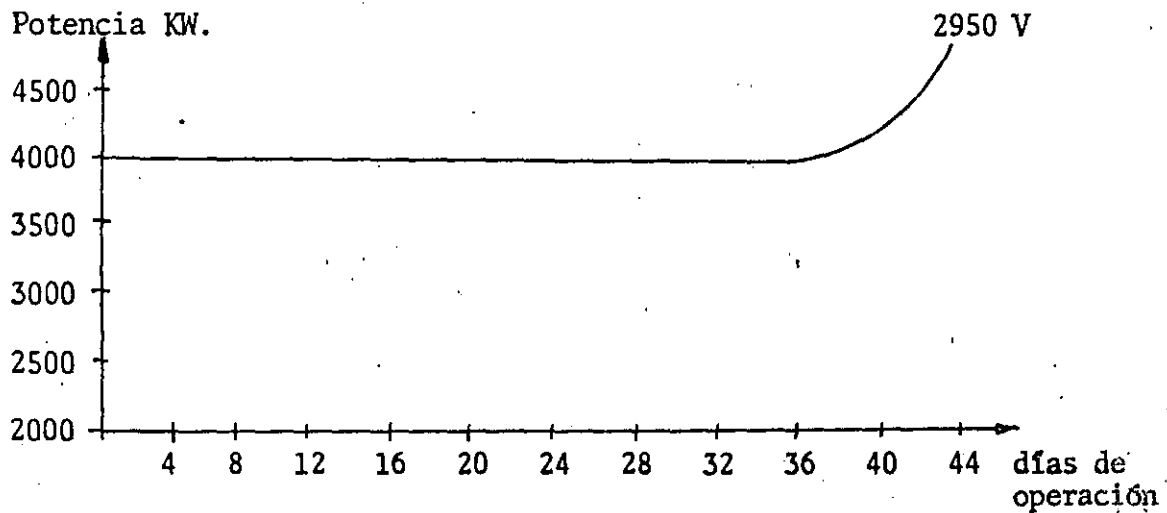
$$I_2 = \sqrt{I^2 + I_1^2} = 6,390 \text{ A.}$$

$$R = \frac{4,000 \text{ KW}}{(6,390)^2} = 0.0980 \text{ ohms.}$$

$$X_L = \frac{16,460 \text{ KVA}}{(6,390)^2} = 0.4031 \text{ ohms,}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = 0.4149 \text{ ohms.}$$

De lo anterior, es obvio que hay una relación definitiva entre el espesor del crisol y la potencia activa inducida a un voltaje particular. Esta relación puede usarse para graficar el desgaste del crisol.

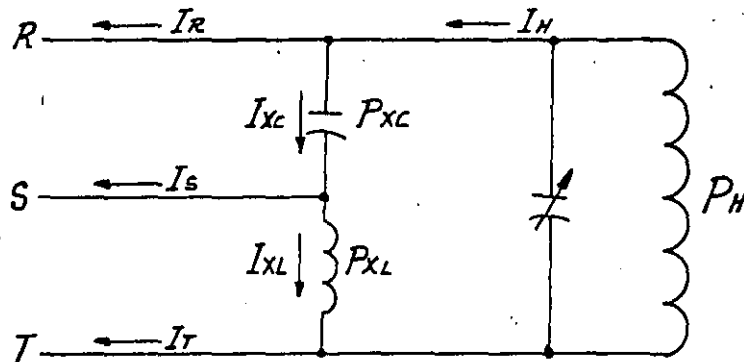


Cuando comienza el desgaste del crisol la lectura de KW se va incrementando gradualmente para un voltaje particular. Una curva de esta naturaleza ayuda al operador a monitorear el desgaste del crisol. Siempre que se observe un incremento anormal en la potencia; lecturas de KW deberán graficarse en la curva más frecuente (cada hora).

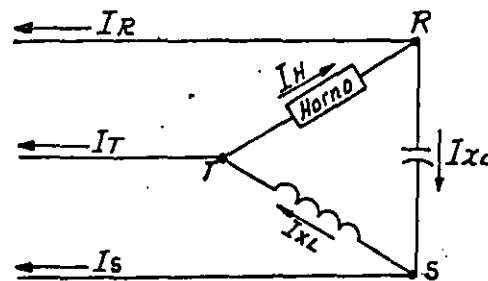
* * * *

13. RELACION ENTRE POTENCIA DEL HORNO Y LA POTENCIA DE SIMETRIA

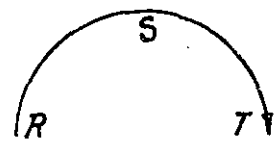
Debido a que la bobina del horno es monofásica y la alimentación al sistema es trifásico; tendríamos una fase sin carga, por lo que se utiliza un arreglo de capacitores y reactores (bobina) para dar carga a dicha fase, quedando de la siguiente manera:



Simplificando el diagrama:



Secuencia de fase



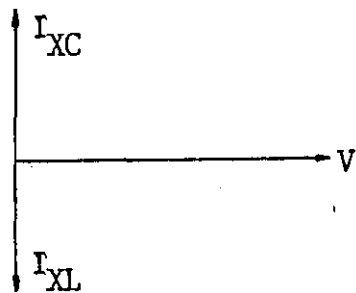
Haciendo ecuaciones de nodos tenemos:

$$\vec{I}_R = \vec{I}_H - \vec{I}_{XC}$$

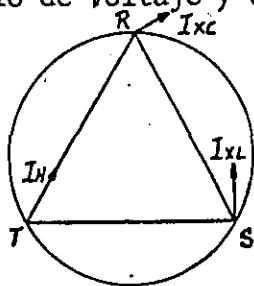
$$\vec{I}_S = \vec{I}_{XC} - \vec{I}_{XL}$$

$$\vec{I}_T = \vec{I}_{XL} - \vec{I}_H$$

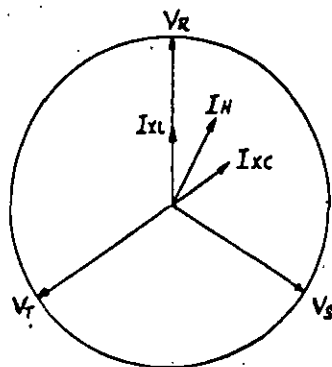
Ya que el factor de potencia es unitario, quiere decir que la corriente del horno (I_H), se encuentra en fase con el voltaje del horno (V_{TR}), o sea el ángulo de defasamiento es 0° .



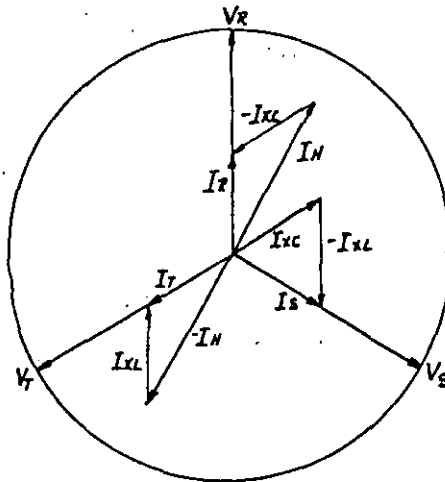
Haciendo el círculo de voltaje y corriente tenemos :



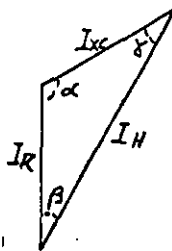
Haciendo coincidir en un punto todos los corrientes, :



Resolviendo las ecuaciones de corriente en el circulo



Tomando el triángulo formado por I_H , I_R y I_{XC} resultante:



Datos: $\alpha = 120^\circ$
 $\beta = 30^\circ$
 $\gamma = 30^\circ$

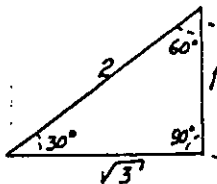
Por la ley de los cosenos:

$$\frac{\text{sen } \alpha}{\text{sen } \gamma} = \frac{I_H}{I_R} \quad \therefore \quad I_R = I_H \frac{\text{sen } \gamma}{\text{sen } \alpha}$$

Sustituyendo valores de los ángulos:

$$I_R = I_H \frac{\text{sen } 30^\circ}{\text{sen } 120^\circ}$$

Por trigonometría tenemos:



$$\text{sen } 30^\circ = \frac{1}{2}$$

$$\text{cos } 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$\text{sen } (90 + \gamma) = \text{cos } \gamma$$

$$\text{sen } (90 + 30) = \text{cos } 30^\circ$$

$$\text{sen } 120^\circ = \text{cos } 30^\circ$$

Sustituyendo en la ecuación 1 :

$$I_R = I_H \frac{\text{sen } 30^\circ}{\text{sen } 30^\circ}$$

$$I_R = I_H \frac{1/2}{\sqrt{3}/2} = \frac{1}{\sqrt{3}} I_H$$

$$I_R = \frac{I_H}{\sqrt{3}}$$

Para que el sistema esté balanceado se debe cumplir que :

$$I_R = I_S = I_T$$

$$I_R = I_S = I_T = \frac{I_H}{\sqrt{3}}$$

Por lo tanto se debe de cumplir que:

$$P_{\text{simetría}} = P_{XC} = P_{XL} = \frac{P_H}{\sqrt{3}}$$

* * * *



DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

DISEÑO Y FABRICACION DE EQUIPO ELECTRICO

BATERIAS Y CARGADORES

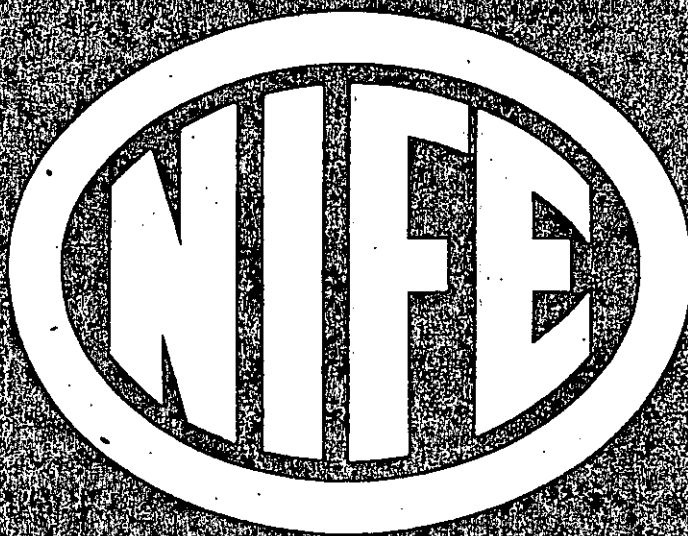
Ing. Jesús René Flores G.

OCTUBRE, 1985



JUNGNER

1



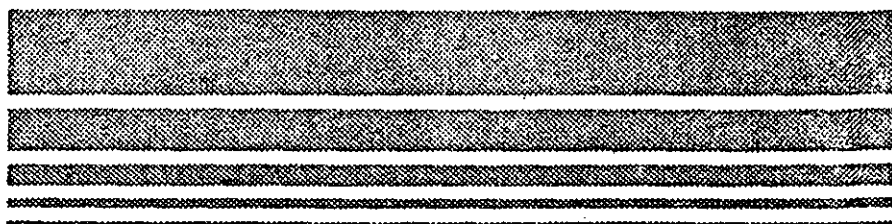
JUNGNER

NIFE DE MEXICO, S.A. DE C.V.

SAN LUIS TLATILCO No. 25 PARQUE INDUSTRIAL
NAUCALPAN EDO. DE MEXICO.

TELEFONO 576-26-11.

TELEX. 1777352.





JUNGNER

2

SISTEMAS DE ENERGIA ELECTRICA EN C.D.

I
ACUMULADORES ELECTRICOS.

II
CARGADORES DE BATERIAS.

III
SELECCION Y CALCULO.



JUNGNER

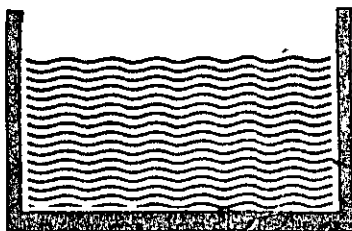
3

I.- ACUMULADORES ELECTRICOS.

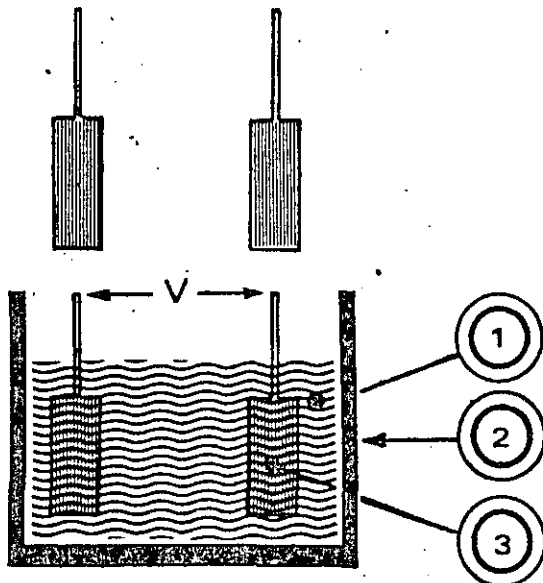
DEFINICION:

UN ACUMULADOR ELECTRICO ES UN SISTEMA QUE RECIBE ENERGIA EN FORMA ELECTRICA, LA ALMACENA EN FORMA QUIMICA Y LA SUMINISTRA EN FORMA ELECTRICA.

CONSTITUCION:

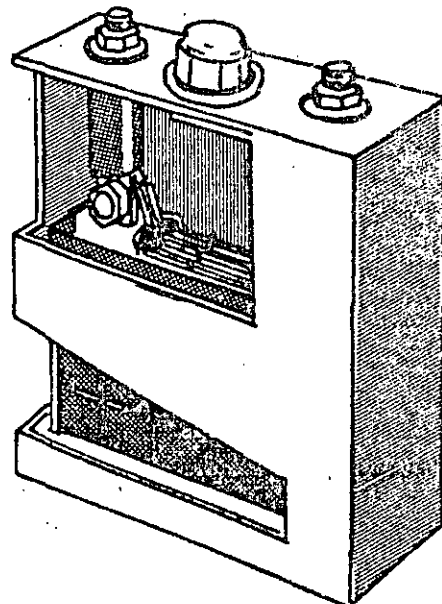


RECIPIENTE QUE CONTIENE UNA SUSTANCIA LIQUIDA, SOLIDA O GASEOSA QUE SE LE DENOMINA ELECTROLITO.



DOS ELEMENTOS DE MATERIAL DIFERENTE LLAMADOS ELECTRODOS O PLACAS LOS CUALES SE INTRODUCEN DENTRO DEL ELECTROLITO, PRODUCIENDO UNA REACCION QUIMICA Y ORIGINANDO ASI UNA DIFERENCIA DE POTENCIAL (VOLTAJE) EN SUS BORNES.

- ① RECIPIENTE.
- ② ELECTROLITO.
- ③ ELECTRODOS O PLACAS.





JUNGNER

4

**DEPENDIENDO DE LOS MATERIALES
QUE CONSTITUYEN EL ACUMULADOR SERA
EL VALOR DE DICHO VOLTAJE EN BORNES.**

EXISTEN DOS TIPOS COMUNES:

1) ACIDOS.

2) ALCALINOS.

ACUMULADORES ACIDOS.

SE CONSTITUYEN:

ELECTROLITO DE ACIDO (H_2SO_4) ACIDO SULFURICO.

PLACAS DE: PLOMO PURO (PB) POSITIVA.
OXIDO DE PLOMO (PBO) NEGATIVA.

VOLTAJE EN BORNES: 2 VCD.

2) ACUMULADORES ALCALINOS:

ELECTROLITO ALCALINO (HIDROXIDO DE POTASIO KOH).

PLACAS DE: HIDROXIDO DE NIQUEL (NIOOH) POSITIVA.
CADMIO (CD) NEGATIVA.

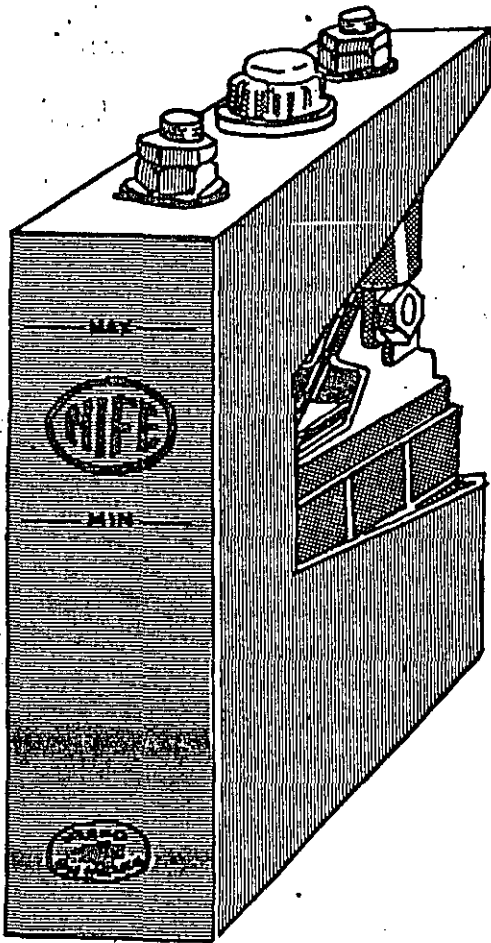
VOLTAJE EN BORNES: 1.2 VCD.



JUNGER

5

BATERIAS NIFE DE NIQUEL CADMIO.



ACUMULADOR
CON
MATERIAS ACTIVAS
DE
NIQUEL (+)
Y
CADMIO (-)

ELECTROLITO
ALCALINO
(KOH)
NO ACIDO.

PLACAS DE ACERO
EN BOLSAS PLANAS.

VASOS DE
PLASTICO ALTO IMPACTO
TRANSLUCIDO.



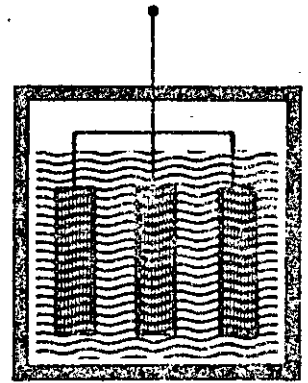
JUNGER

6

TIPOS DE CELDAS O ELEMENTOS:

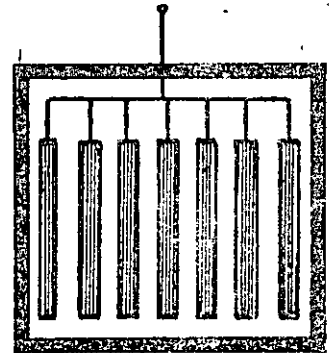
TIPO KAP: POCAS PLACAS

DESCARGAS: 3H. O MAS.

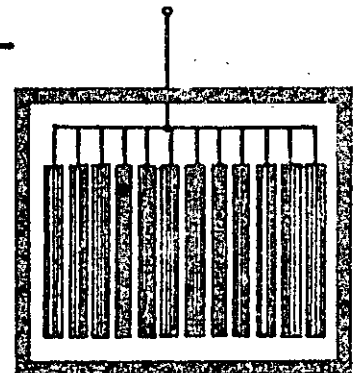


TIPO MDP: BASTANTES PLACAS DELGADAS.

DESCARGAS: DE 1/2 H. A 3H.



TIPO HIP: MUCHAS PLACAS MUY DELGADAS.





JUNGER

7

CARACTERISTICAS ELECTRICAS:

CAPACIDAD



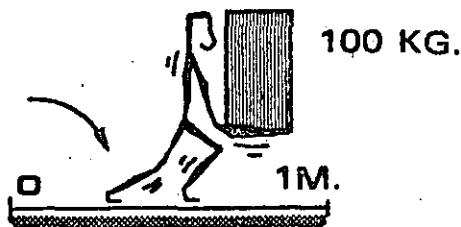
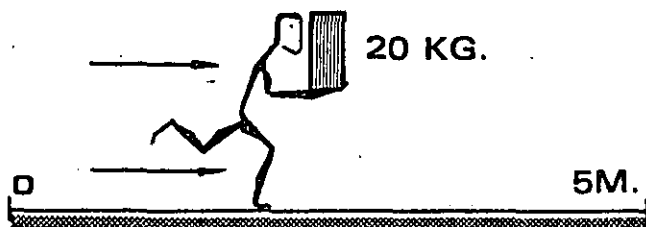
CANTIDAD DE ELECTRICIDAD
ALMACENADA Y APROVECHABLE
EN UNA DESCARGA.

$C = I \times T$ (AH) AMPERES - HORA.

PROBLEMA EN CUALQUIER BATERIA

LA CAPACIDAD VARIA CON LA I DE DESCARGA,
CON EL VOLTAJE FINAL Y CON LA TEMPERATURA.

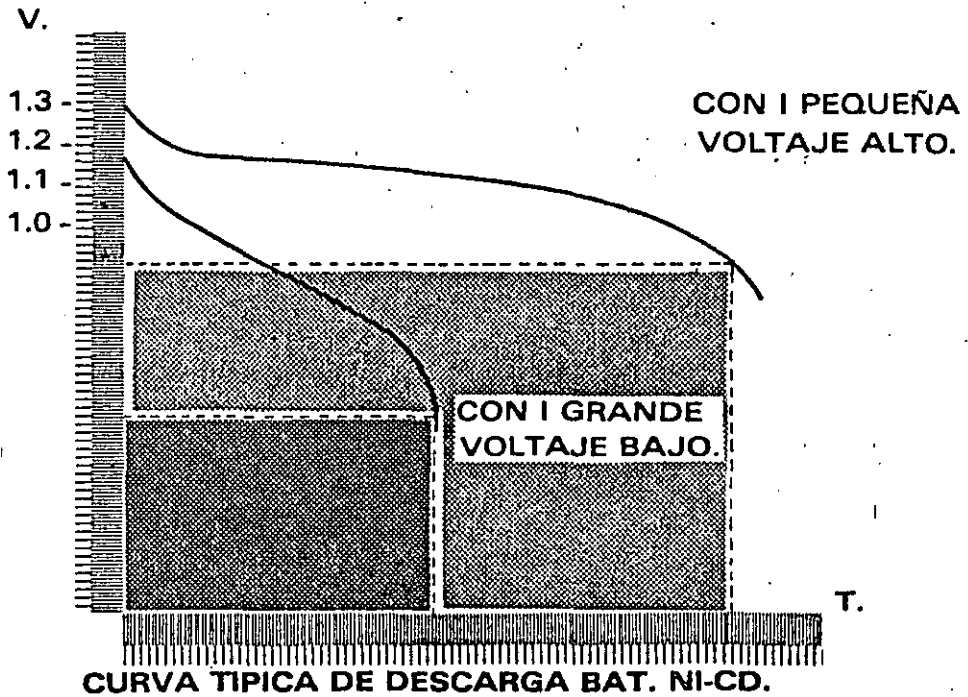
EJ.: $C = 100 \text{ AH} = 20 \text{ A} \times 5 \text{ H.}$
PERO NO $= 100 \text{ A} \times 1 \text{ H.}$





JUNGNER

8



CON I GRANDE
O
CON V FINAL ALTA.

SE APROVECHA
MENOS LA C.

CAPACIDAD
NOMINAL

NORMALMENTE

CON $I = 0.2 \times C.$
 $T = 5H.$
HASTA $V_F = 1.1 V$
AT $25^\circ C.$

POR LO TANTO SE REQUIERE CONOCER SUS NECESIDADES REALES
EN, CORRIENTE Y TIEMPO DE PROTECCION, PARA LA ADECUADA
SELECCION DE LA BATERIA.

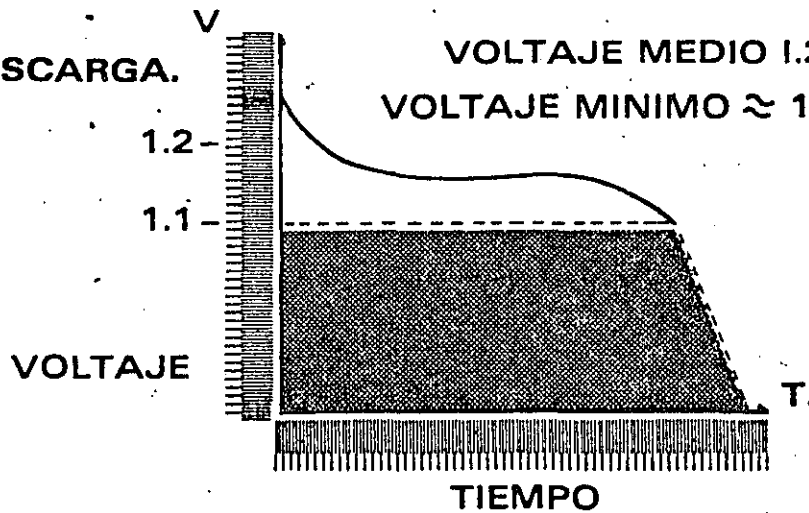


JUNGNER

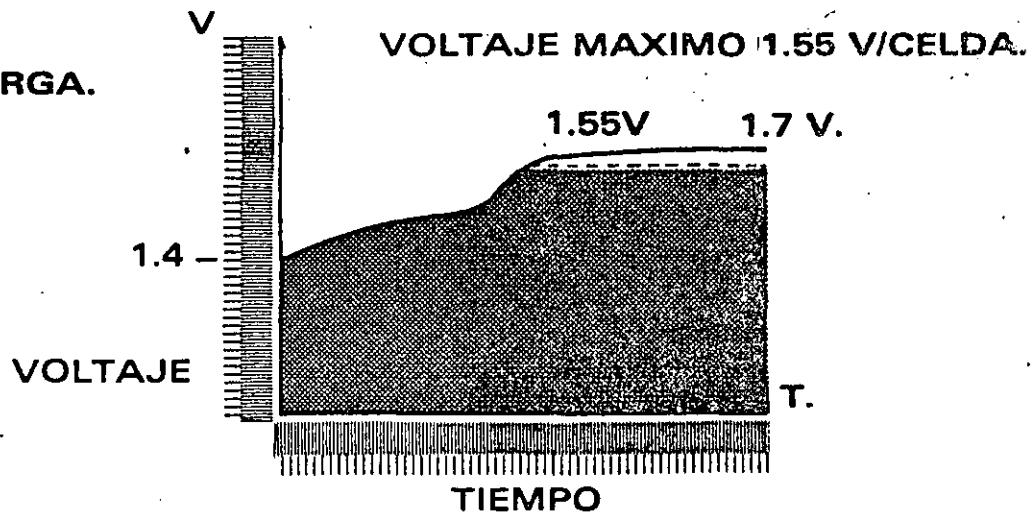
8(a)

COMPORTAMIENTO ELECTRICO DE LA BATERIA.

A) EN DESCARGA.



B) EN CARGA.





JUNGNER

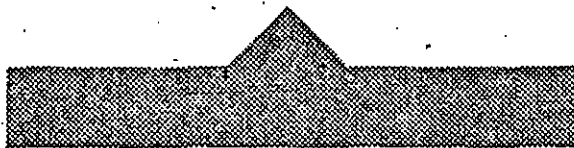
9

VOLTAJE TÍPICOS DE UNA CELDA ALCALINA.

A) VOLTAJE DE FLOTACION 1.41 VOLTS.

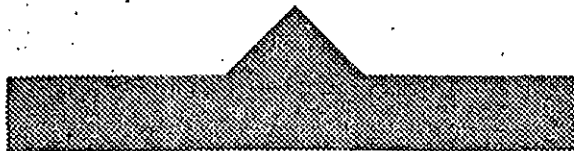
B) VOLTAJE DE CARGA RÁPIDA 1.55 VOLTS.

A) VOLTAJE DE FLOTACION:



NOS SIRVE PARA COMPENSAR LAS AUTODESCARGAS, MANTENIENDO AL 100% LA CARGA DE LA BATERIA.

B) VOLTAJE DE CARGA RÁPIDA:



SIRVE PARA REPONER LA CARGA QUE HA SIDO UTILIZADA DE LA BATERIA DURANTE UNA EMERGENCIA. SE APLICA DESPUES DE ESTA.

ESTOS DOS VOLTAJES SON PROPORCIONADOS AUTOMATICAMENTE POR EL CARGADOR.

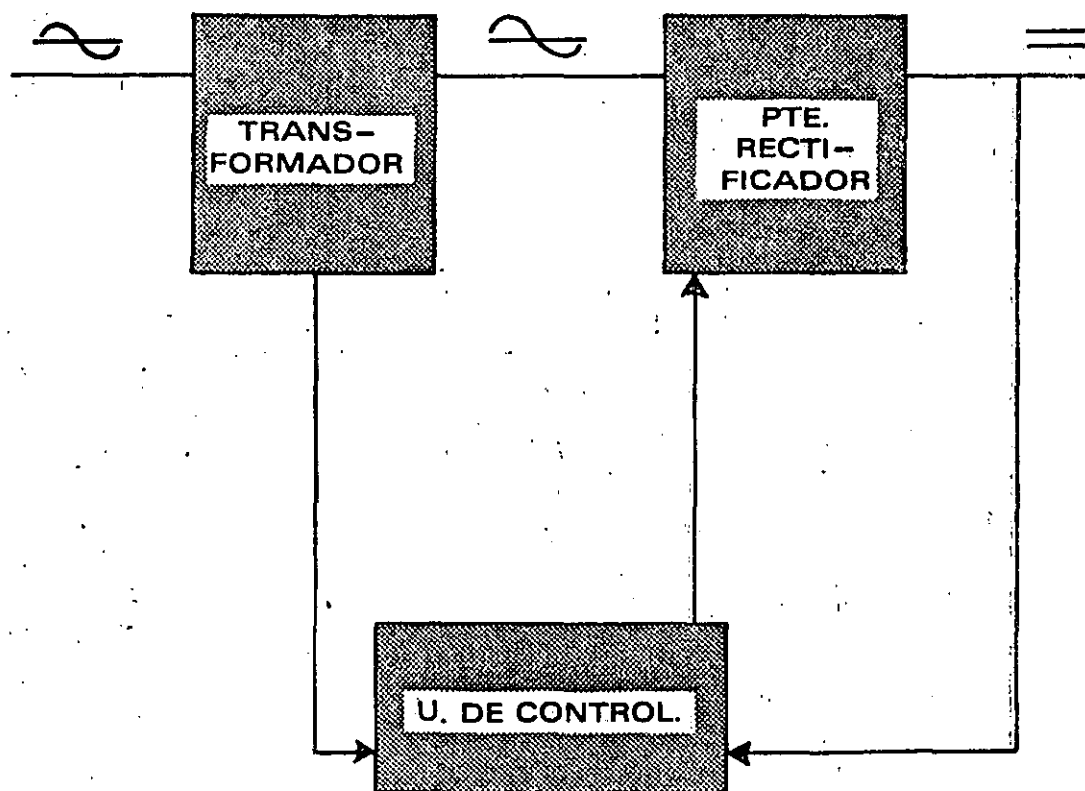


JUNGNER

10

II.- CARGADORES DE BATERIAS.

UN CARGADOR DE BATERIAS ES UN DISPOSITIVO ELECTRONICO
CONSTITUIDO FUNDAMENTALMENTE POR:



SU FUNCION BASICA ES PROPORCIONAR NIVELES DE TENSION
ADECUADOS A LA BATERIA TANTO EN FLOTACION COMO EN CARGA RAPIDA.
(IGUALACION).

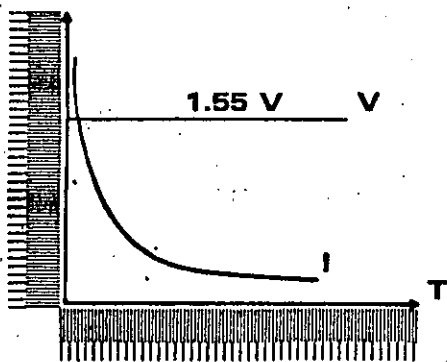


JUNGNER

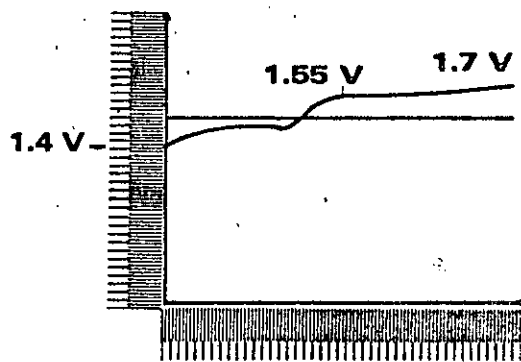
EXISTEN 3 TIPOS DE CARGADORES:

- A) CARGADOR TENSION CONSTANTE.
- B) CARGADOR A CORRIENTE CONSTANTE.
- C) COMBINACION DE AMBOS.

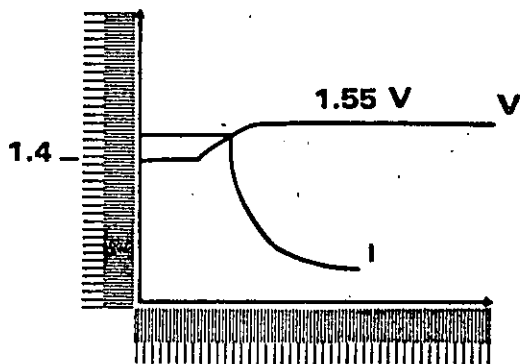
A) TENSION-CONSTANTE.



B) CORRIENTE-CONSTANTE



C) COMBINADO.

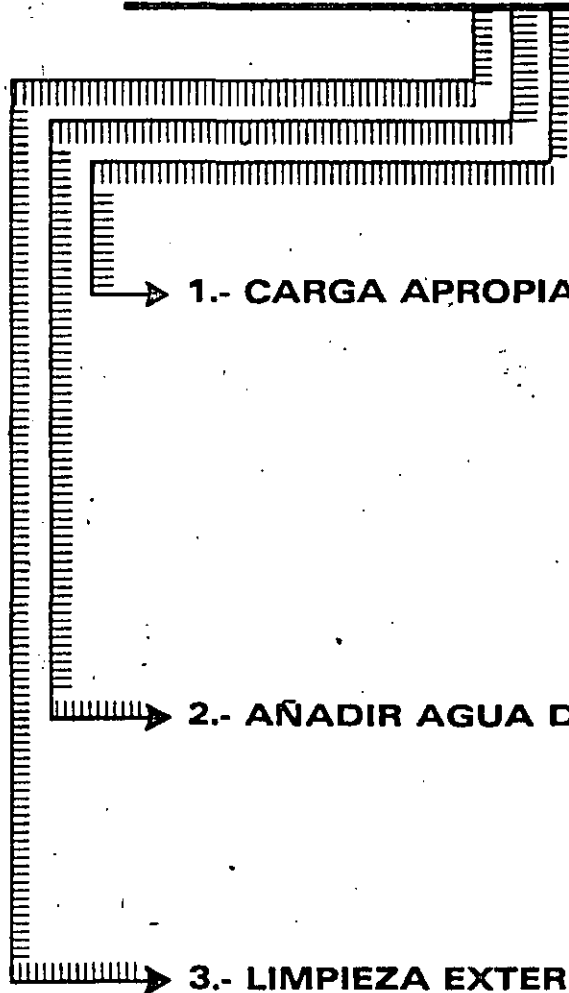




JUNGNER

12

MANTENIMIENTO PARA BATERIAS NIFE



1.- CARGA APROPIADA

FLOTACION 1.4 V/CELDA.

CARGA RAPIDA
1.55 V/CELDA
AUTOMATICA.

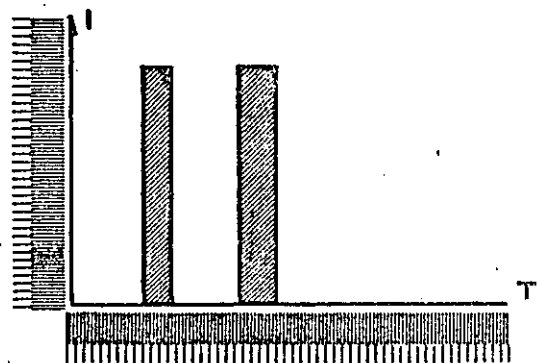
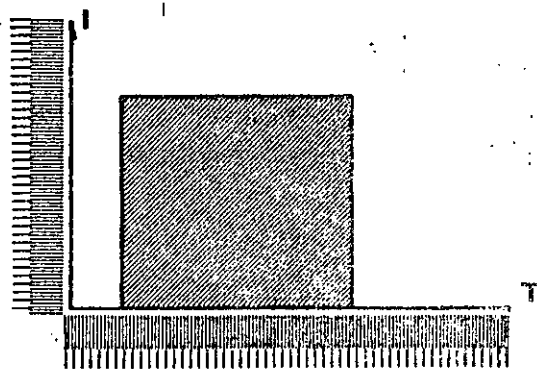
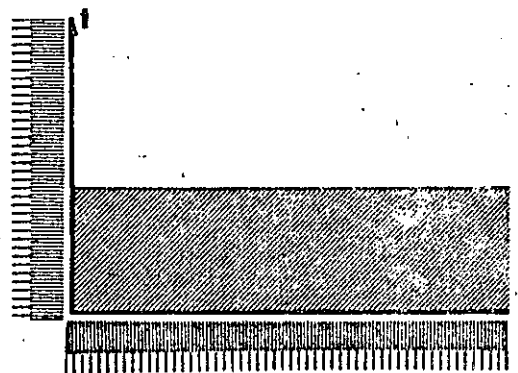
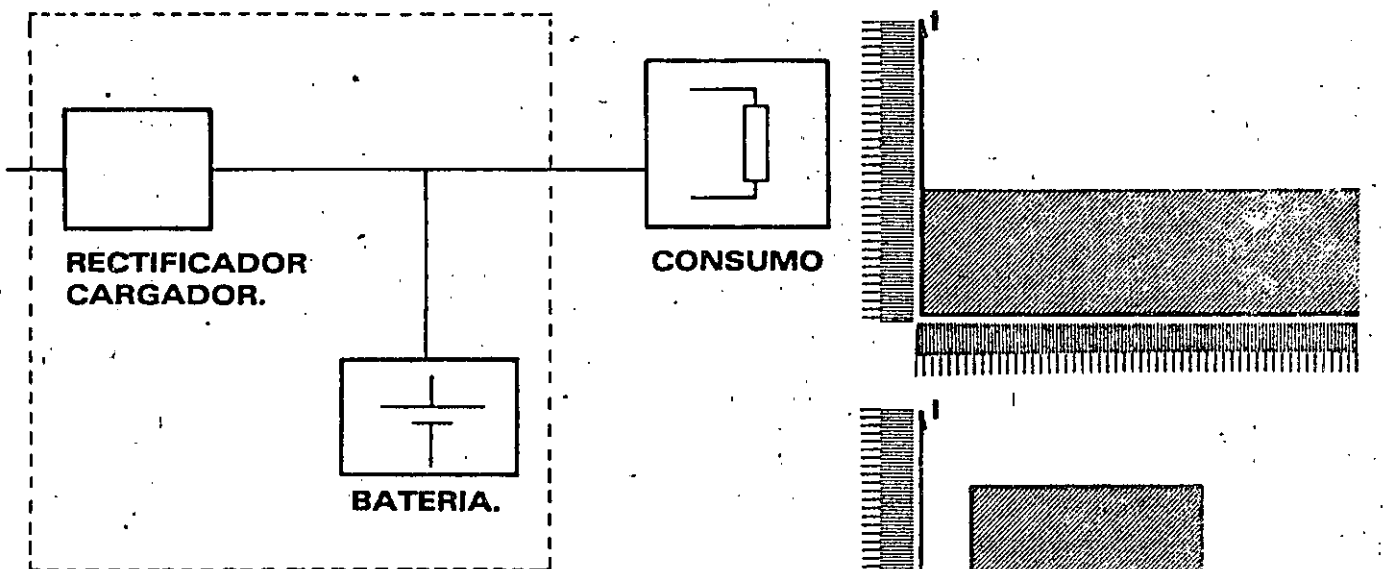
2.- AÑADIR AGUA DESMINERALIZADA.

3.- LIMPIEZA EXTERNA.



JUNGNER

SISTEMAS DE ALIMENTACION EN CORRIENTE DIRECTA.



1.- CONSUMO PERMANENTE

2.- CONSUMO EN EMERGENCIA

3.- CONSUMO EN PICOS.

TIPOS DE CONSUMOS.



JUNGNER

14

FUNCIONES DEL CARGADOR.

- 1) DA EL CONSUMO PERMANENTE.
- 2) CARGA LA BATERIA - CARGA RAPIDA
- 3) MANTIENE LA CARGA - CARGA DE FLOTACION.

FUNCIONES DE LA BATERIA:

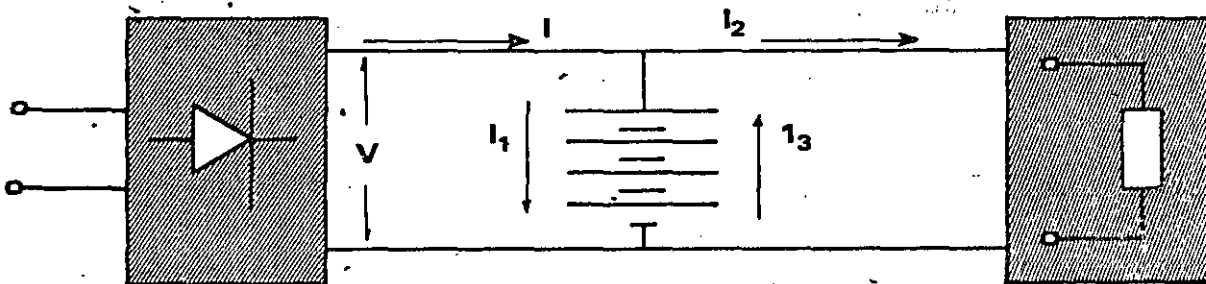
- 1) DA EL CONSUMO EN EMERGENCIA
- 2) AYUDA A DAR LOS PICOS DE CORRIENTE TANTO EN EMERGENCIA COMO EN OPERACION NORMAL.

LAS CARACTERISTICAS ELECTRICAS DEL CARGADOR DEPENDEN DEL TIPO DE CONSUMO, CAPACIDAD DE LA BATERIA Y TIEMPO DE RECARGA.

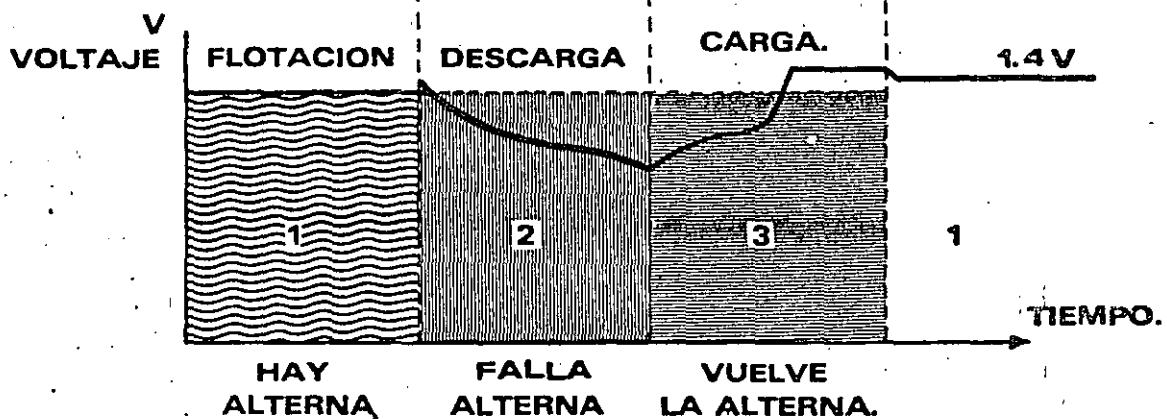


JUNGNER

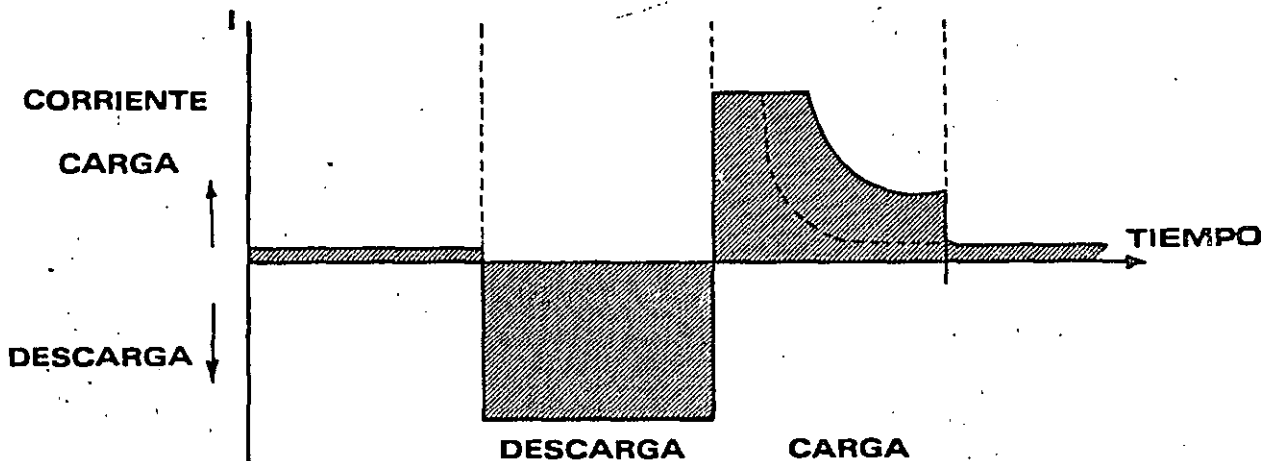
COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA BATERIA-CARGADOR.



RESPUESTA EN VOLTAJE



RESPUESTA EN CORRIENTE.





JUNGNER

16

CARGADOR NIFE:

- 1.- CONTROL POR TIRISTORES (SCR).
- 2.- NIVELES DE VOLTAJE: FLOTACION
CARGA RAPIDA.
- 3.- ESTABILIDAD I 1%
- 4.- LIMITE DE CORRIENTE ELECTRONICO
- 5.- AUTOMATISMO TOTAL (DE CARGA RAPIDA A FLOTACION).
- 6.- ALARMA FALLA DE ALTERNA.
- 7.- ALARMA DETECTOR DE TIERRA.

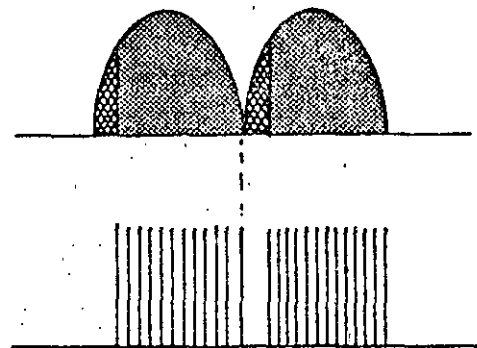
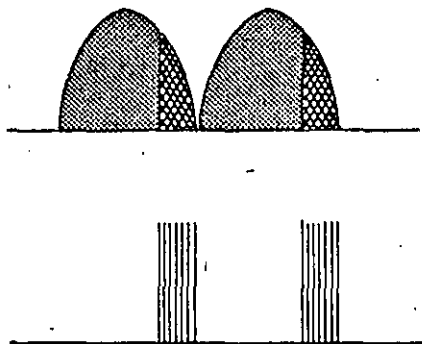
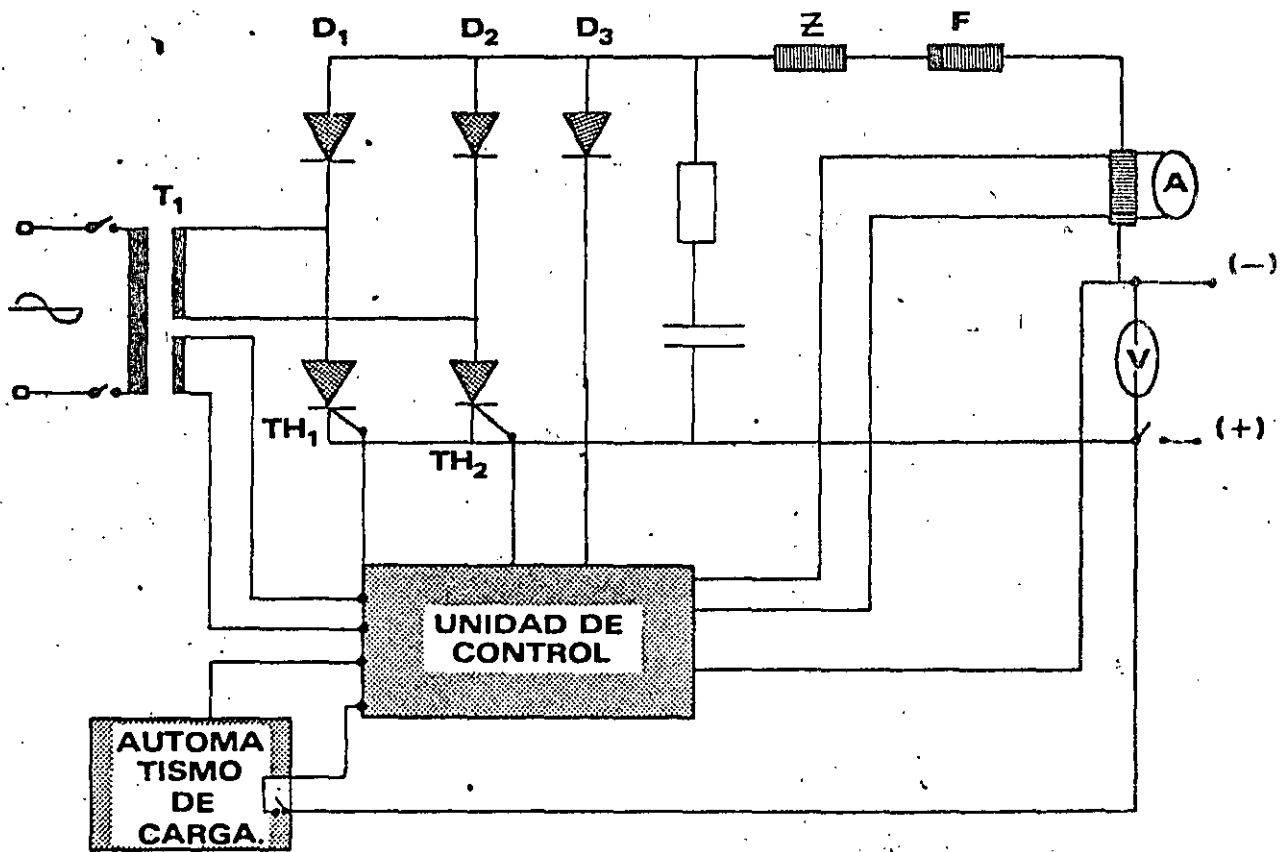
POSIBILIDAD DE AÑADIR:

FILTRO
REGULADOR DE VOLTAJE C.A.
ALARMAS: **VOLTAJE ALTO**
 VOLTAJE BAJO
 FALLO DE CARGA
 ETC.



JUNGNER

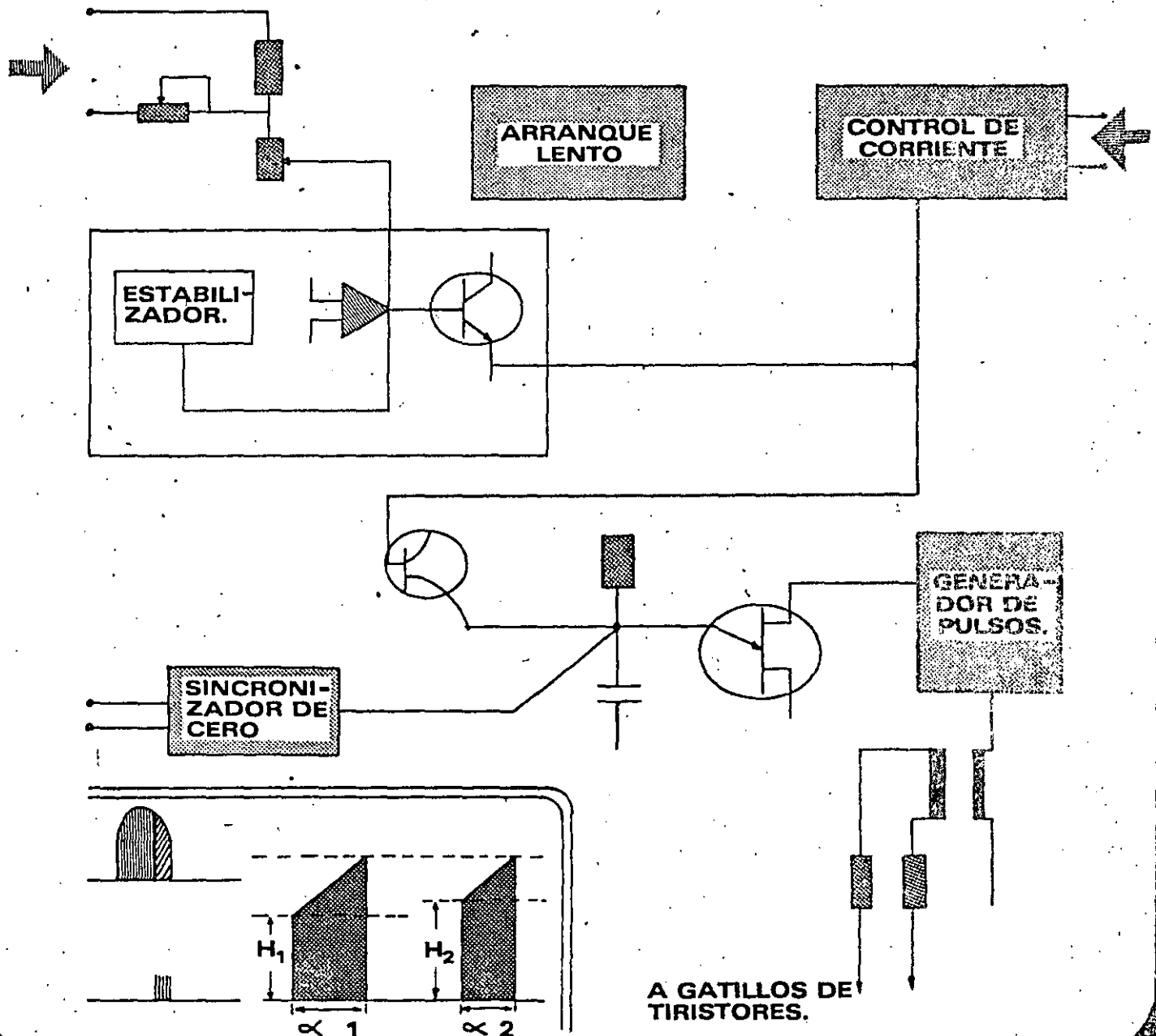
FUNCIONAMIENTO DEL CARGADOR:





JUNGER

FUNCIONAMIENTO DE UNIDAD DE CONTROL.





**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

DISEÑO Y FABRICACION DE EQUIPO ELECTRICO

ESPECIFICACIONES DEL CLIENTE PARA EL EQUIPO DE CONTROL DEL
CIRCUITO DE POTENCIA PARA LOS MOTORES DE TRACCION

Ing. Mauricio Hugues V.
Ing. Guarino Mejía

OCTUBRE, 1985

2.- ESPECIFICACIONES DEL CLIENTE PARA EL EQUIPO DE CONTROL DEL --
CIRCUITO DE POTENCIA PARA LOS MOTORES DE TRACCION.

2.1 CONDICIONES DE SERVICIO DE LOS TRENES EN EL METRO DE LA-
CIUDAD DE MEXICO.

- 2.1.1 CONDICIONES DE USO DE LOS CARROS Y RENDIMIENTOS A CUMPLIR.
- 2.1.2 CARACTERISTICAS A CONSIDERAR DE LA VIA.
- 2.1.3 VOLTAJE DE ALIMENTACION.
- 2.1.4 CARGAS.
- 2.1.5 ARRANQUE.
- 2.1.6 CARACTERISTICAS DE FRENADO.
- 2.1.7 VELOCIDAD.
- 2.1.8 CONDICIONES DE MARCHA.
- 2.1.9 ASPECTOS GENERALES.

2.2 EQUIPO DE CONTROL DEL CIRCUITO DE POTENCIA.

- 2.2.1 GENERALIDADES.
- 2.2.2 FRECUENCIAS UTILIZADAS.
- 2.2.3 VARIACIONES DE CORRIENTE Y VOLTAJE DE LINEA PERMITIDAS.
- 2.2.4 CHOPPER.
- 2.2.5 CONSTRUCCION Y MONTAJE.
- 2.2.6 LOGICA.
- 2.2.7 FILTRO DE LINEA.
- 2.2.8 INDUCTANCIAS DE ALISAMIENTO.
- 2.2.9 EQUIPOS DE INTERRUPCION Y CONMUTACION.
- 2.2.10 FUSIBLES.
- 2.2.11 INTERRUPTOR ULTRARAPIDO.
- 2.2.12 INTERRUPTOR SECCIONADOR.
- 2.2.13 CONTACTORES ELECTROMAGNETICOS.
- 2.2.14 CONMUTADORES.
- 2.2.15 VARIACION DE CAMPO.
- 2.2.16 PUNTOS PARA PRUEBA.
- 2.2.17 APARATOS DE MANDO Y CONTROL.

3. DESCRIPCION DEL EQUIPO DE CONTROL.

3.1 DESCRIPCION GENERAL

3.1.1 GENERALIDADES.

3.1.2 ESPECIFICACIONES PRINCIPALES DE LOS CARROS.

3.1.3 SISTEMA DE CONTROL.

3.1.4 EQUIPO ELECTRICO PRINCIPAL.

3.2 FUNCIONAMIENTO DEL TREN.

3.2.1 FUNCIONAMIENTO EN TRACCION.

3.2.2 FUNCIONAMIENTO DEL FRENADO REGENERATIVO.

3.2.3 CURVAS CARACTERISTICAS.

3.3 CIRCUITO ELECTRICO.

3.3.1 PRINCIPIOS DEL SISTEMA DE CONTROL POR CHOPPER.

3.3.2 PRINCIPIOS DEL CAMPO AUTOMATICO VARIABLE DEL SISTEMA DE CONTROL POR CHOPPER.

3.3.3 INFORMACION GENERAL DEL EQUIPO DE CONTROL.

3.3.4 CIRCUITO PRINCIPAL.

2.2.18 PROTECCIONES PARA LOS EQUIPOS DE TRACCION.

2.2.19 VERIFICACION Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.

2.2.20 SEÑALIZACIONES LOCALES Y DE CABINA.

2.2.21 CONMUTADOR DE ALIMENTACION.

ESPECIFICACIONES DEL CLIENTE PARA EL EQUIPO DE CONTROL DEL CIRCUITO DE POTENCIA PARA LOS MOTORES DE TRACCION.

2.1 CONDICIONES DE SERVICIO DE LOS TRENES EN EL METRO DE LA CIUDAD DE MEXICO.

2.1.1 CONDICIONES DE USO DE LOS CARROS Y RENDIMIENTOS ACUMPLIR.

A CONTINUACION, ESTAN PRECISADAS LAS CONDICIONES DE UTILIZACION DE LOS COCHES Y LOS RENDIMIENTOS ACUMPLIR, EL FABRICANTE DETERMINARA LOS VALORES A CONSIDERAR PARA DIMENSIONAR LOS ORGANOS DE LOS COCHES Y PARTICULAMENTE LOS DE TRACCION Y FRENADO.

LOS EQUIPOS SERAN CONCEBIDOS PARA DAR SERVICIO EN LA INTERPERIE Y DENTRO DE UN TUNEL, SIN QUE ESTAS CONDICIONES DE OPERACION OCASIONEN NINGUNA PERTURBACION EN SU FUNCIONAMIENTO, NI FATIGA ANORMAL DE LAS PIEZAS Y/O COMPONENTES, NI AUN SU DESTRUCCION LENTA. CONVIENE SEÑALAR EN PARTICULAR QUE LA ESTANQUEIDAD DE LOS COFRES DEBERA SER MUY CUIDADOSA Y OBTENIDA POR PROCEDIMIENTOS SEGUROS DONDE SU EFICACIA NO SE DEGRADE CON EL TIEMPO.

EL CLIMA DE MEXICO SE CARACTERIZA POR UNA TEMPERATURA VARIABLE EN EL CURSO DEL AÑO (0 A 30°C) CON VARIACIONES FUERTES DURANTE EL DIA Y LLUVIAS EXTREMADAMENTE ABUNDANTES DURANTE 3 MESES DEL AÑO.

SE RECUERDA QUE LA ALTURA MEDIA DE LA CIUDAD DE MEXICO, ES DE 2,240 METROS ARRIBA DEL NIVEL DEL MAR. LOS ORGANOS Y EQUIPOS, DEBERAN SER CALCULADOS TOMANDO EN CUENTA ESTE DATO.

2.1.2 CARACTERISTICAS A CONSIDERAR DE LA VIA.

LAS CONDICIONES LIMITES DEL TRAZO DE LAS VIAS SON LAS SIGUIENTES:

a) RAMPAS Y PENDIENTES A 6.5%, PUDIENDO LLEGAR EXCEPCIONALMENTE AL 8.0%.

b) CURVA CONTINUA DE 45 m. DE RADIO, DE UN DESARROLLO SUPERIOR A LA LONGITUD DE DOS COCHES ENLAZADOS TRANGENCIALMENTE, SIN ACOPLAMIENTO PARABOLICO EN LOS ALINEAMIENTOS QUE LO RODEAN COMPRENDIENDO ESTOS POR LO MENOS LA LONGITUD DE UN COCHE.

2.1.3 VOLTAJE DE ALIMENTACION.

EL VOLTAJE NOMINAL EN LINEA ES DE 750 VOLTS DE C.-C.

SIGUIENDO LAS CONDICIONES DE CARGA DE LA RED, ESTE VOLTAJE PUEDE ELEVARSE A 900 VOLTS, DESCENDER A -- APROXIMADAMENTE 600 VOLTS., Y PASAR BRUSCAMENTE DE UNO DE ESTOS VALORES AL OTRO. PARA LOS CALCULOS DE COMPORTAMIENTO, EL VOLTAJE MEDIO, SERA CONSIDERADO IGUAL A 750 VOLTS.

2.1.4 CARGAS.

PARA UN TREN DE - 9 CARROS.	CARGA NOMINAL 3/4 DE CUPO MAXIMO	CARGA NOMINAL 4/4 DE CUPO MAXIMO
PESO.. p =	308 Ton.	333 Ton.
PESO DE INERCIA p' =	351 Ton.	376 Ton.

2.1.5 ARRANQUE.

EL COMANDO DE LA TRACCION Y EL FRENADO SERA CONTINUO PARA EVITAR VARIACIONES BRUSCAS DEL PAR MOTOR Y TENER ASI SUAVIDAD DE MARCHA Y COMODIDAD DE LOS USUARIOS.

EL PASO DE NEUTRO A TRACCION, DE FRENADO A TRACCION, DE TRACCION A NEUTRO Y NUEVAMENTE A TRACCION DURARA COMO MAXIMO UN SEGUNDO DESDE EL MOMENTO DE LA ORDEN HASTA QUE LA CORRIENTE DE LOS MOTORES SEA SUPERIOR A 120 AMPS., EXCLUYENDO EL TIEMPO REQUERIDO PARA LA TERMINACION DE LA TRACCION O DEL FRENADO.

EL TREN CON 3/4 DE ⁶ CARGA Y UN PLANO HORIZONTAL PODRA ALCANZAR 48 Km/H EN 12.5 SEG. MAXIMO Y LOS --
72 Km/H EN 30 SEG. MAXIMO, LOS TIEMPOS SE MIDEN A --
PARTIR DE QUE SE ORDENA LA TRACCION.

LA ACELERACION MAXIMA SERA DE 1.4 m/SEG.² Y DEBE--
RAN PREVERSE AJUSTES PARA PERMITIR UNA ACELERACION
MEDIA 0.9 m/SEG.².

2.1.6 CARACTERISTICAS DE FRENADO.

EN CASO DE QUE LA LINEA SEA TOTALMENTE RECEPTIVA, --
EL FRENADO ELECTRICO REGENERATIVO PRODUCIRA UNA --
DESACELERACION DE 0.9 m/SEG.² DESDE UNA VELOCIDAD--
DE 70 Km/H EN TERRENO HORIZONTAL Y CON UN TREN CAR
GADO CON 3/4 DE CARGA.

EN TODOS LOS CASOS QUE SE DEMANDE UNA DESACELERA--
CION MAYOR QUE EL MAXIMO QUE EL MOTOR PUEDA PROPOR
CIONAR, EL FRENADO SE COMPLEMENTARA CON FRENADO --
NEUMATICO.

PARA LOS CASOS EN QUE SE COMANDE UNA DESACELERA--
CION INFERIOR A 0.9 m/SEG² Y QUE POR CUALQUIER CAU
SA EL FRENADO ELECTRICO NO SEA CAPAZ DE SUMINIS--
TRARLO, SERA SUBSTITUIDO O COMPLEMENTADO POR EL --
FRENADO NEUMATICO.

EL FABRICANTE INCLUIRA EN SU EQUIPO LOS DISPOSITI--
VOS DE CONJUGACION ENTRE EL FRENADO ELECTRICO Y EL
FRENADO NEUMATICO.

A FIN DE CUMPLIR CON LAS CARACTERISTICAS DE FRENA--
DO SEÑALADAS ANTERIORMENTE, SE ACEPTA REDUCIR EL --
CAMPO DE LOS MOTORES AL 35% DURANTE TODA LA DURA--
CION DEL FRENADO, SIEMPRE Y CUANDO NO SE TENGAN CA
LENTAMIENTOS EN LOS MOTORES NI PROBLEMAS EN LA CON
MUTACION.

CON EL PROPOSITO DE OBTENER LAS MAXIMAS VENTAJAS --
DE RECUPERACION DE ENERGIA, EL SISTEMA DEBERA CON--
TAR CON UN EQUIPO DE CONTROL QUE VIGILE EN TODO MO
MENTO LA RECEPTIVIDAD DE LA LINEA DURANTE EL CURSO
DE FRENADO.

EL SISTEMA DEBERA CONTEMPLAR FRENADO REOSTATICO Y LA CAPACIDAD DEL REOSTATO SERA TAL QUE ABSORBA EL 30% DE LA ENERGIA DINAMICA DE FRENADO CUANDO POR CUALQUIER CAUSA NO HUBIERA FRENADO ELECTRICO REGENERATIVO.

A UNA VELOCIDAD DE 6 Km/H EL FRENADO ELECTRICO DEBERA DESAPARECER Y SUSTITUIRLO POR EL FRENADO NEUMATICO. ESTA SUSTITUCION SE REALIZARA DE TAL MANERA QUE LA DESACELERACION COMANDADA NO SUFRA CAMBIOS QUE OCASIONEN JALONEOS O INCOMODIDADES DE LOS USUARIOS.

EN CADA UNA DE LAS POSICIONES DE FRENADO, EL TREN-SUMINISTRARA LAS DESACELERACIONES SIGUIENTES PARA LOS ESTADOS DE CARGA QUE SE INDICAN.

GRADO DE FRENADO FU: 2.0 M/SEG.² EN PLANO HORIZONTAL PARA UN TREN CARGADO A 4/4 DE CARGA DE CUPO MAXIMO.

PARA PLANO HORIZONTAL Y A 3/4 DE CARGA DE CUPO MAXIMO, PROPORCIONARA:

POSICION DE FRENADO F6:	1.8 M/SEG. ²
POSICION DE FRENADO F5:	1.5 M/SEG. ²
POSICION DE FRENADO F4:	1.2 M/SEG. ²
POSICION DE FRENADO F3:	0.9 M/SEG. ²
POSICION DE FRENADO F2:	0.6 M/SEG. ²
POSICION DE FRENADO F1:	0.3 M/SEG. ²

2.1.7 VELOCIDAD.

LA VELOCIDAD LIMITE MAXIMA EN RECTA ES DE 80 KM/H.

2.1.8 CONDICIONES DE MARCHA.

SE CONSIDERAN DOS ESTADOS DE CARGA DE LOS TRENES:

1. CARGA NORMAL (3/4 DE CARGA DE CUPO MAXIMO)

2. CARGA DE AFLUENCIA (4/4 DE CARGA DE CUPO MAXIMO)

PARA CARGA NORMAL (3/4 DE CARGA DE CUPO MAXIMO), - SERA CONSIDERADO:

A1. RECORRIDOS DE 850 M. EN PLANO HORIZONTAL, EMPLEO DE LA CORRIENTE QUE PERMITA LA PUESTA -- DEL MANIPULADOR AL NEUTRO 3 SEGUNDOS, FRENADO 1.33 M/S^2 , PARO EN ESTACION DE 17 SEGUNDOS -- PROMEDIO.

δ MAX. = 1.4 M/SEG.^2 V. MAX. = 80 KM/H.
MANIPULADOR EN NEUTRO 3 SEG.

FRENADO = 1.33 M/SEG.^2 T TOTAL ≤ 62 SEG.
(TIEMPO DE PARO NO INCLUIDO)

B1. RECORRIDOS DE 850 M. EN RAMPA DE 3% (ARRANQUE EN PLANO HORIZONTAL SOBRE 20 M), EMPLEO MAXIMO DE CORRIENTE QUE PERMITA LA PUESTA DEL MANIPULADOR AL NEUTRO 3 SEGUNDOS, FRENADO 1.33 M/SEG.^2 , PARO EN LA ESTACION DE 17 SEG. PROMEDIO.

δ MAX. 1.4 M/SEG.^2 V. MAX. = 67 KM/H
MANIPULADOR EN NEUTRO 3 SEG.

FRENADO = 1.33 M/SEG.^2 T TOTAL ≤ 65.2 SEG.
(TIEMPO DE PARO NO INCLUIDO).

A 3% DE RAMPA.

PARA CARGA DE AFLUENCIA (4/4 DE CARGA CUPO MAXIMO) SERA CONSIDERADO:

A2. RECORRIDO DE 850 M. EN PLANO HORIZONTAL, FRENADO DE 1.33 M/S^2 , PARO EN LA ESTACION DE 17-SEG. PROMEDIO.

δ MAX. = 1.3 M/S^2 V. MAX. = 80 KM/H

FRENADO = 1.33 M/S^2 T TOTAL ≤ 62 SEG.
(TIEMPO DE PARO NO INCLUIDO).

B2. RECORRIDO DE 850 M. EN RAMPA DE 3% (ARRANQUE- EN PLANO HORIZONTAL SOBRE 20 M.) FRENADO DE - 1.33 M/S² PARO EN LA ESTACION DE 17 SEG. PRO- MEDIO.

$$a_{\text{MAX.}} = 1.3 \text{ M/S}^2 \quad V. \text{ MAX.} = 67 \text{ KM/H.}$$

FRENADO = 1.33 M/S² T TOTAL \leq 65.2 SEG.
(TIEMPO DE PARO NO INCLUIDO).

A 3% DE RAMPA.

EL SERVICIO CONVENCIONAL DEL TREN COMPRENDE:

1. SERVICIO CONTINUO:

10 CICLOS A1 + 5 CICLOS B1 + 10 CICLOS A1

10 CICLOS A1 + 5 CICLOS B1 + 10 CICLOS A1

..... ETC.

2. SERVICIO DE AFLUENCIA (DESPUES DEL SERVICIO -- CONTINUO):

8 VECES (10 CICLOS A2 + 5 CICLOS B2 + 10 CI--- CLOS A2), Y RESTABLECIMIENTO DEL SERVICIO CON- TINUO.

EL SERVICIO DE AFLUENCIA REPRESENTA APROXIMADA MENTE 40% DEL SERVICIO TOTAL.

2.1.9 ASPECTOS GENERALES.

DENTRO DE LA CONCEPCION DE LOS EQUIPOS, EL FABRI-- CANTE ASEGURARA QUE ESTOS SERAN CAPACES DE TRABA-- JAR CON UN PILOTO AUTOMATICO Y UN CONTROL CONTINUO DE VELOCIDAD, PARA LO CUAL SUMINISTRARA LO NECESA-- RIO A FIN DE GARANTIZAR LA COMPATIBILIDAD ENTRE SU SISTEMA Y EL PILOTAJE AUTOMATICO EN LO QUE A INTER CAMBIO DE INFORMACIONES SE REFIERE.

LOS TRENES NO FRENARAN POR RECUPERACION SI UNA SE-- NAL DE ALTA FRECUENCIA MODULADA POR UNA SEÑAL DE - 2,112 Hz. DISPUESTA PARA ESTE FIN Y QUE ENTREGA EL PILOTAJE AUTOMATICO, NO ESTA PRESENTE.

EL FABRICANTE SERA RESPONSABLE DE LA CONSTRUCCION DEL RECEPTOR (PUENTE DE DIODOS Y RELEVADORES) Y LA PROHIBICION EFECTIVA DE RECUPERACION DEL FRENADO - REGENERATIVO.

PARA DEMANDAS DE DESACELERACIONES MAYORES QUE LA - QUE PUEDA PROPORCIONAR EL FRENADO ELECTRICO, EL ES FUERZO DEL FRENADO NEUMATICO COMPLEMENTARIO INCLUI RA EL FRENADO DE LOS REMOLQUES. ESTE DISPOSITIVO- DE MANDO SERA SUMINISTRADO POR EL FABRICANTE.

LAS ESTRUCTURAS DE LOS EQUIPOS DE CONTROL CHOPPER, REACTOR DE FILTRO Y REACTOR DE ALISAMIENTO ESTARAN AL MISMO POTENCIAL DEL BASTIDOR DEL COCHE, POR LO- QUE SERA NECESARIO SE PREVEA LA INSTALACION DE --- TRENZAS DE TIERRA O SU EQUIVALENTE, PARA ESTE FIN. LA ESTRUCTURA DE LA CAJA DEL INTERRUPTOR DE LINEA- E INVERSOR Y TODAS LAS RESISTENCIAS, NO ESTARAN AL MISMO POTENCIAL QUE EL BASTIDOR DEL COCHE.

EL EQUIPO PODRA SER MONTADO EN EL BASTIDOR DEL CA- RRO SIN QUE EXCEDA EL GALIBO.

2.2 EQUIPO DE CONTROL DEL CIRCUITO DE POTENCIA.

2.2.1 EL SISTEMA CHOPPER DEBERA TRABAJAR A UNA FRECUENCIA FIJA.

EL EQUIPO DE CONTROL DE LOS MOTORES DE TRACCION CONTROLARA LA TRACCION Y EL FRENADO DE LOS 4 MOTORES - CORRESPONDIENTES A UN COCHE MOTOR.

ESTE EQUIPO INCLUIRA LO NECESARIO PARA:

- a) OPERAR CON CONTROL DE CONDUCCION AUTOMATICA.
- b) PROPORCIONAR A LOS MOTORES LA TENSION CORRESPONDIENTE A POR LO MENOS 95% DE LA RELACION DE CONDUCCION EN CONDICIONES DE MAXIMA CONDUCCION.
- c) LA PROTECCION ADECUADA DEL CIRCUITO DE POTENCIA EN CONDICIONES ANORMALES O DE FALLA.
- d) LA REGULACION PERMANENTE DEL PAR MOTOR.

2.2.2 FRECUENCIAS UTILIZADAS.

LA FRECUENCIA DE OPERACION DEL SISTEMA COMPLETO SERA DE 219 Hz.

ESTA FRECUENCIA Y SUS ARMONICAS NO PERTURBARAN EL BUEN FUNCIONAMIENTO DE LAS INSTALACIONES EXISTENTES O PREVISTAS PARA EL FUTURO DE LAS CUALES DESTACAN:

- a) SEÑALIZACION - 3 Hz. ASIMETRICA.
- b) RADIO TELEFONO - 90 K Hz F.M. (FRECUENCIA DE MODULACION, TODO EL ESPECTRO DE LA VOZ DE 300 A - 3000 Hz.)
- c) INTERFONO - 200 A 4000 Hz.
- d) CONTROL AUTOMATICO DE TREN - 4 A 24 K Hz.- PRINCIPALMENTE LAS SIGUIENTES FRECUENCIAS:

4736 Hz.	6216 Hz.
7696 Hz.	9176 Hz.
10656 Hz.	12136 Hz.
13616 Hz.	15096 Hz.
17576 Hz.	18056 Hz.
19536 Hz.	21016 Hz.
22496 Hz.	23976 Hz.

- e) ANUNCIO DE SALIDA A PASAJEROS - 400 Hz.
- f) TELETRANSMISION - 200 Hz p.c.m. (FRECUENCIAS DE MODULACION 1200 Y 1800 Hz.)
- g) PILOTAJE AUTOMATICO - 135K Hz F.M. (FRECUENCIAS DE MODULACION 1140, 1488, 1680, 1356, 2112, --- 1824, 1260, 1188 Y 2352 Hz.).
- h) AUTORIZACION DE RECUPERACION - 61K Hz F.M. (FRECUENCIA DE MODULACION 450 Hz Y FRECUENCIA DE SALIDA 2,900 Hz).

ESTAS CONDICIONES SERAN COMPROBADAS POR EL FABRICANTE A SATISFACCION DE CNCF/STC.

EL FACTOR DE RIZADO DE LA CORRIENTE DE LINEA PRODUCIDO POR EL FUNCIONAMIENTO DEL CHOPPER DEBE DE SER INFERIOR AL 2.0% DEL VALOR NOMINAL DE LA CORRIENTE CONTINUA, EN LAS PEORES CONDICIONES.

LA FRECUENCIA DE OPERACION UTILIZADA POR EL CHOPPER DEBE TENER UNA TOLERANCIA DE ± 0.1 Hz.

2.2.3 VARIACIONES DE CORRIENTE Y VOLTAJE DE LINEA PERMITIDAS.

LA VARIACION DE CORRIENTE EN FUNCION DEL TIEMPO DEMANDADA POR LOS EQUIPOS NO DEBE SER SUPERIOR A 500-AMP./SEG. POR COCHE MOTOR O A 3000 AMP./SEG. POR TREN EN EL ARRANQUE.

LA SOBRE TENSION PERMITIDA EN CASO DE FALLAS DEL CIRCUITO DE POTENCIA DEBE SER MENOR A 2500 VOLTS DURANTE 3 m SEG.

EN FUNCION DEL VOLTAJE DE LINEA EL CHOPPER DEBE CUMPLIR LOS SIGUIENTES REQUISITOS:

- a) SUMINISTRAR LA CORRIENTE PLENA SI EL VOLTAJE DE LINEA ES MAYOR A 550 VOLTS.
- b) SUMINISTRAR CORRIENTE LIMITADA SI LA TENSION DE LINEA SE ENCUENTRA ENTRE 400 Y 500 VOLTS.
- c) CORTAR EL SUMINISTRO DE CORRIENTE CUANDO EL VOLTAJE SEA INFERIOR A 400 VOLTS.

2.2.4 CHOPPER.

EL CHOPPER SERA DE DOS FASES Y DENTRO DEL CIRCUITO DE POTENCIA SE UBICARA EN EL LADO NEGATIVO DE LA FUENTE.

EL EMPLEO DE TIRISTORES EN PARALELO SERA PROTEGIDO POR INDUCTANCIAS DE ANODO Y BALANCEO DE CORRIENTE.

EL DESBALANCEO DE CORRIENTE SERA MENOR DEL 20%.

EL CHOPPER Y SU CONTROL PERMITIRA A LOS MOTORES CUMPLIR CON LAS CARACTERISTICAS DE MARCHA EXIGIDAS ANTERIORMENTE.

EL MAXIMO FACTOR DE RIZADO EN LA CORRIENTE DE LOS MOTORES DE TRACCION SERA EL 10%.

EN CASO DE FALLA DE LOS CIRCUITOS DE POTENCIA, EL CHOPPER AISLARA EL CIRCUITO ANTES DE QUE LA CORRIENTE SUPERE LA CAPACIDAD DEL CIRCUITO DE EXTINCION Y PUEDA CAUSARLE DAÑO.

EN CASO DE FALLA DEL CIRCUITO DE EXTINCION, SE MANDARA LA APERTURA DEL DISYUNTOR PRINCIPAL.

LOS CAPACITORES DE EXTINCION SERAN DE PAPEL IMPREGNADO EN ACEITE Y CAPACES DE SOPORTAR EL REGIMEN SEVERO DE OPERACION Y PERMITIR EL BLOQUEO DEL TIRISTOR PRINCIPAL EN TODOS LOS CASOS. SU CONSTRUCCION SERA TAL QUE SEAN TOTALMENTE HERMETICOS.

LA CONSTRUCCION DE LAS INDUCTANCIAS SERA TAL QUE MINIMICE LA EMISION DE FRECUENCIAS AUDIBLES Y SU NUCLEO SERA DE AIRE.

EL SISTEMA CONTARA CON LOS ORGANOS DE MEDIDA Y DE PROTECCION NECESARIOS PARA ASEGURAR EL BUEN FUNCIONAMIENTO DEL CHOPPER Y SU MANTENIMIENTO. LOS DETECTORES DE ESTAS MEDIDAS SERAN DEL TIPO DE AMPLIFICADORES MAGNETICOS DE ALTA CALIDAD.

LOS CIRCUITOS DE PRE-EXCITACION UTILIZADOS PARA EL FRENADO DEBERAN CONSUMIR UNA POTENCIA NO MAYOR A 0.3 Kw RMS.

EL CAMBIO DE MOTORES A GENERADORES DEBE ASEGURARSE PARA UNA VELOCIDAD IGUAL A 20 KM/H. CUANDO LA POSICION DEL MANIPULADOR SEA F1 Y MENOR A 20 KM/H CUAN-

DO SEA SUPERIOR A F1. //

EN FRENADO, EL DISEÑO DEBE ASEGURAR QUE BAJO TODA CIRCUNSTANCIA NO EXISTAN PROBLEMAS DE ESTABILIDAD: LOS SEMICONDUCTORES DE POTENCIA SERAN ADECUADAMENTE VENTILADOS MEDIANTE UN SISTEMA CONFIABLE Y DE FACIL MANTENIMIENTO QUE LES PERMITA TRABAJAR DENTRO DE LOS RANGOS DE TEMPERATURA MAS APROPIADOS.

ESTE SISTEMA ESTARA DOTADO DE UN DISPOSITIVO DE MEDIDA DE TEMPERATURA, TAL COMO UN RELEVADOR TERMICO QUE SERA MONTADO EN LA ALETA DEL TIRISTOR PRINCIPAL, A FIN DE PROTEGER A LOS SEMICONDUCTORES CUANDO LA TEMPERATURA ALCANCE NIVELES QUE PUEDAN CAUSARLES DAÑO. LA PROTECCION SE HARA EFECTIVA MEDIANTE LA APERTURA DEL DISYUNTOR PRINCIPAL.

EL SISTEMA DE VENTILACION FORZADA USARA FILTROS DE AIRE, LOS CUALES NO PRESENTARAN PROBLEMAS PARA EL MONTAJE Y DESMONTAJE DURANTE SU MANTENIMIENTO. ESTOS SERAN FABRICADOS CON MATERIAL AUTOEXTINGUIBLE Y RESISTENTE.

2.2.5 CONSTRUCCION Y MONTAJE.

LOS SEMICONDUCTORES DE POTENCIA Y SUS CIRCUITOS AUXILIARES SERAN MONTADOS EN UNA SOLA CAJA CERRADA AGRUPADOS POR FUNCIONES Y MONTADOS EN FORMA MODULAR Y ADEMAS QUE PERMITA UNA FACIL INTERCAMBIABILIDAD. ESTA CAJA DEBERA SUSPENDERSE DEL BASTIDOR MEDIANTE SOPORTES APROPIADOS QUE NO PERJUDIQUEN EL BUEN FUNCIONAMIENTO DE LOS SEMICONDUCTORES Y QUE PERMITAN SU FACIL DESMONTAJE, ASI COMO EL ACCESO DESDE EL INTERIOR DE UNA FOSA DE MANTENIMIENTO.

EL FABRICANTE DEBERA REALIZAR TRABAJOS DE DISEÑO Y AJUSTES NECESARIOS CON CNCF A FIN DE CUMPLIR CON LAS DISPOSICIONES SEÑALADAS EN EL PARRAFO ANTERIOR. LA CONEXION DE LOS CABLES DE POTENCIA QUE UNEN A LOS SEMICONDUCTORES CON OTROS ELEMENTOS DEL CIRCUITO SE DEBERA REALIZAR EN EL INTERIOR DE LA CAJA.

LOS CABLES DE CONTROL QUE LLEGAN A ESTA CAJA SE DEBERAN CONECTAR MEDIANTE TOMAS MULTIPLES ROSCADAS. LOS CAPACITORES SERAN MONTADOS DE TAL FORMA QUE SE LES PERMITAN LAS DILATACIONES Y CONTRACCIONES DE -- SUS ENVASES SIN NINGUN PROBLEMA.

2.2.6 LOGICA.

LAS PRINCIPALES FUNCIONES QUE DEBERA REALIZAR LA LOGICA SON LAS SIGUIENTES:

- a) ELABORACION DE LOS DIFERENTES NIVELES DE VOLTAJE REQUERIDOS A PARTIR DE LA ALIMENTACION DE -- 220 V, 60 Hz.
- b) INTERPRETACION DE LAS ORDENES DE CONDUCCION.
- c) CONTROL DE LOS TIRISTORES Y DE LAS PROTECCIONES.
- d) CONTROL DEL SISTEMA DE RECUPERACION DE ENERGIA Y CONJUGACION DEL FRENADO ELECTRICO (RECUPERACION Y REOSTATICO) CON EL NEUMATICO.
- e) IDENTIFICACION DE NIVELES DE VELOCIDAD Y COMANDO DE RELEVADORES.

LA LOGICA DEBERA ESTAR UBICADA DENTRO DE UN COFRE DE FACIL ACCESO POR LA PARTE LATERAL DEL CARRO.

LA UNION ELECTRICA DE ESTA CAJA CON LOS DEMAS COMPONENTES SE DEBERA REALIZAR MEDIANTE TOMAS MULTIPLES-ROSCADAS.

TODOS LOS CABLES DE UNION SUJETOS A INTERFERENCIAS SERAN -- BLINDADOS Y CON CUBIERTA AISLANTE. LOS BLINDAJES SE CONECTARAN A TIERRA EN UN SOLO PUNTO LO MAS CERCA -- POSIBLE AL PUNTO DE TIERRA DE LA MISMA LOGICA Y CONECTADO A ESTE. SE DEBERA EVITAR QUE CABLES CON MUCHA DIFERENCIA DE POTENCIAL O DE CORRIENTE SE LLEVEN JUNTOS.

LAS CARTAS ELECTRONICAS QUE CONTIENE LA LOGICA DEBERAN REALIZARSE EN CIRCUITOS IMPRESOS Y AGRUPARSE -- POR FUNCIONES Y MONTARSE EN UNA CAJA BLINDADA MEDIANTE CORREDERAS Y DEBERAN ESTAR ASEGURADAS.

15
LA LOGICA CONTARA CON UN SISTEMA QUE PERMITIRA --
ABRIR EL DISYUNTOR CUANDO HAGA FALTA EL MONTAJE DE-
POR LO MENOS UNA CARTA Y DARA SENALIZACION QUE LO -
INDIQUE SOBRE EL TABLERO DE LA LOGICA.

TODAS LAS TARJETAS SERAN FABRICADAS TOMANDO EN CUEN-
TA LAS CONDICIONES CLIMATOLOGICAS DE LA CIUDAD DE -
MEXICO Y LAS CONDICIONES DE OPERACION A QUE ESTAN -
EXPUESTAS.

LAS TARJETAS ESTARAN DOTADAS DE UN SISTEMA QUE IMPI-
DA UN MONTAJE EQUIVOCADO.

LA ESTRUCTURA DE LA CAJA SERA LO SUFICIENTEMENTE RO-
BUSTA PARA SOPORTAR SIN PROBLEMA LAS CONDICIONES DE
TRABAJO DEL MATERIAL RODANTE.

LOS DISIPADORES UTILIZADOS ESTARAN TERMICAMENTE AIS-
LADOS DE LA CAJA.

LA LOGICA SE ALIMENTARA A PARTIR DE LA TENSION AL-
TERNA 220V-60 Hz. Y DEBERA FUNCIONAR CORRECTAMENTE-
DENTRO DE UNA TOLERANCIA DE + 5% Y - 5% DEL VOLTAJE
NOMINAL.

LOS EQUIPOS ALIMENTADOS DE LA BATERIA 70V (55V - --
85V) PODRAN TRABAJAR DENTRO DE UNA TOLERANCIA DE --
+ 20% Y - 30% DEL VOLTAJE NOMINAL.

LOS DIFERENTES NIVELES DE TENSION ELABORADOS POR LA
LOGICA TENDRAN UNA TOLERANCIA DE + 2%.

LA LOGICA TENDRA UN SOLO PUNTO DE TIERRA, DADO QUE-
ESTE PUNTO CAPTARA TODAS LAS CORRIENTES DE RETORNO;
SU CONECTOR DEBERA SER DE DIMENSIONES APROPIADAS.

SE SUMINISTRARAN FILTROS DE AISLAMIENTO ENTRE LA --
ALIMENTACION Y LOS MODULOS ELECTRONICOS.

EN EL FRENTE DE LA CAJA DE LA LOGICA EXISTIRAN PUN-
TOS DE PRUEBA DE LOS PRINCIPALES CIRCUITOS E INDICA-
DORES LUMINOSOS QUE PERMITAN LA RAPIDA LOCALIZACION
DE FALLAS.

ESTOS DEBERAN SER FACILMENTE VISIBLES Y ACCESIBLES.
LAS UNIONES MULTIPLES DE LAS TARJETAS EN EL REVERSO
DEL TABLERO DEBERAN RESISTIR LAS VIBRACIONES Y CHO-
QUES A QUE SON SOMETIDAS. SUS CONEXIONES EXTERNAS-

//
DEBERAN REALIZARSE EN FORMA ADECUADA, ASI COMO SU -
CABLEADO. SE SUMINISTRARAN CONECTORES HEMBRA-MACHO-
ENTRE LAS TARJETAS Y LA PARTE FIJA DONDE SE SUJETAN.
LOS COMPONENTES DE LA LOGICA DEBEN APEGARSE A LAS -
NORMAS "MILITAR STANDARD" U OTRAS RECONOCIDAS Y ---
APROBADAS POR CNCF/STC, FABRICADOS POR CUANDO MENOS
DOS FIRMAS RECONOCIDAS MUNDIALMENTE Y SE DEBERA ASE
GURAR EL SUMINISTRO POR UN PERIODO MINIMO DE 10 ---
AÑOS Y DE SUS EQUIVALENTES DESPUES DE ESTE PERIODO.
EL RANGO DE TEMPERATURA DENTRO DEL CUAL DEBERAN TRA
BAJAR SATISFACTORIAMENTE LOS CIRCUITOS LOGICOS DEBE
SER ENTRE -10°C Y +60°C, MEDIDA DENTRO DE LA CAJA -
QUE LOS CONTIENE Y EN OPERACION. SU ENCAPSULADO DE
BERA SER DEL TIPO "DUAL IN LINE". SE DEBERAN PRE--
VER FILTROS A LA ENTRADA DE TODAS Y CADA UNA DE LAS
CARTAS QUE CONTENGAN CIRCUITOS LOGICOS.

LOS TRANSISTORES Y DIODOS SERAN DE SILICIO Y TRABA
JARAN EN UN RANGO DE TEMPERATURA IGUAL O SUPERIOR -
AL DE LOS CIRCUITOS INTEGRADOS. ESTA ULTIMA CONDI
CION SE DEBE RESPETAR PARA LOS COMPONENTES R, L Y C.
SE UTILIZARAN CONDENSADORES ELECTROLITICOS DEL TIPO
TANTALO.

NO SE USARA AISLAMIENTO DE MICA PARA LOS SEMICONDU
TORES Y SE DEBERAN UNIR TERMICAMENTE CON UN ADHESI
VO DEL GENERO "COMPOUND" A LOS DISIPADORES.

EL MATERIAL UTILIZADO PARA LA FABRICACION DE LA PLA
CA QUE ALOJARA AL CIRCUITO IMPRESO SERA DE FIBRA DE
VIDRIO Y RESINA EPOXICA AUTO-EXTINGUIBLE. ESTE DE
BERA TENER UN ESPESOR MINIMO DE 1.5 mm. SIENDO ----
0.035 mm. EL ESPESOR EFECTIVO DE COBRE.

LAS TARJETAS DE DOBLE CARA SOLO SERAN AUTORIZADAS -
EN SU USO SI LA CONEXION ENTRE CARAS SE REALIZA ME
DIANTE AGUJEROS METALIZADOS.

LAS SOLDADURAS DE ESTAÑO EN LAS TARJETAS DEBERAN --
ASEGURAR UNA PERFECTA ADHESION DENTRO DEL RANGO DE
TEMPERATURA YA ESPECIFICADO Y RESISTIR ESFUERZOS --
TERMICOS Y MECANICOS.

12

LOS CONECTORES QUE RECIBIEN A LAS TARJETAS SE FIJARAN ADECUADAMENTE PARA ASEGURAR SU RESISTENCIA A -- CHOQUES Y VIBRACIONES Y TRABAJARAN BAJO EL PRINCIPIO DE RESORTE ABIERTO TIPO EXTENSOR.

LAS TARJETAS TENDRAN BORNES DE PRUEBA PARA FACILITAR EL MANTENIMIENTO.

LOS AJUSTES Y CALIBRACIONES DE LA LOGICA DEBERAN -- REALIZARSE CON RESISTENCIAS FIJAS. ALGUNOS AJUSTES IMPORTANTES SE REALIZARAN POR MEDIO DE RESISTENCIAS VARIABLES, LAS CUALES DESPUES DE LA DETERMINACION DE SU VALOR SE FIJARAN CON BARNIZ.

2.2.7 FILTRO DE LINEA.

EL FILTRO DE LINEA ATENUARA LAS PERTURBACIONES, SUMINISTRARA ENERGIA AL CIRCUITO DE POTENCIA EN TRACCION, CUANDO EL CHOPPER ESTE BLOQUEADO PROTEGERA AL CIRCUITO DE POTENCIA CONTRA VARIACIONES BRUSCAS DE LA CORRIENTE Y DE LA TENSION Y LIMITARA CORRIENTES DE FALLA.

EL FILTRO ESTARA CONSTITUIDO POR UN CIRCUITO LC CUYA FRECUENCIA DE RESONANCIA TENDRA UN VALOR MAXIMO DE 65 Hz. Y CUYAS CARACTERISTICAS PERMITEN CUMPLIR CON LO SEÑALADO EN LOS PUNTOS 2.2.2 Y 2.2.3.

LA INDUCTANCIA SERA DIRECTAMENTE MONTADA Y NO TRANSMITIRA VIBRACIONES AL BASTIDOR, SU AISLAMIENTO SERA CLASE F, ESTARA PROTEGIDA CONTRA CUERPOS EXTRAÑOS Y SUS BORNES DE CONEXION ESTARAN SITUADOS EN UNA CAJA UNIDA A SU ESTRUCTURA. ESTARA ADECUADAMENTE VENTILADA PARA SU CORRECTA OPERACION.

EL CONDENSADOR DE FILTRO SERA CONSTITUIDO MEDIANTE UN ARREGLO CONVENIENTE DE CONDENSADORES EN ENVASES HERMETICOS Y MONTADOS DE TAL MANERA QUE PERMITAN -- EVITAR LOS ESFUERZOS ENGENDRADOS POR LOS ESTADOS DE TEMPERATURA A QUE ESTAN SOMETIDOS.

DESPUES DEL CORTE DE CORRIENTE SOBRE LA LINEA, EL CONDENSADOR DE FILTRO DEBE PODER DESCARGAR DE 900 A 400 VOLTS. EN MENOS DE 3 SEG. CONSIDERANDO UNA CAR-

GA DE 10 Kw.

EL CAPACITOR SERA DE MUY BUENA CALIDAD Y EL FABRI--
CANTE OBLIGA A GARANTIZAR UN VALOR SUPERIOR AL 90%--
DEL INICIAL DESPUES DE 5 AÑOS DE LA ACEPTACION PRO--
VISIONAL POR LO MENOS EN UN 95% DEL LOTE SUMINISTRA--
DO, LOS CONDENSADORES DE REFACCION DEBERAN FUNCIO--
NAR A SATISFACCION DESPUES DE 9 AÑOS DE ALMACENAJE,
CONSIDERANDO QUE CNCF/STC MANTENDRAN A LOS CONDENSA--
DORES EN UN BUEN ALMACENAJE.

2.2.8 INDUCTANCIAS DE ALISAMIENTO.

LAS INDUCTANCIAS DE ALISAMIENTO SERAN DEL TIPO MU--
TUAMENTE ACOPLADAS Y DEBEN LIMITAR EL PORCENTAJE DE
ONDULACION DE LA CORRIENTE DE ALIMENTACION A LOS MO--
TOS A MENOS DE 10% Y MODERAR LAS VARIACIONES DE -
CORRIENTE RESPECTO AL TIEMPO, A LOS VALORES ACEPTA--
BLES POR LAS PROTECCIONES EN CASO DE FALLA.

SE CONSTRUIRA Y SE MONTARA DE IGUAL MANERA QUE LA -
INDUCTANCIA DEL FILTRO DESCRITA EN EL PUNTO ANTE---
RIOR.

2.2.9 EQUIPOS DE INTERRUPCION Y CONMUTACION.

EL AISLAMIENTO DE LOS CIRCUITOS DE POTENCIA O SU --
CONMUTACION SE REALIZARA POR DISPOSITIVOS ELECTRO--
MAGNETICOS O ELECTRONEUMATICOS.

LA PROTECCION DE LOS CIRCUITOS DE POTENCIA SE REALI--
ZARA POR INTERRUPTORES ULTRARAPIDOS Y EN FORMA COM--
PLEMENTARIA POR FUSIBLES COLOCADOS CERCA DE LAS ES--
COBILLAS POSITIVAS.

TODOS LOS DISPOSITIVOS MECANICOS DE CORTE, DE CONMU--
TACION Y DE AISLAMIENTO ESTARAN COLOCADOS EN UNA --
MISMA CAJA.

LOS CONTACTOS AUXILIARES DE ESTOS DISPOSITIVOS DEBE--
RAN ESTAR DEBIDAMENTE PROTEGIDOS CONTRA LA SUCIEDAD
Y CUBIERTOS DE UN MATERIAL QUE PERMITA OBSERVAR SU--
CONDICION.

LOS MANDOS DE LOS APARATOS ELECTROMECHANICOS SE HARAN MEDIANTE LA ALIMENTACION DE LA TENSION DE BATERIA Y DEBERAN TRABAJAR ADECUADAMENTE ENTRE LOS RANGOS DE TENSION ESTABLECIDOS ANTERIORMENTE.

EN TODOS LOS CASOS EN QUE SE UTILICEN CONTACTORES, EL FABRICANTE ASEGURARA QUE EN NINGUNA CIRCUNSTANCIA LOS CONTACTOS SE QUEDEN PEGADOS CAUSANDO DAÑOS A LOS EQUIPOS. DE CUALQUIER MANERA EL FABRICANTE SELECCIONARA LOS MATERIALES DE LOS CONTACTOS CON EL FIN DE EVITAR SU UNION PERMANENTE.

LOS APARATOS DE MANDO ELECTRONEUMATICO DEBERAN SER ALIMENTADOS A PARTIR DEL AIRE COMPRIMIDO QUE SUMINISTRA EL COMPRESOR Y DEBERAN TRABAJAR ADECUADAMENTE ENTRE LOS RANGOS DE PRESION ESTABLECIDOS EN EL CAPITULO CORRESPONDIENTE AL EQUIPO NEUMATICO (ENTRE 5 Y 8.2 BAR).

2.2.10 FUSIBLES.

EL FUSIBLE DE PROTECCION SERA LOCALIZADO A LA CABEZA DEL CIRCUITO DE POTENCIA, PROPORCIONARA UNA PROTECCION ADICIONAL, DEBIENDO CUMPLIR CON LOS SIGUIENTES REQUERIMIENTOS: FUSION SILENCIOSA SIN HUELLA EXTERIOR, PREFERENTEMENTE RECUPERABLES, VELOCIDAD DE FUSION ADECUADA.

EL FABRICANTE SUMINISTRARA LOS FUSIBLES DE ESCOBILLAS LOCALIZADOS EN LOS BOGIES DE LOS CARROS MOTORES, ESTOS SERAN DE UNA CAPACIDAD DE 800 A.

2.2.11 INTERRUPTOR ULTRARAPIDO.

ESTE DISPOSITIVO TENDRA UNA OPERACION DE DISPARO ELECTROMAGNETICO CONTRA SOBRECORRIENTE Y UN MANTENIMIENTO DE CIERRE ELECTRONEUMATICO.

LA VELOCIDAD DE APERTURA DESPUES DE RECIBIR LA SEÑAL DE LOS DISPOSITIVOS DE PROTECCION Y SU CAPACIDAD SERA TAL QUE PUEDAN AISLAR CUALQUIER FALLA OCURRIDA DESPUES DE SU PUNTO DE CONEXION SIN DAÑAR CUALQUIERA DE LOS APARATOS DE TRACCION.

LAS CAMARAS DE EXTINCION DE ARCO DEBERAN SER FACILMENTE DESMONTABLES PARA LA REVISION DE LOS CONTACTOS PRINCIPALES.

LAS PIEZAS MECANICAS SERAN CONSTRUIDAS DE TAL FORMA QUE PERMITAN 1 000 000 DE ACCIONAMIENTOS (EN VACIO), SIN DESGASTE NOTABLE, CONFORME AL REGIMEN DE SELECCION Y PRUEBA SEÑALADO EN EL CAPITULO CORRESPONDIENTE.

2.2.12 INTERRUPTOR SECCIONADOR.

ESTOS SERAN DE LAS MISMAS CARACTERISTICAS QUE LOS ANTERIORES, SALVO EN LO RELACIONADO CON LA VELOCIDAD DE APERTURA.

LOS INTERRUPTORES SECCIONADORES QUE CONTENGA EL CIRCUITO DE POTENCIA DEBERAN SER CAPACES DE INTERRUMPIR SU CORRIENTE NOMINAL 300 000 VECES SIN REQUERIR REEMPLAZO DE SUS CONTACTOS NI DE SUS CAMARAS DE EXTINCION.

2.2.13 CONTACTORES ELECTROMAGNETICOS.

DEBERAN SER CONSTRUIDOS DE TAL FORMA QUE PUEDAN INTERRUMPIR SU CORRIENTE NOMINAL 100 000 VECES EN EL CASO DE CONTACTORES DE BAJA TENSION Y 200 000 VECES EN EL CASO DE CONTACTORES DE POTENCIA. SUS CAMARAS DE EXTINCION DE ARCO DEBERAN SER FACILMENTE DESMONTABLES PARA LA INSPECCION DE LOS CONTACTOS.

2.2.14 CONMUTADORES.

DEBERAN DISEÑARSE PARA CONTENER 2 POSICIONES ESTABLES CON MANDO ELECTRONEUMATICO Y ASEGURAR 1000 000 DE OPERACIONES (EN VACIO) SIN DESGASTE NOTABLE DE SUS PARTES, CONFORME AL REGIMEN DE SELECCION Y PRUEBA SEÑALADO EN EL CAPITULO CORRESPONDIENTE. SE DEBE ASEGURAR QUE ANTES DE LA CONMUTACION LA CORRIENTE DEL MOTOR SEA NULA.

2.2.15 VARIACION DE CAMPO. ²²

PARA ESTE EFECTO, SE EMPLEARA EL SISTEMA AVF EN -- TRACCION PARA LOGRAR UNA VARIACION DE CAMPO PROGRE SIVA Y CONTINUA DE LA CORRIENTE DE LOS MOTORES. SE ACEPTA LA REDUCCION PERMANENTE DEL CAMPO EN FRE NADO.

EN TODAS LAS CIRCUNSTANCIAS Y BAJO MAXIMA REDUC--- CION DE CAMPO, EL MOTOR NO DEBERA PRESENTAR PROBLE MAS DE CONMUTACION NI AUN CON DESGASTE MAXIMO EN - EL COLECTOR Y CUMPLIRA CON LOS TIPOS DE MARCHA RE- QUERIDOS.

2.2.16 PUNTOS PARA PRUEBA.

TODOS LOS DISPOSITIVOS NECESARIOS PARA MEDIR CO--- RRIENTE DE LINEA EN TRACCION Y FRENADO, POTENCIA .- ENVIADA O SOLICITADA DE LA LINEA, TENSION DE LINEA, CORRIENTE DE CADA FASE DEL CHOPPER, CORRIENTE EN -- CADA RAMA DE LOS MOTORES, TENSION EN LOS BORNES DE CADA UNO DE LOS GRUPOS DE MOTORES Y TODOS LOS PARA METROS IMPORTANTES, TENDRAN UNA PRECISION DE + 1% - Y LAS SEÑALES DEBERAN SER LLEVADAS A UNA TOMA MUL TIPLE SITUADA EN EL TABIQUE DE CABINA.

TODAS LAS SEÑALES NECESARIAS PARA VERIFICAR EL --- BUEN FUNCIONAMIENTO DE LA LOGICA, DEBERAN ESTAR SI TUADAS AL FRENTE DEL PANEL DE LA MISMA, MEDIANTE - PUNTOS DE PRUEBA Y/O INDICADORES DE FUNCIONAMIENTO.

2.2.17 APARATOS DE MANDO Y CONTROL.

EL CHOPPER PODRA SER COMANDADO POR EL PILOTAJE AU TOMATICO O POR EL MANIPULADOR, ASI COMO POR LAS -- MARCHAS DESGRADADAS EXISTENTES ENTRE ELLAS NO DE-- BIENDO EXISTIR INTERACCION DE UNA MARCHA SOBRE --- OTRA.

LOS MANDOS MANUALES DE TRACCION Y DE FRENADO SE -- DAN CON UN SOLO MANIPULADOR DE TIPO ROTATIVO.

LA POSICION NEUTRA ESTA EN LA PARTE MEDIA DE SU --- DESPLAZAMIENTO, LAS ORDENES DE TRACCION LAS DARA -

23

EL CONDUCTOR MOVIENDO LA PALANCA HACIA ADELANTE Y LAS DE FRENADO HACIA ATRAS. EL MANIPULADOR TENDRA CINCO POSICIONES IDENTIFICABLES, LAS CUALES SON:

- a) FRENADO DE URGENCIA.
- b) FRENADO DE SERVICIO MAXIMO.
- c) NEUTRO.
- d) MANIOBRA.
- e) TRACCION MAXIMA.

EL PASO DEL MANIPULADOR POR CUALQUIERA DE ESTOS -- PUNTOS DEBE SER APRECIABLEMENTE SENTIDO POR EL OPE RADOR.

ADEMAS DE ESTAS POSICIONES SE SEÑALARAN EN EL CUA DRANTE LOS PASOS INTERMEDIOS ENTRE EL FRENADO DE SERVICIO MAXIMO Y NEUTRO Y TAMBIEN ENTRE TRACCION MAXIMA Y MANIOBRA, EQUIVALENTES A LAS POSICIONES DEL MANIPULADOR DE LOS TRENES ACTUALMENTE EN SERVI CIO, SIN QUE EL PASO DEL MANIPULADOR POR ESTOS PUN TOS SEA SENTIDO POR EL OPERADOR.

EN FRENADO, EL ESFUERZO SOLICITADO DEBERA SER PRO PORCIONAL A LA POSICION DEL MANIPULADOR EN RELAA CION AL NEUTRO.

EL MANIPULADOR ESTARA DOTADO DE UN DISPOSITIVO DE HOMBRE MUERTO Y DEBE DE SER CAPAZ DE SOPORTAR ---- 1000 000 DE FUNCIONES SIN DESGASTE NOTABLE EN SUS PARTES, INCLUIRA LOS EQUIPOS AUXILIARES NECESARIOS PARA LA TRANSMISION DE LA INFORMACION Y LA VIGILAN CIA DE DIFERENTES SEGURIDADES ELECTRICAS.

EL MANIPULADOR ESTARA DOTADO DE UN DISPOSITIVO QUE LE PERMITA, AL SER ABANDONADO EN UNA POSICION DE TRACCION, REGRESAR A UN PUNTO DE FRENADO Y QUE EN LOS PUNTOS DE FRENADO AL SER ABANDONADO, PERMANEZ CA EN SU POSICION.

LAS ORDENES DE CONDUCCION REGULARAN EL SUMINISTRO DE UNA FUENTE DE CORRIENTE ESTABLE Y SU SALIDA --- CONSTITUIRA EL MANDO CONTINUO. ESTA ACCION ESTARA

CONCEBIDA MEDIANTE CIRCUITOS MONTADOS EN SEGURIDAD DE TAL FORMA QUE SI OCURRE UNA FALLA EN CUALQUIERA DE SUS COMPONENTES EN UN PASO DE TRACCION, RESULTARA UNA DISMINUCION DEL ESFUERZO DE TRACCION O SI OCURRE EN FRENADO SE AUMENTARA EL ESFUERZO DE FRENADO.

EL MANDO CONTINUO ESTARA DUPLICADO Y ESTARA CONSTITUIDO POR 2 GENERADORES ELEMENTALES IDENTICOS, UNO DE ELLOS ES PRIORITARIO. EN CASO DE DEFECTO DEL GENERADOR PRIORITARIO UN DISPOSITIVO AUTOMATICO -- CONMUTA SOBRE EL OTRO GENERADOR. ESTA CONMUTACION SE SEÑALA EN LA CABINA DE CONDUCCION MEDIANTE UNA LAMPARA ENCENDIDA. CUALQUIERA DE LOS DOS MANDOS DEBERA ASEGURAR LA CONDUCCION NORMAL DEL TREN. LA SEÑAL DE MARCHA SE SITUARA DENTRO DE UN RANGO QUE PERMITA CON SEGURIDAD FIJAR ESTA POSICION. CADA UNA DE LAS MOTRICES DEBERA RECIBIR E INTERPRETAR LA SEÑAL DE MANDO CONTINUO CON UNA TOLERANCIA MAXIMA DE MAS O MENOS 10% EN RELACION AL ESFUERZO PEDI DO.

EL FRENO DE URGENCIA SE REALIZARA POR UNA LINEA DE TREN INDEPENDIENTE DEL MANDO CONTINUO. LA AUSENCIA DE SEÑAL EN ELLA DEBE PROVOCAR EL CORTE DEL MANDO CONTINUO.

EL DISPOSITIVO DEL MANDO CONTINUO ESTARA PROTEGIDO CONTRA TODAS LAS PERTURBACIONES. LA INFLUENCIA MAXIMA ACEPTABLE DE CUALQUIER PERTURBACION SOBRE EL MANDO, DEBE SER INFERIOR A $\pm 2\%$. EL MANDO CONTINUO NO INTRODUCIRA PERTURBACIONES EN LAS INSTALACIONES DE SEÑALIZACION, EN LOS EQUIPOS DE TRACCION, NI EN LOS CIRCUITOS DE BAJA TENSION DEL TREN. LOS CIRCUITOS SON ALIMENTADOS POR LA BATERIA DEL CARRO. LAS LINEAS DE TREN QUE LLEVAN LAS SEÑALES DE MANDO O DE CONTROL, SE AISLARAN GALVANICAMENTE DE SUS CIRCUITOS DE EMISION Y DE LOS DE RECEPCION.

2.2.18 PROTECCIONES PARA LOS EQUIPOS DE TRACCION.

CUALQUIER FALLA SUSCEPTIBLE DE SER DETECTADA POR EL CHOPPER SERA ELIMINADA O AISLADA POR ACCION DIRECTA SOBRE EL PORCENTAJE DE CONDUCCION HASTA LA EXTINCION COMPLETA SI ES REQUERIDO. LAS FALLAS -- QUE EL CHOPPER MISMO NO PUEDA DETECTAR, SERAN AISLADAS POR EL DISPARO DE LOS DISYUNTORES ULTRARAPIDOS.

EN TODOS LOS CASOS, EL PRIMER NIVEL DE PROTECCION-CONTRA LOS DEFECTOS SERA ASEGURADO POR LOS CIRCUITOS ELECTRONICOS, ACTUANDO, YA SEA SOBRE EL CHO---PPER O BIEN, SOBRE LOS INTERRUPTORES.

PARA QUE LA ELECTRONICA ESTE EN POSIBILIDAD DE DISTINGUIR CON CERTEZA LAS ANOMALIAS DE LOS BAJOS NIVELES DE CORRIENTE O DE TENSION, ESTOS DEBEN SER CONTINUAMENTE MEDIDOS, COMPARANDO DOS PARAMETROS -- QUE TIENEN UNA RELACION ENTRE SI EN LOS LUGARES -- ADECUADOS DEL CIRCUITO DE POTENCIA (EJEMPLO: MEDIDA DE LA CORRIENTE Y DE LA TENSION DEL MOTOR).

EN TODOS LOS CASOS DE DISPARO PERMANENTE DE LOS INTERRUPTORES, EL DISPOSITIVO DE PROTECCION QUE LO -- PROVOCO SE IDENTIFICARA FACILMENTE.

LA PROTECCION POR CIRCUITOS ELECTRONICOS VIGILARA LA ADECUADA INTERPRETACION DE LOS MANDOS, ASI COMO LA RESPUESTA DE LOS EQUIPOS A ESOS MANDOS. ESTA -- VIGILANCIA SE REALIZARA SOBRE LOS PRINCIPALES PARA METROS QUE PUEDEN SER: VOLTAJE DE LINEA, CORRIENTE DE LINEA, CORRIENTE EN CADA FASE Y RAMA DEL CHO PPER, CORRIENTE EN LAS RAMAS DE LOS MOTORES, VOLTA JE DE MOTORES, PATINAJE DE LAS RUEDAS.

ADEMAS DE LA PROTECCION ELECTRONICA EL DISEÑO COMPRENDE RELEVADORES DE PROTECCION PARA LOS SIGUIENTES PARAMETROS: SOBRECORRIENTE DE LINEA, SOBRECORRIENTE EN EL FRENADO, SOBRETENSION EN EL CIRCUITO DE POTENCIA Y TEMPERATURA DE SEMICONDUCTORES.

2.2.19 VERIFICACION Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.

EL DISEÑO PERMITIRA LA REALIZACION DE PRUEBAS A --
BAJO NIVEL DE CORRIENTE DESDE LA CABINA DE CONDUCCION. SI UN EQUIPO ESPECIAL DE PRUEBA ES SUMINISTRADO SE CONTARA CON LA POSIBILIDAD DE REALIZAR --
PRUEBAS LOCALES PARA LA CAJA DE CONTROL DE DISPARO DE TIRISTORES SOBRE LAS MOTRICES PARA FACILITAR EL DIAGNOSTICO DE FALLAS. LAS PROTECCIONES NECESARIAS PARA LA REALIZACION DE ESTAS PRUEBAS Y LAS --
QUE EL TREN REQUIERA, DEBEN ESTAR PREVISTAS.

LA TOMA UBICADA EN EL TABIQUE DE CABINA (PARRAFO -
2.2.16, SERVIRA PARA LA VERIFICACION, EN LA VIA DE PRUEBAS O EN LAS LINEAS DE LOS PARAMETROS CON LA AYUDA DE EQUIPO AUXILIAR.

CUALQUIER FALLA QUE PROVOQUE LA APERTURA DEL INTERRUPTOR, YA SEA EN PRUEBAS O EN FUNCIONAMIENTO NORMAL, SE SEÑALIZARA EN LA CABINA DE CONDUCCION COMO MOTRIZ INACTIVA.

SI SE SUMINISTRA UN EQUIPO ESPECIAL LAS PRUEBAS LOCALES SE PODRAN REALIZAR SIN SOMETER A TENSION EL CIRCUITO DE POTENCIA. ESTAS PRUEBAS SERVIRAN PARA VERIFICAR LAS PRINCIPALES FUNCIONES DE LA LOGICA, SIMULANDO LAS SEÑALES DE ENTRADA Y OBSERVANDO LAS DE SALIDA. SE PODRAN SIMULAR ENTRE OTRAS FUNCIONES, EL MANDO CONTINUO, LA FRECUENCIA DE FUNCIONAMIENTO, LAS PROTECCIONES POR CIRCUITOS ELECTRONICOS, ETC.

SE SUMINISTRARAN TAMBIEN OTRO TIPO DE PRUEBAS LOCALES, CON VOLTAJE Y ESTAS SERVIRAN PARA VERIFICAR EL ESTADO DE FUNCIONAMIENTO DE SEMICONDUCTORES DE POTENCIA, VARIACION DE CAMPO, CONMUTACION TRACCION FRENADO, INTERRUPTORES, ETC. ESTAS PRUEBAS REQUIEREN CIERTAS CONDICIONES DEL TREN QUE DEBERAN SER PREVISTAS PARA LA ADECUADA REALIZACION DE ESTAS, PRINCIPALMENTE IMPEDIR QUE UN TREN SE MUEVA DURANTE SU REALIZACION.

2.2.20 SEÑALIZACIONES LOCALES Y DE CABINA.

EXISTIRAN EN PUNTOS VISIBLES DEL PANEL DE LA LOGICA, SEÑALES INDICADORAS DE LOS SIGUIENTES DEFECTOS: MOTRIZ INACTIVA, CARRO BLOQUEADO, DEFECTO DE TRACCION, DEFECTO DE FRENADO, SOBRETENSION DE LINEA, SOBRECORRIENTE DE FASE DEL CHOPPER, SOBRECORRIENTE DEL MOTOR, SOBRETENSION EN LOS BORNES DE LOS MOTORES, FALLA DEL CONMUTADOR TRACCION-FRENADO, SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DEFECTUOSO.

LA CABINA CONTENDRA SEÑALIZACIONES DE MOTRIZ INACTIVA A LA TRACCION Y AL FRENADO, POR LO QUE EL DISEÑO DEL EQUIPO DEBERA CONTEMPLAR ESTAS ALIMENTACIONES.

2.2.21 CONMUTADOR DE ALIMENTACION.

CON EL FIN DE HACER POSIBLE LA ALIMENTACION DE ALTA TENSION EN VIAS DESPROVISTAS DE BARRAS DE GUIADO O EN EL TALLER, EL FABRICANTE SUMINISTRARA UN CONMUTADOR "ESCOBILLAS-TROLE" QUE PERMITA LA ALIMENTACION DE LOS CIRCUITOS DE POTENCIA YA SEA POR MEDIO DE LAS ESCOBILLAS O POR MEDIO DE UNA TOMA DE TALLER ALIMENTADA POR UN TROLE SUSPENDIDO DE UNA LINEA AEREA.

EL ACCIONAMIENTO DE ESTE CONMUTADOR PODRIA HACERSE INDISTINTAMENTE DE UNO U OTRO LADO DEL COCHE.

EN EL CASO EN EL QUE SE USE LA ALIMENTACION POR TROLE, LA TRACCION SE LIMITARA AL PUNTO DE MANIOBRA (T1).

ESTE CONMUTADOR CONTENDRA LOS CONTACTOS DE CONTROL NECESARIOS.

3. DESCRIPCION DEL EQUIPO DE CONTROL.

3.1 DESCRIPCION GENERAL.

3.1.1 GENERALIDADES.

ESTE CARRO ELECTRICO HA SIDO MANUFACTURADO PARA LAS UNIDADES NM79 DEL METRO DE LA CIUDAD DE MEXICO.

3.1.2 ESPECIFICACIONES PRINCIPALES DE LOS CARROS.

- (1) SISTEMA ELECTRICO 750 VDC (TERCER RIEL DE SUMINISTRO DE POTENCIA).
(MAX. 900V-MIN. 400V)
- (2) FORMACION DEL TREN M-R-N-N-R-N-N-R-M (6 UNIDADES DE CONTROL POR TREN).
M : CARRO MOTRIZ CON CABINA.
N : CARRO MOTRIZ.
R : CARRO REMOLQUE.
- (3) PESO DEL CARRO M : 29.5 TONS.
N : 28.7 TONS.
R : 21.5 TONS.
- (4) ACELERACION 1.4 M/SEG² (MAXIMO)
- (5) DESACELERACION MAXIMO EN OPERACION NORMAL -
A 3/4 DE SU CARGA.
308 TON/TREN... 1.8 M/SEG²
DE EMERGENCIA A PLENA CARGA
(333 TON/TREN)...2.0 M/SEG²
- (6) MOTOR DE TRACCION 138 KW 360V 426A 1950 RPM -
(1 HR. DE FUNCIONAMIENTO).
- (7) DIAMETRO DE RUEDAS 1005 mm.
- (8) CONTROL DE TRACCION AVF (CAMPO VARIABLE AUTOMATICO) CONTROL CHOPPER CON FRENADO REGENERATIVO/DINAMICO 4 MOTORES CONTROLADOR -- POR CHOPPER.

- (9) CONTROL DE FRENADO COMBINACION CONTINUA DE CONTROL DE FRENADO DINAMICO/REGNERATIVO Y FRENO NEUMATICO.
- (10) VOLTAJES DE LA FUENTE DE CONTROL. 220 VAC \pm 5%, 60 Hz \pm 5%, -
1 FASE, DC 72V \pm 20%
- 30%
- (11) PRESION DE AIRE. 5 KG/CM² \pm 0.1 Kg/CM².

3.1.3 SISTEMA DE CONTROL.

ESTE SISTEMA CHOPPER SE UTILIZA PARA CONTROLAR AUTOMATICAMENTE LA ACELERACION Y DESACELERACION DEL TREN.

- (1) CONEXION DE MOTORES DE TRACCION.
TRACCION : 2S2P CONEXION PERMANENTE.
(LOS DEVANADOS AVF SE CONECTAR PERMANENTEMENTE EN 4S1P).
FRENADO : CONEXION PERMANENTE 2S2P CON CAMPO CRUZADO, RELACION CONSTANTE DE VARIACION DEL CAMPO.
- (2) CONTROL DE VOLTAJE Y DE CORRIENTE.
EL CONTROL DE VOLTAJE Y CORRIENTE CONSTANTE ESTA DE ACUERDO A UN MANDO PATRON DESDE EL CONTROLADOR MAESTRO. TAMBIEN EN ESTA POSICION, EL VOLTAJE ESTA LIMITADO POR EL PROMEDIO DE CONDUCCION.
- (3) CONTROL DE CORTE (CHOPPING).
FRECUENCIA CONSTANTE, CONTROL DE CORRIENTE.
- (4) SECUENCIA DE INTERRUPCION DE CORRIENTE.
SERVICIO NORMAL : INTERRUPCION DE CORRIENTE REDUCIDA POR CONTROL CHOPPER.
EMERGENCIA: INTERRUPCION DE CORRIENTE REDUCIDA POR UN CIRCUITO INTERRUPTOR DE ALTA VELOCIDAD.
- (5) ARRANQUE.

CORRIENTE PATRON DE CONTROL EN EL ARRANQUE.

(6) FRECUENCIA DE CORTE (CHOPPING).

219 Hz X 2 FASES.

(7) PRE-EXCITACION.

EL DEVANADO DE CAMPO SERIE DEL MOTOR DE TRACCION ES PRE-EXCITADO POR UNA FUENTE DE POTENCIA CONTROLADA.

(8) CONTROL DE APAGADO DEL MOTOR DE TRACCION.

LOS CUATRO MOTORES SON APAGADOS EN CASO DE FALLA DE UN MOTOR.

3.1.4 EQUIPO ELECTRICO PRINCIPAL.

(1) MOTOR DE TRACCION

TIPO : DC, SERIE CON DEVANADOS AVF, 4 POLOS DE CONMUTACION ESTRUCTURA CILINDRICA DE ACERO CON AUTOVENTILACION.

CAPACIDAD CONTINUA: 128 kW, 360V, 395A, 2000 RPM

PROMEDIO EN UNA HORA: 138 kW, 360V, 426A, 1950 RPM

RAZON MINIMA DE VARIACION DEL CAM

PO: 35%

(2) CAJA DE INTERRUPTORES DE LINEA, CONMUTADORES Y CONTACTORES.

a) INTERRUPTOR REDUCTOR DE ALTA VELOCIDAD (HB1, HB2) 750 V. C.D., 740 A.

b) CONTACTOR ELECTRONEUMATICO LB1 750 V. C.D. 740A, LB2, 750 V.C.D. 450 A.

c) CONTACTOR ELECTROMAGNETICO (PEXK) 750V C.D. 30A, (BLK1, BLK2) 220V C.A. 20A.

d) RELEVADOR DE BAJO VOLTAJE (LVR).

e) SWITCH DE PRUEBA DE SECUENCIA (SQS)

f) CONMUTADOR DE INVERSION (RV) 750V C.D. 600A.

g) CONMUTADOR DE TRACCION-FRENADO 750 V. C.D. 600A.

- (3) CAJA DE CONTROL DE CHOPPER.
- a) TIRISTOR MCRF : FR 600 AX (2500V, 400A, --
35 μ s, 1S2P).
ACRF : FR 600 AW (2400V, 400A, --
40 μ s, 1S2P)
 - b) DIODO FWD,AFWD: FD-1000A (2800V, 800A, ---
1S2P)
 - c) CAJA DE CONTROL DE COMPUERTAS.
 - d) VENTILADOR DE LA CAJA DE CONTROL CHOPPER.
 - e) TRANSFORMADOR DE CORRIENTE DC.
 - f) TRANSFORMADOR DE POTENCIAL DC.
 - g) CONDENSADOR DE FILTRO (FC) 750V, 1200 μ F.-
X 2P.
 - h) CONDENSADOR DE CONMUTACION (CMC1, CMC2) --
900V, 63 μ F).
- (4) REACTOR PRINCIPAL DE ALISAMIENTO (MSL) 4.5mH,-
395A.
- (5) REACTOR PRINCIPAL DE FILTRO (FL) 2.5 mH 680A.
- (6) RESISTENCIA REDUCTORA (HB1R) 3.6 Ω
(HB2R) 1.0 Ω

3.2 CURVAS DE FUNCIONAMIENTO DEL TREN.

3.2.1 CURVAS DE FUNCIONAMIENTO EN TRACCION.

LAS CURVAS DE COMPORTAMIENTO SE MUESTRAN EN LOS DIBUJOS No. 3.1 Y 3.2 CON UN VOLTAJE DE LINEA DE 750-VCD Y UN DIAMETRO DE RUEDAS DE 967 mm.

3.2.2 CURVAS DE FUNCIONAMIENTO EN FRENADO.

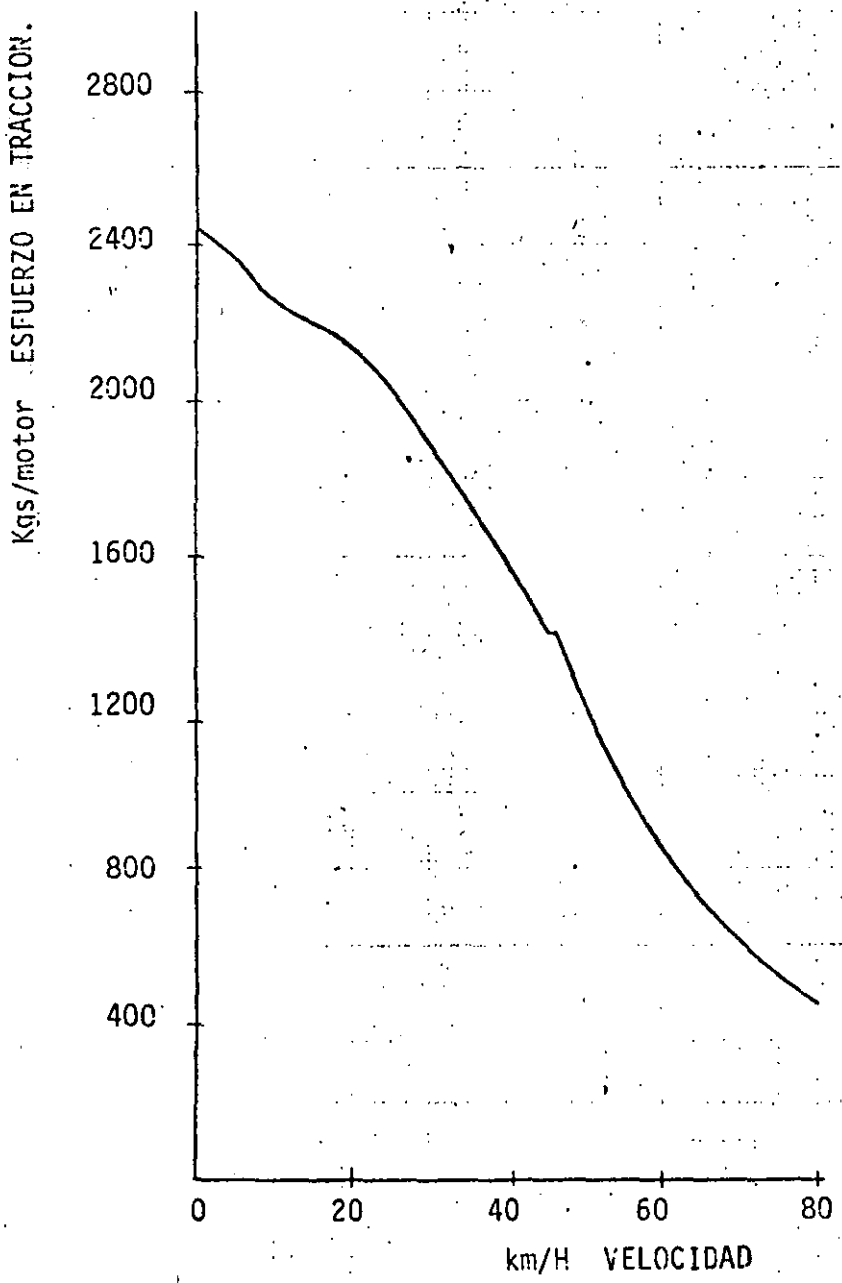
LAS CURVAS DE COMPORTAMIENTO SE MUESTRAN EN LOS DIBUJOS 3.3 Y 3.4 CON UN VOLTAJE DE LINEA DE 850 VDC- Y UN DIAMETRO DE RUEDAS DE 967 mm.

33
CURVA DE COMPORTAMIENTO EN TRACCION

VOLTAJE DE LINEA 750 V.

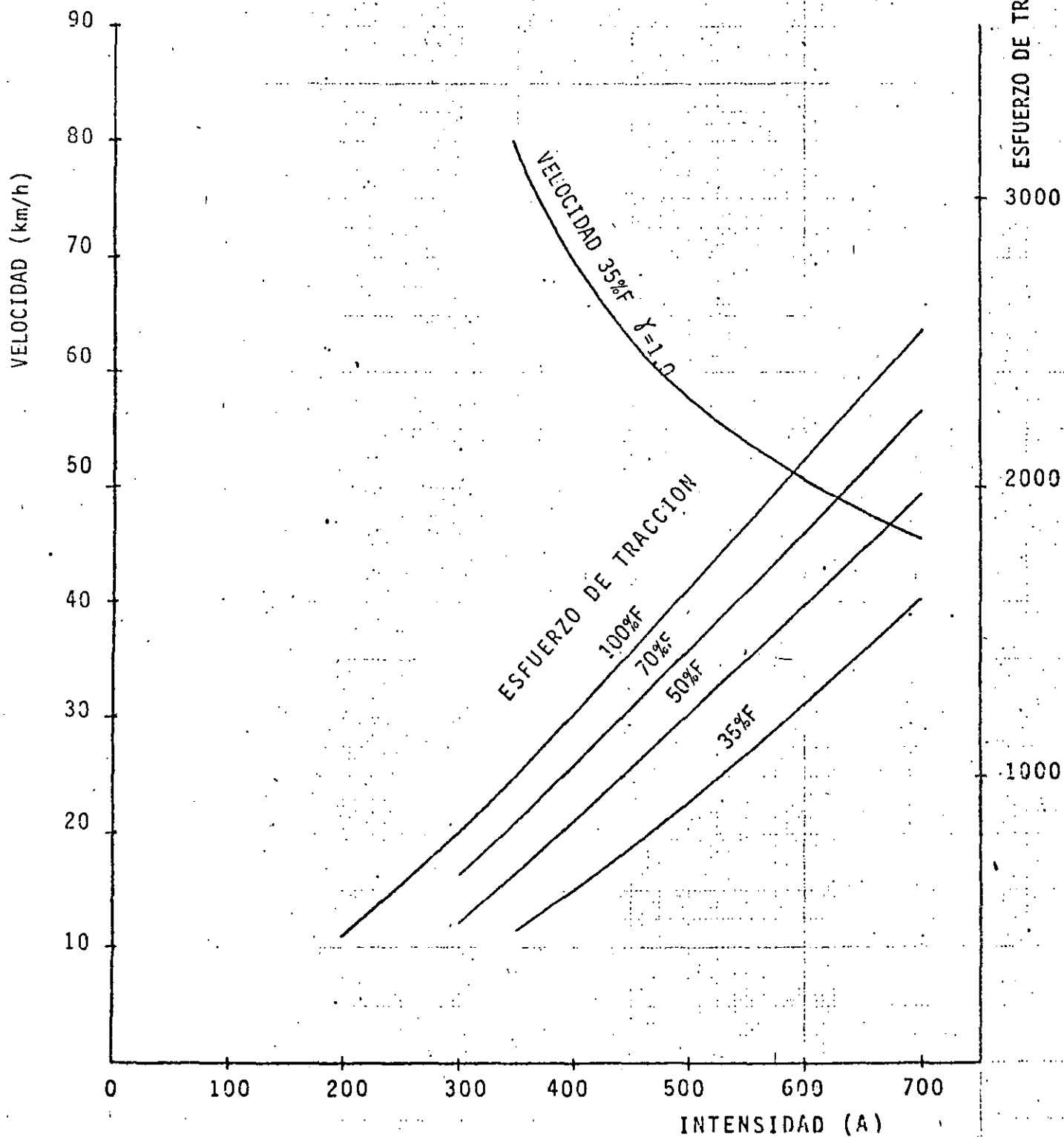
RAZON DE ENGRANES 9.23

DIAMETRO DE RUEDA 1005 mm. (CAL. 967 mm.)



DIBUJO No. 3.1

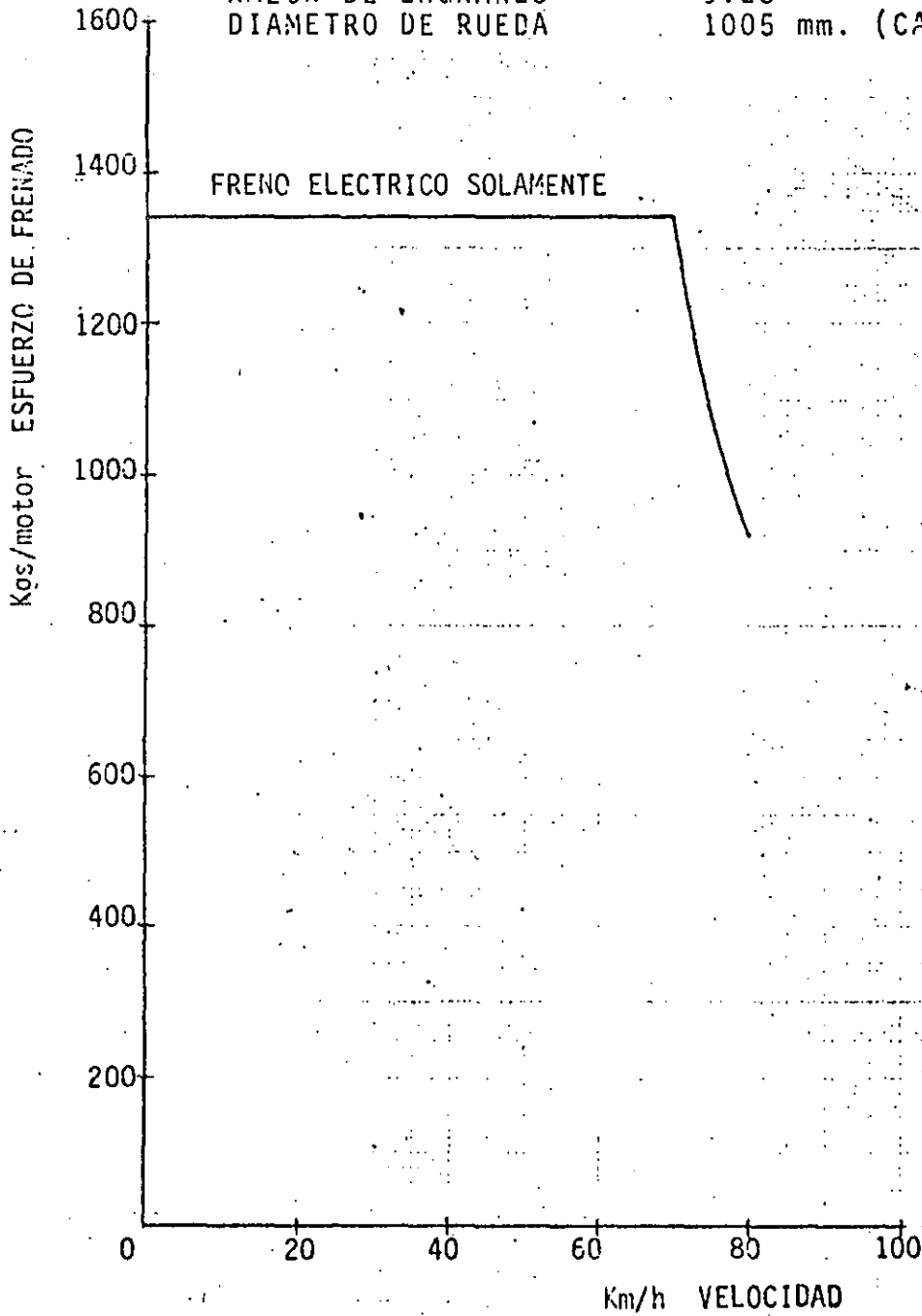
CURVA DE TRACCION
MOTOR MB-3230A
TENSION DE LINEA. 750 V



DIBUJO No. 3.2

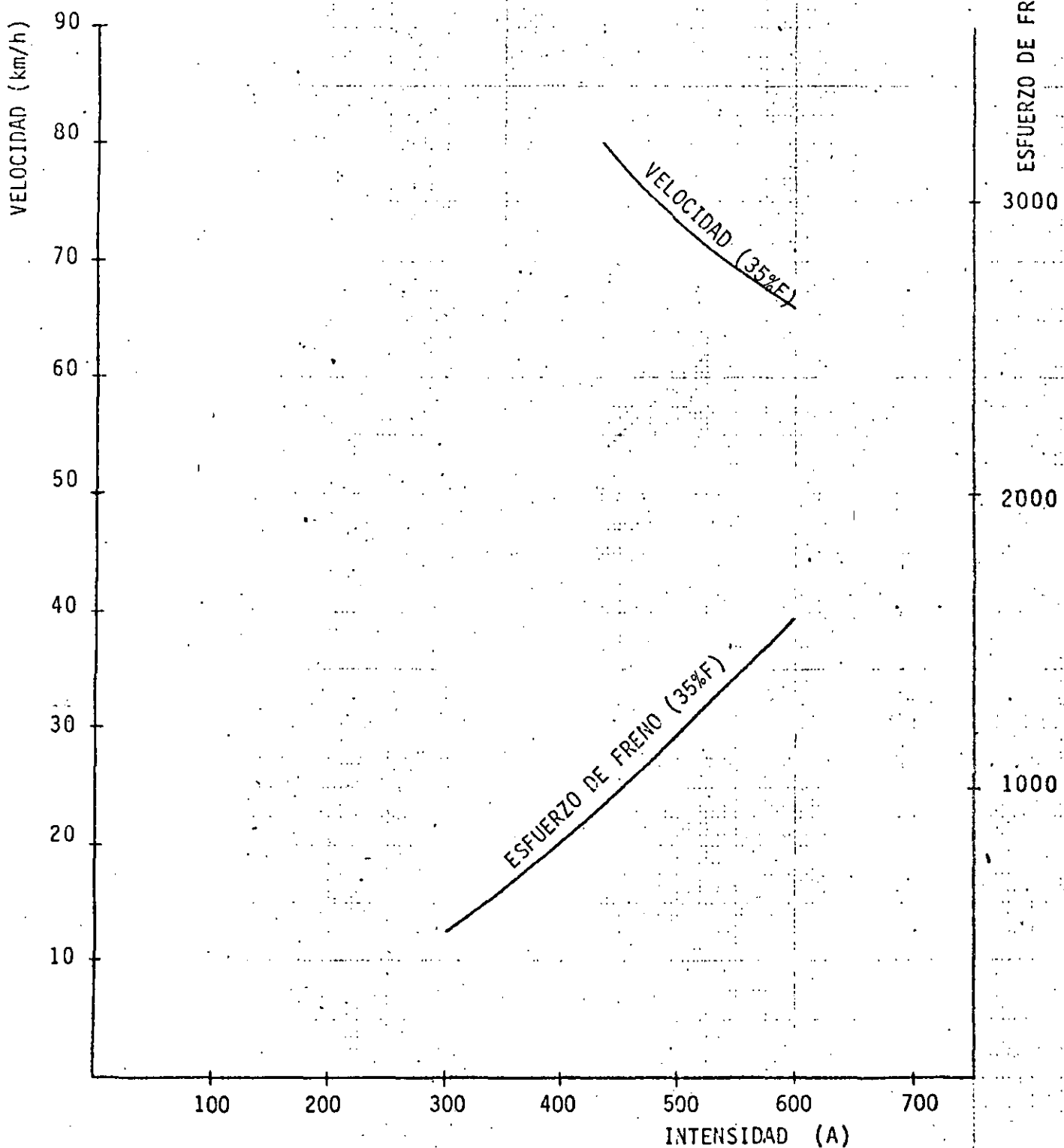
CURVA DE COMPORTAMIENTO EN FRENADO REGENERATIVO

VOLTAJE DE LINEA 850 V
RAZON DE ENGRANES 9.23
DIAMETRO DE RUEDA 1005 mm. (CAL. 967 mm.)



DIBUJO No. 3.3

CURVA DE FRENO
MOTOR MB-3230A
TENSION DE LINEA 850 V



DIBUJO No. 3.4

3.3 CIRCUITO ELECTRICO.

3.3.1 PRINCIPIOS DEL SISTEMA DE CONTROL POR CHOPPER.

LA MAYORIA DE LOS MOTORES DE TRACCION PARA TRENES, SON MOTORES SERIE DE CORRIENTE DIRECTA, BASADOS EN LAS SIGUIENTES RAZONES.

UNA DE LAS CARACTERISTICAS DEL MOTOR DE CORRIENTE DIRECTA SERIE ES QUE TIENE UN PAR GRANDE DE ARRANQUE Y SU POTENCIA DE CARGA DISMINUYE DURANTE LA OPERACION EN ALTA-VELOCIDAD.

AUN MAS, PUESTO QUE SU ARMADURA Y DEVANADO DE CAMPO ESTAN CONECTADOS EN SERIE, EL OPERADOR TIENE QUE CONTROLAR SOLAMENTE EL VOLTAJE DE TERMINALES Y LA CORRIENTE QUE ALIMENTA A LA CARGA.

SUPONIENDO QUE LA RAZON DE ENGRANAJES Y EL DIAMETRO DE LAS RUEDAS SON FIJOS, TENEMOS QUE:

ESFUERZO DE TRACCION (δ ESFUERZO DE FRENADO)

$$F = K \phi I_M \stackrel{\cdot}{=} KI_M^2 \text{ ----- (1)}$$

VELOCIDAD

$$V = K \frac{E_M - I_M \gamma}{\phi} \stackrel{\cdot}{=} K \frac{E_M}{I_M} \text{ ---- (2)}$$

DONDE:

ϕ = FLUJO MAGNETICO, I_M = CORRIENTE DE ARMADURA,
 E_M = VOLTAJE DE MOTOR, γ = RESISTENCIA INTERNA.

PARA REALIZAR EL CONTROL DE ACELERACION (DESACELERACION) CONSTANTE SOLAMENTE SE NECESITA CONTROLAR A I_M (DE LA ECUACION No. 1) Y DE LA SEGUNDA ECUACION-SE VE QUE CONTROLANDO EL VOLTAJE DE MOTOR SE CONTROLA LA VELOCIDAD.

POR ESTA RAZON LOS SISTEMAS DE CONTROL CONVENCIONALES HAN DEPENDIDO DEL SIGUIENTE METODO: DURANTE -- TRACCION, EL VOLTAJE APLICADO AL MOTOR SE AJUSTA MO DIFICANDO EL VALOR DE LA RESISTENCIA EN SERIE, Y DU RANTE EL FRENADO, EL MOTOR PRINCIPAL SE CONECTA CO- MO GENERADOR Y LA POTENCIA GENERADA SE DISIPA A TRA VES DE UNA RESISTENCIA PARA OBTENER ESFUERZO DE FRE NADO.

EN EL SISTEMA DE CONTROL POR CHOPPER, SE EMPLEA UN- SWITCH ESPECIAL EN LUGAR DE LA RESISTENCIA, ASI ME DIANTE LA ACCION DE ESTE SWITCH SE ALIMENTARA LA PO TENCIA NECESARIA AL MOTOR DE TRACCION, MIENTRAS QUE DURANTE EL FRENADO LA POTENCIA GENERADA SE REGRESA- A LA LINEA DE ALIMENTACION PARA OFRECERSE AL CONSU- MO DE OTROS TRENES QUE ESTEN TRACCIONANDO Y COMO RE SULTADO SE OBTIENE FUERZA DE FRENADO.

EL PRINCIPIO BASICO DEL FUNCIONAMIENTO DEL CHOPPER- SE PUEDE EXPLICAR CON LA FIGURA 3.5, EN LA CUAL SI- UN CIRCUITO QUE TIENE UNA RESISTENCIA DE CARGA Y UN SWITCH IDEAL QUE SE ABRE O SE CIERRA, EL VOLTAJE DE SALIDA SERA UN PULSO DE ONDA CUADRADA VARIANDO ENTRE EL VALOR DE LA FUENTE DE ALIMENTACION E_s Y CERO, EL- VALOR PROMEDIO E_R SERA:

$$E_R = \frac{t_1}{t_1+t_2} E_s = \frac{t_1}{T} E_s = \gamma E_s \text{ ----- (3)}$$

ESTO SIGNIFICA QUE E_R VARIA CON EL PROMEDIO DEL --- TIEMPO DURANTE EL CUAL EL SWITCH ESTA CERRADO CON - UNA REGULACION APROPIADA DEL PROMEDIO DE ESTE TIEM- PO, ESTE PRINCIPIO DE CONTROL DE VOLTAJE ES POSIBLE APLICARLO AL CONTROL DE UN CARRO ELECTRICO.

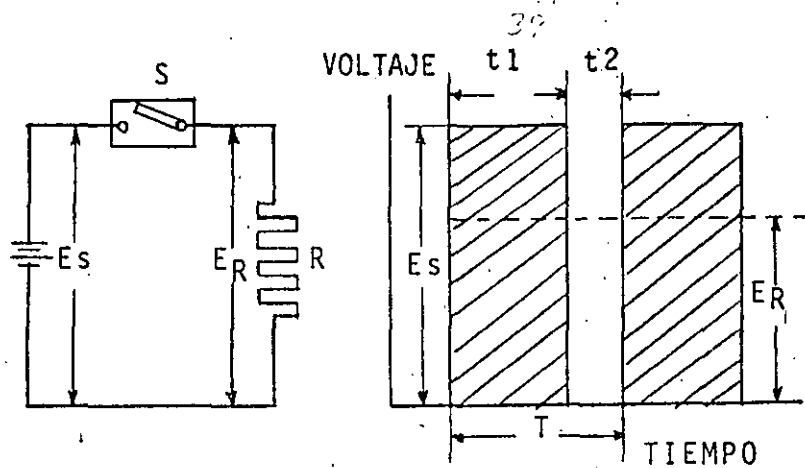


FIGURA No. 3.5

E_s = FUENTE DE VOLTAJE, S = SWITCH (CHOPPER), R = CARGA
 E_R = VOLTAJE PROMEDIO APLICADO A LA CARGA, t_1 = INTERVALO DE TIEMPO EN EL CUAL EL SWITCH SE MANTIENE CERRADO.

t_2 = INTERVALO DE TIEMPO EN EL CUAL EL SWITCH SE MANTIENE ABIERTO, T = INTERVALO DE SWITCHEO (FRECUENCIA).

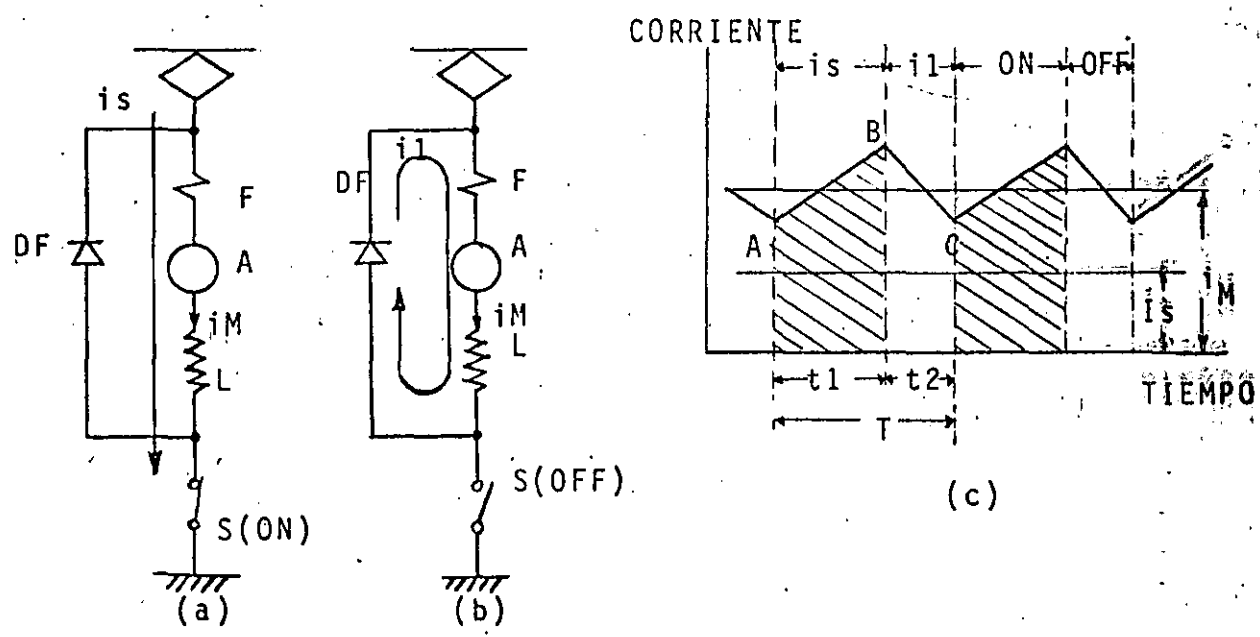


FIGURA 3.6 CIRCUITO DE TRACCION

OPERACION DE TRACCION PARA UN CARRO ELECTRICO.

SI UN MOTOR DE TRACCION SE CONTROLA CON UN CIRCUITO COMO EL --
 MOSTRADO EN LA FIG. 3.5, AL INTERRUMPIR LA CORRIENTE LA VARIA--
 CION DEL PAR LLEGA A SER MUY GRANDE, AL MISMO TIEMPO DEBIDO A --
 QUE LA CARGA ES INDUCTIVA SE GENERA UN VOLTAJE ANORMAL PROVOCA
 DO POR EL CICLO ON/OFF DEL SWITCH.

CONECTANDO UN REACTOR L EN SERIE CON EL MOTOR Y UN DIODO DE --
 CONDUCCION LIBRE DF EN PARALELO INVERSO COMO SE MUESTRA EN LA-
 FIGURA 3.6, SE ALISA LA VARIACION DE LA CORRIENTE Y SE ABSORBE
 EL VOLTAJE ANORMAL PRODUCIDO POR LA OPERACION DEL SWITCH.

CUANDO SE CIERRA EL SWITCH S, SE ALIMENTA DE LA FUENTE DE PO--
 DER LA CORRIENTE i_M , LA CUAL AUMENTA Y EL REACTOR L ALMACENA --
 ENERGIA, MOSTRADO EN LA CRUVA AB DE LA FIGURA 3.6 (c), CUANDO-
 EL SWITCH S SE ABRE LA CORRIENTE DE LA FUENTE DE POTENCIA SE --
 HACE CERO Y LA CORRIENTE i_1 DEBIDA A LA ENERGIA ALMACENADA EN-
 EL REACTOR L, FLUYE A TRAVES DEL CIRCUITO DE DF Y LA ATENUA, --
 EN ESTE MOMENTO LA CORRIENTE DEL MOTOR DE TRACCION DISMINUYE, --
 COMO SE MUESTRA EN LA CURVA BC DE LA FIGURA 3.6 (c), Y REPI--
 TIENDO LA OPERACION ON/OFF TENEMOS QUE EL VALOR PROMEDIO I_M DE
 LA CORRIENTE DEL MOTOR SE MANTENDRA EN UN CIERTO VALOR.

ES EVIDENTE CON ESTA EXPLICACION QUE LA CORRIENTE i_s QUE LLEGA
 DE LA FUENTE DE POTENCIA CORRESPONDE SOLAMENTE A LA PARTE SOM-
 BREADA DE LA FIGURA 3.6 (c) Y SU VALOR PROMEDIO I_s ES SIEMPRE --
 MAS PEQUEÑO QUE I_M .

SUPONIENDO QUE NO HAY PERDIDAS EN EL CIRCUITO, EL VALOR PROME-
 DIO DE LA ENTRADA ES IGUAL AL DE LA SALIDA DURANTE LA OPERA--
 CION NORMAL (SEGUN LA LEY DE LA CONSERVACION DE LA ENERGIA).

$$P_s = E_s I_s = E_M I_M = P_M \text{ ----- (4)}$$

POR LO TANTO

$$I_s = \frac{E_M}{E_s} I_M = \gamma I_M \text{ ----- (5)}$$

ENTONCES LA POTENCIA DE ENTRADA P_S

$$P_S = E_S \gamma I_M$$

DEBIDO A QUE $(E_S \cdot I_M)$ SON UNA CONSTANTE LA POTENCIA DE ENTRADA ES PROPORCIONAL A

$$P_S \cong K \gamma$$

POR OTRO LADO $\gamma = \frac{E_M}{E_S}$ Y SIENDO E_S UNA CONSTANTE PODEMOS DECIR QUE γ VARIA DIRECTAMENTE PROPORCIONAL A E_M Y ENTONCES TENEMOS QUE:

$$P_S \cong K \gamma \cong K E_M$$

Y DE LA ECUACION (2) EN LA CUAL:

$$V \cong K \frac{E_M}{I_M}, \text{ CONSIDERANDO QUE } I_M \text{ ES CONSTANTE, TENEMOS QUE:}$$

NEMOS QUE:

$$V \cong K \frac{E_M}{I_M} \cong K E_M$$

Y CONSIDERANDO QUE:

$$P_S \cong K E_M, \quad V \cong K E_M$$

PODEMOS DECIR QUE:

$$P_S \cong V$$

Y EN CONCLUSION: PODEMOS VER QUE LA POTENCIA SUMINISTRADA ES PROPORCIONAL A LA VELOCIDAD, ESTO ES "SOLAMENTE LA POTENCIA NECESARIA PARA AVANZAR SE SUMINISTRA DESDE LA FUENTE DE PODER". ESTA ES LA DIFERENCIA MAS IMPORTANTE QUE EXISTE ENTRE EL SISTEMA DE CONTROL POR CHOPPER Y UN SISTEMA DE CONTROL CONVENCIONAL QUE REGULA EL SUMINISTRO DE POTENCIA MEDIANTE UNA RESISTENCIA VARIABLE.

EL CIRCUITO DE FRENADO REGENERATIVO SE MUESTRA EN LA FIGURA 3.7, REFIRIENDONOS A ESTA FIGURA, SI EL SWITCH S SE CIERRA, CIRCULARA UNA CORRIENTE INICIAL DEBIDA AL VOLTAJE GENERADO POR EL FLUJO RESIDUAL O ALGUNA EXCITACION EXTERIOR HACIA EL REACTOR L EN DONDE SE ALMACENA EN FORMA ENERGIA.

SI EL SWITCH SE ABRE, LA CORRIENTE TIENDE A MANTENER EL FLUJO EN LA MISMA DIRECCION COMO RESULTADO DE LA ACCION DEL REACTOR, Y SE DIRIGIRA HACIA LA FUENTE DE POTENCIA A TRAVES DEL DIODO DF REGENERANDO ENERGIA. LA PARTE SOMBREADA DE LA FIGURA 3.7 - (a) MUESTRA LA POTENCIA REGENERADA.

CORRIENTE

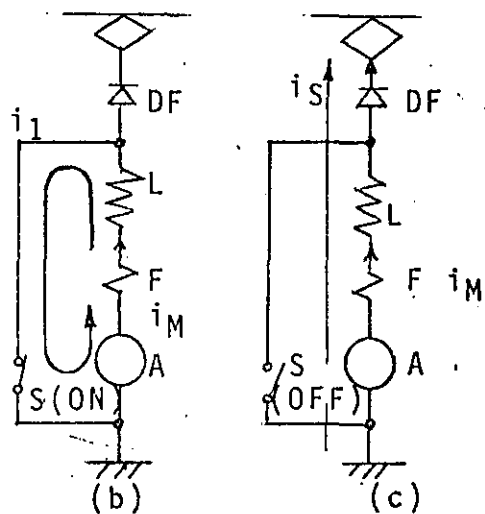
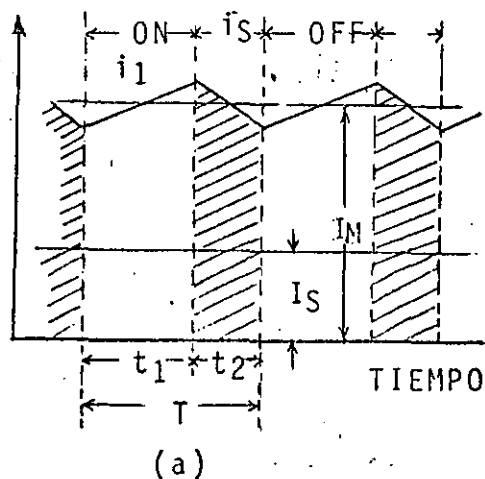


FIGURA 3.7 CIRCUITO DE FRENADO REGENERATIVO.

AL REGENERAR CORRIENTE HACIA LA FUENTE DE SUMINISTRO ESTA DISMINUYE, LUEGO EL SWITCH SE CIERRA OTRA VEZ Y ENTONCES LA CORRIENTE AUMENTA.

SI TOMAMOS EL VALOR PROMEDIO DE LA CORRIENTE DEL MOTOR COMO I_M Y EL VALOR PROMEDIO DE LA CORRIENTE REGENERADA A LA LINEA COMO I_S , TENEMOS QUE:

$$I_S = \frac{t_2}{t_1 + t_2} I_M = \frac{t_2}{T} I_M = (1 - \gamma) I_M \text{ ----- (6)}$$

EL VOLTAJE PROMEDIO DEL REACTOR DURANTE LA OPERACION DE FRENADO LLEGA A CERO SI LA RESISTENCIA INTERNA DEL REACTOR SE DESPRECIA Y CONSIDERANDO EL VOLTAJE PROMEDIO DEL MOTOR COMO E_M Y

EL VOLTAJE PROMEDIO DE LA LINEA DE ALIMENTACION COMO E_S , TENEMOS QUE:

$$E_M = \frac{t_2}{t_1+t_2} E_S = \frac{t_2}{T} E_S = (1-\delta) E_S \text{ ----- (7)}$$

EN CONTRASTE CON EL TIEMPO DE TRACCION, EL MOTOR FUNCIONA DURANTE EL FRENADO REGENERATIVO COMO UN TRANSFORMADOR DE PASOS EN EL CUAL LA RELACION DE TRANSFORMACION VARIA CON LA RELACION DEL TIEMPO DURANTE EL CUAL EL SWITCH ESTA ABIERTO, DE ESTA FORMA LA REGENERACION DE POTENCIA SE EFECTUA EN EL MOMENTO EN QUE EL VOLTAJE ES MAS ALTO QUE EL DE LA FUENTE DE ALIMENTACION. ESTA ES LA PRINCIPAL DIFERENCIA ENTRE EL SISTEMA REGENERATIVO CHOPPER Y OTRO CONVENCIONAL; EN EL CUAL LA REGENERACION DE POTENCIA SE DA UNICAMENTE EN ALTO RANGO DE VELOCIDAD, DONDE EL VOLTAJE DE MOTOR ES MAYOR QUE EL DE LA ALIMENTACION.

3.3.2 PRINCIPIOS DEL CAMPO AUTOMATICO VARIABLE DEL SISTEMA DE CONTROL POR CHOPPER.

PRINCIPIO BASICO:

EL CIRCUITO PRINCIPAL DE TRACCION SE ILUSTR A EN LA FIGURA No. 3.8, AQUI SE OBSERVA QUE EL DEVANADO DE CAMPO DE UN MOTOR SERIE CONVENCIONAL DE C.D., SE DIVIDE EN DOS SECCIONES, UNA DE ELLAS SE CONECTA EN SERIE CON LA ARMADURA Y LA OTRA SE CONECTA EN PARALELO DE MANERA TAL QUE LOS FLUJOS DE LOS CAMPOS F1 Y F2 SE SUMEN.

EN EL CIRCUITO DE TRACCION MOSTRADO EN LA FIGURA -- 3.8, EL DEVANADO DE CAMPO F2 (AVF) ESTA CONECTADO EN PARALELO CON EL DIODO AFWD. LA CORRIENTE DEL CAMPO F2 DISMINUYE AL AUMENTAR LA VELOCIDAD, DEBIDO A QUE CONTINUAMENTE SE INCREMENTA LA RELACION DE CONDUCCION DISMINUYENDO LA INTENSIDAD DE ESTE CAMPO, MIENTRAS QUE LA CORRIENTE DEL CAMPO F1 (SERIE) SE REGULA CONSTANTEMENTE.

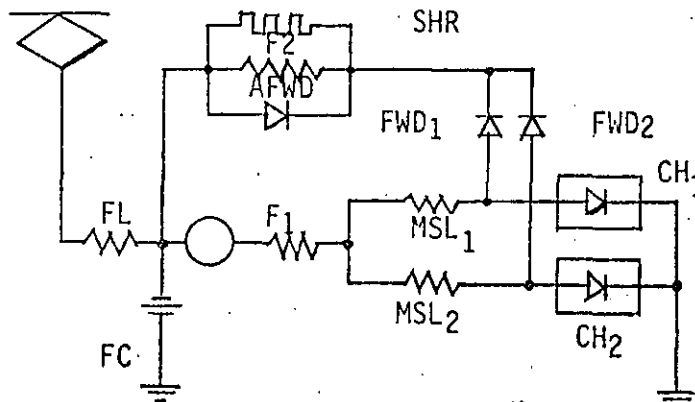


FIGURA No. 3.8 CIRCUITO PRINCIPAL DE TRACCION.

EL CONTROL REDUCE LA INTENSIDAD DE CAMPO EN TRACCION CUANDO EL PROMEDIO DE CONDUCCION ALCANZA EL MAXIMO Y LA CORRIENTE SOLAMENTE CIRCULA POR EL DEVANADO SERIE (F1).

3.3.3 CIRCUITO PRINCIPAL.

TRACCION.

EL DIAGRAMA DE CONEXIONES DEL CIRCUITO PRINCIPAL SE MUESTRA EN LA FIGURA 3.9.

PARA LOS CUATRO MOTORES DE TRACCION, LAS ARMADURAS Y LOS DEVANADOS DE CAMPO SERIE, ESTAN EN CONEXION - 2S2P (2-SERIE - 2-PARALELO) PERMANENTE Y EL DEVANADO DE CAMPO AVF ESTA CONECTADO EN 4S1P (4-SERIE - 1-PARALELO) PERMANENTEMENTE, EN SERIE CON EL DIODO DE CONDUCCION LIBRE FWD PARA LAS DOS FASES DEL CONTROL CHOPPER CON REDUCCION DE CAMPO AVF.

AL INICIAR EL FUNCIONAMIENTO, LA RESISTENCIA LIMITADORA DE CORRIENTE DE CARGA SE CORTOCIRCUITA DEBIDO AL CIERRE DEL INTERRUPTOR HB1 Y DE ESTA MANERA EL CHOPPER REALIZARA EL CONTROL AUTOMATICO DE ACELERACION CON CORRIENTE CONSTANTE.

MEDIANTE EL METODO AVF, LA INTENSIDAD DE CAMPO DE LOS MOTORES DE TRACCION DISMINUYE AUTOMATICAMENTE CON EL AUMENTO DE LA RELACION DE CONDUCCION Y EL INCREMENTO DE VELOCIDAD.

AL DETECTAR QUE SE HA LLEGADO A LA MAXIMA RELACION DE CONDUCCION EN LAS DOS FASES DEL EQUIPO CHOPPER, AUTOMATICAMENTE EL INTERRUPTOR HB2 SE CIERRA CORTOCIRCUITANDO EL CHOPPER CH₁ Y CH₂ Y EL REACTOR PRINCIPAL DE ALISAMIENTO MSL, DE MANERA QUE LA CORRIENTE DEL MOTOR SOLAMENTE CIRCULARA POR EL CAMPO SERIE, EL CUAL REPRESENTA UNA REDUCCION DE CAMPO A 35%.

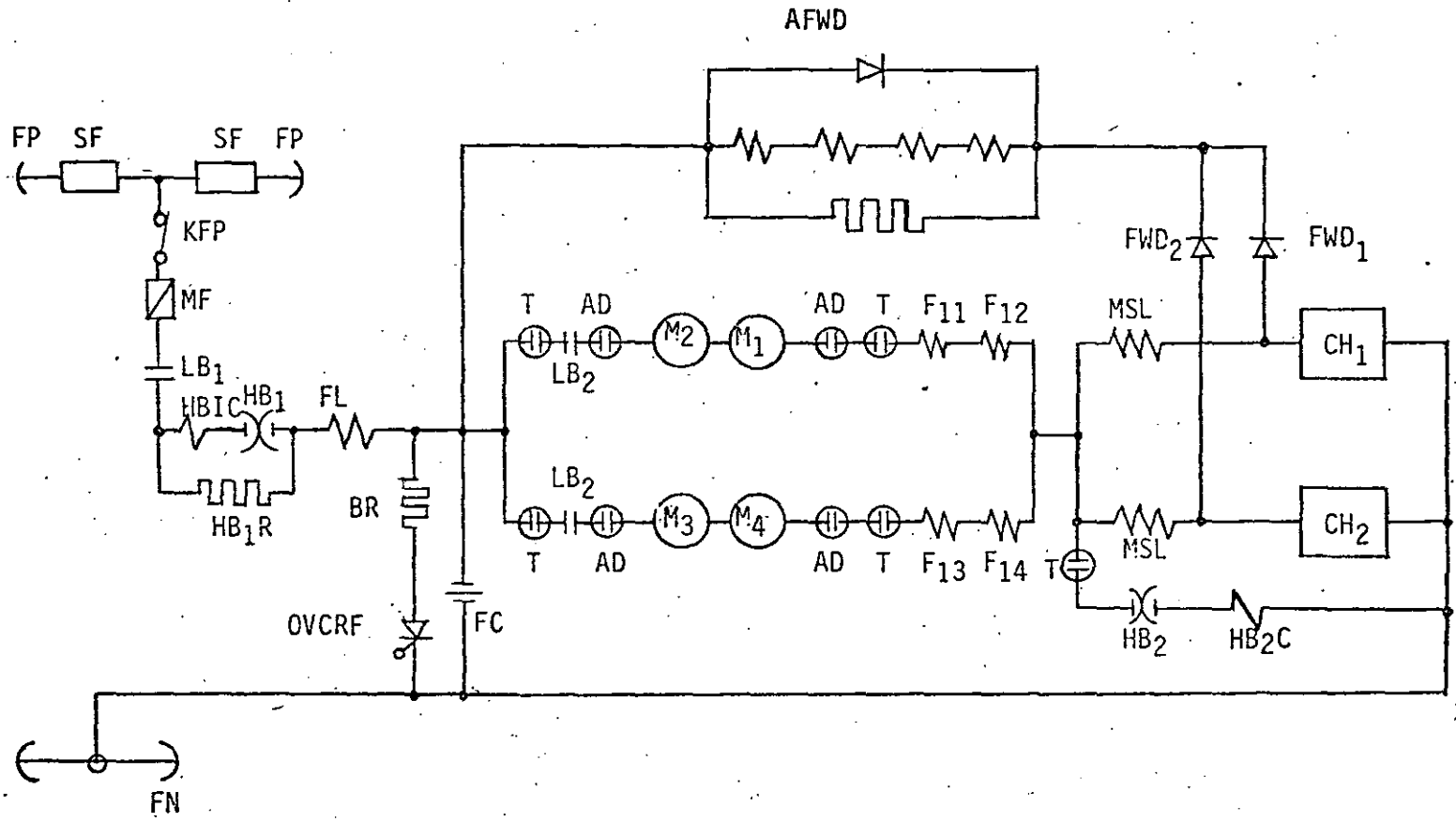


FIGURA 3.9 DIAGRAMA ESQUEMATICO DE CONEXIONES DEL CIRCUITO PRINCIPAL PARA TRACCION.

FRENADO REGENERATIVO.

EL DIAGRAMA ESQUEMATICO DE CONEXIONES DEL CIRCUITO-PRINCIPAL PARA FRENADO REGENERATIVO SE MUESTRA EN LA FIGURA 3.10.

PARA LOS CUATRO MOTORES, LAS ARMADURAS Y LOS DEVANADOS DE CAMPO SERIE ESTAN EN CONEXION 2S2P (2-SERIE-2-PARALELO) PERMANENTE Y EL DEVANADO DE CAMPO AVF ESTÁ CONECTADO EN 4S1P PERMANENTEMENTE, IGUAL QUE EN EL CIRCUITO DE TRACCION, PERO LA CONEXION DE ARMADURAS CON LOS CAMPOS SERIE ESTÁ EN FORMA CRUZADA. ADEMÁS EL DEVANADO AVF NO SE UTILIZA POR ESTAR CORTOCIRCUITADO CON UN CONTACTO DE FRENADO.

MEDIANTE UN TRANSFORMADOR AUXILIAR Y UN CIRCUITO DE RECTIFICACION SE SUMINISTRA UNA CORRIENTE DE EXCITACION AUXILIAR A LOS CAMPOS SERIE DE LOS MOTORES PARA QUE SE INICIE SU TRABAJO COMO GENERADORES.

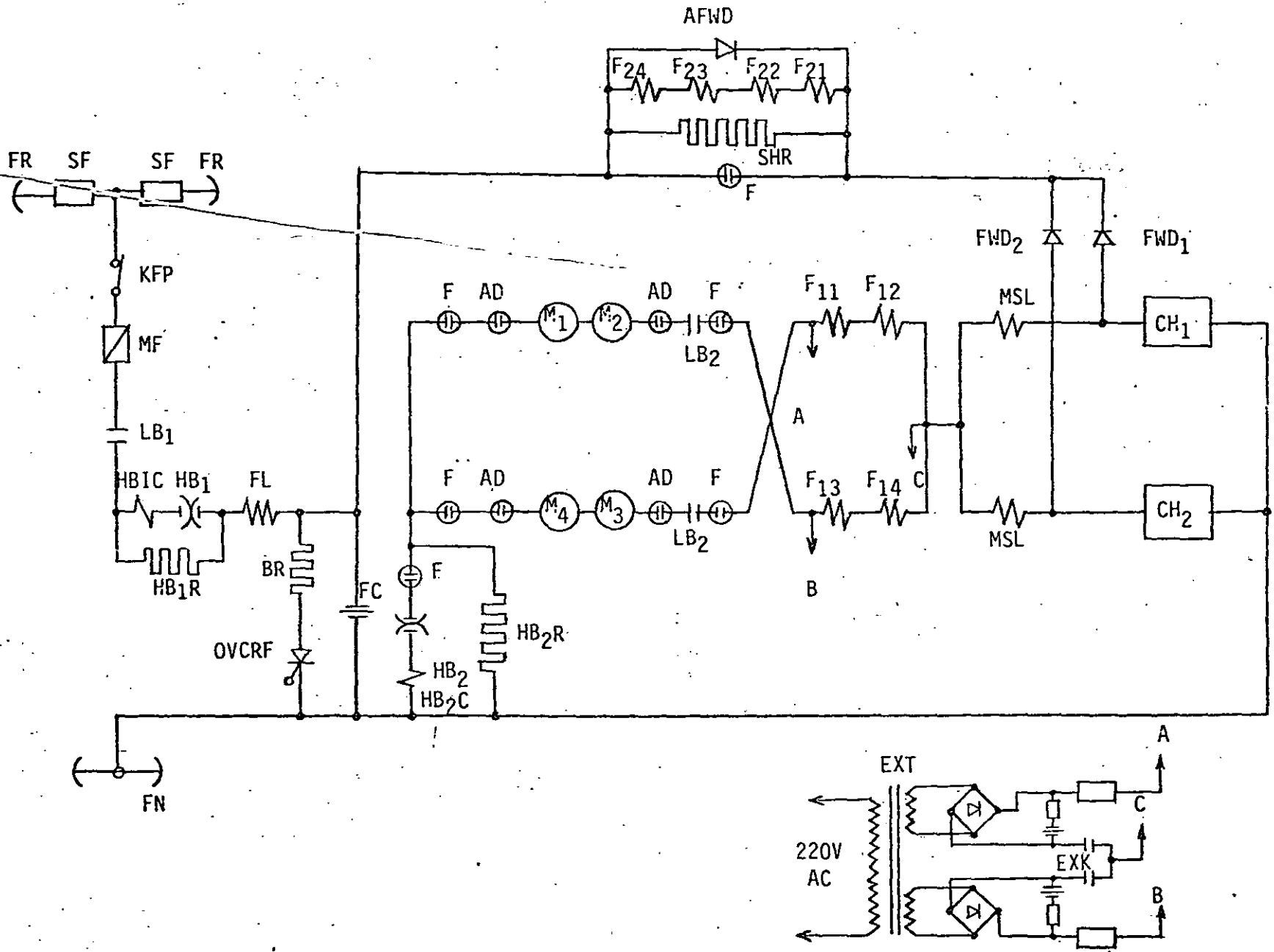


FIGURA 3.10 DIAGRAMA ESQUEMATICO DE CONEXIONES DEL CIRCUITO PRINCIPAL PARA FRENADO REGENERATIVO.

FRENADO REOSTATICO. 47

EL DIAGRAMA ESQUEMATICO DE CONEXIONES DEL CIRCUITO PRINCIPAL SE MUESTRA ABAJO.

EL CIRCUITO ES EL MISMO QUE SE UTILIZA EN FRENADO REGENERATIVO, PERO EN ESTE CASO EL INTERRUPTOR LB_1 SE ABRE Y AISLA AL MOTOR DE LA LINEA DE ALIMENTACION.

EN FRENADO REOSTATICO EL LB_1 SE CIERRA IGUAL QUE EN EL FRENADO REGENERATIVO POR UN MOMENTO DESPUES DE QUE SE COMANDA ORDEN DE FRENADO, PERO INMEDIATAMENTE SE ABRE DEBIDO A LA CONDICION DE QUE NO HAY SEÑAL DE PERMISO DE REGENERACION, Y LA CORRIENTE QUE GENERA EL MOTOR SE APLICA A LA RESISTENCIA PARA FRENADO (BR).

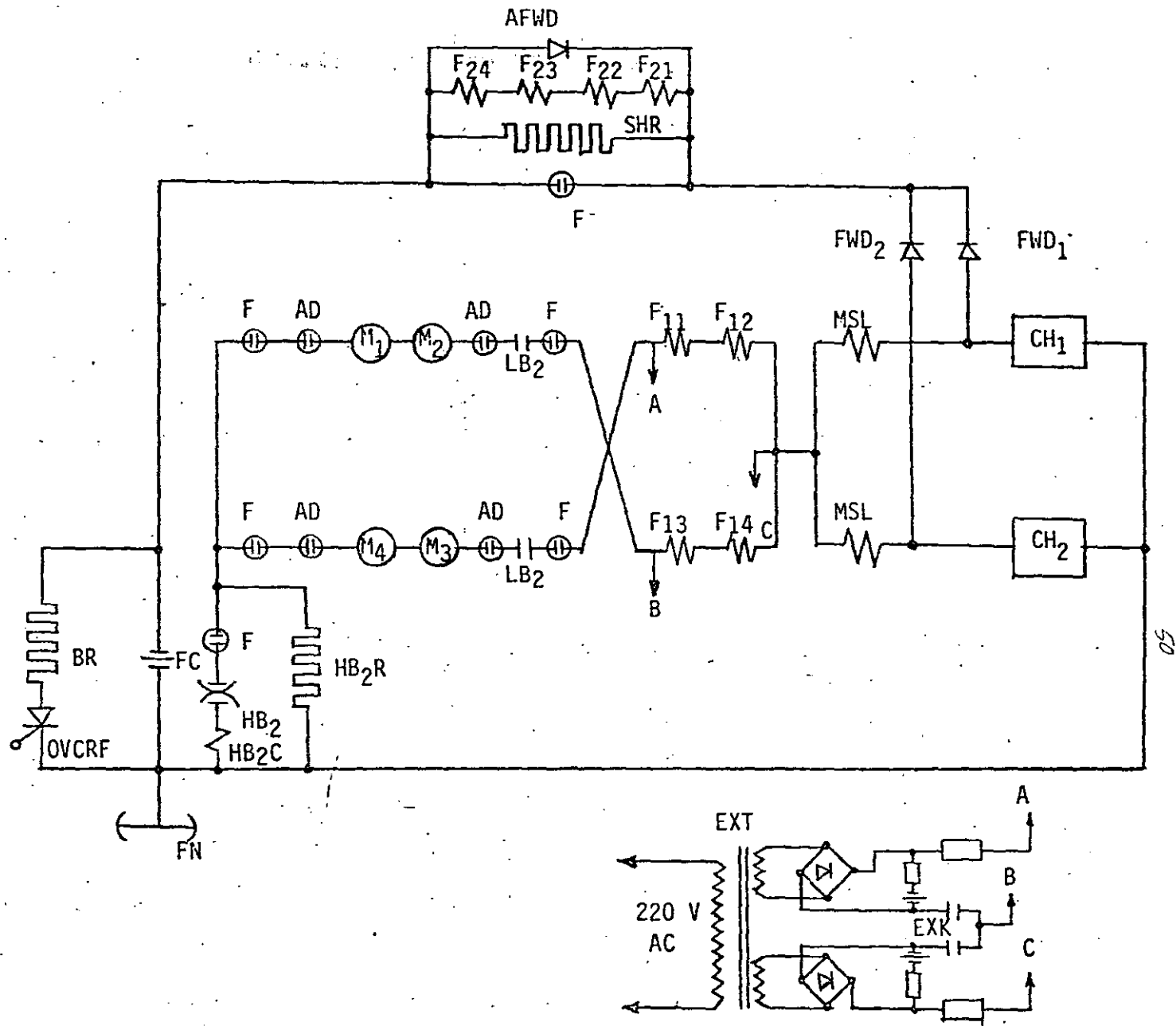


FIGURA 3.11 DIAGRAMA ESQUEMATICO DEL CIRCUITO PRINCIPAL PARA FRENADO REOSTATICO.



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

DISEÑO Y FABRICACION DE EQUIPO ELECTRICO

DISEÑO DE CABLES, EMPALMES Y TERMINALES

Ing. Ricardo Bolado Jiménez
Ing. Joaquín del Castillo
Ing. José Cruz Jiménez Hinojosa

OCTUBRE, 1985



CONOUMEX

Division Accesorios

1

DISEÑO DE TERMINALES PARA
CABLES DE ENERGIA .

PREPARADO Y REVISADO POR:

José Cruz Jiménez Hinojosa

APROBADO POR:

Dr. Rafael Mier Maza



CONDUMEX

División Accesorios

2

1.- DEFINICION

2.- CLASIFICACION

3.- CONSIDERACIONES DE DISEÑO

A.- CONTROL DE ESFUERZOS ELECTRICOS EN EL CORTE DE LA PANT
TALLA.

A.1.- MEDIANTE EL METODO DE CONO DE ALIVIO.

A.2.- MEDIANTE CINTAS GRADUADORAS.

B.- CONTROL ESFUERZOS ELECTRICOS LONGITUDINALES EN EL AISLAM
MIENTO DEL CABLE.

C.- CONTROL DE ESFUERZOS ELECTRICOS EN EL MEDIO AISLANTE
QUE CIRCUNDA A LA TERMINAL.

4.- PRUEBAS DE PROTOTIPO A TERMINALES.

5.- REFERENCIAS.



Division Accesorios

DISEÑO DE TERMINALES PARA CABLES DE ENERGIA

1.- TERMINAL: Dispositivo que se utiliza en las terminaciones de los cables que proporciona control de esfuerzos eléctricos.

2.- CLASIFICACION DE TERMINALES

Se clasifican de acuerdo a:

- I.- Los elementos funcionales que proporciona.
- II.- El tipo de instalación.
- III.- La presión de operación.
- IV.- Su tensión nominal.
- V.- El número de fases.

I.- Por los elementos funcionales que proporciona, se clasifican en:

a).- TERMINAL CLASE I:

- Proporciona control de esfuerzos eléctricos que se presentan en el aislamiento del cable al interrumpir y retirar la pantalla sobre aislamiento.
- Proporciona distancia de fuga adicional.
- Proporciona sello hermético.

b).- TERMINAL CLASE 2:

- Proporciona control de esfuerzos eléctricos.
- Distancia de fuga adicional.

c).- TERMINAL CLASE 3:

- Proporciona unicamente control de esfuerzos eléctricos.

II.- Por el tipo de instalación:

- a).- Terminal tipo interior.
- b).- Terminal tipo exterior.

III.- Por la presión de operación:

- a).- Terminal tipo presión.
- b).- Terminal de zona de simple presión.
- c).- Terminal de zona de múltiple presión.

IV.- Por su tensión nominal desde 2.5 kV hasta 115 kV.

V.- Por el número de fases:

- a).- Monofásicas.
- b).- Trifásicas.

3.- CONSIDERACIONES DE DISEÑO

- A.- Control de esfuerzos eléctricos en el corte de la pantalla.
- B.- Control de esfuerzos eléctricos longitudinales en el aislamiento del cable.
- C.- Control de esfuerzos eléctricos en el medio aislante que circunda a la terminal.

A.- CONTROL DE ESFUERZOS ELECTRICOS EN EL CORTE DE LA PANTALLA:

Los cables de energía están constituidos básicamente por:

- I.- Conductor.
- II.- Pantalla s/conductor.
- III.- Aislamiento.
- IV.- Pantalla s/aislamiento.
- V.- Cubierta exterior.

Al terminar un cable de energía, se debe retirar la pantalla semiconductor, colocada sobre el aislamiento, la distancia necesaria para evitar un flameo.

Cuando el cable tiene la pantalla sobre aislamiento y está energizado, se presentan esfuerzos eléctricos en el aislamiento en forma puramente radial. El aislamiento del cable presenta características óptimas para soportar esfuerzos radiales - (del orden de 45 V/mil) no así esfuerzos eléctricos longitudinales (del orden 3 V/mil).

Cuando retiramos la pantalla sobre aislamiento del cable, no solo se presentan esfuerzos eléctricos radiales, sino -



CONDUMEX

6
División Accesorios

también longitudinales. Presentándose en la zona del corte - una concentración de esfuerzos. Para controlar dicha concentración existen 2 métodos que son:

- Control de esfuerzos mediante cono de alivio.
- Control de esfuerzos mediante cintas graduadoras.

A.1 CONTROL DE ESFUERZOS MEDIANTE CONO DE ALIVIO

Como anotamos anteriormente al preparar las terminales de los cables, debemos retirar la pantalla sobre aislamiento. En la Figura 1 se muestra un cable con la pantalla sobre aislamiento - retirada. En la zona del cable que tiene la pantalla, las líneas equipotenciales son todas paralelas al conductor. (Ver Fig. 1). Esto indica que si uno se desplaza paralelo al conductor, no existe diferencia de potencial. Por consiguiente no existe esfuerzo eléctrico axial (esfuerzo paralelo al conductor). El esfuerzo es únicamente en dirección radial. En la parte en donde ha sido retirada la pantalla, las líneas equipotenciales no son enteramente paralelas al conductor, y por lo tanto existe un esfuerzo eléctrico axial además de los radiales. Para regular la intensidad y dirección de los esfuerzos eléctricos se construye un cono de esfuerzos.

Si queremos tener un valor aproximado del esfuerzo axial en el área adyacente al corte de la pantalla, podemos visualizarlo de la siguiente manera:

En la figura 2 el voltaje V_A en el punto A, es igual a $C_1 V / (C_1 + C_2)$.

En nuestro caso C_1 (Aislamiento del cable) es 2.7 veces mayor que C_2 (Aire).



CONDUMEX

7
División Accesorios

FIGURA 1

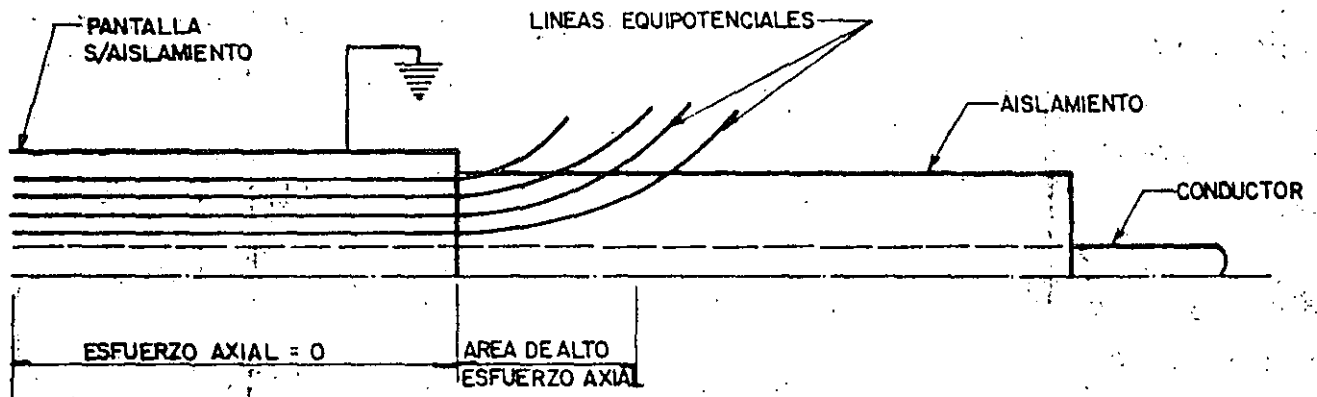
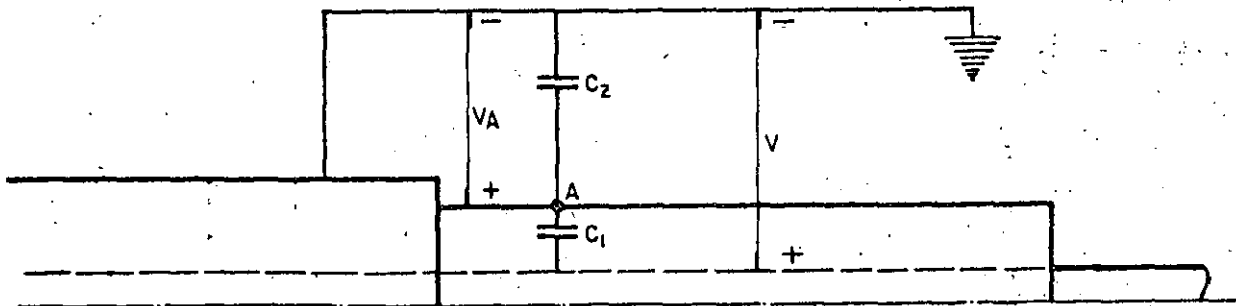


FIGURA 2





CONDUMEX

División Accesorios

Por lo que el voltaje $V_A = .73$ V. Esto indica que el voltaje en A, cerca del extremo de la pantalla aterrizada, es 73% el voltaje del conductor. Una situación que fácilmente provocaría un flameo.

En la Figura 3, se muestra la forma general del voltaje VS posición de la curva a lo largo de la terminación.

En la Figura 4, se muestra un cable con un cono de alivio instalado. Como se puede observar el cono tiene 2 partes, una parte inferior la cual tiene perfil concavo y está cubierta con una pantalla conductiva la cual está en contacto íntimo con la pantalla del cable. La parte superior tiene perfil convexo y a diferencia de la anterior, no lleva ninguna cubierta conductiva. La función de la parte inferior es proveer una transición suave entre el área de esfuerzo predominantemente axial a lo largo de la terminación, manteniendo el esfuerzo eléctrico en el cono ó en la interfase cable-cono dentro de los límites preestablecidos. La parte superior es destinada para el control de los esfuerzos eléctricos a lo largo de la terminación, para evitar un flameo.

FIGURA 3

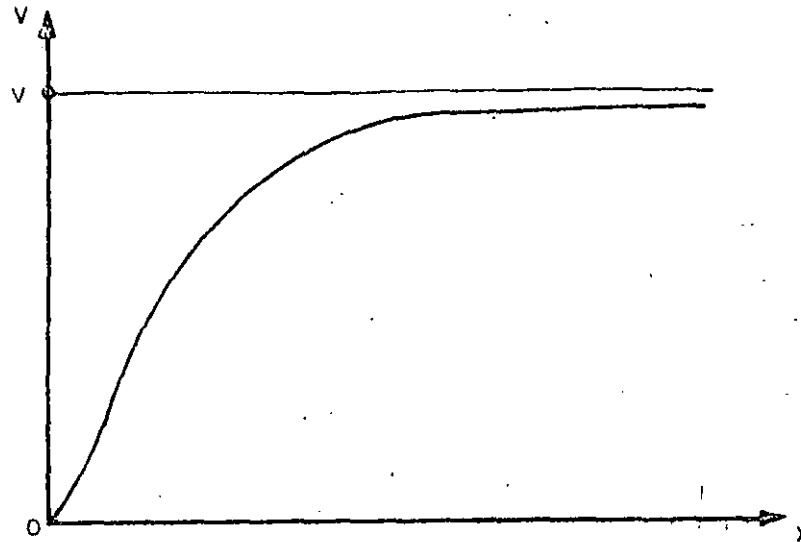
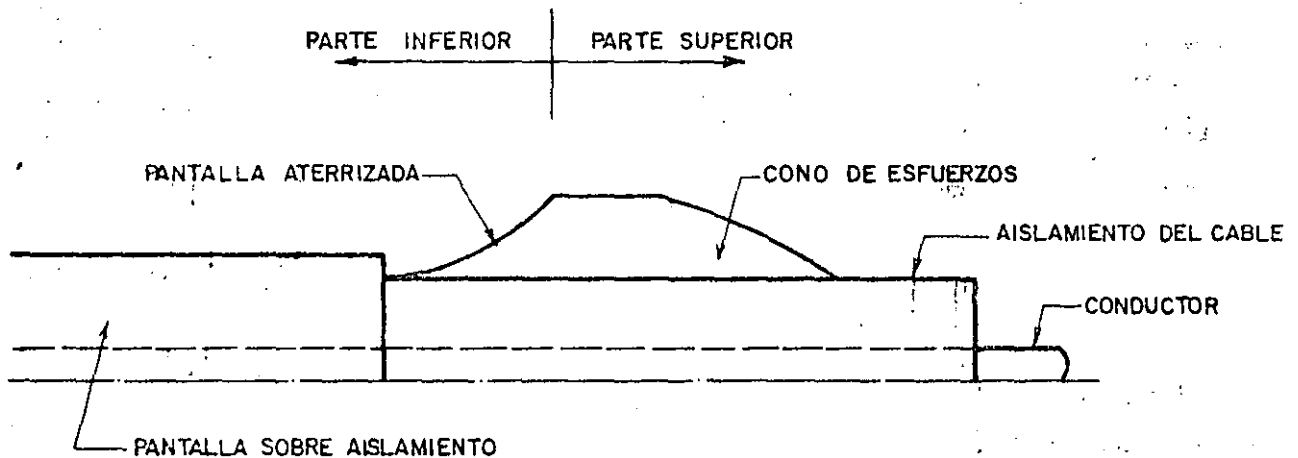


FIGURA 4



DISEÑO DE LA PARTE INFERIOR DEL CONO DE ESFUERZOS

Como anotamos anteriormente el cono de esfuerzo está integrado básicamente por 2 partes, la inferior y la superior, la parte inferior es la parte más delicada y por tanto debemos tener mayor precaución al diseñarla. La parte superior está dada en función de la inferior y sólo consideraremos que debemos tener una transición suave, de tal manera que no influye grandemente el que el perfil sea cóncavo... ó recto, sólo debemos proveer una transición suave entre el sobre aislamiento máximo alcanzado en el cono y el aislamiento original del cable.

Para el diseño de la parte inferior del cono usualmente se utilizan 2 criterios de diseño.



CONDUMEX

10
Division Accesorios

CRITERIO No. 1.- Cuando el material aislante del cono de alivio no garantice la ausencia completa de burbujas de gas atrapado (aire y otro gas). El esfuerzo eléctrico E_x en la periferia del cono se mantiene usualmente entre 200 a 400 V/mm (5 a 10 V/mil). (Ver Fig. 5).

CRITERIO No. 2.- Cuando el material aislante del cono de alivio garantiza completamente la ausencia de burbujas de gas atrapado. El esfuerzo crítico de diseño es E_x (Ver Fig. 6).

En ambos casos, el esfuerzo total en cualquier espacio hueco, debe ser menor que el esfuerzo crítico que ionizaría al gas que llena el hueco.

CALCULO DEL PERFIL DEL CONO CONSIDERANDO EL CRITERIO No. 1:-

De acuerdo a la Figura 5, C_1 y C_2 son las capacitancias formadas por electrodos cilindricos concentricos de longitud infinitesimal dx .

$$C_1 = \frac{2\pi \epsilon_0 K_1 dx}{\ln \frac{R_i}{R_c}} \quad [\text{FARADS}]$$

$$C_2 = \frac{2\pi \epsilon_0 K_2 dx}{\ln \frac{Y}{R_i}} \quad [\text{FARADS}]$$

$$V_2 = \frac{C_1 V}{C_1 + C_2}$$



CONDUMEX

División Accesorios

FIGURA 5 CRITERIO 1

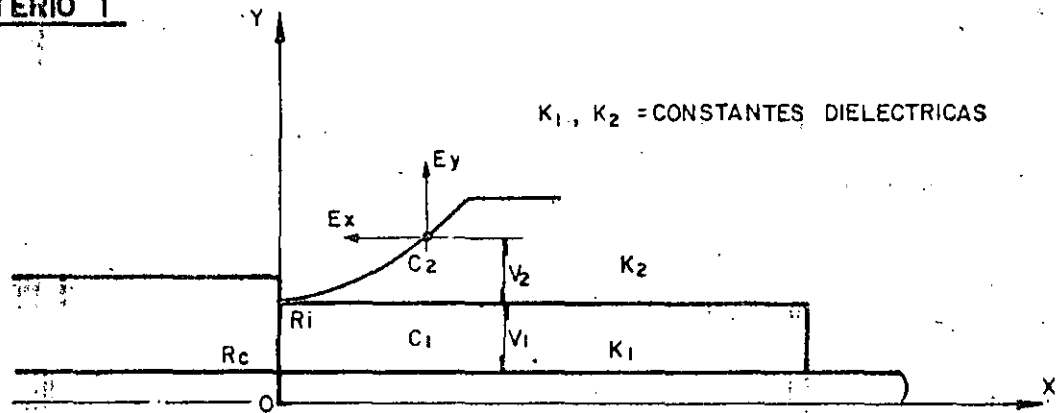
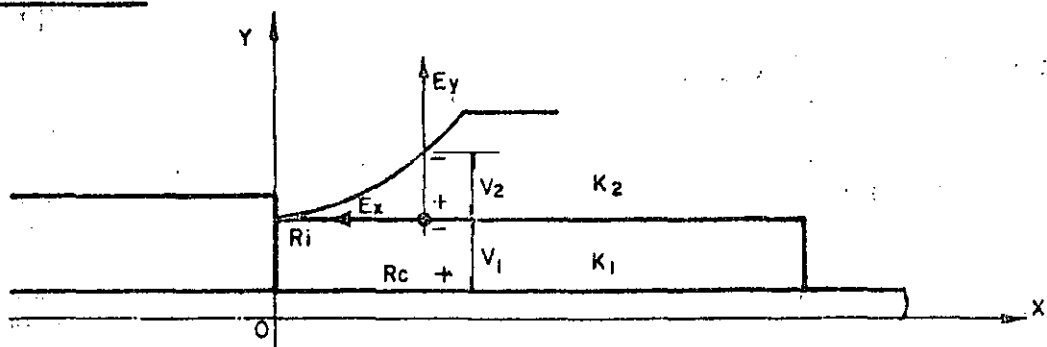


FIGURA 6 CRITERIO 2





División Accesorios

Sustituyendo C_1 y C_2 tenemos que:

$$V_2 = \frac{V \ln (Y/R_i)}{\ln (Y/R_i) + (K_2/K_1) \ln (R_i/R_c)}$$

Si "q" es la densidad de carga lineal a lo largo del conductor, y tenemos en cuenta la expresión:

$$V_2 = \frac{q}{C_2}$$

$$q = V_2 [2\pi \epsilon_0 K_2 / \ln (Y/R_i)]$$

Sustituyendo V_2 tenemos:

$$q = \left[\frac{V \ln (Y/R_i)}{\ln (Y/R_i) + (K_2/K_1) \ln (R_i/R_c)} \right] \left[\frac{2\pi \epsilon_0 K_2}{\ln (Y/R_i)} \right]$$

Ahora sabemos que:

$$V = q/C \quad \text{y} \quad E = V/d$$

$$E = \frac{q}{cd}$$

Donde: c = Capacitancia

d = Distancia ó espesor del dieléctrico.

$$E_y = \frac{q}{cy}$$



CONDUMEX

Division Accesorios

$$E_Y = \frac{q}{2\pi \epsilon_0 K_2 Y} \quad \text{Sustituyendo "q"}$$

$$E_Y = \frac{V}{Y [\ln(Y/R_i) + (K_2/K_1) \ln(R_i/R_c)]} \quad \left[\frac{\text{VOLTS}}{\text{METRO}} \right]$$

El voltaje en el punto A es obtenido, ya sea por $E_x \cdot dx$ ó $E_y \cdot dy$

$$E_x dx = E_y dy$$

$$dx = \frac{E_y}{E_x} dy$$

Sustituyendo E_y e integrando entre los límites $X(0,x)$ y $Y(R_i,y)$

$$X = \frac{V}{E_x} \ln \left[1 + \frac{\ln(Y/R_i)}{(K_2/K_1) \ln(R_i/R_c)} \right] \quad (1.a)$$

Si el cono de esfuerzos tiene la misma constante dieléctrica que la del cable, la fórmula se reduce a:

$$X = \frac{V}{E_x} \ln \left[\frac{\ln(Y/R_c)}{\ln(R_i/R_c)} \right] \quad (1.b)$$



CONDIMEX

División Accesorios

CALCULO DEL PERFIL DEL CONO CONSIDERANDO EL CRITERIO No. 2:-

De acuerdo a la figura 6, las capacitancias C_1 y C_2 determinan el voltaje V_2 tal y como se muestra. Si E_x a lo largo de la interfase cono/cable, es constante, entonces:

$$V_2 = X \cdot E_x = \frac{V \ln \frac{Y}{R_i}}{\ln \frac{Y}{R_i} + \frac{K_2}{K_1} \ln \frac{R_i}{R_c}}$$

$$X = \frac{V}{E_x} \frac{\ln \frac{Y}{R_i}}{\ln \frac{Y}{R_i} + \frac{K_2}{K_1} \ln \frac{R_i}{R_c}} \quad (2)$$

Para satisfacer los criterios de diseño, las coordenadas X y Y de cualquier punto en el perfil del cono deben relacionarse mediante las formulas (1.a), (1.b) ó (2).

DISEÑO DE LA PARTE SUPERIOR DEL CONO

El diseño de la parte superior del cono, no se presta para usar métodos analíticos como los usados en la parte inferior. En la práctica se propone un perfil, y la distribución de voltaje a lo largo de su longitud es calculada usualmente por medio de análisis de elemento finito. El método que se emplea, es el llamado de "Relajación" y se auxilia de una malla cuadrada, como se muestra en la figura 7 de la parte superior del cono. La malla, es encerrada dentro de un marco de tamaño finito, para limitar la cantidad de cálculos necesarios. El método que se emplea, utiliza la malla cuadrada, en la cual se colocan nodos, tal y como se muestra.



CONDUMEX

División Accesorios

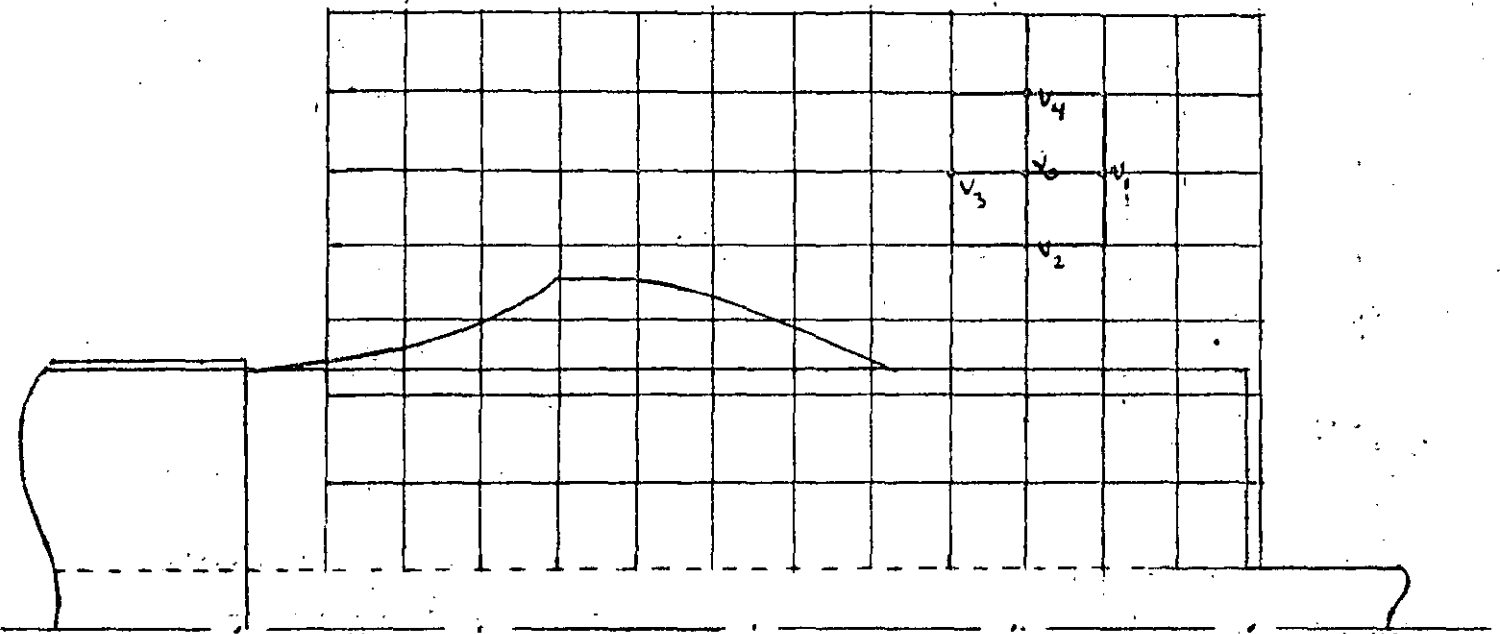


FIGURA 7

A cada nodo se le asigna un voltaje. A los electrodos se les asigna el voltaje conocido (por ejemplo, a la pantalla se le asigna cero y al conductor V el potencial de fase a tierra).

Durante cada iteración, cada nodo de voltaje desconocido es recalculado, usando la Ley de Gauss, y los voltajes de los 4 nodos vecinos. Si el nodo es completamente rodeado con el mismo material dieléctrico, sus voltajes están dados por:

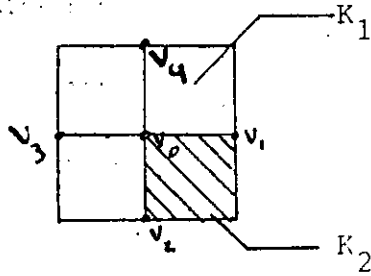
$$V_0 = \frac{V_1 + V_2 + V_3 + V_4}{4}$$

Si es rodeado por diferentes materiales de constantes dieléctricas K_1 y K_2 , como se muestra.



CONDUMEX

División Accesorios



Su voltaje esta dado por:

$$V_0 = \frac{\left[\frac{1}{2} (K_1 + K_2) (V_1 + V_2) + K_1 (V_3 + V_4) \right]}{3K_1 + K_2}$$

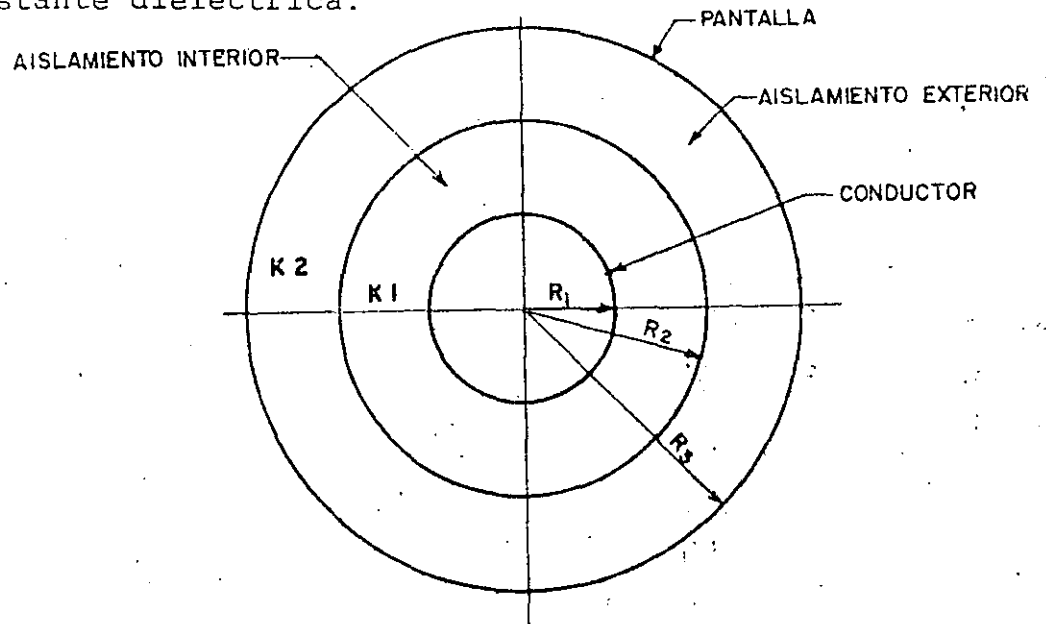
Los nodos de voltaje de la malla exterior del marco, son calculados por diferentes ecuaciones para reflejar, por ejemplo, que la relación de cambio del voltaje en esos nodos es ya sea constante ó despreciable. Se considera que se ha llegado a una solución cuando los voltajes de los nodos calculados en 2 iteraciones no cambian apreciablemente. Se recomienda que el perfil de la parte superior del cono sea de forma ligeramente convexa. En la práctica se propone un perfil recto con una pendiente no mayor a 7°. Una vez que se ha diseñado el cono de alivio, la terminal del cable se somete a pruebas dieléctricas, para confirmar que el diseño del perfil satisface los requerimientos.

A.2 CONTROL DE ESFUERZOS MEDIANTE CINTAS GRADUADORAS

Anteriormente apuntamos que para controlar los esfuerzos eléctricos que se presentan en la zona del corte de la pantalla sobre aislamiento, usualmente se utilizan 2 métodos que son el método de cono de esfuerzos (ya explicado) y el método de cintas graduadoras.

El método de control de esfuerzos, mediante cintas graduadoras, se basa en el uso de materiales aislantes de diferente constante dieléctrica a la del aislamiento del cable. En la figura 8, se muestra un cable, el cual está provisto de 2 materiales aislantes de diferente constante dieléctrica.

FIGURA 8
CABLE CON 2 CAPAS
DIELECTRICAS



El aislamiento más cercano al conductor tiene una constante dieléctrica K_1 mayor que la del aislamiento exterior K_2 . El máximo esfuerzo en el dieléctrico interior está relacionado al máximo esfuerzo en el dieléctrico exterior por la expresión:

$$E_{1m} = \frac{K_2 R_2}{K_1 R_1} E_{2m}$$

Donde:

R_1 = Radio del conductor.

R_2 = Radio del dieléctrico interior.

K_1 = Constante dieléctrica del aislamiento interior.

K_2 = Constante dieléctrica del aislamiento exterior.

E_{1m} = Esfuerzo máximo en el dieléctrico interior.

E_{2m} = Esfuerzo máximo en el dieléctrico exterior.



CONDUMEX

13
División Accesorios

La relación $\frac{R_2}{R_1}$ es mayor que la unidad, por lo que la elección adecuadamente mayor de K_1 con respecto a K_2 puede hacer E_{1m} igual a E_{2m} . En esta forma el esfuerzo en el conductor puede ser igual o menor que el esfuerzo que se presenta entre la frontera de aislamientos.

Una generalización de este método se ejemplifica en la figura 9, en donde dos materiales aislantes están en serie en un circuito dieléctrico. La densidad de flujo es constante, para este caso los esfuerzos son inversamente proporcionales a las constantes dieléctricas. $D_1 = D_2$

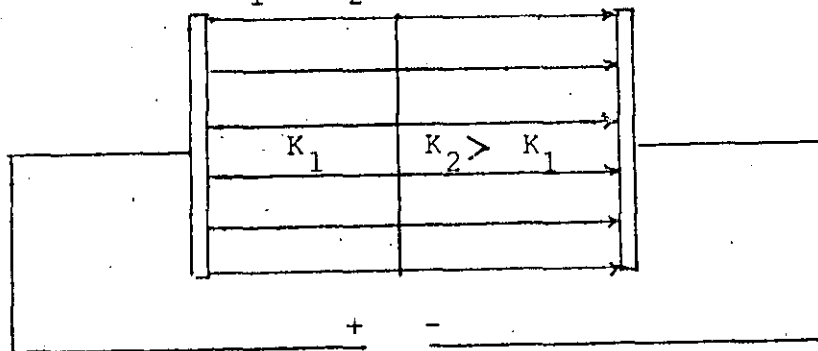


FIGURA 9

$$E_2 = \frac{K_1}{K_2} E_1 \quad \text{Si } K_2 > K_1 \quad E_2 < E_1$$

Esto se explica mediante la siguiente ecuación:

$$E = \frac{V}{d}$$

Donde:

E = Intensidad de campo eléctrico.

V = Diferencia de potencial entre electrodos.

d = Distancia de separación entre electrodos.



CONDUMEX

División Accesorios

Sabemos que:

$$D = \frac{q}{S}$$

$$q = CV$$

$$C = \epsilon_0 \epsilon \frac{S}{d}$$

$$D = \frac{\epsilon_0 \epsilon \frac{S}{d} V}{S} = \frac{\epsilon_0 \epsilon V}{d}$$

$$\text{Dado que: } D_1 = D_2$$

$$\frac{\epsilon_0 \epsilon_1 V_1}{d_1} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_2 V_2}{d_2}$$

$$\frac{\epsilon_1 V_1}{d_1} = \frac{\epsilon_2 V_2}{d_2}$$

$$\frac{V_1}{d_1} = E_1; \quad \frac{V_2}{d_2} = E_2$$

$$E_1 \epsilon_1 = E_2 \epsilon_2; \quad E_2 = E_1 \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2}$$

En un circuito dieléctrico paralelo, la intensidad de campo eléctrico es la misma para los 2 materiales y la densidad de flujo es directamente proporcional a las constantes dieléctricas. Ver Figura 10.



CONSUMEX

Division Accesorios

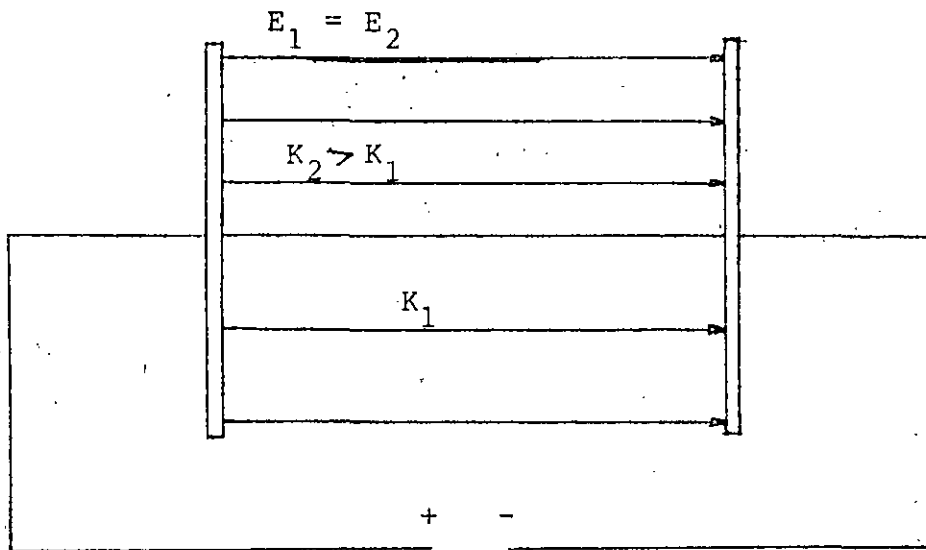


FIGURA 10

CIRCUITO DIELECTRICO CON DOS MATERIALES
EN PARALELO

$$D_2 = \frac{K_2}{K_1} D_1$$

$$\text{Si } K_2 > K_1$$

Entonces tenemos que:

$$D_2 > D_1$$



CONDUMEX

División Accesorios

Sabemos que:

$$D = \frac{CV}{S} = \epsilon_0 \epsilon \frac{S}{d} \frac{V}{S} = \frac{V}{d} \epsilon_0 \epsilon$$

$$D_1 = \frac{V_1}{d_1} \epsilon_0 \epsilon_1 \quad \text{Y} \quad D_2 = \frac{V_2}{d_2} \epsilon_0 \epsilon_2$$

$$\frac{V_1}{d_1} = E_1 \quad ; \quad \frac{V_2}{d_2} = E_2 \quad \text{Y como:}$$

$$E_1 = E_2$$

$$D_1 = E_1 \epsilon_0 \epsilon_1 \quad ; \quad D_2 = E_2 \epsilon_0 \epsilon_2$$

$$E_1 = \frac{D_1}{\epsilon_0 \epsilon_1} \quad ; \quad E_2 = \frac{D_2}{\epsilon_0 \epsilon_2}$$

$$\frac{D_1}{\epsilon_0 \epsilon_1} = \frac{D_2}{\epsilon_0 \epsilon_2}$$

$$D_2 = \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} D_1$$

Hemos analizado la intensidad de campo eléctrico en los aislamientos, cuando en estos el campo es paralelo ó perpendicular. - Ahora analicemos la relación cuando el campo tiene componentes paralelos y perpendiculares, a la interfase entre los aislamientos tal y como se muestra en la figura 11.



CONDUMEX

Division Accesorios

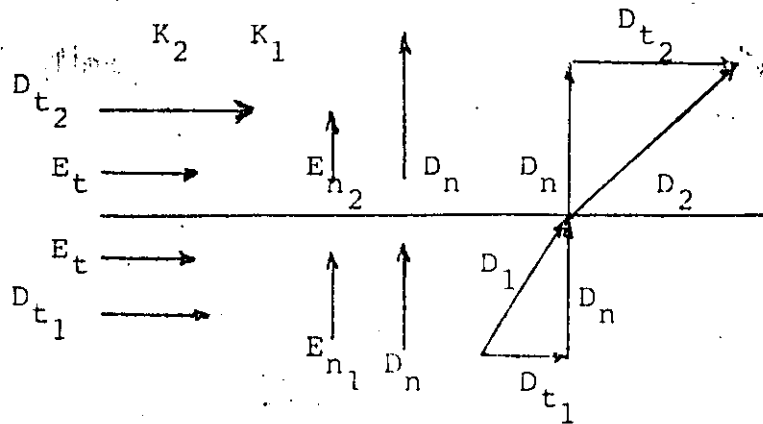


FIGURA 11

En este caso, resulta una densidad de flujo eléctrica constante a través de la interfase y una intensidad de campo eléctrica constante paralela a la interfase. Debido a esta situación se produce una refracción del flujo eléctrico en la interfase.

La relación entre líneas de flujo incidentes, refractadas y normales a la interfase está determinada por las constantes dieléctricas de los dos aislamientos:

$$\text{TAN } \alpha_1 = \frac{K_1}{K_2} \text{TAN } \alpha_2$$

Donde:

K_1 = Constante dieléctrica del material (que contiene) la línea incidente.

K_2 = Constante dieléctrica del material (que contiene) la línea refractada.

α_1 = Angulo entre la línea incidente y normal a la interfase.

α_2 = Angulo entre la línea refractada y normal a la interfase.

Cuando interrumpimos la pantalla sobre aislamiento del cable, en la zona del corte de la pantalla, se origina un flujo eléctrico que tiene componentes normales y paralelas, dando lugar a una concentración de esfuerzos. Estos esfuerzos se controlan mediante una cinta de alta constante dieléctrica. En la interfase del



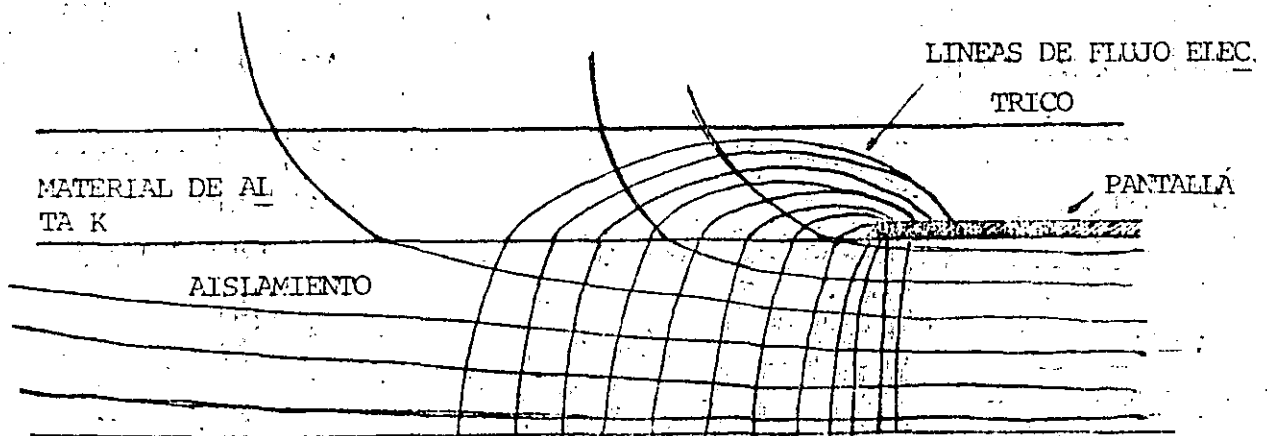
CONDIMEX

Division Accesorios

aislamiento del cable y de la cinta de alta constante, se produce una refracción de las líneas de flujo eléctrico (la línea se refracta en el material de alta constante) y estas prosiguen dentro del material de alta constante a la pantalla del cable.

Mediante la elección de una adecuada constante eléctrica del material para control de esfuerzos, el ángulo de refracción puede ser grande, originando un flujo que es retenido completamente dentro de este material. Adicionalmente el material de alta constante, permite alta densidad de flujo con moderados niveles de esfuerzo.

La refracción de las líneas de flujo y su tendencia a concentrarse más en el material de control de esfuerzos, que en el aislamiento del cable adyacente al corte de la pantalla se muestra en la figura 12.



CONTROL DE ESFUERZOS MEDIANTE
MATERIAL DE ALTA CONSTANTE

FIGURA 12



CONDUMEX

División Accesorios

B.- CONTROL DE ESFUERZOS ELECTRICOS LONGITUDINALES EN EL AISLAMIENTO DEL CABLE:

Una vez que ya se controlaron los esfuerzos en la zona del corte de la pantalla, debemos determinar cual debe ser la distancia mínima que debe existir entre el electródo que está al potencial de operación y la pantalla que está aterrizada. A la distancia que existe a lo largo de la superficie del aislamiento del cable entre conductor y pantalla se le denomina "Distancia de fuga".

Para determinar la distancia de fuga, se considerara el valor de tensión al impulso, al cual la terminal debe ser probada (nivel básico de aislamiento) y el esfuerzo axial máximo al impulso. El cálculo de la distancia de fuga se expresa en la siguiente relación:

$$D.F. = \frac{BIL}{ESF. AXIAL MAXIMO AL IMP.}$$

Otra manera de calcularlo, es considerando el voltaje de operación de fase a tierra y el esfuerzo axial máximo promedio.

El esfuerzo axial máximo promedio a lo largo del aislamiento del cable, se recomienda que sea de 2 V/mil, para el caso de que sea aislamiento seco.

Por lo que la expresión que relaciona la distancia de fuga es la siguiente:

$$D.F. = \frac{V/\sqrt{3}}{2 \left[\frac{V}{\text{mil}} \right]} \quad [V]$$



CONDUMEX

División Accesorios

Donde:

D.F.= Distancia de fuga.

V.= Voltaje de operación de fase a tierra.

Mediante las expresiones anteriores se puede determinar la longitud a lo largo de la superficie del aislamiento del cable, entre conductor y pantalla. La distancia de fuga es ligeramente mayor a la distancia recta que hay entre el conductor y pantalla, si consideramos practicamente igual la distancia de fuga con la distancia recta entre electrodos (distancia de arco) se disminuye ligeramente el esfuerzo axial, de tal forma que no incurrimos en nada grave al considerar la distancia de fuga igual a la distancia de arco en la preparación del cable.

La distancia total de preparación del cable, está en función básicamente, de la distancia de fuga, distancia de la parte inferior del cono y distancia expuesta del conductor, para el caso del control de esfuerzo en el corte de la pantalla a base de cono de esfuerzos. Para el caso del control de esfuerzos en la zona del corte de la pantalla a base de cintas graduadoras, la distancia total de preparación sería la distancia de fuga más la distancia del conductor expuesto. Esta distancia de preparación sería la adecuada cuando se trata de terminales CLASE 1 y CLASE 2, por que el medio aislante que circunda al cable es un medio dieléctrico diferente al aire, y que además incrementa la distancia de fuga exterior entre el conductor y la parte aterrizada de la terminal.

Para el caso de la terminal CLASE 3, la distancia de preparación, está en función de la distancia necesaria para el control de esfuerzos eléctricos en el medio aislante que circunda a la terminal.



CONDUMEX

División Accesorios

C.- CONTROL DE ESFUERZOS ELECTRICOS EN EL MEDIO AISLANTE QUE CIRCUNDA A LA TERMINAL:

Anteriormente definimos a la terminal de un cable aislado, - ahora la complementaremos añadiendo, que terminal es un accesorio instalado en el extremo de un cable que nos permite la conexión - a equipos ó líneas aéreas.

Cuando se trata de interconexión a equipos, probablemente se - pueda contar con un espacio interior dentro del equipo de tal ma- nera que se pueda instalar una terminal CLASE 3. Como por ejemplo una subestación tipo caseta, en algunos otros, probablemente sería indispensable instalar terminales CLASE 1. Como por ejemplo, in- terruptores en aceite, cajas derivadoras, subestaciones SF₆, etc. De tal manera que el medio dieléctrico que circunda a la terminal dicta cual debe ser la distancia mínima entre electrodos (poten- cial y tierra). Cuando se trata de un material dieléctrico cuyos esfuerzos máximos permisibles son mayores que los del aire, pode- mos considerar que las dimensiones exteriores de la terminal, estan - determinadas por las distancias encontradas en el inciso B. Cuan- do se trata de interconexión a líneas aéreas, el aire es el elemen- to que circunda a la terminal y dependiendo de la zona en que se encuentre instalada, debemos satisfacer una distancia de fuga ade- cuada para la operación satisfactoria de ésta. Así por ejemplo, tenemos zonas de alta contaminación Industrial, de alta contamina- ción salina, (y combinaciones de estas) y zonas de baja contamina- ción. De tal manera que existe una recomendación para satisfacer las distancias de fuga que comprende desde 2 hasta 4.5 cm/kV. El valor inferior se recomienda para zonas de baja contaminación y - clima templado, el más alto se recomienda para zonas de muy alta contaminación salina e industrial.



CONDUMEX

27
División Accesorios

La expresión para el cálculo de la distancia de fuga de la terminal viene dada por:

$$D.F. = V \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \text{ [kV]} \cdot (2 \text{ ó } 4.5) \left[\frac{\text{cm}}{\text{kV}} \right]$$

Ahora bien, la distancia de fuga se puede dar dentro de una distancia recta relativamente más corta mediante un contorno caprichoso de los elementos aislantes. Pero también debemos satisfacer una distancia recta mínima entre los electrodos de potencial y tierra. A esta distancia recta se le denomina, distancia de arco y la expresión que nos permite calcularla sería:

$$D.A. = \frac{V \sqrt{2}}{\sqrt{3}} \text{ [kV]} \cdot 1 \left[\frac{\text{cm}}{\text{kV}} \right]$$

Cuando se trata de una zona de baja contaminación y la presión atmosférica es de 1 BAR, para el caso de zonas de alta contaminación y diferente humedad y presión se consideran factores de corrección que van desde 1 hasta .6, quedando la expresión como:

$$D.A. = V \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{k} \text{ [kV} \cdot \frac{\text{cm}}{\text{kV}} \text{]}$$

Donde:

D.A. = Distancia de arco.

V = Voltaje de operación entre fases.

k = Factor de corrección (.6 a 1) [adimensional]



CONDUMEX

División Accesorios

4.- PRUEBAS DE PROTOTIPO A TERMINALES

Para garantizar la operación confiable de las terminales diseñadas para cables de energía, se deben someter a las siguientes pruebas de prototipo:

I.- PRUEBAS DIELECTRICAS:

- Tensión alterna de prueba 60 Hertz:
 - a).- 1 minuto en seco.
 - b).- 10 segundos en húmedo (sólo terminales CLASE 1 y CLASE 2).
 - c).- 6 horas en seco.
- Tensión de prueba de extinción de descargas parciales.
- Tensión de prueba al impulso (BIL).
- Tensión de prueba corriente directa (15 minutos).
- Tensión de radio interferencia.

II.- PRUEBA DE HERMETICIDAD (Sólo a terminales CLASE 1).

III.- PRUEBA DE TEMPERATURA.

IV.- PRUEBA DE OPERACION CORRIENTE NOMINAL.

V.- PRUEBA DE CICLOS DE CORRIENTE.

VI.- PRUEBAS MECANICAS:

- a).- Torsión.
- b).- Tensión.
- c).- Compresión.



CONDUMEX

Division Accesorios

Es preciso indicar que las terminales deben cumplir todas las pruebas, y con sólo que no cumplan una sola prueba se considera que no son adecuadas. No obstante con que todas las pruebas son importantes podemos jerarquizar la importancia de algunas pruebas, así que podemos decir que dentro de las pruebas dieléctricas, la más importante es la del nivel básico de aislamiento (BIL). En un sistema eléctrico la coordinación de aislamiento es importante y se lleva a cabo de acuerdo a los niveles de sobre voltaje máximos encontrados en dicho sistema. Sobrevoltajes debidos a descargas atmosféricas ó bien a maniobras de switcheo.

En un sistema de distribución (subterráneo, aéreo ó mixto), las fuentes de sobre voltaje transitorio se debe la mayoría de las veces a operaciones de switcheo y precisamente este tipo de sobre voltaje es más severo. Pues cuando se trata de descargas atmosféricas, estas afectan la instalación en la superficie y la onda viajera al entrar al sistema subterráneo llega con una reducción substancial en su magnitud de voltaje debido a la refracción (refracción debida a la variación de la impedancia del sistema).

En 1930, el Comité de Coordinación de aislamientos en accesorios de la NEMA-NELA, estableció los niveles de aislamiento para varias clasificaciones de voltaje. Las compañías generadoras de energía eléctrica suministraron los datos originales de los niveles de aislamiento existente. Se encontró que el nivel de protección oscilaba entre 6 y 10 veces el voltaje de fase a tierra nominal del sistema.

Los niveles de 10 y 6 veces el voltaje de fase a tierra nominal del sistema se determinaron en base a las descargas atmosféricas. En la actualidad los análisis de sistemas de redes nos permiten observar que los transitorios por maniobras en sistemas de distri



CONDUMEX

Division Accesorios

bución subterránea aterrizados mediante una resistencia, crean un esfuerzo de voltaje similar. El voltaje de cresta mayor se considera 7 P.U. del voltaje de cresta del sistema.

Sin embargo las normas establecen por protección contra un transitorio un BIL 20% arriba del voltaje máximo del transitorio. La siguiente expresión nos indica lo antes dicho:

$$BIL = 1.2 (7PU) \left[\frac{kV \times \sqrt{2}}{\sqrt{3}} \right] [kV]$$

Por otro lado se definió que la forma de onda del voltaje de prueba debía ser de 1.2 x 50 S.

La prueba de extinción de descargas parciales es importante, ya que la unidad de carga (La prueba de extinción de descargas parciales tiene como unidad de medida el picocoulomb, que es una medida de carga eléctrica) es proporcional a la energía destructiva que se libera en el sitio de la descarga.

La descarga parcial ocurre en el dieléctrico, debido a la existencia de burbujas de gas. Cuando tenemos burbujas ocluidas sucede que el esfuerzo dieléctrico en el gas es mucho mayor que en el dieléctrico provocando ruptura y desplazamiento de esfuerzo eléctrico dentro del sólido.

Después de la prueba de BIL, podemos anotar las pruebas a frecuencia industrial. El propósito de la prueba de un minuto en seco, es determinar si el material aislante de la terminal tiene algunas burbujas de cierta magnitud, las cuales podrían dar lugar a sitios de descargas parciales. La prueba de 10 segundos en húmedo (solo a CLASE 1 y 2) nos permite conocer si el contorno exte-



CONDUMEX

División Accesorios

rior (Geometría) de la terminal es el adecuado para operar en - ambientes húmedos, además de que nos informa que la superficie de la terminal es tal que no permite la formación de trayectorias conductivas, que finalmente podrían ocasionar una falla. La prueba de 6 horas intenta evidenciar la existencia de microburbujas y contaminantes que pudieran dar inicio al fenómeno de tracking.

La prueba de corriente directa nos permite conocer el estado - que guarda el sistema cable-terminal, cuando la instalación se ha ce en el campo. Esto es, cuando hacemos la instalación en campo, el único equipo de prueba con que contamos es el de directa, ya - que el de alterna es difícil de trasladar. De tal suerte que pa - ra garantizar la buena instalación del sistema cable-terminal, la única prueba que nos podría indicar esto es la prueba de corrien - te directa.

Prueba de hermeticidad, para el caso de terminal CLASE 1, es - importante garantizar la hermeticidad del sistema cable-terminal, ya que de lo contrario se pudiera dar lugar a fuga de compuesto - aislante ó a que ingrese humedad y por lo tanto se degrade el ais - lamiento, provocando con ello la falla.

La prueba de operación a corriente nominal, nos permite cono - cer la bondad de nuestro sistema de contacto, recordemos que tene - mos una conexión eléctrica entre conductor y conector de la termi - nal y que si la interconexión no es lo adecuada vamos a tener pro - blemas al momento en que circule la corriente, debido a que hay - elevación de temperatura por efecto joule en la resistencia de con - tacto.

Como anotamos anteriormente, todas las pruebas a prototipo son importantes y sólo anotamos con un poco de detalle las más relevan - tes.



CONDUMEX

Division Accesorios

5.-

REFERENCIAS

- 1.- Mashikian S. Matthew
Design and Construction of a Stress Relief Cone
EIRC, University of Connecticut
1984 Spring Workshop
- 2.- H. C. Hervig, and G. A. Wyatt
Electric Stress in Cable Terminations
3M Company St. Paul, Minn.
- 3.- Christopher J. Bise and Lloyd A. Morley
An Evaluation of High-Voltage Cable-Coupler
Performance for Underground Mine Power Systems
IEEE Transactions on Industry Applications, Vol JA-18, No. 4
July/August 1982
- 4.- Juan Corrales Martin
Cálculo Industrial de Máquinas Eléctricas
Capítulo 2
Universidad Politécnica Barcelona
Marcombo Boixareu.
- 5.- Norma Oficial Mexicana NOM-J-199-1979
- 6.- Underground Systems Reference Book
Edison Electric Institute, 1957
- 7.- IEEE Standard Test Procedures and Requirements for High-Voltage Alternating Current Cable Terminations.

IEEE STD 48-1975

Industrias Apaseo S.A. de C.V.

Prolongación Altende 380 Apaseo El Grande Gto. Tel. (461) 824 24 Apdo. Postal 12 Telex 172312 CXTLME



CONDUMEX

37
División Accesorios

- 8.- Kraus and Carver
Electromagnetics
Second Edition
Mc Graw-Hill

- 9.- L. A. Johnson and W. C. Osborn
Contamination Testing of Distribution
Class Cable Terminations
IEEE Conference Record Underground
Transmission and Distribution Conference
Sept. 27 - Oct. 1

- 10.- Sierra, V., Sansores A.
Manual Técnico de Cables de Energía
Segunda Edición
Mc. Graw-Hill
1984



DISEÑO DE CABLE

Código: 34		
Elemento no.	Progresivo	Copia no.
Fecha de Elaboración: Septiembre 1985		

En la tabla 2.2 se presentan los calibres de los conductores, los espesores de aislamiento y las pruebas eléctricas que deben tener los cables de energía, desde 0-600 Volts, hasta 28,001 a 35,000 Volts de acuerdo a la especificación ICEA-S-68-516. Mediante la ecuación (2.2) puede llegarse a la conclusión que para los cables que operan a las diferentes tensiones (entre 5 y 35 kV) y para un espesor de aislamiento del 100%, se llega a los siguientes valores de gradiente máximo:

Tensión	Calibres	Gradiente máximo
kV	AWG - KCM	kV/mm
35	1/0 a 1000	3 a 4.2
25	1 a 1000	2.7 a 3.8
15	2 a 1000	2.3 a 3.0
5	8 a 1000	1.4 a 2.0

En el caso que los cables tengan un nivel de aislamiento de 133%, es decir, que el espesor del mismo es mayor que para 100%, significa que el valor del gradiente máximo al cual estaría operando el aislamiento bajo éstas circunstancias, es menor que aquel que se presentaría si el nivel de aislamiento es del 100%.

ELABORO

REVISO

AUTORIZO

Sustituye a:

ING. RICARDO BOLAÑO J.



DISEÑO DE CABLE

Código: 35

Elemento no. Progresivo Copia no.

Fecha de elaboración:
Septiembre 1985

Ejemplo:

Calcular el espesor del aislamiento de un cable que va a operar a 25 kV entre fases, siendo el calibre del conductor 100 KCM. Los datos de las construcciones y diámetros de los conductores se muestran en la tabla 2.3 y el gradiente máximo es de 2.7 kV/mm.

SOLUCION:

De acuerdo a la tabla 2.3 y para un conductor, calibre 100 KCM redondo compacto, el diámetro del conductor es de 26.92 mm.

De la ecuación (2.2)

$$G_{\max} = \frac{0.869 V_o}{dp \log \frac{d_a}{dp}} \quad \begin{matrix} \text{kV} \\ \text{mm} \end{matrix}$$

se tiene que calcular el diámetro sobre el aislamiento (d_a).

Entonces:

$$d_a = \text{antilog} \frac{0.869 \cdot V_o}{G_{\max} \cdot dp} + \log dp$$

ELABORO

REVISO

AUTORIZO

Sustituye a:

ING. RICARDO BOLADO J.

Escriba aquí el nombre del sustituto



DISEÑO DE CABLE

Código: 36

Elemento no. Progresivo Copia no.

Fecha de Elaboración:
Septiembre 1985

$$= \text{antilog} \frac{0.869 \times \frac{25}{\sqrt{3}}}{2.7 \times 28.92} + \log 28.92$$

* Se consideró 1 mm. de espesor del semiconductor sobre el conductor.

$$d_a = 42.0 \text{ mm.}$$

El espesor del aislamiento se calcula restando al diámetro sobre el aislamiento el diámetro sobre la pantalla semiconductor sobre el conductor y dividiendo entre dos.

Esto es:

$$e = (42.0 - 28.92) / 2$$

$$e = 6.54 \text{ mm.}$$

ELABORO

REVISO

AUTORIZO

Sustituye a:

ING. RICARDO BOLADO J.

Página no.: De:

Table 3-1
Conductor Sizes, Insulation Thicknesses and Test Voltages

Rated Circuit Voltage, Phase to Phase, Volts*	Conductor Size, AWG or MCM	Insulation Thickness ## for 100 and 133 Percent Insula- tion Levels†				a-c Test Vol- tage, kV, for 100 and 133 Percent Insu- lation Levels†		d-c Test Vol- tage, kV, for 100 and 133 Percent Insu- lation Levels†		d-c Spark Test Voltage, kV for 100 and 133 Percent Insu- lation Levels		a-c Spark Test Voltage, kV for 100 and 133 Percent Insu- lation Levels®	
		Col. A		Col. B		Col. A	Col. B	Col. A	Col. B	Col. A	Col. B	Col. A	Col. B
		mils	mm	mils	mm								
0-600	14-9†	45	1.14	30	0.76	4.0	3.5	12.0	10.5	16.0	10.5	10.0	7.5
	8-2	60	1.52	45	1.14	5.5	5.5	16.5	16.5	21.0	16.5	15.0	10.0
	1-4/0	80	2.03	55	1.40	7.0	7.0	21.0	21.0	28.0	21.0	17.5	12.5
	225-500	95	2.41	65	1.65	8.0	8.0	24.0	24.0	33.5	24.0	20.0	15.0
	525-1000	110	2.79	80	2.03	10.0	10.0	30.0	30.0	38.5	30.0	27.5	17.5
601-2000	14-9 †	60	1.52	45	1.14	5.5	5.5	16.5	16.5	21.0	16.5	15.0	10.0
	8-2	70	1.78	55	1.40	7.0	7.0	21.0	21.0	24.5	21.0	17.5	12.5
	1-4/0	90	2.29	65	1.65	8.0	8.0	24.0	24.0	31.5	24.0	20.0	15.0
	225-500	105	2.67	75	1.90	9.5	9.5	28.5	28.5	37.0	28.5	25.0	17.5
	525-1000	120	3.05	90	2.29	11.5	11.5	34.5	34.5	42.0	34.5	30.0	20.0
2001-5000	Nonshielded.	See Note 2.											

		100	133	100	133	100	133	100	133	100	133		
		Percent	Percent	Percent	Percent	Percent	Percent	Percent	Percent	Percent	Percent		
		Insula-	Insula-	Insula-	Insula-	Insula-	Insula-	Insula-	Insula-	Insula-	Insula-		
		tion	tion	tion	tion	tion	tion	tion	tion	tion	tion		
		Level**†	Level†	Level†	Level†	Level†	Level†	Level†	Level†	Level†	Level†		

SHIELDED

2001-5000	8-1000	90	2.29	90	2.29	13	13	...	...	...	...	...	...
5001-8000	6-1000	115	2.92	140	3.56	18	22	45	45	...	...	...	...
8001-15000	2-1000††	175	4.45	215	5.46	27	33	70	80	...	...	...	...
15001-25000	1-1000	260	6.60	345	8.76	38	49	100	125	...	...	...	...
25001-28000	1-1000	280	7.11	...	...	42	...	105	...	...	...	...	...
28001-35000	1/0-1000	345	8.76	...	...	49	...	125	...	...	...	...	...

(Continued)

* Added 10-29-1979

*The actual operating voltage shall not exceed the rated circuit voltage by more than (a) 5 percent during continuous operation or (b) 10 percent during emergencies lasting not more than 15 minutes.

† Selection of the cable insulation level to be used in a particular installation shall be made on the basis of the applicable phase-to-phase voltage and the general system category as outlined below:

100 Percent Level—Cables in this category may be applied where the system is provided with relay protection such that ground faults will be cleared as rapidly as possible, but in any case within 1 minute. While these cables are applicable to the great majority of cable installations which are on grounded systems, they may be used also on other systems for which the application of cables is acceptable provided the above clearing requirements are met in completely de-energizing the faulting section.▲

133 Percent Level—This insulation level corresponds to that formerly designated for ungrounded systems. Cables in this category may be applied in situations where the clearing time requirements of the 100 percent level category cannot be met, and yet there is adequate assurance that the faulted section will be de-energized in a time not exceeding 1 hour. Also they may be used when additional insulation strength over the 100 percent level category is desirable.

173 Percent Level—Cables in this category should be applied on systems where the time required to de-energize a grounded section is indefinite. Their use is recommended also for resonant grounded systems. Consult the manufacturer for insulation thicknesses.

‡ Single-conductor cables in sizes 9 AWG and smaller shall not be used for direct earth burial.

**Where additional insulation thickness is desired, it shall be the same as for the 133 percent insulation level.

†† For 133 percent insulation level (ungrounded neutral), the minimum conductor size is 1 AWG.

Column A thicknesses (2000 volts or less) apply to single-conductor power cables for general application when a carbon-black pigmented insulation is used without a covering. In this construction, the insulation shall be in accordance with 3.7. Column B thicknesses (2000 volts or less) apply to single-conductor cables having a covering over the insulation and to the individual conductors of multiple-conductor cables having an overall covering.▲

NOTE 1—To limit the maximum voltage stress on the insulation at the conductor to a safe value, the minimum size of the conductor shall be in accordance with Table 3-1.

NOTE 2—For single-conductor nonshielded cables with nonmetallic jacket, see 7.9 and 7.10. For single- and multiple-conductor nonshielded cables with a metallic sheath or armor and for multiple-conductor nonshielded cables with a discharge-resistant jacket (see Table 4-1), the insulation thickness shall be 90 mils (2.29 mm) and the test voltage shall be 13 kV ac or 35 kV dc (see 3.5.2).▲

● NOTE 3—a-c voltages are r.m.s. values. ††

● NOTE 4—Column B a-c spark test voltages are taken from Table 7L1, UL Standard 44, Rubber Insulated Wires and Cables, 10th Edition. ††

†† Approved by NEMA as Authorized Engineering Information.

● Added 10-29-1979.

▲ Editorially revised.

TABLE 20.2
DIAMETERS OVER ROUND COMPACT-STRANDED ALUMINUM CONDUCTORS

Conductor Size	Nominal Diameter		Maximum Acceptable Diameter (C=1.04A)	
	In	mm	In	mm
	A	B	C	D
12 AWG	0.085	2.16	0.088	2.25
11	0.095	2.41	0.099	2.51
10	0.107	2.72	0.111	2.82
9	0.120	3.05	0.125	3.18
8	0.134	3.40	0.139	3.53
7	0.152	3.86	0.158	4.01
6	0.169	4.29	0.176	4.47
5	0.191	4.84	0.199	5.05
	0.213	5.41	0.222	5.64
3	0.233	5.92	0.248	6.30
2	0.260	6.60	0.279	7.09
1	0.289	7.39	0.311	7.90
1/0	0.330	8.38	0.349	8.86
2/0	0.376	9.55	0.391	9.93
3/0	0.423	10.74	0.440	11.18
4/0	0.475	12.07	0.494	12.55
250 kcmil	0.520	13.21	0.541	13.74
	0.570	14.48	0.593	15.06
300	0.610	15.65	0.641	16.28
400	0.660	16.74	0.689	17.49
450	0.700	17.78	0.728	18.49
500	0.730	18.69	0.765	19.43
550	0.775	19.69	0.806	20.47
600	0.813	20.65	0.846	21.49
650	0.845	21.46	0.879	22.33
700	0.877	22.23	0.912	23.16
750	0.908	23.06	0.944	23.98
800	0.938	23.83	0.976	24.79
900	0.989	25.37	1.039	26.39
1000	1.060	26.92	1.102	27.99

TABLE 20.3
DIAMETERS OVER ROUND COMPRESSED CONCENTRIC-LAY-STRANDED ASTM CLASSES B, C, AND D ALUMINUM, UNCOATED COPPER, AND COATED COPPER CONDUCTORS

Conductor Size	Minimum Acceptable Diameter ^B		Maximum Acceptable Diameter	
	In	mm	In	mm
	P	Q	R	S
14 AWG	0.071 ³	1.80 ³	0.074 ³	1.88 ³
13	0.080 ³	2.03 ³	0.083 ³	2.11 ³
12	0.089	2.26	0.093	2.36
11	0.100	2.54	0.103	2.64
10	0.113	2.87	0.117	2.97
9	0.126	3.20	0.132	3.35
8	0.142	3.61	0.148	3.76
7	0.159	4.04	0.166	4.22
6	0.173	4.52	0.186	4.72
5	0.200	5.03	0.209	5.31
4	0.225	5.72	0.235	5.97
3	0.252	6.40	0.264	6.71
2	0.283	7.19	0.293	7.52
1	0.322	8.18	0.332	8.46
1/0	0.362	9.19	0.374	9.50
2/0	0.405	10.3	0.420	10.7
3/0	0.456	11.6	0.472	12.0
4/0	0.512	13.0	0.530	13.5
250 kcmil	0.558	14.2	0.576	14.6
300	0.611	15.5	0.631	16.0
350	0.661	16.8	0.682	17.3
400	0.706	17.9	0.729	18.5
450	0.749	19.0	0.773	19.6
500	0.789	20.0	0.815	20.7
550	0.829	21.1	0.855	21.7
600	0.868	22.0	0.893	22.7
650	0.901	22.9	0.930	23.8
700	0.935	23.7	0.965	24.5
750	0.968	24.6	0.999	25.4
800	1.000	25.4	1.032	26.2
800	1.060	26.9	1.096	27.8
1000	1.117	28.4	1.153	29.3
1100	1.173	29.8	1.210	30.7

(Continued)



CONDUMEX

EMPALMES PARA CABLES SUBTERRANEOS
CON AISLAMIENTO SECO, EMPLEADOS EN
TRANSMISION DE ENERGIA ELECTRICA.

Código:

Aislamiento no.

Progresivo

Copia no.

Fecha de Elaboración:

40

1. TECNICA DEL EMPALME
 - 1.1 FORMULAS PARA EL DISEÑO
2. TIPOS DE EMPALMES EMPLEADOS PARA CABLES XLP Y E.P.
 - 2.1 AUTOVULCANIZABLE
 - 2.2 VULCANIZADO EN CAMPO
 - 2.3 PREMOLDEADO
 - 2.4 A DIAMETRO
3. EVALUACION DE LOS DIFERENTES TIPOS DE EMPALMES
4. CONCLUSIONES
5. REFERENCIAS

ELABORO

REVISO

AUTORIZO

Sustituye a:

ING. J. DEL CASTILLO

Página no.:

De:



EMPALMES PARA CABLES SUBTERRANEOS CON AISLAMIENTO SECO, EMPLEADOS EN TRANSMISION DE ENERGIA ELECTRICA.

Código:

Elemento no. Regresivo Copia no.

Fecha de Elaboración:

2/1

1. TECNICA DEL EMPALME.

La elaboración de un empalme consiste en "La Conexión y reconstrucción de todos los elementos que constituyen un cable de potencia aislado, - protegidos mecánicamente dentro de una misma cubierta o carcasa" (Definición según norma NOM J-158-1978)

La confiabilidad del empalme para cables con aislamiento extruido consiste principalmente del diseño, materiales empleados y de la mano de obra de instalación.

El diseño debe ser de tal forma que considere que los materiales usados sean compatibles con los elementos constitutivos del cable que se unira y que los materiales usados esten dentro de límites de seguridad con respecto a los gradientes de esfuerzos (Volts/mm²)

$$G = \frac{0.869 V_o.}{x \log_{10} \frac{d_a}{d_p}} \text{ KV/mm}$$

V_o = Tensión al neutro del sistema en KV

d_a = diámetro sobre aislamiento en mm.

d_p = diámetro sobre pantalla semiconductor sobre el conductor (mm)

x = distancia a la que se desea conocer el gradiente (mm)

$$G_{\max} = \frac{0.869 V_o.}{d_p \log_{10} \frac{d_a}{d_p}} \text{ KV/mm} \quad (\text{Sobre el conductor})$$

$$G_{\min} = \frac{0.869 V_o.}{d_a \log_{10} \frac{d_a}{d_p}} \text{ KV/mm} \quad (\text{Sobre el aislamiento})$$

ELABORO

REVISO

AUTORIZO

ING. J. DEL CASTILLO P.

Sustituye a:

Página no.: De:



EMPALMES PARA CABLES SUBTERRANEOS CON AISLAMIENTO SECO, EMPLEADOS EN TRANSMISION DE ENERGIA ELECTRICA.

Código:

Documento no.

Proyecto

Copia no.

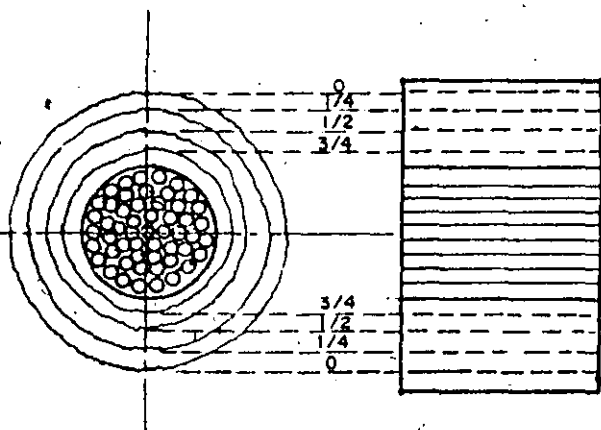
Fecha de Elaboración:

42

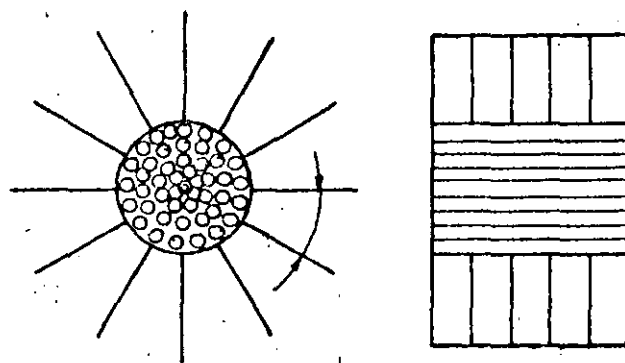
Los gradientes de esfuerzos que se presentan en un empalme son:

Radiales

Axiales (que normalmente no se presentan en el cable).



Lineas Equipotenciales



Lineas de flujo

Puntos en que se concentran más esfuerzos.

- Hombros del conector
- Base de la punta de lápiz del aislamiento
- La sección cónica del sobreaislamiento

ELABORO

REVISO

AUTORIZO

ING. J. DEL CASTILLO P.

Sustituye a:

Página uno de



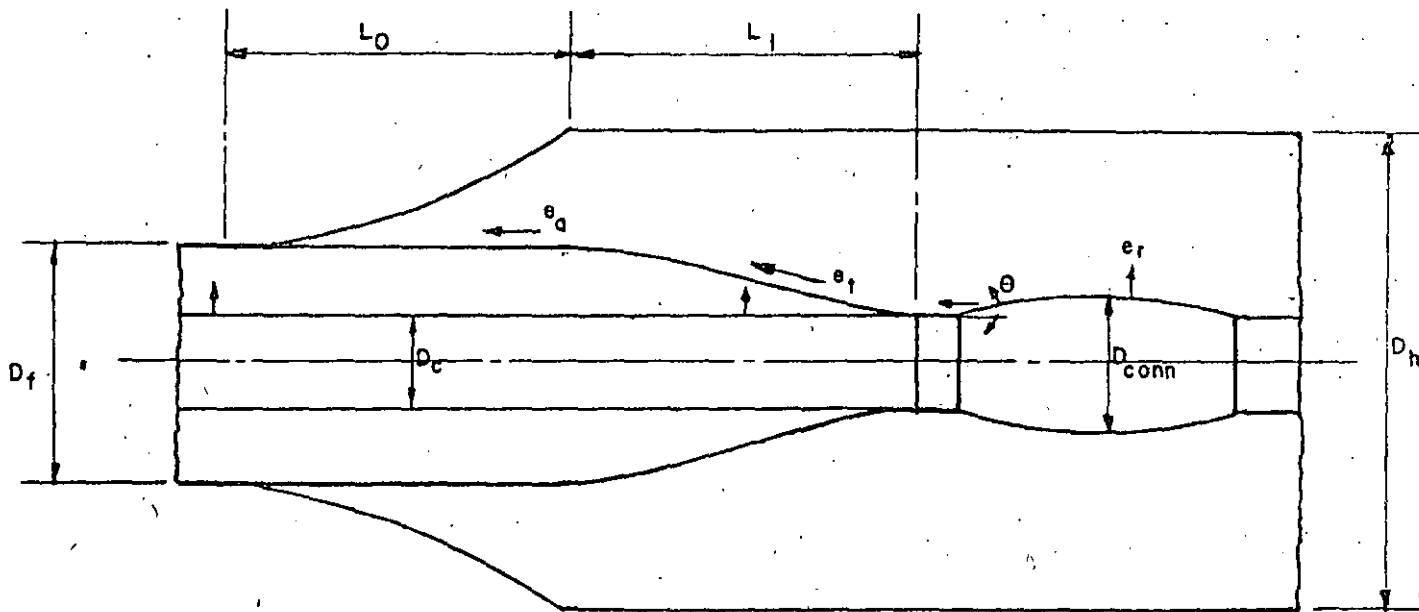
EMPALMES PARA CABLES SUBTERRANEOS CON AISLAMIENTO SECO, EMPLEADOS EN TRANSMISION DE ENERGIA ELECTICA.

Código:

Elemento no. Progresivo Capta no.

Fecha de Elaboración:

43



- D_c = Diámetro del conductor
- D_f = Diámetro del cable
- D_{conn} = Diámetro del conector
- D_h = Diámetro del sobre aislamiento
- L_o = Longitud cono exterior
- L_i = Longitud de la cinta interna
- e_r = Esfuerzo radial
- e_t = Esfuerzo tangencial
- e_a = Esfuerzo axial

ELABORO

REVISO

AUTORIZO

ING. J. DEL CASTILLO P.

Sustituye a:

Figura no. Anos



EMPALMES PARA CABLES SUBTERRANEOS CON AISLAMIENTO SECO, EMPLEADOS EN TRANSMISION DE ENERGIA ELECTRICA.

Código:		
Elemento no.	Programa	Copia no.
Fecha de Elaboración: 4/4		

1.1. FORMULAS PARA EL DISEÑO

1.1.1. Esfuerzo radial (máximo)

En el cable
$$e_{rc} = \frac{2 V}{Dc \ln \frac{Df}{Dc}}$$

En el empalme
$$e_{re} = \frac{2 V}{Dc \ln \frac{Dh}{Dc}}$$

En el conector
$$e_{r \text{ conect}} = \frac{2 V}{D_{\text{conect}} \ln \frac{Dh}{D_{\text{conect}}}}$$

- V = Voltaje a tierra
- Dc = Diámetro del conductor
- Df = Diámetro del cable
- Dconect = Diámetro del conector
- Dh = Diámetro del sobre aislamiento del empalme
- Lo = Longitud del cono exterior del empalme
- Li = Longitud de la cinta interna del empalme
- er = Esfuerzo radial
- et = Esfuerzo tangencial
- ea = Esfuerzo axial
- θ = Angulo del conector

ELABORO	REVISO	AUTORIZO	Secretivo a:
ING. J. DEL CASTILLO P.			Elaborado por: Det



EMPALMES PARA CABLES SUBTERRANEOS CON AISLAMIENTO SECO, EMPLEADOS EN TRANSMISION DE ENERGIA ELECTRICA.

Código:

Límite no.	Progresivo	Copia no.

Fecha de Elaboración:

45

1.1.2 ESFUERZO TANGENCIAL

$$e_t = \frac{V}{l_i} \frac{\ln \frac{D_f}{D_c}}{\ln \frac{D_h}{D_c}}$$

1.1.3 ESFUERZO AXIAL

- a) Esfuerzo axial uniforme a lo largo de la interfase fajo la cinta exterior cuando la pendiente de la misma es larga.

$$e_a = \frac{V}{L_o} \frac{\ln \frac{D_h}{D_c}}{\ln \frac{D_h}{D_c}}$$

6

- b) Esfuerzo axial uniforme a lo largo de la cinta exterior si la pendiente es con una curva logaritmica (log-log)

$$e_a = \frac{V}{L_o} \ln \left(\frac{\ln \frac{D_h}{D_c}}{\ln \frac{D_f}{D_c}} \right)$$

- c) Esfuerzo axial en el conector

$$e_{a\text{conect}} = e_{r_c} \tan \phi$$

- 1.1.4 El diámetro del sobre aislamiento del empalme puede ser dividido en N pasos iguales.

$$D_n = D_c \left(\frac{D_f}{D_c} \right)^{\frac{1}{N}}$$

ELABORO

REVISO

AUTORIZO

Sustituye a:



EMPALMES PARA CABLES SUBTERRANEOS CON AISLAMIENTO SECO, EMPLEADOS EN TRANSMISION DE ENERGIA ELECTRICA.

Código:		
Elemento n.º	Programa	Copie no.
Fecha de Elaboración:		
4/6		

1.1.5 El diámetro de la curva log-log a una distancia x a partir del final del empalme.

es

$$D x = D_c \left(\frac{D_f}{D_c} \right)^{\left(\frac{\ln \frac{D_h}{D_c}}{\ln \frac{D_f}{D_c}} \right) x/L_0}$$

ELABORO

REVISO

AUTORIZO

Sustituye a:

ING. J. DEL CASTILLO P.

Página no. | Det.



CONDUMEX

EMPALMES PARA CABLES SUBTERRANEOS CON AISLAMIENTO SECO, EMPLEADOS EN TRANSMISION DE ENERGIA ELECTRICA.

Código:

Documento no.

Progreso

Copia no.

Fecha de Elaboración:

47

2. LOS TIPOS DE EMPALMES EMPLEADOS PARA CABLES XLP y E.P.

Encintado con cintas autovulcanizantes

Vulcanizado en campo

Premoldeado

Empalme a diámetro

2.1. Empalme Encintado.

Este empalme se elabora con cintas autovulcanizantes.

Un conector une los 2 segmentos del cable. Después se aplica una cinta semiconductor, sobre ella se aplican las cintas aislantes y otra cinta semiconductor. Sobre estas se reconstruye la pantalla electrostática y se aplica el recubrimiento exterior.

Este empalme es muy útil para tensiones de distribución en lugares donde las dimensiones de los cables varían con frecuencia y no es posible mantener un inventario de empalmes premoldeados para todas ellas.

2.2. Empalme Vulcanizado en Campo.

Este empalme surge como alternativa del empalme encintado es susceptible de emplearse en cables de cobre o aluminio, con aislamiento sólido.

La técnica de vulcanizado está basada en el empleo de materiales similares a los del cable, que son tratados con calor. El empalme es de pequeñas dimensiones exteriores y posee las mismas características mecánicas, eléctricas y térmicas como el cable mismo. La técnica de vulcanizado permite obtener un aislamiento compacto y un perfecto enlace entre la pantalla

ELABORO

REVISO

AUTORIZO

ING. J. DEL CASTILLO P.

Sustituye a:

Página no. | De:



EMPALMES PARA CABLES SUBTERRANEOS CON AISLAMIENTO SECO, EMPLEADOS EN TRANSMISION DE ENERGIA ELECTRICA.

Código:

Elemento no.:

Programa

Copia no.:

Fecha de Elaboración:

98

sobre conductor y el aislamiento.

El equipo de vulcanización es un molde que se coloca sobre el material encintado y con el cual se aplica presión y calor con el fin de que vulcanice el aislamiento.

2.3. Empalme Prefabricado.

El empalme prefabricado permite una instalación más simple. Su elaboración involucra únicamente el ensamble de partes ya fabricadas, lo cual, reduce la mano de obra y el tiempo normalmente requerido en empalmes encintados. En el caso de un trabajo de reparación, significa una rápida restauración del servicio.

No requiere entrenamiento especial en el proceso de instalación y sólo se necesita la habilidad normal para realizarlo, pues no requiere de puntas de lápiz ni tampoco ningún encintado.

El empalme prefabricado tiene la ventaja de poderse probar en fábrica, y la desventaja es su alto costo, especialmente para cables de transmisión, además, no es a diámetro

2.4. EMPALME A DIAMETRO

El empalme a diámetro (E.D.) para cable extruido de EPR, se basa en el principio de reconstruir el aislamiento del cable con tal calidad de material que electricamente es capaz de soportar el mismo gradiente que el aislamiento del cable, ya que queda con el mismo diámetro que el cable inicial. Esto a diferencia de todos los empalmes mencionados que exceden de 1 a 4 veces el diámetro del cable.

Los empalmes a diámetro facilitan la elaboración de cables -

ELABORO

REVISO

AUTORIZO

Sustituye a:

ING. J. DEL CASTILLO P.

Página no.: De:



EMPALMES PARA CABLES SUBTERRANEOS CON AISLAMIENTO SECO, EMPLEADOS EN TRANSMISION DE ENERGIA ELECTRICA.

Código:

Ligamento no.	Proyecto	Copia no.
---------------	----------	-----------

Fecha de Elaboración:

49

más largos que, colocados en carretes especiales, pueden salir de fábrica al sitio de instalación en una sola pieza, evitando así la labor de empalmar en campo en lugares donde no es posible hacerlo. Un ejemplo de esto es el cable submarino continuo de 5.5. km. instalado en la laguna de Nichupté en Cancún, Q. Roo.

Los empalmes a diámetro facilitan las maniobras de tendido del cable al no presentar obstrucción cuando el cable tiene que ser jalado.

2.4.1 Elaboración Del Empalme a Diámetro.

El empalme a diámetro (E.D.) puede ser encintado, vulcanizado y contar con componentes prefabricados, consiste en que la reconstrucción del aislamiento no sobrepase el diámetro de los cable a unir. Para lograr que el aislamiento no sobrepase el diámetro del cable, es necesario contar con el material aislante que posea buenas características dieléctricas. La elaboración del empalme a diámetro vulcanizable en campo a 115 KV. es la siguiente:

Efectuar la preparación de los cables a unir retirando cubierta, pantalla electrostática y capa semiconductor sobre aislamiento.

Dependiendo de si los cables a unir son de cobre o de aluminio, se utiliza respectivamente un conector a presión o soldadura MIG. Después de la soldadura, se lija el conductor hasta alcanzar su diámetro original.

Una vez efectuada la unión de los conectores, se terminan -

ELABORO

REVISO

AUTORIZO

ING. J. DEL CASTILLO P.

Sustituye a:

Página no.:

De:

3.1 Evolución de empalmes para cables de alta tensión

(Continúa)

145 KV

- | | | |
|--------------------------------------|--|--|
| 1) Vulcanizado (con cinta XLP & EPR) | - Puede ser a diámetro
- Confiable
- Características iguales al cable | - Requiere de sistemas de pre-surización complejos
- Mano de obra especializada
- Tiempo alto de elaboración |
| 2) Premoldeado (de EP) | - Facilidad de instalación
- Se puede probar antes de instalarlo al campo | - Requiere un control cerrado de las dimensiones del cable para no afectar la interferencia
- Mayor costo
- No es a diámetro
- Está en pruebas usando diámetros de empalmes 28 y 85 % sobre el diámetro del cable (interferencia) |

3.1 Evaluación de empalmes para cables de alta tensión

CLASE

72.5 KV

<u>TIPO DE EMPALME</u>	<u>V A N T A J A S</u>	<u>D E S V E N T A J A S</u>	<u>C O M E N T A R I O S</u>
1) Encintado vulcanizante	<ul style="list-style-type: none"> - Rápido - Bajo costo 	<ul style="list-style-type: none"> - No es a diámetro - Requiere tensión uniforme al aplicar los cintos - Características eléctricas inferiores que los vulcanizados o premodelados 	<ul style="list-style-type: none"> - Usan cintos Bishop, 3M rotunda, etc. - En realidad solo lo ha usado hasta 72.5 KV
2) Vulcanizados en campo	<ul style="list-style-type: none"> - Confiabilidad - Pueden ser a diámetro - Al usar el mismo material del aislamiento ⇒ iguales características eléctricas y mecánicas del cable 	<ul style="list-style-type: none"> - Tiempo alto de elaboración - Requiere mano de obra especializada 	<ul style="list-style-type: none"> - La tendencia es aplicar presión por medio de N^o aceite de silicón
3) Premodelado (de EP)	<ul style="list-style-type: none"> - Confiable - Rápido (± 6 horas) - Se puede probar antes de enviarlo al campo 	<ul style="list-style-type: none"> - No es a diámetro - Mayor costo 	



EMPALMES PARA CABLES SUBTERRANEOS CON AISLAMIENTO SECO, EMPLEADOS EN TRANSMISION DE ENERGIA ELECTRICA.

Código:

Ligante no.	Progreso	Cuota no.

Fecha de Elaboración:

52

de elaborar las puntas de lápiz en el aislamiento. Posteriormente se colocan dos capas de cinta semiconductor sobre el conductor y se vulcanizan aplicando una temperatura de 160°C durante 30 minutos, lo cual se logra por la aplicación de resistencias y cintas cuyo propósito es mantener la temperatura y presión en esta fase.

Sobre la cinta semiconductor se colocan cintas vulcanizables para reconstituir el aislamiento aplicando una temperatura de 180°C durante 4 horas y enfriando a temperatura ambiente por aproximadamente 6 horas.

Para reconstruir la pantalla sobre aislamiento, se colocan 2 capas de cinta semiconductor. Para el vulcanizado se aplica una temperatura de 160°C durante 45 minutos.

La pantalla electrostática se puede reconstituir recombinando los hilos de cobre de la pantalla electrostática de los cables, mediante un distribuidor de hilos.

La cubierta exterior se restablece encintando sobre la pantalla electrostática, cinta de PVC hasta llegar al diámetro del cable.

3. Evaluación de los diferentes tipos de cables.

3.1. Tabla anexa

3.2. Notas.

El uso de cintas E.P. en empalmes para cables con aislamiento en XLP y debido a que el E.P. es más suave que el XLP puede -

ELABORO

REVISO

AUTORIZO

ING. J. DEL CASTILLO P.

Sustituye a:

Página no.: | De:



EMPALMES PARA CABLES SUBTERRANEOS CON AISLAMIENTO SECO, EMPLEADOS EN TRANSMISION DE ENERGIA ELECTRICA.

Código:

Elemento no.:

Proyecto:

Copia no.:

Fecha de Elaboración:

53

traer consigo los siguientes fenómenos:

- a) La junta puede roscarse durante un corto circuito, si no esta sujeta en forma apropiada.
- b) El empalme tendrá una mayor resistencia térmica; un menor efecto dieléctrico y un mayor factor de potencia.

Para empalmes en cables XLP, se tiene que aplicar un sistema de presurización que puede ser a base de nitrógeno, silicón o cintas de alto módulo de elasticidad, que se aplican con una máquina herramienta que controla la tensión mecánica de aplicación.

3.3. Empalmes Premoldeados.

Las consideraciones especiales que deben observarse son:

% de Interferencia (N I)

$$\% N I = \frac{D_{\text{cable}} - D_{\text{empalme}}}{D_{\text{empalme}}} \times 100$$

La interfase será proporcional a la presión con que se inserte el cable al empalme.

Para cable EP % N I correcto de 13 a 16%

Para cable XLP % N I correcto de 23 a 35%

4. CONCLUSIONES.

Condumex ha elaborado varios prototipos de empalme a diámetro para cables con aislamiento de EPR 115 KV. empleando cintas de fabricación nacional, habiendo pasado las pruebas nacio-

ELABORO

REVISO

AUTORIZO

Sustituye a:

ING. J. DEL CASTILLO P.

Página no.:

De:



EMPALMES PARA CABLES SUBTERRANEOS CON AISLAMIENTO SECO, EMPLEADOS EN TRANSMISION DE ENERGIA ELECTRICA.

Código:

Elemento no. Programa Copia no.

Fecha de Elaboración:

54

nales de acuerdo a la Norma NOM-J-158-1978 que se relaciona con la internacional I.E.E.E. Std. 404-1977.

Dichas pruebas fueron:

Tensión alterna 60 Hz	260 KV. 1 minuto
Descargas parciales	100 KV. 5 pc max.
Alta tensión C.A.	175 KV. 6 horas
Impulso (N B I)	550 KV. (3+) y 3 (-)
Alta tensión continua	320 KV. 15 minutos

También se probaron prototipos de empalmes importados prefabricados aplicados a cable EPR, 115 KV., 500 MCM conductor - de aluminio habiendo pasado también las pruebas.

ELABORO

REVISO

AUTORIZO

Sustituye a:

ING: J. DEL CASTILLO P.

Página no.: Det:



EMPALMES PARA CABLES SUBTERRANEOS CON AISLAMIENTO SECO, EMPLEADOS EN TRANSMISION DE ENERGIA ELECTRICA.

Código:		
Elemento no.	Progresivo	Copia no.
Fecha de Elaboración: 55		

5. REFERENCIAS

1. SIERRA V., SANSORES A. "Manual técnico de cables de Energía" Condumex-Indael, Mc. Graw Hill, 2a. edición, Julio de 1984.
2. Norma Oficial Mexicana NCM-J-158-1978
3. IEEE Standard for Power Cable Joints. IEEE std 404-1977.
4. JORGENSEN, J. and NIELSEN, O.K. "Straight-Through Joints for Extruded Solid Dielectric Insulated Cables 12-170 KV" International Conference on Electricity Distribution 1979.
5. TAKAOKA, M., ONO, M., KAJI, I., "Development of 275 KV. - XLPE Cable System and Prospect of 500 KV XLPE Cable" - - IEEE/PES 1983 Winter Meeting.
6. DEL CASTILLO J., MIER R. Empalmes a diámetro para cables subterráneos con aislamientos extruidos para 115 Kv. Conferencia Internacional IEEE Latincon 84
7. LEUTERITZ., LUKAC, SILVER, WILLIAMS., MIDOZ, ORTIZ, PARMIGIANI. Minuta de la 5a. Reunión sobre empalmes y accesorios de A.T. en Cables con Aislamiento Extruido. Pirelli Nov. 1983.

ELABORO	REVISO	AUTORIZO	Sustituye a:
ING. J. DEL CASTILLO P.			
Página no.:		De:	

Capítulo 1

SELECCION DE CABLES DE ENERGIA

Son cuatro los principales factores que deben ser considerados en la selección de conductores:

- 1.1 Materiales
- 1.2 Flexibilidad
- 1.3 Forma
- 1.4 Dimensiones

En las páginas que siguen se analizan estos factores en forma más detallada.

1.1 Materiales

Los materiales más usados como conductores eléctricos son el cobre y el aluminio, aunque el primero es superior en características eléctricas y mecánicas (la conductividad del aluminio es aproximadamente el 60% de la del cobre y su resistencia a la tensión mecánica el 40%), las características de bajo peso del aluminio han dado lugar a un amplio uso de este metal en la fabricación de cables aislados y desnudos.

En la tabla 1.1 se comparan en forma general las propiedades principales de los metales usados en la manufactura de cables. Se han incluido en esta tabla metales que no se utilizan directamente como conductores, v.gr. el plomo, usado para asegurar la impermeabilidad del cable, y el acero, que se emplea como armadura para protección y como elemento de soporte de la tensión mecánica en instalaciones verticales.

TABLA 1.1 Propiedades comparativas de materiales empleados en la fabricación de cables eléctricos

Metal	Densidad	Temperatura de fusión	Coefficiente lineal de dilatación	Resistividad eléctrica a 20°C	Coefficiente térmico de resistividad eléctrica 20°C	Conductividad eléctrica
	g/cm ³	°C	× 10 ⁻⁶ /°C	ohm-mm ² /km	1/°C	% IACS*
Acero	7.90	1400	13	575-115	0.0016-0.0032	3-15
Aluminio	2.70	660	24	28.264	0.00403	61.0
Cobre duro	8.89	1083	17	17.922	0.00383	96.2
Cobre suave	8.89	1083	17	17.241	0.00393	100.0
Plomo	11.38	327	29	221.038	0.00410	7.8
Zinc	7.14	420	29	61.138	0.00400	28.2

* IACS = International Annealed Copper Standard.

En el cobre usado en conductores eléctricos se distinguen tres temple o grados de suavidad del metal: suave o recocido, semiduro y duro; con propiedades algo diferentes, siendo el cobre suave el de mayor conductividad eléctrica y el cobre duro el de mayor resistencia a la tensión mecánica.

El cobre suave tiene las aplicaciones más generales, ya que su uso se extiende a cualquier conductor, aislado o no, en el cual sea de primordial importancia la alta conductividad eléctrica y la flexibilidad.

La principal ventaja del aluminio sobre el cobre es su peso menor (densidad 2.70 g/cm³ contra 8.89 g/cm³ del cobre).

En la tabla 1.2, que se presenta a continuación, se comparan algunas de las características más importantes en conductores fabricados con cobre y aluminio.

TABLA 1.2 Comparación de características entre cobre y aluminio

Características	Cobre	Aluminio
Para igual volumen: relación de pesos	1.0	0.3
Para igual conductancia: relación de áreas	1.0	1.64
relación de diámetros	1.0	1.27
relación de pesos	1.0	0.49
Para igual ampacidad: relación de áreas	1.0	1.39
relación de diámetros	1.0	1.18
relación de pesos	1.0	0.42
Para igual diámetro: relación de resistencias	1.0	1.61
capacidad de corriente	1.0	0.78

TABLA 1.3 Temples de cobre y aluminio

a) Temples de cobre

Ej. Calibre 10 AWG.

Temple	Conductividad % IACS*	Esfuerzo de tensión a la ruptura kgf/mm ²
Cobre suave	100	25
Cobre semiduro	96.66	35.4 a 40.3
Cobre duro	96.16	45.6

b) Temples de aluminio

Temple	Conductividad % IACS*	Esfuerzo de tensión a la ruptura kgf/mm ²
H19	6.10 min	6.1 — 9.7
HF	61.3 min	11.7 — 15.3
HD	61.4 min	10.7 — 14.3
O	61.8 min	16 — 19

* IACS "International Annealed Copper Standard".

Patrón Internacional para Cobre Recocido, igual a 100% de conductividad.

c) Equivalencias entre designaciones del temple de aluminio

Nombre descriptivo del temple	Clave internacional (ISO)	Clave EUA (ANSI)
3/4 duro	HF	H16 y H26
1/2 duro	HD	H14 y H24

El significado de las letras empleadas para denotar los temples que aparecen en esta tabla es el siguiente:

H; endurecido por tensión mecánica

Se aplica al aluminio cuyo esfuerzo es incrementado por endurecimiento mecánico, con o sin tratamiento térmico suplementario. Después de la letra H se coloca una letra en la clave internacional (ISO) o por dos o más dígitos en la clave de EUA (ANSI).

HG, HD y HF

La segunda letra indica, en orden alfabético progresivo, el grado ascendente del esfuerzo de ruptura, desde el HA hasta el HH.

1.2 Flexibilidad

La flexibilidad de un conductor se logra de dos maneras, recociendo el material para suavizarlo o aumentando el número de alambres que lo forman.

A la operación de reunir varios conductores se le denomina cableado y da lugar a diferentes flexibilidades, de acuerdo con el número de alambres que lo forman, el paso o longitud del torcido de agrupación y el tipo de cuerda.

El grado de flexibilidad de un conductor, como función del número de alambres del mismo, se designa mediante letras que representan la clase de cableado. Las primeras letras del alfabeto se utilizan para las cuerdas más rígidas y las últimas para cuerdas cada vez más flexibles.

No hay regla fija para decidir cuál grado de flexibilidad es el más adecuado para una determinada aplicación ya que, con frecuencia, 2 o 3 clases de cableado pueden ser igualmente satisfactorias para cierto cable. En la tabla siguiente se dan recomendaciones de carácter general, tomadas de las normas ASTM.

TABLA 1.4 Clases de cableado

Clase	Aplicación	Clase	Aplicación
AA	Cable desnudo, generalmente para líneas aéreas.	I	Cables para aparatos especiales.
A	Cable aislado, tipo intemperie, o cables desnudos que requieran mayor flexibilidad que la de la clase AA.	J	Cordones para artefactos eléctricos.
B*	Cable aislado con materiales diversos tales como papel, hule, plástico, etc., o cables del tipo anterior que requieran mayor flexibilidad.	K	Cables portátiles y para soldadoras.
C y D	Cables aislados que requieran mayor flexibilidad que la clase B.	L	Cordones portátiles y para artefactos pequeños que requieran mayor flexibilidad que los de las clases anteriores.
G	Cables portátiles con aislamiento de hule, para alimentación de aparatos o similares.	M	Cables para soldadoras (portaelectrodos), para calentadores y para lámparas.
H	Cables y cordones con aislamiento de hule que requieran mucha flexibilidad. Por ejemplo, cables que tengan que enrollarse y desenrollarse continuamente y tengan que pasar sobre poleas.	O	Cordones pequeños, para calentadores que requieran mayor flexibilidad que los anteriores.
		P	Cordones más flexibles que en las clases anteriores.
		Q	Cordón para ventiladores oscilantes, flexibilidad máxima.

* Los cables de media tensión objeto de este manual utilizan en su construcción Conductores Clase B.

1.3 Forma

Las formas de conductores de uso más general en cables aislados de media tensión son:

1. Redonda
2. Sectorial



Fig. 1.1 Forma de conductores.

Un conductor redondo es un alambre o cable cuya sección transversal es sustancialmente circular. Se utiliza tanto en cables monoconductores como en cables multiconductores con cualquier tipo de aislamiento. Los conductores de calibres pequeños (8AWG y menores) suelen ser alambres sólidos, mientras que los calibres mayores generalmente son cables.

Cuando los alambres son de mayor diámetro, el torcido de los mismos se efectúa generalmente en capas concéntricas alrededor de un núcleo central de 1 o más alambres. El cable resultante recibe el nombre de "cable concéntrico". Este cable es el más usado, empleándose para las clases AA, A, B, C y D.

Con frecuencia es conveniente reducir el diámetro de un cable concéntrico (sobre todo en calibres grandes) para disminuir sus dimensiones y obtener una superficie cilíndrica uniforme lo cual representa ventajas eléctricas. Esto puede lograrse comprimiendo el cable a través de un dado. El resultado es el "Cable Redondo Compacto".

Un conductor sectorial es un conductor formado por un cable cuya sección transversal es sustancialmente un sector de círculo. Se utilizan principalmente en cables de energía trifásicos, en calibres superiores a 1/0 AWG. En estos cables, los conductores sectoriales implican una reducción en la cantidad de rellenos y el diámetro sobre la reunión de las tres almas, permitiendo reducciones sustanciales en el plomo y revestimientos de protección.

Comparando los cables con conductores sectoriales, con los equivalentes de conductores redondos, encontramos que los primeros presentan las siguientes ventajas:

1. Menor diámetro
2. Mejor peso
3. Costo más bajo

pero tienen en cambio estas desventajas:

1. Menor flexibilidad
2. Mayor dificultad en la ejecución de las uniones

La experiencia demuestra, sin embargo, que los cables sectoriales se pueden manejar e instalar sin dificultades.

1.4 Dimensiones

Calibres

Escala AWG

Desde hace años las dimensiones de los alambres se han expresado comercialmente por números de calibres, en especial en Estados Unidos. Esta práctica ha traído consigo ciertas confusiones, debido al gran número de escalas de calibres que se han utilizado.

En Estados Unidos, la escala más usada para alambres destinados a usos eléctricos es la "American Wire Gage" (AWG), misma que ha sido ya adoptada en México.

La "American Wire Gage" también conocida como la "Brown and Sharpe Gage" fue ideada en 1857 por J.R. Brown. Esta escala de calibres, así como algunas otras de las escalas usadas, tiene la propiedad de que sus dimensiones representan aproximadamente los pasos sucesivos del proceso de estirado del alambre. Sus números son regresivos: un número de mayor valor absoluto representa un alambre de menor diámetro y corresponde a los pasos de estirado del mismo.

A diferencia de otras escalas, los calibres del "American Wire Gage" no se han escogido arbitrariamente, sino que están relacionados por una ley matemática. La escala se formó fijando dos diámetros y estableciendo una ley de progresión geométrica para diámetros intermedios. Los diámetros base seleccionados son 0.4600 pulgadas (calibre 4/0) y 0.0050 pulgadas (calibre 36), y hay 38 dimensiones entre estos dos. Por lo tanto, la razón entre un diámetro cualquiera y el diámetro siguiente en la escala está dada por la expresión

$$\sqrt[39]{\frac{0.4600}{0.0050}} = \sqrt[39]{92} = 1.1229$$

Esta progresión geométrica puede expresarse como sigue:

La razón entre dos diámetros consecutivos en la escala es constante e igual a 1.1229.

Para secciones superiores a 4/0 se define el cable directamente por su diámetro o área. Las unidades adoptadas en Estados Unidos con este fin son:

Mil, para diámetros, siendo una unidad de longitud igual a una milésima de pulgada.

Circular mil, para áreas, unidad que representa el área del círculo de un mil de diámetro. Tal círculo tiene un área de 0.7854 mils cuadrados. Para secciones mayores se emplea la unidad designada por las siglas KCM o MCM, que equivale a mil circular mils.

Escala milimétrica IEC

La escala de la "International Electrotechnical Commission" es la más usada en la actualidad, con excepción de Estados Unidos y la mayor parte de los países latinoamericanos. En sí, la escala consiste en proporcionar la medida directa de las áreas transversales de los calibres, en milímetros cuadrados.

En las tablas siguientes se muestran los valores correspondientes de la escala AWG, su equivalente en mm² y el calibre en la escala milimétrica IEC.

Escala AWG

Reglas prácticas

Hay una serie de reglas aproximadas útiles que deben recordarse y aplicables a la escala de calibres AWG:

1. El incremento de tres números en el calibre (verbigracia del 10 al 7) duplica el área y el peso, por lo tanto, reduce a la mitad la resistencia a la corriente directa
2. El incremento en seis números de calibre (verbigracia del 10 al 4) duplica el diámetro
3. El incremento en 10 números de calibre (verbigracia del 10 al 1/0) multiplica área y peso por 10 y divide entre 10 la resistencia

TABLA 1.5 Construcciones preferentes de cable de cobre con cableado redondo compacto (clase B)

Designación		Área de la sección transversal, mm ²	Número de alambres	Diámetro exterior nominal, mm	Peso nominal kg/km
mm ²	o MCM				
—	8	8.37	7	3.40	75.9
—	6	13.30	7	4.29	120.7
—	4	21.15	7	5.41	191.9
—	2	33.6	7	6.81	305
—	1	42.4	19	7.59	385
50	—	48.3	19	8.33	438
—	1/0	53.5	19	8.53	485
—	2/0	67.4	19	9.55	612
70	—	69.0	19	9.78	626
—	3/0	85.0	19	10.74	771
—	4/0	107.2	19	12.06	972
—	250	126.7	37	13.21	1149
150	—	147.1	37	14.42	1334
—	300	152.0	37	14.48	1379
—	350	177.3	37	15.65	1609
—	400	203	37	16.74	1839
240	—	239	37	18.26	2200
—	500	253	37	18.69	2300
—	600	304	61	20.6	2760
—	750	380	61	23.1	3450
—	800	405	61	23.8	3680
—	1000	507	61	26.9	4590

TABLA 1.6 Construcciones preferentes de cable de aluminio con cableado redondo compacto

Designación AWG o MCM	Área de la sección transversal, mm ²	Número de alambres	Diámetro exterior nominal, mm	Peso nominal kg/km
2	33.6	7	6.81	92.6
1/0	53.5	19	8.53	147.5
2/0	67.4	19	9.55	185.8
3/0	85.0	19	10.74	234.4
4/0	107.2	19	12.06	296
250	126.7	37	13.21	349
350	177.3	37	15.65	489
400	203	37	16.74	559
500	253	37	18.69	698
600	304	61	20.6	838
750	380	61	23.1	1050
900	456	61	25.4	1259
1000	507	61	26.9	1399

TABLA 1.7 Construcciones preferentes de los conductores de cobre con cableado concéntrico normal y comprimido

Clase B

mm ²	Área de la sección (mm ²)	Número de alambres	Diámetro de cada alambre, mm	Diámetro del conductor, mm	
				Normal	Comprimido
35	34.4	7	2.5	7.6	7.28
70	69.0	19	2.15	10.75	10.43
150	147.1	37	2.25	15.75	15.28
240	242.5	37	2.87	20.10	19.49

Capítulo 2

COMPARACIÓN DE AISLAMIENTOS

Función

La función del aislamiento es confinar la corriente eléctrica en el conductor y contener el campo eléctrico dentro de su masa.

En principio, las propiedades de los aislamientos son con frecuencia más que adecuadas para su aplicación, pero los efectos de la operación, medio ambiente, envejecimiento, etc., pueden degradar al aislamiento rápidamente hasta el punto en que llegue a fallar, por lo que es importante seleccionar el más adecuado.

De manera similar al caso de los conductores, existen factores que deben ser considerados en la selección de los aislamientos, como son sus

- Características eléctricas
- Características mecánicas

2.1 Materiales

Dada la diversidad de tipos de aislamiento que hasta la fecha existen para cables de energía, el diseñador deberá tener presentes las características de cada uno de ellos, para su adecuada selección tanto en el aspecto técnico como en el económico.

Tradicionalmente, el papel impregnado ha sido el aislamiento que por su confiabilidad y economía se empleaba en mayor escala; sin embargo, la aparición de nuevos aislamientos tipo seco aunado al mejoramiento de algunos ya existentes, obligan al ingeniero de proyectos a mantenerse actualizado respecto a las diferentes alternativas disponibles.

Los aislamientos se pueden dividir en dos grupos principales:

A) De papel impregnado Emplea un papel especial obtenido de pulpa de madera, con celulosa de fibra larga.

El cable aislado con papel sin humedad se impregna con una sustancia para mejorar las características del aislante. Las sustancias más usuales son los compuestos que se listan a continuación, y la que se elija dependerá de la tensión y de la instalación del cable.

1. Aceite viscoso
2. Aceite viscoso con resinas refinadas
3. Aceite viscoso con polímeros de hidrocarburos
4. Aceite de baja viscosidad
5. Parafinas microcristalinas del petróleo

El compuesto ocupa todos los intersticios, eliminando las burbujas de aire en el papel y evitando así la ionización en servicio. Es por esto que el papel es uno de los materiales más usados en cables de alta tensión y en cables de extra alta tensión.

El compuesto podrá ser migrante o no migrante, de acuerdo al tipo de instalación del cable: con poco desnivel (hasta 10 m) para el primer tipo y con desniveles mayores para el segundo.

Sus propiedades, ventajas y desventajas en comparación con los aislamientos secos, aparecen en la tabla 2.1.

B) Aislamientos de tipo seco A excepción hecha del hule natural (ya en desuso), los aislamientos secos son compuestos cuya resina base se obtiene de la polimerización de determinados hidrocarburos. Según su respuesta al calor se clasifican en dos tipos:

1. Termoplásticos Son aquellos que, al calentarse, su plasticidad permite conformarlos a voluntad, recuperando sus propiedades iniciales al enfriarse, pero manteniendo la forma que se les imprimió.
2. Termofijos A diferencia de los anteriores, después de un proceso inicial similar al anterior, los subsecuentes calentamientos no los reblanecen.

A continuación se describen las características de algunos de los aislamientos de tipo seco.

SINTENAX. El PVC (Cloruro de polivinilo) para aislamiento de cables de alta tensión, desarrollado en Condumex bajo el nombre comercial SINTENAX, ha adquirido una importancia especial, gracias a sus ventajas sobre los plásticos hasta ahora conocidos.

La alta rigidez dieléctrica y su resistencia a la ionización (efecto corona) permiten su operación en cables de energía de hasta 23 kV.

La estabilidad de características, como la resistencia de aislamiento, factor de potencia y constante dieléctrica en presencia de humedad, lo convierten en lo más adecuado para ambientes húmedos. En general, los cables de energía SINTENAX resultan ligeros (no requieren cubierta de plomo), fáciles de instalar y de empalmes y terminales de manufactura sencilla.

Comparación del EP vs XLP

El hule etileno propileno (EP) y el polietileno de cadena cruzada (XLP) son los principales materiales empleados en la actualidad para cables de energía, con aislamiento extruido, en media tensión.

Esto no significa que los cables aislados con EP y con XLP se comporten igualmente bien y con la misma probabilidad de perdurar, bajo las condiciones encontradas en operación normal. La selección se debe realizar con base en una comparación de su comportamiento en servicio y de pruebas de laboratorio que correlacionen las exigencias de operación y las que se presenten en su instalación.

Comportamiento en servicio

Los cables aislados con XLP y EP fueron introducidos en servicio comercial en 5 kV y mayores tensiones, a principios de 1961 y 1962, respectivamente. Desde entonces se han instalado muchos kilómetros de cables con ambos aislamientos.

En general, las estadísticas de servicio para los dos materiales han sido satisfactorias. La mayoría de las fallas se han debido a daños mecánicos o a condiciones particulares del ambiente (presencia de agua, etc.).

Se reconoce con amplitud que la presencia de agua representa la condición ambiental más severa que se puede encontrar en servicio, para cualquier tipo de material (EP, XLP, PE, PVC, etc.) que se utilice como aislamiento en cables de energía.

En particular, se sabe que los cables aislados con XLP o EP, y complementados con pantalla sobre el aislamiento a base de cintas textiles semiconductoras, son susceptibles a la formación de arborescencias cuando se instalan en lugares húmedos. Y, si bien con el uso de semiconductores extruidos parece haber disminuido la incidencia de las fallas de este tipo, en pruebas de larga duración en agua se ha encontrado que se continúan desarrollando arborescencias potencialmente peligrosas.

Aunque los especialistas dedicados a la investigación de los mecanismos que rigen la presencia de arborescencias todavía no tienen una especificación completa del fenómeno, han llegado a la conclusión de que en la gama de esfuerzos de operación adoptados en la práctica, las arborescencias son causadas por tres factores concurrentes:

- agua en el aislamiento
- tensión aplicada de c.a.
- irregularidades en el aislamiento (cavidades, impurezas, protuberancias en las pantallas semiconductoras)

En general, la presencia de estos tres factores causa una disminución en la vida del cable, disminución que es más pronunciada para el XLP que para el EP.

Pruebas relacionadas con la operación

La selección de cables aislados con EP o XLP también se puede basar en la comparación del comportamiento, en pruebas que simulen las condiciones de operación normal, sobrecarga y sobretensiones.

La calificación real para la tensión y temperatura de un cable debe determinarse tomando en cuenta los factores de esfuerzo que pueden estar presentes durante el servicio. Estos factores se pueden considerar en los tres grandes grupos siguientes:

- Factores eléctricos
- Factores térmicos
- Factores ambientales

En correspondencia, las pruebas de laboratorio usadas para simular las condiciones de servicio son las siguientes:

- Pruebas de ruptura en tensión de c.a. y de impulso
- Pruebas de envejecimiento bajo ciclos térmicos
- Pruebas eléctricas de larga duración en agua

El primer factor, el esfuerzo eléctrico de ruptura se evalúa a través de pruebas de corto tiempo, de tal manera que las condiciones reales de servicio prácticamente no se toman en cuenta. Por el contrario, en las pruebas de envejecimiento cíclico y larga duración en agua se combinan los factores térmicos y ambientales en los factores eléctricos.

Pruebas de ruptura en tensión de c.a. y de impulso

Un cable aislado con XLP puede soportar, a temperatura ambiente, mayores tensiones de c.a. y de impulso que el EP, a menos que contenga burbujas o cavidades de grandes dimensiones o que sus pantallas hayan sido dañadas en tal forma que se desarrollen descargas parciales.

Esta situación se invierte a medida que pasamos de la temperatura ambiente a la de operación (90°C), sobrecarga (130°C) y cortocircuito (250°C).

El aislamiento de XLP empieza a perder sus características de soportar tensiones de c.a. y de impulso conforme la temperatura sobrepasa la temperatura de operación normal de 90°C.

Aún más, en el intervalo de la temperatura de emergencia por sobrecargas, las propiedades físicas del XLP están en su totalidad por debajo de aquéllas de un buen aislamiento de EP.

Por otro lado existe bastante información acerca de la vulnerabilidad del XLP al ataque de las descargas parciales. En la práctica, incluso la presencia de microcavidades que no pueden ser detectadas con los equipos más elaborados puede reducir en más de un 30% el esfuerzo dieléctrico de los cables con XLP.

Pruebas de envejecimiento cíclico

Estas pruebas constituyen el método más efectivo de laboratorio para comprobar la confiabilidad en servicio de cables de media tensión. El factor más importante es el tiempo que tarda en presentarse la ruptura, aunque también deben considerarse los cambios de la $\tan \delta$ y del nivel de descargas parciales.

Los cables con aislamiento de XLP y EP, diseñados y fabricados con la construcción de pantallas adecuadas, se comportan bien en estas pruebas, aunque el EP muestra resultados superiores a los del XLP.

En conclusión, el envejecimiento eléctrico de un buen cable (libre de descargas) parece estar gobernado por la presencia de microcavidades de dimensiones tan pequeñas que no pueden ser detectadas por las mediciones de descargas parciales.

Cuando se prueban los cables bajo esfuerzos térmicos, debe considerarse que los cables de energía están diseñados para tres gamas de temperatura, cada una relacionada con una duración típica:

- Temperatura de servicio normal o continuo
- Temperatura de emergencia por sobrecargas, hasta 100 h por año
- Temperatura de corto circuito, normalmente hasta de 1 seg

Tanto los cables de energía aislados con EP como con XLP están calificados actualmente para temperaturas normales de 90°C en servicio continuo, 130°C en emergencias o sobrecargas y 250°C por corto circuito. Sin embargo, se está cuestionando el valor de emergencia para cables aislados con XLP, y se ha sugerido para ellos una temperatura de emergencia de 110°C.

En particular, para las temperaturas más altas, debe garantizarse estabilidad mecánica del sistema de pantallas.

Como el XLP tiene un mayor coeficiente de expansión térmica que el EP, se expande y contrae, con los mismos cambios de temperatura, en mayor grado que el aislamiento de EP. Esto hace que sea más difícil lograr confiabilidad a largo tiempo en las pantallas, en cables con XLP, incluso con las más avanzadas tecnologías.

Cuando se combina con la superficie cerosa y deslizante del XLP, esta característica de expansión térmica dificulta la confección de empalmes y terminales confiables en el campo.

Es más, la tendencia del XLP a deslizarse y fluir durante los ciclos térmicos extremos, ha sido relacionada por algunos autores con el posible desarrollo consecuente de cavidades en los empalmes y terminales, los cuales muy probablemente pueden ser áreas para concentración de humedad y descargas parciales.

Como se menciona en diversos artículos, el EP no exhibe el mismo grado de contracción longitudinal, expansión radial y características de flujo que tiene el XLP a temperaturas arriba de 100°C:

Pruebas eléctricas de larga duración en agua

Los cables instalados en ductos y directamente enterrados con frecuencia se exponen a agentes en los que el agua es el más frecuente.

El agua es una severa condición ambiental, debido a que, en su presencia, la resistencia del cable a los esfuerzos térmicos y eléctricos se reduce.

La mejor prueba para comprobar y predecir la probabilidad de supervivencia de un cable, es una prueba acelerada de larga duración que simula el efecto de este ambiente sobre los cables. En esta prueba, ampliamente usada en muchos laboratorios industriales para calificar diferentes tipos de aislamiento, los cables con EP superan en todo caso a los cables con XLP, con un promedio de vida por lo menos del doble. Esta mayor resistencia al agua y al esfuerzo es otra importante razón para preferir los cables aislados con EP a los aislados con XLP.

Debido a la disminución de las expectativas de vida en agua, es necesario, especialmente en el caso de cables con XLP, reducir tanto como sea posible las irregularidades (cavidades, inclusiones debidas a contaminaciones, etc.) y, para los enlaces más importantes, aplicar una cubierta metálica para prevenir la penetración del agua.

Para cables con EP, es posible obtener una buena resistencia en presencia de agua a través de una adecuada formulación del compuesto, por lo que, para las mismas condiciones de servicio, pueden obtenerse con facilidad tiempos de vida de 2 a 3 veces mayores que para el XLP; debido también a su menor sensibilidad a los contaminantes y a las imperfecciones producto de la fabricación.

Instalación

Manejo de los cables

Algunos usuarios prefieren el EP, por su mayor flexibilidad, la cual lo hace superior al XLP al facilitar su manejo durante la instalación. Esta preferencia se hace más notable en el caso de cables de muy altas tensiones. La dureza de los cables de XLP de grandes dimensiones ha forzado a algunos usuarios a precalentar los extremos de los mismos en los pozos, sólo para colocar el cable en posición adecuada para empalmar.

Empalmes y terminales

De acuerdo con nuestra experiencia, el acabado superficial para la preparación de los accesorios, especialmente en el caso de accesorios encintados o premodelados, es de fundamental importancia para el XLP, mientras que para el EP puede ser menos preciso. En pruebas de tensión y vida hemos observado gran número de rupturas en terminales no ejecutadas adecuadamente en XLP (pequeñas ondulaciones, raspaduras, cortes, etc.), o en el caso de pantallas de cintas aun con muy pequeñas discontinuidades. Estos problemas nunca se han observado en terminales de cables con EP que presenten defectos similares.

Desde luego, este fenómeno se debe a la bien conocida vulnerabilidad del XLP a las descargas parciales originadas en puntos o cavidades sometidas a altos esfuerzos.

Otro factor en relación con el acabado superficial es la resistencia a la absorción de humedad; una vez más, la superficie raspada de cables con EP es menos peligrosa que en el caso de cables con XLP.

Conclusiones

Todas las consideraciones anteriores llevan a la conclusión de que los cables aislados con EP son más confiables en servicio que los cables aislados con XLP.

En particular, pueden hacerse resaltar las siguientes ventajas del EP sobre el XLP:

- Definitivamente, mayor resistencia a las arborescencias en presencia de agua
- Resistencia a las descargas parciales (corona), aun cuando sean indetectables
- Mayor estabilidad del esfuerzo dieléctrico con el incremento de las dimensiones del cable
- Mejor retención de las propiedades físicas y eléctricas a las temperaturas de emergencia y de cortocircuito
- Mayor tiempo de vida tanto en condiciones secas como bajo ciclos térmicos y en el agua
- Menor coeficiente de expansión térmica, lo cual conduce a una mayor estabilidad de los sistemas de pantallas
- Mayor flexibilidad y facilidad de instalación
- Mayor confiabilidad de los empalmes y terminales

2.2 Características eléctricas

A continuación se presentan las definiciones y conceptos relativos de las principales características que identifican a los aislamientos. La comprensión de estas definiciones permitirá hacer una selección más adecuada. En la tabla 2.1 se muestran los valores típicos de estas características para los diferentes aislamientos.

Rigidez dieléctrica

La rigidez dieléctrica de un material aislante es el valor de la intensidad del campo eléctrico al que hay que someterlo para que se produzca una perforación en el aislamiento. Normalmente, este valor es cercano al del gradiente de prueba y de 4 a 5 veces mayor que el gradiente de operación normal. Las unidades en que se expresa este valor por lo común es kV/mm.

Gradiente de operación

El gradiente, esfuerzo de tensión de operación de un cable en cualquier punto "X" del aislamiento, se calcula con la siguiente expresión:

$$G = \frac{0.869 V_o}{dx \log_{10} \frac{d_a}{d_p}} \text{ kV/mm} \quad (2.1)$$

donde:

V_o = tensión al neutro del sistema (en kV)
 d_a = diámetro sobre el aislamiento (en mm)

d_p = diámetro sobre la pantalla semiconductora que está sobre el conductor (en mm)

dx = diámetro correspondiente al círculo que pasa por un punto "x" del aislamiento al que se desea conocer el valor del gradiente (en mm).

De la fórmula anterior se puede obtener el gradiente máximo que se presenta en la superficie interna del aislamiento.

$$G_{\text{máx}} = \frac{0.869 V_o}{d_p \log_{10} \frac{d_a}{d_p}} \text{ kV/mm} \quad (2.2)$$

y el gradiente mínimo que se presenta en la superficie externa del aislamiento.

$$G_{\text{mín}} = \frac{0.869 V_o}{d_a \log_{10} \frac{d_a}{d_p}} \text{ kV/mm} \quad (2.3)$$

Resistencia del aislamiento

La diferencia de potencial entre el conductor y la parte externa del aislamiento hará circular una pequeña corriente llamada de fuga, a través del mismo; y la resistencia que se opone al paso de esta corriente se conoce como resistencia del aislamiento (R_a). El aislamiento perfecto sería entonces el que tuviera una resistencia de valor infinito y que, por tanto, inhibiría por completo el paso de esta corriente. El valor de R_a está dado por la siguiente expresión, por lo común en megohms por kilómetro

$$R_a = K \log_{10} d_a/d_p \text{ M}\Omega\text{-km} \quad (2.4)$$

donde:

K = un valor constante característico del material aislante.

Factor de potencia

Este factor nos permite relacionar y calcular las pérdidas del dieléctrico de los cables de energía.

Tan δ

Es también un factor que permite relacionar y calcular las pérdidas en el dieléctrico de los cables de energía y corresponde a la tangente del ángulo δ complementario del ángulo θ .

Se puede observar de las definiciones anteriores que para ángulos cercanos a 90° que, en general, es el caso de los aislamientos, el valor del factor de potencia y la tan δ son prácticamente el mismo; por lo que ambos factores se utilizan indistintamente para definir las pérdidas en el aislamiento.

TABLA 2.1 Propiedades de los aislamientos más comúnmente usados en cables de energía (5-35 kV)

Características	SINTENAX	VULCANEL XLP	VULCANEL EP	Papel impregnado
Rigidez dieléctrica, kV/mm, (corriente alterna, elevación rápida)	18	25	25	28
Rigidez dieléctrica, kV/mm, (impulsos)	47	50	50	70
Permitividad relativa SIC. (60-ciclos, a temp. de op.)	7	2.1	2.6	3.9
Factor de potencia, % (a 60 ciclos, a temp. de op.)	1	0.1	1.5	1.1
Constante K de resistencia del aislamiento a 15.6°C. (megohm-km)	750	6100	6100	1000
Resistencia a la ionización	buena	buena	muy buena	buena
Resistencia a la humedad	buena	muy buena	excelente	mala
Factor de pérdidas	mala	buena	excelente	buena
Flexibilidad	regular	mala	excelente	regular
Facilidad de instalación de empalmes y terminales (problemas de humedad o ionización):	excelente	regular	muy buena	regular
Temperatura de operación normal (°C)	hasta 6 kV, 80 más de 6 kV, 75	90	90	Hasta 9kV: 95 Hasta 29kV: 90 Hasta 35kV: 80
Temperatura de sobrecarga (°C)	100	130	130	Hasta 9kV: 115 Hasta 29kV: 110 Hasta 35kV: 100
Temperatura de cortocircuito (°C)	160	250	250	200
Principales ventajas	Bajo costo, resistente a la ionización, fácil de instalar.	Factor de pérdidas bajo	Bajo factor de pérdidas, flexibilidad, resistencia a la ionización.	Bajo costo, experiencia de años, excelentes propiedades eléctricas.
Principales inconvenientes	Pérdidas dieléctricas comparativamente altas.	Rigidez. Baja resistencia a la ionización	Es atacable por hidrocarburos a temp. superiores a 60°C.	Requiere tubo de plomo y terminales herméticas.

2.3 Características mecánicas

El esfuerzo inicial aplicado durante el desarrollo de compuestos aislantes fue dirigido a las características eléctricas. Las características mecánicas jugaban

un papel secundario, y estaban definidas por las propiedades intrínsecas de los materiales con que se había logrado la eficiencia máxima en las propiedades eléctricas. Tradicionalmente la protección mecánica está dada por las cubiertas metálicas y termoplásticas o termofijas.

Los desarrollos recientes realizados con base en las causas prevalecientes de fallas en cables, han sido enfocados a hacer resaltar las características mecánicas de los aislamientos, considerándolas junto con las de la cubierta. A continuación se mencionan algunas de las más importantes:

Resistencia a la humedad

Los cables de energía frecuentemente entran en contacto con humedad y el cable absorbe agua a una velocidad que queda determinada por las temperaturas del medio ambiente, temperatura en el conductor, temperatura en el aislamiento y la permeabilidad del aislamiento y cubierta.

El método usual para cuantificar la resistencia a la penetración de humedad es la medición gravimétrica de la cantidad de agua absorbida por los aislamientos después de sumergirlos en agua caliente durante un cierto periodo.

Los aislamientos de papel resultan los más sensibles a la absorción de humedad, por lo que es prácticamente imposible utilizarlos sin cubierta metálica adecuada, con las consecuentes desventajas de manejo e instalación.

Para el caso de los aislamientos sólidos que se encuentran en contacto con agua, el valor gravimétrico de absorción de humedad no es por sí solo un índice para calificar el comportamiento del material en presencia de humedad, sobre todo cuando al mismo tiempo se tiene un potencial aplicado en el mismo. La evidencia muestra que la absorción de humedad es causa de fallas, que se presentan en forma de ramificaciones conocidas como arborescencias. Sin embargo, es difícil explicar por qué hay aislamientos más resistentes que otros a las mismas, a pesar del contenido de agua. Esto es particularmente cierto al comparar el VULCANEL EP con el VULCANEL XLP. Las mediciones muestran que el agua penetra con mayor rapidez en el EP. Sin embargo, con un potencial aplicado en presencia del agua, el XLP muestra una probabilidad mayor de falla, por lo que en lugares húmedos el VULCANEL EP resulta la mejor alternativa.

Flexibilidad

Por supuesto que las características de flexibilidad del aislamiento deben ser compatibles con los demás elementos del cable. Por lo tanto, los conceptos que se mencionan a continuación son aplicables al cable en general.

La flexibilidad de un cable es una de las características más difíciles de cuantificar. De hecho, es uno de los conceptos comúnmente usados para describir la construcción de un cable; sin embargo, por sorprendente que parezca, no existe un estándar de comparación. No existe a la fecha ningún método de prueba para medir el grado o magnitud de la flexibilidad.

Sin embargo, la mejor base para evaluar la flexibilidad es a través de las ventajas a que da lugar en los cables de energía, la cual, en última instancia, es una manera de apreciarla. A continuación se enuncian las ventajas de la flexibilidad:

1. Mayor facilidad para sacar o meter el cable en el carrete, lo que minimiza la probabilidad de daño al momento de instalar.
2. Mayor facilidad para colocar en posición en la instalación, especialmente en lugares estrechos.
3. La construcción del cable que permite dobleces y cambio de dirección en general, sin menoscabo de la integridad del mismo, conduce evidentemente a una instalación confiable.
4. Un manejo sencillo de un material contribuye a que los instaladores trabajen con más rapidez y menos esfuerzo, evitando que pongan en práctica métodos que resultarían perjudiciales, como calentar el cable para permitir dobleces, etc.

2.4 Nivel del aislamiento

Una vez seleccionado el material apropiado para el aislamiento del cable, es necesario determinar el espesor de acuerdo con el fabricante, tomando como base la tensión de operación entre fases y las características del sistema, según la clasificación siguiente:

CLASE 1. NIVEL 100% Quedarán incluidos en esta clasificación los cables que se usen en sistemas protegidos con relevadores que liberen fallas a tierra lo más rápido posible, en un tiempo no mayor a un minuto. Este nivel de aislamiento es aplicable a la mayoría de los sistemas con neutro a tierra y puede también aplicarse a otros sistemas (en los puntos de aplicación del cable) donde la razón entre la reactancia de secuencia cero y de secuencia positiva (X_0/X_1) no esté en el intervalo de -1 a -40 y que cumplan la condición de liberación de falla, ya que en los sistemas incluidos en el intervalo descrito pueden encontrarse valores de tensión excesivamente altos en condiciones de fallas a tierra.

CLASE 2. NIVEL 133% Anteriormente, en esta categoría se agrupaban los sistemas con neutro aislado. En la actualidad, se incluyen los cables destinados a instalaciones en donde las condiciones de tiempo de operación de las protecciones no cumplen con los requisitos del nivel 100%, pero que, en cualquier caso, se libera la falla en no más de una hora.

El nivel 133% se podrá usar también en aquellas instalaciones donde se desee un espesor del aislamiento mayor al 100%. Por ejemplo, cables submarinos, en los que los esfuerzos mecánicos propios de la instalación y las características de operación requieren un nivel de aislamiento mayor.

CLASE 3. NIVEL 173% Los cables de esta categoría deberán aplicarse en sistemas en los que el tiempo para liberar una falla no está definido. También se recomienda el uso de cables de este nivel en sistemas con problemas de resonancia, en los que se pueden presentar sobretensiones de gran magnitud.

Capítulo 3

FUNCIONES DE LAS PANTALLAS ELÉCTRICAS

Cuando se aplica una tensión entre un conductor eléctrico y el plano de tierra (o entre dos conductores), el dieléctrico intermedio se somete a esfuerzos eléctricos. Estos esfuerzos, si son de magnitud elevada, pueden producir deterioro del material del dieléctrico y producir otros efectos indeseables al no controlarse en forma adecuada. El control de estos esfuerzos se logra gracias a las pantallas eléctricas.

Una definición ampliamente aceptada de la función de las pantallas es la siguiente:

Se aplican las pantallas eléctricas en los cables de energía con el fin de confinar en forma adecuada el campo eléctrico a la masa de aislamiento del cable o cables.

Las pantallas usadas en el diseño de los cables de energía tienen diferentes funciones. Dependiendo del material y su localización, pueden ser:

- Pantalla semiconductor sobre el conductor
- Pantalla sobre el aislamiento

3.1 Pantalla semiconductor sobre el conductor

En circuitos con tensiones de 2 kV y mayores se utiliza la pantalla semiconductor a base de cintas o extruida. Los materiales usados en la fabricación de estas pantallas dependen del diseño mismo del cable: en cables con aislamiento de papel impregnado se usan cintas de papel CB (Carbon Black), en

cables con aislamiento sólido se utilizan pantallas extruidas de material compatible con el utilizado en el aislamiento.

La función básica de este tipo de pantallas es la de evitar concentraciones de esfuerzos eléctricos que se presentan en los intersticios de un conductor cableado, a consecuencia de la forma de los hilos (Fig. 3.1). La inclusión de este elemento en el diseño del cable es con el fin de obtener una superficie equipotencial uniforme, a la cual las líneas de fuerzas del campo eléctrico sean perpendiculares.

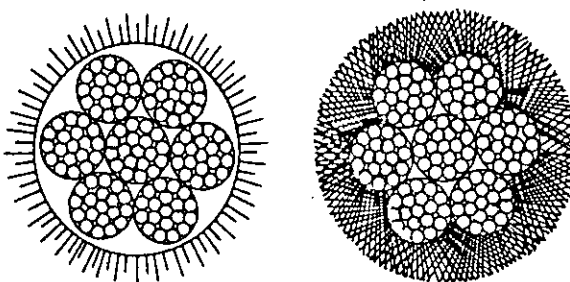


Fig. 3.1 Concentración de esfuerzos eléctricos en los intersticios de un conductor cableado.

Otra función es evitar ionización en los intersticios entre el conductor y el aislamiento. Si el aislamiento fuera extruido directamente sobre el conductor, la curvatura de los alambres de la corona superior darían lugar a la formación de hoquedades o burbujas de aire (Fig. 3.2a) que, al estar sujetas a una diferencia de potencial, provocaría la ionización del aire, con el consiguiente deterioro del aislamiento. La situación anterior se elimina al colocar la pantalla semiconductora, la cual presenta una superficie uniforme (Fig. 3.2b).



Fig. 3.2 a) Aislamiento directamente extruido sobre el conductor. b) Pantalla semiconductora.

Las pantallas sobre el conductor sirven también como elemento de transición entre aquél y el aislamiento. En cables con aislamiento de papel, el impregnante en contacto con el cobre da lugar a compuestos químicos denominados jabones metálicos, que degradan las características dieléctricas en este tipo de cables. Las pantallas evitan la formación de estos compuestos nocivos a los aislamientos.

3.2 Pantalla sobre el aislamiento

En circuitos de 5 kV (ver excepciones, sección 3.4) y mayores se utilizan pantallas sobre el aislamiento que, a su vez, se subdividen en:

- Pantalla semiconductor
- Pantalla metálica

En conjunto, las funciones de las pantallas sobre el aislamiento son:

A) Crear una distribución radial y simétrica de los esfuerzos eléctricos en la dirección de máxima resistencia del aislamiento.

Los cables de energía, bajo el potencial aplicado, quedan sometidos a esfuerzos eléctricos radiales, tangenciales y longitudinales.

Los esfuerzos radiales están siempre presentes en el aislamiento de los cables energizados. El aislamiento cumplirá su función en forma eficiente si el campo eléctrico se distribuye uniformemente. Una distribución no uniforme conduce a un incremento de estos esfuerzos en porciones del cable, con el consecuente deterioro.

En la figura 3.3a se ilustra una distribución desigual de esfuerzos; incluso en este ejemplo, los rellenos de los intersticios del cable quedan sometidos a esfuerzos eléctricos para los que no están diseñados.



Fig. 3.3 a) Cable sin pantalla. b) Cable con pantalla.

Esfuerzos tangenciales y longitudinales Ahora bien, uno de los principios básicos de los campos eléctricos es que al aplicar una tensión a dieléctricos colocados en serie, con diferente permitividad relativa, $K_1 \neq K_2$, se dividirá en razón inversa a las permitividades relativas de ambos materiales.

En el caso de cables de energía desprovistos de pantalla, la cubierta y el medio que rodean al cable forman un dieléctrico en serie con el aislamiento. Una porción de la tensión aplicada se presentará en este dieléctrico; la cual será igual al potencial que se presentará en la superficie del aislamiento. Esta tensión superficial podría alcanzar el potencial del conductor, si el del dieléctrico, cubierta y medio ambiente es de gran magnitud, y/o el potencial de tierra, cuando la superficie del aislamiento esté cerca de secciones aterrizadas.

Las diferentes tensiones superficiales que se presentarían a lo largo del aislamiento incrementan los esfuerzos tangenciales y longitudinales que afectan la operación del cable.

Los esfuerzos tangenciales están asociados con campos radiales no simétricos y ocurren en cables multiconductores, cuando cada uno de los conductores no está apantallado, y en cualquier cable monopolar sin pantalla.

Los esfuerzos longitudinales no necesariamente están asociados con campos radiales asimétricos y siempre lo están con la presencia de tensiones superficiales a lo largo del cable.

La pantalla semiconductor sobre el aislamiento, para cables con aislamiento seco, puede estar constituida por una capa de material termoplástico o termofijo semiconductor, o bien, por cinta semiconductor y/o barniz semiconductor. Para cables aislados con papel impregnado en aceite se emplean cintas de papel CB (Carbon Black) semiconductoras.

3.2.2 Pantalla metálica

La pantalla metálica puede constar de alambres, cintas planas o corrugadas o combinación de alambres y cinta. En el caso de cables aislados con papel, la cubierta de plomo hace las veces de la pantalla. El diseño de la pantalla metálica se debe efectuar de acuerdo al propósito de diseño, que puede ser:

- a) Para propósitos electrostáticos
- b) Para conducir corriente de falla
- c) Como pantalla neutro

3.3 Selección de la pantalla metálica

A continuación se presentan las características de selección de acuerdo a cada propósito de diseño:

a) Pantalla para propósitos electrostáticos Estas pantallas deben ser en general de metales no magnéticos y pueden estar constituidas de cintas, alambres o bien pueden ser cubiertas metálicas (plomo o aluminio).

Las pantallas constituidas a base de cintas o de alambres son generalmente de cobre normal, aunque pueden utilizarse en ambos casos cobre estañado; éstas últimas se utilizan donde se pudiera prever problemas graves de corrosión derivados de las condiciones de instalación. En la tabla 3.1 se presenta el cuadro comparativo de pantallas a base de cintas con las de alambres.

b) Pantallas para conducir corriente de falla En la pantalla metálica se puede requerir una conductancia adicional para conducir corriente de falla, dependiendo de la instalación y características eléctricas del sistema, particularmente con relación al funcionamiento de dispositivos de protección por sobrecorriente, corriente prevista de falla fase a tierra y la manera en que el sistema puede ser aterrizado.

c) Pantalla neutro Con las dimensiones apropiadas se puede diseñar la pantalla, para que en adición a las funciones descritas opere como neutro; por ejemplo, sistemas residenciales subterráneos.

En lo referente a las cubiertas metálicas, estas proporcionan al cable una pantalla electrostática adecuada, además de la hermeticidad que se deriva de tener una cubierta continua. Esta última característica es particularmente necesaria para los cables aislados con papel impregnado o con aislamiento sólido, que operan en lugares contaminados. Por otra parte, la cubierta de plomo, por los espesores que se requieren desde el punto de vista mecánico proporciona una conductancia adicional aprovechable para conducir corriente de falla.

TABLA 3.1 Pantalla de cintas vs. pantalla de alambres

Tipo de pantalla	Ventajas	Desventajas
1. A base de cintas	<ul style="list-style-type: none"> — Proporciona una pantalla electrostática adecuada. — Reduce el ingreso de humedad en el aislamiento. 	<ul style="list-style-type: none"> — Propiedades eléctricas inconsistentes, debido a que en el manejo se afecta el traslape. — Requiere de radios de curvatura mayores que para cables con pantalla de alambres. — Construcción vulnerable durante la instalación. — En empalmes y terminales se requiere de mayor tiempo y habilidad para ejecutar adecuadamente los cortes.
2. A base de alambres	<ul style="list-style-type: none"> — Proporciona una pantalla electrostática adecuada. — Las características eléctricas de la pantalla son consistentes y controlables. — Fácilmente se incrementa la capacidad modificando el número de alambres. — No requiere de gran destreza para realizar cortes en empalmes y terminales. — Son menos vulnerables durante la instalación. 	<ul style="list-style-type: none"> — Permite el paso de la humedad libremente. — Requiere precauciones para evitar desplazamiento de los alambres durante la instalación.

3.4 Aplicaciones de las pantallas

Como se mencionó es necesaria la pantalla sobre el conductor en cables de 2 kV y mayores. Para tensiones menores no se requiere; también se mencionó que cables de 5 kV y mayores requieren de pantallas sobre el aislamiento.

Esto significa que dentro de los límites de 2 kV a 5 kV inclusive, se puede no utilizar pantallas sobre aislamiento, de aquí que interviene una gran dosis de sentido común para considerar la aplicación de las pantallas. Es innegable que un cable con pantalla, instalado en forma apropiada, ofrece las condiciones óptimas de seguridad y confiabilidad. Sin embargo, un cable con pantalla es más costoso y más difícil de procurar e instalar.

A continuación se resumen las recomendaciones de aplicaciones en que se deberá usar o prescindir de las pantallas de acuerdo con las normas ICEA.

Las pantallas sobre aislamiento deben ser consideradas para cables de energía arriba de 5000 Volts, cuando existan cualquiera de las siguientes condiciones:

- a) Conexiones a líneas aéreas
- b) Transición a ambiente de diferente conductancia
- c) Transición de terrenos húmedo o seco
- d) Terrenos secos, de tipo desértico
- e) Conduits anegados o húmedos

- f) En donde se utilizan compuestos para facilitar el jalado de los cables
- g) Donde fácilmente se depositen en la superficie del cable materiales conductores tales como hollín, sales, etc.
- h) Donde pudieran presentarse problemas de radiointerferencia
- i) Donde se involucre la seguridad del personal

Existen situaciones donde se debe considerar el uso de cables sin pantalla, ya que el caso contrario crea graves situaciones de peligro. Ejemplo:

- a) Cuando las pantallas no se pueden aterrizar adecuadamente
- b) Cuando el espacio es inadecuado para terminar correctamente la pantalla.
- c) En cables monopolares:
 1. Cuando se tienen cables sin empalmes en conduit metálico aéreo, en interiores y en lugares secos
 2. Instalados sobre aisladores en ambientes no contaminados
 3. Cables aislados en instalaciones aéreas sujetas a un mensajero aterrizado
- d) En cables triplex:
 1. Instalados en conduit aéreo o charolas, en interiores y lugares secos
 2. Cables aislados en instalaciones aéreas sujetas a un mensajero aterrizado

Conexión a tierra y terminación de las pantallas

En todas las terminaciones de los cables se deben remover completamente las pantallas y sustituir por un cono de alivio de esfuerzos adecuado. Si las pantallas no se retiran, se presentarán arqueos superficiales del conductor a los puntos de menor potencial, carbonización a lo largo de la pantalla y deterioro del aislamiento. -

El cono de alivio es importante ya que siempre se forma al final de la pantalla aterrizada (ver sección de accesorios) un área de esfuerzos concentrados.

La pantalla metálica debe operar todo el tiempo, cerca de, o al potencial de tierra. La pantalla que no tiene la conexión adecuada a tierra es más peligrosa, desde el punto de vista seguridad, que el cable sin pantalla. Además del peligro para el personal, una pantalla "flotante" puede ocasionar daños al cable. Si el potencial de dicha pantalla es tal que perfora la cubierta, la descarga resultante producirá calor y quemaduras al cable.

Las pantallas deben conectarse preferentemente en dos o más puntos. En caso de que se conecten en un solo punto, se deberán tomar precauciones especiales.

Se recomienda aterrizar la pantalla en ambas terminales y en todos los empalmes. La mayor frecuencia de conexiones a tierra reduce la posibilidad de secciones de pantalla "flotantes" y aumenta la probabilidad de una adecuada conexión a tierra de todo el cable instalado.

Todas las conexiones de la pantalla se deberán realizar de tal manera que se provea al cable de una conexión segura, durable y de baja resistencia eléctrica.

Capítulo 4

PROPIEDADES DE LAS CUBIERTAS

La función básica de los cables de potencia puede resumirse en dos palabras "transmitir energía". Para cubrir esta función en forma efectiva las características del cable deben preservarse durante el tiempo de operación.

La función primordial de las cubiertas en sus diferentes combinaciones es la de proteger al cable de los agentes externos del medio ambiente que lo rodea, tanto en la operación, como en la instalación.

4.1 Selección de las cubiertas

La selección del material de la cubierta de un cable dependerá de su aplicación y de la naturaleza de los agentes externos contra los cuales se desea proteger el cable.

Las cubiertas pueden ser principalmente de los siguientes materiales:

- I. Metálicas
- II. Termoplásticas
- III. Elásticas
- IV. Textiles

I. Cubiertas metálicas El material normalmente usado en este tipo de cubiertas es el plomo y sus aleaciones. Otro metal que también se emplea, aunque en menor escala, es el aluminio.

II. Cubiertas termoplásticas Las más usuales son fabricadas con PVC (cloruro de polivinilo) y polietileno de alta y baja densidad.

III. Cubiertas elastoméricas Básicamente se utiliza el neopreno (policloropreno) y el Hypalon (polietileno clorosulfonado).

TABLA 4.1 Propiedades de las cubiertas

Características	PVC	Poliétileno baja densidad	Poliétileno alta densidad	Neopreno	Poliétileno clorosulfonado HYPALON	Plomo
Resistencia a la humedad	B	E	E	B	MB	E
Resistencia a la abrasión	B	B	E	MB	MB	M
Resistencia a golpes	B	B	MB	E	E	M
Flexibilidad	B	B	R	E	E	R
Doblez en frío	R	E	MB	B	R	—
Propiedades eléctricas	MB	E	E	R	B	—
Resistencia a la intemperie	MB	E ⁺	E ⁺	B	E ⁺	MB
Resistencia a la flama	MB	M	M	B	B	B
Resistencia al calor	B	M	R	MB	E	MB
Resistencia a la radiación nuclear	R	B	B	B	MB	E
Resistencia a la oxidación	E	R	R	MB	E	B
Resistencia al ozono	E	E	E	B	E	E
Resistencia al efecto corona	E	B	B	R	B	E
Resistencia al corte por compresión	B	B	B	MB	B	M
Resistencia a ácidos:						
— Sulfúrico al 30%	E	E	E	R	R	E
— Sulfúrico al 3%	E	E	E	R	R	E
— Nítrico al 10%	R	E	E	R	R	M
— Clorhídrico al 10%	B	E	E	R	R	R
— Fosfórico al 10%	E	E	E	R	R	B
Resistencia a álcalis y sales:						
— Hidróxido de sodio al 10%	E	E	E	M	R	B
— Carbonato de sodio al 2%	B	E	E	R	R	B
— Cloruro de sodio al 10%	E	E	E	B	B	B
Resistencia a agentes químicos orgánicos:						
— Acetona	M	B	B	B	B	E
— Tetracloruro de carbono	B	B	B	M	M	E
— Aceites	E	B	B	B	B	E
— Gasolina	B	B	B	B	B	E
— Creosota	R	B	B	M	M	—
Límites de temperatura de operación (°C)	MIN. - 55 MAX. + 75	MIN. - 60 MAX. + 75	MIN. - 60 MAX. - 75	MIN. - 30 MAX. + 90	MIN. - 30 MAX. + 105	
Densidad relativa	1.4	0.9	1.0	1.3	1.2	11.3
Principales aplicaciones:	Uso general, cables para interiores y exteriores cubiertos.	Cables a la intemperie. Cubiertas sobre plomo.	Idem, pero cuando se requiere mayor resistencia a la abrasión.	Cables flexibles. Cables para minas.	Cables flexibles de alta calidad.	Cables con aislamiento de papel impregnado. Cables para refineries de petróleo y plantas petroquímicas.
<p>E = Excelente MB = Muy buena B = Buena R = Regular M = Mala + Sólo en color negro, conteniendo negro de humo.</p>						

IV. Cubiertas textiles En este tipo de cubiertas se emplea una combinación de yute impregnado en asfalto y recubierto con un baño final de cal y talco, con el fin de evitar que se adhieran las capas adyacentes.

Para definir los límites de aplicación de los materiales de las cubiertas o sus combinaciones, es necesario conocer las exigencias a que pueden quedar expuestos los cables de energía por el medio ambiente de la instalación, exigencias que se pueden dividir de la siguiente manera:

1. **Térmicas** La temperatura de operación en la cubierta es de vital importancia, al igual que en el de los aislamientos. Sobrepassar los límites establecidos conduce a una degradación prematura de las cubiertas.
2. **Químicas** Los componentes de los cables son compuestos o mezclas químicas y, como tales, su resistencia ante ciertos elementos del medio donde se instalen son previsibles y muy importantes de considerar para la selección del material de la cubierta.
3. **Mecánicas** Los daños mecánicos a que pueden estar sujetos los cables de energía se deben, para cables en instalaciones fijas, a los derivados del manejo en el transporte e instalación como son: radios de curvatura pequeños, tensión excesiva, compresión, cortes, abrasión, etc., los cuales reducen la vida del cable completo.

4.2 Propiedades

En la tabla 4.1 se presentan las propiedades de las cubiertas en cuanto a los requisitos antes mencionados.

DESPUES PASA A INSPECCION DE DIELECTRICO E IMPULSO.

SE COLOCA LA ARMADURA EN LA MAQUINA CORTADORA SUJETANDO LA FLECHA DEL LADO DEL PIÑON COLOCANDO UNA PROTECCION DE Cu ENTRE LAS MORDAZAS DEL CHUCK Y LA FLECHA PARA NO DAÑARLA. SE HACE EL CORTE DE LAS RANURAS EN FORMA UNIFORME Y PREVIENIENDO LA EXISTENCIA DE REBABAS. Y SE PASA A HACER LA SOLDADURA DE TIG.

YA CORTADAS LAS TERMINALES DE LA ARMADURA SE COLOCA EN EL CARRO DE LA MAQUINA DE SOLDADURA, SE LE QUITA LA REBABA Y SE REVISA QUE NO FALTEN ESPACIADORES DE COBRE. SE COLOCA UNA CINTA DE ALAMBRE ESTANADO ALREDEDOR DEL CONMUTADOR HACIENDO CONTACTO CON TODAS LAS DELGAS, Y SE PONE UN ANILLO DE Cu EN LA PARTE SUPERIOR. SE AJUSTA LA ANTORCHA DE LA MAQUINA ASI COMO EN CARRERA TANTO HACIA ADELANTE COMO HACIA ATRAS. SE COLOCA LA MAQUINA EN AUTOMATICO Y SE ABRE EL GAS VERIFICANDO SE LLEVE ADECUADAMENTE LA SOLDADURA. YA SOLDADA SE QUITA LA REBABA Y LOS EXCESOS DE SOLDADURA CEPILLANDO DICHS EXCESOS. POR ULTIMO SE DA UN ACABADO CON LIMA MUZA DE MEDIO DIA CAÑA SOBRE TODO EN LAS PARTES QUE HAYAN QUEDADO SALPICADAS DE SOLDADURA.

SE MONTA LA ARMADURA EN EL TORNO Y SE HACE EL MAQUINADO DEL CONMUTADOR YA CON BURIL DE DIAMANTE O CON UNO DE CARBURO, SE MAQUINAN LOS EXTREMOS DE LAS DELGAS.

PARA LA IMPREGNACION DE BARNIZ SE HACE UN PRECALENTAMIENTO A 130°C Y SE PASA AL TANQUE DE VACIO EN EL QUE SE COLOCARA EL BARNIZ A IMPREGNAR, DE AQUI PASAN AL HORNO ROTATORIO PARA HACER EL SECADO DE BARNIZ EN FORMA UNIFORME, DURANTE 8 ~ 12 rpm 12 Hrs. APROXIMADAMENTE.

SE VUELVE HA HACER UN MAQUINADO AL CONMUTADOR Y PARA EL ZUNCHADO FINAL PARA EL QUE SE DEBE PRECALENTAR LA ARMADURA ENTRE 80°C y 120°C PARA QUE LA CINTA QUEDE BIEN FIRME. ESTE ZUNCHADO SE HACE CON CINTA EMPASTADA DE VIDRIO CON UNA TENSION DE 130 Kg, DEL LADO DEL CONMUTADOR LLEVA 87 VUELTAS Y DEL LADO DEL PIÑON 86, Y SE COLOCAN TIRAS DE ACERO AL SILICIO DE CADA LADO DONDE UNA TENSION DE 150 Kg. PARA QUE SEQUE EL ZUNCHADO SE METE LA ARMADURA EN UN HORNO DE GAS DE 150°C DURANTE 12 HORAS DESPUES DEL HORNO SE RETIRA LA LAMINA DE ACERO Y SE PASA A PINTURA LA ARMADURA.

SE HACE LA PRUEBA DE BALANCEO DE LA ARMADURA LO CUAL TIENE UNA TOLERANCIA DE HASTA 2 gr DE DESBALANCEO. PARA LO CUAL SE UTILIZAN CONTRAPESOS DE Cu APRETADOS CON TORNILLOS ALLEN.

EL VENTILADOR ES DE FUNDICION DE AL. MAQUINADO Y BALANCEADO. Y PARA SU COLOCACION SE PRECALIENTA A 150°C Y SE INTRODUCE EN LA FLECHA SUJETANDOLO CON 6 TR M12X35. DE AQUI SE PASA LA ARMADURA AL ENSAMBLE FINAL.

PARA EL FORMADO DE LOS NUCLEOS PRINCIPALES Y DE INTERPOLO SE UTILIZAN LAMINAS DE ACERO ELECTROMAGNETICO, EN EL CASO DEL NUCLEO PRINCIPAL SE USAN 136 LAMINACIONES Y EN EL CASO DEL INTERPOLO 138. PARA SU FORMADO SE COLOCAN LAS LAMINACIONES DEL NUCLEO PRINCIPAL SOBRE 4 REMACHES Y SE APILAN Y REMACHAN OBTENIENDO LA LONGITUD DESEADA COLOCANDO SOLDADURA PARA SUJETARLAS. EN LOS NUCLEOS DE INTERPOLO SE UTILIZA 1 SOLO REMACHE. SE MAQUINAN DICHS NUCLEOS (CHAFLANANDO PARA INTRODUCIR LAS BOBINAS Y BARRENADO Y MACHUELO PARA SUJETARLAS AL YUGO.

EL FORMADO DE LAS BOBINAS DE CAMPO PRINCIPAL. SE LLEVA A CABO EN LA MAQUINA BOBINADORA AJUSTANDO LA CARRERA DE LA MISMA PARA HACER EL EMBOBINADO. DE AQUI PASAN A UN TRATAMIENTO TERMICO SIMILAR AL DE LAS BOBINAS DE ARMADURA PARA LA RELEVACION DE ESFUERZOS Y PASAN A LA PRENSA DE DOBLE ACCION DONDE SE LES DARA LA CURVATURA SIMILAR A LA CARA INTERIOR DEL YUGO DE AQUI SOLO LA BOBINA SERIE REQUIERE DE UN CHAFLANADO, A LAS 3 BOBINAS SE LES HARA LIMPIEZA (BASICAMENTE LIMADO) Y SE LES DA UN RECOCIDO Y OTRA VEZ UN 2o PRENSADO PARA COMPACTAR BIEN LAS ESPIRAS Y PASARLAS A AISLADO.

EL AISLADO ENTRE VUELTAS SE HACE COLOCANDO EN CADA CAPA DE LA BOBINA UNA HOJA DE MICA O NOMEX DE .15 mm DE ESPESOR FIJANDOLAS CON CINTA DE POLYESTER. YA AISLADAS ENTRE VUELTAS SE LES SOLDARAN LAS BARRAS DE CONEXION CORRESPONDIENTES A CADA BOBINA Y SE PASAN A HACER EL ENCINTADO FINAL DONDE SERAN UTILIZADAS CINTAS DE KAPTON, CINTAS DE SILICON CON VIDRIO, Y CINTAS DE KAPTON CON VIDRIO PRINCIPALMENTE.

EL FORMADO DEL POLO PRINCIPAL Y EL INTERPOLO SE HACE INTRODUCIENDO EL NUCLEO EN LA BOBINA PREVIAMENTE, ^{CUBIERTA CON} TIRAS DE POLYESTER DAFRONNATO PARA QUE QUEDEN BIEN AISLADOS NUCLEO Y BOBINA.

EL YUGO ESTA FORMADO POR PLACA DE ACERO ROLADA EN FRIJO Y SOLDADA POR EL METODO DE ELECTROSLAG. MAQUINADA Y CON SUS CORRESPONDIENTE T. TERMICOS PARA HOMOGENEIZACION DE MTS.

PARA EL ENSAMBLE DE LOS POLOS AL YUGO, SE COLOCAN 1o. LOS POLOS PRINCIPALES COLOCANDO UN PERNO GUIA QUE NOS PERMITA SUJECION AL YUGO Y SE AJUSTAN HACIENDOLOS QUEDAR A 90° UNO DE OTRO AJUSTANDOLOS POR MEDIO DE LOS TR DE SUJECION DE UNION DE LOS POLOS PRINCIPALES SE HACE CON SOLDADURA AUTOGENA PROTEGIENDO PREVIAMENTE LAS TERMINALES DE Cu Y EL AISLAMIENTO DE LOS POLOS CON PULPA DE ASBESTO PARA EVITAR SE QUEMEN. SE TIENEN TODAS LAS UNIONES DESPUES DE SOLDAR Y SE COLOCA BARNIZ DE BONDIN EN TODAS LAS UNIONES, HACIENDO UN AISLAMIENTO FINAL EN DICHAS UNIONES.

LOS POLOS AUXILIARES SE COLOCAN DE IGUAL FORMA QUE LOS PRINCIPALES AJUSTANDOLOS RESPECTO A LOS MISMOS Y ENTRE ELLOS VERIFICANDOLO CON UN COMPAS DE AJUSTE. DESPUES DE AJUSTADOS LOS POLOS SE MIDE CON UN MICROMETRO DE INTERIORES PARA MEDIR LOS DIAMETROS Y REGISTRARLOS.

LA UNION DE LOS POLOS AUXILIARES SE HACE IGUAL QUE LOS PRINCIPALES FINALMENTE SE COLOCA NOMEXX EN LAS PUNTAS TERMINALES, O SEA EN LA HOGURA DEL BARRENO PARA LA SALIDA DE LAS PUNTAS TERMINALES Y LAS TERMINALES, EMPAREJANDOLAS, SE RELLENA CON SILASEAL EN LA SUPERFICIE DEL NOMEXX MAT. INSERTADO EN LOS BARRENOS PARA SALIDA DE TERMINALES, COLOCANDO CINTA DE TEFLON ALREDEDOR DE LAS TERMINALES FLEXIBLES Y EN LA PUNTA CINTA DE SILICON, PARA EVITAR QUE SE ADHIERA EL BARNIZ A LA HORA DEL IMPREGNADO.

EL SECADO ES UN TRATAMIENTO QUE SE LES DA A LOS AISLAMIENTOS TANTO DE ARMADURA COMO DE CAMPO Y TIENE COMO FINALIDAD ELIMINAR TODA LA HUMEDAD EXISTENTE EN ELLOS Y ASI PODER LLEVAR UNA BUENA IMPREGNACION DE BARNIZ DE LOS MISMOS.

LA IMPREGNACION SE HACE A UNA TEMPERATURA DE 50°C a 60° Y CON UN BARNIZ DE VISCOSIDAD DE 270 a 340 seg. MAS O MENOS 50 min. DE AQUI SE PASA AL HORNO ROTATORIO EN FORMA SIMILAR QUE LA ARMADURA.

VACIO	VACIO	
40'	BARNIZ	BARNIZ
	50'	PRESION
		50'

SE PASA AL PROCESO DE PINTURA Y DE AQUI AL MONTAJE DE PORTAESCOBILLAS.

LAS ESCOBILLAS DE GRAFITO SE INTRODUCEN EN LA PORTAESCOBILLA PRESIONADA POR UN RESORTE QUE LA PRESIONARA CONTRA LA SUPERFICIE DEL COLECTOR.

LA CAJA DE RODAMIENTOS DE MATERIAL DE ACERO FUNDIDO ES MAQUINADA Y PINTADA ANTES DE ENSAMBLARLE LOS RODAMIENTOS DE RODILLOS LOS CUALES PARA SER INTRODUCIDOS SON PRECALENTADOS EN UN HORNO DE INDUCIDO. CON LA CAJA DE RODAMIENTO MONTADA EN LA ARMADURA SE PASA A HACER EL ENSAMBLE FINAL DEL MOTOR INTRODUCIENDO LA ARMADURA AL YUGO Y SUJETANDO LOS TORNILLOS CORRESPONDIENTES.

PASANDO EL MOTOR A ENSAMBLE FINAL.

MELCO DE MEXICO S.A. CV.

OFICINAS: MARIANO ESCOBEDO 69, TLALNEPANTLA, EDO. DE MEXICO
PLANTA: KM. 4 CARR. SAN JUAN DEL RIO-TEQUISQUIAPAN, ORO.

TELS.: 565-62-69/70 TELEX-MELCME 178637
TELS.: 210-45/49-99 TELEX-MELCME (SJ) 12803

SISTEMA DE ASEGURAMIENTO DE CALIDAD PARA MOTORES DE TRACCION.

NIVELES DE CALIDAD.

ESTE SISTEMA FUNCIONA EN BASE A LOS SIGUIENTES PROCEDIMIENTOS, Y ES PARA NIVEL III.

- 1.- PROCEDIMIENTO PARA ELABORACION DE NORMAS INTERNAS.
- 2.- PROCEDIMIENTO PARA ELABORACION DE DIBUJOS Y MODIFICACIONES A LOS MISMOS.
- 3.- PROCEDIMIENTO PARA ESTANDARIZACION Y NACIONALIZACION DE PARTES Y COMPONENTES.
- 4.- PROCEDIMIENTO PARA EL CONTROL DEL MEDIO AMBIENTE EN LAS AREAS DE MANUFACTURA.
- 5.- PROCEDIMIENTO DE INSPECCION Y AJUSTE A MAQUINARIA Y EQUIPO.
- 6.- PROCEDIMIENTO PARA CONTROL Y CALIBRACION DE INSTRUMENTOS DE MEDICION.
- 7.- PROCEDIMIENTO PARA CONTROL Y CALIBRACION DE PLANTILLAS Y HERRAMIENTAS.
- 8.- NORMAS DE INSPECCION DE RECEPCION PARA USO DEL DEPARTAMENTO DE COMPRAS.
- 9.- PROCEDIMIENTO DE INSPECCION DE RECEPCION Y EVALUACION DE PROVEEDORES.
- 10.- PROCEDIMIENTO DE INSPECCION DE MANUFACTURA DEL MOTOR DE TRACCION.
- 11.- PROCEDIMIENTO DE PRUEBAS SERIE Y TIPO PARA EL MOTOR DE TRACCION.
- 12.- ESTADISTICAS DE CONTROL DE CALIDAD.
- 13.- PROCEDIMIENTO PARA LA TOMA DE CONTRAMEDIDAS Y ACCIONES CORRECTIVAS.
- 14.- ACTIVIDADES PARA LA INTEGRACION DE CIRCULOS DE CALIDAD.
15. AUDITORIAS DE CALIDAD.

FOTOS PARA INSPECCION..

- 1.- INSPECCION DE MAQUINADO A YUGO TERMINADO.
- 2.- INSPECCION DE MAQUINADO A CAJA DE RODAMIENTO.
- 3.- INSPECCION DE MAQUINADO A FLECHA.
- 4.- INSPECCION DE FABRICACION A UNA LAMINACION.
DE NUCLEOS PARA LA ARMADURA.
- 5.- PRIMERA INSPECCION DE ARMADURA AL ENSAMBLAR NUCLEO Y CONMU-
TADOR.
- 6.- INSPECCION Y PRUEBA A BOBINAS DE ARMADURA Y CONECTORES CRU-
ZADOS.
- 7.- INSPECCION DE ARMADURA AL MONTAR LAS BOBINAS Y ANTES DE SOL-
DADURA TIG.
- 8.- INSPECCION DE ARMADURA DESPUES DE BARNIZ ANTIFLASH (ROJO).
- 9.- INSPECCION DE CONMUTADOR CON MICROMETRO ELECTRONICO.
- 10.- INSPECCION Y PRUEBA A BOBINAS DE CAMPO (PRINCIPALES E IN-
TERPOLOS).
- 11.- INSPECCION Y PRUEBA DEL ENSAMBLE DE CAMPO ANTES DE BARNIZ.
- 12.- INSPECCION DE CAMPO ENSAMBLE FINAL.
- 13.- INSPECCION FINAL DEL MOTOR DE TRACCION.
- 14.- INSPECCION DE RECEPCION A MATERIALES METALICOS PARA EL MO-
TOR DE TRACCION.
- 15.- INSPECCION DE RECEPCION A MATERIALES AISLANTES PARA EL MO-
TOR DE TRACCION.

OFICINAS: MARIANO ESCOBEDO 69, TLALNEPANTLA, EDO. DE MEXICO
PLANTA: KM. 4 CARR. SAN JUAN DEL RIO-TEQUISQUIAPAN, QRO.

TELS.: 565-62-69/70 TELEX-MELCME 178637
TELS.: 210-45/49-99 TELEX-MELCME (SJ) 12803

SISTEMA DE ASEGURAMIENTO DE CALIDAD PARA MOTORES DE TRACCION.

NIVELES DE CALIDAD: AL GRADO DE AVANCE DE LOS SISTEMAS Y PROCEDIMIENTOS EN FUNCIONAMIENTO PARA EL CONTROL DE CALIDAD DE UNA EMPRESA FABRICANTE DE BIENES O SERVICIOS ES LO QUE SE CONOCE COMO NIVEL DE CALIDAD.


EL INSTITUTO NACIONAL AMERICANO DE ESTANDARES (ANSI) Y LA ASOCIACION JAPONESA DE ESTANDARES (JAS) RECONOCEN 5 NIVELES APLICABLES A CUALQUIER EMPRESA QUE ARGUMENTE TENER CONTROL DE CALIDAD.

NIVEL I.- INSPECCION Y PRUEBAS: ES CUANDO SE EMPIEZAN A RECOLECTAR DATOS ESPECIFICOS DEL PRODUCTO EN HOJAS O REGISTROS PARA LLEVAR A CABO UNA COMPARACION CONTRA UN PATRON PREESTABLECIDO. ESTOS DATOS PUEDEN SER RECOLECTADOS POR PERSONAL DEL DEPARTAMENTO DE MANUFACTURA O POR PERSONAL DE OTRO DEPARTAMENTO.

NIVEL II.- CONTROL DE CALIDAD A NIVEL DEPARTAMENTO: ES CUANDO SE ANALIZAN LOS DATOS DE LOS REGISTROS Y EN BASE A ESTOS (HOJAS DE CONTROL, HISTOGRAMAS, GRAFICAS, DIAGRAMAS DE PARETO, ETC.) - SE DICTAN CONTRAMEDIDAS O DESVIACIONES PARA OPTIMIZAR EL PRODUCTO, MEJORAR LOS METODOS DE FABRICACION Y/O INSPECCION ASI COMO - TAMBIEN DE LAS PRUEBAS REALIZADAS.

NIVEL III.- CONTROL TOTAL DE CALIDAD (T Q C): A TODO LO LARGO Y ANCHO DE LA ORGANIZACION. ESTA LABOR DEBERA SER LLEVADA A CABO POR EL DEPARTAMENTO DE CONTROL DE CALIDAD EL CUAL DEPENDERA DE LA DIRECCION DE LA COMPANIA Y TENDRA LA AUTORIDAD NECESARIA - PARA EXIJIR A TODOS LOS DEPARTAMENTOS LA CORRECTA APLICACION DE LOS PROCEDIMIENTOS ELABORADOS PARA LLEGAR A ESTE NIVEL.

NIVEL IV.- ASEGURAMIENTO DE CALIDAD (QA): ES CUANDO SE TIENEN EN FUNCIONAMIENTO UNA SERIE DE SISTEMAS Y PROCEDIMIENTOS QUE NOS ASEGURAN QUE CUALQUIER DESVIACION DE CALIDAD QUE TENGA EL PRODUCTO (DESDE LA COMPRA DE MATERIA PRIMA HASTA LA ENTREGA AL CLIENTE) VA A SER DETECTADA POR EL FABRICANTE. DENTRO DE ESTE NIVEL ENTRAN LAS CAMPAÑAS PERMANENTES DE CIRCULOS DE CALIDAD, CERO DEFECTOS, - ETC. Y HACIENDO UNA ATENCION ESPECIAL A LOS COSTOS GENERADOS POR

 MELCO DE MEXICO S.A. CV.

OFICINAS: MARIANO ESCOBEDO 69, TLALNEPANTLA, EDO. DE MEXICO
PLANTA: KM. 4 CARR. SAN JUAN DEL RIO-TEQUISQUIAPAN, QRO.

TELS.: 565-62-69/70, TELEX-MELCME 178637
TELS.: 210-45/49-99, TELEX-MELCME (SJ) 12803

- 2 -

MALA CALIDAD, LOS CUALES SON UN REFLEJO DIRECTO DE LA CORRECTA APLICACION DE ESTOS PROCEDIMIENTOS.

NIVEL V.- RESPONSABILIDAD DE CALIDAD (QL): ESTE NIVEL CONTROLA TODA LA ACTIVIDAD ALREDEDOR DEL PRODUCTO O SERVICIO EN CUESTION- Y EMPIEZA A FUNCIONAR DESDE EL ANALISIS DE LA NECESIDAD QUE DA ORIGEN AL DISEÑO DE UN PRODUCTO, HASTA EL CALCULO CORRECTO DE LA VIDA UTIL DEL MISMO, Y EL FIN DE LOS EFECTOS SECUNDARIOS QUE PU DIERAN CAUSAR LOS DESPERDICIOS DEL PRODUCTO AL LLEGAR AL TERMINO DE SU VIDA.

(LA INDUSTRIA NUCLEAR ES UN EJEMPLO DE FUNCIONAMIENTO A ESTE NIVEL V.)





MELCO DE MEXICO S.A. CV

OFICINAS: MARIANO ESCOBEDO 69, TLALNEPANTLA, EDO. DE MEXICO
PLANTA: KM. 4 CARR. SAN JUAN DEL RIO-TEQUISQUIAPAN, QRO.

TELS.: 565-62-70/71 TELEX--MELCME 172637
TELS.: 210-45/49-99 TELEX--MELCME (SJ) 12803

- 1.- PROCEDIMIENTO PARA ELABORACION DE NORMATIVAS INTERNAS: EL CUAL INDICARA EN FORMA DETALLADA EL PROCESO A SEGUIR COMO:
EL OBJETIVO, ALCANCE, RESPONSABILIDAD, REFERENCIAS, ESPECIFICACIONES, AUTORIZACION, ETC. Y REGISTRA TODAS LAS NORMATIVAS INTERNAS DEL PRODUCTO SIN IMPORTAR EL DEPARTAMENTO QUE LAS HAYA ELABORADO, SIENDO EL VIGILANTE DE LA CORRECTA APLICACION DEL PRESENTE, EL DEPARTAMENTO DE CONTROL DE CALIDAD.
- 2.- PROCEDIMIENTO PARA ELABORACION Y MODIFICACION DE PLANOS.
LA GUIA MAS COMUN Y MAS IMPORTANTE PARA FABRICAR UN PRODUCTO ES EL PLANO, ESTOS DEBERAN CONTENER EN FORMA CORRECTA Y DESGLOSADA LAS CONFIGURACIONES DE PARTES, SUBENSAMBLES Y ENSAMBLES TOTALES. EN LOS PLANOS SE ESPECIFICARAN LOS MATERIALES, DIMENSIONES, ACOTACIONES, ACABADOS, TOLERANCIAS, AUTORIZACIONES, Y NOTAS QUE COMPLEMENTEN LA INFORMACION CONTENIDA EN EL MISMO. TODOS LOS PLANOS DEBEN REALIZARSE SIGUIENDO EL MISMO PROCESO DE ESQUEMATIZACION Y SISTEMA DE MEDIDAS. ASI MISMO ESTE PROCEDIMIENTO DEBERA CONTENER LA FORMA DE REALIZAR MODIFICACIONES E INFORMAR A LOS DEPARTAMENTOS INVOLUCRADOS EN FORMA OPORTUNA, ASI COMO DE CERCIOARSE EN DESTRUIR LA INFORMACION OBSOLETA.
- 3.- PROCEDIMIENTO PARA ESTANDARIZACION Y NACIONALIZACION DE PARTES Y COMPONENTES. DURANTE EL DISEÑO DE UN EQUIPO PUEDEN APARECER UNA DETERMINADA CANTIDAD DE PIEZAS QUE NO SE PUEDEN CONSIDERAR COMO ESTANDAR, LO IDEAL SERIA QUE TODO EQUIPO ESTUVIERA CONSTITUIDO POR PARTES ESTANDAR YA QUE ENTRE MAS COMPONENTES ESPECIALES NECESITE EL EQUIPO, SU COSTO SE INCREMENTARA EN LA MISMA PROPORCION.
ESTE PROCEDIMIENTO SE ENCARGARA DE OPTIMIZAR EL DISEÑO AL MAXIMO POSIBLE EN LO REFERENTE A PARTES ESTANDAR, Y A LA INTEGRACION DE PARTES QUE SE ESTEN IMPORTANDO.





FICINAS: MARIANO ESCOBEDO 69, TLALNEPANTLA, EDO. DE MEXICO
PLANTA: KM. 4 CARR. SAN JUAN DEL RIO-TEQUISQUIAPAN, ORO.

TELS.: 565-62-70/71 TELEX-MELCME 172637
TELS.: 210-45/49-99 TELEX-MELCME (SJ) 12803

- 2 -

4.- PROCEDIMIENTO PARA EL CONTROL DEL MEDIO AMBIENTE EN LAS AREAS DE MANUFACTURA: DURANTE LA FABRICACION DE UN PRODUCTO ALGUNAS VECES ES NECESARIO TENER CONOCIMIENTO DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES DE ALGUNAS AREAS DE TRABAJO COMO PINTURA, APLICACION DE BARNICES, AREAS PARA PRUEBAS, MICROENSAMBLES, ETC. PARA EVITAR MALA CALIDAD DEL PRODUCTO FINAL POR REALIZARSE OPERACIONES EN CONDICIONES INADECUADAS.

ESTE PROCEDIMIENTO DEBERA ESTABLECER LAS CONDICIONES AMBIENTALES COMO, HUMEDAD, TEMPERATURA, SOLIDOS EN EL AMBIENTE ETC. ASI COMO UN REGLAMENTO PARA EL PERSONAL QUE LABORA Y PARA EL QUE REALICE LIMPIEZA, LAS CONDICIONES DE ALMACENAJE DE LOS MATERIALES EN PROCESO DE ENSAMBLARSE TAMBIEN DEBERAN INDICARSE.

5.- PROCEDIMIENTO DE INSPECCION Y AJUSTE A MAQUINARIA Y EQUIPO: TODA MAQUINA QUE LLEGUE PARA FORMAR PARTE DE LA INSTALACION DEBERA INSPECCIONARSE Y VERIFICAR SU PRECISION ANTES DE ENTREGARSE A PRODUCCION.

ESTE PROCEDIMIENTO DEBERA ESPECIFICAR LA FORMA DE INSPECCION DE LA MAQUINARIA ASI COMO SU PERIODICIDAD QUE NUNCA DEBERA SER DE MAS DE 3 AÑOS. RECORDEMOS QUE MUCHAS DE LAS PIEZAS DE MALA CALIDAD PUEDEN DEBERSE A MAQUINARIA Y/O EQUIPO EN MAL ESTADO.

6.- PROCEDIMIENTO PARA CONTROL Y CALIBRACION DE INSTRUMENTOS DE MEDICION : TODO INSTRUMENTO DE MEDICION UTILIZADO EN LA PLANTA DEBERA TENER UN NUMERO IMPRESO PARA SU CORRECTA IDENTIFICACION, ESTO SERVIRA PARA LLEVAR UN CORRECTO RESUMEN DE LA VIDA UTIL DEL MISMO, PROGRAMAR SUS CALIBRACIONES Y DESECHARLO CUANDO YA NO SEA POSIBLE REPARARLO POR QUEDAR FUERA DE PRECISION. TODO ESTO DEBERA CONTENERSE EN EL PROCEDIMIENTO QUE SERA ELABORADO POR EL DEPARTAMENTO DE CONTROL DE CALIDAD O POR EL DEPARTAMENTO DE INGENIERIA EL CUAL DEBERA TAMBIEN EMITIR LOS PROGRAMAS ANUALES DE CALIBRACION Y LLEVAR A CABO ESTA LABOR.





OFICINAS: MARIANO ESCOBEDO 69, TLALNEPANTLA, EDO. DE MEXICO
PLANTA: KM. 4 CARR. SAN JUAN DEL RIO-TEQUISQUIAPAN, QRO.

TELS.: 665-62-70/71 TELEX-MELCME 172637
TELS.: 210-45/49-99 TELEX-MELCME (SJ) 12803

- 3 -

7.- PROCEDIMIENTO PARA CONTROL Y CALIBRACION DE PLANTILLAS Y HERRAMIENTAS: TODAS LAS PLANTILLAS Y HERRAMIENTAS SUFREN UN DESGASTE NORMAL AL TRABAJAR, POR TANTO ES MUY IMPORTANTE CONTAR CON LA INFORMACION DONDE SE ESPECIFIQUE EL DETERIORO DE ESTAS Y ASI PODER REPARARLAS O DESECHARLAS ANTES DE QUE NOS DEN COMO RESULTADO LOTES DE MALA CALIDAD.

ESTE PROCEDIMIENTO DEBERA ASIGNAR UN NUMERO DE CODIGO A CADA PLANTILLA Y HERRAMIENTA, INDICAR LA PERIODICIDAD DE VERIFICACION, EL PERIODO MAXIMO DE USO, AL DEPARTAMENTO AL CUAL SE LE ASIGNA SU USO, ETC.

NOTA: EN ESTE PROCEDIMIENTO TAMBIEN PUEDEN CONTROLARSE LOS TROQUELES, MATRICES Y MODELOS DE FUNDICION.

8.- NORMAS DE INSPECCION DE RECEPCION PARA USO DEL DEPARTAMENTO DE COMPRAS: ESTAS NORMAS DEBERAN SER REDACTADAS POR EL STAFF DE INGENIERIA DE CALIDAD O POR LA SECCION DE DISEÑO DE INGENIERIA Y SERAN LAS UNICAS GUIAS OFICIALES PARA QUE EL DEPARTAMENTO DE COMPRAS REALICE UNA NEGOCIACION CON UN POSIBLE PROVEEDOR DE MATERIA PRIMA, PARTES ESTANDAR O SUBCONTRATISTAS.

EL PERSONAL DE INSPECCION DE RECEPCION SERA EL RESPONSABLE DE INSPECCIONAR EL PRODUCTO COMPRADO Y AUTORIZAR SU ACEPTACION O RECHAZO, ESTO SE HARA UTILIZANDO LAS MISMAS NORMAS. RECORDEMOS QUE UN MATERIAL COMPRADO EN FORMA EQUIVOCADA O DEFECTUOSA NOS DARA COMO RESULTADO UN PRODUCTO MALO Y SI ESTE FUE DETECTADO YA EN LA PLANTA, NUESTROS COSTOS POR MALA CALIDAD SE NOS INCREMENTARAN EN FORMA CONSIDERABLE, ADEMAS DEL RIESGO DE UN POSIBLE ACCIDENTE POR USO DE MATERIALES FUERA DE ESPECIFICACIONES.





- 4 -

9.- PROCEDIMIENTO DE INSPECCION DE RECEPCION Y EVALUACION DE PROVEEDORES.

A.- INSPECCION DE RECEPCION: EN ESTE PROCEDIMIENTO SE DEBE ESPECIFICAR LA FORMA DE INSPECCIONAR TODOS LOS PRODUCTOS O SERVICIOS COMPRADOS POR LA COMPAÑIA, DANDO ESPECIAL IMPORTANCIA A LOS DIRECTAMENTE IMPLICADOS A LA PRODUCCION Y EXIGIR ANEXO A LAS REMISIONES DE ENTRADA LOS CERTIFICADOS, ANALISIS O PRUEBAS QUE AMPAREN LA CALIDAD COMPRADA CON LA SOLICITADA AL PRODUCTO. ESTA SECCION DE CONTROL DE CALIDAD ES LA UNICA PARTE AUTORIZADA PARA ENTABLAR NEGOCIACIONES TECNICAS CON EL PROVEEDOR O DE DAR ASESORIA EN CASO DE SER SOLICITADAS.

B.- EVALUACION DE PROVEEDORES: TODO ASPIRANTE A PROVEEDOR DE LA COMPAÑIA DEBERA SER EVALUADO TECNICAMENTE PARA CONOCER SU CAPACIDAD ANTES DE FIRMAR UN CONTRATO DE COMPRA. EN EL PROCEDIMIENTO SE ESPECIFICARA LA FORMA DE EVALUACION DEPENDIENDO SI ES FABRICANTE O DISTRIBUIDOR, SI SE LE VA A COMPRAR MATERIA PRIMA, PARTES ESTANDAR, O SUBCONTRATOS, SI TIENE LA INSTALACION Y EL EQUIPO ADECUADO, SI SU PERSONAL ESTA CAPACITADO, SI SUS INSTRUMENTOS ESTAN EN BUEN ESTADO, SI SU CAPACIDAD DE TRABAJO NO ESTA AL 100%, SI LAS RELACIONES LABORALES CON SU PERSONAL SON SANAS, ETC.

10.- PROCEDIMIENTO DE INSPECCION DE MANUFACTURA DEL MOTOR DE TRACCION. ESTE PROCEDIMIENTO SE DIVIDE EN 2 SECCIONES:

1.- INSPECCION DE PARTES: CADA PIEZA QUE SE MANUFACTURA EN LA PLANTA ES SOMETIDA A INSPECCION, ESTA PUEDE SER POR MUESTREO DE UN LOTE O AL 100% DEPENDIENDO DE LAS CONDICIONES DE LAS PIEZAS O LA IMPORTANCIA DE LAS MISMAS. LOS DATOS RECOLECTADOS SE ANOTAN EN UN REGISTRO PARTICULAR POR TIPO DE PIEZA Y SE ARCHIVAN PARA LUEGO SER UTILIZADOS EN LA ESTADISTICA.

SI EL LOTE INSPECCIONADO RESULTARA APROBADO, SE SELLARA LA TABLA MAESTRA Y LAS PIEZAS PASARAN AL ALMACEN.

SI EL LOTE O UNA PARTE DE EL RESULTARA RECHAZADO SE LLENARA UNA INFORMACION DE MALA CALIDAD EN LA QUE SE ESPECIFICA LA CANTIDAD-





TOTAL DE PIEZAS DEL LOTE, LA CANTIDAD RECHAZADA, LA O LAS CAUSAS QUE OCASIONAN LA MALA CALIDAD Y SI LAS PIEZAS SE DESECHAN O SE RE PROCESAN, ASI COMO SU COSTO GENERADO.

2.- INSPECCION DE ENSAMBLE.- CONSTA DE UNA SERIE DE INSPECCIONES- Y PRUEBAS ELECTRICAS ESTATICAS DURANTE TODO EL PERIODO DE ENSAM- BLE HASTA TERMINAR CON UNA INSPECCION FINAL ANTES DE EMBARQUE, -- LOS DATOS OBTENIDOS SE VAN ANOTANDO EN LOS REGISTROS DE INSPECCION DE ENSAMBLE QUE SE ANEXAN AL EQUIPO. TODAS LAS INSPECCIONES DE EN- SAMBLE SE CLASIFICAN EN 4 TIPOS:

- A) INSPECCION VISUAL.
- B) INSPECCION DIMENSIONAL.
- C) PRUEBA ELECTRICA (MEGGER, COMPARADOR, DIELECTRICO).
- D) INSPECCION DE TEMPERATURA DEL AISLAMIENTO.

A.- ESTA INSPECCION ES CON EL OBJETO DE OBSERVAR LAS CONDICIONES - DEL AISLAMIENTO COMO LIMPIEZA, FORMA, LIBRE DE RAYADURAS O HERIDAS Y TAMBIEN LAS CONDICIONES DE LAS SUPERFICIES MAQUINADAS DE ALTA -- PRECISION.

B.- LA INSPECCION DIMENSIONAL ES CON EL OBJETO DE DETECTAR CUAL--- QUIER DESVIACION DEBIDA A UN ENSAMBLE EQUIVOCADO O EL MONTAJE DE - ALGUNA PIEZA DEFECTUOSA.

C. PRUEBAS ELECTRICAS:

MEGGER: PARA MEDICION DE CONTINUIDAD Y DE LA RESISTENCIA DEL - AISLAMIENTO MEDIDO EN MEGAOHMS.

COMPARADOR: PARA OBSERVAR LA SIMILITUD DE ONDA ENTRE DOS BOBI- NAS IGUALES, EN CASO DE DIFERENCIA DE ONDA UNA DE LAS BOBINAS ESTARA AVERIADA.

DIELECTRICO: ES PARA COMPROBAR LA CAPACIDAD DIELECTRICA DEL - AISLAMIENTO DE ACUERDO A LA SIGUIENTE ECUACION.

$$E = 2.25 V + 2000.$$

E = VOLTAJE DE PRUEBA. V = VOLTAJE NOMINAL.

D.- ES CON EL OBJETO DE CERCIORARSE DE QUE LA TEMPERATURA ES LA ADECUADA DURANTE EL SECADO DEL AISLAMIENTO, ANTES DE IMPREGNACION DE BARNIZ, DURANTE EL PROCESO DE CURADO, Y AL APLICAR BARNIZ ANTI-





OFICINAS: MARIANO ESCOBEDO 69, TLALNEPANTLA, EDO. DE MEXICO
PLANTA: KM. 4 CARR. SAN JUAN DEL RIO-TEQUISQUIAPAN, QRO.

TELS.: 665-62-70/71 TELEX-MELCME 172637
TELS.: 210-45/49-99 TELEX-MELCME (SJ) 12803

- 6 -

FLASH ROJO.

11.- PROCEDIMIENTO DE PRUEBAS SERIE Y TIPO PARA EL MOTOR DE TRACCION.

LAS PRUEBAS SERIE SE REALIZAN AL 100% DE LA PRODUCCION Y LAS PRUEBAS TIPO AL 1% DE LA PRODUCCION DE MOTORES.

LAS PRUEBAS SE REALIZAN DESPUES DE ENSAMBLE FINAL Y ANTES DE LA INSPECCION FINAL. ESTE TEMA SE DETALLARA MAS ADELANTE ASI COMO CADA UNA DE LAS PRUEBAS.

12.- ESTADISTICAS DE CONTROL DE CALIDAD.

LA ESTADISTICA SE REALIZA EN BASE A LOS DATOS RECOLECTADOS DE LOS REPORTES DIARIOS DE INSPECCION Y DE LAS INFORMACIONES DE MALA CALIDAD GENERADAS EN EL MES. LA ESTADISTICA IMPLICA A LOS DEPARTAMENTOS DE LAMINADO, MAQUINADO, ENSAMBLE, ALMACEN Y COMPRAS.

SE REALIZA UNA ESTADISTICA TOTAL DE LAS PIEZAS Y ENSAMBLES FABRICADOS OBTENIENDO SU PORCENTAJE Y COSTO TOTAL, POR MALA CALIDAD Y OTRA ESTADISTICA POR PRODUCTO FABRICADO. DENTRO DE LA ESTADISTICA SE INDICAN TAMBIEN LAS PRINCIPALES CONTRAMEDIDAS TOMADAS CON EL FIN DE EVITAR LAS FALLAS REPETITIVAS Y DE ALTO COSTO. SE ENVIA UNA COPIA DE ESTA A LA DIRECCION GENERAL Y A CADA UNA DE LAS GERENCIAS.

13.- PROCEDIMIENTO PARA LA TOMA DE CONTRAMEDIDAS Y ACCIONES CORRECTIVAS: EL OBJETIVO DE ESTE PROCEDIMIENTO ES INDICAR EL CAMINO A SEGUIR PARA LA BUSQUEDA DE LA O LAS SOLUCIONES DE PROBLEMAS DE CALIDAD USANDO METODOS O HERRAMIENTAS ESTADISTICAS COMO DIAGRAMAS DE PARETO, DIAGRAMAS DE ESPINAS DE PESCADO, DIAGRAMAS DE CORRELACION, Y QUE DEBERAN ESTUDIARSE POR LOS IMPLICADOS EN EL PROBLEMA Y ASI OBTENER LA CONTRAMEDIDA MAS ADECUADA, LLEVARLA A LA PRACTICA Y ANALIZAR LOS NUEVOS RESULTADOS PARA COMPROBAR SI LA CONTRAMEDIDA ES SATISFATORIA.

LAS ACCIONES CORRECTIVAS SON DE MAS RAPIDA SOLUCION Y AUNQUE EL ORIGEN DEL PROBLEMA PUDIERA EN UN MOMENTO SER OBJETO DE UN ANALISIS DE MAYOR TRASCENDENCIA, GENERALMENTE ESTOS SE RESUELVEN EN REUNIONES MENORES (AUNQUE NO POR ESTO MENOS IMPORTANTE) ENTRE EL INSPEC-





OFICINAS: MARIANO ESCOBEDO 69, TLALNEPANTLA, EDO. DE MEXICO
PLANTA: KM. 4 CARR. SAN JUAN DEL RIO-TEQUISQUIAPAN, QRO.

TELS.: 565-62-70/71 TELEX-MELCME 172637
TELS.: 210-45/49-99 TELEX-MELCME (SJ) 12803

- 7 -

TOR, EL SUPERVISOR Y EL OPERARIO. RECORDEMOS QUE LO IMPORTANTE NO ES DETECTAR LA MALA CALIDAD, SINO EL FACTOR QUE OCASIONO ESTA, Y TENIENDO ESTO COMO REFERENCIA, ENFOCARSE A LA BUSQUEDA DE LA ACCION CORRECTIVA MAS ADECUADA, IMPLICANDO A LOS DEPARTAMENTOS INVOLUCRADOS EN FORMA DIRECTA O INDIRECTA EN EL RESULTADO DE LA MALA CALIDAD.

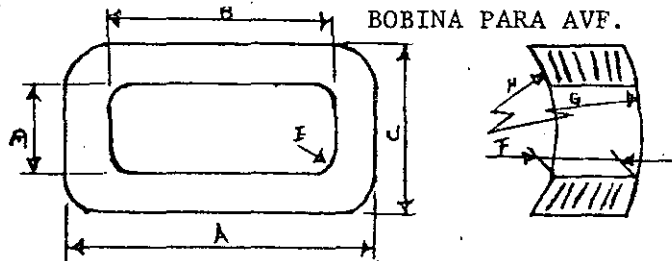
15.- AUDITORIAS DE CALIDA: LAS AUDITORIAS DE CALIDAD PARA UNA EMPRESA, CONSISTE EN CERTIFICAR QUE SE TIENEN TODOS LOS PROCEDIMIENTOS Y SISTEMAS QUE AMPARAN EL NIVEL QUE LA EMPRESA OPINA TENER Y DESPUES DE LA REVISION DE ESTOS MANUSCRITOS, COMPROBAR QUE TODO EL PERSONAL IMPLICADO CONOZCA ESTOS SISTEMAS. EL TRABAJO DE ENSEÑAR TODOS LOS PROCEDIMIENTOS Y SISTEMAS A TODO EL PERSONAL DE LA EMPRESA DESDE EL DIRECTOR GENERAL HASTA EL TRABAJADOR MAS NUEVO, REQUIERE DE UN GRAN ESFUERZO Y DE TIEMPO, ADEMAS DE QUE EN MUCHOS CASOS NO SERIA NECESARIO, SIN EMBARGO EL CAPACITAR AL PERSONAL IMPLICADO EN CADA PROCEDIMIENTO ES UNA RESPONSABILIDAD QUE DE NO LLEVARSE A CABO ENTONCES NO SE CUMPLIRIA CON LOS REQUISITOS DEL NIVEL EVALUADO.



MELCO DE MEXI S.A. DE CV.
DEPARTAMENTO DE CONTROL DE CALIDAD

MQN-B0194

REGISTRO DE INSPECCION
 BOBINA PARA AVF.



No. DE UNIDAD:

No. DE YUGO:

FECHA DE INICIO A FINAL:

AUTORIZO (PD)

FIRMA DE SUPERVISOR

(C.C.)

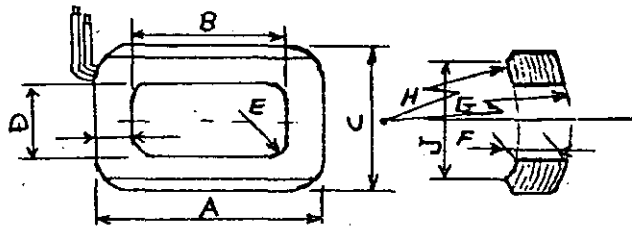
1	BOBINAR CONDUCTOR	MATERIAL 1.8 x 39	No. DE VUELTAS		DEFECTO EN SUPERFICIE				
			15:						
2	RECOCIDO	TEMPERATURA	TIEMPO	DUREZA					
		430°C + 10:	1.5 HRS.:	-					
3	FORMAR CONDUCTOR	DEFECTO EN SUPERFICIE							
4	INSP. POR C. C.	A: 261	B: 183 ⁺² -0	C: 209	D: 135 ⁺¹ -0	E: R30	F: 29 ⁺⁰ -2	G: R239	H: R209.2
5	ACABADO	CONDICION DE ACABADO							

6	RECOCIDO	TEMPERATURA	TIEMPO	DUREZA		
		430°C + 10:	1.5 HRS:			
7	FORMAR CONDUCTOR	DEFECTO EN SUPERFICIE				
8	PONER CAPAS Y PRENSAR - C/CALENT..	AISLAMIENTO				
		NOMEX 6 MIL x 2 :				
9	LIMPIAR	CONDICION DE LIMPIO				
10	SOLDAR LA TERMINAL	SOLD. CALIFICADO	DEFECTO EN SÓLDADURA	ACABADO	CONFIRMAR No. DE TERMINAL	
11	ENCINTAR PARTE CABEZA Y TERMINAL	CONSTRUCCION DE AISLAMIENTO CONFORME A LA ESPECIFICACION				
12	INSP. POR C.C.	PRUEBA ENTRE CAPAS 500V C.D./15 SEG.				
13	ENCINTAR BOBINA	CONSTRUCCION DE AISLAMIENTO CONFORME A LA ESPECIFICACION				
		CONJUNTO A BOBINA SERIE				
NOTA						

MELCO DE MEXICO S.A. DE CV.
DEPARTAMENTO DE CONTROL DE CALIDAD

MON-B0193

REGISTRO DE INSPECCION
 BOBINA PARA POLO PRINCIPAL



No. DE UNIDAD:

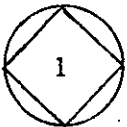
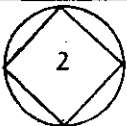
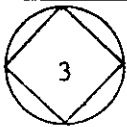
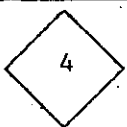

No. DE YUGO:

FECHA DE INICIO A FINAL:

AUTORIZO (PD.)

FIRMA DE SUPERVISOR

(C.C.)

		BOBINAR CONDUCTOR		MATERIAL 2.8 x 39	No. DE VUELTAS		DEFECTO EN SUPERFICIE					
					8:							
		RECOCIDO		TEMPERATURA	TIEMPO	DUREZA						
				430°C ± 10:	1.5 HRS.:							
		FORMAR CONDUCTOR		DEFECTO EN SUPERFICIE								
		INSP. POR C.C.		A: 261	B: 183 ⁺² / ₋₀	C: 209	D: 135 ⁺¹ / ₋₀	E: R30	F: 24.08 ⁺⁰ / ₋₂	G: R207.7	H: R183.9	
		MAQUINADO Y ACABADO		CHAFLAN: J: 179 ⁰ / ₋₁			CONDICION DE ACABADO					

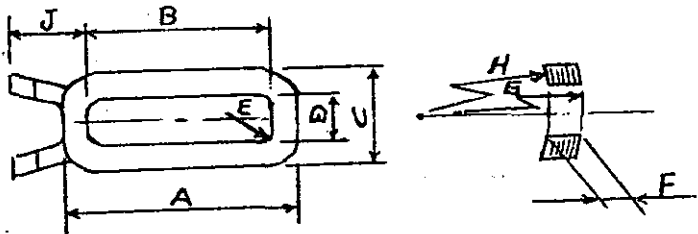
6	RECOCIDO	TEMPERATURA	TIEMPO	DUREZA					
		430 °C + 10:	1.5 HRS:						
7	FORMAR CONDUCTOR	DEFECTO EN SUPERFICIE							
8	PONER CAPAS Y PRENSAR - C/CALENT.	AISLAMIENTO							
		NOMEX 6 MIL x 2:							
9	LIMPIAR	CONDICION DE LIMPIO							
10	SOLDAR LA TERMINAL	SOLD. CALIFICADO	DEFECTO EN SOLDADURA	ACABADO	CONFIRMAR No. DE TERMINAL				
11	ENCINTAR PARTE CABEZA Y-TERM.	CONSTRUCCION DE AISLAMIENTO CONFORME A LA ESPECIFICACION							
12	INSP. POR C. C.	PRUEBA ENTRE CAPAS 500 V C.D./15 SEG.							
13	ENCINTAR BOBINA	CONSTRUCCION DE AISLAMIENTO CONFORME A LA ESPECIFICACION							
14	INSP. POR C. C.	A:278	B: 179	C: 213	D: 131	F:62 ^{+1.5} ₋₁	K: ≤75	DESENCINTADO (1 PZA./15 JGOS.)	
NOTA	SE CHECARA UNA BOBINA POR MOTOR.								

▲ MELCO DE ME...CO S.A. DE CV.

DEPARTAMENTO DE CONTROL DE CALIDAD

MQN-B0189

REGISTRO DE INSPECCION BOBINA PARA POLO AUXILIAR

		No. DE UNIDAD:							
		No. DE YUGO:							
		FECHA DE INICIO A FINAL:							
		AUTORIZO (PD)					FIRMA DE SUPERVISOR		
(.C.C.)									
1	BOBINAR CONDUCTOR	MATERIAL 4.1 X 22		No. DE VUELTAS		DEFECTO EN SUPERFICIE			
				14:					
2	RECOCIDO	TEMPERATURA		TIEMPO		DUREZA			
		430°C + 10:		1.5 HRS.:					
3	FORMAR CONDUCTOR	DEFECTO EN SUPERFICIE							
4	INSP. POR C.C.	A:240	B:196	C:82	D:37	E:R18.5	F:57.4	G:R239.5	H:R179.5
5	ACABADO	CONDICION DE ACABADO							

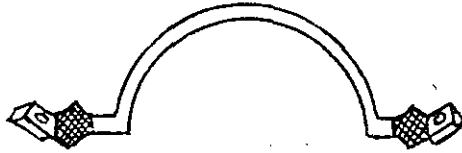
6	RECOCIDO	TEMPERATURA	TIEMPO	DUREZA			
		430°C + 10:	1.5 HRS.:				
7	FORMAR CONDUCTOR	DEFECTO EN SUPERFICIE					
8	PONER CAPAS Y PRENSAR - C/CALENT.	AISLAMIENTO					
		NOMEX 6 MIL X 2:					
9	LIMPIAR	CONDICION DE LIMPIO					
10	SOLDAR LA TERMINAL	SOLD. CALIF.	DEFECTO EN SOLDADURA	ACABADO	CONFIRMAR No. DE TERMINAL		
11	ENCINTAR PARTE, CABEZA Y TERM.	CONSTRUCCION DE AISLAMIENTO CONFORME A LA ESPECIFICACION					
12	INSP. POR C.C.	PRUEBA ENTRE CAPAS					
13	ENCINTAR BOBINA	CONSTRUCCION DE AISLAMIENTO CONFORME A LA ESPECIFICACION					
14	INSP. POR C.C.	A: ≤ 251	B: 190C: ≤ 86	D: ≥ 33	F: 63.5	J: 40 ± 2	DESENCINTADO (1 P/25 J).

NOTA

MELCO DE MEXICO S.A. DE CV.
DEPARTAMENTO DE CONTROL DE CALIDAD

MQN-LU226

REGISTRO DE INSPECCION
 CONDUCTOR PARA PORTAESCOBILLAS.



No. DE UNIDAD:

FECHA DE INICIO A FINAL:

Autorizo (PD)

(C.C.)

FIRMA DE SUPERVISOR

1	CORTAR CONDUCTOR	MATERIAL X	LONGITUD		
2	FORMAR CONDUCTOR	DEFECTO EN SUPERFICIE			
3	SOLDAR LA TERMINAL	SOLDADOR CALIFICADO	DEFECTO DE SOLDADURA		
4	INSP. POR C.C.	DIMENSION Y FORMA CON PLANTILLA:	APARIENCIA		

5

ENCINTAR
CONDUCTOR

CONSTRUCCION DE AISLAMIENTO

A. AISLAMIENTO EN PARTE DE TERMINAL.

CONDICION DE PASTA
PORTAESCOBILLAS:

CINTA DE S.R.G. 0.25 mm X 19

CINTA DE VIDRIO 0.1 mm X 19

 $\frac{1}{2}$ TRASLAPE, 2 VUELTAS: $\frac{1}{2}$ TRASLAPE, 1 VUELTA:

B. AISLAMIENTO EN PARTE DE TERMINAL FLEXIBLE.

CONDICION DE PASTA
PORTAESCOBILLA:

TUBO DE SILICON

CONDICION DE PASTA
PORTAESCOBILLA:

Ø INT. 22 X ESP.1:

CINTA DE S.R. 0.5 mm. X 19

 $\frac{1}{2}$ TRASLAPE, 1 VUELTA:

C. AISLAMIENTO EN CONDUCTOR.

CINTA DE S.R.G. 0.25 mm. X 19, 1 VUELTA O NOMEX 0.18 mm X 25, 2 VUELTAS

CINTA DE VIDRIO 0.18 mm X 25

CINTA DE S.R. 0.5 mm. X 19

 $\frac{1}{2}$ TRASLAPE, 1 VUELTA:

3 VUELTAS:

6

INSP. POR
C. C.DIMENSION Y FORMA
CON PLANTILLA:

CONDICION DE ENCINTADO:

NOTA

MELCO DE MEXICO S.A. DE CV.

DEPARTAMENTO DE CONTROL DE CALIDAD

MQN-B0198

REGISTRO DE INSPECCION

CAMPO

		No. DE SERIE:						
		No. DE YUGO:						
		FECHA DE INICIO A FINAL:						
		AUTORIZO (PD)		FIRMA DE SUPERVISOR				
(C.C.)								
1	CONJUNTO POLO Y BOBINA	CONDICION DE AJUSTE DE BOBINA						
2	INSP. POR C. C.	BOBINA PRINCIPAL:	BOBINA AUXILIAR: -					
		RESISTENCIA DE AISLAMIENTO	ENTRE CAPAS C.D. 500V/15 S.	DIELECTRICO C.A. 1900 V / 1 MIN.				
3	ENSAMBLAR CAMPO	MEGGER 1000V:	ENTRE TIERRA: ENTRE BOBINA:					
		DISTANCIA ENTRE POLOS		PASO ENTRE POLOS		PAR DE APRIETE EN-KG-CM.	POLARIDAD.	
			PRI. +.3 341.4 -.25	AUX. +.2 345 -.15	ENTRE POLO F			ENTRE POLO I	ENTRE F Y I
		F1-F3	P	C	≤ 0.4 mm.	≤ 0.4 mm.	≤ 0.3mm.	M20
		F2-F4						2200
I1-I3						M16		
I2-I4						I200		

4	INSP. POR C. C.	ENTRE CAPAS CD 500V/15 S.							
		SERIE:	AVF:	AUX.:					
5	SOLDAR LA SALIDA DE LA BOBINA.	SOLD. CALIFICADO		DEFECTO EN SOLDADURA					
6	ENCINTAR PARTES DE CONEXIONES	CONSTRUCCION DE AISLAMIENTO							
7	CALENTAMIENTO PROVISIONAL.	TEMP.: 120°C		TIEMPO: 6 HRS.		RESISTENCIA DE AISLAMIENTO			
						MEGGER 1000V \geq 50M /°C:			
8	IMPREGNACION.	TEMP. °C	VISCOSIDAD (60°C)	TEMP. POLO	TIEMPO VACIO	ECHAR	PRES. KG/CM2	MAX. TEMP.	VACIO
			200 SEG:						
9	CALENTAMIENTO GIRANDO.	TEMP.: 185 °C		TIEMPO: \geq 12 HRS.					
10	LIMPIAR	CONDICION DE LIMPIO							
11	SOLDAR LA TERMINAL DE SALIDA	SOLD. CALIFICADO		DEFECTO EN SOLDADURA					
12	BARNIZADO Y CALENT.	TEMP.: 150 °C		TIEMPO: \geq 8 HRS.		CONDICION DE SUPERFICIE			
13	CONJUNTO PORTAESCOBI LLAS.	PASO DE PORTAESC.	CONCENTRICIDAD DE POLO Y PORTAESC.-	HUELGO ENTRE CONM. Y PORTAESC. 3 \pm .8		PAR DE APRIETE			
		$\leq \pm .05$	$\leq \pm .2$	A:	B:	C:	D:	M16: 1200 KG-cm.	M6: 60 KG-CM
14	INSP. POR C. C.	RESISTENCIA DE AISLAM		ENTRE ESPIRAS CD 2000/15 S.		DIELECTRICO CA. 3900V/1 MIN.			
		MEGGER 1000 V \geq 2000M :		SERIE: AVF: AUX.:		A TIERRA: ENTRE BOB:			
15	CONJUNTO YUGO Y ARMADURA.	PAR DE APRIETE (KG-CM)							
		M8 (140):		M10 (280):		M12 (480):		M16 (1200):	
16	PRUEBA	CONTINUA	CHISPA	ALTA VEL. 5060 RPM/2 MIN	OVALO \leq 30 mm.	CABEZEO DE FLECHA \leq 50 mm:		VARIACION DEL CONMUTADOR 3 mm:	
		1 HR:							
NOTA									



DEPARTAMENTO DE CONTROL DE CALIDAD

REGISTRO DE INSPECCION

ARMADURA

	No. DE SERIE:					
	No. DE YUGO:					
	No. DE ARMADURA:			CONM.:		
	FECHA DE INICIO A FINAL: AUTORIZO (PD)					FIRMA DE SUPERVISOR
(C.C.)						
①	ENSAMBLAR NUCLEO Y CONM.	PRESION DE CONMUTADOR 5 u. 25T + 2 u. 7T.	P. DE NUCLEO: 50 T	FLECHA Ø 80 ()	NUCLEO Ø 80 +0.03 0	
②	INSP. POR C. C.	A: 4.48 ± 0.5	B: 127.5	C: 173 ± 0.5	H: Ø 330 ± 0.4	RANURA Y DELGA ≤ 0.4: CABECEO ≤ 40 mm INICIO: FINAL:
③	DEVANADO BOBINAS	CONFIRMAR AISLAMIENTO		PASO DE BOBINA CRUZADA Y ARMADURA		
④	ZUNCHADO PROVISIONAL	TENSION DE ZUNCHADO		D: MAX. 88.5		
⑤	INSP. POR C. C.	RESISTENCIA CON MEGGER 1000V ≥ 1000 MΩ	PRUEBA ENTRE DELGAS CD 500V/2-3 SEG.:		PRUEBA DIELECTRICA CA 4100V/10 SEG.:	
⑥	METER Y CORTAR ESPACIADORES.	CONDICION DE ESPACIADORES:				
⑦	SOLDADURA "TIG"	SOLDADOR CALIFICADO:	DEFECTO DE SOLDADURA SEGUN NORMA:	A: 4.85 ± 0.5	PRESION DE CONMUTADOR:	DESOLDADO (1/100)

8	INSP. POR C.C.	RESISTENCIA CON MEGGER 1000V \geq 1000 M Ω	ENTRE DELGAS CD 400V/2-3 S.	DIELECTRICO CA 3400V/10S.	CAIDA DE VOLTAJE \leq 5%			
9	CALENTAMIENTO PROVISIONAL	TEMPERATURA: 120°C	TIEMPO: 6 HR.					
10	IMPREGNACION	TEMP. °C	VISCOSIDAD (60°C) 200 SEG.:	TEMP. DE NUCLEO 70-100°C:	TIEMPO VACIO ECHAR	PRESION 4.8 KG-CM2	MAX. TEMP. BARNIZ	VACIO
11	CALENTAMIENTO GIRANDO	TEMPERATURA: 185 °C	TIEMPO: > 12 HR.					
12	MAQUINAR CONMUTADOR							
13	ZUNCHADO Y CALENTAMIENTO	TEMP. EN NUCLEO	TENSION DE ZUNCHO 120 KG:	TEMP. Y TIEMPO 150°C X 12 HR.	G: 9336	Ø MAXIMO	J: 341	
14	BARNIZADO Y CALENTAMIENTO	TEMPERATURA: 150°C	TIEMPO: 12 HR.	CONDICION DE SUPERFICIE				
15	LIMPIAR FLECHA	DEFECTO EN FLECHA:						
16	BALANCEADO	DESBALANCEO: INICIO:LADO "P" LADO "C": FINAL: "P" "C":						
17	CURADO	VELOCIDAD:	TIEMPO:	TEMPERATURA:	VECES			
18	INSP. POR C.C.	OVALO Y VARIACION DEL CONMUTADOR PRIMERO: SEGUNDO: TERCERO:				* VER GRAFICA		
19	MAQUINAR CONMUTADOR	DIAM. EXT. 250 + 0.5	CABECEO \leq 40 mm:	CHAFLAN : 0.5	PROF. DE RANURA - 1.2 - 2	ACABADO		
20	ACABADO Y ENSAMBLE	DEFECTO EN FLECHA	PAR DE APRIETE 480 KG-CM.	DESBALANCEO DE VENTILADOR				
21	INSP. POR C.C.	RESIST. CON MEGGER 1000 V. \geq 2000M :	ENTRE DELGAS CD. 400 V/1 S.	DIELECTRICO CA 3900/1 MIN:	E:Ø55 +0.24 +0.011	K:Ø60 +0.31 +0.018	AREA DE CONTACTO	
22	ENSAMBLAR RODAMIENTOS	No. DE RODAMIENTO:	CANTIDAD DE GRASA "P" : "C" :	TEMPERATURA				
NOTA	1 DELGA CADA 100 ARMADURAS.							



PRUEBAS DE MOTOR DE TRACION MB-3230-A

1. INTRODUCCION.

2. EQUIPO GENERAL DE PRUEBAS.

2.1 FUENTE PRINCIPAL DE POTENCIA.

2.2 BANCO DE PRUEBAS.

2.3 FUENTE AUXILIAR DE POTENCIA.

2.4 BANCO DIELECTRICO.

3. PRUEBAS.

3.1 PRUEBA DE VACIO.

3.2 MEDICION DE RESISTENCIA.

3.3 PRUEBA DE INCREMENTO DE TEMPERATURA.

3.4 PRUEBA DE CONMUTACION.

3.5 CURVAS CARACTERISTICAS DE VELOCIDAD.

3.6 PRUEBA DE SOBREVOLUCIDAD.

3.7 MEDICION DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO.

3.8 PRUEBA DIELECTRICA.

3.9 MEDICION DE EFICIENCIA COMO MOTOR Y COMO GENERADOR.

3.10 CURVA DE SATURACION EN VACIO.

3.11 PRUEBA DE ARRANQUE.

3.12 PRUEBA DE IMPEDANCIA.

3.13 PRUEBA DE NIVEL DE RUIDO.

3.14 PRUEBA DE IMPACTO.

3.15 MEDICION DEL FLUJO DE AIRE.



I) INTRODUCCION.

EL MOTOR DE TRACCION ES PROBADO POR EL METODO DE HUTCHINSON. ESTE METODO CONSISTE EN HACER FUNCIONAR DOS MAQUINAS SIMULTANEAMENTE, ES DECIR ACOPLADAS, UNA OPERANDO COMO MOTOR Y LA OTRA OPERANDO COMO GENERADOR.

LAS PRUEBAS QUE SE REALIZAN A LOS MOTORES DE TRACCION SON DE DOS TIPOS:

- 1) PRUEBAS TIPO.
- 2) PRUEBAS SERIE.

LAS PRUEBAS TIPO SON MAS Estrictas Y COMPLETAS QUE SE REALIZAN AL 1% DE LA PRODUCCION. A LOS MOTORES QUE SE LES REALIZA LA PRUEBA TIPO, SE LES DEBERA DE HACER MAQUINADOS ESPECIALES EN ALGUNOS LUGARES DEL MOTOR, CON EL OBJETO DE COLOCAR TERMOPARES, Y ASI, MEDIR DE UNA MANERA MAS CONTROLADA EL INCREMENTO DE TEMPERATURA QUE REGISTRAN LAS BOBINAS DE CAMPO, NUCLEO DE ARMADURA, BOBINAS DE INTERPOLO, ETC.

LAS PRUEBAS SERIE SON PRUEBAS QUE SE EFECTUAN AL 100% DE LA PRODUCCION.

LAS CONDICIONES DE LAS PRUEBAS, ASI COMO LAS TOLERANCIAS DETERMINADAS, ESTAN CONFORME A LAS NORMAS JAPONESAS JIS E6101 Y JEC 122, ASI COMO A LA IEC 349 (ISO).

2. ESPECIFICACIONES GENERALES DEL EQUIPO DE PRUEBA.

ITEM	NOMBRE	ESPECIFICACIONES		DIMENSIONES
		ENTRADA	SALIDA	
1	FUENTE PRINCIPAL DE POTENCIA.	3 Ø 2.3 KV 15 MIN. 275 KVA CONT. 137 KVA	DCG1 15 MIN. 65 KW 500 V 130 A CONT. 30 KW 400 V 75 A DCG2 15 MIN. 130 KW 200 V 650 A CONT. 65 KW 150 V 433 A	
2	BANCO DE PRUEBAS		CONT. 400 V 450 A 15 MIN. 500 V 700 A	
3	FUENTE AUXILIAR DE POTENCIA.	3 Ø 440 V 24 KVA	0 200 VCD 100 ACD 20 KW	
4	BANCO DIELECTRICO	1 Ø 220 V 50 60 HZ	- 0 4 KV - 0 10 KV t = 0 30 MIN. I = 167 500 mA	

3. CLASIFICACION DE PRUEBAS DEL MOTOR DE TRACCION.

DESCRIPCION	TIPO	SERIE	INVESTIGACION
- PRUEBA DE VACIO	X	X	
- MEDICION DE RESISTENCIA.	X	X	
- INCREMENTO DE TEMPERATURA	X	X	X
- CONMUTACION	X	X	
- CURVA CARACTERISTICA DE VELOCIDAD	X	X	
- SOBREVELOCIDAD	X	X	
- RESISTENCIA DE AISLAMIENTO	X	X	
- DIELECTRICA	X	X	
- MEDICION DE EFICIENCIA COMO MOTOR Y GENERADOR.	X		
- CURVA DE SATURACION SIN CARGA.	X		
- MEDICION DE LAS PERDIDAS INDEPENDIENTES DE LA CORRIENTE.			X
- MEDICION DE PERDIDAS MECANICAS.			X
- ARRANQUE	X		
- INTERRUPCION Y RESTAURACION.	X		
- IMPEDANCIA	X		
- NIVEL DE RUIDO.	X		
- IMPACTO.	X		
- FLUJO DE AIRE.	X		

3.1 PRUEBA DE VACIO.OBJETIVO:

- DETECTAR LA PRESENCIA DE RUIDOS EXTRAÑOS EN EL MOTOR.
- RECTIFICAR EL CONMUTADOR PARA DISMINUIR EL CABECEO.
- ASENTAMIENTO DE LAS ESCOBILLAS PARA QUE ADQUIERAN LA CURVATURA DEL CONMUTADOR.
- VERIFICACION DEL INCREMENTO DE TEMPERATURA DE LOS RODAMIENTOS.

EQUIPO UTILIZADO:

- FUENTE PARA PRUEBA DE VACIO.
- VARILLA ACUSTICA O ESTETOSCOPIO.
- DOS TERMOMETROS DE MERCURIO DE 100°C.
- PIEDRA PARA EL RECTIFICADO.

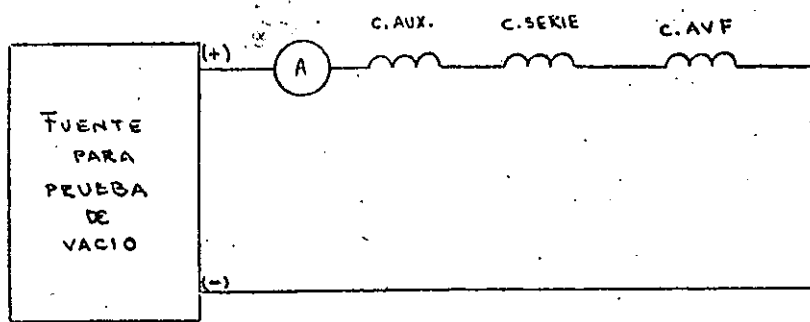
PROCEDIMIENTO:

- SE PUEDE REALIZAR LA PRUEBA HASTA UN MAXIMO DE 4 MOTORES CONECTADOS EN SERIE.
- SE GIRA EL MOTOR DE 200 A 300 R.P.M., SE VERIFICA VIBRACION EN LAS ESCOBILLAS Y VIBRACION EN LOS RODAMIENTOS.
- SE AUMENTA LA VELOCIDAD A 2000 R.P.M., SE PROCEDE A REALIZAR EL ASENTAMIENTO DEL CONMUTADOR.
 ≈ 60 VCD ≈ 40 ACD.
- PARA EL ASENTAMIENTO DE LAS ESCOBILLAS SE DEJA EL MOTOR GIRANDO DURANTE 2 HRS. EN UN SENTIDO Y DOS HORAS EN SENTIDO CONTRARIO.
- SE DEBE DE CHECAR LA TEMPERATURA DE LOS RODAMIENTOS CADA 15 MINUTOS.

RESULTADOS:

- NO DEBERA DE EXISTIR RUIDOS EN LOS RODAMIENTOS.
- NO DEBERA DE EXISTIR VIBRACION EN LAS ESCOBILLAS. (CABECEO DEL CONMUTADOR).
- LAS ESCOBILLAS DEBERAN DE PRESENTAR BRILLO EN MAS DEL 90% DE CONTACTO.
- LA TEMPERATURA DE LOS RODAMIENTOS NO DEBERA SER MAYOR A LA TEMPERATURA AMBIENTE "+" 60°C.

DIAGRAMA:



3.2 MEDICION DE LA RESISTENCIA EN FRIO DE LOS DEVANADOS.

OBJETIVO:

- EL OBJETIVO DE ESTA PRUEBA ES DETERMINAR LA RESISTENCIA DE LOS DEVANADOS DEL CAMPO SERIE, CAMPO AVF, CAMPO DE CONMUTACION Y DE ARMADURA.

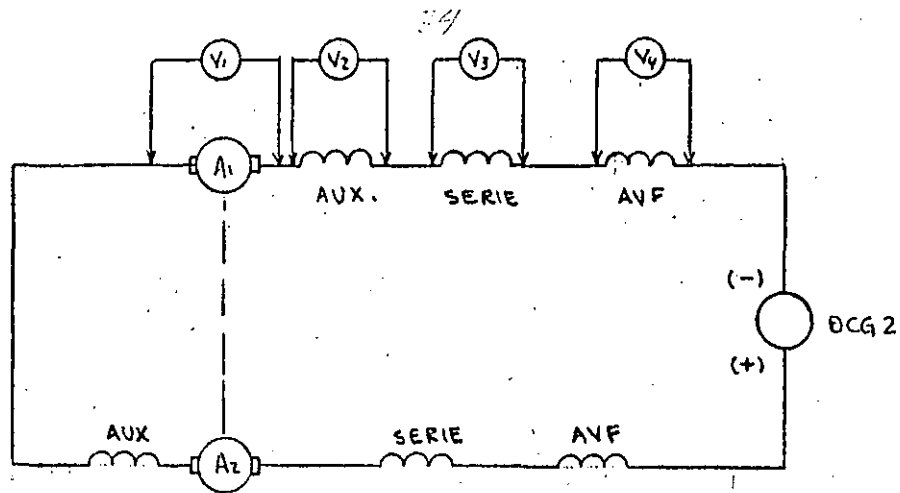
EQUIPO UTILIZADO:

- BANCO DE PRUEBAS.
- TERMOMETRO DE CONTACTO.

PROCEDIMIENTO:

- SE PRUEBAN DOS MOTORES POR EL METODO DE HUTCHINSON.
- LA TEMPERATURA DE LOS DEVANADOS Y EL MEDIO AMBIENTE NO DEBEN DIFERIR MAS DE 5°C.
- SE EMPLEA EL METODO DE CAIDA DE TENSION, BASADO EN LA LEY DE OHM, APLICANDO UNA CORRIENTE DE 100 AMP., SE PROCEDE A MEDIR LAS CAIDAS DE TENSION EN:
 - DEVANADO DE ARMADURA.
 - DEVANADO DE CONMUTACION.
 - DEVANADO SERIE.
 - DEVANADO AVF.
- PARA EL DEVANADO DE ARMADURA LA MEDICION SE EFECTUA CONECTANDO LAS TERMINALES DEL VOLTIMETRO ENTRE 20 DELGAS DEL CONMUTADOR.
- PARA LOS DEVANADOS RESTANTES BASTA COLOCAR LAS TERMINALES DE LOS VOLTIMETRO DEL BANCO DE PRUEBAS, TOMANDO LAS LECTURAS CORRESPONDIENTES.

DIAGRAMA:



RESULTADOS:

- EL VALOR DE LA MEDICION DE RESISTENCIA NO DEBE DIFERIR EN $\pm 3\%$ DEL VALOR PROMEDIO DE LOS PRIMEROS 10 MOTORES (CURVA DECLARADA).

TOLERANCIA DE VALORES A 115 °C				
TOLERANCIA.	SERIE	AVF	CONMUTACION	ARMADURA
INFERIOR	0.005941	0.015151	0.008108	0.011985
SUPERIOR	0.005595	0.014269	0.007592	0.011287

RESULTADOS T0034				
	SERIE	AVF	CONMUTACION	ARMADURA
19.5 °C	0.00429	0.01100	0.00588	0.00862
115 °C	0.00580	0.01487	0.00795	0.01165

3.3 PRUEBA DE INCREMENTO DE TEMPERATURA.

OBJETIVO:

- EL OBJETIVO DE ESTA PRUEBA, ES EL DE DETERMINAR LOS INCREMENTOS DE TEMPERATURA DE VARIOS COMPONENTES DEL MOTOR PARA COMPROBAR QUE ESTOS SE ENCUENTREN DENTRO DE LAS ESPECIFICACIONES DE TEMPERATURA MAXIMA PERMISIBLES PARA EL AISLAMIENTO CLASE H.

EQUIPO UTILIZADO:

- BANCO DE PRUEBAS.
- 4 TERMOMETROS DE MERCURIO DE 100 °C.
- 1 TERMOMETRO DE CONTACTO.

CONDICIONES:

- SE DEBE TENER ACOPLADOS 2 MOTORES
- PRUEBA SERIE : SE REALIZA EN REGIMEN DE UNA HORA, 360 V, 426 A CAMPO SERIE, - 295 A CAMPO AVF.
- PRUEBA TIPO : SE REALIZAN TANTO EN REGIMEN DE UNA HORA, COMO EN REGIMEN CONTINUO, (360 V, 395 A CAMPO SERIE, 374 A CAMPO AVF).

PROCEDIMIENTO:

- LAS CONDICIONES ANTERIORES DEBERAN SER ALCANZADAS EN UN TIEMPO MAXIMO DE UN MINUTO, EL CRONOMETRO DEBERA SER PUESTO CUANDO SE TIENE EL 80% DE LA CORRIENTE DEL CAMPO SERIE.
- PARA AMBOS TIPOS DE PRUEBAS, SE MIDE LA RESISTENCIA EN FRIJO DE LOS DEVANADOS DEL MOTOR Y DEL GENERADOR, ASI COMO, LA TEMPERATURA DE LOS RODAMIENTOS DEL LADO PIÑON Y CONMUTADOR, Y CON TERMOMETRO ELECTRICO LA DE LA SUPERFICIE DEL COLECTOR, ASI COMO LA TEMPERATURA AMBIENTE.
- PARA LA PRUEBA SERIE:
 - SE HACE GIRAR LA MAQUINA DURANTE 59 MIN.
 - SE TOMAN VALORES DE CAIDA DE TENSION Y TEMPERATURA AMBIENTE CADA 15 MINUTOS DURANTE LOS 59 MINUTOS DE LA PRUEBA.

- PARA LA PRUEBA TIPO:
 - LA MEDICION SE HACE CADA 15 MINUTOS DURANTE LA PRIMERA HORA, Y DESPUES CADA 30 MINUTOS, HASTA QUE LA TEMPERATURA SE ESTABILICE EN TRES PUNTOS, VARIANDO ± 0.5 °C.
- PARA LA OBTENCION DE LA CURVA DE ENFRIAMIENTO DE LOS DEVANADOS DE ARMADURA, SE PROCEDE DE LA MANERA SIGUIENTE:
 - PRUEBA SERIE. LA MEDICION SERA TOMADA DURANTE UN MINUTO, CADA 20 SEGUNDOS, INMEDIATAMENTE DESPUES DE PARAR LAS MAQUINAS. APLICANDO 100 AMP. Y VERIFICANDO LA CAIDA DE TENSION ENTRE 20 DELGAS DEL CONMUTADOR.
 - PRUEBA TIPO. LA MEDICION DEBERA SER TOMADA CADA 20 SEGUNDOS, EN LOS PRIMEROS 2 MINUTOS Y CADA 30 SEGUNDOS DESPUES DE ESTOS HASTA COMPLETAR LOS 5 MINUTOS.

RESULTADOS:

CON LOS VALORES DE CAIDA DE TENSION OBTENIDOS SE PROCEDE A REALIZAR LOS CALCULOS DE INCREMENTO DE TEMPERATURA PARA CADA PUNTO MEDIANTE LA FORMULA SIGUIENTE:

$$t = \frac{V2 - V1}{V1} (235 + t1) - (t2 - t1)$$

V2 = CAIDA DE TENSION EN FRIO.

V1 = CAIDA DE TENSION EN CALIENTE.

t1 = TEMPERATURA AMBIENTE CUANDO V1 ES TOMADA.

t2 = TEMPERATURA AMBIENTE CUANDO V2 ES TOMADA.

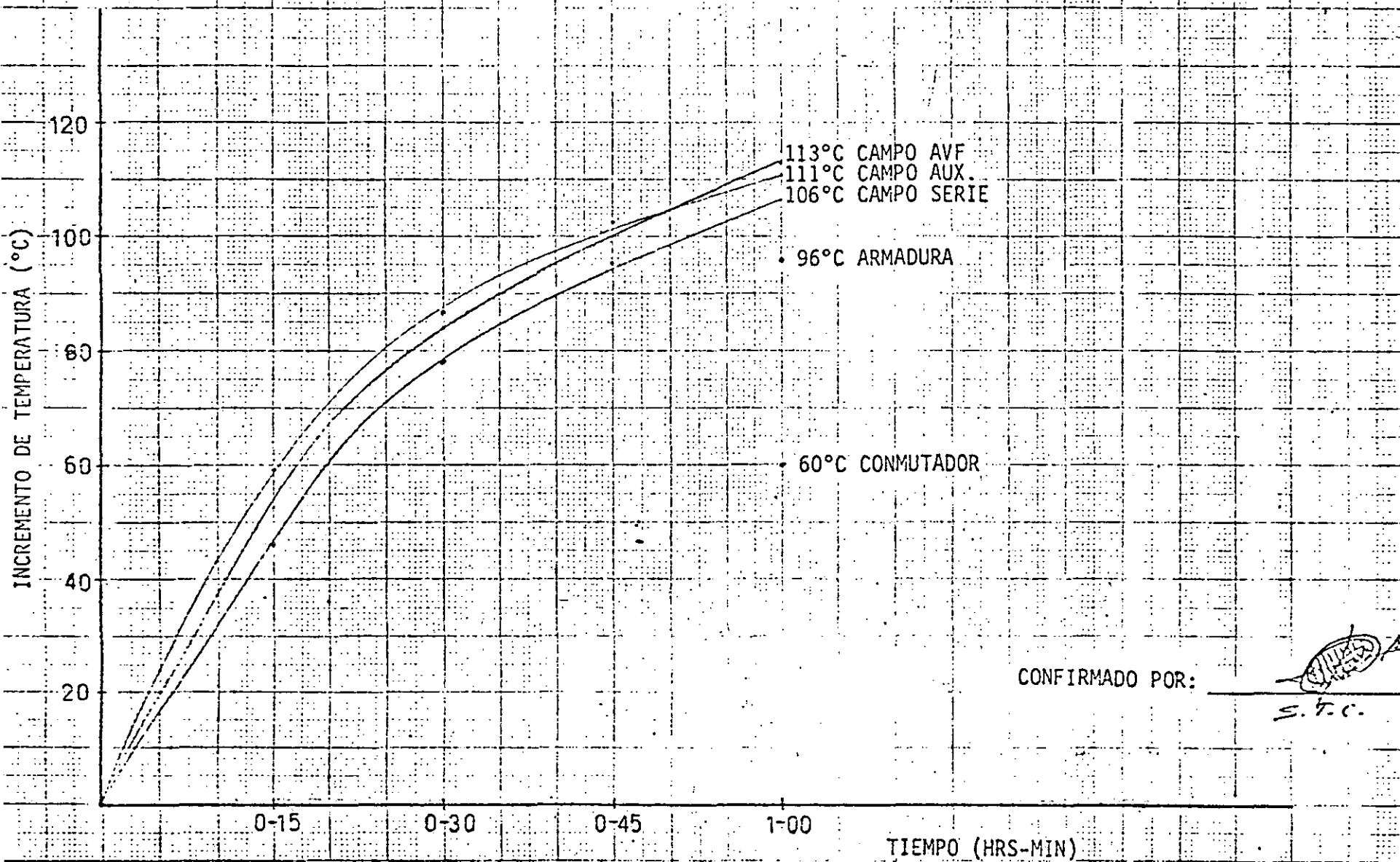
LOS VALORES OBTENIDOS NO DEBERAN EXCEDER LOS LIMITES DE INCREMENTO DE TEMPERATURA.

37

INCREMENTO DE TEMPERATURA EN UNA HORA 360V, 426 A, 295 A

	CAMPO SERIE	CAMPO AVF	CAMPO AUX.	ARMA- DURA.	CONMU- TADOR.	RODAM.
						L.C. L.P.
METODO DE MEDICION	RESIST.	RESIST.	RESIST.	RESIST.	TERM. ELECT.	TERMOME- TRO.
ANTES DE CALENTAMIENTO V/A	1.823 / 426	3.245 / 395	2.499 / 426	0.410 / 100		
DESPUES DE CALENTAMIENT TO V/A	2.59 / 426	4.7 / 295	3.6 / 426	0.565 / 100		
INCREMENTO DE TEMPERA- TURA °C	106	113	111	96	60	
LIMITE DE INCREMENTO DE TEMPERATURA °C	M 122	120.6	119.3	118.9	105	
	G 119.6	117.8	99.4	106.9	105	

INCREMENTO DE TEMPERATURA EN UNA HORA.
CONDICIONES: 360V, 426A, 295A (AVF)



CONFIRMADO POR:

[Handwritten Signature]
S. F. C.

3.4. PRUEBA DE CONMUTACION

OBJETIVO:

VERIFICAR QUE LA INTENSIDAD Y EXTENSION DEL CHISPORROTEO DE CONMUTACION TENGA COMO MAXIMO EL No.3 DE LA CLASIFICACION DE LOS GRADOS DE CONMUTACION.

CONDICIONES:

- EL VOLTAJE SERA DE 1.2 VECES EL VOLTAJE NOMINAL.
- TIEMPO 30 SEGUNDOS.
- MAQUINA EN ESTADO CALIENTE.
- DEBERA EFECTUARSE EN AMBOS SENTIDOS DE ROTACION (C.W. Y C.C.W.)
- PARA LA PRUEBA SERIE SE REALIZARA CON EL 35% DE CAMPO.
- PARA LA PRUEBA TIPO SE REALIZARA CON EL 100% Y-35% DE CAMPO.

% DE CAMPO	VOLTAJE	CORRIENTE	GRADO DE CONMUTACION	
			SENTIDO DE GIRO	
			C.W.	C.C.W.
100	450	350	BIEN	BIEN
100	450	395	BIEN	BIEN
100	450	500	BIEN	BIEN
100	450	650	BIEN	BIEN
35	450	500	BIEN	BIEN
35	450	550	BIEN	BIEN
35	450	630	BIEN	BIEN

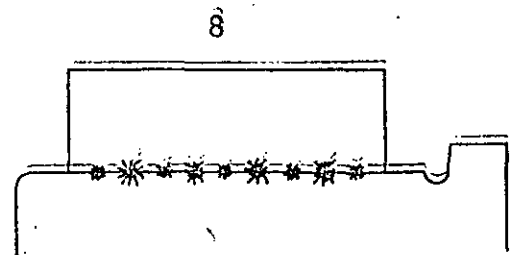
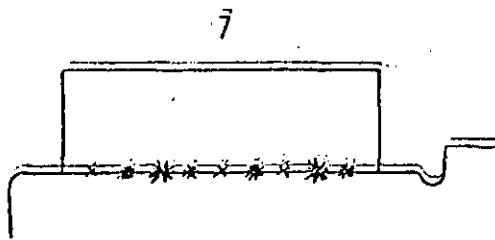
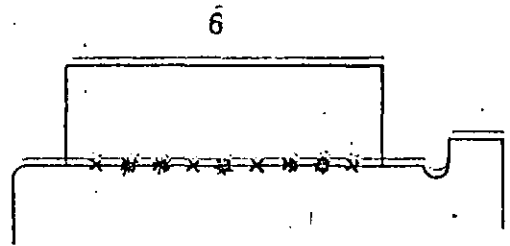
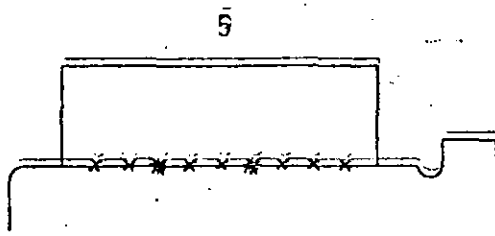
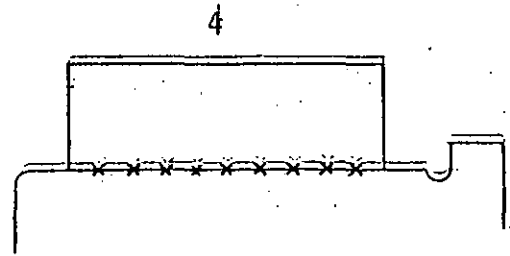
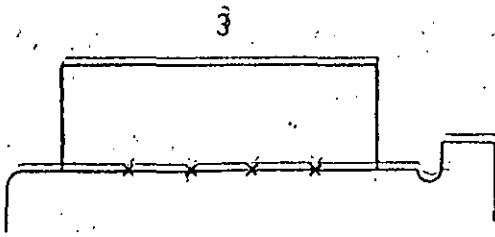
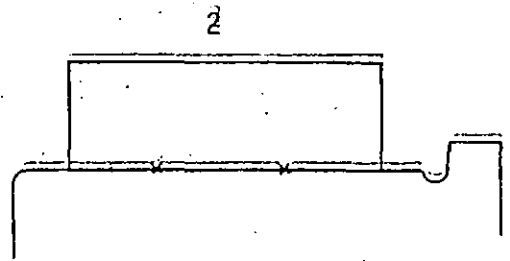
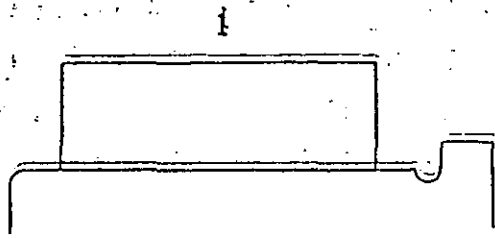
PROCEDIMIENTO:

SE HACE FUNCIONAR LA MAQUINA EN ESTADO CALIENTE - CON 450 V C.D., AL 100% DE CAMPO Y CON LAS DISTINTAS CORRIENTE, *MARCADAS EN LA TABLA), EN CADA PUNTO SE MANTIENEN LAS CONDICIONES DURANTE 30 SEG. VERIFICANDO EL CHISPORROTEO ENTRE EL CONMUTADOR Y LAS ESCOBILLAS; DESPUES SE REALIZA LA PRUEBA CON EL 35% DE CAMPO. AL TERMINAR LAS PRUEBAS EN UN SENTIDO DE ROTACION, SE CAMBIA EL GIRO Y SE REALIZAN LAS PRUEBAS TANTO AL 100% COMO AL 35% DE CAMPO.

RESULTADO:

EL CHISPORROTEO ENTRE EL CONMUTADOR Y LAS ESCOBILLAS, DEBERA SER COMO MAXIMO EL PUNTO 3, DE LA CLASIFICACION DE GRADOS DE CONMUTACION.

CLASIFICACION DE CONMUTACION



3.5 CURVA CARACTERISTICA DE VELOCIDAD.

OBJETIVO:

- DETERMINAR LOS VALORES DE VELOCIDAD CORRESPONDIENTES A LA CORRIENTE DE CARGA RESPECTIVA, PARA LA ELABORACION DE LA CURVA CARACTERISTICA DE VELOCIDAD.
- VERIFICAR QUE LA VELOCIDAD DEL MOTOR SE ENCUENTRE DENTRO DE LOS LIMITES MAXIMOS Y MINIMOS DE LA CURVA DECLARADA.

CONDICIONES:

- LA PRUEBA TIPO SE EFECTUARA AL 100%, 80% Y 35% DE CAMPO; EL CUADRO DE CORRIENTES ESTARAN BASADAS EN EL REGIMEN CONTINUO, Y SE REALIZARAN EN LOS DOS SENTIDOS DE GIRO.

100% 360V I = 200, 296, 395, 494, 650 AMP.

80% 360V I = 200, 296, 395, 494, 650 AMP.

35% 360V I = 365, 395, 494, 650 AMP.

- LA PRUEBA SERIE SE EFECTUARA AL 100% Y 35% DE CAMPO; LAS CONDICIONES DE CORRIENTE ESTARAN BASADAS AL REGIMEN DE UNA HORA Y SE REALIZARA EN LOS DOS SENTIDOS DE GIRO.

100% 360 V I = 200, 250, 341, 426, 467, 650 AMP.

35% 360 V I = 365, 426, 467, 650 AMP.

PROCEDIMIENTO:

- SE TOMARAN VALORES DE VELOCIDAD EN LAS CONDICIONES ANTES DESCRITAS.

RESULTADO:

- LOS VALORES DE VELOCIDAD OBTENIDOS DEBERAN DE ESTAR DENTRO DE LOS LIMITES DE LA CURVA DECLARADA.

SE ANEXA HOJA DE RESULTADOS DE PRUEBA TIPO.

CURVA CARACTERISTICA DE VELOCIDAD

SENTIDO DE GIRO: C.M.R.

FECHA: 1 MARZO 85

MOTOR No: T0200

VOLTAJE EN LAS TERMINALES: 360 V

VELOCIDAD ROTACIONAL (RPM)

4000
3000
2000
1000

TOLERANCIA DE MANUFACTURA
(CURVA DECLARADA +14%)

35% C.

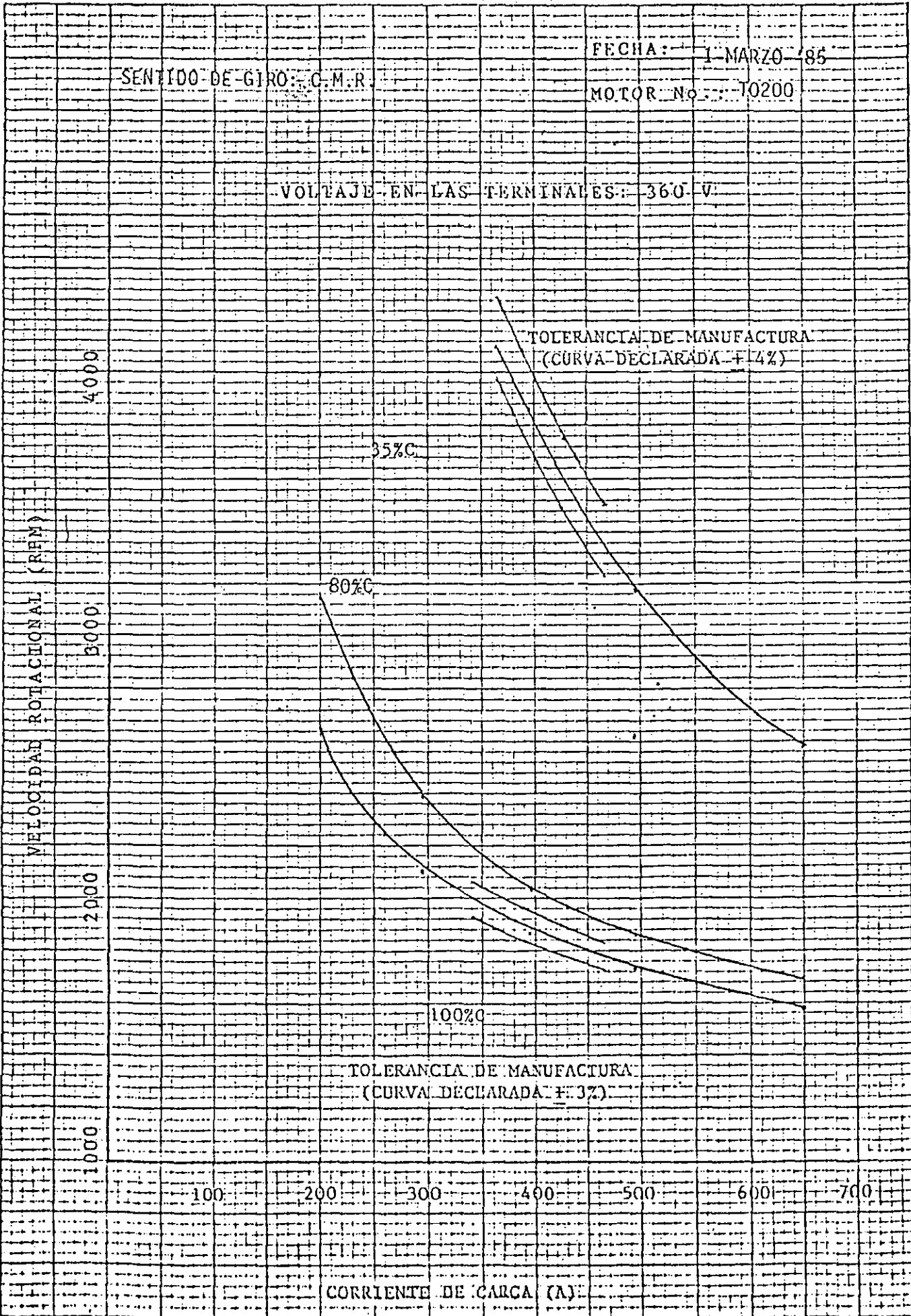
80% C.

100% C.

TOLERANCIA DE MANUFACTURA
(CURVA DECLARADA +3%)

100 200 300 400 500 600 700

CORRIENTE DE CARGA (A)



3.6 PRUEBA DE SOBREVOLUCIDAD.

OBJETIVO:

EL MOTOR DEBERA DE SOPORTAR 1.25 VECES LA VELOCIDAD MAXIMA, SIN MOSTRAR DEFORMACION PERMANENTE Y DEBERA DE SOPORTAR LAS PRUEBAS DIELECTRICAS.

CONDICIONES:

- EL MOTOR DEBERA DE ESTAR EN CALIENTE.
- EL MOTOR DEBERA ESTAR DESACOPADO.
- GIRAR EL MOTOR A 5060 R.P.M.
- MANTENER LA VELOCIDAD DURANTE 2 MINUTOS.

PROCEDIMIENTO:

- CON CAMPO MINIMO, SE INCREMENTA LA CORRIENTE -- (\approx 55 AMP.), Y LA VELOCIDAD, (\approx 200 VCD.), - HASTA OBTENER LA VELOCIDAD DE 5060 Y DEBERA DE MANTENERSE DURANTE DOS MINUTOS.

RESULTADOS:

- DURANTE LOS 2 MINUTOS DE PRUEBA SE VERIFICARA - QUE NO HAYA RUIDOS EXTRAÑOS, NI VIBRACION EN EL MOTOR.
- DESPUES DE LA PRUEBA, EL MOTOR NO DEBERA DE MOS TRAR DEFORMACIONES Y DEBERA DE SOPORTAR LAS --- PRUEBAS DIELECTRICAS SUBSECUENTES.

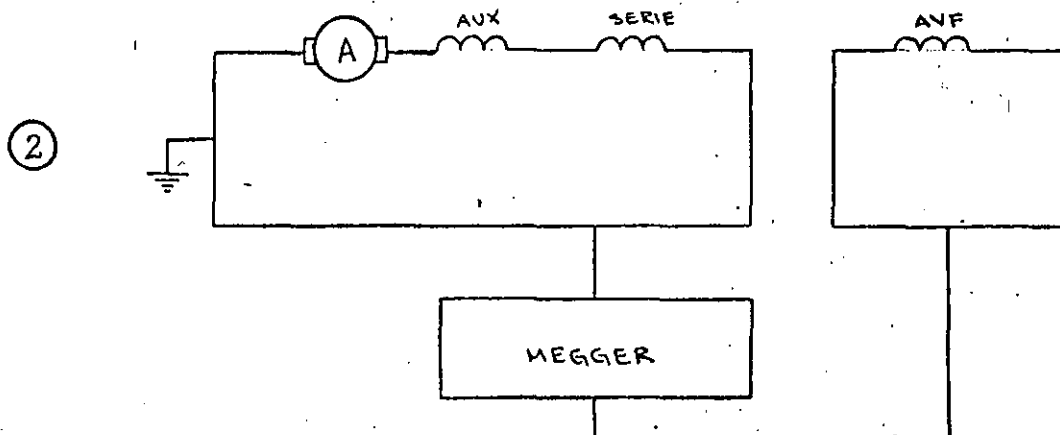
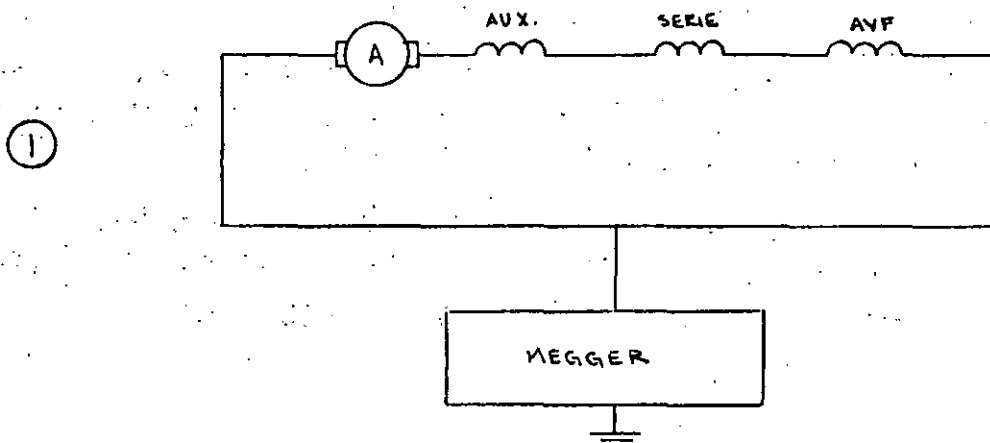
3.7 MEDICION DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO.

OBJETIVO: EL OBJETIVO DE ESTA PRUEBA ES VERIFICAR QUE NO EXISTA CONTINUIDAD ENTRE LAS PARTES AISLADAS DE LA MAQUINA.

EQUIPO: MEGGER DE 500V/2000 M

CONDICIONES: LA MAQUINA DEBE ESTAR EN CALIENTE.

PROCEDIMIENTO: SE DEBERA MEDIR LA RESISTENCIA DE AISLAMIENTO ENTRE LOS DEVANADOS Y TIERRA; Y TAMBIEN ENTRE EL DEVANADO AVF Y LOS DEMAS DEVANADOS A TIERRA.



RESULTADO:

- PARA LOS DOS CASOS, EL LIMITE INFERIOR DE LA RESISTENCIA DE AISLAMIENTO DEBERA SER DE 500 M

3.8 PRUEBA DIELECTRICA.

OBJETIVO:

EL OBJETIVO DE ESTA PRUEBA, ES LA DE COMPROBAR LA RIGIDEZ DIELECTRICA DE LOS DEVANADOS DE LA MAQUINA.

CONDICIONES:

- MAQUINA EN ESTADO CALIENTE.
- TENSION DE ONDA SENOIDAL RMS DE 60 Hz.
- $V_p = (V_n)(2.25) + 2000$ $V_p = 3,700$ V C.A.
- DURACION 60 SEGUNDOS.

PROCEDIMIENTO:

- LA PRUEBA SE LLEVARA A CABO EN DOS FORMAS:
 - A) ENTRE TODOS LOS DEVANADOS Y TIERRA.

 - B) ENTRE TODOS LOS DEVANADOS A TIERRA Y AVF.

- PARA AMBOS CASOS SE PROCEDE A ENERGIZAR LOS CIRCUITOS DE LA FUENTE A 3700 V RMS A 60 Hz. DURANTE 60 SEGUNDOS.

RESULTADO:

DESPUES DE LA PRUEBA, LOS MOTORES DEBEN SER PROBADOS CON UN MEGGER DE 500 V, PARA VERIFICAR LA RESISTENCIA DE AISLAMIENTO; LOS MOTORES NO DEBERAN DE MOSTRAR DAÑO ALGUNO.

PRUEBA DE RIGIDEZ DIELECTRICA

DIAGRAMA A)

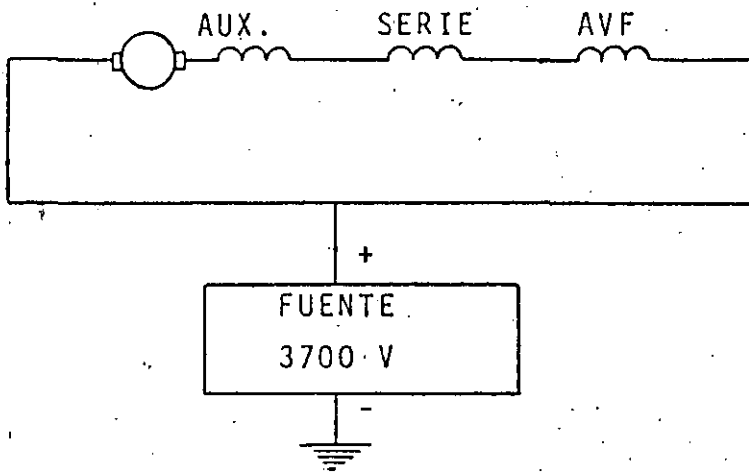
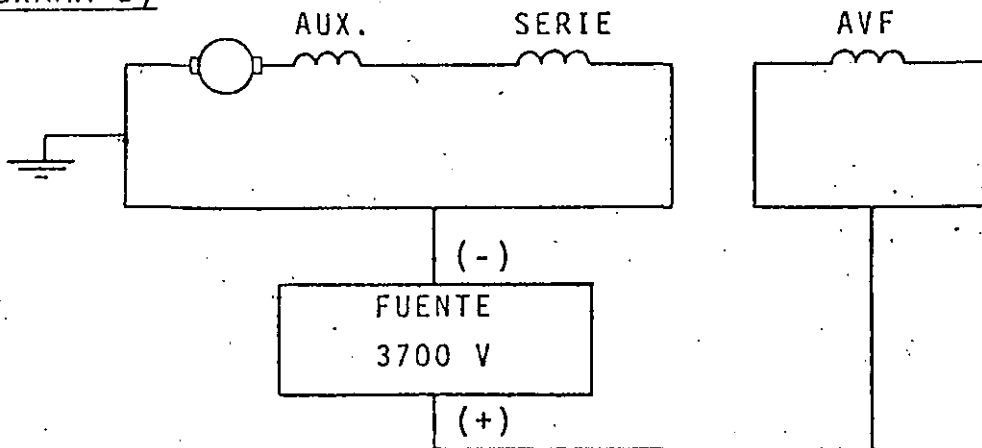


DIAGRAMA B)



3.9 PRUEBA DE EFICIENCIA.

OBJETIVO:

- DETERMINAR LA EFICIENCIA DE LA MAQUINA COMO MOTOR, Y COMO GENERADOR POR EL METODO DE HUTCHINSON.
- DETERMINAR LA GRAFICA DE LAS CURVAS CARACTERISTICAS DE EFICIENCIA, VELOCIDAD Y PAR.

CONDICIONES:

- DOS MOTORES ACOPLADOS, DE ACUERDO AL SISTEMA DE HUTCHINSON.
- ESTA PRUEBA SE REALIZA AL 100%, 80% Y 35% DE CAMPO COMO MOTOR, Y AL 35 % DE CAMPO COMO GENERADOR.

100% 360 V I = 200, 296, 395, 494, 650

80% 360 V I = 200, 296, 395, 494, 650

35% 360 V I = 365, 395, 494, 650

- SE REALIZA EN AMBOS SENTIDOS DE ROTACION.
- * LAS PRUEBAS SE PUEDEN REALIZAN POR DOS METODOS:
 - A) METODO DE HUTCHINSON.
 - B) METODO DE PERDIDAS SEPARADAS.

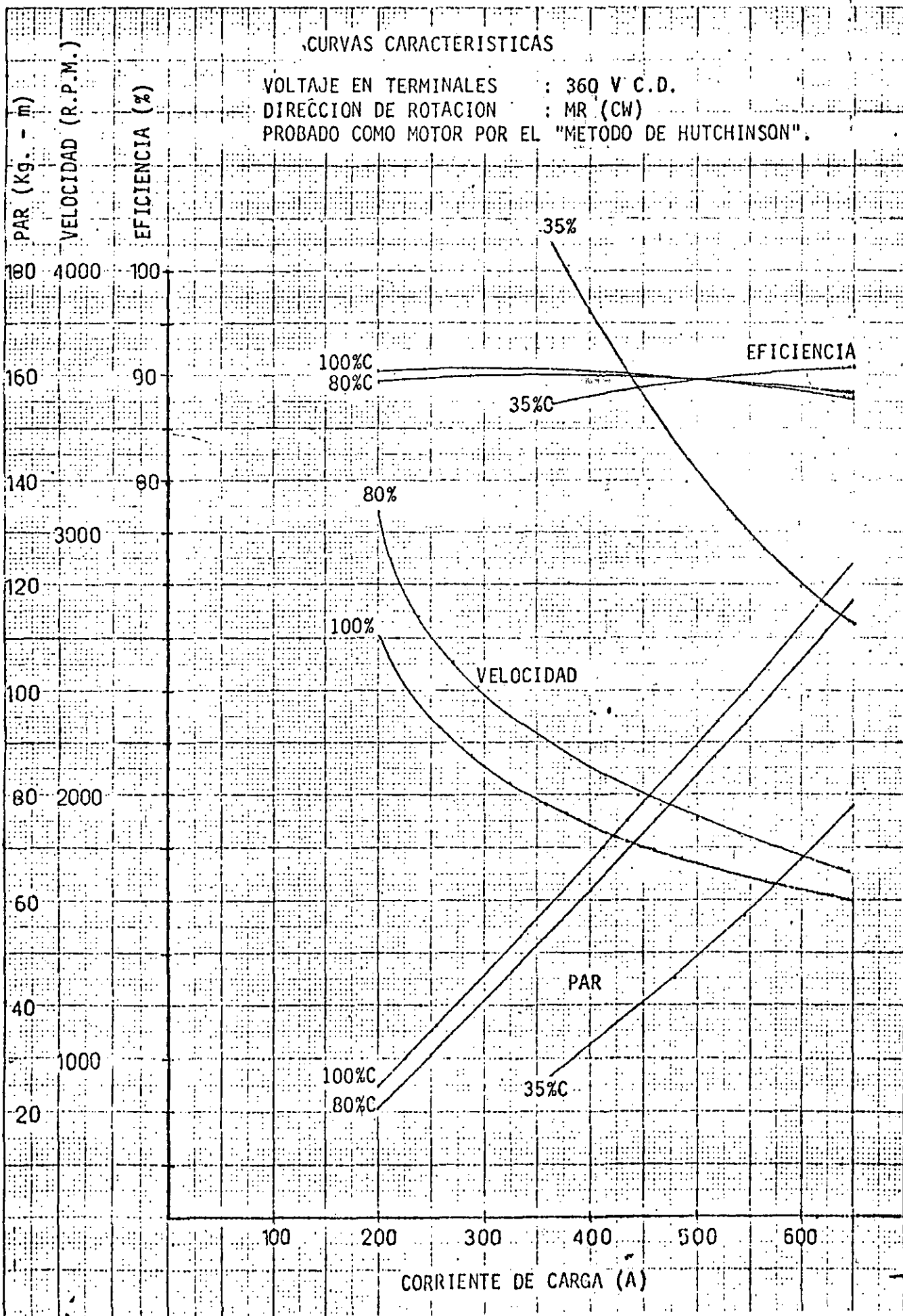
PROCEDIMIENTO DEL METODO DE HUTCHINSON:

SON:

- SE CONECTA EL EQUIPO DE MEDICION DE ACUERDO A LOS DIAGRAMAS SIGUIENTES.
- SE TOMAN LECTURAS DE CAIDA DE TENSION Y CORRIENTE, AL 100%, 80% Y 35% DE CAMPO CON LAS DIFERENTES CONDICIONES DE CORRIENTE.
- SE DETERMINAN, POR CALCULO, LAS PERDIDAS DE POTENCIA, POTENCIA DE ENTRADA Y SALIDA, EL PAR EN LA FLECHA.
- SE PROCEDE A GRAFICAR LOS VALORES.

CURVAS CARACTERISTICAS

VOLTAJE EN TERMINALES : 360 V C.D.
DIRECCION DE ROTACION : MR (CW)
PROBADO COMO MOTOR POR EL "METODO DE HUTCHINSON".



PROCEDIMIENTO DEL METODO DE PERDIDAS SEPARADAS. ESTE METODO CONSISTE EN HACER EL CALCULO DE LAS PERDIDAS EN FORMA SEPARADA. LAS PERDIDAS SON:

- A) PERDIDAS INDEPENDIENTES DE LA CORRIENTE.
- B) PERDIDAS DIRECTAS DE LA CARGA.
 - PERDIDAS EN EL DEVANADO SERIE.
 - PERDIDAS EN EL DEVANADO AVF.
 - PERDIDAS ELECTRICAS POR CONTACTO EN LAS ESCOBILLAS.
 - PERDIDAS INDETERMINADAS.

RESULTADO: LAS PERDIDAS MEDIDAS NO DEBERAN EXCEDER DEL 15% DE LA POTENCIA NOMINAL.

3.10 CURVA DE SATURACION EN VACIO.

OBJETIVO:

EL OBJETIVO DE ESTA PRUEBA ES LA DE DETERMINAR LA CURVA DE MAGNETIZACION SIN CARGA, DEL MOTOR DE -- TRACCION.

CONDICIONES:

- EL MOTOR GIRARA A 1950 R.P.M. CONSTANTES.
- SE ALIMENTARA CON UNA CORRIENTE DE EXCITACION DE:
0 → 650 AMP. → 0
- LA MAQUINA SE PROBARA COMO GENERADOR.

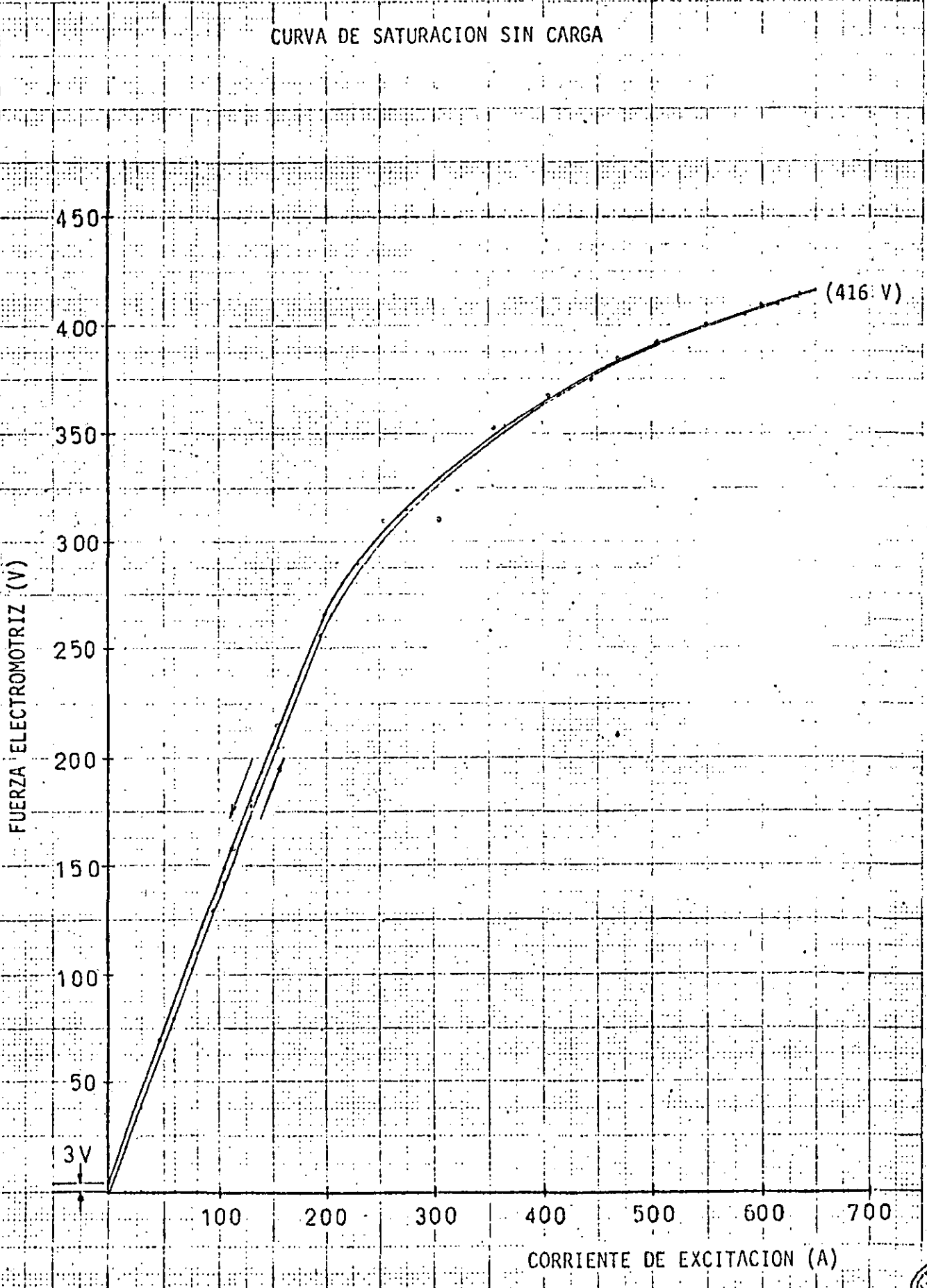
DIAGRAMA:

PROCEDIMIENTO:

- PARA DETERMINAR ESTA CURVA, EL GENERADOR DEBE SER PUESTO EN MARCHA SIN CARGA, CON EXCITACION SEPARADA Y A 1950 R.P.M. CONSTANTES. AL INI--- CIAR LA PRUEBA DEBERA SER ANULADO EL MAGNETISMO REMANENTE PARA PARTIR DE CERO EN LA CURVA ASCEN--- DENTE DE MAGNETIZACION.

- AL ENTRAR LA MAQUINA EN OPERACION, LA CORRIENTE-
DE EXCITACION GENERA UNA FUERZA ELECTROMOTRIZ --
ASCENDENTE; EN EL MOMENTO DE INICIAR LA DISMINU-
CION DE LA CORRIENTE DE EXCITACION, HARA QUE LA-
DESMAGNETIZACION DEL CIRCUITO SE EFECTUE POR UNA
TRAYECTORIA DISTINTA A LA ASCENDENTE, ESTO ES DE
BIDO AL CICLO DE HISTERESIS.

CURVA DE SATURACION SIN CARGA



3.11 PRUEBA DE ARRANQUE.

OBJETIVO:

EL MOTOR DEBERA DE RESISTIR 1.7 VECES LA CORRIENTE DEL REGIMEN CONTINUO, CON LA ARMADURA BLOQUEADA, DURANTE 5 SEGUNDOS.

CONDICIONES:

- CORRIENTE DE PRUEBA 700 AMP.
- TIEMPO DE PRUEBA 5 SEGUNDOS.
- ARMADURA BLOQUEADA.
- MAQUINA EN ESTADO CALIENTE.

PROCEDIMIENTO:

LA PRUEBA DEBERA LLEVARSE A CABO CUATRO VECES, -- CON 5 MINUTOS DE INTERVALO ENTRE PRUEBAS SUCESIVAS.

LA ARMADURA DEBERA SER GIRADA EN LA MISMA DIRECCION UN CUARTO DE PASO POLAR, ENTRE PRUEBA Y PRUEBA. (PARA EVITAR DAÑOS AL CONMUTADOR Y A LOS DEVANADOS.

DIAGRAMA:

RESULTADO:

EL CONMUTADOR NO DEBERA DE PRESENTAR DAÑO ALGUNO.

3.12 PRUEBA DE IMPEDANCIA.

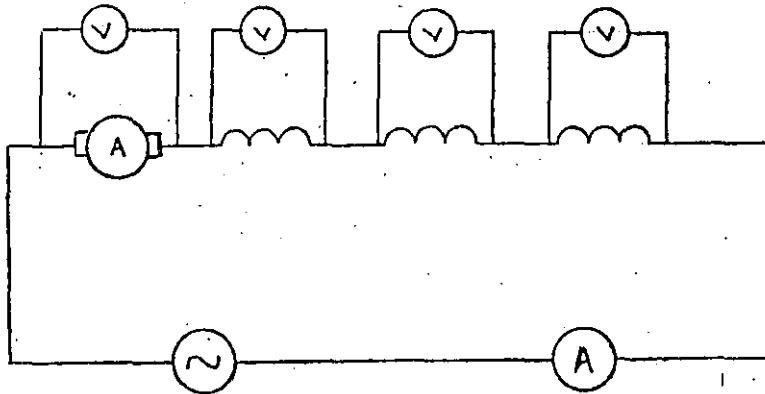
OBJETIVO:

EL OBJETIVO DE ESTA PRUEBA ES LA DE DETERMINAR LA IMPEDANCIA QUE PRESENTAN TODOS LOS DEVANADOS DE LA MAQUINA, PARA PODER CONOCER EL COMPORTAMIENTO DEL MOTOR DE TRACCION, A UN CORTO CIRCUITO.

CONDICIONES:

- CORRIENTE DE PRUEBA 25, 50, 75 AMP.
- MOTOR SIN ACOPLAMIENTO.

DIAGRAMA:



PROCEDIMIENTO:

- SE DEBERA DE MEDIR LA CAIDA DE TENSION EN TODOS LOS DEVANADOS; PARA LOS VALORES DE CORRIENTE DE 25, 50, 75 A A.C.

RESULTADOS:

3.13 PRUEBA DE NIVEL DE RUIDO.

OBJETIVO:

EL OBJETIVO DE ESTA PRUEBA ES LA DE CUANTIFICAR EL NIVEL DE RUIDO QUE ES PRODUCIDO POR EL MOTOR DE TRACCION.

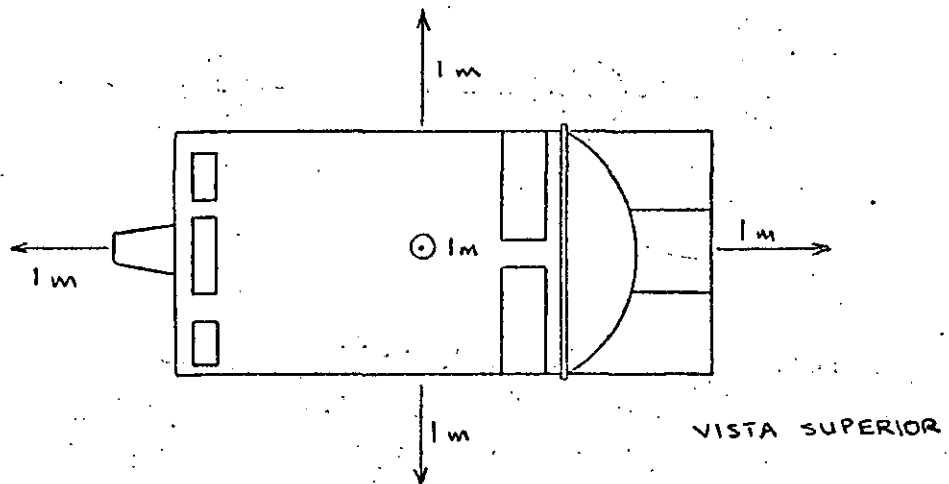
EQUIPO:

- FUENTE PARA PRUEBA DE VACIO.
- DECIBELIMETRO.
- TACOMETRO DIGITAL.

CONDICIONES:

- EL MOTOR DEBERA ESTAR DESACOPLADO.
- LA PRUEBA SE REALIZARA A 2000, 3000 Y 4000 R.P.M.
- LOS PUNTOS DE MEDICION SERAN A UN METRO DE DISTANCIA DEL MOTOR, SOBRE LOS EJES HORIZONTAL, TRANSVERSAL Y VERTICAL.

DIAGRAMA:



PROCEDIMIENTO:

SE HACE GIRAR EL MOTOR A LAS VELOCIDADES INDICADAS, SE DEBEN REGISTRAR LAS LECTURAS DE LOS DECIBELIMETROS EN LAS DOS ESCALAS.

RESULTADOS:

SE ANEXA HOJA DE RESULTADOS (PRUEBA TIPO No. 1).

3.14 PRUEBA DE IMPACTO.

OBJETIVO:

VERIFICAR QUE EL MOTOR NO SUFRA DAÑO ALGUNO AL --
REALIZAR ESTA PRUEBA CON LO CUAL SE GARANTIZA LA-
ADECUADA CONSTRUCCION DE LA MAQUINA.

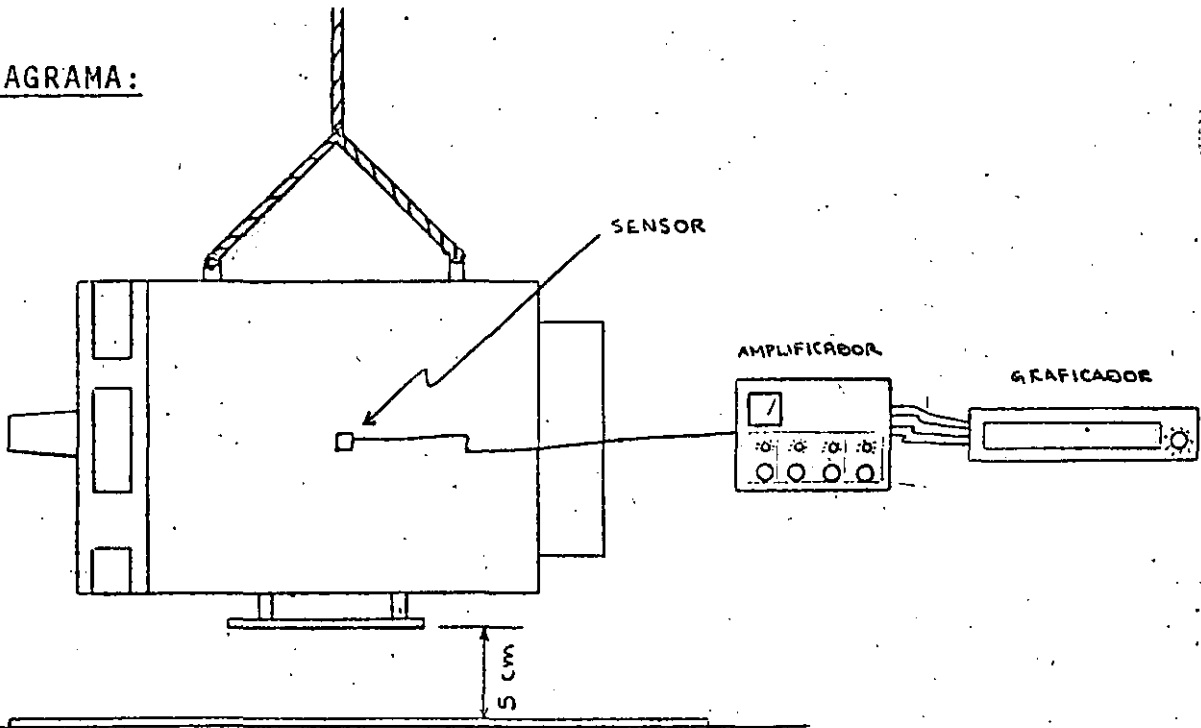
EQUIPO:

SENSOR (VIBROMETRO).
AMPLIFICADOR.
GRAFICADOR.

CONDICIONES:

EL MOTOR SE DEJA CAER DESDE UNA ALTURA DE 5 CM.,-
SOBRE UNA PLACA DE ACERO.

DIAGRAMA:



PROCEDIMIENTO:

- EL MOTOR SE DEJA CAER, A LA ALTURA INDICADA DURANTE CUATRO OCASIONES.
- SE DEBERAN TOMAR LAS GRAFICAS DE LAS CUATRO CAIDAS.

RESULTADO:

- EL MOTOR DEBERA DE REGISTRAR COMO MINIMO UNA -- ACCELERACION DE 9 G.
- NO DEBERA DE PRESENTAR DEFORMACION O DAÑO ALGUNO DEL CONMUTADOR Y RODAMIENTOS.

3.15 MEDICION DE FLUJO DE AIRE.

OBJETIVO:

EL OBJETIVO DE ESTA PRUEBA ES LA DE DETERMINAR EL GASTO DE AIRE DE VENTILACION Y VERIFICAR EL REGIMEN DE ENFRIAMIENTO DE LA MAQUINA.

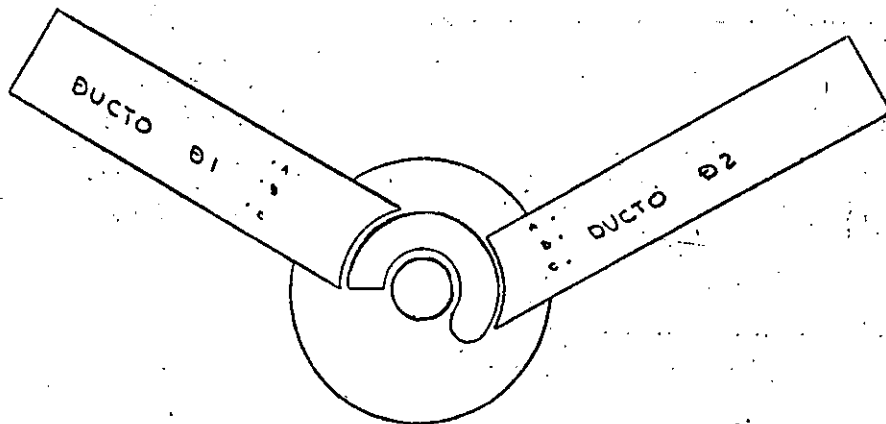
CONDICIONES:

- EL MOTOR DEBERA ESTAR DESACOPLADO.
- EL MOTOR SE GIRARA A 1000, 2000, 3000 Y 4000 R. P.M.

EQUIPO:

- FUENTE PARA PRUEBA DE VACIO.
- 2 DUCTOS DE AIRE.
- ANEMOMETRO.

DIAGRAMA:



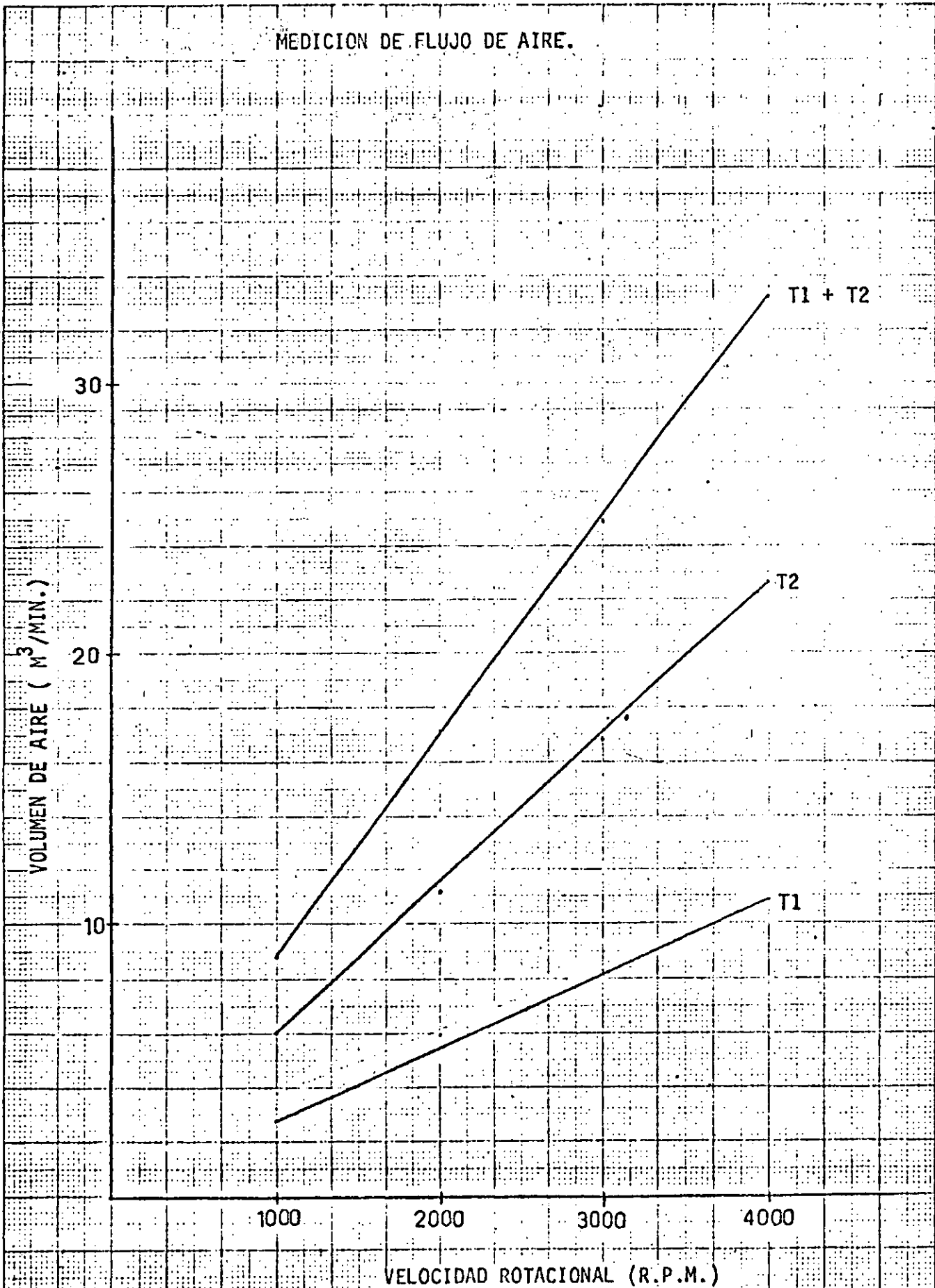
PROCEDIMIENTO:

- SE COLOCAN LOS DUCTOS DE AIRE EN LAS ENTRADAS DEL FILTRO DE AIRE DEL MOTOR.
- SE HACE GIRAR EL MOTOR A LAS VELOCIDADES INDICADAS.
- EN CADA UNA DE LAS VELOCIDADES DEL MOTOR, SE MIDE LA VELOCIDAD DEL AIRE EN CUATRO PUNTOS DIFERENTES DEL DUCTO.
- SE PROCEDE A HACER LOS CALCULOS DEL VOLUMEN DE AIRE DE ENFRIAMIENTO, EN BASE DEL AREA DEL DUCTO.

$$Q = (60)(\text{AREA})(\text{VELOCIDAD M/SEG.})$$

RESULTADO: SE ANEXA HOJA DE PRUEBA TIPO.

MEDICION DE FLUJO DE AIRE.



BIBLIOGRAFIA

62

PRINCIPIOS DE CONVERSION DE ENERGIA ELECTROMECHANICA - MEISEL.

MAQUINAS ELECTRICAS - E. LUCA.

PRINCIPIOS DE MQS. DE CORRIENTE CONTINUA - LANGSDORF

MAQUINAS ELECTRICAS Y TRANSFORMADORES - KOSOW.

MAQUINAS DE CORRIENTE CONTINUA - MICHAEL LIWSCHITZ-GARIK.



DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

DISEÑO Y FABRICACION DE EQUIPO ELECTRICO

ANEXO

ING. RENE FLORES

OCTUBRE, 1985



PARA USO INTERNO

1. CONCEPTOS PREVIOS, ATOMOS, MOLECULAS E IONES.

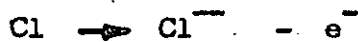
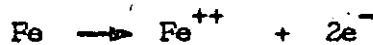
En los átomos neutros el número de partículas positivas (protones) del núcleo iguala al de partículas negativas (electrones) que giran alrededor del núcleo.

Sin embargo, se puede conseguir que uno o varios electrones salgan de su órbita en el átomo. Habremos conseguido un átomo con menos cargas negativas que positivas. Tenemos así un ión positivo. Por ejemplo, un átomo de hierro Fe si pierde dos electrones se convierte en el ión Fe^{++} .

Del mismo modo un átomo que recibe uno o varios electrones pasa a ser un ión negativo. Por ejemplo el Cloro Cl se convierte en Cl^{-} .

Aunque un átomo y un ión siguen siendo el mismo elemento, su forma de reaccionar químicamente y sus propiedades físicas cambian por completo.

Estas reacciones de ionización se escriben:

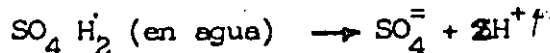


Aunque es más real escribir para la segunda reacción:



Lo que se ha dicho para los átomos vale también para las moléculas y es especialmente interesante cuando un compuesto químico se diluye en agua.

Así, una molécula de ácido sulfúrico en agua se ioniza y pasa de $SO_4 H_2$ a SO_4^{-} y $2H^{+}$. El ión H^{+} es un ión ácido y SO_4^{-} es el ión sulfato.



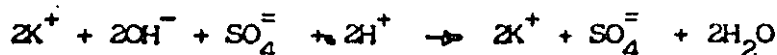
2. REACCION QUIMICA.

Una reacción química es un fenómeno producido por la acción de los electrones de unas moléculas ionizadas o no con otras produciendo nuevas moléculas distintas de las anteriores.

Por ejemplo, una molécula de ácido sulfúrico en agua se ioniza en SO_4^{-} y $2H^{+}$. Una molécula de potasa (hidróxido de potasio) se ioniza formando K^{+} y OH^{-} según



Puestos en contacto SO_4 , H_2 y KOH en agua tenemos



Al principio teníamos iones H^+ (ácidos) y OH^- (básicos o alcalinos). Ahora han desaparecido para formar agua.

3. ENERGIA DE UNA REACCION.

Ciertos átomos o moléculas tienen una gran facilidad para ionizarse y otros tienen una gran dificultad, habiendo también una serie de casos intermedios.

Por ejemplo el flúor (F) no existe en la naturaleza sino que lo que hay es F^- (ión flúor).

Por el contrario el oro (Au) es muy difícil de ionizar para formar Au^{+++} , por eso el oro es muy estable y el flúor muy inestable.

Toda reacción química supone un paso de un nivel de energía a otro.

Hay reacciones que desprenden energía (exotérmicas) y otras que no se verifican si no aportamos energía, es decir, absorben energía (endotérmicas).

En cualquier caso hay una variación del nivel de energía en una reacción. Esa energía suele ser calorífica pero en ciertos casos se puede aprovechar una parte como energía eléctrica teniendo en cuenta el intercambio de electrones mencionado.

4. OXIDACION Y REDUCCION.

En los procesos de ionización mencionados siempre hay un intercambio de electrones.

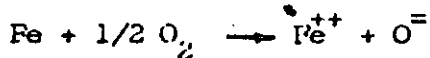
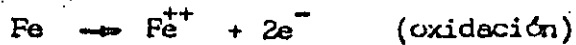
Un átomo o una molécula se oxida cuando pierde electrones.

Un átomo o molécula se reduce cuando gana electrones.

Cualquier fenómeno de oxidación supone uno de reducción ya que el cuerpo que se reduce recibe electrones del que se oxida y viceversa.



Por ejemplo, el hierro Fe en contacto con el oxígeno O_2 se oxida a costa del oxígeno que se reduce.



Ambos iones se atraen y forman una nueva molécula FeO (óxido de hierro).

En los casos de disolución en agua es muy frecuente que esa atracción no resulte en la formación de nuevas moléculas neutras.

Por ejemplo en 2. veamos como resultado de la reacción $2K^{+} + SO_4^{=}$ que podríamos pensar que forman SO_4K_2 (sulfato potásico). Sin embargo no ocurre así y ambos iones quedan en el agua independientemente. Esto se debe al especial carácter dipolar del agua, que aquí no trataremos.

5. ENTALPIA LIBRE Y POTENCIAL DE OXIDACION-REDUCCION.

Como decíamos en 3. existe una tendencia de cualquier cuerpo químico a participar en una reacción de oxidación-reducción, es decir, a oxidarse o a reducirse y esa tendencia se manifiesta en forma de una energía desprendida o absorbida en dicha reacción. La entalpia libre o energía libre (ΔG) es una medida de dicha tendencia y se expresa en calorías.

Otro modo de expresar esta facilidad de reacción es el potencial de oxidación.

Potencial de oxidación y entalpia libre están relacionados.

$$\Delta G = - nFE$$

n y F son parámetros y E es el potencial en voltios. No se olvide que el potencial es un trabajo (o energía) por unidad de carga eléctrica.

Por lo tanto el potencial de oxidación es una medida de la facilidad de oxidación de un cuerpo y expresa de algún modo la energía que absorbe o que disipa para efectuar esa oxidación.

Se ha establecido un potencial cero de referencia que es el de la oxidación del hidrógeno.





Por lo tanto cualquier potencial se da en realidad como una diferencia de potencial con respecto al hidrógeno.

Cada reacción de oxidación tiene un potencial positivo o negativo según sea mayor o menor que el del H_2 . El potencial de reducción es igual pero de signo contrario.

Hay tablas donde se pueden encontrar esos potenciales expresados en voltios.

6. REACCION ELECTROQUIMICA, POTENCIAL ELECTROQUIMICO.

Una reacción electroquímica es aquella en la que la reacción de oxidación ocurre en un lugar diferente del de la de reducción y se produce una corriente eléctrica como consecuencia del paso de electrones propio de la reacción.

Cada reacción parcial tiene su propio potencial con respecto al hidrógeno.

Como no es fácil disponer de un electrodo de hidrógeno, puede usarse otro cuerpo cuyo potencial respecto al hidrógeno sea conocido y que no intervenga en la reacción. Esto permite el uso de un electrodo auxiliar que nos permite medir los potenciales de cada reacción aislada.

Sin embargo, lo mas normal es considerar la reacción global de oxidación-reducción. Aquí el potencial de la reacción total es el potencial electroquímico y es la diferencia entre el de la reacción parcial de oxidación y el de la reacción parcial de reducción.

Por ejemplo, en un acumulador de Ni-Cd que tenga un potencial del orden de 1,35 V los potenciales parciales de las dos reacciones de los electrodos positivo y negativo son 1,85 V y 0,50 V respectivamente respecto a un electrodo auxiliar de cinc (Zn) en contacto con el electrólito. La diferencia entre dichos potenciales es 1,35 V.

7. RENDIMIENTO ELECTROQUIMICO.

En una reacción electroquímica efectuada en el sentido de la descarga se manifiesta una energía en forma de energía eléctrica y otra en forma de energía calorífica que se pierde en el medio ambiente.

La energía total se denomina entalpia, la aprovechable o útil es la entalpia libre y la que se pierde en calor viene representada por la entropia. En realidad esto es una explicación no rigurosa de un fenómeno mas complejo.



El potencial electroquímico, en términos más exactos, representa el cambio de entalpía libre (o trabajo útil) cuando se reacciona químicamente un mol de un cuerpo a temperatura y presión constante.

El rendimiento electroquímico es la razón de la entalpía libre al cambio de entalpía.

En un acumulador hay una reacción química total de oxidación-reducción en un sentido y la contraria de reducción-oxidación en el sentido contrario. Es una reacción reversible.

Un sentido es el de "descarga", en el que la reacción es exotérmica, desprendiendo calor y produciendo energía eléctrica.

Otro sentido es el de "carga" en el que la reacción es endotérmica absorbiendo calor y recibiendo energía eléctrica. En esta reacción endotérmica no suele advertirse esa absorción de calor (y por tanto enfriamiento) debido a que el paso de la corriente de carga produce un calor mayor debido a la resistencia interna del acumulador.

8. EL ACUMULADOR NIFE, REACCIÓN QUÍMICA.

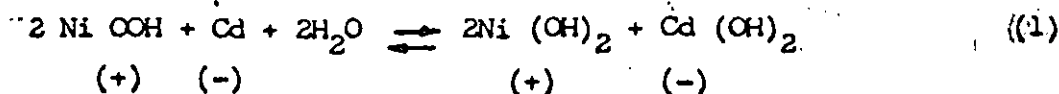
En el acumulador NIFE, cuando está cargado tenemos:

- Electrodo positivo : hidróxido oxidado de níquel : Ni OOH
- " negativo : cadmio : Cd

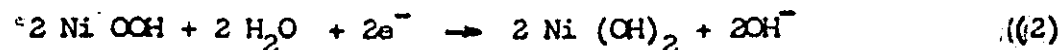
En la reacción de descarga obtenemos:

- Electrodo positivo : hidróxido de níquel Ni (OH)₂
- " negativo : hidróxido de cadmio Cd (OH)₂

En resumen, la reacción es:



La reacción parcial de reducción es la que ocurre en el electrodo positivo.



La reacción parcial de oxidación es la que ocurre en el electrodo negativo





En el electrodo positivo se reciben dos electrones que se han expulsado en el negativo. Esos electrones pasan de uno a otro electrodo por un circuito produciendo corriente eléctrica.

Veáse como sumando (2) y (3) algebraicamente se obtiene (1)..

En la reacción de carga ocurre el proceso inverso.

El potencial de un electrodo con respecto al otro es de 1,36 V, tanto en carga como en descarga, aunque este valor es teórico como se ve a continuación.

9. POLARIZACION Y SOBRETENSION.

Todos conocemos el hecho de que al descargarse un acumulador la tensión disminuye con el tiempo y con la intensidad de descarga influyendo una serie de factores como el tipo de placa, la temperatura, etc.

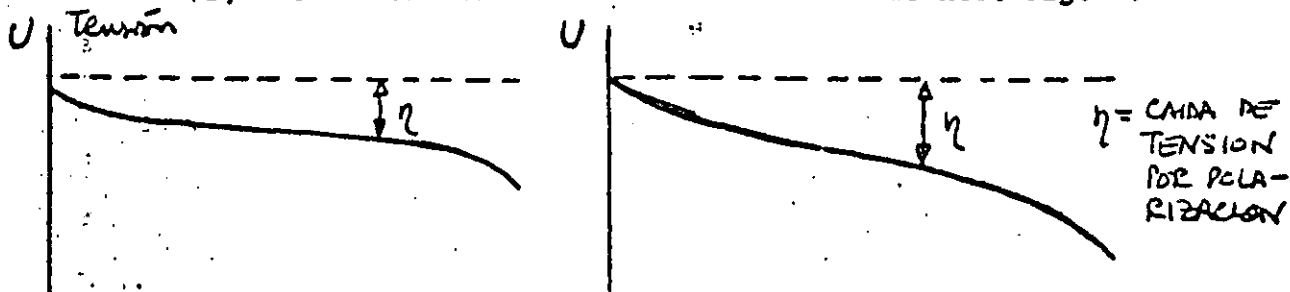
Ante este fenómeno surgen una serie de preguntas como, por ejemplo, el por qué disminuye la tensión paulatinamente a medida que se descarga un acumulador, o bien por qué sube cuando está en carga. Estos fenómenos se estudian a continuación.

Cuando una corriente pasa a través de un elemento electroquímico se generan fuerzas que se oponen a dicha corriente. Su manifestación se llama polarización.

Por lo tanto, al descargarse un acumulador, la polarización hace que la tensión baje. Al mismo tiempo, al cargarse un acumulador, hay que darle una sobretensión para vencer esas "fuerzas" de polarización. Ambos fenómenos, caída de tensión y sobretensión, obedecen a las mismas causas englobadas en la llamada polarización.

En el proceso de carga interviene también la formación de gases y se produce una sobretensión aún mayor.

Se puede afirmar que la polarización varía con la corriente que pasa por el acumulador, mas exactamente con la densidad de corriente. Fig. 1.

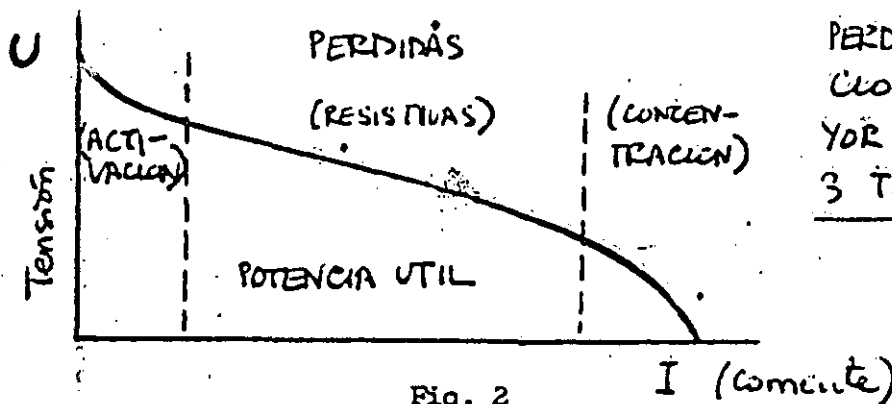


10. TIPOS DE POLARIZACION.

La polarización se produce por varias causas agrupadas en tres tipos:

- Polarización de activación a - (limitación de transferencia de carga)
- " " concentración c - (limitación de transferencia de masa)
- " ohmica

La polarización que mas influye es la de activación cuando la corriente es pequeña y la de concentración para corrientes grandes mientras que para valores medios la ohmica es la más importante. Fig. 2



PERDIDAS POR POLARIZACION: - ZONAS DE MAYOR INFLUENCIA DE LOS 3 TIPOS DE POLARIZACION

Fig. 2

I (Corriente)

11. POLARIZACION DE ACTIVACION

Es la producida por el esfuerzo que tiene que hacer un ión para pasar de una fase a otra (por ejemplo de un electrodo al electrolito) debido a una barrera energética que existe en la interfase. Podríamos decir que es una especie de inercia al comenzar la reacción.

Este fenómeno es general en química. Puede ocurrir que exista una gran tendencia a que se produzca una reacción pero para comenzarla haya que salvar una barrera de energía. Un ejemplo de esto es la combustión de un gas como el metano, que tiene gran tendencia a reaccionar con el oxígeno. Sin embargo hace falta provocar la reacción con una cerilla, por ejemplo.

12. POLARIZACION DE CONCENTRACION

Cuando se está produciendo una reacción en el acumulador hay un transporte de iones, por ejemplo OH^- , en el electrolito. Estos iones llegan al electrodo (placa) correspondiente en una cierta cantidad por segundo.

Este transporte se produce por dos mecanismos:



- migración debido a la diferencia de potencial eléctrico que existe, es decir, por motivos eléctricos.
- difusión debido a una diferencia de concentración que ocurre en la interfase electrodo-electrolito debido a la sucesiva eliminación de iones OH^- en la reacción.

Este fenómeno se observa en cualquier solución, por ejemplo. Si en un extremo de la vasija donde está la solución se produce una disminución de soluto, se va produciendo como consecuencia un transporte de moléculas de soluto de las partes más densas a la que ha perdido parte de su concentración. Ese fenómeno es la difusión.

Supongamos que la reacción química se produce de un modo rápido (con intensidad de corriente grande). A la placa no le llegan suficientes iones OH^- para compensar la pérdida propia de la reacción y por tanto esta queda frenada. La polarización por concentración es más sensible para corrientes elevadas.

Con una cierta corriente, la concentración de iones en el seno del electrolito es C_E y la de la interfase es C_{IN} . Si aumenta la corriente por encima de la velocidad de difusión, C_{IN} llegará a ser cero.

$$i = i_{\text{migr}} + i_{\text{dif}} = K(C_E - C_{IN})$$

y llegamos a una intensidad límite en la que $C_{IN} = 0$.

La diferencia de concentración C_E y C_{IN} produce un potencial que está en oposición con el normal del electrodo.

Este potencial produce la polarización de concentración.

13. POLARIZACION OHMICA.

Es el potencial producido por la resistencia eléctrica que presentan el electrolito, las películas de óxido, las capas de gas, etc.

Así como las otras dos polarizaciones varían con el tiempo de descarga (o carga), esta es independiente. (ver fig. 10.2.7b)

Por otra parte la polarización óhmica es lineal ya que obedece a la ley de Ohm = a más corriente más caída de tensión (en la descarga) o más elevación necesaria de la tensión en la carga.

14. IMPEDANCIA INTERNA TOTAL.

La suma de todas las pérdidas por polarización constituye la llamada impedancia interna de un acumulador. De otro modo, es la función que, representada en unas coordenadas, nos daría la curva de descarga (o la de carga sin tener en cuenta la gasificación final).



Es muy difícil obtener dicha función por métodos analíticos por lo que se recurre a métodos experimentales y a su cálculo a través de un ordenador.

Shepard ha propuesto la fórmula:

$$E = E_s - K \frac{Q}{Q-it} i - Ni + A \exp\left(-\frac{B}{Q} it\right)$$

E es la tensión en voltios, E_s es una constante de tensión, K incluye las constantes de polarización de activación Q equivale a la capacidad útil del electrodo que tiene menos capacidad (el positivo), N es una constante de polarización óhmica, A y B son constantes empíricas, i es la densidad de corriente y t es el tiempo.

15. SOBRTENSION EN LA CARGA. GASIFICACION.

Ya hemos dicho que para que se verifique la reacción de carga hay que hacer un aporte de energía eléctrica.

La tensión debe ser superior a la de circuito abierto debido a que hay que vencer las "fuerzas" que se oponen a dicha reacción, es decir, a la polarización.

Sin embargo existe un fenómeno que tiene lugar en cantidad apreciable hacia el final de la carga y es la producción de gases en la superficie de los electrodos. Este fenómeno trae como consecuencia una elevación aún mayor de la tensión.

La gasificación se produce cuando la corriente de carga (electrones) empieza a no encontrar fácilmente moléculas o iones con los que reaccionar debido a que ya han reaccionado la mayor parte o bien todos al final del proceso de carga. Entonces se produce un fenómeno de electrólisis (Fig.3).

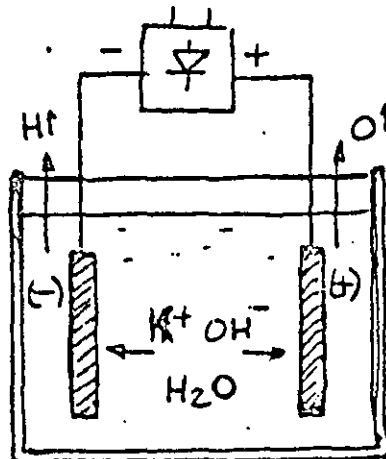


Fig. 3



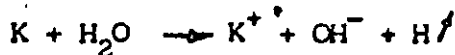
El proceso es el siguiente:

Tenemos K^+ y OH^- y agua en el electrólito.

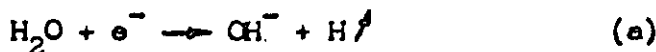
En el electrodo negativo hay un exceso de electrones que vienen del positivo a través del cargador. Los iones K^+ se sienten atraídos por el electrodo negativo y reciben un electrón.



Pero el K neutro es inestable y reacciona inmediatamente con el agua (de hecho ni siquiera llega a formarse).

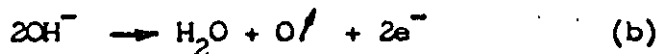


Sumando algebraicamente tenemos la reacción del electrodo positivo



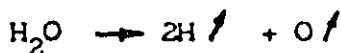
Por tanto se desprende hidrógeno

En el electrodo positivo se reciben iones OH^- que sueltan su carga negativa (electrones) según



con desprendimiento de oxígeno

Multiplicando (a) por 2 y sumando algebraicamente tenemos



Estas reacciones (a) y (b) tienen también su potencial electroquímico, además del potencial extra necesario para atravesar la capa de burbujas de oxígeno e hidrógeno que se forman en la interfase electrodo-electrólito.

Por estas razones al producirse la gasificación aumenta la tensión en el acumulador y el cargador debe tener la posibilidad de poder suministrar corriente a esta tensión alta para que el proceso de carga se termine correctamente.

Parece ser que la producción de hidrógeno es la que determina principalmente la elevación de la tensión de carga aunque yo no se cual es el motivo de que sea precisamente el H_2 el causante de esta sobretensión.

La energía perdida en la electrólisis del agua hace que el rendimiento de la carga sea bastante malo, y sobre todo en la parte final de la carga.



Lógicamente, esta electrólisis produce una disminución del volumen de electrólito y trae como consecuencia la necesidad de reponer el nivel original con agua destilada.

16. INFLUENCIA DE VARIOS FACTORES EN LAS CARACTERÍSTICAS DE CARGA.

Ahora podemos explicarnos mejor el cómo y el por qué de la influencia de varios factores en la carga de un acumulador NIFE.

a) Influencia de la intensidad.

Cuanto mayor sea la intensidad de carga mas intensa y rápida es la reacción de carga.

Al llegar a la fase final se produce una gasificación también mas intensa y la producción de gases es mayor. La tensión subirá más.

Si la corriente de carga es muy grande, ya desde el principio se produce la gasificación y la tensión puede llegar hasta 2 V por elemento.

b) Influencia de la temperatura.

La temperatura alta acelera la mayor parte de las reacciones químicas, y en concreto la de los acumuladores NIFE.

Con temperaturas bajas "cuesta" mas reaccionar y se necesita "ayudar" a la reacción subiendo mas la tensión.

Con temperaturas altas ocurre lo contrario: la tensión sube menos.

Si la resistencia interna del elemento es menor la polarización es lógicamente menor (polarización óhmica).

Luego la tensión no tiene por qué subir tanto. Por eso la tensión de carga de la serie HI es menor que la de la serie KA.

17. AUTODESCARGA.

Un elemento alcalino pierde su carga cuando se mantiene en vacío durante un tiempo prolongado.

Este fenómeno ocurre también en el acumulador de plomo e incluso con bastante mas intensidad.

Las causas de este proceso son principalmente las siguientes:

- Recristalización y cambio de las materias activas, especialmente en la interfase electrodo-electrólito. Esto da lugar a una disminución de la superficie de contacto eléctrico.



- Inestabilidad de algunos compuestos de las placas positivas, como los hidróxidos de níquel de valencia 3, que dan lugar a una pequeña formación de oxígeno.
- Pequeña reacción de níquel metálico de las placas negativas con el oxígeno del aire disuelto en el electrolito.
- Formación, en ciertos casos, de contactos metálicos directos de alta resistencia.
- Disolución de pequeñas cantidades de ciertas especies de una placa que descargan la placa contraria.

Todos estos fenómenos producen la autodescarga. En ella influyen ciertos factores como la temperatura que al aumentar hace que la autodescarga aumente fuertemente, el número de placas (mayor autodescarga en un elemento HI que en un KA), existencia de separadores (en los elementos NICA la autodescarga es muy superior a la de los NIFE), etc.

18. CAIDA DE TENSION DESPUES DE LA CARGA.

Si al terminar la carga de un elemento NIFE se le deja en vacío se produce una caída de tensión lenta hasta la tensión de equilibrio en vacío.

Lógicamente, si al terminar la carga se procede a dar una descarga, la caída de tensión es inmediata.

La caída de tensión que estudiamos aquí es la del primer caso, es decir, cuando el elemento queda en vacío.

Esta caída de tensión es función de las llamadas "capas dobles" entre los electrodos sólidos y el seno del electrolito, ya mencionadas al hablar de la polarización de concentración.

Esta capa doble consta de una capa interna que contiene iones, moléculas de gas, especies inertes, todo fijado por adsorción y una capa externa (difusión).

Al romperse estas capas cae el potencial. Al terminar la carga las capas externas caen inmediatamente mientras que las internas lo hacen lentamente.

Una fórmula de la caída de tensión es:

$$E = E_0 - b_t \log \frac{1+t}{t_0}$$

E_0 es la tensión al terminar la carga, b_t es un parámetro que depende de la temperatura y t es el tiempo.



Esta descripción trata del acumulador de plomo aunque de un modo no completo. Hay bastantes puntos que no se mencionan por ser ya conocidos.

Para hacer esta descripción se ha usado el libro "Storage batteries" de G.W. Vinal, información interna de NIFE y datos de catálogos de varios fabricantes.

<u>SUMARIO</u>	<u>Página</u>
1. REACCION QUIMICA.	3
2. ENERGIA ELECTRICA EN EL ACUMULADOR.	4
3. MATERIALES Y PARTES DEL ACUMULADOR.	5
3.1. Plomo.	5
3.2. Plomo antimoniado.	5
3.3. Plomo-calcio.	5
3.4. Oxidos de plomo.	6
3.5. Expanders.	6
3.6. Placas empastadas.	6
3.7. Placas tubulares.	6
3.8. Placas Planté.	7
3.9. Carga en seco.	7
3.10. Electrólito. Propiedades.	7
a) Contracción de la solución.	
b) Resistividad.	
c) Punto de congelación.	
d) Presión de vapor.	
e) Viscosidad.	
3.11. Electrólito. Densidad y su medida.	8
3.12. Electrólito. Impurezas y sus efectos.	9
a) Acción local.	
b) Efectos sobre las placas negativas.	
c) Efectos sobre las placas positivas o sobre ambas.	
d) Aditivos.	
3.13. Separadores.	11
3.14. Vasos.	11
3.15. Válvulas.	12
4. CAPACIDAD.	12
4.1. Cantidad de materia en el elemento.	12
4.2. Limitaciones prácticas al uso de materia	12
4.3. Descargas sucesivas.	13
4.4. Efecto de la temperatura en la capacidad.	13
4.5. Efecto de la concentración de electrólito en la capacidad.	14
4.6. Porosidad de las placas.	14
4.7. Variaciones de la capacidad durante la vida.	14



Página

5. CARGA.

- 5:1. Tensión final de carga. 51
- 5:2. Carga de igualación. 51
- 5:3. Carga de mantenimiento y de flotación. 61
- 5:4. Gasificación y aumento de la densidad. 61

6. POSIBLES PROBLEMAS Y SUS CAUSAS.

- 6.1. Placas sulfatadas. 17
- 6.2. Corrosión de las rejillas. 18
- 6.3. Cortocircuitos. 18
- 6.4. Placas positivas alabeadas. 19
- 6.5. Placas positivas crecidas de tamaño. 19
- 6.6. Materia negativa contraída. 19
- 6.7. Materia positiva desprendida. 20
- 6.8. Materia activa gastada. 20
- 6.9. Borde superior de las placas con plomo esponjosos. 20
- 6.10. Inversión. 20
- 6.11. Fallo de los separadores. 20
- 6.12. Electrólito por debajo de las placas. 20
- 6.13. Impurezas en el electrólito. 20
- 6.14. Congelación. 20
- 6.15. Vasos rotos. 20
- 6.16. Explosión. 22

7. PRUEBA DE CAPACIDAD Y DEL ESTADO DE LAS PLACAS.

- a) Vacuidad. 22
- b) Prueba de vapor. 22
- c) Punto de congelación. 22
- d) Contracción de la solución. 22
- e) Reactividad. 22
- 3.11. Electrólito. Limpieza y su estado. 22
- 3.12. Electrólito. Limpieza y su estado. 22
- a) Acción local. 22
- b) Efectos sobre las placas positivas. 22
- c) Efectos sobre las placas negativas. 22
- d) Activas. 22
- 3.13. Separadores. 22
- 3.14. Vasos. 22
- 3.15. Ventanas. 22

PARA USO INTERNO1. REACCION QUIMICA.

El acumulador de plomo es un sistema electroquímico en el que se produce una reacción de oxidación-reducción reversible entre los materiales situados en los electrodos positivo y negativo situados en el seno de un electrólito conductor que interviene en la reacción, siendo los materiales de los electrodos plomo y compuestos de plomo y el electrólito ácido sulfúrico diluido en agua.

Los electrodos están formados por un conjunto de placas sumergidas en el electrólito todo lo cual se aloja en un vaso. El conjunto se denomina elemento. Un conjunto de elementos forma una batería.

En un sentido la reacción desprende energía y en el otro la absorbe. Parte de esta energía se manifiesta en forma de corriente eléctrica.

Quando la batería está cargada tenemos los siguientes materiales en las placas:

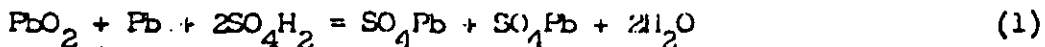
Placa + = dióxido de plomo PbO_2
Placa - = plomo puro Pb

Quando la batería está descargada tenemos:

Placa + = sulfato de plomo SO_4Pb
Placa - = sulfato de plomo SO_4Pb

Parte del ácido sulfúrico (SO_4H_2) interviene en la reacción y otra parte actúa como conductor.

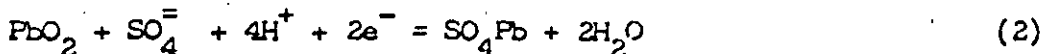
Esta reacción es:



P1+ P1- electr. P1+ P1- electr.

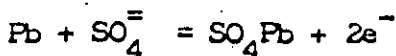
Haciendo un análisis mas a fondo de esta reacción tenemos:

En la placa positiva, la reacción de descarga es:



es decir, el plomo de valencia +4 pasa a tener valencia +2 y por tanto se reduce (véase DT-1.061 - comportamiento electroquímico de un acumulador NIFE, pg.1 a 5). Al mismo tiempo la placa recibe 2 electrones por cada molécula de PbO_2 .

En la placa negativa la reacción de descarga es:



el plomo pasa del estado metálico (valencia 0) a tener valencia +2 (se oxida). La placa desprende 2 electrones. Estos electrones los recibe la positiva pero para ello hace falta que se cierre un circuito entre las dos.



Se aprecia inmediatamente que el electrolito participa en la reacción química. En la reacción de descarga el ácido sulfúrico se convierte en sulfato de plomo que se deposita en las placas y se forma agua. En la reacción de carga ocurre lo contrario.

Por lo tanto es lógico pensar que la densidad del electrolito variará con el desarrollo de la reacción ya que varía la concentración de ácido.

Mientras se verifica la reacción química en el seno del electrolito no hay un flujo de electrones propiamente dicho pero hay un flujo de iones, concretamente de iones H^+ que van del electrolito a la placa + y de iones SO_4 que van a la + y a la - (en la reacción de descarga).

2. ENERGIA ELECTRICA EN EL ACUMULADOR

Al existir una reacción de oxidación-reducción hay unos potenciales electroquímicos relacionados con las dos reacciones de las placas.

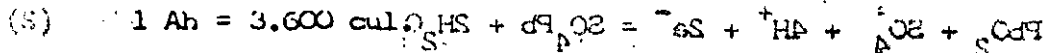
Concretamente, el potencial de las positivas es 1,685 V y el de las negativas 0,356 V siendo el total de la reacción 2,041 V que se denomina fuerza electromotriz del acumulador de plomo.

Esta FEM coincide con la tensión de vacío del acumulador y varía ligeramente con la temperatura y la concentración del electrolito.

La tensión en bornas en descarga o en carga no coincide con el valor dado que se produce el fenómeno de la polarización descrito en la misma. En descarga la tensión es menor y en carga es mayor.

La energía eléctrica desarrollada en la descarga es $Q \cdot E$ donde Q es la carga eléctrica y E es la fem y Q la carga eléctrica del acumulador.

La carga eléctrica se mide en culombios pero usualmente se usa la unidad "amperio-hora". En la pila positiva, la reacción de descarga es:



La cantidad Q es proporcional al peso de materia activa. Esta proporcionalidad se basa en la ley de Faraday según la cual en una reacción electroquímica se consigue una cantidad de electricidad de 96500 cul. por cada equivalente-gramo del reactivo más escaso.

Hay que recordar que el peso de un equivalente gramo es el peso molecular dividido por la valencia.

Por ejemplo el plomo metálico que pasa a Pb^{++} en la placa negativa. El peso molecular es 207 (coincide en este caso con el peso atómico) y la valencia es 2 : el peso del equivalente-gramo es $207/2 = 103,5 g$.



Luego la reacción de 103,5 g de plomo dan lugar a 96500 culombios o 26,8 Ah.

Para hacer un estudio energético a fondo habría que hacer un estudio termodinámico que ahora no lo consideramos de interés.

3. MATERIALES Y PARTES DEL ACUMULADOR DE PLOMO.

3.1. Plomo.

El plomo se emplea en el acumulador por ser un reactivo fundamental ya sea puro, ya en forma de dióxido.

El plomo no es atacado por el ácido sulfúrico frío de densidad inferior a 1,7 aunque cuando no es puro puede haber un efecto de corrosión. El plomo de acumuladores debe ser lo más puro posible.

3.2. Plomo antimoniado.

El antimonio se añade al plomo formando una aleación. La proporción varía del 5 al 12%.

El plomo antimoniado se emplea como material para hacer las rejillas o cualquier parte que sirva de soporte y conductor, es decir, que no forma parte de la materia activa.

Las razones para añadir antimonio al plomo de los soportes son:

- a) el material fluye mejor en los moldes.
- b) la aleación produce piezas moldeadas de formas más definidas.
- c) la aleación está menos sujeta a "formación electroquímica" y se puede usar como soporte de la materia activa sin que pierda su resistencia mecánica al no sufrir procesos de formación.
- d) el antimonio aumenta la dureza del plomo y su resistencia a la tracción.
- e) el coeficiente de dilatación de la aleación es menor que el del plomo puro.

Más adelante se explica como el antimonio de las rejillas de las placas positivas sufre la acción del electrolito y se forma sulfato que se reduce en las negativas produciendo antimonio sobre ellas. Este antimonio produce reacciones locales de descarga (acción local) que influyen en la autodescarga. (Véase "Electrolito. Efectos de varias impurezas").

3.3. Plomo-calcio.

Consiste en sustituir el antimonio por el calcio con lo que la autodescarga disminuye fuertemente y por tanto, si la batería trabaja en flotación, la corriente de carga de mantenimiento es muy pequeña lo que produce un consumo de agua muy bajo.

La cantidad máxima de calcio no debe exceder de 0,1%.



Se han encontrado ciertas dificultades en conseguir aleaciones homogéneas debido a la volatilidad del calcio a altas temperaturas. Si la proporción de calcio es mayor de 0,1% las placas positivas aumentan de tamaño en proporción al exceso de calcio.

Sobre las características y uso de estas baterías de plomo-calcio se escribirá un informe mas adelante.

3.4. Oxidos de plomo.

Cuando el plomo reacciona con el oxígeno en las condiciones habituales se forma óxido plumboso (PbO). Si se consigue una oxidación mas enérgica se obtiene Pb_3O_4 llamado normalmente minio. En las condiciones de oxidación mas intensa, es decir, por medios electroquímicos, se consigue el óxido plúmbico (PbO_2) llamado también dióxido de plomo o a veces peróxido de plomo.

El óxido de plomo PbO se usa en las placas empastadas como materia activa sin formar. Al efectuar la formación se oxida a PbO_2 y cambia de color pasando de amarillo a marrón oscuro (chocolate). En las placas empastadas negativas se produce el fenómeno contrario, el óxido PbO pierde oxígeno (se reduce) y se convierte en plomo puro durante la formación.

3.5. Expanders.

Son sustancias que se añaden a la pasta de las placas negativas para hacer que el plomo resultante sea poroso.

Se usa el sulfato de bario y ciertos extractos de la madera.

Basta un 1 ó 2% para aumentar la capacidad de las placas negativas varias veces.

3.6. Placas empastadas.

De manera muy resumida podemos decir que las placas empastadas están formadas por una rejilla de plomo antimoniado y una pasta que antes de su formación es óxido de plomo PbO y que después de dicha formación eléctrica se convierte en PbO_2 en las placas positivas y Pb puro en las negativas, tal como se ha mencionado.

El proceso de formación significa conectar las placas que van a ser positivas al ánodo y las que van a ser negativas al cátodo, usando ácido sulfúrico diluido, y hacer pasar la corriente en el sentido de carga y descarga sucesivamente.

Para mas detalles se puede consultar la descripción hecha sobre baterías de plomo por Ostolaza en Bilbao.

3.7. Placas tubulares.

En las placas empastadas, como generalmente en todo acumulador, las positivas tienen una vida mas reducida y por tanto conviene reforzarlas de algún modo.



Para ello se usan las placas positivas tubulares compuestas de unas varillas de plomo antimoniado que sirven de alma a unos tubos de nylon perforado en los que se aloja la materia activa positiva.

La vida de las placas positivas se dobla con este sistema.

Las baterías con estas placas se emplean para tracción y también como baterías estacionarias.

3.8. Placas Planté.

Las materias activas de las placas planté se derivan del cuerpo mismo de las placas mediante la formación eléctrica en vez de añadirse en forma de pasta.

Las placas positivas son las propiamente denominadas "planté" y consisten en unas rejillas muy finas de plomo puro de manera que la superficie real de la placa sea unas 8 veces mayor que la aparente.

Las placas negativas que tienen una armadura de plomo antimoniado mientras que el interior es de plomo puro formando bolsas en las que se encuentra la materia activa.

En el proceso de formación el plomo puro de las placas + se oxida mientras que en las negativas se obtiene plomo puro reducido.

Una variante consiste en usar placas empastadas como negativas.

La duración de las placas planté (+) es de unos 10 años mientras que las negativas de celda pueden durar 20.

3.9. Carga en seco.

Si una batería cargada se vacía de su electrolito no ocurre nada de importancia en sus placas positivas puesto que están completamente oxidadas pero sí en las negativas ya que son de plomo muy esponjoso que tiende a oxidarse y que queda siempre impregnado de ácido.

Mediante un secado rápido y adecuado y también mediante la impregnación de ciertos productos se puede conservar las placas cargadas y en buenas condiciones. Basta echar ácido y esperar unos minutos para tener lista de nuevo la batería.

3.10 Electrolito. Propiedades.

a) Contracción de la solución.

Cuando se diluye un volumen de ácido sulfúrico en un volumen de agua el volumen total no es la suma de los dos sino algo menos. Hay una contracción del volumen del orden de 45 mililitros por cada Kg. de solución.

**b) Resistividad.**

La resistividad del electrólito varía con la temperatura y con la concentración.

Con la concentración: la resistividad del SO_4H_2 es casi la mínima para las concentraciones que se usan en baterías.

Con la temperatura la resistividad aumenta, especialmente bajo cero. Esta variación tiene gran importancia.

c) Punto de congelación.

Varía con la concentración de modo que al aumentar esta el punto de congelación es mas bajo. Esto solo, ocurre en el margen de densidades habituales de los electrólitos de baterías. Para concentraciones mucho menores la respuesta es extraña.

Para una densidad de 1,20 el punto de congelación es de -27°C y para 1,25 es de -52°C .

Por tanto este punto de congelación viene influido por el estado de carga de la batería.

d) Presión de vapor.

El electrólito absorberá o cederá agua al aire dependiendo de que su presión de vapor sea menor o mayor que la del vapor de agua en el aire.

En la práctica la presión de vapor del electrólito depende de su densidad y de la temperatura.

A mas densidad, menor presión de vapor.

A mas temperatura, mayor presión de vapor.

Puede ocurrir perfectamente que en un ambiente húmedo el electrólito absorba agua condensándola del vapor de agua del aire aunque lo normal es que haya evaporación del electrólito.

e) Viscosidad.

La difusión del ácido a través de los poros de las placas depende de su viscosidad; La viscosidad aumenta al disminuir la temperatura, doblándose entre 25°C y 0°C . Esto influye también en la descarga de la batería, especialmente a temperaturas bajo cero.

3.11. Electrólito. Densidad y su medida.

puede compararse cualquier densidad con la del agua, que es la unidad a 4°C de temperatura.

Peso específico es la relación entre la masa de una solución y la masa de agua de igual volumen, ambas a una determinada temperatura.

Densidad y peso específico son iguales a 4°C que es cuando el agua tiene la densidad máxima.

El peso específico/densidad del electrólito de una batería de plomo varía bastante con la temperatura. Por eso se especifica la temperatura de la solución y la del agua tomada como referencia. Por ejemplo se dice que el p. espec. es $25^{\circ}\text{C}/25^{\circ}\text{C}$. El valor superior es la temperatura de la solución y el inferior el del agua de referencia. Si el valor inferior es 4°C tenemos la densidad.

Existen tablas de conversión para diferentes temperaturas.

Los hidrómetros o densímetros están tarados normalmente a $15^{\circ}\text{C}/15^{\circ}\text{C}$ y por tanto miden el peso específico.

El ácido puro tiene un p.e. de 1,86. Un p.e. $15^{\circ}\text{C}/15^{\circ}\text{C}$ de 1,20 corresponde a un p.e. $25^{\circ}\text{C}/25^{\circ}\text{C}$ de 1,196.

Otras formas de medir el p.e., como los grados Beaumé o Twadell ya no se usan.

Los p.e. aconsejados en los electrólitos son:

- Baterías planté estacionarias	1,20
- Baterías tubulares de tracción	1,26
- Baterías de automóviles	1,26
- Baterías de automóviles en trópicos	1,20

Al mezclar ácido puro y agua para preparar electrólito es conveniente recordar que debe echarse el ácido sobre el agua ya que el gran calor específico del agua absorbe en parte el enorme calor desprendido.

3.12. Eléctrolito, Impurezas y sus efectos.

Es muy importante que tanto el ácido como el agua sean de la mayor pureza posible. El ácido debe ser especial para acumuladores y el agua debe ser destilada o desmineralizada.

El agua "del grifo", aunque sea de buena calidad, no debe emplearse normalmente debido al contenido de cloro y hierro (por las tuberías). En otros casos el agua contiene cal.

a) Acción local.

La acción local se entiende como el conjunto de reacciones químicas que se producen en puntos concretos de las placas o del electrólito, aparte de la



reacción normal del acumulador, y que producen generalmente el fenómeno de la autodescarga.

En la acción local influyen las impurezas del electrólito.

La autodescarga aumenta con la temperatura y con el contenido de antimonio de las rejillas o soportes.

La existencia de impurezas en el electrólito puede:

- corroer las placas.
- acelerar la formación de sulfato.
- depositarse en los poros de las placas.

b) Efectos de impurezas del electrólito sobre las placas negativas.

Las placas negativas quedan afectadas por impurezas metálicas.

Bastantes metales, como el platino, bismuto, arsénico y antimonio, producen efectos sobre el desprendimiento de hidrógeno en las placas negativas.

Las impurezas de estos metales en el electrólito se reducen inmediatamente en las placas negativas y producen reacciones locales con el plomo. Se produce sulfato de plomo e hidrógeno. El potencial requerido para la formación de hidrógeno varía en los distintos metales pero es siempre mayor que el potencial del electrodo reversible de hidrógeno. Este exceso es la sobretensión. El hidrógeno se libera más fácilmente en metales que tienen una sobretensión baja como el platino.

El antimonio tiene un efecto importante ya que las rejillas están formadas por plomo antimónico (excepto en las baterías de plomo-calcio). La corrosión de las placas positivas en el trabajo normal proporciona antimonio a las negativas a través del electrólito en cada período de carga. Este antimonio se deposita en pequeñas cantidades en las negativas y se produce un fenómeno de acción local análogo al caso del bismuto. Los procesos de carga y descarga hacen que el antimonio formado quede cubierto por capas sucesivas de plomo y por tanto el efecto no es tan grave.

Hay que aclarar que en un elemento sin antimonio la tensión de carga es mayor (2,8 a 3 V).

c) Efecto de impurezas del electrólito sobre las placas positivas o sobre ambas.

Las placas positivas sufren como consecuencia de impurezas de tipo orgánico en el electrólito. Estas impurezas suelen ser ácido acético, hidratos de carbono, o alcohol. Los efectos se manifiestan en corrosión de las placas positivas.

El hierro afecta a ambas placas. En las positivas produce corrosión mientras que en las negativas produce un efecto de acción local, es decir, de descarga adicional.



También el manganeso produce un efecto pernicioso.

El cloro del agua forma ácido clorhídrico en el electrólito el cual ataca el plomo esponjoso de la placa negativa y el óxido de la positiva produciendo sulfato de plomo en ambos casos. En la positiva se desprende cloro lo cual mitiga los efectos de este, pero una parte queda como reactivo.

d) Aditivos al electrólito.

Se han probado muchos productos para mejorar el rendimiento de descarga de las baterías de plomo, sobre todo de las agotadas o sulfatadas pero se puede asegurar que los aditivos propuestos no mejoran prácticamente nada las características de la batería.

El aditivo mas empleado ha sido una mezcla de sulfato de sodio y magnesio en forma hidratada.

3.13. Separadores.

El objeto principal de los separadores es evitar la conducción metálica entre placas de distinta polaridad y permitir la conducción libre del electrólito.

Se han ensayado muchos tipos de separadores pero el que se suele adoptar actualmente está hecho de plástico microporoso con unas varillas de ebonita por uno de los lados. Estas varillas sirven de soporte y además mantienen la separación correcta entre las placas.

También se usa la fibra de vidrio como material de los separadores, generalmente formando una capa junto con otra de plástico poroso.

El estudio de los materiales de los separadores es de gran importancia para las baterías. Se trata de lograr una gran conductividad para el electrólito junto a una buena resistencia mecánica, una gran resistencia a la corrosión o a efectos químicos secundarios y una inalterabilidad con la temperatura.

Al mismo tiempo se trata de evitar o reducir al mínimo la formación de dendritas o agujas de plomo que pueden formar cortocircuitos locales y que son comunes a otros acumuladores (especialmente críticas en los sinterizados de Ni-Cd).

La parte acanalada del separador queda frente a la placa positiva que necesita mas cantidad de ácido en la reacción de descarga y minimizada el contacto placa-separador con lo que se trata de lograr que la placa positiva, que está muy oxidada, ataque al separador.

Repetimos aquí la importancia de que la resistencia al paso de la corriente sea pequeña ya que los separadores influyen en la resistencia interna del acumulador.

3.14. Vasos.

Son bien conocidos los vasos de vidrio para los elementos plomo y ebonita para las baterías de tracción y de coches.



Para esta aplicación se están usando ahora con gran éxito los vasos de plástico (polipropileno).

Muchas baterías estacionarias se montan en vasos de plástico transparente, por ejemplo de acrilnitrilo de estireno.

3.15 Válvulas.

Aunque se han usado vasos abiertos en elementos planté, actualmente todos los elementos de baterías de plomo son cerrados y tienen una válvula en la parte superior.

Lo más frecuente es usar un tapón de rosca con unas pequeñas bolas en el interior para retener en lo posible las gotas de ácido que se desprenden en la carga.

Existen también válvulas antideflagrantes que impiden que una chispa exterior al vaso inflame los gases del interior. Para ello se suelen emplear válvulas de material cerámico que además tienen un cono en la parte superior que comunica por un tubo con el electrolito y que permite el llenado con agua.

4. CAPACIDAD.

El concepto de capacidad en una batería de plomo es de sobra conocido, así como la variación de la capacidad obtenible con respecto a la nominal. Por esta razón se explica solo como influyen distintos factores en la capacidad de un acumulador de plomo.

4.1. Cantidad de materia en el elemento.

Ya hemos hablado antes de la ley de Faraday que explica la relación entre cantidad de electricidad y masa de reactivos (materia activa) que interviene en las reacciones químicas.

Aplicando esa ley se deduce que 1 Ah de electricidad hace reaccionar 3,86 y de plomo de las placas negativas y 4,46 g de dióxido de plomo en las positivas.

El ácido reacciona en la relación de 3,66 g por Ah.

La masa de electrolito que reacciona en las placas positivas es mayor que en las negativas (1,6 veces) por eso las varillas de los separadores van del lado de las positivas (ver 3.13).

A veces al cabo de los años se corroen las varillas y los separadores quedan junto a las positivas produciendo una caída de la capacidad por el poco ácido disponible junto a las placas. Al cambiar los separadores se nota una mejoría.

4.2. Limitaciones prácticas al uso de materia.

En la práctica influyen otros hechos en la cantidad de materia activa.



El sulfato de plomo formado en la descarga es mal conductor y aumenta la resistencia de las placas.

Los poros de las placas quedan cegados por el sulfato que impide la acción de la materia situada en el interior. El electrólito aumenta su resistencia durante la descarga. Por último, el contacto entre la materia activa y su soporte no es completamente perfecto.

La razón entre la materia activa que toma parte en las reacciones y la total presente en las placas es el "coeficiente de uso". Este coeficiente suele ser 0,25 a 0,35 si la porosidad es buena.

Por supuesto que el espesor de la placa tiene gran importancia sobre todo en descargas fuertes, como ya sabemos.

Las reacciones de descarga se verifican en una parte mas o menos externa de la placa pero generalmente no en el interior excepto si la placa es muy delgada, la reacción lenta y la materia activa es muy porosa pero una placa delgada puede tener problemas de resistencia mecánica.

En una descarga lenta reacciona una buena parte de la materia activa con buena porosidad de la placa pero en descargas fuertes solo lo hace la superficie.

Para una determinada capacidad disminuir el espesor de la placa exige aumentar la superficie de placas. El aumento de la superficie lógicamente mejora la respuesta del elemento sobre todo en descargas de gran I/C.

4.3. Descargas sucesivas.

Conviene tener en cuenta que en un acumulador de plomo se obtienen mejores resultados con descargas fuertes sucesivas si se deja un tiempo entre descargas. Esto se explica fácilmente por la necesidad de que el ácido se difunda y homogeneice de modo que se renueve el ácido que quede junto a las placas tras una descarga. Como sabemos, este ácido tiene una densidad muy baja y responde mal a una descarga sucesiva.

4.4. Efecto de la temperatura en la capacidad.

El efecto de la temperatura sobre la capacidad es muy importante.

Con temperaturas bajas el electrólito aumenta su viscosidad dificultando su circulación en los poros de las placas. Esto es muy claro a temperaturas bajo cero. Debe tenerse en cuenta el punto de congelación del electrólito, sobre todo con la batería descargada (densidad baja).

Las temperaturas altas no influyen en la capacidad, incluso la mejoran algo, pero son negativas en cuanto a la vida de la batería.

No solo disminuye la capacidad con la temperatura sino también el régimen de descarga (I/C). Es decir, con descargas fuertes el porcentaje de capacidad aprovechable disminuye con la disminución de la temperatura.



4.5. Efecto de la concentración de electrolito en la capacidad.

La concentración de electrolito en los poros de las placas es un factor vital en la determinación de la capacidad. Si no se mantiene una cantidad de ácido suficiente en los poros durante la descarga la tensión en los terminales disminuirá rápidamente.

La concentración afecta a la capacidad:

- 1º) porque determina el potencial de las placas.
- 2º) porque afecta a la resistencia del electrolito.
- 3º) porque afecta a la viscosidad del electrolito y por tanto a su velocidad de difusión.
- 4º) porque la diferencia entre la concentración del electrolito en los poros y fuera de ellos afecta a la velocidad de difusión.

4.6. Porosidad de las placas.

La porosidad varía con el estado de carga. El sulfato es menos denso que el dióxido de plomo o que el plomo y por tanto ocupa mas espacio y hace disminuir la porosidad.

4.7. Variaciones de la capacidad durante la vida.

Una batería nueva aumenta su capacidad durante los primeros ciclos de carga-descarga hasta un momento en que se mantiene constante. Después se produce una disminución gradual de la capacidad.

En la época final de la vida de la batería se observa una disminución de la porosidad de las placas negativas mientras que las positivas fallan por corrosión de las rejillas o armaduras y por la descomposición y desprendimiento de la materia activa.

Un tercer efecto es el deterioro de los separadores, sobre todo de las varillas verticales que reducen el volumen de electrolito a disposición de las placas positivas.

Es frecuente que el final de la vida de las baterías de plomo se presente de un modo bastante brusco.

5. CARGA.

Ya son conocidas las características y métodos de carga de las baterías de plomo. Simplemente recordaremos los puntos mas importantes y mencionaremos algunos puntos menos conocidos.

Al cargar una batería se aplica una tensión en el rectificador que normalmente es creciente, al menos durante la primera parte de la carga.

Si E es la tensión del rectificador, E_b la fuerza contraelectromotriz de la batería, I la corriente de carga y R_i la resistencia de la batería y de los



cables, tenemos

$$E = E_c + IR_i$$

Por tanto, E debe ser mayor que E_c para que haya un flujo de corriente, si E es menor el rectificador estará bloqueado.

La corriente de carga en la parte inicial suele tomarse como $0,2 \times C$ aunque puede oscilar alrededor de este valor.

Al iniciarse la gasificación debe reducirse la corriente de carga. En baterías Planté hemos encontrado que los fabricantes recomiendan reducir la corriente a la mitad y en baterías de placas tubulares a un tercio.

Estas normas tienen interés en sistemas de carga de intensidad regulable. Actualmente se emplean sistemas como nuestro FE el cual reduce la corriente por sí solo en la etapa de tensión constante.

5.1. Tensión final de carga.

La tensión de la batería aumenta al final de la carga. Su valor depende de:

- a) Corriente de carga.
- b) Temperatura.
- c) Resistencia interna del elemento.
- d) Posibles impurezas en el electrólito.
- e) Composición de la aleación del plomo de la rejilla.
- f) Presencia de "expanders" orgánicos en las placas negativas.

Como ejemplo podemos decir que a temperatura de 25°C un elemento de batería de plomo adquiere una tensión de 2,5 V con una corriente de $0,1 \times C$.

Con corrientes mayores y temperaturas mas bajas este valor puede ser de 2,6 o incluso 2,7 V. Con corrientes finales menores, podemos conseguir una carga completa a unos 2,4 V.

Según algunos fabricantes de baterías de plomo-calcio puede cargarse la batería a 2,3 V/ elemento o incluso menos pero no sabemos si esa carga se considera completa o bien solo "suficiente" para las aplicaciones recomendadas de este tipo de baterías, es decir, para reserva en flotación con muy poco trabajo en forma de ciclos de carga y descarga.

5.2. Carga de igualación.

Sirve para corregir posibles desigualdades de los elementos en el servicio y compensar la posible falta de carga en las condiciones habituales de trabajo.

Se aconseja darla una vez al mes aproximadamente en el caso de trabajo normal en flotación.



Para una batería de placas tubulares, Tudor da la siguiente norma:

La corriente será del orden de $0,025 \times C$ y debe prolongarse 4 horas después de que se haya observado que la densidad se mantiene constante.

Esta carga debe darse una vez al mes o una vez cada 15 días en el caso de que la batería reciba un régimen de carga insuficiente o esté en flotación a una tensión baja.

5.3. Carga de mantenimiento y de flotación.

La carga de mantenimiento supone hacer pasar una corriente constante y muy pequeña por una batería previamente cargada para conservar esa carga, compensando así la autodescarga producida por los fenómenos de acción local.

En la carga de flotación se ajusta la tensión, no la corriente y se procura que esta tensión esté estabilizada.

En baterías Planté la tensión puede oscilar entre 2,15 y 2,20 V por elemento aunque a veces se aplican valores superiores.

Una tensión baja, del orden de 2,10 V/elem. corre el riesgo de la sulfatación por lo que, si se usa, debe acompañarse de cargas de igualación cada 15 días.

Una tensión alta, de 2,24 a 2,3 V/elem. lleva consigo un exceso de formación de las placas positivas y una corrosión de la rejilla o soporte junto con un exceso de consumo de agua. El límite mínimo para evitar la corrosión se fija en 2,22/2,24 V/elem. a 25°C y densidad 1,20.

5.4. Gasificación y aumento de la densidad.

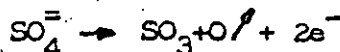
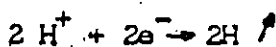
La gasificación se produce por el mal rendimiento de la carga cuando esta se acerca al 90% aproximadamente. La tensión de comienzo de la gasificación es de 2,3 V y su intensidad aumenta con la corriente de carga.

En DT-1.061 - punto 15 se explicaba este fenómeno en la batería NIFE. En la de plomo el fenómeno es similar, desprendiéndose oxígeno e hidrógeno.

La explicación de las reacciones químicas es la siguiente.

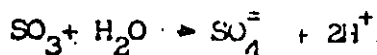
Partimos de que el electrolito es SO_4H_2 que realmente se encuentra en forma iónica SO_4^- y 2H^+ .

Al pasar la corriente eléctrica:

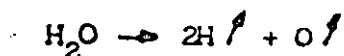




Pero el SO_3 (anhídrido sulfúrico) probablemente no llega ni a formarse porque reacciona inmediatamente con el agua formando ácido sulfúrico de nuevo.



Sumando las tres ecuaciones algebraicamente



Durante el proceso de carga se observa que la densidad no aumenta de una forma lineal. Al principio de la carga la densidad sube poco y al comienzo de la gasificación es cuando aumenta fuertemente.

La explicación se debe a que al comienzo de la carga el ácido que se forma cae al fondo del vaso. Cuando comienza la gasificación esta remueve el electrólito y el ácido formado se reparte uniformemente.

Por esta razón se aconseja que después de añadir agua a una batería que estaba baja de nivel se de una pequeña carga de igualación hasta que se observe la gasificación.

Respecto al desprendimiento de gases hay que aclarar que se produce en la carga, pero también ocurre en pequeña cantidad con la batería en vacío debido al efecto de acción local que desprende hidrógeno en las negativas.

6. POSIBLES PROBLEMAS Y SUS CAUSAS.

Se han efectuado algunos estudios estadísticos para determinar las causas que han influido en el fallo de un gran número de baterías de plomo de automóviles y se han encontrado las siguientes causas y su frecuencia:

- | | |
|---|-----|
| - Corrosión de la rejilla en las placas positivas: | 40% |
| - Desprendimiento de materia en las positivas: | 10% |
| - Rotura o goteo de electrólito en vasos y paredes: | 20% |
| - Placas alabeadas y separadores en cortocircuito: | 10% |
| - Fallos de las negativas | 10% |
| - Sulfatación | 10% |

6.1. Placas sulfatadas.

El color de las placas positivas es marrón claro y en caso de sulfatación fuerte tienen manchas blancas que consisten en sulfato de plomo cristalizado.

A veces el color sigue siendo marrón oscuro pero al tacto las placas son duras y arenosas. Esto se debe a demasiado poco trabajo del acumulador.

Las placas negativas son duras, algo hinchadas y de superficie arenosa.



Ya sabemos que el sulfato de plomo se forma normalmente en cada descarga. El problema reside en que si se mantiene descargada la batería durante algún tiempo el sulfato se cristaliza y los cristales van aumentando de tamaño de modo que al volver a cargar la batería éstos cristales no se descomponen apenas y la carga es incompleta o inexistente.

Otras causas de sulfatación, aparte de mantenerla descargada son: llenado de electrólito en vez de agua, trabajo a excesiva temperatura, o mejor, con altibajos en la temperatura y descargas persistentes y demasiado profundas.

Remedios contra la sulfatación.

Si esta ha sido muy profunda no hay ningún remedio. Pero si no ha sido demasiado intensa se pueden seguir dos métodos.

1º) Vaciar el electrólito y rellenar con agua. Después de una hora se da una carga con corriente baja y sin que la tensión llegue a 2,3 V/elem. Al comienzo la resistencia de la batería será grande y la corriente pequeña pero paulatinamente esta irá aumentando a medida que los cristales de sulfato se descomponen. Se ha de vigilar la temperatura del electrólito de modo que no suba de 40°C. El agua se convierte en solución de ácido y la densidad va creciendo. Si al cabo de una carga prolongada se mantiene la densidad en un valor bajo, al final se añadirá ácido.

A veces la densidad aumenta hasta valores superiores al normal. Es señal de que en algún momento se habían rellenado los vasos con ácido en vez de con agua.

2º) Si no es posible vaciar los vasos y rellenarlos con agua se procederá de modo similar, dando cargas y descargas muy suaves varias veces.

6.2. Corrosión de las rejillas de las placas positivas.

La sección de la rejilla positiva se reduce y eventualmente la placa se desprende. A veces la materia activa se separa y otras veces aparecen señales de sulfatación a lo largo de la línea de las rejillas.

Debe aclararse que cuando se habla de "rejillas" se refiere no solo a las rejillas propiamente dichas de las placas empastadas sino a cualquier estructura o armazón que sirve de apoyo a la placa.

Las causas: sobre todo se deben a sobrecargas continuadas. A veces pueden deberse a la acción de ácido acético u otros ácidos orgánicos.

6.3. Cortocircuitos.

Los cortocircuitos dentro de los elementos se observan por los siguientes síntomas:

La tensión es enormemente baja y lo mismo ocurre con la densidad. La respuesta en descarga del elemento es muy mala.



Las placas aparecen sulfatadas, a veces curvadas, a veces con agujeros donde se ha producido el corto. En ocasiones también se observa que han crecido en largo y ancho.

Una causa de cortocircuitos suelen ser las dendritas o finas agujas de plomo, que salen de las placas negativas hacia las positivas atravesando los separadores. Este fenómeno se reduce en la aleación plomo-antimonio con respecto al plomo puro.

También puede ocurrir que algún sedimento arrastrado por los gases quede en el borde superior de las placas y haga un puente por encima de los separadores.

A veces la causa es la rotura de algún separador.

6.4. Placas positivas alabeadas.

Quando las positivas aparecen combadas suele ser por falta de carga suficiente. Se forma sulfato cristalizado que ocupa mas espacio que el óxido original y la placa se alabea. El sedimento del fondo del vaso suele ser muy claro.

6.5. Placas positivas crecidas de tamaño.

Las placas crecen tanto en ancho como en largo y tienen mayores dimensiones que las negativas (estas últimas no cambian nunca sus dimensiones).

El motivo suele ser la contaminación del electrólito con acético o nítrico y también puede deberse a un trabajo fuerte con cargas y descargas profundas.

Las positivas planté desprenden materia activa a medida que se usan y puede ocurrir que se vaya formando nueva materia activa (óxido) a partir del plomo situado alrededor. Como el óxido ocupa mas espacio que el plomo, la placa aumenta su tamaño.

El fenómeno de crecimiento de placas positivas es mas frecuente y acusado en placas planté.

6.6. Materia negativa contraída.

Aunque la placa negativa como tal no se contrae, la materia activa dentro de ella si puede hacerlo.

Si ocurre esto, que no es muy frecuente, es debido a una disminución de la porosidad que trae como consecuencia una disminución de la capacidad.

La causa principal es la adición inadecuada o insuficiente de "expanders" durante el proceso de fabricación.

Otra causa puede ser el trabajo excesivo con corrientes de carga fuertes o durante un tiempo excesivo.



6.7. Materia positiva desprendida.

Cuando se desprende la materia activa el fenómeno suele producirse en las placas positivas principalmente.

Una causa es el exceso de carga pero a veces la causa puede ser un proceso de fabricación inadecuado, por ejemplo, falta de secado de la placa, exceso de pasta o pasta demasiado dura. También la sulfatación produce un desprendimiento de materia.

6.8. Materia activa gastada.

La batería tiene una vida mas o menos larga que depende del trato que haya recibido. Si este ha sido bueno, llega un momento en el que la materia activa se agota disminuyendo la capacidad.

En estos casos la densidad sigue siendo la normal. La falta de capacidad se pone de manifiesto mas en descargas fuertes que en las débiles.

Las placas positivas habrán desprendido materia activa en partículas muy finas y de un modo uniforme.

6.9. Borde superior de las placas con plomo esponjoso.

A veces ocurre que las sobrecargas excesivas producen partículas de peróxido de plomo desprendido por la fuerte gasificación. Las partículas que lleguen a las placas negativas forman plomo esponjoso en la parte superior de las placas. El motivo es siempre la gasificación violenta y continuada.

6.10. Inversión.

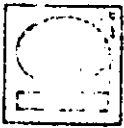
Hay tres causas para que se invierta la polaridad de un elemento.

1º) Un elemento de una batería tiene una capacidad deficiente y en una descarga se invierte mientras los demás funcionan con normalidad.

2º) Una batería se descarga durante un tiempo superior al correspondiente a su capacidad, llega a cero voltios y posteriormente se invierte.

3º) Se conecta el cargador al revés por equivocación. Si la causa es la tercera se observa que al cargar la batería al revés la materia activa se hace áspera. La placa positiva tiende a convertirse en negativa y viceversa. El proceso comienza junto a las líneas de la rejilla. Una placa parcialmente invertida contiene materia activa negativa y positiva y por tanto está sometida a un efecto muy fuerte de acción local.

En las baterías planté la inversión puede resultar beneficiosa cuando las placas negativas han perdido parte de su porosidad y por tanto de su capacidad. Al invertir la negativa en positiva y luego en negativa de nuevo se puede obtener una porosidad muy mejorada. Sin embargo esto no debe hacerse nunca en las baterías de placas empastadas.



6.11. Fallo de los separadores.

El fallo en los separadores suele ser debido a dos causas.

Por un lado a la acción oxidante de las placas positivas que suele influir sobre las varillas de los separadores, carbonizándolas.

Por otro lado a las finas agujas de materia activa que pueden atravesarlos produciendo cortocircuitos, aunque en algunos casos estos cortocircuitos se producen por contactos por encima de las placas, es decir, sin atravesar los separadores.

6.12. Electrólito por debajo de las placas.

La parte de las placas expuesta al aire como consecuencia de la disminución de nivel de electrólito sufre un proceso de sulfatación que puede ser irreversible si no se detiene a tiempo.

Se observa entonces que hay una franja superior en las placas que presenta el aspecto de sulfatada.

Ya se sabe que cuanto antes se debe volver a rellenar el vaso con agua destilada. La adición de electrólito en vez de agua es dañina, tal como se dijo antes, y produce también un proceso de sulfatación.

6.13. Impurezas en el electrólito.

Estas impurezas pueden haberse originado en el electrólito, en las placas, en los vasos o en el ambiente o pueden haberse introducido en el agua de relleno.

Ya hemos tratado este asunto anteriormente. Quizá la impureza más frecuente sea el hierro. Las placas se endurecen y tienen aspecto rojizo.

Por efecto del cloro las placas tienen color amarillento-rojizo.

Muy frecuentemente las impurezas se eliminan o reducen cambiando el electrólito.

6.14. Congelación.

La congelación es generalmente muy perjudicial para una batería de plomo sobre todo si está descargada. Si la batería está cargada la congelación es más difícil porque la densidad es más alta.

Al producirse la congelación del electrólito aparecen cristales que causan la expansión de las placas, sobre todo si los poros están tapados por el sulfato en el estado de batería descargada. Las placas pueden doblarse y la materia activa se desprende.



6.15. Vasos rotos.

Cuando los vasos se rompen el primer síntoma es la pérdida de electrolito. Se hace necesario añadir mas agua al elemento cuyo vaso está roto o tiene algún derrame que a los demás y su electrolito estará cada vez mas diluido. El remedio es claro : reemplazar el vaso.

Si se quiere cambiar solo el vaso y aprovechar las placas y la operación debe hacerse in-situ como es el caso con las baterías planté de conexiones soldadas, hay que hacer que las placas negativas nunca se sequen para lo que deben meterse en agua en un recipiente no metálico. Las positivas deben secarse si van a estar fuera del elemento durante mas de una semana.

6.16. Explosión.

Ya sabemos que el oxígeno o hidrógeno que se desprende durante la carga forman una mezcla explosiva si hay una llama o chispa en su entorno.

A veces pueden producirse chispas por electricidad estática sobre todo en atmósfera seca. Por estó hay quién indica que la persona que vaya a trabajar en una batería haga un contacto previo con algún metal puesto a tierra.

Una buena norma es no trabajar en la batería cuando está en carga o inmediatamente después.

A veces las causas de la ignición son internas. Una de ellas puede ser que el nivel de electrolito esté tan bajo que apenas cubra el fondo de las placas. Al descender aún mas hay un momento en el que se pierde el contacto entre placas y electrolito y se produce una o varias chispas.

Otra causa es la existencia de una gran corrosión en las rejillas y soportes de las placas positivas. El juego de plas está casi separado del borne y en el momento en que se separa por la corrosión se producen chispas cuando se descarga la batería. Un ejemplo claro de este fenómeno se ha observado recientemente por nosotros en una batería de plomo de UNELOO.

7. PRUEBA DE CAPACIDAD Y DEL ESTADO DE LAS PLACAS.

La prueba de capacidad es la que nos dice de un modo exacto la verdadera capacidad de que disponemos en un acumulador. La medida de la densidad es indicativa de que la batería está o no cargada pero aún así puede dar una idea muy equivocada. Por un lado, puede ocurrir que el electrolito haya perdido algo de ácido y la densidad sea menor o que se haya añadido y esta sea mayor. Por otro lado puede que la batería esté muy gastada por los años aunque el mantenimiento haya sido bueno. Entonces la lectura de densidad indica que la batería está cargada pero puede ser que la capacidad haya disminuido mucho.

Las normas a seguir para hacer una prueba de capacidad son conocidas. En esencia se reduce a cargar previamente la batería y descargarla luego según las normas de capacidad del fabricante, normalmente con intensidad de $0,1 \times C$ hasta $1,80 - 1,85$ V/alem a 25°C . Si el tiempo que se tarda en alcanzar la tensión final es de 10 horas la capacidad es 100%.



Puede ser interesante conocer el estado de las placas aunque ya sabemos que lo normal es que las positivas fallen primero.

Para saber este estado se recurre a un electrodo auxiliar de cadmio que se aísla en su parte central o inferior de modo que al sumergirlo en el electrólito no haga contacto con las placas.

El cadmio debe haber estado varios días anteriormente en ácido sulfúrico de la densidad del electrólito.

Para hacer la medición debe usarse un voltímetro de gran resistencia (3000 ohmios) ya que con uno normal (100-300 ohmios) pueden producirse errores de hasta 0,1 V.

Elemento con placas + y - en buen estado.

Al descargarlo hasta 1,8 V obtenemos las siguientes lecturas:

- Entre + y cadmio: 2,00 V.
 - Entre cadmio y - : 0,2 V.
- Tensión final 1,8 V

Elemento con placas + en mal estado:

- Entre + y cadmio : 1,95 V
 - Entre cadmio y - : 0,15 V
- Tensión final : 1,8 V

Esta conclusión es válida si al hacer la prueba la capacidad estaba disminuida.

Elemento con placas - en mal estado:

- Entre + y cadmio : 2,10 V
 - Entre cadmio y - : 0,3 V
- Tensión final 1,8 V

Estas pruebas deben hacerse en descarga como es lógico, y esta debe ser de intensidad pequeña (0,1 x C). No tienen ningún valor con la batería en vacío.

Madrid, 1978/02/07

Peulab



COMPARACION DE CAPACIDADES ENTRE
BATERIAS ESTACIONARIAS DE PLOMO
Y NIQUEL-CADMIO NIFE

A menudo la persona encargada de calcular y pedir oferta de una batería estacionaria solicita de los fabricantes una batería de cierta capacidad en sus dos versiones, plomo y níquel-cadmio. En tales casos suele decidirse por el plomo al comprobar que su precio es menor.

En muchos casos esta visión no es la más acertada ya que la comparación directa de capacidades no es justa.

Veamos la razón.

Una batería tiene una capacidad que varía con el tiempo en que se la descargue. Por ejemplo, en la figura N4-0140, una cierta batería de plomo tiene una cierta capacidad (nominal) descargándose en 10 horas. Si aumentáramos la intensidad de descarga de modo que se descargase en 5 horas, la capacidad obtenida hasta la misma tensión final sería el 80% de la primitiva; y en 1 hora, el 40% aproximadamente.

En la figura N4-0140 comparamos la capacidad obtenible en descargas desde 0 a 10 horas de una moderna batería estacionaria de plomo con placas de tubo, (de fabricación sueca) con una batería NIFE del tipo HI (o HIP) y otra NIFE MD (MDP).

La tendencia actual se dirige cada vez más a periodos de emergencia más cortos y descargas breves. Ya no suele preverse una emergencia de 6 u 8 horas sino que se estima que 30 minutos o 1 hora son suficientes.

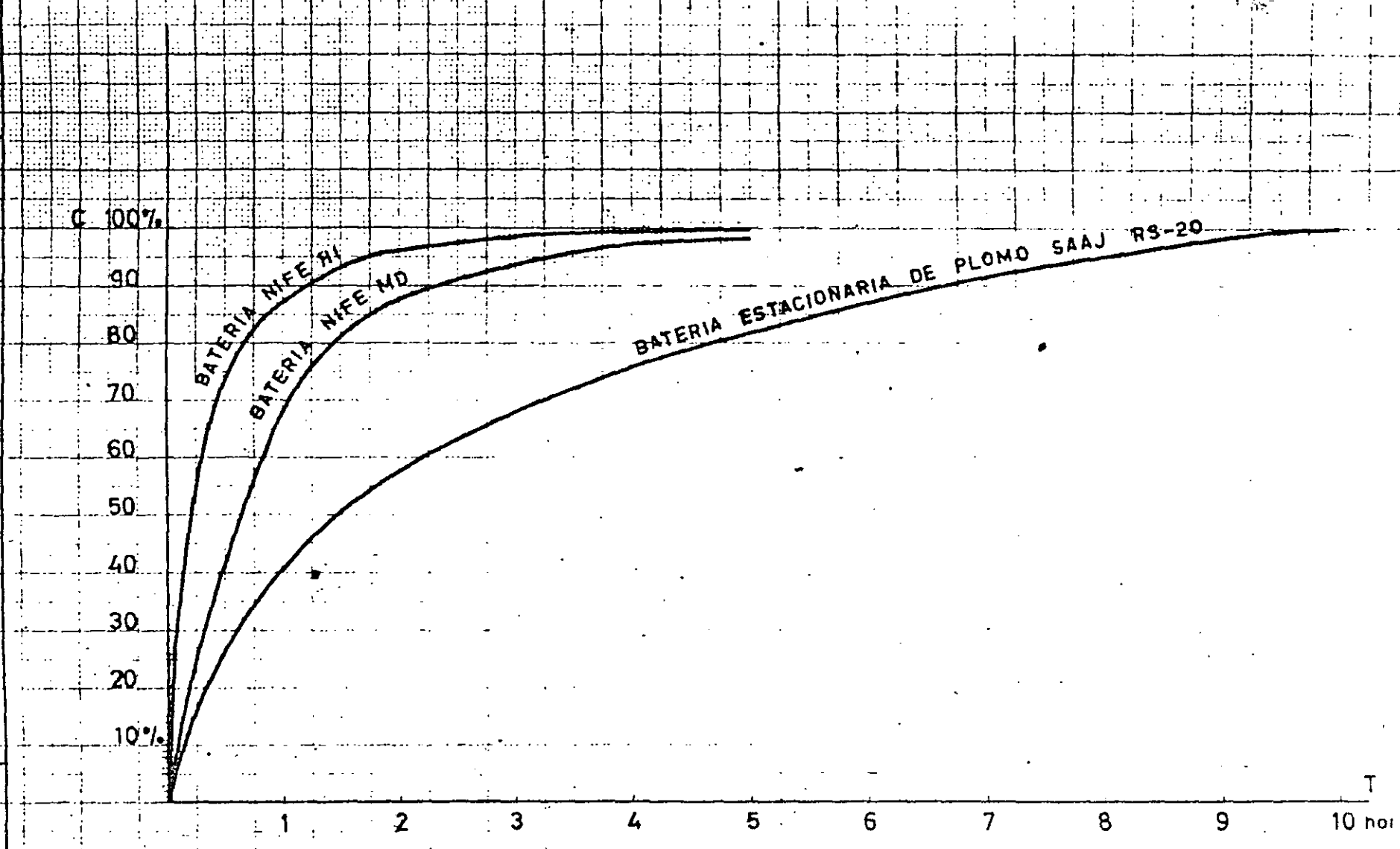
Para 30 minutos de descarga (hasta una tensión de 1,83 V/elem) solo aprovechamos el 24% de la capacidad de una batería RS-20 de plomo mientras que este porcentaje es del 70% usando la serie HI de NIFE.

En otras palabras, para dar 100 A en 30 minutos con una caída de tensión del 8% necesitamos una batería de plomo de 210 Ah o bien una batería HI de 72 Ah.

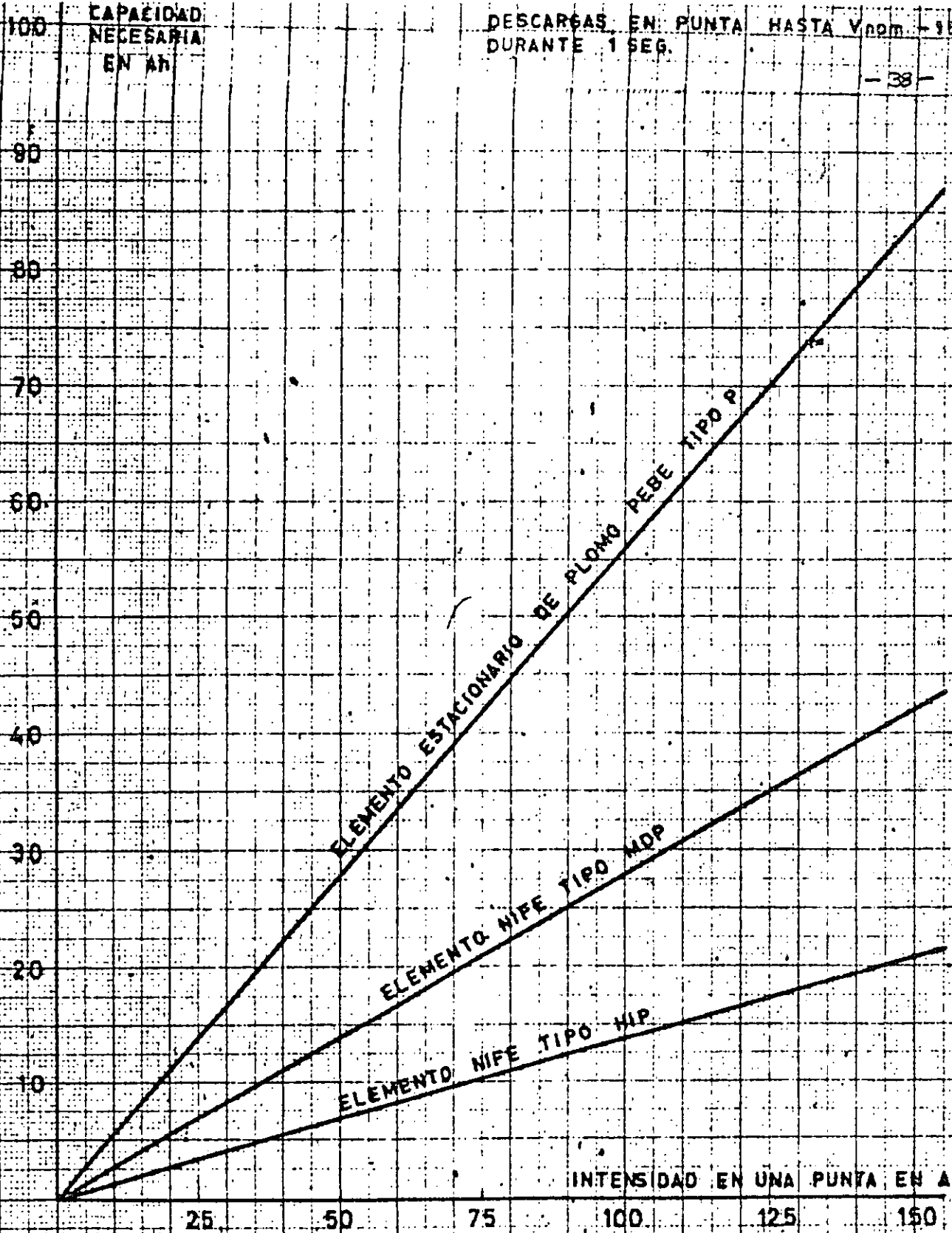
En la figura N4-0141 se muestra una comparación entre una batería estacionaria de plomo de la serie P (placas Planté) fabricada por NIFE en Bilbao y una batería de níquel-cadmio de la serie HI (o HIP). Se muestran las capacidades necesarias en ambos casos para dar puntas durante 1 segundo con caída instantánea de V nom. - 15%.

Creemos que ambas gráficas explican por sí solas como la comparación directa de capacidades no tiene ningún sentido sino que se trata de establecer las prestaciones necesarias y obrar en consecuencia.

CONFIN.
 OIB
 Cop.
 Contr.
 Escala:
 Sust. a
 Sust. por
 24-5-69



COMPARACION ENTRE LAS CAPACIDADES OBTENIBLES EN DESCARGAS DE 0 a 10 HORAS DE TRES BATERIAS, UNA ESTACIONARIA DE PLOMO SAAJ RS-20, OTRA NIFE DEL TIPO MD Y OTRA NIFE TIPO HI. TENSION FINAL = 0,92 x V nominal.



COMPARACION ENTRE LAS CAPACIDADES NECESARIAS PARA DAR PUNTAS DE 1 SEG. USANDO UN ELEMENTO ESTACIONARIO DE PLOMO PEBE O UN ELEMENTO DE NIQUEL CADMIO NIFE HIP o MDP

Del. N°	Cont.	Denominacion	Observaciones
Contar	Dib. <i>R. Gómez</i> Cop.	Contar Escala	Sustr. Sust. por
			24-5-69

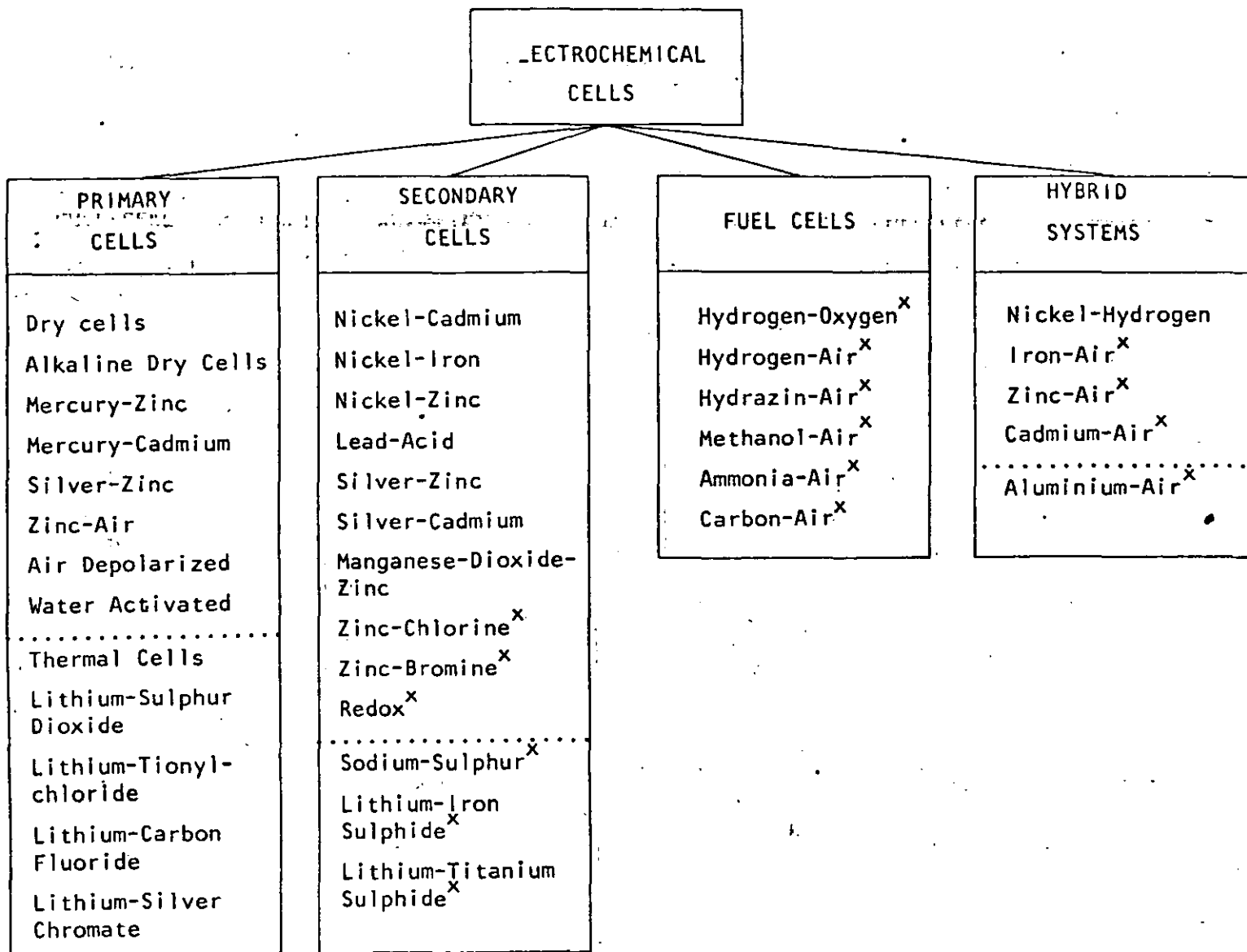


Fig 2.1 Various types of electrochemical cells.

Types below dotted lines operate with a non-aqueous electrolyte.

An asterisk indicates that the system is not commercially available.

Different Secondary Battery Systems

The most important secondary batteries are

- lead-acid (L-A)
- nickel-cadmium (Ni-Cd)
- nickel-iron (Ni-Fe)
- silver-zinc (Ag-Zn)

Other, less important, couples are included in fig 2.1.

In this section only brief descriptions of the secondary batteries listed above will be made. The lead-acid battery will be dealt with in some detail in Chapter 18 and the nickel-cadmium pocket plate battery will be thoroughly discussed in Chapter 4 and following chapters. In the table below some basic data for the various systems is collected.

Table 2.1 Basic data for various secondary couples

	L-A	Ni-Cd	Ni-Fe	Ag-Zn
Cell components	$\begin{matrix} + & - \\ \text{PbO}_2/\text{H}_2\text{SO}_4/\text{Pb} \end{matrix}$	$\begin{matrix} + & - \\ \text{NiOOH}/\text{KOH}/\text{Cd} \end{matrix}$	$\begin{matrix} + & - \\ \text{NiOOH}/\text{KOH}/\text{Fe} \end{matrix}$	$\begin{matrix} + & - \\ \text{Ag}_2\text{O}_2/\text{KOH}/\text{Zn} \\ \text{or} \\ + & - \\ \text{Ag}_2\text{O}/\text{KOH}/\text{Zn} \end{matrix}$
Electromotive force	2.10 V	1.29 V	1.37 V	1.86 or 1.60
Nominal voltage	2.0 V	1.2 V	1.2 V	1.6 V or 1.5 V
Theor. energy density	175	209	267	434 or 273

The values for the silver-zinc system varies depending on whether the charged positive electrode is designed to be in a higher or a lower state of oxidation.

The secondary batteries mentioned above are briefly described in Tables 2.2 - 2.5. In these tables the different designs within each battery system are defined with regard to basic construction and main features. In the same tables condensed information is also given on the applications for which the batteries are used as well as on prominent suppliers of these batteries.

Table 2.2 Lead-acid batteries

	Pasted	Tubular	Planté	Sealed
Basic construction	Flat, pasted positive and negative plates. Positive grids of lead-antimony or lead-calcium alloys.	Tubular positive and pasted negative plates.	Pure lead Planté positives and pasted (or box) negatives.	Lead-calcium or pure lead grids. Pasted plates. Cylindrical or prismatic cell shape.
Main features	Cheapest design. Shortest life. Lowest reliability.	Medium expensive. Good life in traction.	Expensive. Long life on float. Heavy.	No maintenance. Office compatible.
Main uses	Automobile starting and industrial applications.	Traction and stationary industrial applications.	Telecommunication, UPS and other standby applications.	Telecommunication, emergency lighting and power tools.
Suppliers	Globe, Delco, Gould, ESB, C&D, Chloride, Varta, Yuasa and many others.	Chloride, Varta, Tungstone, GS, Yuasa. Few in USA.	Chloride, Varta, Tungstone, ESB, C&D, GS, Yuasa.	Gates, Chloride, Yuasa, Varta, GE.

Table 2.3 Nickel-cadmium batteries

	Pocket, vented	Pocket, sealed	Sintered, vented.	Sintered, sealed
Basic construction	Flat pocket positive and negative plates. Pin type separators or perforated plastic.	Flat pocket positive and negative plates. Sheet separators. Prismatic or button cell shape.	Sintered positive and negative plates. Sheet separators.	Sintered positive and negative plates. Sheet separators. Cylindrical, button or prismatic cell shape.
Main features	Reliable. Very long life. Lowest cost of all alkaline batteries. Very good high rate and low temperature properties.	No maintenance. Relatively short life..	Extreme high rate and low temperature performance. Fair life. Expensive.	No maintenance. Relatively short life. Low capacity.
Main uses	Diesel engine starting, trainlighting, emergency lighting, UPS and other standby applications.	Emergency lighting, alarm systems, portable equipment, portable lamps and for button types hearing aids, toys, tape recorders.	Aircrafts, military application and some industrial applications such as engine starting.	Mostly consumer applications but also emergency lighting, burglar alarms, instruments, TV-cameras etc.
Suppliers	NIFE, SAFT, Alcad, Varta, Edison, Honda, GS, Friwo.	Alcad, Varta, Eveready.	Marathon, SAFT, Varta, GS, Yuasa, GE.	GE, Eveready, SAFT, Varta, Sanyo, Marathon.

Table 2.4 Nickel-iron batteries

	Tubular	Pocket	Sintered and others
Basic construction	Tubular positive and pressed copper-iron negative or flat pocket negative plates.	Flat pocket positive and negative plates.	Sintered, felted or plastic bonded positive plates and sintered, felted or powder rolled negative plates.
Main features	Very long cycle life. High internal resistance. Expensive.	Long cycle life. Low cost.	High energy density. Long cycle life.
Main uses	Industrial traction applications. Some trainlighting, mine lamps.	Industrial traction, train lighting, portable lamps.	Potentially various electric vehicles, mine lamps.
Suppliers	SAFT, Varta.	USSR, China,	Not commercially available. Potential suppliers NIFE, Westinghouse, Matsushita, Eagle-Picher.

Table 2.5 Silver-zinc batteries

	Vented	Sealed
Basic construction	Sintered or chemically prepared silver oxide positives and pressed powder or pasted negatives. Prismatic cells.	Same electrodes as vented. Prismatic or button type cells.
Main features	Very high energy density. Good high rate properties. Short life. Very expensive.	No maintenance. Very high energy density. Short life. Very expensive.
Main uses	Military application such as torpedo propulsion, mines, aircraft, missiles. Also space and some industrial applications.	Space-craft, power tools, flash guns, portable transceivers.
Suppliers	Yardney, Eagle-Picher, Varta, Matsushita, SAFT, Friwo, Yuasa.	Yardney, Varta, Yuasa.

In the final Table 2.6 a relative comparison is made between the different battery systems with regard to electrical and mechanical properties. This comparison is of course very approximate as considerable differences may exist between different sizes or makes of a certain battery design.

Table 2.6 Comparison of different secondary batteries

System	Energy density	High rate discharge properties	Low temperature properties	Internal resistance	Charge properties	Ah and Wh efficiency	Charge retention	Life	Mech. properties	Reliability
Ni-Cd pocket, vented	2	4	5	4	5	2	4	5	5	5
Ni-Cd pocket, sealed	2	2	3	4	2	2	3	3	5	3
Ni-Cd sintered, vented	3	5	5	5	5	3	3	4	5	4
Ni-Cd sintered, sealed	3	5	4	5	4	1	1	4	5	3
Ni-Fe, tubular	3	2	1	1	4	2	1	5	5	5
Ni-Fe, pocket	2	3	1	3	4	2	1	5	5	5
Ni-Fe, sintered	4	4	2	4	4	2	1	5	5	4
Ag-Zn, vented	5	5	3	5	2	5	4	1	4	1
Ag-Zn, sealed	5	4	3	4	1	5	5	1	4	1
L-A, pasted	3	1	2	4	3	5	1 ^{x)}	2	2	2
L-A, tubular	3	1	2	2	3	4	1	4	3	3
L-A, Planté	1	2	2	3	3	5	1	4	1	3
L-A, sealed	3	2	4	4	3	4	2	3	3	2

5 = excellent, 4 = very good, 3 = good, 2 = fair, 1 = poor

^{x)} Cells with lead-calcium grids = 2

2. ELECTRONICA DE POTENCIA

La electrónica de potencia comprende la conversión y control de la energía eléctrica con ayuda de elementos de válvulas electrónicas e incluye equipos electrónicos para medición y control.

Los convertidores de potencia se pueden clasificar según el tipo de conversión. En la Fig. 2.1 se ilustran esquemáticamente los distintos tipos de conversión. La conversión de energía de c.a. a energía de c.c. se llama rectificación y el aparato utilizado en este caso se denomina rectificador. La conversión de energía de c.c. en energía de c.a. se llama inversión y, en consecuencia, el dispositivo utilizado se denomina inversor. Para la conversión de c.c., se emplea un convertidor de c.c.-c.c. con o sin conversión intermedia a c.a. Para las conversiones de c.a., se usa en algunos casos un convertidor de c.a.-c.a. con conversión intermedia a c.c.

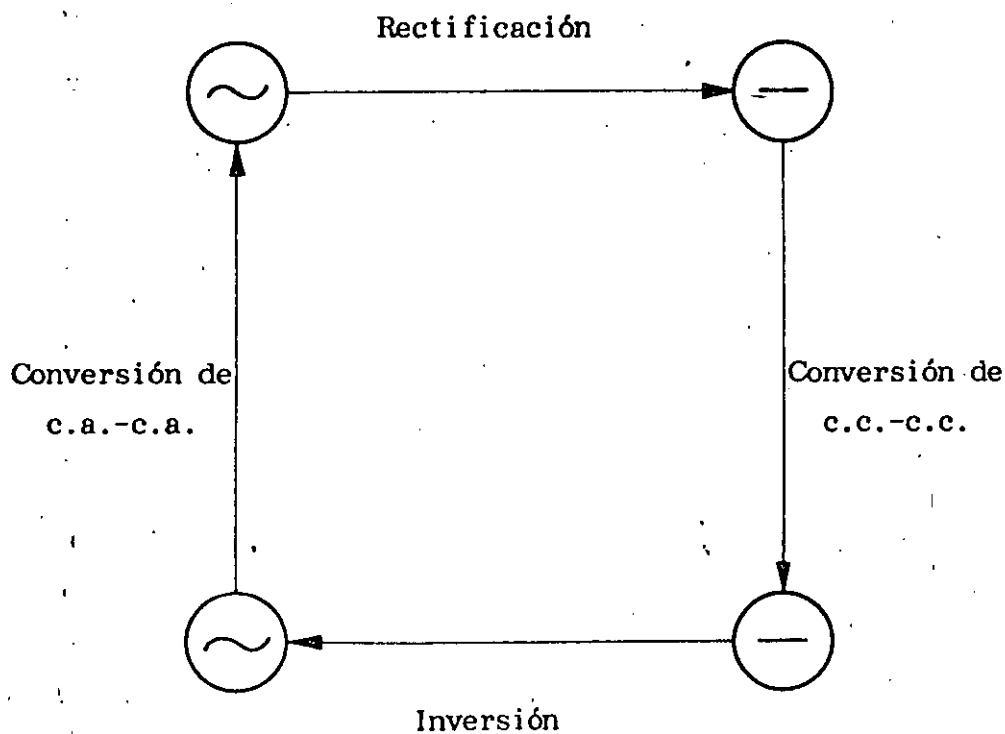


Fig. 2.1

Antes de que se desarrollaran los modernos semiconductores de potencia, como son los tiristores y los diodos de potencia, los convertidores de energía electrónica tenían un campo de aplicación relativamente limitado. El primer tiristor se construyó en 1957. Desde entonces, el desarrollo ha sido tremendo, y actualmente se utilizan tiristores en casi todas las aplicaciones en que se precisa el control o la conversión de la energía eléctrica.

2.1 SEMICONDUCTORES UTILIZADOS EN LOS EQUIPOS DE SUMINISTRO DE ENERGIA

Diodos

Los diodos son los semiconductores más frecuentes y se usan en todo tipo de equipos de suministro de energía. La propiedad típica de un diodo es la de que su resistencia entre los dos electrodos es muy baja (directa) en una dirección -de ánodo a cátodo- y muy alta en la otra (dirección opuesta). Las características de corriente-tensión y sus símbolos se muestran en la Fig. 2.2.

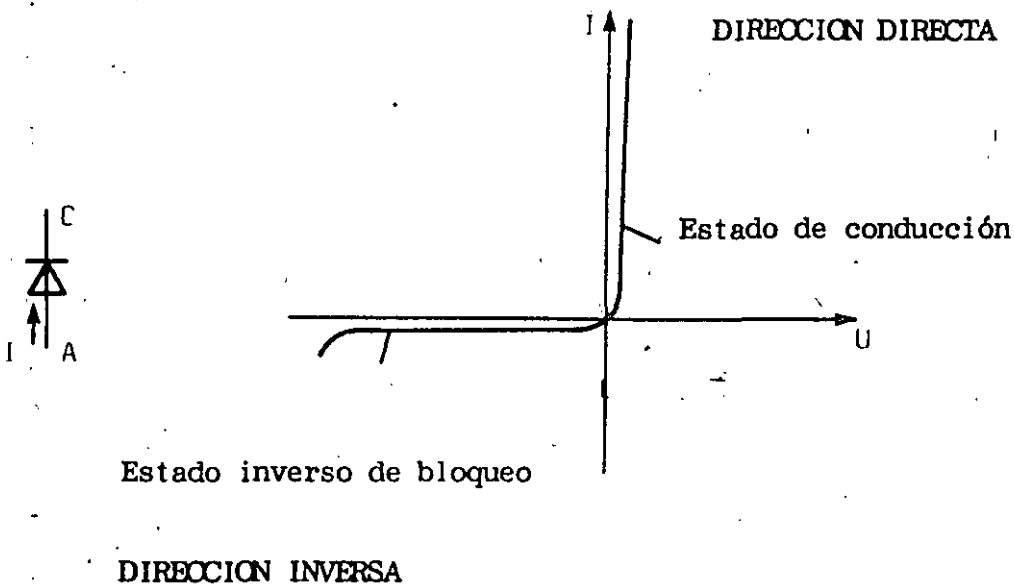


Fig. 2.2

La aplicación más frecuente de un diodo es la que encuentra en un puente rectificador regulado o sin regular, en el que se utilizan los diodos para rectificar la c.a. en c.c. pulsatoria (figura 2.3). La caída normal de tensión en un diodo de silicio es de unos 0,8 V en dirección directa. En caso de diodos más pequeños, el calor generador en la resistencia se disipa por la superficie de los diodos y por los hilos contiguos. Los diodos de potencia de tipo mayor deben montarse en un disipador de calor. El disipador de calor no es más que un bloque hecho de aluminio (ocasionalmente de cobre). En las aplicaciones normales, se usa convección de aire natural para la refrigeración. En los tipos de rectificadores mayores (500 A), el aire de refrigeración se impulsa por medio de ventiladores (refrigeración forzada).

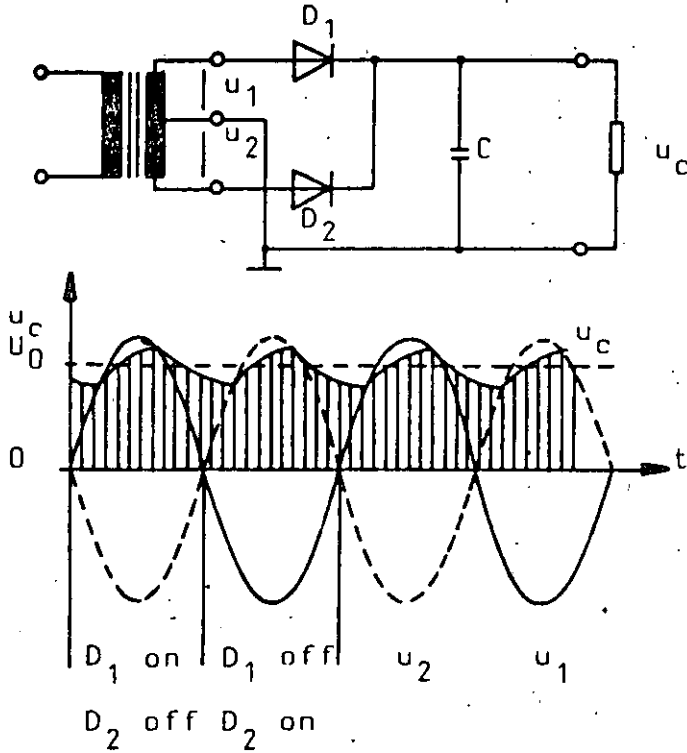


Fig. 2.3

Tiristores

Un tiristor tiene las mismas propiedades que el diodo en dirección inversa, es decir, su resistencia es muy alta, Fig. 2.4.

DIRECCION DIRECTA

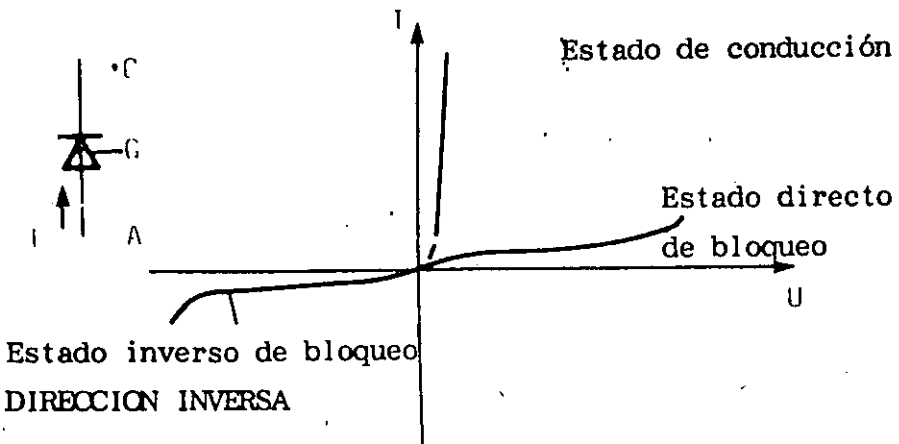


Fig. 2.4

Además del ánodo y del cátodo, el tiristor tiene un tercer electrodo al que se llama puerta. La puerta se usa para permitir o retardar el flujo de la corriente en dirección directa. Cuando el tiristor tiene un ánodo positivo, la puerta impide la tensión y flujo de corriente, y se dice que está en estado de corte (estado directo de bloqueo). Si se aplica un impulso de corriente positivo (normalmente, algunos mA) a la puerta del tiristor estando en el corte, cambia el estado del tiristor de corte a conducción. Se activa o se excita y trabaja entonces como un diodo. Un tiristor normal en estado de conducción no puede pasar al corte en virtud del control de la puerta. Para hacerlo volver al estado de corte, es decir, desconectar el tiristor, hay que llevar a cero la corriente directa utilizando otros medios.

Si se quita el impulso de puerta, se desconecta el tiristor cada vez que la tensión pasa por la línea 0. Esto sucede en un rectificador en el que se convierte la c.a. en c.c. Si se usa un tiristor en un inversor, en el que se convierte la c.c. en c.a., ya es más complicado el paso al estado de corte. La desconexión del tiristor en esta aplicación suele hacerse excitando otro tiristor en un circuito que ofrece una menor vía de resistencia a la corriente dentro de un circuito de polarización directa. Esta transferencia de corriente de un circuito a otro se llama conmutación.

Tiristor GIO

Actualmente existe en el mercado un nuevo tipo de tiristor llamado GIO (gate turn-off). Este tiristor se excita por un impulso positivo de puerta, del mismo modo que un tiristor normal, pero a diferencia del convencional, el GIO se puede llevar al corte con un impulso de puerta negativo. Como se ha dicho antes, la desconexión (conmutación) de un tiristor se hace conectando éste a un circuito exterior de conmutación que reduce a cero la corriente de ánodo. Este circuito de conmutación representa una parte importante del sistema general en cuanto a peso, tamaño y, lo que es más importante, costo. El tiristor GIO no requiere estos circuitos de conmutación.

El tiristor GIO tiene la desventaja de que requiere una corriente de puerta para desconexión relativamente alta, que viene a ser de un 20-30% de la del ánodo. No obstante, el tiristor GIO es un dispositivo semiconductor del futuro.

Transistores

El transistor, como el tiristor, tiene tres electrodos a los que se llama colector, emisor y base. En los circuitos de electrónica de potencia, los transistores se usan normalmente como dispositivos de regulación en serie o como medios de conmutación. El uso de un transistor como rectificador regulador en serie se ilustra en la Fig. 2.5.

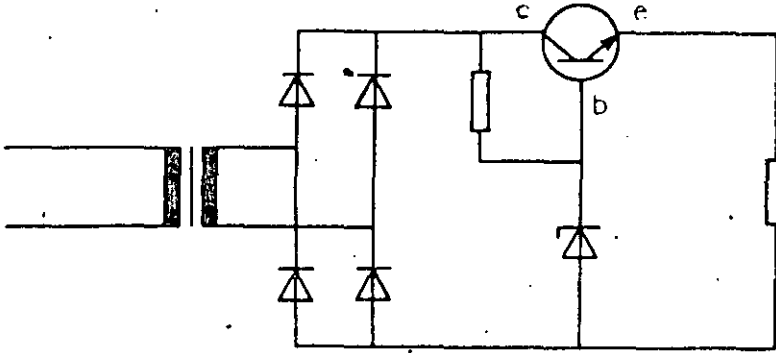
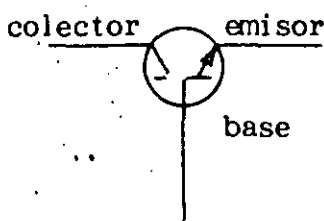


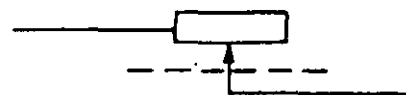
Fig. 2.5

En esta aplicación, la tensión de c.c. de alimentación es superior a la disponible a la salida del regulador. La tensión regulada se obtiene haciendo caer la tensión hasta un valor inferior a través del transistor que trabaja como resistencia en serie, Fig. 2.5. La regulación se hace variando la corriente de base (figura 2.6). En una resistencia en serie (figura 2.7), esta regulación se lleva a cabo modificando el cursor de la resistencia. La pérdida de energía, igual a la caída de tensión sobre el transistor (colector, emisor) multiplicada por la corriente, se transforma en calor, el cual generalmente se disipa del transistor por medio del correspondiente disipador.

También se usan los transistores como reguladores de conmutación en los circuitos de electrónica de potencia. La tensión procedente de la fuente de c.c. se conecta y desconecta rápidamente en virtud de la acción del regulador (que es electrónica); vea la Fig. 2.8. La tensión media de c.c. disponible a la salida del regulador es proporcional al tiempo que dura el ciclo de conmutación. Normalmente se utiliza una frecuencia de conmutación de varios kilohertzios para evitar la necesidad de hacer un gran filtrado que suavice la frecuencia de conmutación a la salida de c.c.



Transistor



Resistencia

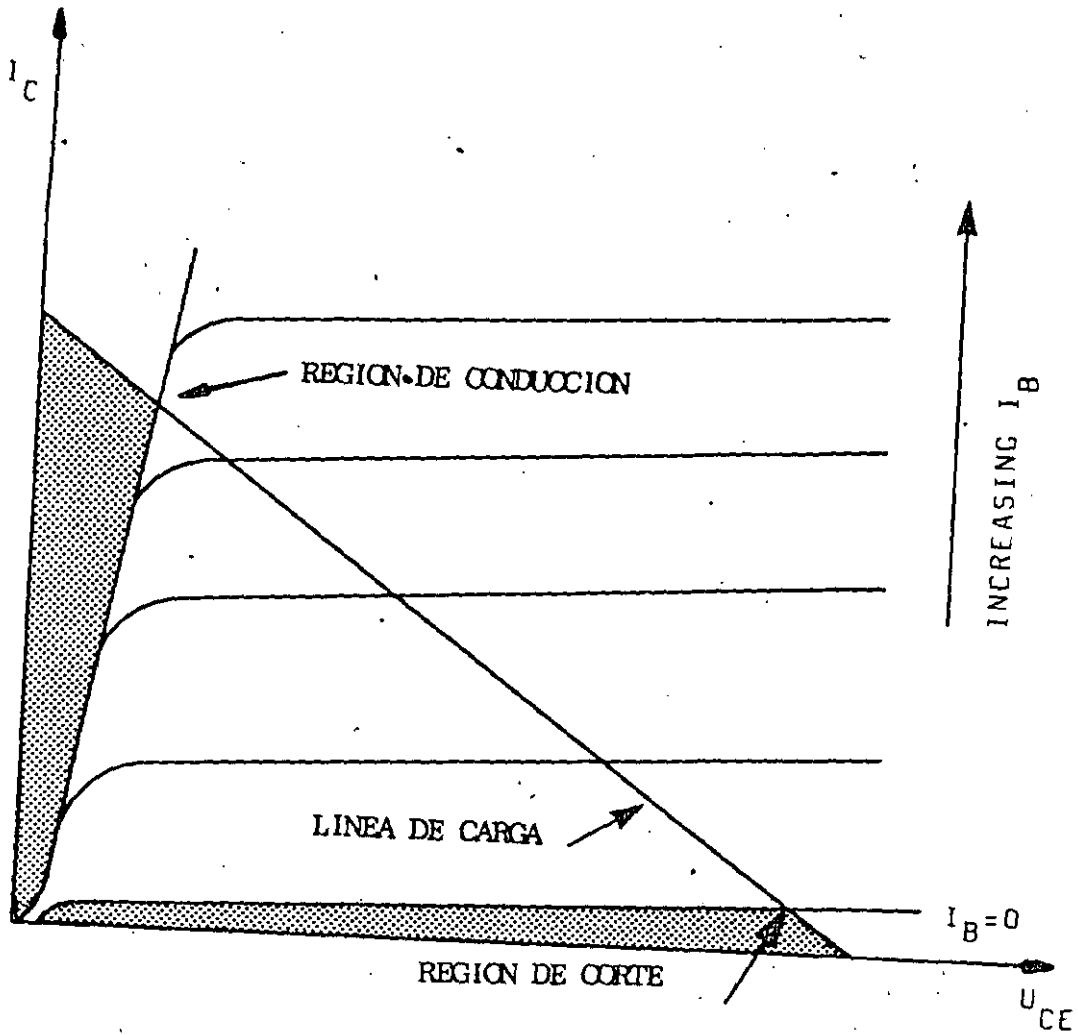


Fig. 2.8

2.2 TERMINOLOGIA GENERAL DE LA ELECTRONICA DE POTENCIA (Términos relativos al sistema UPS, vea el capítulo 6)

Activo

Como se usa en las expresiones filtro activo o dispositivo activo: Es un dispositivo o circuito que exige una tensión de trabajo. (Vea pasivo)

Lazo cerrado

Vía que sigue la señal y que incluye una ruta directa, otra de "feedback" y un punto de encuentro o sumador con lo cual se forma un circuito cerrado. En términos generales, un circuito amplificador que proporciona ganancia de tensión o potencia, terminando correctamente en los puntos de entrada y salida, con inclusión de "feedback".

Analógico

Término utilizado en el dominio de los ordenadores que significa un sistema que trabaja con números representados por cantidades directamente medibles (sistema de lectura analógica-cuadrante mecánico. Vea digital).

Cargado

Se dice que un circuito está cargado cuando se entrega a la carga la potencia deseada.

Composite

Constituido por un conjunto de componentes distintos; un circuito completo ("composite") más que parte discreta de un circuito global.

Digital

Es lo que se relaciona con datos en forma de dígitos; lectura o presentación digital (vea analógico).

Discreto

Un único dispositivo o circuito (un transistor a diferencia de un CI) (vea Composite).

Extremo frío

Extremo de un componente en un circuito que se conecta a tierra o se deriva para la c.a. o tensión rectificada (extremo a tierra de una bobina o condensador).

Feedback

Parte de la tensión de salida devuelta a la entrada de un amplificador. La descripción incluye la tensión de c.a. y c.c. que puede utilizarse por separado o conjuntamente, según el circuito independiente.

Flotante

Circuito o conductor que está por encima de la tierra de c.a. o c.c. por alguna razón específica. Ejemplo: Un hilo flotante de tierra que no es común al chasis del circuito.

Amp. op.

Amplificador operacional. Un circuito integrado de alta ganancia, controlado por "feedback". El rendimiento se regula por medio de elementos exteriores al circuito.

Pasivo

Actúa sin tensión de trabajo.

Rizado

Corriente y tensión pulsatorias.

Rms

Valor eficaz. Es la raíz cuadrada de la media de los cuadrados de la tensión o corriente durante un ciclo completo.

Shunt

Dispositivo colocado en paralelo con otro o transversalmente a él. Ejemplos: Los "shunts" de los instrumentos de medida.

Transductor

Dispositivo utilizado para transportar energía de uno a otro sistema (eléctrico, mecánico o acústico).

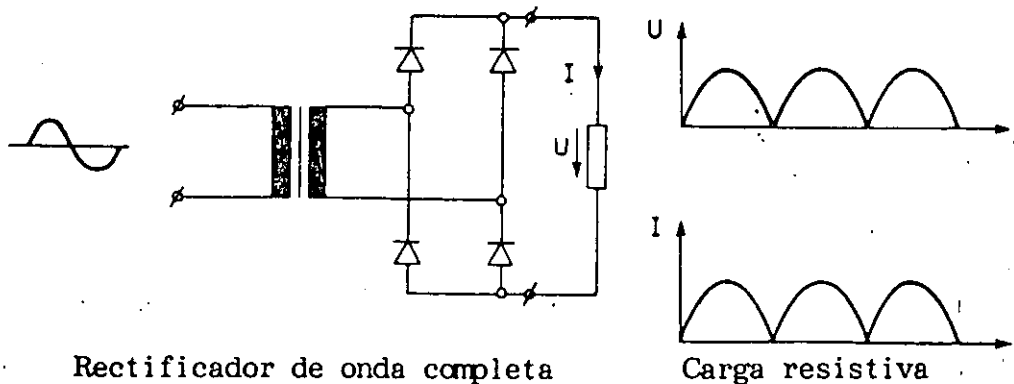
3. RECTIFICADOR

La finalidad de un rectificador es transformar la c.a. en c.c. Los componentes principales de un rectificador son válvulas electrónicas, diodos o tiristores. Normalmente se usa un transformador entre la red y el puente rectificador. El objeto fundamental de este transformador es aislar eléctricamente el lado de c.a. del c.c. y transformar la tensión de entrada (lado de c.a.) a un nivel apropiado.

3.1 RECTIFICADOR SIN REGULAR

El más sencillo tipo de rectificador consiste en un transformador seguido de un circuito rectificador cuyas salidas se suavizan con un filtro de choque o condensador. El tipo más corriente de aplicación monofásica es el puente de media onda, onda completa con derivación central u onda completa sin ella. El puente de media onda sólo se utiliza en aquellas aplicaciones de baja corriente. El de onda completa con derivación central tiene un diseño de transformador relativamente antieconómico y, por lo tanto, el más frecuente es el puente de onda completa.

La Fig. 3.1 ilustra la tensión y corriente hacia una carga resistiva conectada sobre la salida del rectificador. En la Fig. 3.2 se muestra la tensión y corriente de la batería cuando se conecta en paralelo con la carga una batería adecuada.



Rectificador de onda completa

Fig. 3.1

Para este tipo de rectificador es común que la tensión de salida del mismo dependa de la de entrada y del consumo de corriente. Este tipo de rectificador sólo puede emplearse en aplicaciones que puedan tolerar variaciones de tensión.

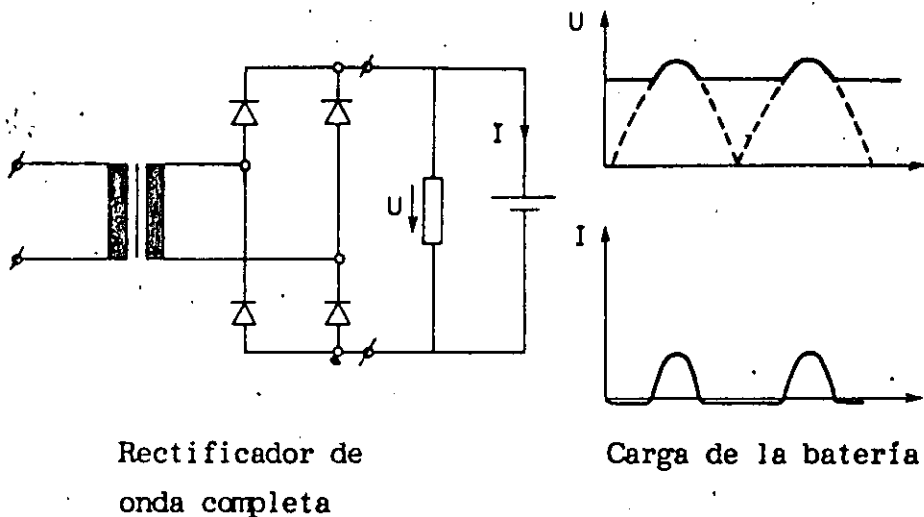


Fig. 3.2.

3.2 RECTIFICADOR REGULADO

Si se usa un rectificador para baterías industriales, hay que regularlo. En aplicaciones típicas (figura 3.3), el rectificador y la batería trabajan en paralelo con la carga.

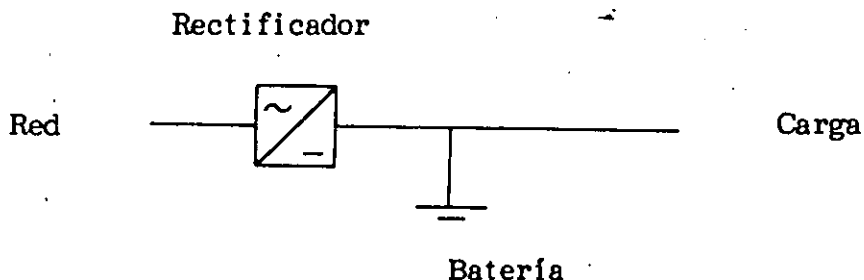


Fig. 3.3

En esta aplicación los requisitos del rectificador son los siguientes:

1. El rectificador debe tener capacidad para aceptar las variaciones normales de la tensión de red y de la frecuencia.
2. El sistema puede experimentar una variación de carga entre el 0 y el 100% y la batería seguir manteniéndose en condición totalmente cargada.
3. Durante las condiciones 1 y 2, la tensión de salida debe ser constante con posibilidad de ajustarla en dos niveles: Carga rápida y carga en flotación.
4. No debe existir la posibilidad de que se dañe el rectificador en caso de sobrecarga.
5. El rectificador debe quedar protegido en caso de cortocircuitos, inversión de polaridad de la batería, etc.

Todas estas condiciones se pueden satisfacer si la característica de la salida del rectificador es de tensión constante con limitación de corriente. Con esta característica de regulación, el elemento regulador utilizado y el de más frecuente empleo es el formado por transistores para rectificadores de baja potencia, y tiristores para los de alta. Antes se empleaban transductores, pero hoy, al irse reduciendo los precios de los transistores y tiristores, no son nada frecuentes los transductores, que se utilizan como elementos de regulación.

Tensión de c.c.

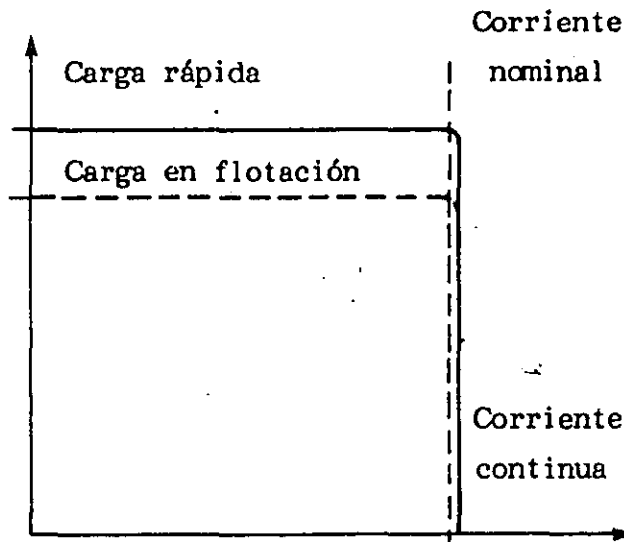


Fig. 3.4

3.3 RECTIFICADOR REGULADO TRANSISTORIZADO

Principio

La Fig. 3.5 ilustra el esquema básico de un rectificador regulado serie. Este rectificador consiste en un transformador que convierte la tensión de la red a un nivel apropiado. Además, el rectificador consiste en un puente diodo de onda completa y en un condensador de suavización. La tensión de c.c. se aplica por un regulador transistorizado a la salida del rectificador. El citado regulador con sus circuitos de control mantiene constante la tensión de salida, cualesquiera que sean las variaciones de la tensión de red y del consumo.

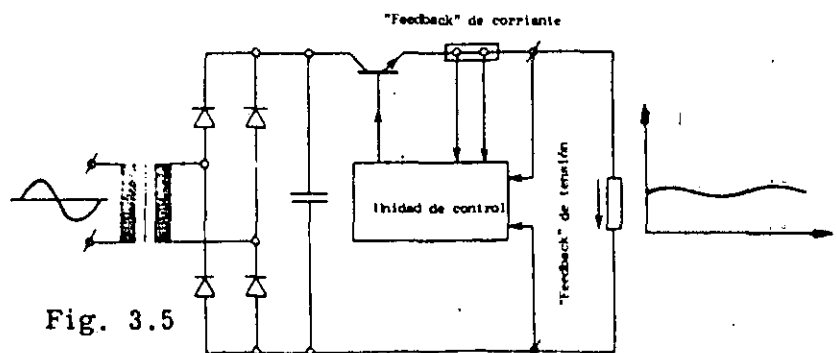


Fig. 3.5

Como se ha descrito en el capítulo 2, la resistencia entre el emisor y el colector es función de la señal en la base. Esta señal de control procede de una unidad de control. La información de la tensión y corriente de salida se aplica a la unidad de control. En el capítulo que sigue se describe más detalladamente un típico rectificador regulado por transistores.

Debido a la pérdida de potencia en el transistor serie, se genera una cantidad relativamente grande de calor en este tipo de rectificador, lo que quiere decir que su rendimiento es más bien bajo, de modo que la máxima salida es, normalmente, de unos 125-150 W (nominalmente, 24 V, 5 A). Sin embargo, una desventaja es la de que el transistor serie trabaja como filtro activo, es decir, que la tensión de rizado es relativamente pequeña comparada con la del rectificador controlado por tiristor, siendo excelente, por ejemplo, para aplicaciones telefónicas.

RECTIFICADOR TIPICO

Los rectificadores transistorizados son unidades de baja potencia para la carga de baterías de plomo-ácido o níquel-cadmio. También se pueden usar para suministrar cargas directamente sin baterías, llamados eliminadores de baterías.

La regulación se hace con un circuito transistorizado serie después de la rectificación. Las unidades se controlan en tensión mediante limitación de corriente. Cuando la demanda de corriente excede del límite prefijado, cae la tensión para mantener el límite de corriente. Este límite se establece aproximadamente al 105% de la corriente nominal.

La demanda de una corriente aún superior se traduce en caída de tensión y de corriente hasta que se entra en una condición de cortocircuito, haciéndose la tensión casi cero y limitándose la corriente a un valor muy bajo. A esto se le llama Protección "Fold-back", y la curva de salida se ilustra en la Fig. 3.6.

En condiciones normales de servicio, cuando la batería está totalmente cargada, el rectificador trabaja con carga en flotación. Para recargar la batería, cuando ésta se descarga, el rectificador va provisto de un sistema de carga rápida. Existe un conmutador en el panel frontal que hace que aumente la tensión de salida hasta un nuevo valor prefijado de "Carga rápida".

Tensión de c.c.

Corriente nominal

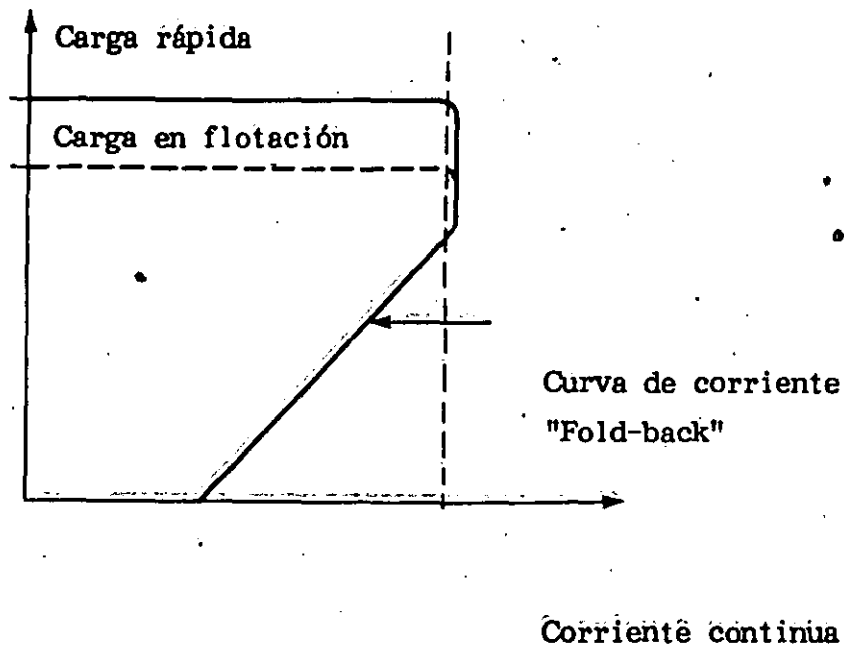


Fig. 3.6

Circuito de potencia

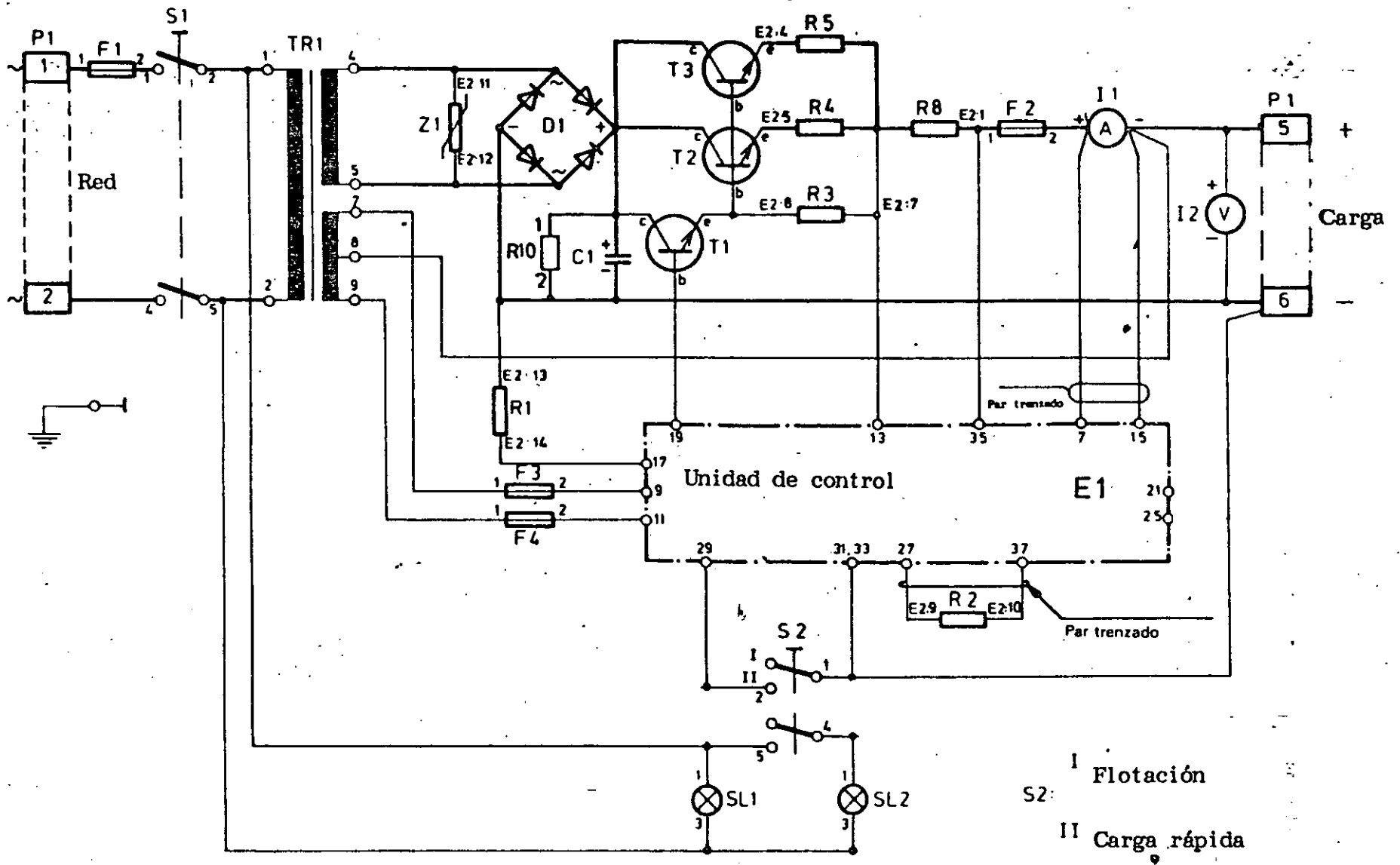
La siguiente descripción se aplica al esquema de la Fig. 3.7. La línea monofásica se presenta al primario del transformador de potencia. La salida del secundario se lleva al puente rectificador D1, en el que la alimentación se transforma en c.c. Después de suavización con el condensador C1, se lleva directamente el negativo a la salida y el positivo por el transistor T1; la resistencia detectora de la corriente "fold-back" R8, un fusible protector F2 y el amperímetro de salida I1. La tensión de salida será la diferencia entre la que sale del puente (sobre el condensador C1) y la caída de tensión sobre los transistores de paso en serie T2-3 (si hay más de uno, con un amplificador "drive" independiente, T1).

Circuitos protectores

Al secundario del transformador TR1 se conecta un supresor de transitorios formado por un varistor de óxido metálico para proteger a los semiconductores del rectificador contra los transitorios perjudiciales procedentes de la red.

Hay también dos fusibles de cartucho; uno (F1) en la línea de entrada y el otro (F2) en la rama de salida de c.c. para proteger componentes vitales contra serios daños por sobretensiones en la línea en el caso de mal funcionamiento en la unidad de control del rectificador.

Fig. 3.7



TIPOICO RECTIFICADOR SA, ESQUEMA

Unidad de control

La unidad de control recibe información sobre la tensión y corriente de salida y regula la excitación de la base al transistor de paso en serie (o transistores) para modificar la caída de tensión entre él (o ellos) en respuesta a la información recibida, a fin de conseguir la regulación deseada.

La descripción de la función que sigue debe leerse en conjunción con el diagrama de bloques de la Fig. 3.8 y con el esquema del rectificador de la Fig. 3.7.

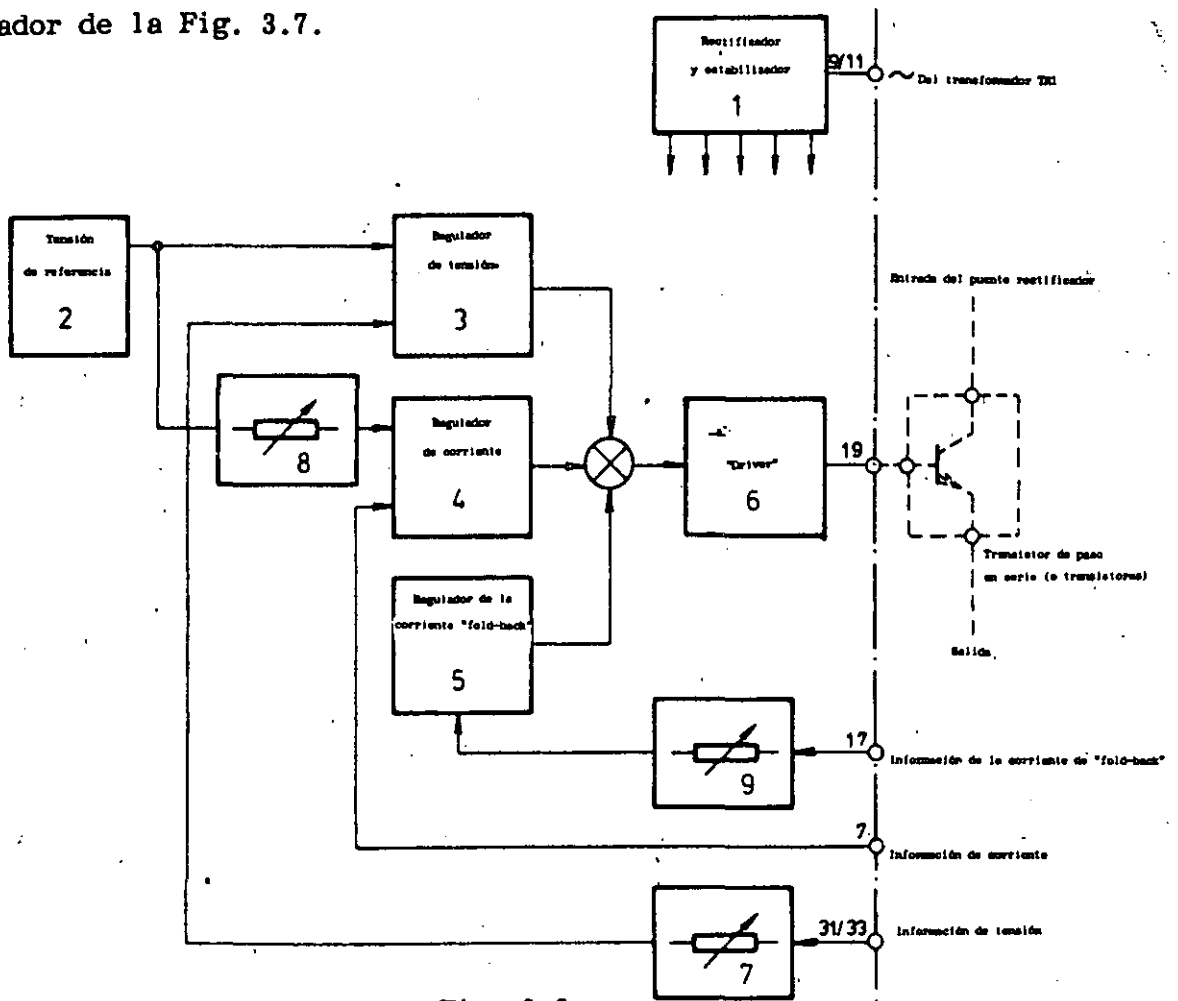


Fig. 3.8

Todos los potenciómetros de ajuste de los límites de tensión y corriente están en la placa de circuito impreso E1.

La tensión de c.a., 2 x 20 V, procedente del devanado 7-8-9 de TR1 se rectifica, filtra y estabiliza en dos reguladores serie para obtener tensiones de alimentación de ± 15 V, así como una referencia extremadamente estable de 7 V (1 y 2 de la Fig. 3.8).

La regulación de tensión del rectificador principal se logra con un comparador formado por un amplificador operacional y con un amplificador con "feed.back" de c.a. (3) en el que se compara parte de la tensión de salida con la referencia de 7 V. La salida de error se amplifica en el "driver" (6) para generar la excitación de la base del circuito transistor de paso en serie a fin de corregir cualquier error en el valor de la tensión de salida.

La regulación de corriente se logra con una configuración similar de amplificador operacional (4), pero en este caso la entrada diferencial del amplificador operacional es la caída de tensión entre los extremos del medidor A (terminales 7-15 de E1 en la Fig. 3.7). Cuando la corriente de salida del rectificador excede del valor límite de ella, el regulador inhabilita al de tensión manteniendo constante la corriente. De este modo cae la tensión.

Para que los rectificadores puedan ser unidades a prueba de cortocircuitos y al mismo tiempo mantengan la disipación del transistor serie en un valor razonable, se ha dispuesto una característica limitada de corriente tipo "fold-back" (vea la Fig. 3.6).

Para ello, una configuración del transistor sensor de la tensión (5 en la Fig. 3.8) reduce el valor límite de corriente por debajo del 80% aproximadamente, de la tensión nominal de salida.

El ajuste del rectificador se hace con 4 potenciómetros en la placa de circuito impreso. Dos de ellos son para los niveles de tensión, carga en flotación o carga rápida, y los otros dos para el límite de corriente, o corriente "fold-back".

Datos técnicos

A continuación se dan los datos técnicos típicos de un rectificador transistorizado fabricado por SAB NIFE. (Fig. 3.7).

Tensión de entrada

Los rectificadores estándar están diseñados para 120, 200, 220 ó 240 V y para una variación de $\pm 10\%$. La frecuencia es de 50 ó 60 Hz $\pm 5\%$.

Nota:

La desviación aceptable de la tensión de entrada con respecto al valor nominal es $\pm 10\%$ en términos generales. Si la tensión sube por encima del límite superior en $\pm 10\%$, se sobrecalentaría el transformador de red. Si la tensión de entrada desciende por debajo del límite inferior -10% , el rectificador no podrá entregar la máxima tensión de salida con carga rápida.

Corriente de entrada

La corriente de entrada apenas es afectada por las variaciones de las tensiones de entrada y salida.

El fabricante del rectificador debe proporcionar la información apropiada al tamaño de los fusibles del cuadro de distribución al que está conectado el rectificador.

Tensión de salida

Como se ha dicho antes, la máxima capacidad económica en potencia de un rectificador transistorizado es de unos 125 W. Por encima de este nivel, el rectificador tiristorizado es menos costoso. Esto maximiza la tensión nominal de salida del rectificador a 12, 24 ó 48 V. La tensión de salida con carga de flotación y carga rápida se ajusta normalmente a los siguientes niveles:

Voltios nominales	12	24	48
Tensión en flotación	12-14	24-31	48-62
Máx. tensión de carga rápida	16,2	36	72
Nº de elementos de Ni-Cd	9-10	17-22	36-44
Nº de elementos de plomo-ácido	6	11-13	23-26

Estabilidad de tensión

La estabilidad estática de tensión de un rectificador transistorizado es normalmente superior a $\pm 1\%$ con variaciones simultáneas de tensión y frecuencia de $\pm 10\%$ y $\pm 5\%$, respectivamente.

Corriente

La corriente nominal de salida es normalmente de 1, 3 y 6 A. Para una tensión más alta del sistema (48 V), la máxima corriente nominal se limita, por lo general, a 3 A. El límite de corriente se puede ajustar desde un 50% a un 100% de la corriente nominal.

Temperatura ambiente

Normalmente, el rectificador está diseñado para una temperatura ambiente de -10°C a $+40^{\circ}\text{C}$. Sin embargo, se puede utilizar también a temperaturas ambientales superiores reduciendo el límite de corriente. Con 50°C de temperatura, el factor de reducción es 0,9.

Rendimiento

El rendimiento del rectificador depende de la tensión de entrada, de la tensión real de salida y del consumo. Un rectificador estándar transistorizado sin opciones extra tiene un rendimiento aproximado de un 50% con carga en flotación y tensión nominal de red. Si la tensión de red aumenta en un 10%, el rendimiento cae en un 45%, aproximadamente.

Interferencias de radiofrecuencia (RFI)

Un rectificador regulado transistorizado genera muy pocas interferencias de radiofrecuencia. En aplicaciones normales, éstas son despreciables.

Filtro de c.c. de salida

El transistor serie trabaja como filtro activo y la tensión de rizado de salida es inferior a 10 mV eficaces entre 0 y la salida total.

3.4 RECTIFICADOR REGULADO TIRISTORIZADO

Principio

En la Fig. 3.9 se ilustra el esquema básico de un rectificador regulado por tiristores.

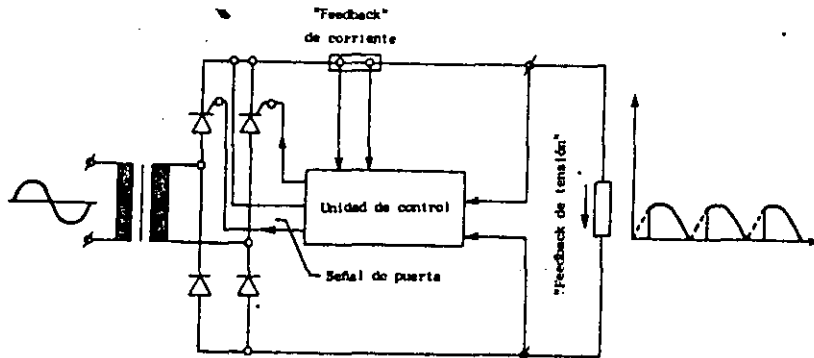


Fig. 3.9

La tensión de red se transfiere a un nivel apropiado y se aplica al puente rectificador, que consiste en dos tiristores y dos diodos. La función de los tiristores se ha descrito ya en el capítulo 2. Los tiristores entran en conducción por "impulsos de disparo" creados en la unidad de control (figura 3.10). La unidad de control deriva la información de la tensión de salida, la cual determina el período de conducción de los tiristores. Además, la unidad de control obtiene también información de la corriente de salida y si ésta excede del valor nominal de corriente del rectificador, disminuye el tiempo de conducción del tiristor. El rectificador, consecuentemente, trabaja en un modo de límite de tensión o de límite de corriente.

Un rectificador trifásico trabaja de acuerdo con el mismo principio. El puente de tiristores consiste en tres diodos y tres tiristores (semicontrol) o seis tiristores (control completo).

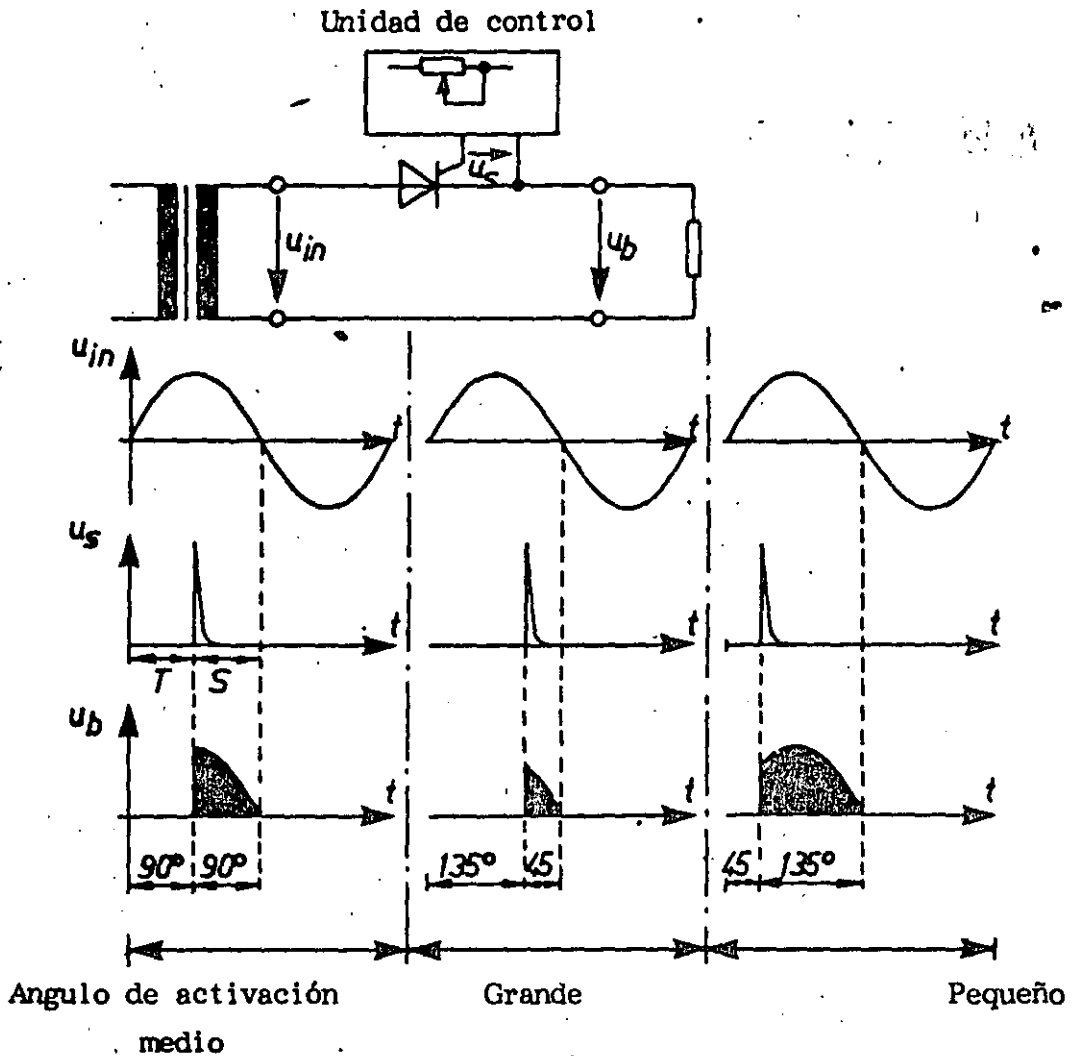


Fig. 3.10

Generalidades

SAB NIFE fabrica rectificadores tiristorizados. Esta es una descripción general aplicable a los rectificadores monofásicos y trifásicos. Los rectificadores tipo SB (monofásicos) o VB (trifásicos) constituyen una línea de unidades controladas por tiristores para la carga de baterías de níquel-cadmio o de plomo-ácido.

-La regulación se logra variando el ángulo de activación de cada tiristor mediante impulsos de puerta a fin de que a la salida no haya más que la cantidad de energía requerida. La activación de los tiristores al principio de cada semiciclo de la forma de onda en la línea constituye una tensión de alta salida, y al revés. Los impulsos de puerta se generan con una unidad de control.

Estas unidades están controladas en tensión con una limitación de corriente. Cuando la corriente excede de este límite, la tensión de salida desciende hasta aquel nivel en el que el flujo de corriente se mantendría en el límite prefijado. Vea la Fig. 3.4 para la curva de salida.

Este rectificador está equipado con un circuito de carga rápida para la carga de baterías, en el que un conmutador en el panel frontal permite seleccionar un nivel de tensión más elevado, a fin de aumentar la velocidad de carga.

Como características opcionales, el rectificador puede montarse con alarmas adicionales y con medios automáticos de carga rápida.

Los controles se montan normalmente en la puerta e incluyen un voltímetro, un amperímetro, un conmutador de carga en flotación/carga rápida y una serie de lámparas indicadoras.

Entre los equipos opcionales pueden figurar también un filtro de salida a L-C para reducir la tensión de rizado (estando conectada la batería) a 0,2% eficaz. El filtro se monta dentro del mueble en una placa independiente.

El circuito interior está dispuesto de modo que sea fácil acceder al mismo a fines de mantenimiento y reparación, hallándose la mayoría de los componentes en paneles o en placas de circuito enchufables y placas principales de las que se pueden extraer sin dificultad. Las conexiones de los hilos se hacen normalmente por medio de regletas de terminales roscados o, en caso de conjuntos pesados, de terminales con pernos.

3.5 DESCRIPCIÓN DEL RECTIFICADOR MONOFÁSICO TIPO SB

La descripción que sigue se aplica al diagrama de la Fig. 3.11 (que corresponde a un rectificador SB). Téngase en cuenta que también se incluye un diagrama relativo al equipo real, el cual figura en la parte posterior del manual y que puede ser distinto en algunos detalles del que se usa para esta descripción.

La entrada de línea que tiene lugar por los terminales P1:1-2 pasa por el conmutador S1 que activa al contactor K1 (en las unidades pequeñas, sólo hay un conmutador bipolar de línea, S1) y aplica la tensión al primario del transformador de potencia, TR1. La salida del secundario se lleva al puente rectificador de tiristores, en el que los TY1, 2 y los diodos D1, 2, forman un convertidor controlador de c.a. a c.c. La salida del puente se aplica a los terminales P1:5(+) y 6(-), llevándose la línea positiva directamente a la salida y la negativa, a través de la inductancia L1, el fusible F1 y un amperímetro y "shunt".

También hay un conmutador de flotación-carga rápida, S2, y dos lámparas indicadoras, una (SL1, amarilla) para señalar la aplicación de corriente, y la otra (SL2, roja) que indica carga rápida. Una y otra están montadas en el panel frontal junto con el conmutador de línea y el voltímetro y amperímetro.

Unidad de control

La descripción de la unidad de control de un rectificador SB, que se ilustra como diagrama de bloques en la Fig. 3.12, debe leerse en conjunción con el diagrama de la Fig. 3.11.

En la unidad de control monofásica, el circuito básico de control está constituido por la placa E1 que genera los impulsos para la excitación de puerta de los tiristores del rectificador puente de la unidad.

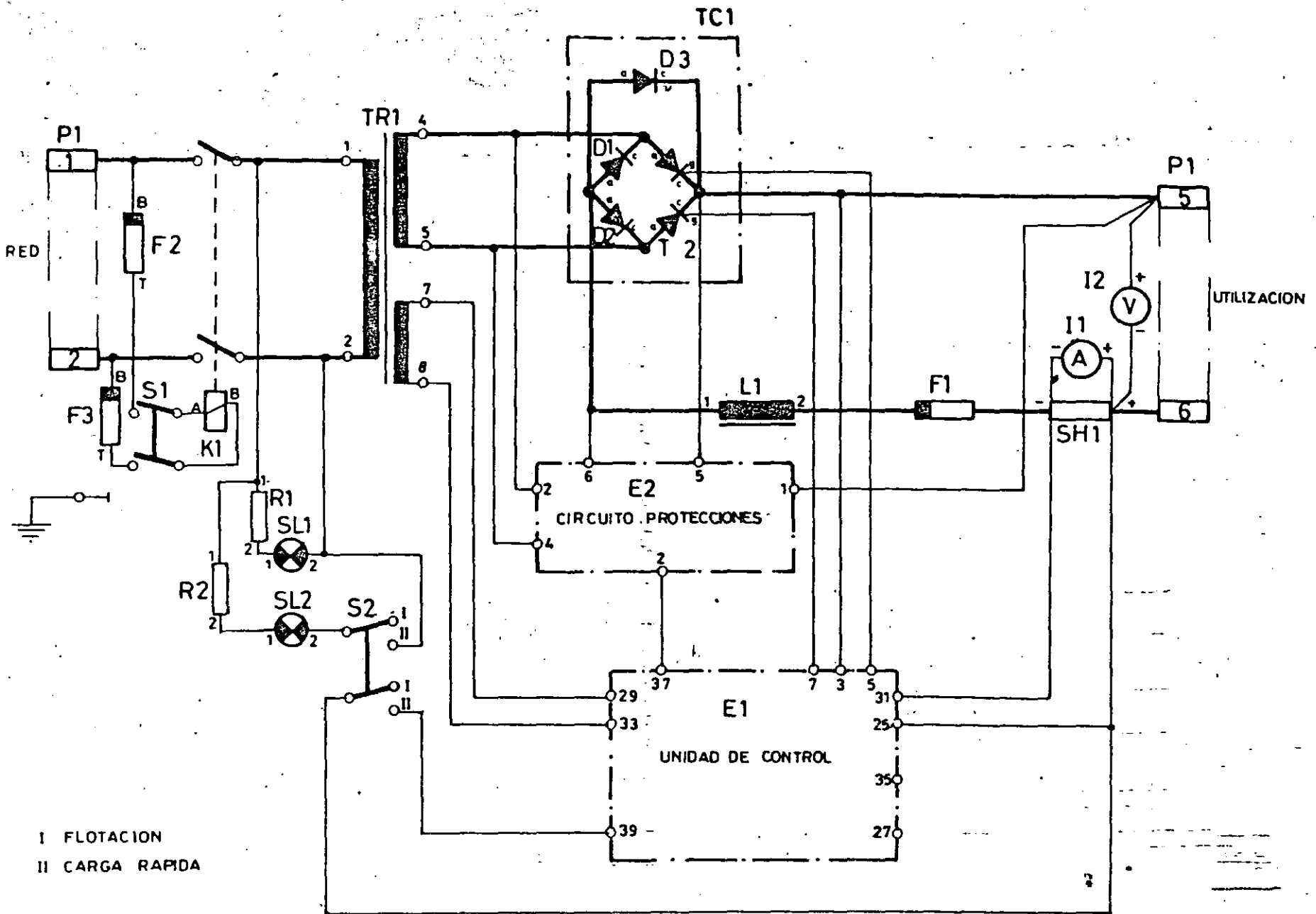


FIG. 3.11

I FLOTACION
 II CARGA RAPIDA

Rectificador tipo SB

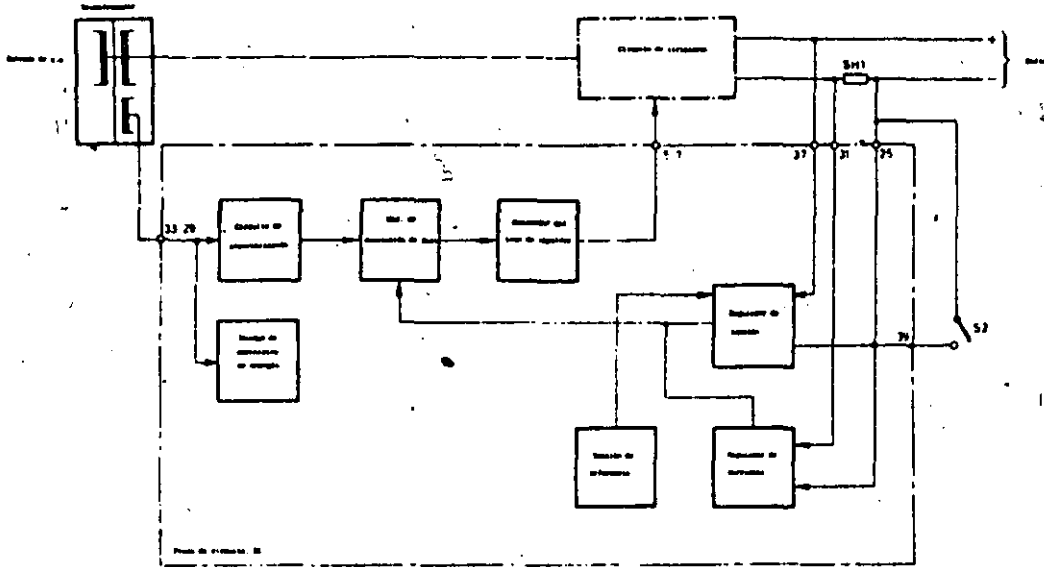


Fig. 3.12

La entrada de la energía de c.a. se aplica a un circuito de la unidad de control. En este circuito se detecta la entrada de c.a. con un circuito de sincronización en el que el punto de cero o "cruce" de la forma de onda de la línea se utiliza para sincronizar la carga y descarga de un condensador en el modulador de desviación de fase. También se suministra a los moduladores una señal de mando de regulación procedente del circuito del regulador de tensión. Este regulador detecta la tensión de salida del rectificador. El regulador consiste en un comparador-amplificador integrado que incorpora una fuente de tensión de referencia extraordinariamente estable.

El condensador se carga hasta un nivel predeterminado por medio de la señal de mando del regulador, nivel al que puede hacerse referencia llamándolo de "pedestal". A este se superpone una forma de onda en rampa de tal modo que la amplitud del pedestal determina la altura total de la forma de onda, y como la rampa tiene una pendiente constante, la amplitud del pedestal determina, a su vez, el momento en el que la forma de onda combinada alcanza un cierto nivel de tensión.

Al llegar a este nivel, la salida dispara a un Transistor Unión Programable (PUT) que constituye el retardo al que se denomina "ángulo de retardo de activación". Como la amplitud de la forma de onda del condensador depende de la señal de mando del regulador, el tiempo de retardo de activación se altera por medio del regulador y, en consecuencia, la señal de control que va a los tiristores del puente.

Cada vez que se activa el "PUT" el generador de tren de impulsos produce un tren de estos a unos 6 kHz. Este tren se aplica a las puertas del puente de tiristores.

La señal de mando del regulador se genera en el regulador de tensión comparando el nivel de tensión detectada a la salida de c.c. con una tensión de referencia que se genera interiormente. El error se transmite al modulador de desviación de fase que corrige el ángulo de activación y, en consecuencia, cualquier desviación a la salida de la unidad. Un ángulo de retardo de activación pequeño corresponde a una tensión alta de salida y al revés.

El dispositivo de carga rápida se acciona con el conmutador S2. Al cerrarse este conmutador, se reduce la entrada de detección al regulador de tensión, haciendo que aumente la señal de mando del regulador. Por consiguiente, se eleva la salida de c.c. procedente del circuito de tiristores.

Para evitar cambios bruscos de corriente alta en el puente de tiristores cuando el rectificador pone en funcionamiento, por ejemplo, un sistema de batería descargada, hay un circuito de arranque lento o "suave" que está incorporado al regulador de tensión, y en virtud del cual se impide que la señal de mando del regulador aumente rápidamente hasta el nivel prefijado. Esto hace que la salida ascienda con lentitud cualquiera que sea la demanda.

El regulador de corriente detecta cualquier demanda excesiva de esta e inhabilita al control de tensión, ajustando así el límite de corriente. Esto se consigue con un amplificador transistorizado e integrado compensado en temperatura que detecta la caída de tensión entre los extremos del "shunt" del amperímetro (SH1) de la Fig. 3.11 sobre los terminales 25(+) y 37(-).

Placa de circuito E2

Esta placa sólo contiene componentes pasivos, a saber, un supresor de transitorios mediante varistores de óxido metálico (terminales 3-4), un circuito protector a RC entre los extremos del puente de tiristores (terminales 6-5) y una resistencia fija de caída en la cadena de detección de tensión (terminales 2-1). Esta última depende de la tensión del sistema.

Circuitos de protección

El supresor de transitorios constituido por varistores de óxido metálico se conecta al secundario del transformador TR1 para proteger a los semiconductores del rectificador contra los transitorios perjudiciales generados por la línea.

El fusible de salida F1 protege componentes vitales contra daños serios provocados por sobretensiones en la línea o por mal funcionamiento de la unidad de control del rectificador.

3.6 DESCRIPCIÓN DEL RECTIFICADOR TRIFÁSICO TIPO VB

La descripción que sigue debe leerse junto con el esquema de la Fig. 3.13.

La corriente de línea se aplica por el conmutador S1 que activa al contactor K1 y a su vez aplica tensión a los devanados primarios del transformador de potencia TR1. La salida de los devanados secundarios se lleva al puente rectificador de tiristores, en el que los TY1, 2 y 3 y los diodos D1, 2 y 3, forman un convertidor de c.a. a c.c. La salida del puente se aplica a los terminales de salida, llevándose la línea positiva directamente a la salida y la negativa a través de la inductancia L1, el fusible F1 y un amperímetro y "shunt".

Los varistores Z1-Z3 son para supresión de transitorios y el diodo D4 es un diodo de funcionamiento libre para llevar la corriente de carga con bajas tensiones de salida.

Unidad de control

La descripción de la unidad de control, que se ilustra como diagrama de bloques en la Fig. 3.14, debe leerse junto con la Fig. 3.13 en la que aparece un esquema típico del rectificador tipo VB.

En la unidad de control trifásica, la placa de circuito E1 de control básico genera los impulsos para la excitación de puerta de los tiristores del puente rectificador de la unidad. Se incorpora también otra placa de circuito (E3) para el suministro de energía.

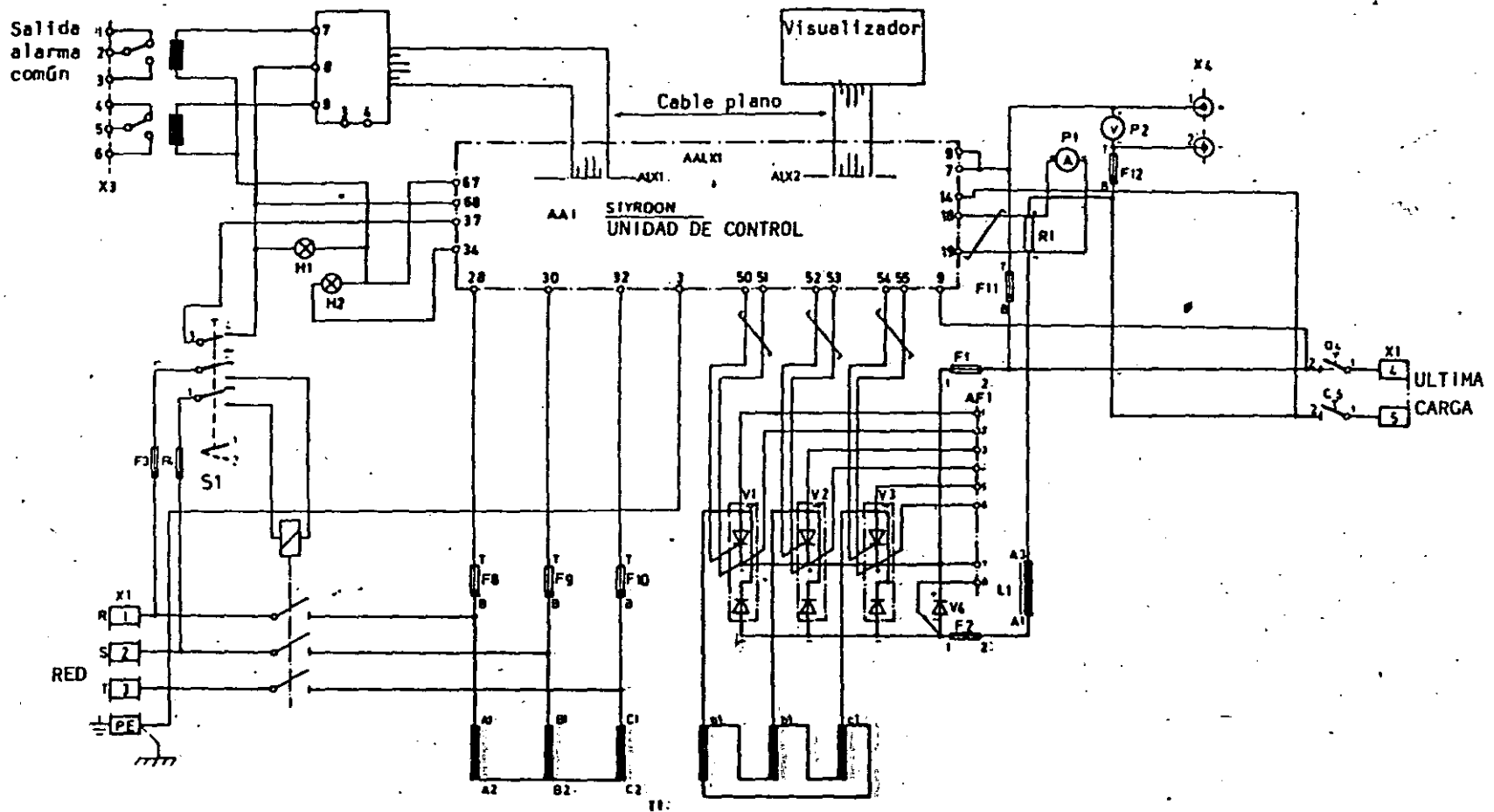


Fig. 3.13

RECTIFICADOR TIPICO VB - Esquema

Las entradas de las tres fases se aplican a tres circuitos análogos en la unidad de control. En cada uno de estos circuitos, la entrada de c.a. se detecta con un circuito de sincronización en el que el punto de cero o "cruce" de la forma de onda de la línea se utiliza para sincronizar la carga y descarga de un condensador en el modulador de desviación de fase. También se lleva al modulador una señal de mando de regulación procedente del circuito del regulador de tensión.

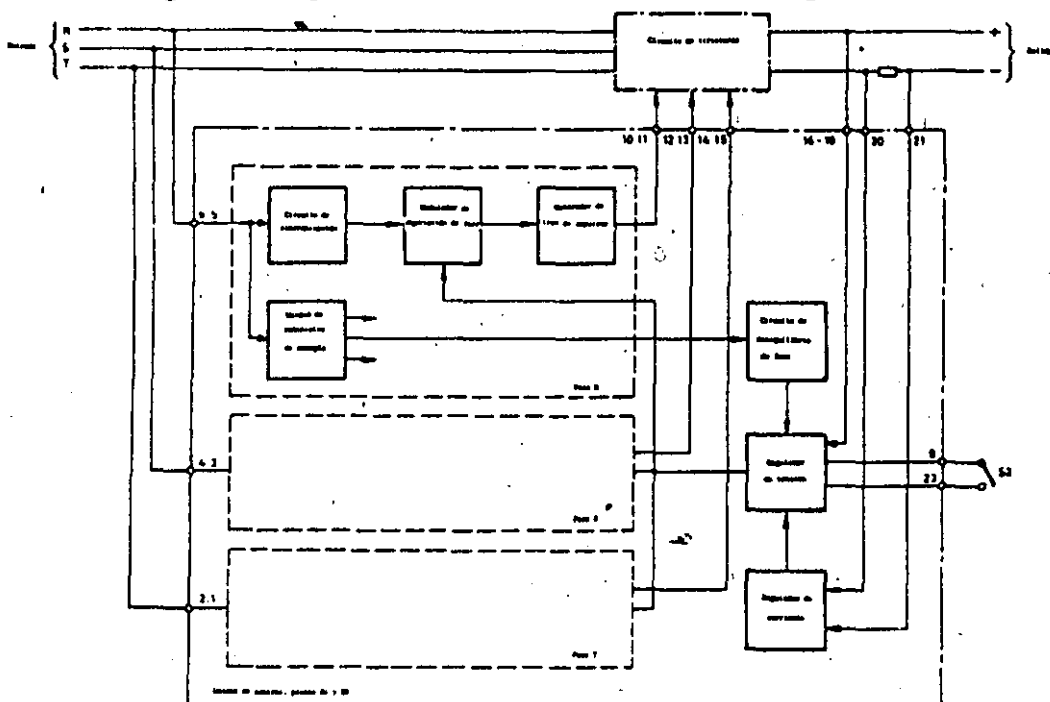


Fig. 3.14

El condensador se carga hasta un nivel predeterminado por medio de la señal de mando del regulador, nivel al que puede hacerse referencia llamándole de "pedestal". A este se superpone una forma de onda en rampa de tal modo que la amplitud del pedestal determina la altura total de la forma de onda, y como la rampa tiene una pendiente constante, la amplitud del pedestal determina, a su vez, el momento en el que la forma de onda combinada alcanza un cierto nivel de tensión.

Al llegar a este nivel, la salida dispara un Transistor Unión Programable (PUT) que constituye el retardo al que se denomina "ángulo de retardo de activación". Como la amplitud de la forma de onda del condensador depende de la señal de mando del regulador, el tiempo de retardo de activación se altera por medio del regulador y, en consecuencia, la señal de control que va a los tiristores del puente.

Cada vez que se activa el "PUT", el generador de tren de impulsos produce un tren de estos a unos 6 kHz. Este tren se aplica a las puertas del puente de tiristores.

La señal de mando del regulador se genera en el regulador de tensión comparando el nivel de tensión detectada a la salida de c.c. con una tensión de referencia que se genera interiormente. El error se transmite al modulador de desviación de fase que corrige el ángulo de activación y, por tanto, cualquier desviación a la salida de la unidad.

El dispositivo de carga rápida se acciona con el conmutador S2. Al cerrarse este conmutador, se reduce la entrada de detección al regulador de tensión, haciendo que aumente la señal de mando del regulador. Por consiguiente, se eleva la salida de c.c. procedente del circuito de tiristores.

Para evitar bruscos cambios de corriente alta en el puente de tiristores cuando el rectificador pone en funcionamiento, por ejemplo, un sistema de batería descargada, hay un circuito de arranque lento o "suave" que está incorporado al regulador de tensión, y en virtud del cual se impide que la señal de mando del regulador aumente rápidamente hasta el nivel prefijado. Esto hace que la salida ascienda con lentitud cualquiera que sea la demanda.

El regulador de corriente detecta cualquier excesiva demanda de esta e inhabilita al control de tensión, ajustando así el límite de corriente.

Otros circuitos son uno de seguridad de desequilibrio de fase, cuya finalidad es detectar la presencia del desnivel de la tensión de una fase en relación con las otras. En este caso, se interrumpe el funcionamiento del rectificador.

3.7 DATOS TÉCNICOS PARA EL RECTIFICADOR MONOFÁSICO (TIPO SB) Y EL TRIFÁSICO (TIPO VB)

Tensión de entrada

Los rectificadores estándar fueron diseñados para las tensiones y frecuencias relacionadas a continuación y para variaciones de +10% de la tensión y de +5% de la frecuencia.

<u>SB (MONOFÁSICO)</u>	<u>VB (TRIFÁSICO)</u>
120, 208, 220, 240,	208, 220, 240, 480,
600 V a 50 ó 60 Hz	600 V a 50 ó 60 Hz
380 V a 50 Hz	380 V a 50 Hz
480 V a 60 Hz	380 V a 60 Hz

Notas

1. La desviación aceptable de la tensión de entrada con respecto al valor nominal es de +10% en general. Si la tensión aumenta por encima del límite superior +10%, se sobrecalentará el transformador principal, y si sube excesivamente, se abrirán los fusibles de entrada o se disparará el disyuntor de entrada.
2. Si la tensión de entrada desciende por debajo del límite inferior -10%, el rectificador no podrá entregar la máxima tensión de salida con carga rápida. Por consiguiente, si la tensión de red cae a -15%, el rectificador entregaría $\frac{0,85}{0,90} = 94\%$ de la tensión máxima normal de salida.

El que esta tensión sea suficiente o no depende del número de elementos de la batería.

Si la tensión desciende por debajo de -15%, no funcionará correctamente la unidad de control.

3. Los rectificadores monofásicos tienen fusibles o disyuntores de entrada y los trifásicos, únicamente disyuntores de entrada.
4. Las unidades trifásicas, excepto las de 3 x 220 V, tienen el transformador principal conectado en estrella-triángulo. El neutro de la red no se usa.

Corriente de entrada

La corriente de entrada queda muy poco afectada por las variaciones de las tensiones de entrada y salida.

Cuando se ha diseñado un rectificador específico y determinado la relación primario/secundario del transformador principal, la corriente de entrada queda fundamentalmente afectada por la de salida. (También afecta al rendimiento).

Las fórmulas que siguen dan la máxima corriente de entrada para las unidades monofásicas y trifásicas a plena carga. (Tensión de carga rápida - Límite de corriente):

$$I_{\text{entrada}} = \frac{V_{\text{CC}} \times I_{\text{CC}} \times K}{E_{\text{en}}}$$

siendo:

V_{CC} = Tensión nominal de c.c. de salida

I_{CC} = Corriente nominal de c.c. de salida

E_{en} = Tensión nominal de c.a. de entrada (entre fases)

K = Factor constante tomado de la tabla que sigue

V_{CC}	<u>SB</u>	<u>VB</u>
	K	K
12	2,71	-
24	2,67	1,32
48	2,67	1,20
110/220	2,53	1,18
220/240	2,53	1,167

Notas

El fusible o disyuntor de entrada se calcula en relación con la corriente inicial de entrada al transformador más que con respecto a la corriente de entrada antes mencionada.

La corriente inicial de entrada al transformador es hasta $30 \times I_{en}$ durante el primer semiciclo. En el ciclo siguiente, la corriente es como máximo $12 \times I_{en}$ y se acerca al anterior valor de corriente nominal de entrada mencionado (I_{en} al cabo de 10 ciclos).

Para satisfacer esta condición, el valor en amperios del fusible o disyuntor se calcula como de 1,5 veces el valor nominal de la corriente de entrada.

Tensión de salida

Nominal

Las tensiones nominales de salida son las estándar de 12, 24, 48, 110, 120, 220, 240 y 330 V c.c.

Carga de flotación

Las tensiones de carga de flotación pueden ajustarse como sigue:

<u>Tensión nominal</u>	<u>Margen de ajuste de la carga de flotación</u>	
	<u>Mínimo</u>	<u>Máximo</u>
12 V	12 V	14 V
24 V	24 V	31 V
48 V	48 V	62 V
110 V	110 V	140 V
120 V	120 V	144 V
220 V	220 V	260 V
240 V	240 V	261 V
330 V	330 V	335 V

Carga rápida

Esta tensión se determina por la batería (tipo de batería y número de elementos) o por la máxima tensión que pueda aceptar la carga. La tensión de ajuste de carga rápida entra en servicio si se comuta el rectificador a carga rápida con el mando de carga automática o manual.

La tensión de carga rápida se puede ajustar como sigue:

<u>Tensión nominal</u>	<u>Margen de ajuste de la carga rápida</u>	
	<u>Mínimo</u>	<u>Máximo</u>
12 V	12 V	16,4 V
24 V	24 V	33,0 V
48 V	48 V	66,0 V
110 V	110 V	162,0 V
120 V	120 V	158,4 V
220 V	220 V	298,0 V
240 V	240 V	316,8 V
330 V	330 V	396,0 V

Ver también la Nota 2 bajo "Tensión de entrada".

Carga profunda (Opción únicamente para el tipo VB). Este modo se hace entrar en servicio o se saca de él manualmente por medio de un conmutador de cambio. La etapa de carga profunda se supone que se utiliza para la primera carga de una batería nueva y, si es necesario, para una carga completa regular de una batería ya en servicio.

Estabilidad de tensión

Estabilidad estática

Cuando se especifica la estabilidad de tensión de un rectificador trabajando en conjunción con una batería, sólo es de interés el valor estático o en régimen continuo. (La respuesta dinámica a los cambios bruscos de carga es fundamentalmente un problema de batería. Vea a continuación "Estabilidad dinámica").

La estabilidad normal es +10% entre 0 y 100% de carga y simultáneamente las variaciones de la tensión de alimentación y de la frecuencia, de +10% y +5% respectivamente. Como opción, la estabilidad estática puede ser de +0,5% en las mismas circunstancias que antes.

Estabilidad dinámica

La estabilidad dinámica se refiere a la máxima desviación momentánea con respecto al valor en régimen continuo ante una brusca variación de las condiciones de trabajo. Normalmente, la estabilidad dinámica se especifica para un cierto incremento de carga (pero también puede indicarse para una variación brusca de la tensión de entrada de c.a.). El tiempo desde el momento en que se aplica el incremento de carga hasta que la tensión de salida retorna al valor en régimen continuo es lo que se llama tiempo de recuperación.

La tabla que sigue muestra el tiempo de recuperación para distintas condiciones de incremento de carga.

<u>% de consumo de carga</u>	<u>% de desviación</u>	<u>Tiempo de recuperación (mseg)</u>
+ 25	+ 20	carga conectada 400
		carga desconectada 1500
+ 100	+ 40	carga conectada 400
		carga desconectada 1500

Corriente de salida

En la Fig. 3.4 se muestran las combinaciones posibles de tensión nominal de salida y corriente nominal de salida.

Los rectificadores están limitados en corriente. El límite de corriente se puede ajustar entre, aproximadamente, 50 y 105% de la corriente nominal para unidades monofásicas, y entre 50 y 105% para unidades trifásicas.

Interferencias de radiofrecuencia (RFI)

Cuando se habla de interferencias de radiofrecuencia, se hace referencia normalmente a la norma VDE 0875. En esta norma las interferencias de radiofrecuencia se dividen en frecuencias por debajo de 30 MHz y por encima de 30 MHz.

Las interferencias de radiofrecuencia por debajo de los 30 MHz tienen lugar, por lo general, a través de conductores mientras que por encima de los 30 MHz suelen ser por radiación.

Un rectificador genera muy pocas RFI por encima de los 30 MHz y las frecuencias radiadas, por lo tanto, pueden despreciarse. Las frecuencias conducidas por debajo de los 30 MHz se pueden limitar montando filtros de supresión de interferencias en los cables de entrada (y salida) del rectificador.

En términos generales, los rectificadores no tienen filtros de RFI y estas interferencias se acercan a la curva "G" (basta) según la norma VDE 0875. Montando filtros de RFI, se satisface la curva "N" (normal). La curva mínima, "K" (pequeña), es muy difícil de satisfacer.

Temperatura ambiental

Los rectificadores están diseñados para una temperatura ambiental de -10 a 40°C. Sin embargo, también se pueden usar a temperaturas ambientales más elevadas si se reduce el valor nominal de la salida como sigue:

<u>Temperatura ambiental</u> 1°C	<u>Factor de reducción de</u> <u>la corriente de salida</u>
45	0,94
50	0,88
55	0,81
60	0,75

Ejemplo:

Si se requiere un rectificador con una corriente nominal de 10 A a 55°C, indique nuestro estándar de 15 A y especifique la corriente de salida de 12 A (0,81 x 15 A).

Altitud

Reduzca la potencia de los rectificadores como sigue:

<u>Altitud (m)</u>	<u>Factor de reducción</u>
Hasta 1500	1,00
Entre 1500 y 3000	0,95
Entre 3000 y 4500	0,92

Rendimiento

El rendimiento del rectificador depende fundamentalmente de la tensión nominal de salida, de la tensión real de salida y de la carga. Los rectificadores estándar sin extras opcionales tienen los siguientes rendimientos aproximados a las tensiones nominales de entrada y salida.

SB

Carga (%)	Rendimiento a las tensiones nominales de entrada y salida					
	12 V	24 V	32 V	48 V	110 V	220 V
25	71	74	75	77	80	81
50	74	78	79	80	83	84
100	76	80	81	82	85	86

Para tensión máxima de salida (carga rápida), multiplique las cifras anteriores 1,02.

VB

Carga (%)	Rendimiento a las tensiones nominales de entrada y salida				
	24 V	48 V	110 V	220 V	330 V
25	77	83	87	88	89
50	80	86	90	91	92
100	82	88	92	93	94

Para tensión máxima de salida (carga rápida), multiplique las cifras anteriores por 1,02.

Factor de potencia

El factor de potencia es el cociente entre la potencia activa de entrada en W y la potencia de entrada en VA . Este factor se denominará a partir de ahora factor total de potencia. Algunas veces, el factor de potencia se considera igual al coseno θ , y solamente es la frecuencia fundamental la que interviene.

El coseno θ depende del ángulo de regulación del rectificador y puede calcularse como sigue:

El factor total de potencia es aproximadamente un 10% inferior al valor del coseno θ según los armónicos:

Ejemplo:

Salida nominal de 24 voltios del rectificador SB

Tensión nominal de entrada

Tensión nominal de salida

Tensión mínima de entrada

Tensión máxima de salida

$$\cos \theta = \frac{\frac{24}{24} \times \frac{0,9 \times 220}{220}}{\frac{220}{220} \times \frac{36}{24}} \times 0,99 = 0,77$$

El factor TOTAL de potencia es, aproximadamente, 0,69.

Nota:

- Si la tensión máxima de salida en el ejemplo anterior se redujese a 33 V, el coseno θ aumentaría a 0,80 y el factor total de potencia a 0,72.
- La carga afecta muy poco al ángulo de regulación. Por consiguiente, el coseno θ es prácticamente el mismo sin carga que a plena carga.
- El factor de potencia podría mejorarse conectando condensadores correctores de fase en paralelo con la entrada al rectificador. Sin embargo, esto podría crear fenómenos de resonancia, especialmente cuando se alimenta el rectificador con un grupo generador. Por tanto, debemos evitar esta solución.

Arranque lento

Los rectificadores están provistos de un dispositivo para "arranque lento". Esto garantiza el incremento gradual de la tensión de salida del rectificador hasta el valor prefijado. Con ello se limita la corriente de arranque y se protege el rectificador en caso de que se ponga en funcionamiento con una salida en cortocircuito (o con una batería completamente descargada).

Mandos normales

Commutador de "CARGA DE FLOTACION" - "CARGA RAPIDA"

El rectificador tiene un conmutador de "CARGA DE FLOTACION" - "CARGA RAPIDA". En la posición "CARGA DE FLOTACION", el control automático de la carga (si está instalado) inhabilita el conmutador manual, es decir, el control automático de carga conmuta el rectificador a carga rápida si hay que recargar la batería. En la posición "CARGA RAPIDA", el conmutador manual inhabilita el control automático de carga (si está instalado) y el rectificador trabaja con carga rápida siempre que el conmutador selector esté en posición "CARGA RAPIDA". (El rectificador puede mantenerse en carga rápida cuando el conmutador selector vuelve a "CARGA DE FLOTACION" si se ha activado el control de carga automática. Entonces el rectificador no vuelve a flotación hasta que ha transcurrido el tiempo establecido).

Lámparas indicadoras

En términos generales, el rectificador tiene dos lámparas indicadoras:

- "TENSION APLICADA" (ámbar), que se ilumina cuando se hace presente la tensión de la red y está cerrado el disyuntor de entrada del rectificador.
- "CARGA RAPIDA" (roja), que se ilumina cuando el rectificador se ha conmutado a carga rápida - por medio del control manual o por el de carga automática.

Instrumentos

Los rectificadores tienen instrumentos para la

- tensión de salida
- corriente de salida

Opcionalmente, los rectificadores pueden llevar un amperímetro con cero central que indica la corriente de carga/descarga de la batería.

Nota: Como opciones, se pueden instalar voltímetros y amperímetros de c.a.

Opciones estándar

Hay 4 opciones estándar:

Control de carga automática, filtro de c.c. de salida, alarmas, amplificador limitador de corriente.

La información sobre ellas figura en el capítulo 4.

3.8 SMR. RECTIFICADOR CONMUTADO

La culminación de 15 años de experiencia e investigación en el campo de la alimentación de energía ha dado como fruto la moderna tecnología de conmutación.

Las llamadas soluciones lineales, dominantes anteriormente, donde los componentes magnéticos siempre han trabajado a la frecuencia principal, eran grandes y pesadas. La misma desventaja tenían las soluciones de tiristores y transistores.

La tecnología de conmutación ha supuesto un paso fundamental gracias principalmente al desarrollo de componentes adecuados a esta tecnología, sobre todo a transistores de conmutación rápida de tensión alta.

El motivo más importante ha sido la demanda constante de fuentes de alimentación en forma compacta y ligera y con rendimiento alto. El rectificador conmutado (SRM = Switch mode rectifier) proporciona estas ventajas.

Principios de transformación

El rectificador conmutado abarca varios principios de construcción. Se usa un gran número de soluciones a base de varios circuitos. Sin embargo, en un diagrama de bloques simplificado todas son similares.

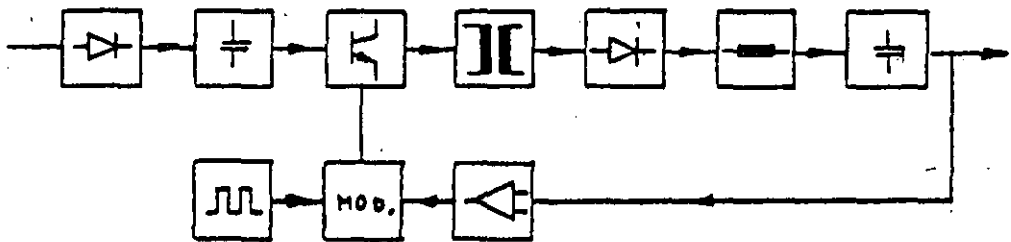


Fig. 3.15

Una parte común a todas las soluciones es que la tensión de entrada se rectifica primero en una fuente de diodos y se filtra en un condensador electrolítico bastante grande, adecuado para la potencia de salida deseada.

La tensión constante del condensador se corta en una onda cuadrada de alta frecuencia por medio de un elemento central de conmutación, normalmente un transistor rápido de alta frecuencia.

Este elemento cortador también se hace cargo del ajuste principal de la potencia de salida final, por medio de la variación de los tiempos de principio y fin de los impulsos cuadrados = modulación de anchura de impulsos.

La Fig. 3.16 muestra una tensión de entrada al transformador idealizada, a) a tensión de entrada baja y carga alta, b) a tensión de entrada alta y carga baja.

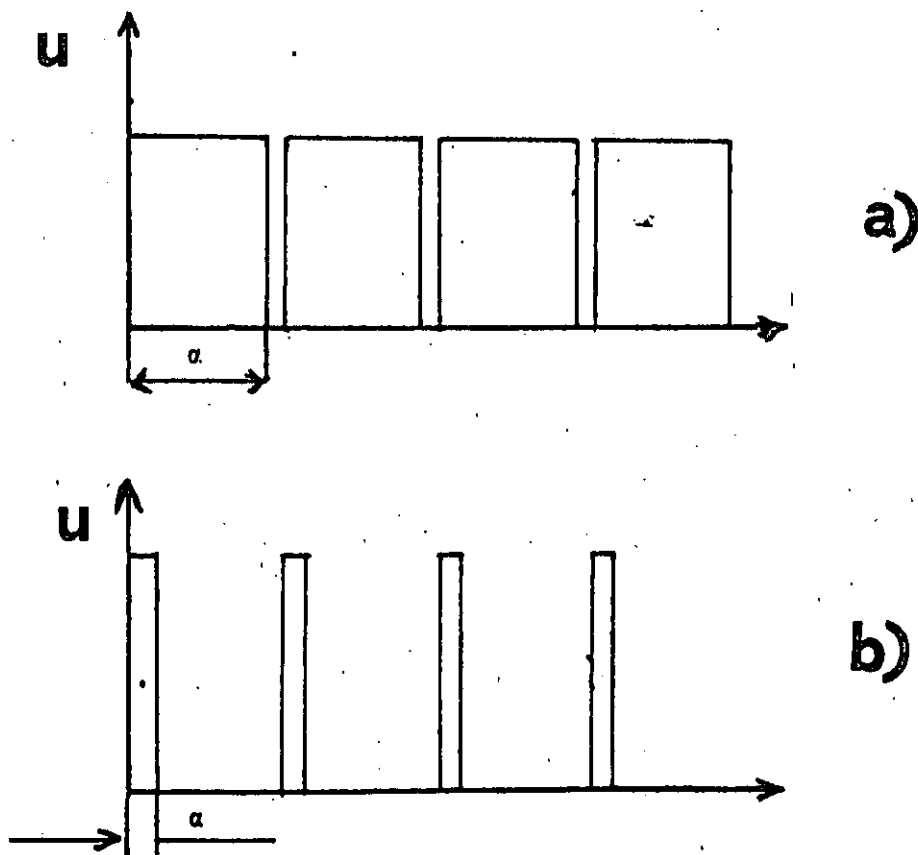


Fig. 3.16

La onda cuadrada de impulsos de anchura variable se alimenta normalmente por un transformador al lado primario. A la frecuencia normal, digamos 20-50 KHz, esto se debe hacer con un material de ferrita en el núcleo. Esto es muy pequeño comparado con el transformador correspondiente a la frecuencia de potencia. Por otro lado, la

tensión por vuelta es mayor, por ejemplo, 1 V por vuelta de un devanado de una unidad de 150 W, un hecho que puede causar algunos problemas.

Después de la transformación a un nivel adecuado, la tensión se debe rectificar y filtrar de nuevo, ya que la carga debe tener tensión continua para los circuitos de entrada.

Esta rectificación se hace con diodos que, debido a la alta frecuencia, deben ser mucho más rápidos que los diodos empleados en circuitos de baja frecuencia. El tiempo de recuperación requerido es del orden de 25-50 ns.

El último eslabón de la cadena es el filtro con reactancia y condensador de salida. Es importante que el condensador tenga baja impedancia. Esto proporciona un rizado bajo en la salida.

La unidad de control para ajustar la tensión de salida y la corriente consiste, a grandes rasgos, en un oscilador, un regulador y un modulador para la conexión y desconexión de los transistores de conmutación.

Esta es la composición principal de una fuente de alimentación conmutada.

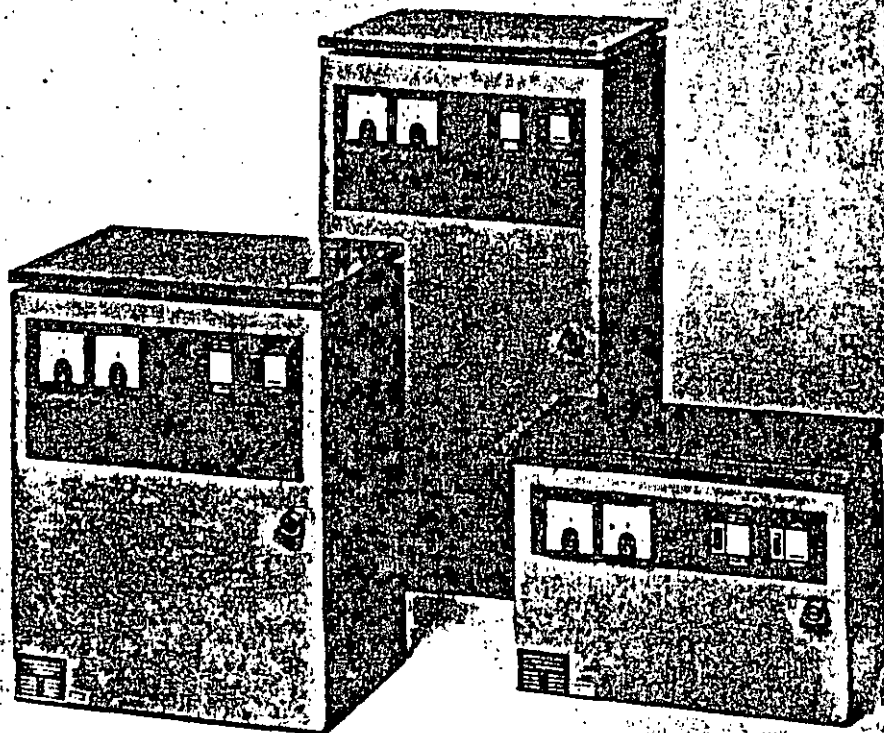
Se necesita un filtro en la entrada y en la salida para limitar la tensión de rizado y el ruido. Sobre la mayor parte de los semiconductores de potencia hay también un circuito reductor para reducir la dv/dt y los picos de tensión.

En la entrada se encuentra con frecuencia algún limitador de corriente que reduce la corriente de conexión, ya que el gran condensador de filtro de entrada funciona inicialmente como un cortocircuito.

Los tipos más comunes de SMR son los convertidores "flyback", "forward", y "push-pull" de los cuales el primero se usa principalmente para pequeñas potencias y el último para grandes potencias. Los convertidores "flyback" y "forward" se pueden construir alrededor de uno o dos transistores de potencia. Con dos transistores habrá una tensión de colector más baja que con uno solo.

4. SISTEMA DE C.C.

Quando una batería y un rectificador trabajan en paralelo, constituyen un sistema de c.c.



El rectificador debe ser de tipo de tensión constante con limitación de corriente. En condiciones normales, cuando se hace disponible la c.a. y está completamente cargada la batería, el rectificador trabaja a nivel de carga de flotación. La carga de la batería no queda afectada por las demandas variables de corriente en tanto que no se exceda el límite de ésta. Si se excede el límite de corriente del rectificador, la batería suministra la demanda de corriente adicional y cae la tensión del sistema. En algunas aplicaciones, por ejemplo, en cuadros de maniobra y cuando la carga contiene impulsos cortos ocasionales, la batería se descarga durante un breve período (segundos), pero esto no tiene importancia alguna mientras el rectificador esté en carga de flotación.

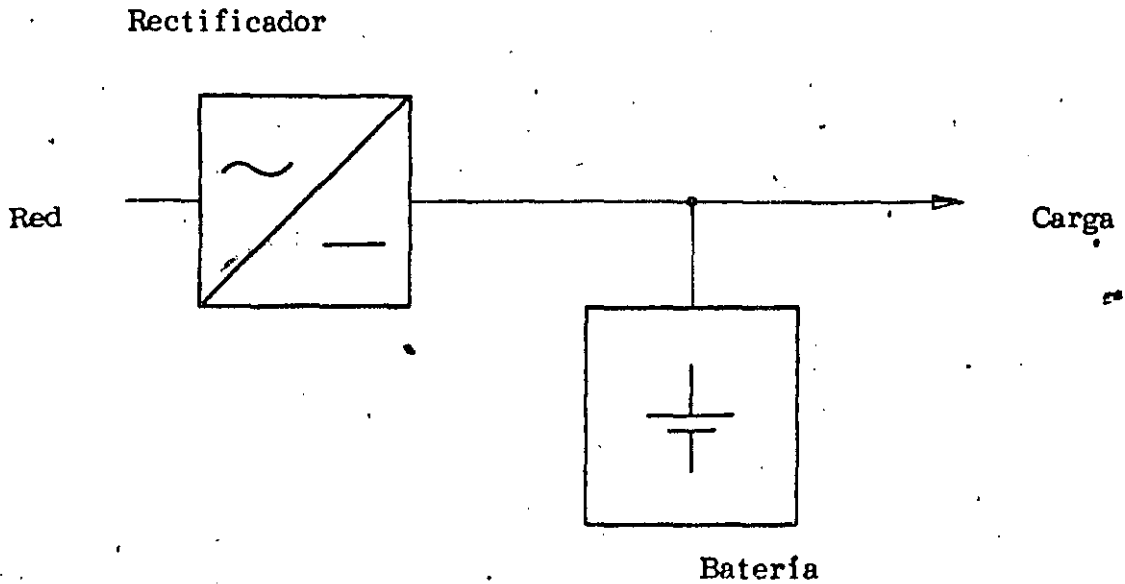


Fig. 4.1

Una aplicación típica de c.c. es la que ilustra la Fig. 4.1. En ella hay una batería y un rectificador cuyas características son las de la Fig. 4.2 que trabajan en paralelo y alimentan una carga cuya demanda de corriente no es constante. La Fig. 4.3 ilustra la tensión y corriente de una batería NIFE de 90 elementos (sistema de 110 V) durante los procesos de carga y descarga. En (1) la batería está en carga de flotación y el consumo de corriente puede llegar hasta el límite de ésta sin afectar al estado de carga de la batería. Cuando se produce un fallo de red (2), es la batería únicamente la que alimenta a la carga, y la tensión de la batería se reduce (3). En (4) retorna la red y el rectificador se conmuta manualmente a carga rápida, o automáticamente si está provisto de un sistema de control de carga automática. Durante el período (5), el rectificador trabaja en el límite de corriente y la tensión de la batería (y de la carga) aumenta. Cuando la tensión alcanza el límite preestablecido, el rectificador pasa del modo de limitación de corriente al de limitación de tensión de carga rápida. Este punto (6) corresponde al codo de la curva característica del rectificador que ilustra la Fig. 4.2. Durante el período (7), se reduce la corriente del rectificador y la tensión se hace constante. En (8) la batería queda completamente cargada y el rectificador vuelve al modo de carga de flotación manual o automáticamente.

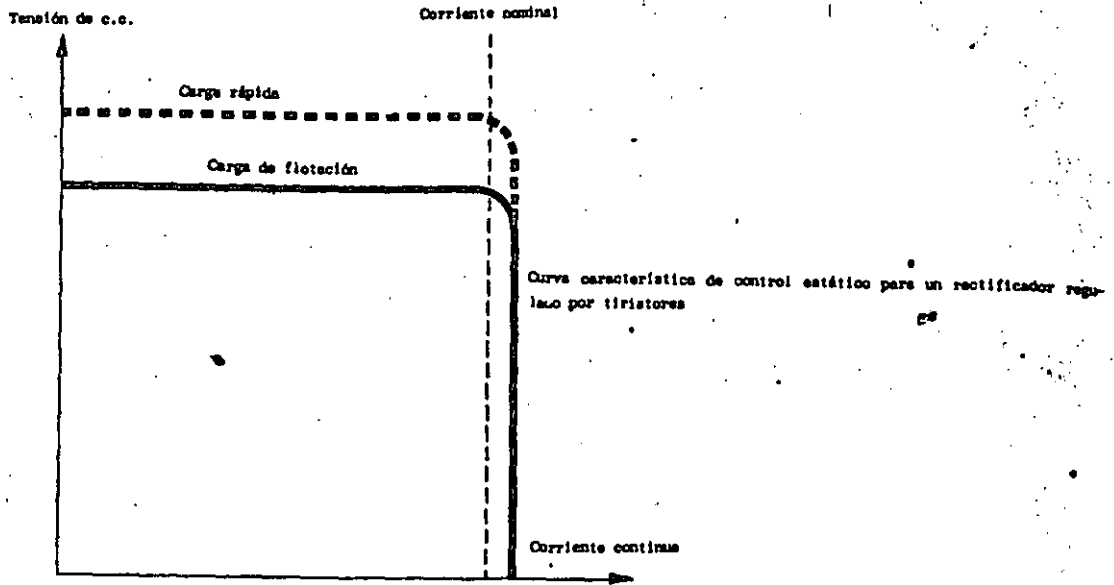


Fig. 4.2

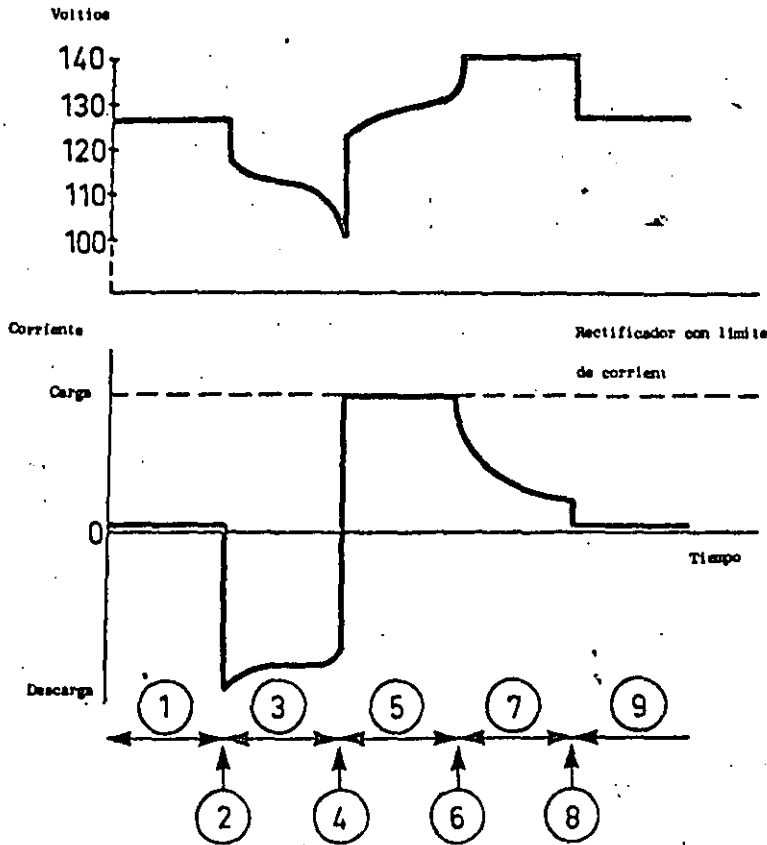


Fig. 4.3

4.1 DISTINIOS SISTEMAS DE C.C.

En un sistema de c.c. regulado, el rectificador tiene como misión la ejecución de dos importantes funciones. Tiene que recargar y mantener la batería en condición completamente cargada y debe alimentar a la carga del sistema cuando haga falta. Después de producirse un fallo de la red, la batería se hace cargo de la alimentación de la carga. Durante estas diferentes fases, existe una notable variación de la tensión de la carga.

En una aplicación normal, algunas cargas, por ejemplo, un alumbrado de emergencia, se desconectan del conjunto de rectificador/batería durante la carga (rápida), Fig. 4.4. Sólo queda conectada la batería a la carga después de un fallo de la red y la variación de tensión en la carga es únicamente función de la tensión durante la descarga de la batería. En caso de baterías de níquel-cadmio y de plomo-ácido, es normal una caída de tensión del 15 al 20% en este tipo de aplicación, y la carga no tiene problema para absorber estas variaciones de tensión.

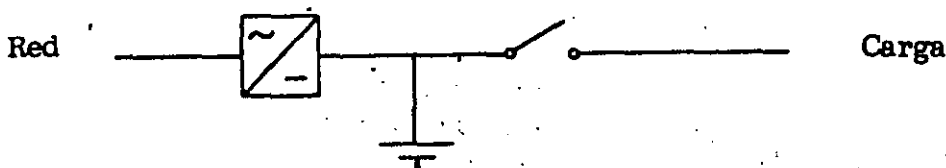


Fig. 4.4

Por lo que respecta a la aplicación de la Fig. 4.5, las variaciones de tensión son mucho mayores. Durante la carga rápida de una batería de níquel-cadmio, la tensión del elemento viene a ser de 1,55 V/e (voltios por elemento). Si hubiese que recargar la batería dentro de un tiempo razonable, la batería de plomo-ácido tiene una carga rápida aproximada de 2,45 V/e. Para utilizar de la mejor manera posible la batería, la tensión final durante la descarga es, normalmente, de 1,10 V/e en caso de una batería de níquel-cadmio (1,75 V/e si la batería es de plomo-ácido). Esta tensión final puede ser más alta, pero aumenta el precio de la batería. La tensión durante la carga rápida puede reducirse también, pero esto prolonga el tiempo de carga de la batería.

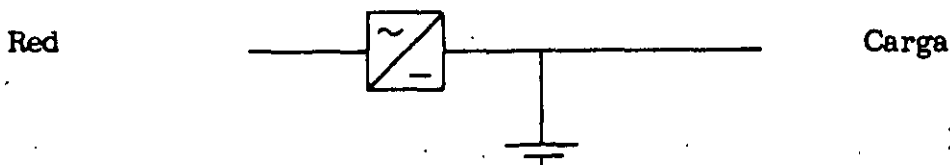


Fig. 4.5

El intervalo de tensión en este caso es, aproximadamente, de +20 a -15% de la tensión nominal. Como algunas aplicaciones son sensibles a esta gran variación de tensión, es necesario tomar las medidas adecuadas para cerciorarse de que la variación de tensión del sistema se limitará a un nivel aceptable. Existen algunos métodos fundamentales que pueden utilizarse, siendo los más comunes los siguientes:

1. Reguladores de tensión de salida
2. Sistema rectificador doble
3. Conmutador de elementos finales
4. Convertidor de c.c.-c.c.

Regulador de la tensión de salida

El regulador de la tensión de salida consiste en una serie de grupos de diodos, que se conmutan para entrar o salir del circuito por medio de una unidad de control electrónico de detección de la tensión, vea la Fig. 4.6. Los grupos de diodos consisten en diodos de silicio conectados en serie, han sido elegidos por su caída de tensión directa que se mantiene sustancialmente invariable al cambiar la corriente.

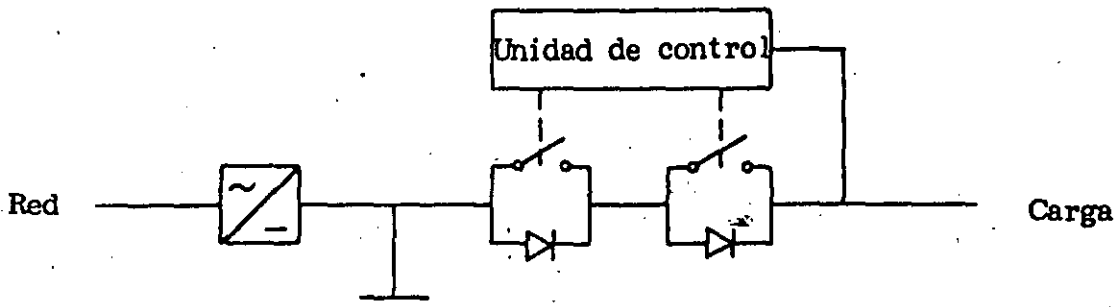


Fig. 4.6

El número de diodos de cada grupo varía exponencialmente desde la carga de la batería y depende, asimismo, de la tensión del sistema. En términos generales, la caída de tensión es de 0,8 V/diodo.

La unidad de control electrónico se conecta al lado de carga y consiste en placas enchufables para su rápido y fácil servicio. La unidad de control también puede ser parte integrante del sistema de alarma y control del rectificador, pero su función sigue siendo la misma.

Tensión de c.c.

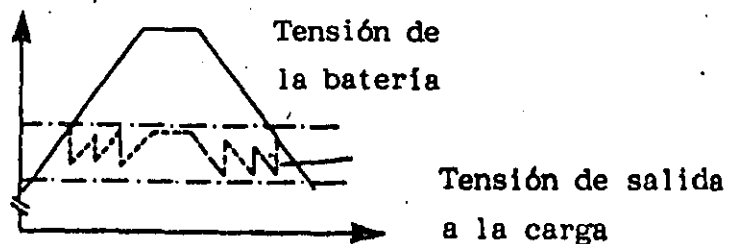


Fig. 4.7

Un regulador de la tensión de salida con tres grupos de diodos mantiene la tensión de salida dentro del $\pm 10\%$ de la nominal cuando hay grandes variaciones en la tensión de la batería, Fig. 4.7. El regulador debe tener, por lo menos, un fusible que lo proteja en caso de cortocircuito de la carga. La facultad de sobrecarga de la unidad depende de la curva característica de tiempo-corriente de este fusible.

En la Fig. 4.8 se ilustra una versión simplificada de un regulador de tensión de salida.

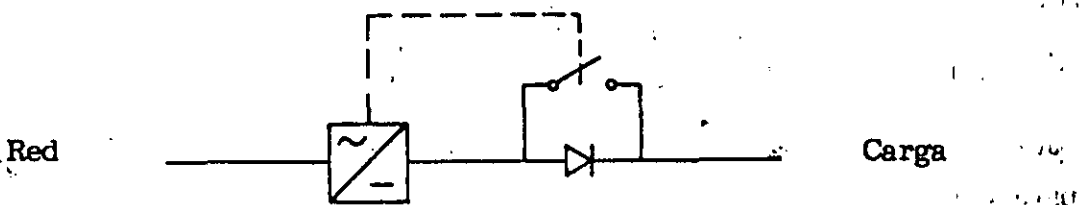


Fig. 4.8

Este regulador consiste únicamente en un grupo de diodos conectado cuando se conmuta el rectificador a carga rápida a través de un contactor que normalmente está cerrado. El contactor se activa con la red. Si la red cae, el contactor se cierra y conecta directamente la batería a la carga. Este contactor se cierra también cuando se conmuta el rectificador a carga de flotación.

Si se puede dividir la carga en distintos grupos, por ejemplo, cargas momentáneamente grandes con una corriente mayor que la nominal del rectificador, y cargas pequeñas sensibles a la sobretensión, se puede conectar la carga momentáneamente grande directamente al rectificador/batería y las pequeñas, al regulador de la tensión de salida, Fig. 4.9. Cuando se puede hacer esto, sólo es necesario diseñar el regulador de la tensión de salida para la carga pequeña, y el precio total del sistema se reduce en comparación con un sistema en el que las cargas pequeñas y grandes están conectadas al regulador de tensión de salida.

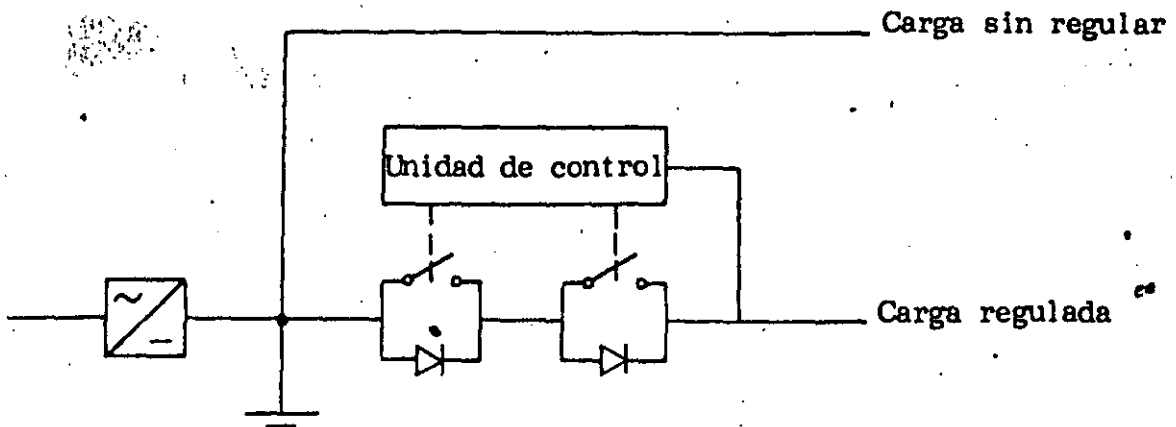


Fig. 4.9

Sistemas rectificadores dobles

En la Fig. 4.10 se ilustra un sistema que consta de dos rectificadores y baterías. El sistema es más bien costoso, pero proporciona un 100% de reserva si los rectificadores y las baterías están diseñados para carga total.

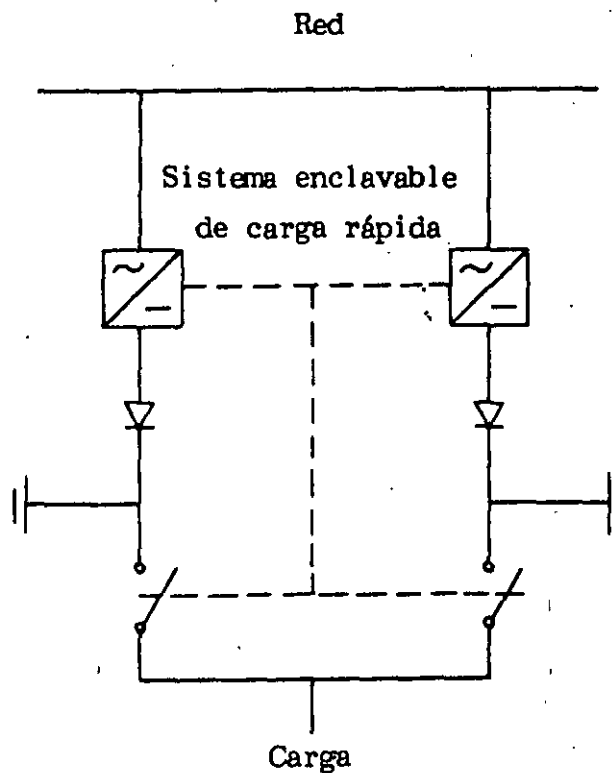


Fig. 4.10

El sistema se divide en dos secciones, cada una con una batería y un rectificador. Las dos secciones se conectan a una barra colectora común. Hay unos conmutadores de interconexión apropiados que permiten trabajar a ambas secciones con independencia mutua o en paralelo. Puede tener lugar una carga rápida en una sección determinada cuando esta sección está aislada de la carga por medio del conmutador de interconexión. Al mismo tiempo, la otra sección estará en carga de flotación y conectada a la barra colectora. Hay que tomar las adecuadas precauciones bajo la forma de un dispositivo de enclavamiento que garantice que no se pueden poner al mismo tiempo en carga rápida los dos sistemas. Cuando la batería del primer sistema está totalmente cargada (después de una carga rápida), este sistema se conecta a carga de flotación y a la barra colectora. A partir de ese momento, el segundo sistema se desconecta de la barra colectora y pasa a carga rápida. Cuando ha quedado totalmente cargada la segunda batería, los dos sistemas se conectan a la barra colectora.

Si se produce un fallo de red cuando uno de los sistemas está en carga rápida, el conmutador de interconexión conecta las dos baterías poniéndolas en paralelo. En tal caso, no importa el que las dos baterías tengan un estado de carga distinto.

Se pueden seleccionar también las baterías para alimentar un 50% de la carga y seguir manteniendo una altísima fiabilidad del sistema. Si se produjese un fallo, haría falta un diodo de bloqueo para evitar perturbaciones entre los dos rectificadores.

Comutación de elementos finales

La batería se puede dividir en dos secciones, una de ellas formada por los elementos principales y la otra por los finales, para reducir la variación de tensión que se aplica a la carga. Cuando se desconecta la batería, quedan conectados en serie varios grupos a través del conmutador de elementos finales. En paralelo sobre el conmutador de estos elementos finales se conecta un diodo para evitar la desconexión temporal de la carga durante la comutación, Fig.4.11.

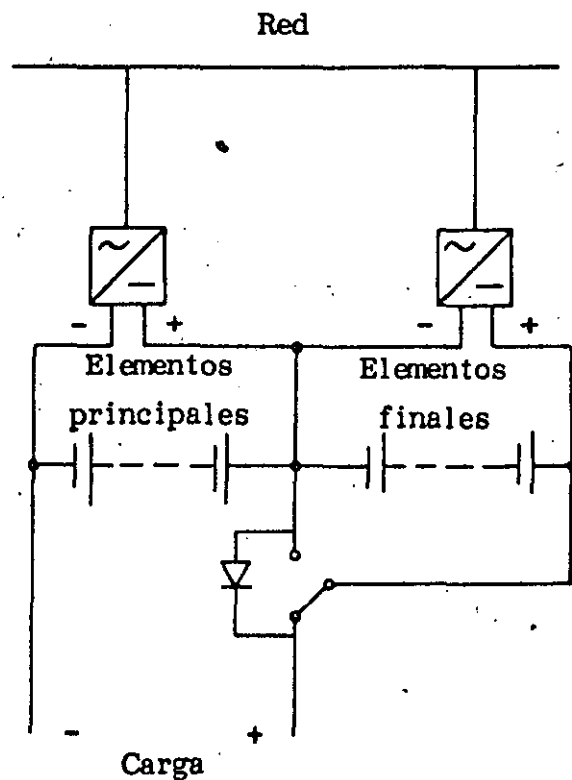


Fig. 4.11

Quando se restablece la red, las baterías se conectan a carga rápida y el rectificador principal recarga la batería principal mientras que el auxiliar recarga los elementos finales.

Quando la batería está totalmente cargada, los rectificadores se conmutan automáticamente a carga de flotación.

En algunas aplicaciones, la batería principal y los elementos finales se conectan en serie durante el proceso de carga de flotación.

Convertidor de c.c./c.c.

Se puede obtener un control continuo de la tensión de salida usando un convertidor de c.c./c.c. conectado entre la batería y la carga, como ilustra la Fig. 4.12.

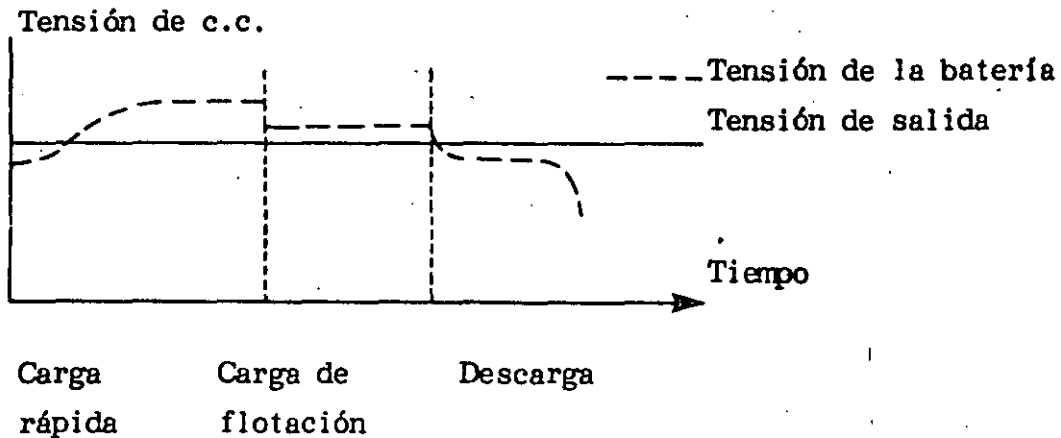
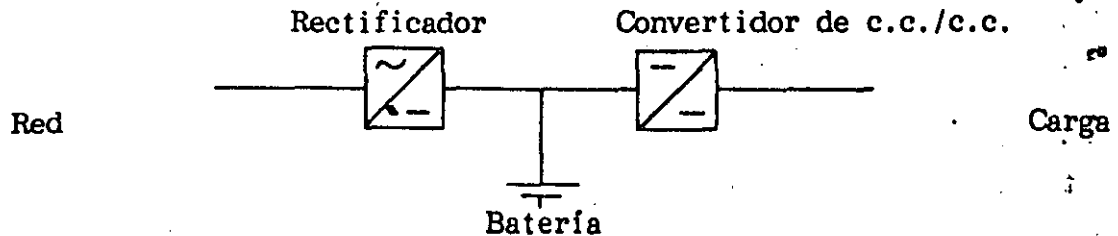


Fig. 4.12

La tensión de c.c. de entrada al convertidor es normalmente $\pm 15-20\%$ de la nominal, y la de salida tiene una tolerancia nominal de $\pm 2\%$ de la tensión nominal.

Si alguna parte de la carga es insensible a la variación de la tensión de entrada al convertidor, se puede conectar ésta delante del convertidor de c.c./c.c. Esto debe hacerse también si la carga consiste en puntas intensas de corriente porque el convertidor normal de c.c./c.c. no tenga buenas características dinámicas.

El costo de un sistema de c.c. con un convertidor de c.c./c.c. es superior si se lo compara con otros sistemas de control de la tensión de salida. Los sistemas de convertidor de c.c./c.c. son comunes en las redes de telecomunicaciones.

4.2 ACCESORIOS

Al rectificador se pueden conectar distintos tipos de accesorios de carácter modular. Los más comunes son los siguientes:

Alarmas

Alarma de tensión alta: Controla la tensión de c.c. e inicia alarmas cuando es excesivamente alta la tensión. La tensión detectada se compara con una referencia de tensión estabilizada en temperatura en un circuito comparador de tensores. Una histéresis ajustable permite que exista la adecuada sensibilidad aunque aumente la tensión de c.c. lentamente o se mantenga en el nivel de alarma establecido. Además, un retardo ajustable de tiempo posibilita el retraso de las alarmas en un tiempo de hasta 60 segundos a fin de que las altas tensiones de corta duración no provoquen alarmas. La histéresis y el retardo de tiempo se ajustan dando por resultado una buena resolución, como ilustra la Fig. 4.13.

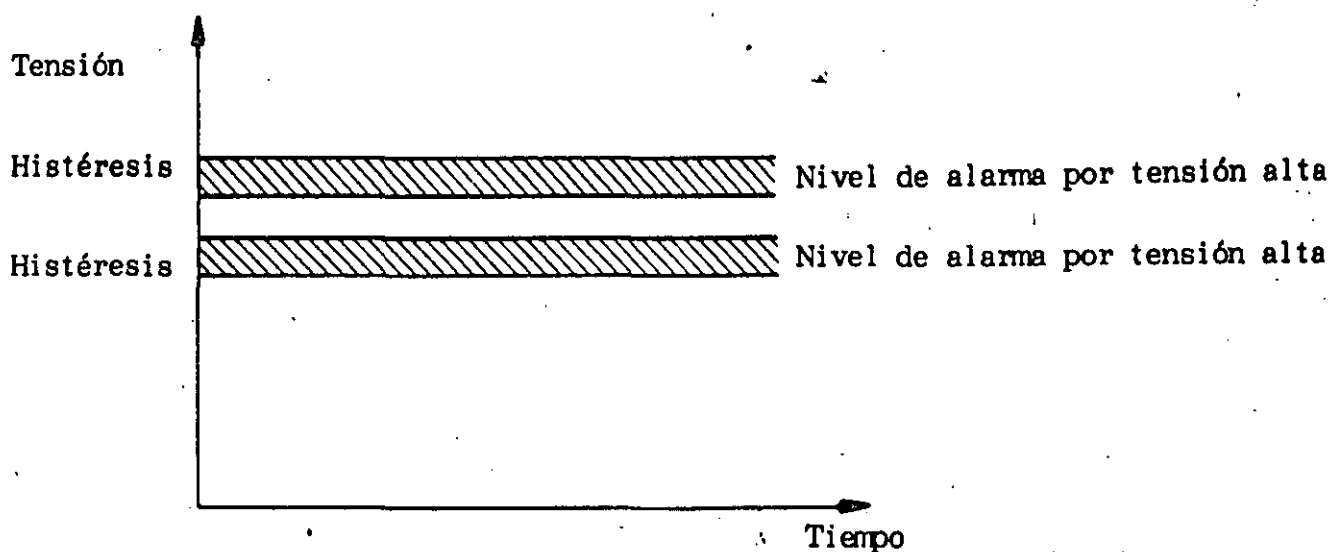


Fig. 4.13

Alarma de tensión baja: Controla la tensión de c.c. e inicia alarmas cuando la tensión es excesivamente baja. Esta alarma trabaja basándose en el mismo principio que la de alta tensión; vea la Fig. 4.13.

Alarma por derivación a tierra: Se usa para indicar la corriente derivada a tierra desde el positivo o negativo de la salida del sistema de c.c. Cuando hay una derivación a tierra y la impedancia entre la salida de c.c. y masa es excesivamente baja, se genera una corriente de derivación a tierra, corriente que se transforma en una tensión en un convertidor de corriente-tensión.

Alarma por avería del rectificador: Se usa para indicar una interrupción anormal del circuito de carga motivada por un mal funcionamiento del rectificador o por apertura de fusibles. También se da indicación de alarma por fallo de la línea de c.a. o desconexión de la misma. El circuito de alarma detecta dos señales procedentes de la unidad de control. Las señales desde las salidas del regulador de tensión y del regulador de corriente se aplican a comparadores independientes. Cuando no trabaja correctamente el rectificador, estas dos señales están en el valor límite o en cero. Cualquiera de ambas condiciones inicia la de alarma.

Control de carga automática

Este circuito se emplea para conmutar automáticamente la salida del rectificador desde carga de flotación a carga rápida. El circuito de carga automática detecta una señal desde la unidad principal de control que indica cuándo trabaja el rectificador en el límite de corriente. Si ocurre así durante un tiempo superior al de un período establecido, que normalmente es de unos 36 segundos, el rectificador pasa a carga rápida, Fig. 4.14.

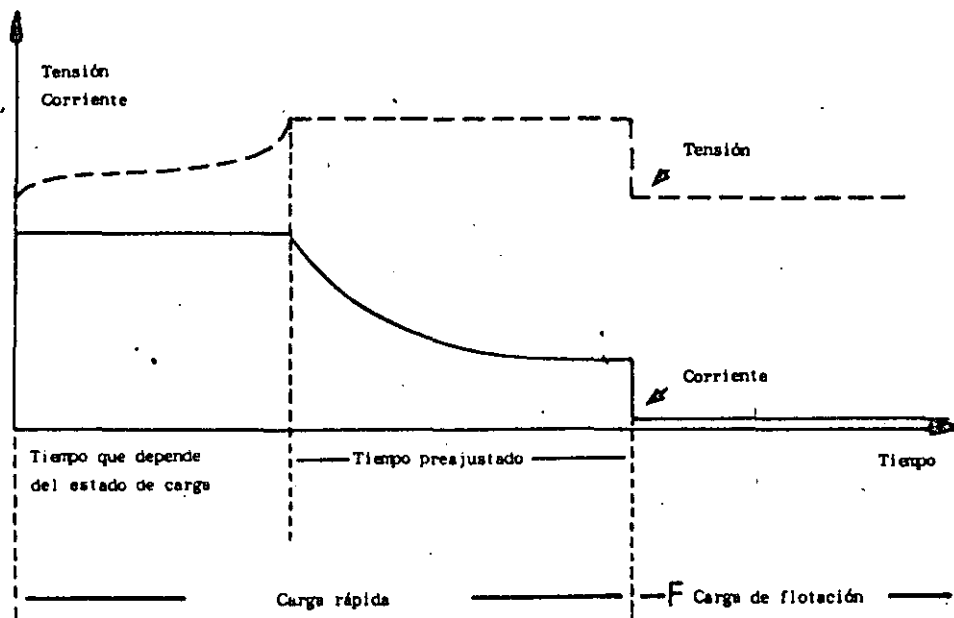


Fig. 4.14

Quando el rectificador deja la condición de límite de corriente y cambia a control de tensión, ese rectificador trabaja a carga rápida durante un tiempo de 4 a 12 horas, por lo general. El rectificador vuelve a carga de flotación cuando ha transcurrido el tiempo de carga fijado.

4.3 TENSION DE RIZADO Y FILTRO

Muchos sistemas de suministro de energía de c.c. trabajan con una tensión máxima especificada de rizado a la salida. En algunas aplicaciones, el rectificador opera sin batería y la tensión de rizado a la salida sólo depende del diseño del rectificador y de su filtro de salida, si es que existe alguno. En la mayoría de las aplicaciones, el rectificador funciona con una batería. Para calcular la tensión de rizado sobre la batería, hay que conocer la corriente de rizado del rectificador y la impedancia de la batería. Empecemos por dar algunas definiciones de la tensión de rizado.

Valor eficaz

La tensión de rizado suele especificarse en V (o mV) eficaces. El valor puede relacionarse entonces con la tensión nominal de c.c. en porcentaje. Vea la Fig. 4.15.

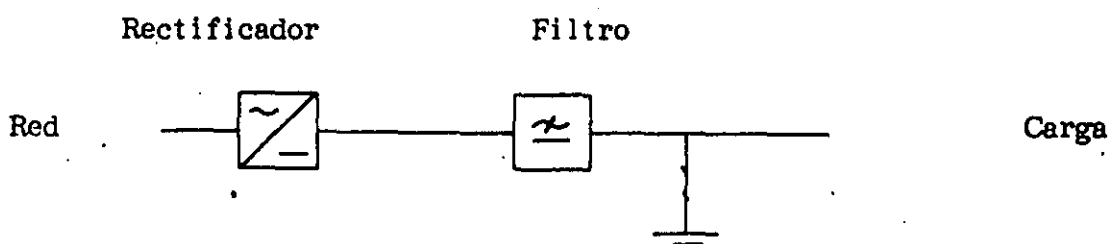
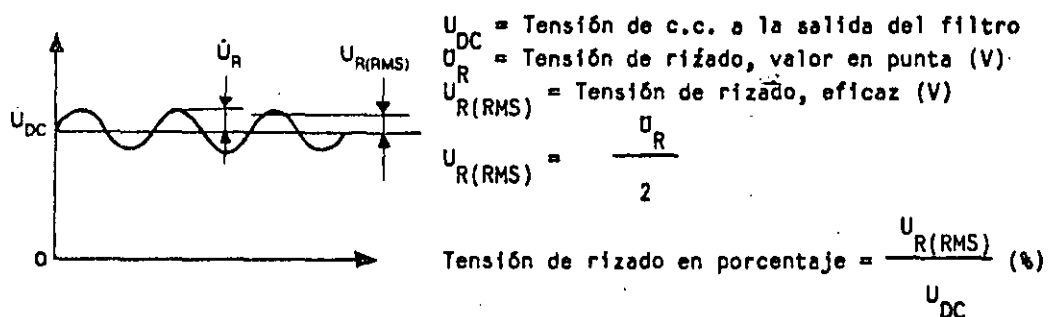


Fig. 4.15

Valor sofométrico

En aplicaciones telefónicas, la tensión de rizado suele especificarse como un valor sofométrico más que como tensión eficaz. El valor sofométrico está relacionado con la sensibilidad del oído humano. Como la sensibilidad (y, por tanto, el valor sofométrico) depende de la frecuencia, no hay forma fácil de convertir un valor eficaz en otro sofométrico.

Una buena regla práctica para los rectificadores regulados por tiristores marca NIFE es que en las peores condiciones generan un espectro de frecuencia en el que 2 mV psfométricos vienen a ser igual a un 0,1% eficaz de la tensión nominal de c.c.

Rectificadores SB y VB sin filtro de salida

Los rectificadores regulados por tiristores tipo SB y VB tienen como elemento estándar una reactancia en una de las ramas de c.c. - normalmente la rama negativa, si no se especifica de otro modo. La reactancia está diseñada para limitar el valor eficaz de la corriente de rizado a un máximo de $0,7 \times I_N$ para rectificadores SB y de $0,45 \times I_N$ para los VB en el peor de los casos.

I_N = corriente nominal de salida del rectificador.

La frecuencia de la corriente de rizado es:

Dos veces la de la red (100 Hz para red de 50 Hz) con rectificadores SB.

Tres veces la de la red (150 Hz para red de 50 Hz) con rectificadores VB.

Con la batería conectada

Cuando se conecte una batería al rectificador, la reactancia de salida junto con la batería forman un circuito de filtro.

Las baterías NIFE resisten la corriente de rizado sin problema alguno. Las baterías de plomo-ácido sólo pueden resistir una corriente de rizado relativamente baja. Algunos fabricantes especifican $0,02 \times C_{10}A$ eficaces como máximo para las baterías con placas tubulares. Esto debe tenerse en cuenta si la capacidad de la batería es baja en relación con la corriente nominal del rectificador.

La corriente de rizado determina una tensión de rizado entre los extremos de la batería. La amplitud de la tensión de rizado será la de la corriente de rizado multiplicada por la impedancia interior de la batería. En la Fig. 4.16 se dan algunos valores típicos para las baterías y rectificadores NIFE.

DISTINTOS TIPOS DE FILTROS Y CARGAS PARA LOS RECTIFICADORES SB Y VB








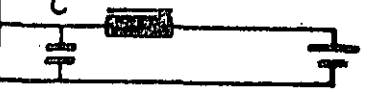

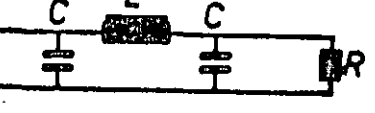
Rectificador estándar	Filtro	Carga 0 - 100 % de I_n	Rizado en % eficaz de la tensión nominal																												
			Monofásica	Trifásica																											
			Aprox. 80	Aprox. 50																											
			$0.7 \cdot I_n \cdot Z_B$ <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">I_n / C_{10}</th> <th colspan="3">Tipo de elemento NIFE</th> <th colspan="3"></th> </tr> <tr> <th>H</th> <th>M</th> <th>L</th> <th>H</th> <th>M</th> <th>L</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.1</td> <td>0.2</td> <td>0.4</td> <td>0.8</td> <td>0.13</td> <td>0.25</td> <td>0.5</td> </tr> <tr> <td>0.2</td> <td>0.4</td> <td>0.8</td> <td>1.6</td> <td>0.25</td> <td>0.5</td> <td>1.0</td> </tr> </tbody> </table>	I_n / C_{10}	Tipo de elemento NIFE						H	M	L	H	M	L	0.1	0.2	0.4	0.8	0.13	0.25	0.5	0.2	0.4	0.8	1.6	0.25	0.5	1.0	
I_n / C_{10}	Tipo de elemento NIFE																														
	H	M		L	H	M	L																								
0.1	0.2	0.4	0.8	0.13	0.25	0.5																									
0.2	0.4	0.8	1.6	0.25	0.5	1.0																									
			2.5	1.5																											
			0.1	0.1																											
			0.1	0.1																											

Fig 4.16

Observaciones

I_n = corriente nominal del rectificador
 C_{10} = capacidad de 10 h de la batería
 Z_B = impedancia de la batería

Rectificadores SB y VB provistos de filtro de salida

Algunas cargas, como los equipos telefónicos y los circuitos electrónicos de control, necesitan una tensión de alimentación de c.c. con un contenido de rizado muy bajo. Para satisfacer este requisito, hay que dotar a los rectificadores con un filtro adicional de salida.

El filtro estándar consiste en un condensador en paralelo (banco) y una reactancia en serie. Atenúa la corriente de rizado 50 veces. Así, si el rectificador SB o VB tiene un filtro normal, la corriente de rizado se reduce a un máximo de $0,014 \times I_N$ y de $0,009 \times I_N$ A eficaces, respectivamente.

Carga resistiva sin batería conectada

En condiciones de ausencia de carga, la tensión de rizado a la salida es, aproximadamente, del 2,5% para las unidades SB y 1,5% para las VB con filtros estándar. Cuando se conecta una carga resistiva, la tensión de rizado se reduce aún más y a plena carga es, aproximadamente, de 1,5% y 1,0%, respectivamente.

Únicamente con batería conectada

Cuando se conecta una batería a un rectificador con filtro de salida estándar, la reactancia del filtro junto con la batería constituye un circuito filtro adicional (la reactancia del rectificador junto con el condensador del filtro es la primera etapa del circuito).

Como se ha dicho antes, la amplitud de la tensión de rizado será la corriente de rizado multiplicada por la impedancia interior de la batería. En la Fig. 4.16 se dan algunos valores típicos para las baterías y rectificadores NIFE con filtro.

4.4 Limitación independiente de la corriente de la batería

En los sistemas de suministro de energía en régimen continuo de c.c. y c.a., el rectificador está aplicando permanentemente corriente a la carga y, al mismo tiempo, cargando la batería. Si la batería está diseñada para trabajar durante un corto tiempo como unidad de refuerzo, la corriente nominal del rectificador será alta en relación con el tamaño de la batería y la corriente recomendada de carga de ella.

Esto no representa problema alguno siempre que el sistema de suministro de energía trabaje a carga nominal, pero si hubiera que reducir ésta, la corriente disponible para cargar la batería aumentaría proporcionalmente. Después de un fallo de la red, la batería se cargará con una corriente anormalmente alta si se conmuta el rectificador manualmente a carga rápida.

Si se usa un control automático de carga, la carga rápida no se conmutará nunca porque el rectificador no llegará nunca al límite de corriente de carga. En tales condiciones, la batería nunca quedará completamente cargada.

Para eliminar estos problemas, los rectificadores grandes pueden equiparse, como opción estándar, con dos salidas, una a la carga y otra a la batería, Fig. 4.17. En la salida de la batería, hay un "shunt" adicional cableado a otra placa enchufable de circuito impreso con un amplificador limitador de corriente montada en la unidad de control. El límite de corriente de la batería inhabilita al de corriente normal del rectificador y entonces se hace cargo del control del rectificador cuando la corriente de carga (a la batería) llega a su valor prefijado. Este valor, normalmente, se ajusta entre el 15 y el 100% de la corriente nominal del rectificador.

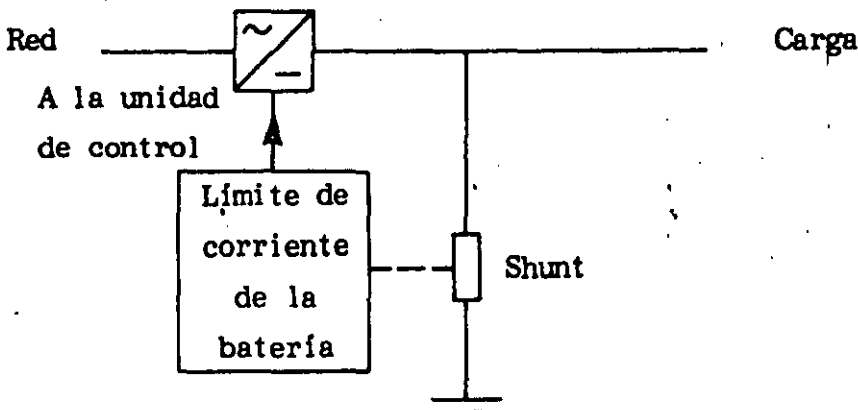


Fig. 4.17

Si se conecta el rectificador a un motogenerador durante el período de fallo de la red, la corriente de carga puede reducirse a cero para minimizar la potencia de entrada al rectificador.

4.5 FILTROS DE ARMONICOS

Los impulsos de disparo, generados por la unidad de control, activan al respectivo tiristor antes o después durante cada semiciclo en función de la tensión real de entrada y salida (y de la carga). La unidad de control utiliza el punto en el que la onda sinusoidal de tensión de la red cruza la línea cero como referencia.

Si, por alguna razón, la tensión de la red estuviera muy distorsionada y de tal forma que hubiera más de un punto de cruce del cero de lo normal (vea la Fig. 4.18), la unidad de control no sabría cuál utilizar y el rectificador podría empezar a oscilar o a variar. (Regulación incorrecta).

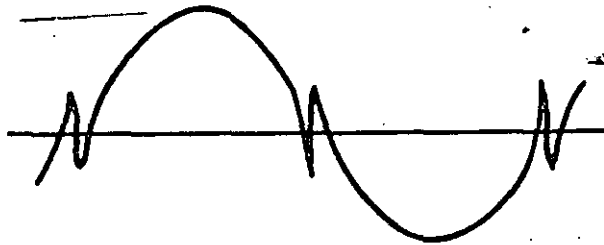


Fig. 4.18

Naturalmente, el problema podría resolverse filtrando la energía total de entrada al rectificador, pero esta solución sería muy costosa.

En lugar de ello, se resuelve el problema conectando un circuito de filtro en serie con la señal de sincronización de la unidad de control. El circuito está montado en una placa enchufable que forma parte de la unidad de control y que se suministra cuando se requiere tal opción.

CTORIO DE ASISTENTES AL CURSO: DISEÑO Y FABRICACION DE EQUIPO ELECTRICO
DEL 7 AL 18 DE OCTUBRE DE 1985

NOMBRE Y DIRECCION

EMPRESA Y DIRECCION

1.- ANTONIO AVENDAÑO GRELLE
Tramonto No. 97
Col. Pastores
Estado de Méx.
Tel.

INSTITUTO JUVENTUD, A.C.
Av. San Agustín No. 32
Col. Pastores
Edo. de Méx.
Tel.

2.- DANIEL BECERRIL ALBARRAN
Hacienda De la Condesa No. 85
Prados del Rosario
Delg. Azcapotzalco
C.P. 02410
México, D.F.
Tel. 382-72-14

CIA. DE LUZ Y FUERZA DEL CENTRO, S.A.
Melchor Ocampo No. 171
Tlaxpana
Delg. Miguel Hidalgo
C.P. 11590
México, D.F.
Tel. 592-09-57

3.- PUBLIO BERNA MARTINEZ

FACULTAD DE INGENIERIA, UNAM
Cd. Universitaria

4.- LUIS BURGOS SERRANO

FACULTAD DE INGENIERIA, UNAM
Cd. Universitaria

5.- MAURICIO ESQUIVEL GUERRERO
Bretaña No. 135-7
Col. Zacahuitzco
Delg. Iztapalapa
C.P. 03550
México, D.F.
Tel.

FACULTAD DE INGENIERIA, UNAM
Av. Universidad No. 3000
Cd. Universitaria
Delg. Coyoacán
C.P.
México, D.F.
Tel. 550-52-15 Ext. 4607

6.- JUAN FERNANDO GARCIA CRUZ
Av. Circunvalación No. 43
Unidad Barrientos
Tlalnepantla
Edo. de Mex.
Tel. 390-19-45

SIEMENS, S.A. DE C.V.
Poniente 116 No. 590
Col. Industrial Vallejo
Delg. Atzacapotzalco
C.P. 02300
México, D.F.
Tel. 567-07-22 Ext. 400 - 220

NOMBRE Y DIRECCION

EMRPESA Y DIRECCION

7.- ROGELIO GLORIA ARREDONDO
Malintzin No. 39 A
Col. Postales
Delg. Benito Juárez
C.P. 03300
México, D.F.
Tel. 556-52-90

CIA. DE LUZ Y FUERZA DEL CENTRO, S.A.
Salónica No. 265
Col. Jardín Azpeitia
Delg. Axcapotalco
C.P.
México, D.F.
Tel. 556-52-90

8.- HUGO A. GRAJALES ROMAN
Tihuatlan No. 18
Col.
Delg. Contreras
C.P. 10200
México, D.F.
Tel. 568-50-27

FACULTAD DE INGENIERIA
Cd. Universitaria

9.- JOSE LUIS GUERRERO LUTTEROTH
Paseo del Pedregal No. 1331
Col. Jardines del Pedregal
Del.
C.P.
México, D.F.
Tel. 568-99-94

SERVICIOS DE INGENIERIA DEL
MEDIO AMBIENTE, S.A. DE C.V.
Fulton No. 12
Tlanepantla, Edo. Méx.
Tel. 390-57-17

10.- ALBERTO IGNACIO GUZMAN HERNANDEZ
Rafael Delgado No. 60-A
Col. Obrera
Delg. Cuauhtémoc
C.P. 06800
México, D.F.
Tel. 588-68-73

FACULTAD DE INGENIERIA, UNAM
Av. Universidad No. 800
Cd. Universitaria
Delg. Benito Juárez
C.P. 05310
México, D.F.
Tel. 688-89-55 550-52-15 Ext. 3737

11.- MAURILIO HERNANDEZ GERMAN
Benito Juárez No. 12
San Pablo Tecalco
Edo. de Méx.
C.P. 55740
Tel.

CENTRO DE ESTUDIOS TECNOLOGICOS
INDUSTRIAL Y DE SERVICIOS No. 65
Km. 2.5 Autopista México-Piramides
Santo Tomas Chiconautla
Ecatepec

JUAN HERRERA MARTINEZ
Av. Parque de los Niños No. 9
Las Arboledas
C.P. 54500
de Méx.
Tel. 379-06-67

FACULTAD DE INGENIERIA, UNAM
Cd. Universitaria

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO: DISEÑO Y FABRICACION DE EQUIPO ELECTRICO

DEL 7 AL 18 DE OCTUBRE DE 1985

NOMBRE Y DIRECCION

EMPRESA Y DIRECCION

- 13.- JUAN VICENTE LEDUC RUBIO
FACULTAD DE INGENIERIA, UNAM
Cd. Universitaria
- 14.- LUIS LOPEZ ORTIZ
Pinzón No. 67
Alamedas
Delg.
C.P. 54500
México, D.F.
Tel. 822-41-79
SECRETARIA DE PROGRAMACION Y
PRESUPUESTO
Reforma No. 350
Col. Juárez,
Delg. Cuauhtémoc
C.P. 06600
México, D.F.
Tel. 286-10-00 Ext. 3040
- 15.- CESAR MAXIMILIANO LOPEZ-PORTILLO
ALCERRECA
Av. Chilpancingo No. 155-4
Col.
Delg. Cuauhtémoc
C.P. 06760
México, D.F.
Tel. 584-39-56
CIA. DE LUZ Y FUERZA
- 16.- RODOLFO LORENZO BAUTISTA
Petaló No. 15
Col.
Delg. Coyoacán
C.P. 04640
México, D.F.
Tel. 677-30-10
FACULTAD DE INGENIERIA, UNAM
Cd. Universitaria
Tel. 550-52-15 Ext. 3712
- 17.- SALVADOR MARINO MARQUEZ MERCADO
- 18.- LEONEL MONROY DEL RIO
Zacatepec 9
Col. Toriello Guerra
Delg. Tlalpán
C.P. 14050
México, D.F.
Tel. 573-18-26
FACULTAD DE INGENIERIA, UNAM
Cd. Universitaria
Tel. 550-52-15 Ext. 3712

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO: DISEÑO Y FABRICACION DE EQUIPO ELECTRICO

DEL 7 AL 18 DE OCTUBRE DE 1985

NOMBRE Y DIRECCION

EMPRESA Y DIRECCION

- 19.- JORGE MONTES LOPEZ
Calle Baltazar No. 49
Col. Navidad
Delg. Cuajimalpa
C.P. 05210
Tel. 812-04-49 812-05-54
- DELEGACION DE CUAJIMALPA
Calle México Esq. Av. Juárez s/n
Col. Cuajimalpa
Delg. Cuajimalpa
C.P. 05000
Tel. 812-34-57
- 20.- ARTURO MORALES COLLANTES
E Castellanos X 208
Col.
Delg. Coyoacán
C.P. 04400
México, D.F.
Tel. 544-58-38
- FACULTAD DE INGENIERIA, UNAM
Ciudad Universitaria
- 21.- JOSE CARLOS BRUNO MUÑIZ GRAMAJO
Copilco 162 E22-D201
Col.
Delg. Coyoacán
C.P. 04360
México, D.F.
Tel. 550-85-57
- FACULTAD DE INGENIERIA, UNAM
Ciudad Universitaria
- 22.- HECTOR OCHOA HERNANDEZ
Calle Nte 7A No. 4709
Col. Panamericana
Delg. Gustavo A. Madero
C.P. 07770
México, D.F.
Tel. 587-24-68
- SIEMENS, S.A. DE C.V.
Poniente 116 No. 590
Col. Industrial Vallejo
Delg. Azcapotzalco
C.P. 02300
México, D.F.
Tel. 567-07-22 Ext. 358
- 23.- ALEJANDRO OLALDE RAMIREZ
- FACULTAD DE INGENIERIA, UNAM
Ciudad Universitaria
- JOSE MANUEL PADILLA TINAJERO
Av. Unidad Modelo No. 16
Col. Unidad Modelo
Delg. Ixtapalapa
9090
México, D.F.
582-47-35
- FACULTAD DE INGENIERIA, UNAM
Ciudad Universitaria

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO: DISEÑO Y FABRICACION DE EQUIPO ELECTRICO

DEL 7 AL 18 DE OCTUBRE DE 1985

NOMBRE Y DIRECCION

EMPRESA Y DIRECCION

- | | | |
|------|---|---|
| 25.- | ARTURO I. PEON ZAPATA
La Quemada No. 223
Col.
Delg. Benito Juárez
C.P. 03020
México, D.F.
Tel. 286-99-73 | FACULTAD DE INGENIERIA, UNAM
Ciudad Universitaria |
| 26.- | JAIME RAMIREZ HERNANDEZ | CONSTRUCTORA NACIONAL DE CARROS
DE FERROCARRIL, S.A. |
| 27.- | AGUSTIN RODRIGUEZ FUENTES | FACULTAD DE INGENIERIA, UNAM
Ciudad Universitaria |
| 28.- | JOSE A. SANCHEZ HERNANDEZ | S.C.T. |
| 29.- | ANTONIO SALVA CALLEJA
Sur 73 No. 138
Col. Prado
Delg. Iztapalapa
C.P. 04480
México, D.F.
Tel. 539-08-79 | FACULTAD DE INGENIERIA, UNAM
Ciudad Universitaria |
| 30.- | JAVIER VALENCIA FIGUEROA
Cerrada Perpetua 10-15
Col.
Delg. Benito Juárez
C.P.
México, D.F.
Tel. 584-71-18 | FACULTAD DE INGENIERIA, UNAM
Ciudad Universitaria |

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO: DISEÑO Y FABRICACION DE EQUIPO ELECTRICO

DEL 7 AL 18 DE OCTUBRE DE 1985

NOMBRE Y DIRECCION

EMPRESA Y DIRECCION

31.- DAVID VAZQUEZ ORTIZ

FACULTAD DE INGENIERIA, UNAM

32.- JACINTO VIQUEIRA LANDA
Presa Pabellón No. 30
Col.
Delg. Miguel Hidalgo
C.P. 11500
México, D.F.
Tel. 557-18-57

FACULTAD DE INGENIERIA, UNAM
Ciudad Universitaria