



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

DIPLOMADO EN RIESGO AMBIENTAL

**MODULO III: METODOS Y ANALISIS DE RIESGO
(CUALITATIVO Y CUANTITATIVO)**

TEMA: 1. EVALUACION

EXPOSITOR: I.Q.I. BERTHA ALVARADO ZAVALA

1997



INTRODUCCIÓN.-

Los elementos que dan origen a los riesgos presentes en una industria son, en términos generales, los siguientes:

- * **MATERIAS PRIMAS.**
- * **PROCESO Y TECNOLOGÍA UTILIZADA.**
- * **PRODUCTOS TERMINADOS.**
- * **RECURSOS HUMANOS.**
- * **COMUNIDAD Y VECINDAD.**
- * **MEDIO AMBIENTE.**

La interrelación de estos elementos, por medio de la tecnología utilizada, es lo que da por resultado la existencia de riesgos reales y potenciales, siendo su magnitud función de las características particulares de los elementos mencionados.

El análisis de riesgo puede realizarse a través del "SENTIDO COMÚN", pero la complejidad de la tecnología moderna ha hecho que el proceso de análisis sea también complejo, por ello ha sido necesario el desarrollar y establecer metodología sistemáticas de alta confiabilidad, para realizar los diagnósticos de seguridad de los procesos industriales.

EVOLUCIÓN.-

El diagnóstico de seguridad a una planta de procesos involucra responder una serie de preguntas, a saber:

¿EXISTEN RIESGOS REALES Y POTENCIALES EN LA PLANTA?

si es así:

¿CUALES SON?

¿DE QUE MAGNITUD SON?

¿SON ACEPTABLES?

si no es así:

EVOLUCION DE LOS ANALISIS DE RIESGO.

- 1920 - APARICION DE LAS PRIMERAS METODOLOGIAS. LA COMPAÑIA DUPON EN FRANCIA, DECIDE "ANALIZAR LOS ACCIDENTES" CALAMITOSOS DE SUS PLANTAS DE DINAMITA.

- 1960 - SE DESARROLLA LA METODOLOGIA CONOCIDA COMO "ANALISIS DE EFECTOS Y MODOS DE FALLA", LA CUAL ES UNA FORMALIZACION AL METODO WHAT IF...? YA EMPLEADO, POR ALGUNAS INDUSTRIAS DE PROCESO. ESTA FORMALIZACION ES REALIZADA POR LA INDUSTRIA AEROSPACIAL DE USA.

- 1962 - SE DESARROLLA LA METODOLOGIA "ARBOL DE FALLAS", POR LA MISMA INDUSTRIA AEROSPACIAL, EL CUAL ES COMPLEMENTADO POR LA INDUSTRIA NUCLEAR DE USA.

- 1960 - DURANTE LA DECADA ES DESARROLLADA LA METODOLOGIA CONOCIDA COMO HAZARD & OPERABILITY STUDIES (HAZOP), POR LA DIVISION MOND DE LA COMPAÑIA INGLESA ICI.

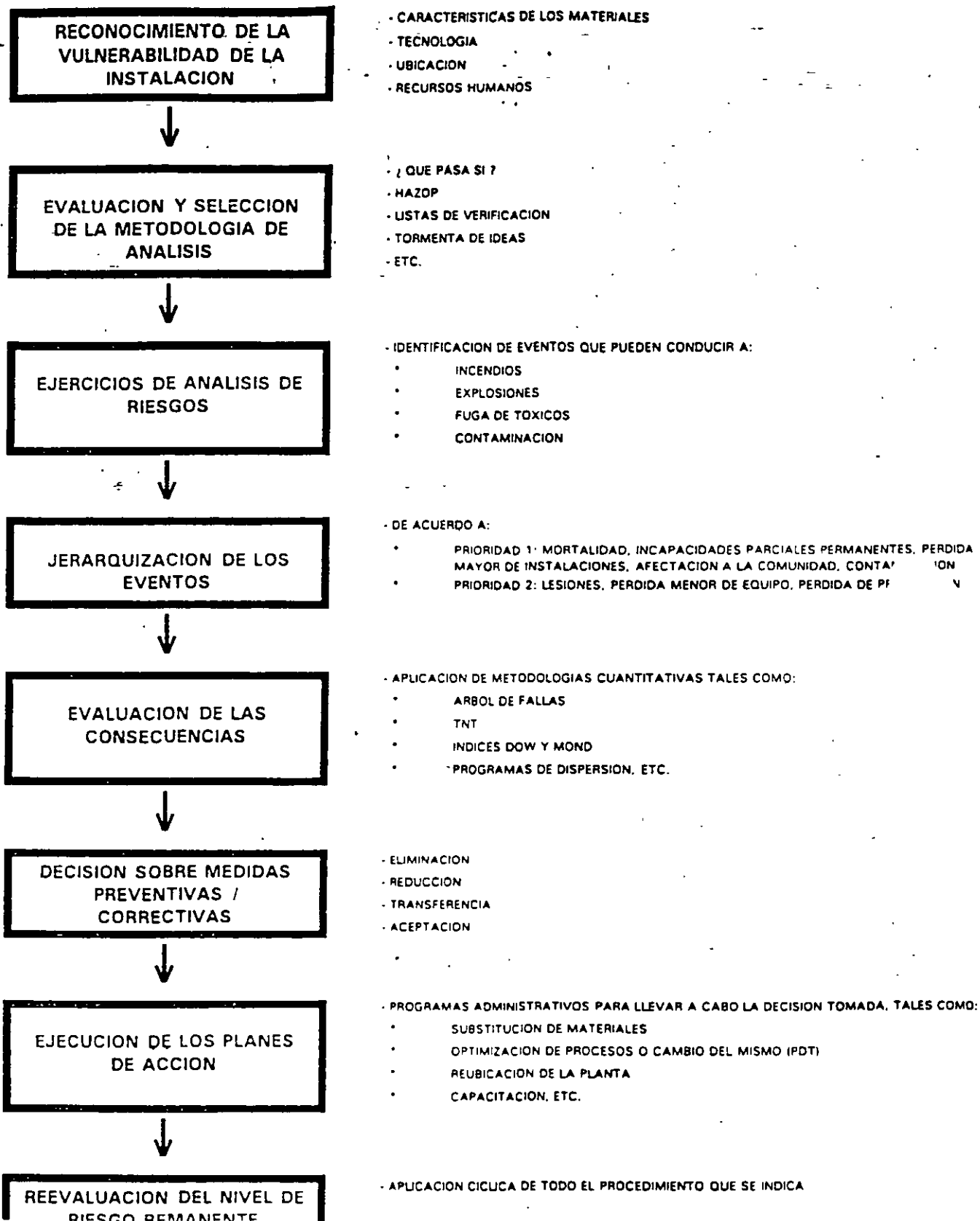
- 1985 - LA CHEMICAL MANUFACTURES ASSOCIATION (CMA) ESTABLECE LAS METODOLOGIAS DE ANALISIS DE RIESGO, EXISTENTES EN EL MERCADO DE USA:
WHAT IF...?, HAZOP, CHECK LIST, HAZAN, DOW INDEX & ICI MOD INDEX.

- 1986 - CCPA DE CANADA (ASOCIACION DE PRODUCTORES DE QUIMICOS), ADOPTA EL PROCESO CAER (COMMUNITY AWARENESS & EMERGENCY RESPONCE).

- 1988 - CMA DE USA, ADOPTA EL PROCESO CAER COMO MARCO NORMATIVO SOBRE LOS CODIGOS DE SEGURIDAD, QUE DEBEN OBSERVAR TODOS SUS SOCIOS.

- 1989 - SEDESOL MÉXICO, EMITÉ LA LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE. EN CUYO CAPÍTULO DE IMPACTO AMBIENTAL SOLICITA ESTUDIOS DE RIESGO A TODO PROYECTO A REGISTRARSE Y QUE MANEJE MATERIALES O PROCESOS QUE PUEDAN AFECTAR EL AMBIENTE O COMUNIDAD.
- 1990 - SEDESOL EMITE EL PRIMER LISTADO DE ACTIVIDADES ALTAMENTE RIESGOSAS.
- 1990 - OSHA PUBLICA "PROCESS SAFETY MANAGEMENT OF HIGHLY HAZARDOUS CHEMICAL", DIARIO OFICIAL DE JULIO 17. INCORPORANDO LOS ESTUDIOS DE RIESGO COMO UN REQUISITO OFICIAL DE TODO PROYECTO E INSTALACIÓN QUÍMICA EN USA.
- 1992 - DEBIDO A LA EXPLOSIÓN QUE SE DESATÓ EN LA CIUDAD DE GUADALAJARA, JAL. MEX. EL PRESIDENTE SALINAS DE GORTARI EN LA REUNIÓN DE PREVENCIÓN DE DESASTRES VERIFICADA EL 29 DE ABRIL, GIRO INSTRUCCIONES PRECISAS A LA SEDESOL PARA INICIAR LAS AUDITORÍAS ECOLÓGICAS DE LAS EMPRESAS POTENCIALMENTE MÁS RIESGOSAS, INCLUYÉNDOSE LOS ANÁLISIS DE RIESGO DE SUS PROCESOS.
- 1992 - SEDESOL EN MAYO, EMITE EL SEGUNDO LISTADO DE ACTIVIDADES ALTAMENTE RIESGOSAS.
- 1992 - SEDESOL EMITE LAS GUÍAS DE INFORMACIÓN BÁSICA QUE DEBEN SUMINISTRAR LAS PLANTAS QUE REALICEN:
- AUDITORÍAS ECOLÓGICAS.
 - ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL.
 - ESTUDIOS DE RIESGO MODALIDAD "ANÁLISIS DE RIESGO".
- 1993 - ANIQ, MÉXICO, EN FORO ANUAL PRECIDIDO POR SALINAS DE GORTARI, ADOPTA EL CÓDIGO DE PRÁCTICAS DE RESPONSABILIDAD INTEGRAL, EL CUAL ESTÁ ACTUALMENTE EN DESARROLLO Y SERÁ CONDICIÓN DE SU OBSERVANCIA, PARA SER MIEMBRO DE LA ASOCIACIÓN.

SISTEMA DE ANALISIS DE RIESGOS



CONCEPTOS DE INGENIERIA

I) GENERALIDADES

PARA EL **DESARROLLO DE UN PROYECTO O PROCESO INDUSTRIAL** SE REQUIERE CONJUNTAR UNA SERIE DE ESPECIALISTAS EN DIFERENTES DISCIPLINAS TANTO DEL AREA DE LA INGENIERIA COMO EN EL AREA ECONOMICA Y ADMINISTRATIVA.

EN ESTE CASO NOS OCUPAREMOS DE LAS ACTIVIDADES QUE DESARROLLA EL DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ESPECIALMENTE EN EL DEPARTAMENTO DE INGENIERIA DE PROCESOS

LA INGENIERIA DE PROCESOS TIENE COMO OBJETIVOS: ESTABLECER LOS LINEAMIENTOS PARA TRANSFORMAR LAS MATERIAS PRIMAS A PRODUCTOS, ESTUDIANDO LAS ETAPAS DE CAMBIOS FISICOS, QUIMICOS Y ENERGETICOS INVOLUCRADOS. EL DISEÑO DE LOS EQUIPOS REQUERIDOS EN ESA TRANSFORMACION, ASI COMO SUS REPERCUSIONES ECONOMICAS Y CUIDANDO TAMBIEN CUMPLIR CON LA NORMATIVIDAD OFICIAL VIGENTE Y CON LAS NORMAS ECOLOGICAS, A FIN DE NO CONTAMINAR EL ENTORNO.

EL **DESARROLLO DE UN PROCESO** SE INICIA EN BASE A UNA IDEA PARA OBTENER UN DETERMINADO PRODUCTO Y/O POR LA NECESIDAD DE MEJORAR UN PRODUCTO YA ELABORADO.

ESTA IDEA DEBE TENER COMO BASE DE PROYECCION UN ESTUDIO DE MERCADO SOLIDO Y/O UNA NECESIDAD REAL DE PRODUCIRSE

I.1) DESARROLLO DEL PROCESO

LOS PASOS A SEGUIR PARA EL DESARROLLO DE UN PROCESO SON LOS SIGUIENTES.

I.1.1) SINTESIS DE PROCESOS:

UNA VEZ ESTABLECIDO EL PRODUCTO QUE SE DESEA OBTENER, SE PROCEDE HA REALIZAR UNA **BUSQUEDA DE INFORMACION** EN LA **TECNOLOGIA DISPONIBLE** PARA LLEVAR A CABO DICHO PRODUCTO ESTA INFORMACION ES OBTENIDA BASICAMENTE DE REVISTAS DE INGENIERIA COMO SON: CHEMICAL ENGINEERING, HIDROCARBON PROCESSING, AICHE JOURNAL, ETC. DE LAS CUALES SE OBTIENE LA TECNOLOGIA A TRAVES DE LICENCIADORES

CON ESTA TECNOLOGIA DISPONIBLE, SE PROCEDE A REALIZAR UNA SERIE DE **ALTERNATIVAS DE PROCESO** PARA LLEVAR A CABO LA OBTENCION DEL PRODUCTO DESEADO.

ESTAS ALTERNATIVAS SE REPRESENTAN POR MEDIO DE **DIAGRAMAS DE FLUJO** (ver tema: tipos de diagramas)

PARA PODER DEFINIR CUAL O CUALES SERAN LAS **ALTERNATIVAS DE PROCESO** QUE TENDRAN LA POSIBILIDAD DE SER EL **PROCESO FINAL**, ES NECESARIO REALIZAR DIFERENTES **ANALISIS DE PROCESO** (Analisis rapidos).

ESTOS ANALISIS SE REFIEREN A **COSTOS DE MATERIAS PRIMAS** Y A CARACTERISTICAS DE LOS **SISTEMAS DE SEPARACION** QUE SERAN UTILIZADOS EN EL PROCESO.

LAS ALTERNATIVAS CUYO COSTO DE MATERIAS PRIMAS SEA BAJO Y CUYAS CONDICIONES DE OPERACION NO SEAN MUY EXTREMAS (muy altas temperaturas y/o presiones) SERAN LAS MAS ADECUADAS PARA EL DESARROLLO DEL PROCESO.

ADEMAS ES IMPORTANTE ANALIZAR LOS SISTEMAS DE SEPARACION (Operaciones Unitarias) QUE SERAN INVOLUCRADAS EN EL PROCESO. ESTO DEBIDO A QUE EL MAYOR NUMERO DE EQUIPO DEL QUE ESTA FORMADO UNA PLANTA (aproximadamente 80%) ES EL UTILIZADO EN LOS PROCESOS DE SEPARACION.

SE DEBEN ELEGIR SISTEMAS DE SEPARACION. PARA LO CUAL ES MUY RECOMENDABLE HACER CASO DE LAS SIGUIENTES SUGERENCIAS (Reglas Heurísticas)

1.1.2) REGLAS HEURISTICAS:

LAS REGLAS HEURISTICAS SE HAN OBTENIDO A PARTIR DE LA EXPERIENCIA DE LOS INGENIEROS. LA APLICACION DE ESTAS REGLAS TIENE COMO OBJETIVO ELIMINAR LAS ALTERNATIVAS MENOS PROMETEDORAS, REDUCIENDO DE ESTA MANERA EL TRABAJO DE LOS INGENIEROS Y EVITANDO GASTOS INNECESARIOS.

ALGUNAS DE LAS REGLAS HEURISTICAS UTILIZADAS EN LOS PROCESOS DE SEPARACION SON:

- 1.- PREFIERA ALTERNATIVAS CUYAS CONDICIONES DE OPERACION (Temperatura y presion) SEAN LAS MENOS ALEJADAS DE LAS CONDICIONES AMBIENTE.**
- 2.- PREFIERA ALTERNATIVAS DE SEPARACION DONDE SE SEPEREN PRIMERAMENTE LAS ESPECIES MAS ABUNDANTES.**
- 3.- PRIMERAMENTE SEPRE LOS MATERIALES PELIGROSOS Y CORROSIVOS.**
- 4 - PARA LOGRAR UNA SEPARACION EN FORMA SENCILLA SE DEBE ELEGIR UNA PROPIEDAD FISICA Y/O QUIMICA LA CUAL SEA MUY DIFERENTE ENTRE LAS ESPECIES. CUANDO LA DIFERENCIA EN LA PROPIEDAD SEA MINIMA SE DEBE DEJAR ESTA SEPARACION AL FINAL DE LA ETAPA**
- 5.- EN LOS CAMBIADORES DE CALOR SE DEBE REALIZAR LA TRANSFERENCIA DE CALOR ENTRE FLUIDO CALIENTE Y EL FRIO A CONTRACORRIENTE.**

UNA VEZ DESARROLLADA LA SINTESIS DE PROCESO SE TIENEN LA O LAS ALTERNATIVAS MAS PROMETEDORAS PARA EL DESARROLLO DEL PROCESO EXPRESADAS EN FORMA DE DIAGRAMAS DE FLUJO.

EL SIGUIENTE PASO EN EL DESARROLLO DEL PROCESO ES EL ANALISIS DEL PROCESO.

1.1.3) ANALISIS DE PROCESO.

EN ESTA SECCION DE LA INGENIERIA SE LLEVA A CABO EL ANALISIS TERMODINAMICO Y CINETICO DE PROCESO.

ANALISIS TERMODINAMICO

EN ÉSTA SECCION SE ANALIZA LA ENERGIA LIBRE DE GIBS, LA CUAL DETERMINA LA FUERZA MOTRIZ DE UN PROCESO, ES DECIR NOS DETERMINA LAS POSIBILIDADES QUE EXISTEN DE QUE EL PROCESO SE PUEDA REALIZAR, Y MEDIANTE UN ANALISIS DE LA ENERGIA NECESARIA PARA QUE LA REACCION SUCEDA, SE DEFINE CUALES SERIAN LAS CONDICIONES DE OPERACION MAS ADECUADAS PARA LOGRAR LA MAYOR CONVERSION DE MATERIA PRIMA AL PRODUCTO DESEADO.

ANALISIS CINETICO.

UNA VEZ ESTABLECIDAS LAS CONDICIONES DE OPERACION DEL PROCESO, EL ANALISIS CINETICO NOS AYUDA A DETERMINAR LA RAPIDEZ CON LA CUAL SE LLEVARA A CABO LA REACCION QUE VA A DAR ORIGEN AL PRODUCTO DESEADO.

MEDIANTE LA CINETICA QUIMICA ESTABLECEMOS LA ECUACION DE RAPIDEZ DE LA REACCION, PARA LOGRAR OBTENER EL PRODUCTO DESEADO EN EL MENOR TIEMPO POSIBLE Y POR LO TANTO CON EL MENOR CONSUMO ENERGETICO Y ECONOMICO.

EL ANALISIS CINETICO VA A DAR COMO RESULTADO LAS CONDICIONES DEFINITIVAS DE OPERACION DEL REACTOR.

ESTABLECIENDO LAS ECUACIONES TERMODINAMICAS Y CINETICAS DEL PROCESO SE TIENE DEFINIDA LA INGENIERIA BASICA DEL PROCESO EN EL DESARROLLO DEL PROCESO, YA QUE INCLUSO DEPENDIENDO DEL TIPO DE ECUACION CINETICA Y DE LAS CONDICIONES DE OPERACION DEL SISTEMA SE VA A ESTABLECER EL TIPO DE REACTOR A UTILIZAR.

ESTABLECIENDO EL ANALISIS DE PROCESO SE PROCEDE A REALIZAR.

1.1.4) EVALUACION DE PROCESO.

EN ESTA ETAPA DEL DESARROLLO DE LA INGENIERIA, CON LAS CONDICIONES DE OPERACION DEFINIDAS, SE ESTABLECEN ASPECTOS ECONOMICOS DE EQUIPOS Y CONSUMOS DE ENERGIA A UTILIZAR PARA OBTENER RENDIMIENTOS Y PRODUCTIVIDAD DEL PROCESO.

RENDIMIENTO: ES LA CANTIDAD DE PRODUCTO PRINCIPAL OBTENIDO EN RELACION A LA CANTIDAD DE MATERIA PRIMA REACCIONADA.

PRODUCTIVIDAD: ES LA CANTIDAD DE PRODUCTO OBTENIDO EN UN DETERMINADO TIEMPO DE PROCESO

FINALMENTE TENDREMOS LA ETAPA DE:

I.1.5) OPTIMIZACION DE PROCESOS.

LA OPTIMIZACION DE PROCESO CONSISTE EN LA APLICACION DE TECNICAS MATEMATICAS PARA OBTENER EL MEJOR PRODUCTO CON EL MENOR COSTO POSIBLE, Y LA MAYOR PRODUCTIVIDAD

UNA VEZ QUE SE HAN DESARROLLADO TODAS LAS ETAPAS QUE FORMAN LA INGENIERIA BASICA DE UN PROCESO SE PROCEDE AL **DISEÑO DETALLADO** DE LA PLANTA, A LA PROCURACIÓN DE EQUIPO Y MATERIAL, **CONSTRUCCION** , **PUESTA EN MARCHA** Y **OPERACION** DE LA MISMA.

ES IMPORTANTE HACER NOTAR QUE ESTAS ETAPAS ESTAN EN CONTINUA RETROALIMENTACION DURANTE EL DESARROLLO DEL PROCESO.

TAMBIEN ES IMPORTANTE ACLARAR QUE EN ALGUNOS PROCESOS NO SE CUENTA CON **REACTORES** Y TODO EL PROCESO ESTA BASADO EN **SISTEMAS DE SEPARACION**.

II) INGENIERIA DE DETALLE. SERVICIOS AUXILIARES.

PARA LLEVAR ACABO EL PROCESO PRINCIPAL EN UNA INDUSTRIA, ES NECESARIO DISEÑAR, IMPLEMENTAR Y ABASTECER TODOS LOS REQUERIMIENTOS DE ENERGIA, SEGURIDAD Y CONTROL DE LA CONTAMINACION. A ESTO SE LE LLAMA SERVICIOS AUXILIARES.

AGUA: DE PROCESO, DE SERVICIOS, DE ENFRIAMIENTO, CONTRA-INCENDIO , AGUA A CALDERAS.

AIRE: DE PLANTAS. INSTRUMENTOS.

ENERGIA ELECTRICA.

COMBUSTIBLES.

AGENTES QUIMICOS.

ESTOS SON TAMBIEN **PROCESOS** LOS CUALES SIGUEN LOS MISMOS PASOS QUE EL PROCESO PRINCIPAL DE UNA PLANTA.

UN **PROCESO** PUEDE SER TAMBIEN CUALQUIERA DE LOS **SERVICIOS AUXILIARES** MENCIONADOS ANTERIORMENTE, ADEMAS DE LOS **TRATAMIENTOS DE EFLUENTES** Y DE LOS **SISTEMAS DE SEGURIDAD** DE UNA PLANTA.

EN ALGUNAS OCASIONES CUANDO SOMOS **CONTRATADOS** POR ALGUN **CLIENTE** PARA EL DESARROLLO DE UNA **IDEA** (PROCESO), EL CLIENTE YA TIENE ESTABLECIDO EL **TIPO DE PROCESO** QUE SE VA A LLEVAR A CABO Y POR LO TANTO **NO SE SIGUE** EN FORMA CONCRETA LAS **ETAPAS DE DESARROLLO** DEL PROCESO QUE SE HA DESCRITO. EN ESTOS CASOS, **PARTES DE ESTAS ETAPAS** SON APLICADAS.

SI EL **CLIENTE** ESTABLECE EL **TIPO DE PROCESO** QUE SE VA UTILIZAR PARA EL DESARROLLO DE UN PROCESO ES MUY IMPORTANTE EL SIGUIENTE DOCUMENTO QUE SE DETALLA A CONTINUACION LLAMADO: **BASES DE DISEÑO**.

8

II.1 BASES DE DISEÑO

EL DOCUMENTO DE BASES DE DISEÑO ES LA FUENTE DE INFORMACION MAS IMPORTANTE QUE PROPORCIONA EL CLIENTE A LA COMPAÑIA DE INGENIERIA. PARA QUE ESTA PUEDA LLEVAR A CABO EL DISEÑO DE LA PLANTA.

EN EL SE INCLUYE INFORMACION REQUERIDA PARA EL DISEÑO DEL PROCESO, TAL COMO CAPACIDAD, RENDIMIENTO, FLEXIBILIDAD, AMPLIACIONES FUTURAS, ESPECIFICACIONES Y CONDICIONES DE LAS ALIMENTACIONES, ETC. ADEMAS DE INFORMACION PARA REALIZAR LA INGENIERIA DE DETALLE, ASI COMO ELIMINACION DE DESECHOS, INSTALACIONES REQUERIDAS DE ALMACENAMIENTO, SERVICIOS AUXILIARES, SISTEMAS DE SEGURIDAD, CONDICIONES CLIMATOLOGICAS, LOCALIZACION DE LA PLANTA ETC.

ASI MISMO ES EL DOCUMENTO MAS IMPORTANTE DE QUE SE DISPONE AL FINALIZAR EL PROYECTO, YA QUE CONTIENE LOS FUNDAMENTOS DEL DISEÑO QUE UTILIZO LA COMPAÑIA DE INGENIERIA.

AL CONTENER LOS LINEAMIENTOS Y ESPECIFICACIONES DEL PROCESO, EL DOCUMENTO DE BASES DE DISEÑO, SIRVE COMO PUNTO DE PARTIDA PARA ESTABLECER LAS GARANTIAS QUE LA COMPAÑIA LICENCIADORA DEBERA OFRECER A SU CLIENTE.

EN GENERAL LAS GARANTIAS PUEDEN CUBRIR LA CAPACIDAD DE LA PLANTA, LAS ESPECIFICACIONES DE LOS PRODUCTOS, RENDIMIENTOS, ETC. DESDE LUEGO PARA PODER DECIR QUE EL PROCESO RESULTE SATISFACTORIO ES NECESARIO QUE LA OPERACION DE LA PLANTA SE REALICE SIGUIENDO ESTRICTAMENTE LAS INSTRUCCIONES DEL LICENCIADOR, VIGILANDO QUE LAS VARIABLES OPERACIONALES SE APEGAN A LO CONTENIDO EN EL DOCUMENTO DE BASES DE DISEÑO.

EL DOCUMENTO DE BASES DE DISEÑO ADEMAS DE FIJAR LOS REQUERIMIENTOS DEL PROCESO, ES UN DOCUMENTO QUE PUEDE SER UTIL DESDE EL PUNTO DE VISTA LEGAL.

LA FUENTE DE INFORMACION PARA ELABORAR EL DOCUMENTO DE BASES DE DISEÑO, ES UN CUESTIONARIO QUE SE TURNA AL CLIENTE PARA SER COMPLETADO DE ACUERDO A LA SITUACION ESPECIFICA DEL DOCUMENTO.

CON LA FINALIDAD DE HACER MAS OBJETIVO EL DESARROLLO Y CONTENIDO DE ESTE DOCUMENTO, A CONTINUACION SE MUESTRA LAS BASES DE DISEÑO DE UN SISTEMA DE RECOLECCION DE GAS NATURAL DE POZOS.

BASES DE DISEÑO

ESTACION DE RECOLECCION CULEBRA

ANTECEDENTES:

EL PROGRAMA DE DESARROLLO PARA EL PROYECTO CUENCA DE BURGOS, CONTEMPLE UN INCREMENTO EN LA PRODUCCION DE GAS NATURAL EN EL DISTRITO REYNOSA, POR LO QUE SE REQUIERE EL DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA ESTACION DE RECOLECCION QUE MANEJARA EL GAS NATURAL DE ALTA PRESION DE LOS NUEVOS POZOS QUE ENTRARAN A PRODUCCION DEL CAMPO CULEBRA.

OBJETIVO:

DESARROLLAR LA INGENIERIA, ADQUISICION DE MATERIALES Y EQUIPO, Y LA CONSTRUCCION DE LA ESTACION DE RECOLECCION DE GAS CULEBRA

BASES DE DISEÑO

ESTACION DE RECOLECCION CULEBRA

I.- GENERALIDADES:

I.1.- LOCALIZACION DE LA PLANTA:

LA ESTACION DE RECOLECCION DE GAS CULEBRA QUEDARA LOCALIZADA ADYACENTE A LA ESTACION CULEBRA 8. SU UBICACION CORRESPONDE AL MUNICIPIO DE GENERAL BRAVO, NUEVO LEON. (SUS CORDENADAS SON. X = 496,265.27, Y = 2 864,788.78)

EL AREA DISPONIBLE PARA LA ESTACION ES DE. 100 X 100 MTS.

I.2.- FUNCION DE LA PLANTA:

RECOLECCION, REGULACION, SEPARACION Y MEDICION DE LOS NUEVOS POZOS QUE ALIMENTAN A LA ESTACION CULEBRA

I.3.- TIPO DE PROCESO.

SE TENDRA UNA SEPARACION DE UNA MEZCLA DE HIDROCARBUROS- CONDENSADOS Y AGUA.

EL PROCESO DE SEPARACION SE LLEVARA A CABO EN UN SEPARADOR TRIFASICO TIPO HORIZONTAL DE ALTA EFICIENCIA.

EL SEPARADOR SE ESPECIFICARA PARA QUE SE ADQUIERA COMO EQUIPO PAQUETE, EL CUAL DEBERA SER MONTADO SOBRE UN PATIN ESTRUCTURAL Y CONTARA CON TODA LA INSTRUMENTACION PARA UNA OPERACION SEGURA, Y EFICIENTE

INSTRUMENTACION.

VALVULA DE ALIVIO

INDICADOR DE PRESION.

SELLO DE RUPTURA.

SISTEMA DE CONTROL DE NIVEL DE AGUA Y CONSENSADOS.

INDICADORES OPTICOS DE NIVEL

CONTROLADORES NEUMATICOS TIPO DESPLAZADOR.

VALVULA CONTROLADORA DE NIVEL.

MEDIDORES DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO PARA AGUA Y CONSENSADOS CON TOTALIZADOR ELECTRONICO Y PANEL SOLAR.

BASES DE DISEÑO

ESTACION DE RECOLECCION CULEBRA

VALVULA REGULADORA DE PRESION PARA DESCARGA DE AGUA Y CONDENSADO A TANQUES, CON BAYPAS Y FILTRO.

SISTEMA DE REGULACION DE PRESION DE GAS Y DE SERVICIO.

VALVULAS REGULADORAS

FILTRO REGULADOR.

II.- CAPACIDAD, RENDIMIENTO Y FLEXIBILIDAD:

II.1 CAPACIDAD Y RENDIMIENTO.

A) CAPACIDAD MAXIMA: 25 MMPCSD

B) CAPACIDAD NORMAL: 15 MMPCSD

C) CAPACIDAD MINIMA. 5 MMPCSD

II.- FACTOR DE SERVICIO:

LA PLANTA OPERARA LOS 365 DIAS DEL AÑO. (FACTOR DE SERVICIO 100%).

BASES DE DISEÑO

ESTACION DE RECOLECCIÓN CULEBRA

III.2.- CONDICIONES DE LA ALIMENTACION:

ORIGEN	ALIMENTACION	EDO.FISICO	PRESION Kg/CM ² man	TEMP. o C	FORMA RECIBO
LINEA DE DESCARGA.	GAS NATURAL AGUA, CONDENSADO LIQ.	GAS, LIQ	105.6.	40	TUBERIA
			77.4	26	
			31.7	14	

LA TUBERIA A LA LLEGADA DE LOS POZOS SERA CLASE ANSI 900 , Y A LAS CONDICIONES DE LA SEPARACION SERA CLASE ANSI 600..

LA ESTACION CONTARA CON UNA VALVULA DE CORTE UBICADA EN LA LINEA DE ALIMENTACION DE ALTA PRESION Y OTRA EN LA LINEA DE BAJA PRESION, LAS CUALES ACTUARAN AL CIERRE CUANDO SE REGISTRE UN INCREMENTO DE PRESION EN EL SEPARADOR

III.3.- ELEMENTOS DE SEGURIDAD PARA LA ALIMENTACION

LAS LINEAS DE ALIMENTACION CONTARAN CON VALVULAS DE SEGURIDAD, DISEÑADAS DE ACUERDO AL CODIGO API-RP-520

EL SEPARADOR Y LA LINEA DE GAS A SERVICIOS (COMBUSTIBLE E INSTRUMENTOS) TAMBIEN CONTARAN CON VALVULAS DE SEGURIDAD PARA SU PROTECCION.

EL SEPARADOR CONTARA CON PROTECCION REDUNTANTE CONSISTENTE EN UN SELLO DE RUPTURA.

LA PRESION DE LOS LIQUIDOS SEPARADOS SERA ABATIDA MEDIANTE VALVULAS AUTORREGULADAS ANTES DE SER ENVIADAS A ALMACENAMIENTO.

TODOS LOS DESFOGUES Y EL EFLUENTE DEL CABEZAL DE PRUEBA SERAN CANALIZADOS A UN TIRO ELEVADO CON SECCION DE RETENCION Y SEPARACION DE LIQUIDOS, DISEÑADOS DE ACUERDO AL CODIGO API-RP-521.

BASES DE DISEÑO

ESTACION DE RECOLECCION CULEBRA

III.- ESPECIFICACIONES DE LAS ALIMENTACIONES AL PROCESO:

III.- ESPECIFICACION DE LA ALIMENTACION.

COMPONENTE	% VOL.
NITROGENO	0.01
BIOXIDO DE CARBONO	1.04
ACIDO SULFIHIDRICO	
AGUA	
METANO	91.59
ETANO	3.98
PROPANO	1.37
ISOBUTANO	0.64
BUTANO NORMAL	0.41
NEOPENTANO	
ISOPENTANO	0.20
PENTANO NORMAL	0.12
HEXANOS Y MAS PESADOS	0.64
TOTAL	100

PROPIEDADES FISICAS:

PESO MOLECULAR PROMEDIO	18.35	
PRESION PSEUDOCRITICA (PSIA)	669.45	
TEMPERATURA PSEUDOCRITICA (° R)	367.59	
DENSIDAD RELATIVA	0.633	
PODER CALORIFICO BRUTO (BTU/FT ³)		1054
CONSTANTE DEL GAS (K)	1.287	
FACTOR DE COMPRESIBILIDAD	0.8228	

LIQUIDOS:

AGUA (BLS/D)	40
CONDENSADOS (BLS/D)	50

BASES DE DISEÑO

ESTACION DE RECOLECCION CULEBRA

IV.- ESPECIFICACIONES DE LOS PRODUCTOS:

CORRIENTE	PRESION (PSI)	TEMPERATURA (o C)
GAS	1 100	AMBIENTE (26) NORMAL
CONDENSADO	ATMOSFERICA	AMBIENTE (26) NORMAL
AGUA	ATMOSFERICA	AMBIENTE (26) NORMAL

LA CORRIENTE DE GAS SEPARADO, **NO DEBERA** CONTENER AGUA LIBRE O EMULSIONADA.

EL **GAS SEPARADO** SE ENVIARA POR LA LINEA DE INTERCONEXION DE 6 " DE DIAMETRO A LOS GASODUCTOS DE 16 " Y 12 " EXISTENTES.

LAS FASES LIQUIDAS (CONDENSADOS Y AGUA) SERAN ENVIADAS POR SEPARADO A TANQUES DE ALMACENAMIENTO ATMOSFERICOS VERTICALES DE 250 BLS DE CAPACIDAD

EL AGUA SEPARADA NO DEBERA CONTENER MAS DE 500 ppm **DE CONDENSADO**

EL AGUA CONGENITA OBTENIDA EN EL PROCESO Y ALMACENADA EN LOS TANQUES VERTICALES SEBERA SER RECUPERADA EN AUTOTANQUES Y TRANSPORTADA A UN POZO DE INYECCION, CON EL PROPOSITO DE EVITAR LA CONTAMINACION DEL MEDIO AMBIENTE, SEGUN LA REGLAMENTACION Y NORMAS TECNICAS VIGENTES DE LA LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLOGICO Y PROTECCION AMBIENTAL.

LAS FASES LIQUIDAS SERAN RECUPERADAS EN AUTOTANQUES EQUIPADOS CON BOMBAS DE SUCCION CON CAPACIDAD DE VACIADO DE 40 M³/ Hr.

LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE AGUA Y CONSENSADOS CONTARAN CON UN ARRESTADOR DE FLAMA Y VALVULA PRESION VACIO DE ACUERDO AL API STD. 2000

TANTO LA CORRIENTE DE GAS SEPARADA COMO LAS FASES **LIQUIDAS** , SE MEDIRAN PARA LLEVAR UN REGISTRO DE LA PRODUCCION OBTENIDA.

BASES DE DISEÑO

ESTACION DE RECOLECCION CULEBRA

V.- SERVICIOS AUXILIARES:

V.1.- AGUA DE SERVICIOS.

NO SE CUENTA CON AGUA DE SERVICIOS.
LA REPOSICION DE AGUA PARA MANTENER EL NIVEL EN EL CALENTADOR DEBERA HACERSE EN FORMA MANUAL CON EQUIPO MOVIL.

V.2.- AGUA POTABLE.

NO SE REQUIERE.

V.3.- AGUA CONTRA INCENDIO.

NO SE REQUIERE.

V.4.- AIRE DE INSTRUMENTOS:

SE TOMARA EL GAS PARA INSTRUMENTOS DE LA MISMA CORRIENTE DE GAS DE PROCESO, REGULANDOLO A LA PRESION REQUERIDA.

V.5.- AIRE DE PLANTAS.

NO SE REQUIERE.

V.6.- ENERGIA ELECTRICA.

SE GENERARA EN SITIO PARA LOS SERVICIOS REQUERIDOS.

V.7.- ENERGIA ELECTRICA DE EMERGENCIA.

NO SE REQUIERE

V.8.- AGENTES QUIMICOS.

NO SE REQUIEREN.

BASES DE DISEÑO

ESTACION DE RECOLECCION CULEBRA

VI.- SISTEMAS DE SEGURIDAD.

VI.1.- SISTEMAS CONTRA INCENDIO.

NO SE REQUIERE.

VI.2.- SISTEMA DE DESFOGUE.

TODOS LOS DESFOGUES Y EL EFLUENTE DEL CABEZAL DE PRUEBA DEBERAN SER CANALIZADOS A UN TIRO ELEVADO CON SECCION DE RETENCION Y SEPARACION DE LIQUIDOS . DISEÑADO DE ACUERDO AL CODIGO API-RP-521.

III) TIPOS DE DIAGRAMAS DE FLUJO

COMO SE MENCIONO ANTERIORMENTE EL RESULTADO DE LA SINTESIS Y ANALISIS DE UN PROCESO SE REPRESENTA EN FORMA DE DIAGRAMAS. ESTA INFORMACION ES PROPORCIONADA A LAS DEMAS DISCIPLINAS DE INGENIERIA QUE INTERVIENEN EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERIA BASICA Y DE DETALLE DEL PROCESO.

LOS DIAGRAMAS QUE SE UTILIZAN DURANTE EL DESARROLLO DE UN PROCESO SON:

III.1) DIAGRAMAS DE BALANCE:

LOS DIAGRAMAS DE BALANCE, SON DOCUMENTOS FUNDAMENTALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERIA BASICA.

EN LOS DIAGRAMAS DE BALANCE SE MUESTRA EN RESULTADO DE TODO EL ANALISIS TERMODINAMICO Y CINETICO, ADEMAS DE MOSTRAR TODAS LAS CANTIDADES, COMPOSICIONES Y CONDICIONES DE OPERACION DE CADA UNA DE LAS ESPECIES QUE INTERVIENEN EN LA OBTENCION DEL PRODUCTO DESEADO

EL DIAGRAMA DE BALANCE ES UNA REPRESENTACION GRAFICA DEL EQUIPO QUE INTERVIENE EN EL PROCESO, (SIMILAR AL DIAGRAMA DE FLUJO) INCLUYENDO UNA IDENTIFICACION EN CADA UNA DE LAS CORRIENTES QUE ENTRAN Y SALEN DE LOS EQUIPOS, PARA QUE EN UN CUADRO QUE SE COLOCA EN LA PARTE INFERIOR Y/O SUPERIOR DEL DIAGRAMA SE ESPECIFIQUE EN CONTENIDO, CANTIDAD, ESPECIFICACIONES, PROPIEDADES FISICOQUIMICAS Y CONDICIONES DE OPERACION DE CADA UNA DE LAS CORRIENTES IDENTIFICADAS.

EN UN PROCESO SE DEBEN HACER TANTOS DIAGRAMAS DE BALANCE COMO SEA NECESARIO, DEPENDIENDO ESTO DEL ALCANCE QUE SE TENGA DEL PROYECTO.

PARA UN PROYECTO COMPLETO LOS DIAGRAMAS DE BALANCE QUE DEBEN DESARROLLARSE SON:

DIAGRAMA DE BALANCE DE PROCESO.

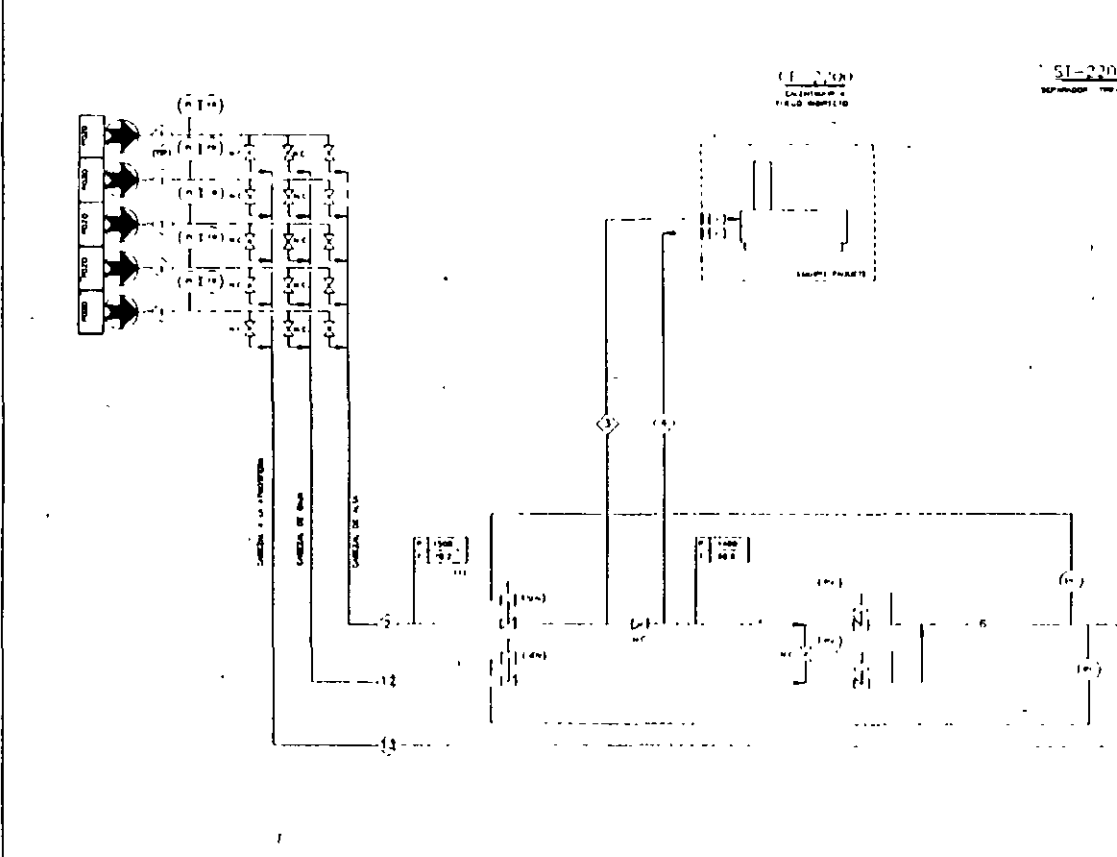
DIAGRAMA DE BALANCE DE SERVICIOS AUXILIARES.

DIAGRAMA DE BALANCE DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES.

DIAGRAMA DE BALANCE DEL SISTEMA DE SEGURIDAD (SISTEMA DE DESFOGUE).

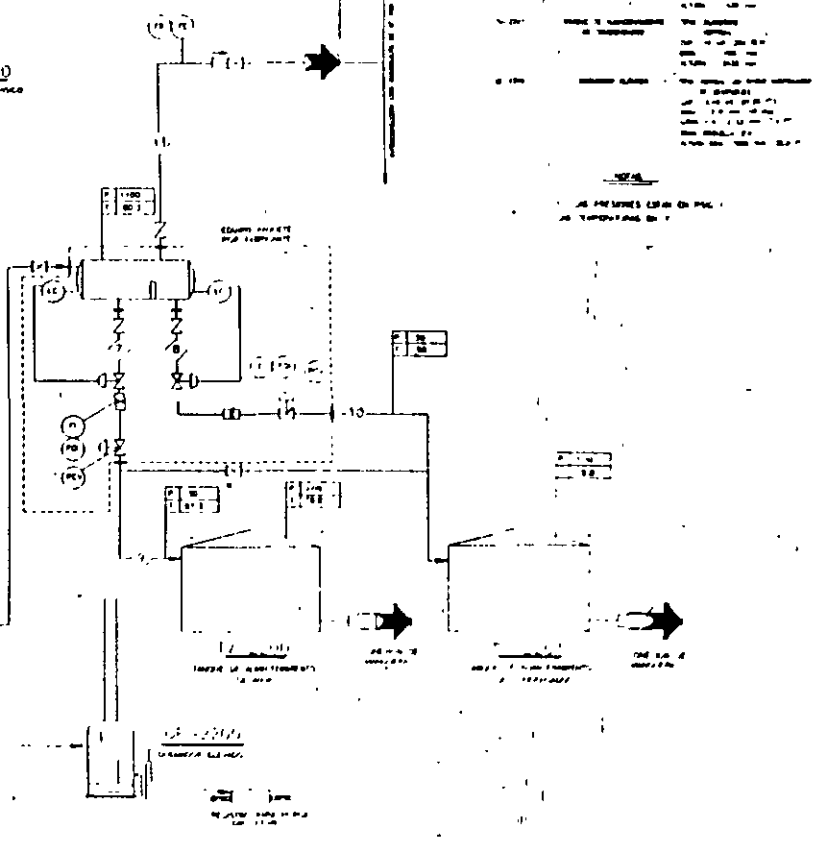
LOS DIAGRAMAS DE BALANCE GENERALMETE NO SON ENVIADOS A TODAS LAS DICIPLINAS DE INGENIERIA QUE SE DESARROLLAN DENTRO DE LA PLANTA, SINO QUE ES UN DIAGRAMA QUE MUESTRA EL RESULTADO DE TODOS LOS CALCULOS QUE EL DEPARTAMENTO DE INGENIERIA DE PROCESO HA REALIZADO, Y A PARTIR DE ESTA DIAGRAMA SE DESARROLLA EL DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO Y EL DIAGRAMA DE TUBERIAS E INSTRUMENTACION.

CORRIENTE														
COMPONENTE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
RESISTENCIA W	8.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
RESISTENCIA COMPLEJO CM	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
INDUCTANCIA H	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
CAPACITANCIA F	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
IMPEDANCIA Z	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
ANGULO PHASE	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
VALOR NOMINAL	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
VALOR REAL	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
VALOR IMAGINARIO	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
VALOR MODULO	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
VALOR ANGULO	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
VALOR COMPLEJO	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
VALOR MODULO	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
VALOR ANGULO	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	



LISTA DE EQUIPO

ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD
1
2
3
4
5



NO.	DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD

19

III.2) DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO.

EL DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO ES UN DIAGRAMA FUNDAMENTAL DENTRO DE LA INGENIERIA BASICA, QUE CONSISTE EN UNA REPRESENTACION GRAFICA Y OBJETIVA DE LA INFORMACION MAS RELEVANTE DEL MISMO.

ESTE DIAGRAMA ESTA DISEÑADO PARA PROPORCIONAR INFORMACION A LAS DISTINTAS ESPECIALIDADES DE INGENIERIA (BASICA Y DE DETALLE), INGENIEROS DE PROYECTO, FUNCIONARIOS DE LA COMPAÑIA DE INGENIERIA Y DEL CLIENTE, PERSONAL DE OPERACION DE LA PLANTA, ETC. SOBRE LAS ENTRADAS Y SALIDAS DE MATERIA PRIMA Y ENERGIA, LA SECUENCIA DEL FLUJO DEL PROCESO, LAS CARACTERISTICAS BASICAS DEL EQUIPO Y LA INSTRUMENTACION BASICA DE LA PLANTA

EL REQUERIMIENTO PRINCIPAL DEL DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO, ES QUE LA INFORMACION INDICADA SEA PRESENTADA EN FORMA CLARA Y COMPLETA, FACIL DE MANEJAR Y DE INTERPRETAR, CON EL FIN DE EVITAR CONFUSIONES Y RETRASOS EN SU MANEJO.

DADO EL CARACTER DINAMICO DEL DESARROLLO DE LOS PROYECTOS, ES NECESARIO QUE EL DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO SEA EMITIDO EN VARIAS EDICIONES. EN CADA UNA DE ESTAS EDICIONES ES NECESARIO QUE SE PASE A TODAS LAS DISCIPLINAS ANTES MENCIONADAS

CUANDO SE HA TERMINADO DE DESARROLLAR EL DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO Y SE CONSIDERA QUE HA QUEDADO DEBIDAMENTE COMPLETADO, LA EMISION DEL DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO ES DE APROBADO PARA CONSTRUCCION (REV. 0)

SIN EMBARGO, AUN CUANDO EN DIAGRAMA ESTA APROBADO PARA CONSTRUCCION, EN ALGUNAS OCACIONES SIGUEN SUCEDIENDOSE ALGUNOS CAMBIOS DEBIDOS A AJUSTES DE CONTROL O ALGUN CAMBIO EN ALGUNA ESPECIFICACION DE MATERIAL, ETC. Y SE REALIZA OTRA REVISION AL DIAGRAMA DE FLUJO, EN ESTOS CASOS LAS REVISIONES SE REALIZAN CON NUMEROS. (REV. 1, 2 ETC)

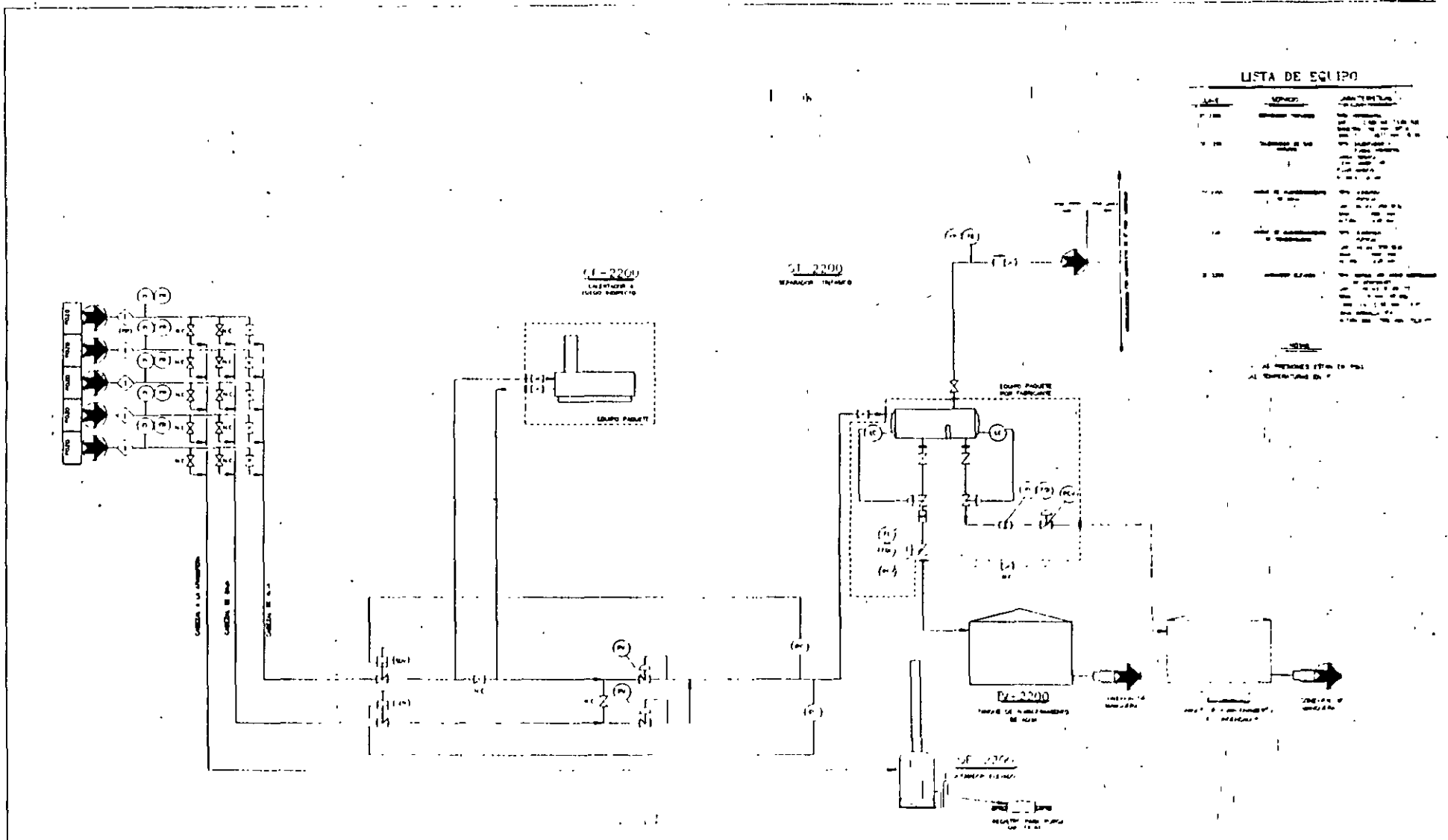
LOS DIAGRAMAS GENERALMENTE SE REALIZAN DE DERECHA A IZQUIERDA SIGUIENDO UNA LOGICA DEL FLUJO DEL PROCESO, EL DIAGRAMA DEBE MOSTRAR LO MAS OBJETIVAMENTE POSIBLE LA PLANTA RESPETANDO LA LOCALIZACION DEL EQUIPO QUE PREVIAMENTE SE REALIZO EN EL DIAGRAMA DE LOCALIZACION GENERAL DE LA PLANTA (PLOT. PLANT).

SE UTILIZA UNA REPRESENTACION GRAFICA DE CADA EQUIPO, PARA LO CUAL SE SIGUE LA NORMA DE SIMBOLOGIA DE EQUIPO (PROPIA DE CADA COMPAÑIA), PARA MOSTRAR CADA UNO DE LOS EQUIPOS QUE INTERVIENEN POR MEDIO DE SU SIMBOLO CORRESPONDIENTE.

PARA QUE NOS QUEDE CLARO COMO ES Y EL CONTENIDO DE UNA DIAGRAMA DE FLUJO A CONTINUACION SE MUESTRA EL DIAGRAMA DE FLUJO DE LA ESTACION DE RECOLECCION DE LOS POZOS DE GAS NATURAL

LISTA DE EQUIPO

NO.	DESCRIPCION	CANTIDAD
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50



NO.	DESCRIPCION	CANTIDAD
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50

18

DIAGRAMA DE ELABORACION
ESTACION DE RECOLECCION DE AGUA

III.3) DIAGRAMAS DE TUBERIAS E INSTRUMENTACION (DTI)

UNA VEZ QUE SE HAN REALIZADO LOS **DIAGRAMAS DE BALANCE** Y LOS **DIAGRAMAS DE FLUJO DE PROCESO**, SE CUENTA CON TODA LA INFORMACION BASICA PARA PODER LLEVAR A CABO EL **DISEÑO DETALLADO** DE TODO EL EQUIPO Y TUBERIAS QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO, ASI COMO LAS FILOSOFIAS BASICAS DE CONTROL QUE SERAN UTILIZADAS EN EL PROCESO

DESPUES DE DESARROLLAR TODOS ESTOS CALCULOS, ES NECESARIO QUE SEAN CONOCIDOS Y MANEJADOS POR TODAS LAS DISCIPLINAS DE INGENIERIA PARA EL DESARROLLO COMPLETO DE LA INGENIERIA DE DETALLE DE LA PLANTA, POR LO QUE SE ELABORA UN DIAGRAMA LLAMADO **DIAGRAMA DE TUBERIAS E INSTRUMENTACION**.

EN ESTE **DIAGRAMA** COMO SU NOMBRE INDICA SE EXPRESA EN FORMA MUY DETALLADA, TODO EL **EQUIPO COMPLETO**, ESPECIFICANDO TODAS SUS CARACTERISTICAS DE DISEÑO, INCLUYENDOSE TODAS LAS **TUBERIAS** QUE SERAN UTILIZADAS, ASI COMO LAS ESPECIFICACIONES DETALLADAS DE ELLAS, TAMBIEN SE INCLUYE EN FORMA COMPLETAMENTE DESGLOZADA TODA LA **INTRUMENTACION** QUE DEBERA SER UTILIZAR PARA EL CONTROL DEL PROCESO.

COMO PUEDEN DARSE CUENTA ESTE **DIAGRAMA** ES EL QUE NOS MUESTRA EN FORMA ABSOLUTAMENTE DETALLADA TODO EL **EQUIPO**, **TUBERIAS**, **INSTRUMENTACION**, CARACTERISTICAS QUE SE DEBEN TENER DURANTE EL ARRANQUE Y/O PARO, SEGURIDAD, ETC

CUANDO SE TIENE UNA PLANTA MUY GRANDE, DESDE LUEGO QUE ES NECESARIO DESARROLLAR VARIOS DIAGRAMAS DE TUBERIAS E INSTRUMENTACION PARA PODER MOSTAR EN FORMA COMPLETA EL DISEÑO DE LA PLANTA.

TAMBIEN DEPENDIENDO DEL ALCANCE DEL PROYECTO SE DESARROLLAN LOS SIGUIENTES DIAGRAMAS DE DIAGRAMAS DE TUBERIAS E INSTRUMENTACION:

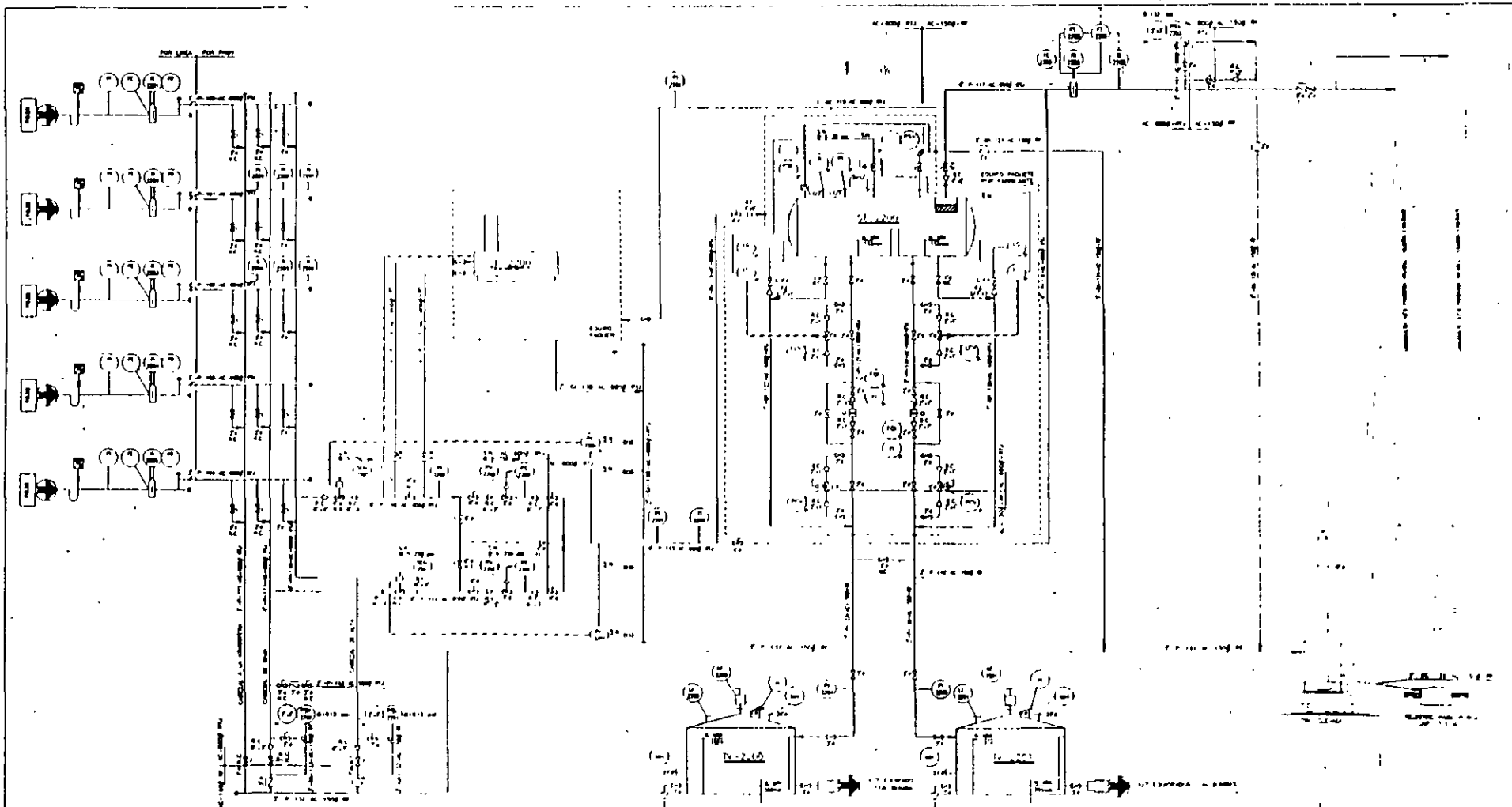
PROCESO.

SERVICIOS AUXILIARES.

TRATAMIENTO DE EFLUENTES.

SISTEMAS DE SEGURIDAD (SISTEMA DE DESFOGUE, SISTEMA CONTRA INCENDIO)

A CONTINUACION SE MUESTRA EL **DIAGRAMA DE TUBERIAS E INSTRUMENTACION** DE LA PLANTA DE RECOLECCION DE GAS NATURAL DE POZOS



CF-2200
 Component description and specifications for the CF-2200 unit.

ST-2200
 Component description and specifications for the ST-2200 unit.

TV-2200
 Component description and specifications for the TV-2200 unit.

TV-2201
 Component description and specifications for the TV-2201 unit.

TV-2202
 Component description and specifications for the TV-2202 unit.

NO.	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	NOTAS

NO.	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	NOTAS

PROYECTO INTERNO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA ESTACIÓN DE RECOLECCIÓN DE AGUA...
 ESTACIÓN DE RECOLECCIÓN DE AGUA...
 ESTACIÓN DE RECOLECCIÓN DE AGUA...

23

III.4) DIAGRAMA DE LOCALIZACION GENERAL DE EQUIPO (PLOT PLAN)

ESTE **DIAGRAMA** MUESTRA TODA EL AREA DONDE SE VA A DESARROLLAR LA PLANTA. EN EL SE HACE LA **LOCALIZACION GENERAL** DE TODAS LAS AREAS DE LAS QUE VA A CONTAR LA PLANTA (AREA DE PROCESO, SERVICIOS AUXILIARES, TRATAMIENTO DE EFLUENTES, SISTEMA CONTRA INCENDIO, SISTEMA DE SEGURIDAD, OFICINAS, COMEDOR, BAÑOS Y VESTIDOS, AREAS RECREATIVAS, ETC.).

PARA REALIZAR LA LOCALIZACION DE TODAS LAS AREAS DE LA PLANTA ES IMPORTANTE ANALIZAR EL ENTORNO DE LA PLANTA, VER CUALES SERAN LAS VIAS DE ACCESO, HACIA DONDE SOPLAN LOS VIENTOS, HACIA DONDE SERAN EXTRAIDOS EFLUENTES ETC.

ESTE **DIAGRAMA** REALMENTE ES EL **PRIMERO** QUE SE REALIZA EN EL DESARROLLO DE UNA PLANTA (PROYECTO).

EL **DIAGRAMA DE LOCALIZACION GENERAL DE EQUIPO** ES DESARROLLADO POR VARIAS DICIPLINAS DE INGENIERIA, GENERALMETE INTERVIE: INGENIERIA CIVIL, ARQUITECTURA, TUBERIAS, DEPARTAMENTO DE PROCESO, Y DESDE LUEGO EL CLIENTE Y EL INGENIERO DE PROYECTO DE LA COMPAÑIA DE INGENIERIA.

III.5) DIAGRAMAS DIVERSOS.

UNA VEZ QUE SE CUENTA CON LOS DIAGRAMAS QUE SE HAN MENCIONADO ANTERIORMENTE, CADA UNA DE LAS AREAS DE INGENIERIA, DE LA PLANTA DESARROLLA LOS DIAGRAMAS NECESARIOS PARA MOSTRAR TODA LA INGENIERIA DE DETALLE.

EN FORMA GENERAL SE DARA UNA LISTA DE ELLOS .

DEPARTAMENTO MECANICO:

ARREGLO GENERAL DE EQUIPO MECANICO
ESTUDIO DE FLEXIBILIDAD DE TUBERIAS.
ESTUDIO DE SOPORTES

DEPARTAMENTO DE TUBERIAS.

DIAGRAMAS DE ARREGLOS DE TUBERIAS.
DIAGRAMAS CON ISOMETRICOS DE TUBERIAS.

DEPARTAMENTO ELECTRICO

DIAGRAMAS UNIFILARES
ARREGLOS DE EQUIPO EN CUARTOS DE CONTROL Y TIERRAS
DISTRIBUCION GENERAL DE FUERZAS Y TIERRAS
DISTRIBUCION GENERAL DE ALUMBRADO
SUBESTACION ELECTRICA.
CEDULA DE CABLES

DEPARTAMENTO CIVIL Y ARQUITECTURA.

DIAGRAMAS DE LOS EDIFICIOS
DIAGRAMAS DE NIVELES Y PAVIMENTOS
DIAGRAMAS DE DRENAJES
DIAGRAMAS DE CIMENTACIONES
DIAGRAMAS DE SOPORTES DE TUBERIAS
DIAGRAMAS DE PLATAFORMAS DE OPERACION
DETALLES ESTRUCTURA METALICA
DETALLES ESTRUCTURA DE CONCRETO

DEPARTAMENTO DE INSTRUMENTACION.

DIAGRAMAS DE LAZOS DE CONTROL
ARQUITECTURA DEL SISTEMA DE CONTROL
DIAGRAMAS DE RUTAS Y SEÑALES
DIAGRAMAS DE CEDULAS DE CABLE Y CONDUIT.

IV) TIPO DE DOCUMENTOS QUE SE REALIZAN DURANTE UN PROCESO.

LA INFORMACION DEL BALANCE DE MATERIA Y ENERGIA CORRESPONDIENTE A LAS CONDICIONES DE OPERACION DE UNA PLANTA, NO ES SUFICIENTE PARA DISEÑAR ADECUADAMENTE LOS EQUIPOS, LINEAS E INSTRUMENTOS DE UNA PLANTA ES NECESARIO ELABORAR UNA SERIE DE DOCUMENTOS COMO INFORMACION COMPLEMENTARIA DEL PROCESO.

IV.1) DESCRIPCION DEL PROCESO.

DURANTE DE UN POYECTO EN EL QUE SE INVOLUCRA LA INGENIERIA BASICA Y DE DETALLE, SE CUENTA CON LA PARTICIPACION DE PROFESIONALES DE LAS DIVERSAS RAMAS DE LA INGENIERIA COMO SON QUIMICOS, ELECTRICOS, MECANICOS, CIVILES, ETC Y AUN OTRO TIPO DE PROFESIONALES, ESTA TRAE COMO CONSECUENCIA QUE SIENDO EL **DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO**, EL DIAGRAMA EN EL QUE SE PLASMA LA **INGENIERIA CONCEPTUAL DEL PROYECTO**, REQUIERA DE UN DOCUMENTO ADICIONAL QUE AYUDE A SU INTERPRETACION Y DE ESTA MANERA LOS ESPECIALISTAS QUE LO UTILICEN, LOGREN UN TOTAL ENTENDIMIENTO DEL MISMO. EL DOCUMENTO QUE SE UTILIZA PARA LOGRAR ESTE FIN ES CONOCIDO COMO **DESCRIPCION DEL PROCESO**.

LA **DESCRIPCION DEL PROCESO** TIENE COMO FINALIDAD PERMITIR EL CONOCIMIENTO DE LAS **CARACTERISTICAS FUNDAMENTALES DEL PROCESO** PARA FACILITAR LA INTERPRETACION DE LOS **DIAGRAMAS DE FLUJO** CORRESPONDIENTES.

EN LA **DESCRIPCION DE PROCESO** BASICAMENTE DEBERA INCLUIRSE LA INFORMACION DEL PROCESO QUE SEA **RELEVANTE**, HACIENDO HINCAPIE EN AQUELLA QUE SE REFIERE A **CARACTERISTICAS Y CONDICIONES DE OPERACION DE LOS EQUIPOS** ASI COMO ASPECTOS QUE SE CONSIDEREN DE UTILIDAD PARA ANTICIPARSE A POSIBLES PROBLEMAS OPERACIONALES.

A CONTINUACION SE MUESTRA LA DESCRIPCION DEL PROCESO DE LA RECOLECCION DE GAS NATURAL DE POZOS

DESCRIPCION DEL PROCESO DE LA ESTACION DE RECOLECCION DE LA ESTACION

LA ESTACION DE RECOLECCION DE 5 ENTRADAS CULEBRA CON UNA CAPACIDAD DE 25 MMPCSD. CONSTA DE LO SIGUIENTE.

I.- SECCION DE RECOLECCION :

UNA SECCION DE CABEZALES DE ALTA Y BAJA PRESION, LOS CUALES RECIBEN LA MEZCLA: GAS-CONDENSADO-AGUA, PROVENIENTE DE POZOS

II.- SECCION DE CALENTAMIENTO Y REGULACION DE PRESION.

III.- SECCION DE SEPARACION TRIFASICA.

IV.- AREA DE ALMACENAMIENTO DE LOS PRODUCTOS LIQUIDOS DERIVADOS DE LA SEPARACION.

I.- SECCION DE RECOLECCION:

ESTA SECCION ESTA COMPUESTA POR DOS CABEZALES, UNO DE ALTA PRESION DE 5 ENTRADAS PARA LINEAS DE DESCARGA DE POZOS, Y OTRO DE BAJA PRESION, TAMBIEN DE 5 ENTRADAS PARA LOS MISMOS POZOS.
TAMBIEN SE CONTARA CON UNA CABEZAL DE PRUEBA O DESFOGUE

EL CABEZAL DE ALTA PRESION RECIBE UNA MEZCLA DE GAS-CONDENSADO-AGUA, PROVENIENTE DE LOS POZOS DE GAS NATURAL A 1500 PSI Y 78.8 °F.

PREVIENDO UNA DISMINUCION DE LA PRESION DE ALGUNO DE LOS POZOS CONFORME SON EXPLOTADOS, EL CABEZAL DE BAJA PRESION SERA EVENTUALMENTE UTILIZADO COMO CABEZAL DE RECIBO Y POSTERIORMENTE SE INTEGRARA A LA ESTACION DE RECOLECCION.

II.- SECCION DE CALENTAMIENTO Y REGULACION.

LA MEZCLA QUE SE RECIBE EN EL CABEZAL DE ALTA PRESION ES ACONDICIONADA EN SU TEMPERATURA Y PRESION, ANTES DE PASAR A LA SECCION DE SEPARACION.
ESTE ACONDICIONAMIENTO SE HACE MEDIANTE UN CALENTADOR DE FUEGO INDIRECTO (CF-2200) QUE OPERA A 1500 PSI CON UNA CAPACIDAD SUFICIENTE PARA ELEVAR LA TEMPERATURA DE LA CARGA A 95 ° F Y ASI EVITAR LA FORMACION DE HIDRATOS QUE PUDIERAN FORMARSE AL PASAR POR EL SISTEMA DE REGULACION DE PRESION.

LA CAPACIDAD DE DISEÑO DEL CALENTADOR ES EN BASE A UN FLUJO DE 25 MMPCSD .
EL CALENTADOR ESTA PROVISTO DE UNA VALVULA DE REGULACION DE PRESION MANUAL.

DESCRIPCION DEL PROCESO DE LA ESTACION DE RECOLECCION DE LA ESTACION CULEBRA

EL SISTEMA DE REGULACION DE PRESION ESTA COMPUESTO DE UNA VALVULA REGULADORA DE PRESION PARA EL CABEZAL DE ALTA PRESION Y UNA VALVULA DE BAJA PRESION PARA EL CABEZAL DE BAJA. AMBAS DEL TIPO NEUMATICO

EN DICHAS VALVULAS SE REGULA LA PRESION A 1100 PSI . LA CAIDA DE TEMPERATURA QUE OCURRE AL PASAR POR ESTA REGULACION ES COMPENSADA POR EL AUMENTO DE TEMPERATURA QUE RECIBE LA MEZCLA AL PASAR PREVIAMENTE AL CALENTADOR.

DE ESTA MANERA SE ACONDICIONA LA MEZCLA GAS-CONDENSADO-AGUA. ANTES DE PASAR A LA ETAPA DE SEPARACION..

ADICIONALMENTE , LA ESTACION CONTARA CON UNA VALVULA DE CORTE UBICADA EN LA LINEA DE ALIMENTACION DE ALTA PRESION Y OTRA EN LA LINEA DE BAJA PRESION, LAS CUALES ACTUARAN AL CIERRE CUANDO SE REGISTRE UN INCREMENTO O DISMINUCION DE PRESION EN EL SEPARADOR..

III.- SECCION DE SEPARACION .

UNA VEZ ACONDICIONADA LA MEZCLA A 1100 PSI Y 78.8 ° F, ESTA ES ENVIADA A UN SEPARADOR TRIFASICO DE TIPO HORIZONTAL DE TAPAS SEMIELIPTICAS (ST-2200).

EL PROCESO DE SEPARACION SE EFECTUA MEDIANTE EL USO DE ELEMENTOS INTERNOS ADECUADOS PARA EFECTUAR LA SEPARACION DE LAS FASES LIQUIDA AGUA Y CONDENSADOS POR DIFERENCIA DE DENSIDADES Y LOGRAR UNA EFICIENTE SEPARACION.

LOS FLUJOS DE AGUA Y CONDENSADOS, SON REGULADOS MEDIANTE VALVULAS DE CONTROL DE NIVEL DEL TIPO ACCION MODULANTE (LCV-X), PARA MANTENER UN NIVEL ADECUADO DE OPERACION EN EL SEPARADOR

EL SEPARADOR CONTARA PARA CADA UNA DE LAS FASES LIQUIDAS, DE VIDRIOS DE NIVEL TIPO REFLEX (UNO PARA AGUA Y OTRO PARA CONDENSADOS).

TANTO LA CORRIENTE DE GAS SEPARADA COMO LA DE AGUA Y CONDENSADOS SE MEDIRAN PARA LLEVAR UN REGISTRO DE LA PRODUCCION.

LA CORRIENTE DE GAS SE MEDIRA POR MEDIO DE UNA PLACA DE ORIFICIO, COMPLEMENTADO CON UN REGISTRADOR DE FLUJO, TENIENDO LA CAPACIDAD DE ENVIAR LA INFORMACION REGISTRADA POR VIA TELEFONICA HASTA EL CENTRO DEL CONTROL PEMEX.

DESCRIPCION DEL PROCESO DE LA ESTACION DE RECOLECCION DE LA ESTACION CULEBRA

LAS CORRIENTES LIQUIDAS DE AGUA Y CONDENSADO SERAN CUANTIFICADAS MEDIANTE MEDIDORES DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO (FI-X, FQI-X) CON TOTALIZADOR LOCAL TIPO ELECTRONICO CON PAQUETE DE CELDAS SOLARES, PARA EL SUMINISTRO DE ENERGIA QUE LOS MEDIDORES REQUEREN.

IV.- SECCION DE ALMACENAMIENTO.

LAS CORRIENTES DE LIQUIDOS SEPARADOS DE AGUA Y CONDENSADOS, ACONDICIONADOS A UNA PRESION DE 30 PSI MEDIANTE VALVULAS DE TIPO AUTOREGULADA (PCV-X) SERAN ENVIADAS A ALMACENAMIENTO EN TANQUES ATMOSFERICOS VERTICALES.

EL CONDENSADO ES ENVIADO A L TANQUE DE ALMACENAMIENTO (TV-2201). QUE OPERA A PRESION ATMOSFERICA Y TEMPERATURA AMBIENTE CON UNA CAPACIDAD DE 250 BLS EN TANTO QUE LA CORRIENTE DE AGUA SE ENVIARA A OTRO TANQUE(TV-2200), DE CARACTERISTICAS SIMILARES.

IV.2) CRITERIOS DE PROCESO.

LA FINALIDAD DE ESTE DOCUMENTO ES ESTABLECER E INFORMAR DE LA APLICACION DE TODOS LOS CRITERIOS QUE SE DEBEN CONSIDERAR EN EL DISEÑO DE LA PLANTA. EN LO QUE CONCIERNE AL PROCESO

LOS CRITERIOS DE PROCESO, PARA LOGRAR SU OBJETIVO NORMALMENTE SE REFIEREN A TRES ASPECTOS FUNDAMENTALES.

IV.2.1) CRITERIOS BASICOS DE DISEÑO DEL PROCESO.

ALGUNOS CRITERIOS BASICOS SON POR EJEMPLO: LA IMPORTANCIA QUE TIENE LAS CARACTERISTICAS DE LA ALIMENTACION A LA PLANTA, LA OPERACION DE LA PLANTA CON DIVERSAS ALTERNATIVAS (DIFERENTES CAPACIDADES O CARACTERISTICAS DE LOS PRODUCTOS), TAMBIEN TENDREMOS LOS CRITERIOS DE SOBREDISEÑO A UTILIZAR (FLUJOS Y COMPOSICIONES, PREVENCION DE FUTURAS AMPLIACIONES).

IV.2.2) CRITERIOS DE DISEÑO DE EQUIPOS.

SE REFIERE A CARACTERISTICAS PROPIAS DE EQUIPO, EJEMPLO TIPO DE INTERNOS DE TORRES, SOBREDISELOS EN EL EQUIPO, TIPO DE ACCIONADORES ETC.

IV.2.3) CRITERIOS GENERALES.

LA CONJUNCION DE ESTOS ASPECTOS PERMITE ESTABLECER LOS LINEAMIENTOS GENERALES Y ESPECIFICOS EN EL QUE EL DISEÑADOR SE FUNDAMENTA PARA EL DESARROLLO DE LA INGENIERIA BASICA Y AUN DE DETALLE.

IV.3) FILOSOFIAS DE OPERACION.

EL INGENIERO DE PROCESO, QUIEN HA DISEÑADO EL ESQUEMA DE PROCESO Y SELECCIONADO SUS CONDICIONES DE OPERACION, QUIEN HA DISEÑADO Y ESPECIFICADO EL EQUIPO DE PROCESO Y CONOCE MEJOR QUE NADIE SUS CARACTERISTICAS Y LIMITACIONES ES QUIEN DEBERA ELABORAR EL DOCUMENTO DONDE SE MUESTREN LAS FILOSOFIAS BASICAS DE OPERACION DE LA PLANTA.

LAS FILOSOFIAS BASICAS DE OPERACION DE LA PLANTA DEBERAN CUBRIR LOS SIGUIENTES PUNTOS

- 1) ANALISIS DE LAS VARIABLES DE OPERACION Y CONTROL DEL PROCESO.
- 2) OPERACIONES NORMALES
- 3) PROCEDIMIENTOS DE OPERACION ESPECIAL.
- 4) REQUERIMIENTOS DE CONTROL ANALITICO DEL PROCESO

IV.4) HOJAS DE DATOS DE EQUIPOS.

UNA VEZ QUE SE HA DISEÑADO EL EQUIPO SE PROCEDE A REALIZAR UNA HOJA DE DATOS EN LA CUAL SE MUESTRA TODAS LAS CARACTERISTICAS DE OPERACION, CAPACIDADES Y CONTRUCCION DEL EQUIPO, NORMAS BAJO LAS CUALES SERÁ DISEÑADO.

ESTAS HOJAS DE DATOS SE UTILIZAN PARA REALIZAR LA COMPRA DEL EQUIPO LAS HOJAS DE DATOS JUNTO CON UNA REQUISICION DEL EQUIPO ES ENVIADA A LOS PROVEEDORES A TRAVES DEL DEPARTAMENTO DE PROCURACION DE LA COMPAÑIA DE INGENIERIA.

II.5) REQUISICION DE EQUIPO.

ES UN DOCUMENTO LEGAL EN DONDE SE DA UNA DESCRIPCION DETALLADA DEL EQUIPO Y/O LOS EQUIPOS QUE SE REQUIEREN, CON SUS CARACTERISTICAS DE OPERACION, CAPACIDAD Y CLAVE, CONDICIONES DE DISEÑO DEL EQUIPO QUE SE DESEA COMPRAR.

ESTE DOCUMENTO DEBE IR ACOMPAÑADO DE CLAUSULAS DE DEPARTAMENTO DE PROCURACION, DONDE MUESTRA TIEMPOS, DE ENTREGA DEL EQUIPO, CLAUSUSAS DE PROCURACION, GARANTIAS, NORMAS ESPECIFICAS A SEGUIR.

ESTE DOCUMENTO SERA ENVIADO A LOS PROVEEDORES CONJUNTAMENTE CON LAS HOJAS DE DATOS DEL EQUIPO.

II.6) LISTA DE EQUIPO.

SE REALIZA UNA LISTA DE LOS EQUIPOS QUE FORMAN PARTE DE LA PLANTA DONDE SE ESPECIFICA CLAVE, CAPACIDADES, CONDICIONES DE OPERACION, MATERIALES.

II.7) LISTA DE MOTORES

SE REALIZA UNA LISTA DE MOTORES, DONDE SE ESPECIFICA LAS CARACTERISTICAS DE CADA UNO DE LOS MOTORES QUE SE SERN UTILIZADA EN LA PLANTA INDICANDO: POTENCIA, SUMINISTRO ELECTRICO.

II.8) LIBRO DE PROYECTO.

FINALMENTE SE INTEGRA EL LIBRO DE PROYECTO DE LA PLANTA, EL CUAL CONTIENE TODOS LOS DOCUMENTOS QUE SE HAN DESCRITO HASTA ESTE MOMENTO.

EN ESTE LIBRO SE CONJUNTA TODA LA INFORMACION QUE SE FUE DESARROLLANDO A LO LARGO DEL DESARROLLO DEL PROCESO.

V) CONCLUSION

CON ESTE TRABAJO SE PRETENDIO DAR UN PANORAMA MUY GENERAL DE LO QUE ES EL DESARROLLO DE UN PROCESO PARA LA OBTENCION DE UN PRODUCTO DESEADO.

COMO PUEDE OBSERVARSE LA CANTIDAD DE INFORMACION QUE SE MANEJA ES MUY AMPLIA Y DETALLADA, POR LO QUE PARA UNA COMPAÑIA QUE SEA CUIDADOSA EN CONSERVAR SUS LIBROS DE PROYECTO, VA A TENER EN SUS MANOS LAS POSIBILIDADES DE CORREGIR CUALQUIER PROBLEMA QUE SE SUCITARA EN LA PLANTA.

ES IMPORTANTE HACER NOTAR QUE LAS PLANTAS SE DISEÑAN CUMPLIENDO CON LAS NORMAS TANTO EN EL DISEÑO DE LOS EQUIPOS, ASI COMO LAS NORMAS DE SEGURIDAD VIGENTES.

EL EMPRESARIO QUE CUENTE CON UN LIBRO DE PROYECTO PERFECTAMENTE COMPLETO, NO DEBERA TENER NINGUN PROBLEMA PARA PODER CUBRIR LAS ETAPAS DE VERIFICACION DE RIESGOS DE SU EMPRESA.



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

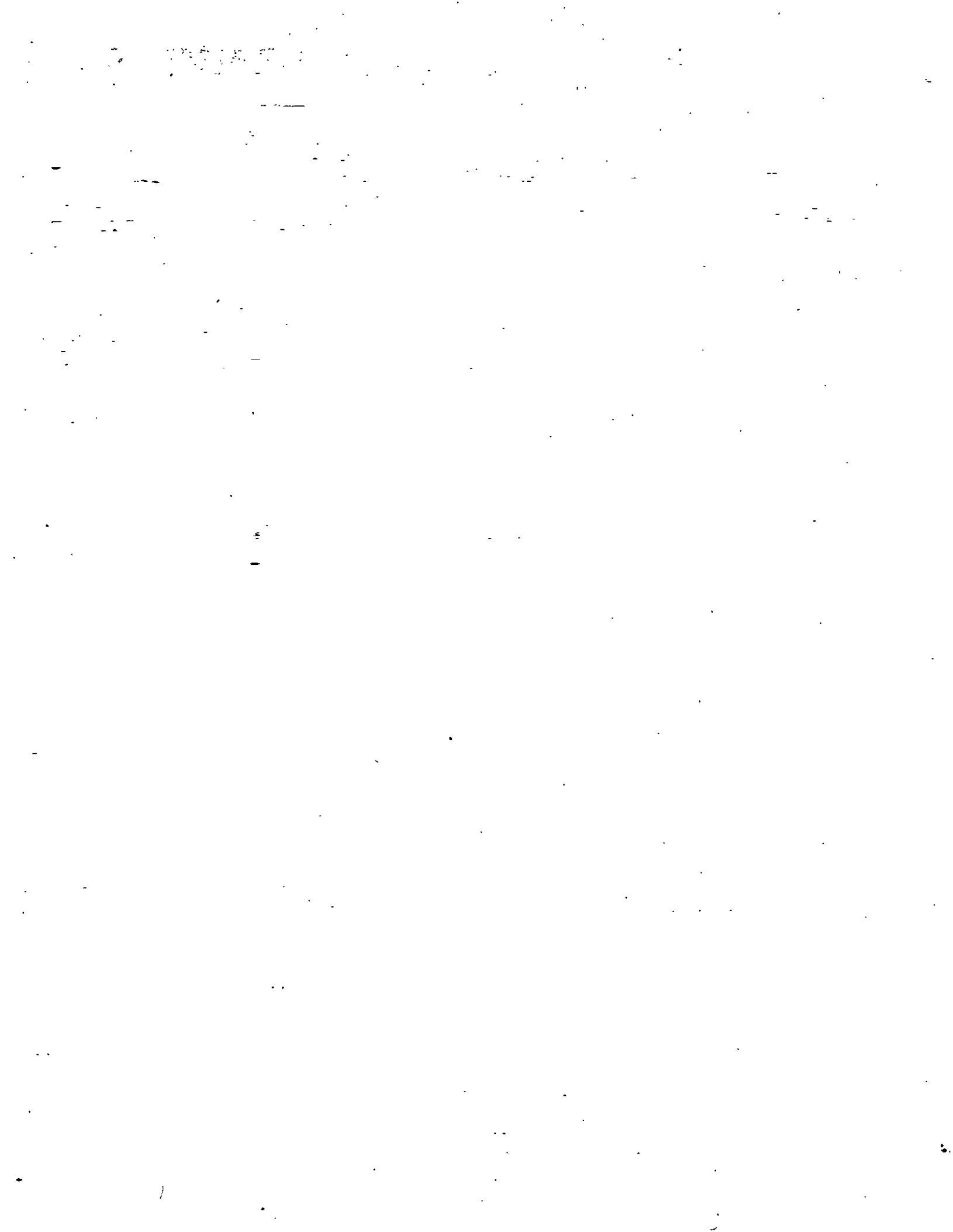
DIPLOMADO EN RIESGO AMBIENTAL

**MODULO III: METODOS Y ANALISIS DE RIESGO
(CUALITATIVO Y CUANTITATIVO)**

TEMA: 2. LISTA DE CHEQUEO

EXPOSITOR: ING. ENRIQUE JIMENEZ VARGAS

1997



INVESTIGACION DE ACCIDENTES, LISTAS DE VERIFICACION

Actualmente en el mundo existen una serie de organizaciones muy grandes con grupos de ingeniería fuertes, los cuales han venido desarrollando estandares, códigos, normas, etc. en base a su extensa experiencia en el desarrollo de plantas, incorporando a su vez los Códigos de Diseño relacionados con actividades, equipos o procesos en particular (American National Standards Institute, American Society for Testing and Materials, National Fire Protection Association, etc.) .

Con dichos Estandares o Códigos de ingeniería se han venido desarrollando una serie de Listas de Verificación, con la finalidad de:

- Establecer el Marco Técnico de una Empresa.
- Establecer las Bases de Diseño de un Proyecto.
- Comparar en Revisiones o Auditorias el "es" contra el "debiera".
de las Instalaciones existentes de una planta.

Las Listas de Verificación son particulares para cada tipo de proceso e instalación, aunque es factible que instalaciones similares con procesos similares puedan aplicar listas de verificación iguales.

Existen por tanto listas de verificación para todas y cada una de las especialidades de ingeniería:

- Mantenimiento.
- Producción.
- Seguridad.
- Transporte.
- Etc.

Las Listas de Seguridad son las que nos ocuparan.

ELABORACION DE LISTAS DE VERIFICACION.

- 1) Definición de los estandares a cubrir.

En esta primera etapa, el area de seguridad definirá conjuntamente con la de Proyectos y Procesos, los estandares que la Planta deberá cumplir, no siendo obligadamente aquellos con los que fue originalmente Diseñada y Construida, sino los que actualmente se Requieran o cumplan con las Políticas de la empresa y los Requisitos Legislativos.

Esta definición estará fundamentada en las Características de:

- Tipo de Proceso (Cinética de la reacción, Variables de Control).
- Materiales a Manejar (Características Peligrosas de M. Primas, Productos, Subproductos y Residuos).
- Tipo de Operación (Manual, Auto o Semiautomática).
- Distribución interna de la planta (Lay out, Plot plant).
- Sitio donde se ubicara o esta ubicada la Planta (País, Estado, Comunidad vecina, Medio Ambiente a impactar, Zona Sismica, Etc.).
- Sistemas de Prevención (Interlocks, Detección, Flares, Etc.)
- Sistemas de Protección (Detección y Extinción, Supresión, Etc.)

2) Integración de las Listas de Verificación.

En un momento dado, pudiera obtenerse una lista de verificación general para toda la instalación, pero seria sumamente compleja su aplicación, así como su estructura, es por ello que se deben integrar por el tipo de riesgo a identificar o eliminar:

- Auditorias a Proyectos:
- Ingeniería Básica.
- Ingeniería de Detalle.
- Construcción.
- Arranque.
- Auditorias a Plantas en Operación:
- Guardas.
- Sistema Contra incendio.
- Seguridad en Laboratorios.
- Bodegas y Almacenes.
- Calderas y Maquinaria.
- Seguridad en Oficinas.
- Orden y Limpieza.
- Transporte y Almacenamiento.
- Reacciones Fuera de Control.
- Derrames.
- Instalación Eléctrica.
- Mantenimiento.
- Procedimientos de seguridad.
- Logística.
- Administración de Cambios.
- Agentes Físicos, Químicos y Biológicos Agresores a los Trabajadores (Ruido, Iluminación, Temperatura, Vapores).
- Operación de Sistemas de Tratamiento de Residuos.
- Capacitación y Destreza.

APLICACION DE LAS LISTAS DE VERIFICACION.

El empleo de esta herramienta para la identificación de riesgos puede ser muy variada, pero se obtendrán óptimos resultados si se emplea como complemento en los siguientes

A - Auditorías a proyectos.

B - Auditorías a plantas en operación.

- A) - Auditorías a proyectos. El momento adecuado para su aplicación es cuando el diseño se ha concluido y antes de que sea revisado a través de la metodología HAZOP, ya sea la Ingeniería Básica o de Detalle, con el fin de verificar que los conceptos importantes han sido contemplados. Es factible su aplicación en la revisión previa al arranque, aunque probablemente existan condiciones difíciles de modificar por el grado de avance de la construcción.
- B) - Auditorías a plantas en operación. Antes de aplicar cualquier método de identificación de riesgos, es muy recomendable realizar una inspección de las instalaciones aplicando listas de verificación para identificar desviaciones contra los estándares de diseño, construcción y operación a fin de eliminarlas ya que se parte de la premisa de cumplir con bases previamente aceptadas.

En ambos casos de aplicación, la aplicación de las listas deberá ser realizada por un grupo multidisciplinario a fin de enriquecer de conocimientos y experiencia los resultados.

SECUENCIA DE APLICACION DE LAS LISTAS DE VERIFICACION.

La ejecución de la identificación de riesgos mediante listas de verificación consta de:

- 1) Definición de objetivos y alcance.
 - 2) Selección del grupo de trabajo.
 - 3) Preparación previa del análisis.
 - 4) Ejecución del análisis.
 - 5) Registro de resultados.
- 1) Definición de objetivos y alcance.

Debido a que se puede contar con una gran cantidad de lista de verificación, es importante definir el objetivo y alcance de lo que se va a realizar, para así evitar pérdida de tiempo, confusión de lo que se revisa, emisión de recomendaciones de equipos o procesos de otras áreas.

Es recomendable que el alcance y objetivos se orienten a cubrir una sola lista de verificación, por ejemplo: almacenamiento, sistema contra incendios, etc.

- 2) Selección del grupo de trabajo.

Aún cuando la aplicación de las listas de verificación puede ser realizada por las

disciplinas en forma individual, lo cual es recomendable en las etapas de desarrollo. Los resultados serán mas significativos cuando se aplican por un grupo multidisciplinario, ya que podrán ser conjuntados los diferentes puntos de vista, lo que permitirá identificar la mayor parte de los riesgos.

El grupo puede estar integrado por:

- SEGURIDAD.
- PROCESOS.
- MANTENIMIENTO.
- PRODUCCION.

El cual puede ser incrementado o reducido dependiendo de la complejidad y tamaño de las instalaciones.

3) Preparación previa del análisis.

El responsable de la coordinación del análisis jugara un papel muy importante en la facilitación del trabajo y será el encargado de conjuntar los elementos de apoyo que se requieran para ello. Sus actividades serán:

- A) Tener claramente definidos los objetivos y alcance del trabajo.
- B) Preparar las listas de verificación a utilizar y contar con un ejemplar de ellas para cada uno de los miembros del equipo.
- C) Contar con el plano de distribución de la planta con las areas especificas a revisar.
- D) Información relativa a los procesos, instalaciones, equipos y operaciones de la planta o unidad a revisar (Diagramas de flujo, DTI's, Descripción del proceso, Procedimientos de operación y seguridad, Planos de clasificación eléctrica, Etc.)
- E) Planeación de las secciones de trabajo, contemplando: lugar, fecha y hora, así como quienes participaran en el análisis.
- F) Recopilación de recomendaciones y resultado del análisis, así como seguimiento para su cumplimiento.

4) Ejecución del análisis.

El procedimiento general para su aplicación es:

INICIO

- 1 SELECCION DEL AREA DE LA PLANTA A REVISAR.
- 2 SELECCION DE UNA LISTA DE VERIFICACION.
- 3 REALIZAR EL ANALISIS (EN CAMPO Y EN ESCRITORIO).
- 4 REVISAR EL RESULTADO.
- 5 REGISTRAR LAS DESVIACIONES.
- 6 REPETIR 2 A 5 PARA TODAS LAS LISTAS DE VERIFICACION.
- 7 REPETIR 1 A 6 PARA TODAS LOS EQUIPOS E INSTALACIONES DEL AREA.
- 8 RESUMIR TODAS LAS DESVIACIONES IDENTIFICADAS.

FINAL

- 5) Registro de resultados.

En los puntos 5 y 8 del procedimiento se realiza el registro de todas las desviaciones identificadas, con las cuales se generara un plan de acción para su cumplimiento.

INSPECCION EN ESTACIONES DE CARGA Y DESCARGA.

OBJETIVO

Complementar las listas de inspección en uso en cada localidad a fin de que las operaciones de carga y descarga de auto-tanques y carros-tanque sean seguras.

A LA LLEGADA DEL VEHICULO

- 1.- Verificar la documentación correspondiente al embarque o descarga.
- 2.- Corroborar si la pipa o el carro-tanque tienen la especificación adecuada para el manejo seguro del material transportado (Ref (56) parte 107 y 173).
- 3.- Aplicar el sistema de frenado por medio de calzas y frenos propios del vehículo.
- 4.- Limitar perfectamente el área de operación por medio de pintura y avisos.

- 5.- Emplear el equipo de protección personal recomendado para el manejo del n il
involucrado.
- 6.- Efectuar la conexión a tierra del vehículo.
- 7.- En operaciones de carga no es recomendable que se efectuen embarques de un volumen sensiblemente menor a la capacidad de la pipa.
- 8.- Procurar que la operaciones de carga y descarga, se realicen durante el día con el objeto de verificar el estado físico de la unidad e identificar cualquier desviación a las condiciones normales de operación.

INSPECCION DEL EQUIPO DE BOMBEO

- 1.- Verificar la correcta conexión de las bombas.
- 2.- Revisar periódicamente los empaques de las bombas para evitar fugas.
- 3.- Verificar que exista una adecuada conexión a tierra.
- 4.- Contar con equipo de reserva para sustituir en caso de falla.
- 5.- Verificar el alineamiento de los coples de la bomba.
- 6.- Verificar que estos equipos se encuentran perfectamente fijados en una base.
- 7.- Llevar a cabo los mantenimientos preventivos programados de acuerdo a horas máquina.
- 8.- Contar con interruptores de presión, flujo o temperatura, para cuando la bomba opera en vacío y se produce el fenómeno de cavitación.
- 9.- Contar con interruptores de paro de bombas tanto cerca de ellas, como cerca de los tanques de almacenamiento para suspender su operación en caso de derrames o fugas.

INSPECCION DE TUBERIAS

- 1.- Para la carga del material deberá considerarse que sea mediante tubo buzo para evitar la emisión de vapores.
- 2.- Verificar que no exista fuga a través de las bridas.
- 3.- Verificar periódicamente el estado de las juntas (empaques) y utilizar grafito (molicote) al colocarlas.
- 4.- Verificar periodicamente el desgaste de las paredes internas y externas d

tubos.

- 5.- Considerar que es recomendable el contar con una adecuada instalación de tuberías, de tal forma que se reduzcan las vibraciones en las bridas de las líneas.

INSPECCION DE MANGUERAS DE CONEXION RAPIDA

Es recomendable el uso de mangueras de conexión rápida ya que con ellas se facilita la operación y se minimiza el tiempo para el acoplamiento de líneas.

Los puntos de seguridad a inspeccionar en este tipo de mangueras son:

- 1.- Revisar periódicamente el buen estado de las conexiones macho y hembra.
- 2.- Contar con recubrimientos metálicos.
- 3.- Sellar perfectamente la manguera en la conexión hembra-macho.
- 4.- Limpiar periódicamente con aire a presión para eliminar cuerpos extraños en el interior de las mismas.

INSPECCION DE VALVULAS

- 1.- Las válvulas de reserva deben contar con su protección de fábrica hasta el momento de ser instaladas.
- 2.- La acción del vástago debe ser libre (es decir no presenta resistencia al movimiento).
- 3.- Evitar el instalar válvulas en tuberías ascendentes a fin de no ocasionar taponamientos al conducir sólidos en suspensión.
- 4.- Instalar las válvulas en lugares de fácil acceso.
- 5.- Contar con manuales apropiados en cada una de las válvulas.
- 6.- Llevar a cabo el programa de mantenimiento preventivo a estos equipos.
- 7.- Cambiar los empaques de los vástagos en forma programada.

INSPECCION EN INSTALACIONES

- 1.- El área para confinar derrames deberá estar libre de obstáculos (limpia y drenada).
- 2.- Utilizar escaleras de acceso debidamente protegidas (tipo jaula de gato o marinas).

- 3.- Los pasillos deberán contar con pasamanos y piso antiderrapante.
- 4.- Verificar por la mirilla el nivel del tanque de almacenamiento antes de ejecutar la descarga del vehículo.
- 5.- Los tanques de almacenamiento expuestos a la intemperie deberán contar con equipos de extinción fijos.
- 6.- Asegurarse que al cargar una pipa o carro-tanque, éste se encuentra inicialmente vacío.
- 7.- Prohibir el acceso de personas ajenas durante las operaciones de carga y descarga.
- 8.- Para el caso de líquidos inflamables, verificar que están aterrizados adecuadamente los tanques de almacenamiento y que están protegidos contra descargas eléctricas atmosféricas.
- 9.- Prever la existencia de guardas (bardas, barandales, postes, etc.) para proteger las bombas de descargas y a las tuberías, de posibles golpes de los vehículos.

INSPECCION DE MANOMETROS

- 1.- Instalarlos en lugares de fácil acceso para su mantenimiento.
- 2.- Protegerlos de los efectos naturales de la intemperie.
- 3.- Verificar que las carátulas cuenten con su debida protección (mica, vidrio, etc.).
- 4.- Alejarlos de campos magnéticos cercanos que pudieran afectar su funcionamiento adecuado.
- 5.- Verificar periódicamente que su lectura es real y contar con un programa de mantenimiento.
- 6.- Contar con equipo de reserva para sustituir de inmediato en caso de falla.
- 7.- Su ubicación deberá permitir que la lectura se tome con facilidad.

CIERRE DE OPERACION

Una vez concluida la operación de carga o descarga, deberá revisarse lo siguiente:

- 1.- Verificar que no exista goteo en las líneas.
- 2.- Llevar a cabo la limpieza del vehículo.

- 3.- Limpiar cualquier derrame exterior en las unidades.
- 4.- Limpiar las mangueras exteriormente al terminar la operación.
- 5.- Mantener orden y limpieza en el área.
- 6.- Guardar el equipo de protección personal debidamente descontaminado en lugares adecuados.

EN CUANTO A LOS VEHICULOS AUTOMOTORES

- 1.- Establecer un programa master de mantenimiento electromecánico a unidades de transporte en base a horas máquina a fin de:
 - a) Detectar fallas potenciales de siniestros en las unidades.
 - b) Reducir costos en los mantenimientos preventivos.
 - c) Definir los tiempos utilizasos en los viajes para tener un estándar de los mismos.
- 2.- Elaborar bitácoras de viaje por parte del operador, en las cuales deberán anotar los incidentes ocurridos.
- 3.- Impartir por lo menos una vez al año cursos de entrenamiento a transportistas en cuanto a:
 - a) Empleo del equipo de protección personal.
 - b) Cambio de los letreros de seguridad en transporte (LST).
 - c) Precauciones al momento de hacer las operaciones de carga-descarga.
 - d) Conocimiento de los peligros asociados con el material transportado.

LISTA DE VERIFICACION PARA LA SEGURIDAD DEL PROCESO

Nota: Se debe considerar esta lista no solamente para una operación normal sino también para la puesta en marcha, paro y cualquier clase de contratiempo concebible.

A. MATERIALES.

1. ¿Qué materiales de proceso son inestables y espontáneamente inflamables?
 - a) ¿Qué evaluaciones se hicieron sobre la sensibilidad a los impactos?
 - b) ¿Qué evaluaciones se hicieron sobre la posibilidad de reacciones y descomposiciones incontrolables?
 - c) ¿Se manejarán materiales pirofóricos?
2. ¿Qué datos hay disponibles sobre la cantidad y el índice de generación de calor durante la descomposición de cualquier material que está en proceso?

3. ¿Qué precauciones son necesarias para los materiales inflamables, incluyendo almacenamiento y los sistemas de tubería?
4. ¿Qué peligros de polvos inflamables existen?
¿Qué precauciones son requeridas?
5. ¿Qué materiales son altamente tóxicos?
6. ¿Qué se hizo para asegurar que los materiales de construcción son compatibles con los materiales de los procesos químicos con que están relacionados?
7. ¿Qué control de mantenimiento se necesita para asegurarse que los reemplazos de materiales no producirán corrosión excesiva ni compuestos peligrosos con los reactivos?
8. ¿Qué cambios se han producido en la composición de las materias primas y qué cambios ha producido esto sobre el proceso?
9. ¿Qué se hace para asegurar un control eficiente sobre la identificación y la calidad de la materia prima?
10. ¿Qué peligros podrían surgir por la falta de suministro de una materia prima ó de más de una?
11. ¿Qué seguridad hay de que pueda lograrse un suministro adecuado de materia prima?
12. ¿Qué peligros pueden presentarse por la falta de gas para la purga, el mantenimiento o para inertizar? ¿Cuán seguro es el suministro de gas?
13. ¿Qué precauciones son necesarias considerar para lograr la estabilidad de todos los materiales que están almacenados?
14. ¿Qué agentes extintores son compatibles con los materiales de proceso?
15. a) ¿Se cuenta con un suministro confiable de gas inerte para purgar, inhibir o desactivar? (Referencia NFPA # 69)
b) ¿Qué medidas existen paara rectificar el barrido mediante la purga en paro y arranque?

B. REACCIONES

1. a) ¿Se definen las reacciones potencialmente peligrosas?
b) ¿Cómo se aíslan?
c) ¿Cómo son prevenidas?
2. a) ¿Qué variables del proceso se podrían aproximar, o se aproximan a las condiciones límites para crear un peligro?

- b) ¿Qué medidas de seguridad son proporcionadas para controlar tales variables?
3. ¿Qué reacciones indeseables y peligrosas pueden producirse debido a un flujo o a una condición de proceso anormal o a una contaminación?
 4. ¿Qué mezclas combustibles pueden producirse dentro de los equipos?
 5. ¿Qué precauciones se toman para los procesos que se realizan dentro o cerca de los límites de inflamabilidad?
 6.
 - a) ¿Cuáles son los márgenes de seguridad en el proceso de todos los productos reactivos intermedios?
 - b) ¿Qué consecuencias podría producir la pérdida de ingredientes o una proporción incorrecta de reactivos?
 7. ¿Qué datos sobre la velocidad de la reacción hay disponibles ante posibles reacciones normales o anormales?
 8. ¿Qué cantidad de calor debe eliminarse de las posibles reacciones exotérmicas normales o anormales?
 9. ¿Cuánto se sabe acerca de la química de los procesos incluyendo las reacciones deseables e indeseables? (Ver NFPA # 491 M, "Manual de las Reacciones Químicas peligrosas").
 10. ¿Qué materias extrañas pueden contaminar el proceso y crear peligros?
 11. ¿Qué medidas de seguridad se han tomado para la eliminación rápida de reactivos si esto fuese necesario debido a una emergencia de la planta?
 12. ¿Qué precauciones se han tomado para controlar una reacción en cadena (o fuera de cauce) que se avecina o para detener una que ya haya empezado?
 13. ¿Qué reacciones peligrosas pueden presentarse como resultado de la falla mecánica de un equipo (bomba, agitador, etc.)?
 14. ¿Qué condiciones peligrosas del proceso pueden resultar de la obstrucción gradual o repentina de un equipo, incluyendo líneas?
 15. ¿Existen medidas para la remoción o prevención de obstrucciones?
 16. ¿Qué materias primas o materiales del proceso pueden ser afectados debido a condiciones extremas del tiempo?
 17. ¿Qué cambios se han hecho en el proceso desde que se hizo la última revisión de seguridad?
- //

C. EQUIPOS

1. ¿Cómo fueron adecuadas las medidas del equipo asegurado en vista de los cambios en el proceso realizados desde la última revisión de seguridad?
2. ¿Qué procedimientos hay para asegurar un nivel adecuado de líquido en los obturadores de los líquidos?
3. ¿Cuáles son los peligros potenciales de incendios externos que podrían crear condiciones peligrosas en el proceso interno?
4. ¿Es necesario un mecanismo supresor de explosiones para detener una explosión después de que se ha iniciado?
5. ¿En qué lugares se necesitan arrestaflamas y dispositivos para contener detonaciones?
6. ¿Cómo se protegen contra los derrames los equipos que trabajan con fuegos abiertos en sectores restringidos?
7. ¿Qué control de seguridad se mantiene en las zonas de almacenamiento?
8. ¿Puede usarse un material más durable en caso de que haya equipos de vidrio o de otro material frágil?
Si no es así, ¿Está adecuadamente protegido el material frágil para reducir peligros de ruptura? ¿Qué peligro podría producir una ruptura? ¿Qué medidas se han previsto para manejar esta situación?
9. ¿Se usan visores o mirillas de vidrio en los reactores sólo en caso de que sean absolutamente necesarios?
10. ¿Qué válvulas e interruptores de emergencia no pueden alcanzarse con facilidad?
11. ¿Cuándo se verificó por última vez el régimen de presión especialmente de los equipos que trabajan bajo presión?
12. ¿Qué peligros podrían producir las fallas de los agitadores?
13. ¿Qué taponamiento en las tuberías podrían ocurrir y cuáles serían los peligros?
14. ¿Qué precauciones se tomaron para drenar totalmente los equipos a fin de que los trabajos de mantenimiento puedan efectuarse con seguridad?
15. ¿Están diversificados los sistemas de ventilación y de ser así puede esto crear algún peligro?
16. ¿Cómo se estableció que la ventilación es adecuada?
17. ¿Qué medidas se tomaron para disipar la electricidad estática a fin de evitar chispas?

18. ¿Qué necesidad hay de instalar resguardos o barreras de concreto para aislar a los equipos altamente susceptibles y proteger las instalaciones adyacentes contra la desorganización de las operaciones?
19. ¿Qué medidas se han tomado para aliviar las fuerzas explosivas dentro de los edificios, equipos o en zonas operativas?
20. ¿Cumplen los equipos de presión con los requerimientos locales y nacionales?
21. ¿Están registrados todos los equipos de acuerdo a los requerimientos locales y nacionales?
22. ¿Cuándo fueron inspeccionados visualmente, calibrados, radiografiados, probados de una manera hidrostática, etc., los equipos?
23. ¿Se ha revisado completamente el historial de todos los equipos?

D. CONTROL DE LA INSTRUMENTACION

1. ¿Qué peligros se presentarían si todas las fuentes de fuerza motriz que hacen funcionar los instrumentos fallaran casi simultáneamente?
2. ¿Habría un margen de seguridad suficiente para toda la operación; si todos los instrumentos fallasen simultáneamente?
3. ¿Qué medidas se han tomado para la seguridad del proceso cuando un instrumento que funciona tanto en la seguridad como en el control del proceso es retirado de servicio a fin de efectuarle tareas de mantenimiento? ¿Qué medidas se tomarán cuando tal instrumento pase por un periodo de inactividad por calibración o cuando, por otra razón, la lectura del instrumento no está disponible? Deberán hacerse previsiones para mantener la seguridad operacional?
4. ¿Qué hizo para minimizar el tiempo que tardan en reaccionar los instrumentos que son directa o indirectamente significativos para la seguridad del proceso?
¿Se encuentran todos los instrumentos que son directa o indirectamente significativos o mecanismos de control apoyados por un instrumento independiente o por un método de control que funciona de una manera totalmente distinta? ¿Están estos dos métodos de control de un proceso crítico apoyados por un tercer dispositivo final de paro?
5. ¿Se ha considerado integralmente la función de seguridad de los instrumentos con la función de los mecanismos de control del proceso en el diseño de la planta?
6. ¿Cuáles son los efectos de las condiciones extremas de la humedad y temperatura atmosférica sobre los instrumentos?
7. a) ¿Qué manómetros, medidores y registradores no pueden leerse fácilmente?
b) ¿Qué modificaciones se están efectuando para solucionar este problema?

8. ¿Está el sistema totalmente exento de visores de vidrio, de niveles de vidrio, de lectura directa o de otros dispositivos que al romperse puedan permitir el escape de los materiales del sistema?
9.
 - a) ¿Qué se está haciendo para verificar que los sellos de los instrumentos están correctamente instalados?
 - b) ¿Están los instrumentos conectados a tierra?
 - c) ¿Están debidamente diseñados para el ambiente?
10.
 - a) ¿Qué procedimientos se han establecido para probar el funcionamiento de los instrumentos?
 - b) ¿Con qué frecuencia?
11. ¿Qué pruebas periódicas se programaron para controlar el buen funcionamiento de los instrumentos?
12. ¿Están protegidas las reacciones altamente exotérmicas por un sistema de instrumentos doble e independiente, el cual incluya alarmas y dispositivos de paro?

E. OPERACIONES

1. ¿Cuándo fue la última vez que se revisaron y actualizaron los procedimientos escritos de operación?
2. ¿Cómo se entrena al personal nuevo y se mantiene actualizado al personal experimentado sobre los procedimientos operativos, especialmente para las puestas en marcha y paros de plantas, así como para casos de imprevistos y emergencias?
3. ¿Qué modificaciones se efectuaron en la planta desde la última revisión de seguridad del proceso?
4. ¿Qué necesidades especiales de limpieza existen antes de la puesta en marcha y cómo se les controla?
5. ¿Qué válvulas e interruptores de emergencia no pueden alcanzarse fácilmente?
¿Qué medidas existen para solucionar estas situaciones?
6. ¿Qué medidas de seguridad se necesitan para cargar líquidos en los tanques o para descargarlos de ellos? ¿Se han tomado las medidas necesarias para evitar la generación de electricidad estática?
7. ¿Qué peligros introducen en el proceso los procedimientos rutinarios de mantenimiento? Revisar los procedimientos para eliminar estos peligros.
8. ¿Qué evaluación se ha efectuado sobre los peligros de los materiales que van a las alcantarillas o drenajes, durante las operaciones normales y anormales?

9. ¿Cuán confiables son los suministros de gas inerte y con cuánta facilidad estos pueden interrumpirse hacia las unidades individuales?
10. ¿Qué márgenes de seguridad se han reducido debido a revisiones del diseño o la construcción en un esfuerzo por eliminar "cuellos de botella" en las operaciones, reducir costos, aumentar la capacidad o mejorar la calidad?
11. ¿Qué medidas contiene el manual de operaciones para las puestas en marcha, paros, imprevistos y emergencias?
12. ¿Qué evaluación económica ha influenciado en la elección entre un proceso discontinuo y uno continuo?

F. MAL FUNCIONAMIENTO

1. ¿Qué peligros podría crear la pérdida de una alimentación y la pérdida simultánea de dos o varias alimentaciones?
2. ¿Qué peligros podría causar la pérdida de un servicio auxiliar (agua, vapor, aire, gas inerte) y la pérdida simultánea de dos o más de estos servicios?
3. ¿Cuál sería el incidente probable más grave, por ejemplo, la peor combinación imaginable de trastornos razonables que podrían ocurrir?
4. ¿Cuáles son los riesgos de derrames y qué peligros pueden derivarse de ellos?

G. DISPOSITIVOS PARA ALIVIO DE PRESIONES

1. ¿Existen arrestaflamas en la descarga de las válvulas de alivio o de los discos de ruptura de recipientes presurizados? Normalmente NO deben ser instalados en la descarga de estos dispositivos.
2.
 - a) ¿Qué medidas existen para retirar, inspeccionar y reemplazar las válvulas de seguridad y los discos de ruptura?
 - b) ¿Existe un procedimiento programado?
3.
 - a) ¿Qué necesidad hay de instalar mecanismos de alivio para emergencias como son: líneas de venteo o respiraderos, válvulas de seguridad, discos de ruptura y sellos de líquidos?
 - b) ¿Sobre qué base se establecen las medidas?
4. ¿Cómo se establecen las medidas con respecto a la capacidad y al diseño del tanque donde se usan los discos de ruptura para evitar daños por explosiones?
5. ¿Qué se está haciendo para asegurarse de que la medida es adecuada con respecto a la dinámica del alivio donde los discos de ruptura tienen líneas de entrega hacia el disco y desde este? ¿Qué se hace para evitar "latigazos" en el extremo de la línea?

6. ¿Están las descargas de los venteos, válvulas de seguridad, discos de ruptura y chimeneas ubicadas de forma tal que no constituyen un peligro para los equipos y el personal?
7. ¿Qué equipo u operación a presión propensa a desarrollar presiones internas por imprevistos del proceso no está protegido por un dispositivo de alivio y cuál es el motivo?
8. ¿Están las tuberías de descarga y las válvulas de seguridad apoyadas independientemente? Las tuberías deben ser lo más cortas posibles y tener el menor cambio posible de dirección, soportadas adecuadamente para prevenir el doblamiento y los latigazos en los desfogues de alivio.
9. ¿Se han instalado conexiones de drenaje para la tubería de descarga de las válvulas de seguridad donde podría acumularse condensado?
10. ¿Se han instalado válvulas de seguridad: en la descarga de las bombas de desplazamiento positivo; entre los compresores de desplazamiento positivo y las válvulas de bloqueo; entre las bridas de escape de las turbinas de contra-presión y las válvulas de bloqueo, y en cualquier equipo en donde el líquido pueda estar detenido o estancado y calentado posteriormente?
11. Donde los discos de ruptura están en serie con las válvulas de seguridad. Para evitar la corrosión de la válvula o fugas de materiales tóxicos deberá instalarse un disco de ruptura después del recipiente y el monitor de la sección de la tubería que está entre el disco y la válvula de seguridad; además deberá existir un manómetro y una línea de purga. ¿Hay algún disco de ruptura instalado en la descarga de la válvula de seguridad?

H. UBICACION Y DISTRIBUCION GENERAL

1. ¿Están los equipos adecuadamente espaciados y ubicados de manera tal que permitan un mantenimiento anticipado durante las operaciones sin peligro para el proceso?
2. ¿Qué daños podrían haber para la comunidad en caso que ocurra un derrame imprevisible?
3. ¿Qué peligros hay para las zonas vecinas debido a los materiales que se derraman en las alcantarillas y drenajes?
4. ¿Qué riesgos públicos existen por la generación de nieblas, humos y ruidos? y ¿Cómo han sido controlados y reducidos?

I. MIRILLAS DE VIDRIO

1. ¿En qué equipo de proceso (sujetos a condiciones peligrosas) son necesarias mirillas de vidrio? Ejemplo; condiciones inflamables, tóxicas, de alta presión, temperaturas extremas, etc.



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

DIPLOMADO EN RIESGO AMBIENTAL

**MODULO III: METODOS Y ANALISIS DE RIESGO
(CUALITATIVO Y CUANTITATIVO)**

TEMA: 3. ¿QUE PASA SI...?

WHAT IF...?

EXPOSITOR: ING. JORGE BERMUDEZ MENDIZABAL

1997

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

¿QUE PASA SI...?

La seguridad y la operabilidad son factores significativos que forman parte integral en el diseño de procesos. Las revisiones de diseño pueden agruparse en dos tipos: "primarias" y "secundarias". En el primero de ellos el nivel de detalle y profundidad es muy alto y para lo cual se utiliza la metodología conocida como Análisis de Riesgos y Operabilidad (HAZOP), la que permite identificar riesgos difícilmente reconocibles por simple observación o revisiones generales. El segundo tipo consiste en una serie de revisiones de seguridad de tipo general en base a la que establece el procedimiento PTI-26 y a estas revisiones asiste un grupo multidisciplinario el cual, a través de hacer la pregunta ¿qué pasa si...? a cada etapa del proceso, identificará riesgos generales en el diseño. Esta metodología puede ser utilizada en las revisiones preliminares del diseño o a plantas en operación.

Procedimiento para el análisis

Para el uso apropiado de la técnica, cada porción de la operación deberá ser evaluada por los miembros del grupo de revisión quienes harán la pregunta ¿qué pasa si...? a cada operación o etapa del proceso para determinar los efectos de fallas en los equipos o errores de operación en el proceso.

La metodología puede ser utilizada para revisar un proceso completo o partes de él, dependiendo de su complejidad. El grupo de especialistas con experiencia y conocimientos en varios aspectos examinan intensivamente el proceso para identificar posibles riesgos de exposición del personal o la propiedad. El grupo de trabajo enfatiza en factores detectables a través de observación visual tales como: limitaciones de las reacciones químicas, efectos de impurezas, cambios en el proceso, efectividad de los dispositivos de prevención y control de incendios y explosiones, materiales de construcción, procedimientos de operación, etc.

El procedimiento contempla las siguientes etapas:

- Definición de objetivos y alcance
- Selección del grupo de trabajo
- Preparación previa del análisis
- Ejecución del análisis
- Seguimiento
- Registro de resultados.

Definición de objetivos y alcance

Los objetivos y alcance del análisis deben ser explícitos, tanto como sea posible. Algunos ejemplos son:

- Revisar ingeniería básica
- Revisar ingeniería de detalle
- Revisar el plan de arranque
- Revisar la operación normal de una planta
- Revisar operaciones de arranque y paro
- Revisar trabajos de mantenimiento mayor
- Verificar procedimientos de operación.

En ocasiones, dependiendo de la complejidad de proceso es conveniente definir el tipo de riesgos que se pretenden identificar, por ejemplo:

- Al ambiente
- A la salud de los trabajadores
- A la integridad física de los trabajadores
- A las instalaciones y equipo
- A la comunidad
- A la calidad del producto

Los límites físicos de la planta a ser analizada deben definirse y cuando existan interacciones con los vecinos, éstos deben incluirse en el análisis. Deben contemplarse las premisas económicas que prevalecen en el momento del análisis por los posibles efectos en la toma de decisiones.

Los objetivos generales para un análisis son normalmente establecidos por la persona responsable del proyecto o la planta, así como sus alcances.

Selección del grupo de trabajo

Los análisis de riesgos utilizando la metodología ¿qué pasa si...? son normalmente ejecutados por grupos multidisciplinarios, pero bajo ciertas circunstancias y como una aplicación preliminar, puede ser aplicada por disciplinas en forma individual, aunque esto hace que el resultado tenga poca confiabilidad al no identificarse todos los posibles riesgos.

La mezcla de disciplinas puede variar dependiendo del tipo de proyecto o planta, siendo el equipo base el siguiente:

- Mantenimiento
- Producción
- Procesos
- Seguridad e Higiene

En ocasiones se requiere incluir, sobre todo en proyectos, disciplinas tales como:

- Eléctrica
- Instrumentación
- Ingeniería Civil
- Ingeniería en Seguridad
- Higiene Industrial
- Ingeniería Ambiental
- Etc.

Dentro del grupo de trabajo debe de existir una persona que conduzca la revisión, verificando que la metodología sea aplicada apropiadamente. El director de la reunión de trabajo puede ser el responsable del proyecto o la planta o el responsable del área de Seguridad e Higiene.

El director del grupo de trabajo tiene algunas funciones a cubrir durante el análisis:

- Asesorar en la definición de los objetivos y alcance
- Ayudar en la selección del grupo
- Coordinar la recopilación de información previa
- Moderar las discusiones.

Es imperativo que los miembros del grupo de trabajo tengan una actitud positiva y constructiva, dado que los resultados dependerán de su inventiva e imaginación.

Preparación previa del análisis.

El trabajo de preparación dependerá del tamaño y complejidad de la planta o proyecto y consiste en cuatro etapas:

- Obtención de información
- Estructuración de la información
- Planeación de la secuencia del análisis
- Coordinación de la reunión

Información.- Esta normalmente consta de la descripción del proceso, diagramas de flujo, balance de materia y energía, diagramas de tuberías e instrumentación, diagramas de distribución de la instalación (Lay out), Manual de operación. El tipo de información puede variar dependiendo de la etapa del proyecto, en el caso de nuevos diseños.

La información deberá estar actualizada y reflejar fielmente las condiciones reales del diseño.

Estructuración de la información.- Una vez recopilada, se deberá hacer llegar una copia a cada uno de los miembros del grupo de trabajo, con la suficiente anticipación para que la reunión sea ágil y productiva.

Planeación de la secuencia de análisis.- El director del grupo de trabajo deberá establecer una agenda que permita cumplir con el objetivo y los alcances de la reunión. La secuencia normalmente lleva el orden normal del proceso, sin que esto sea limitativo.

Coordinación de la reunión.- El director deberá contemplar la selección del lugar de trabajo, auxiliares para la reunión (rotafolio, proyectores, etc.) y dependiendo del proyecto o condiciones de la planta, deberá contemplar, como parte de la reunión, la visita a las instalaciones.

En esta etapa, la estimación del tiempo de revisión es muy importante y se deberá considerar que una reunión de trabajo no exceda las tres horas, debido a que el cansancio puede llevar a ser improductivo el análisis. Bajo condiciones extremas de presión de tiempo, las sesiones pueden ser programadas en días consecutivos y con sesiones matutina y vespertina, con tiempos de descanso entre sesiones.

En condiciones normales no se deberá programar más de dos sesiones por semana, permitiendo un día de descanso entre sesión y sesión. El inconveniente es que algunos miembros del grupo tienen que viajar y la programación pudiera ser complicada.

Las sesiones de trabajo deben efectuarse en un lugar bien iluminado y ventilado, con instalaciones adecuadas para revisar planos, explicar diagramas y comodidades que permitan un trabajo placentero, libre de ruido y distracciones.

Ejecución del análisis

Una vez explicado el objetivo y alcance de la reunión y la agenda preparada previamente, el director de la sesión de trabajo explica la secuencia de análisis, selecciona una parte del proceso y define la primera etapa a revisar. Consecutivamente se le pide al grupo hacer la pregunta ¿qué pasa si...? a los conceptos que cada especialista considere pertinente.

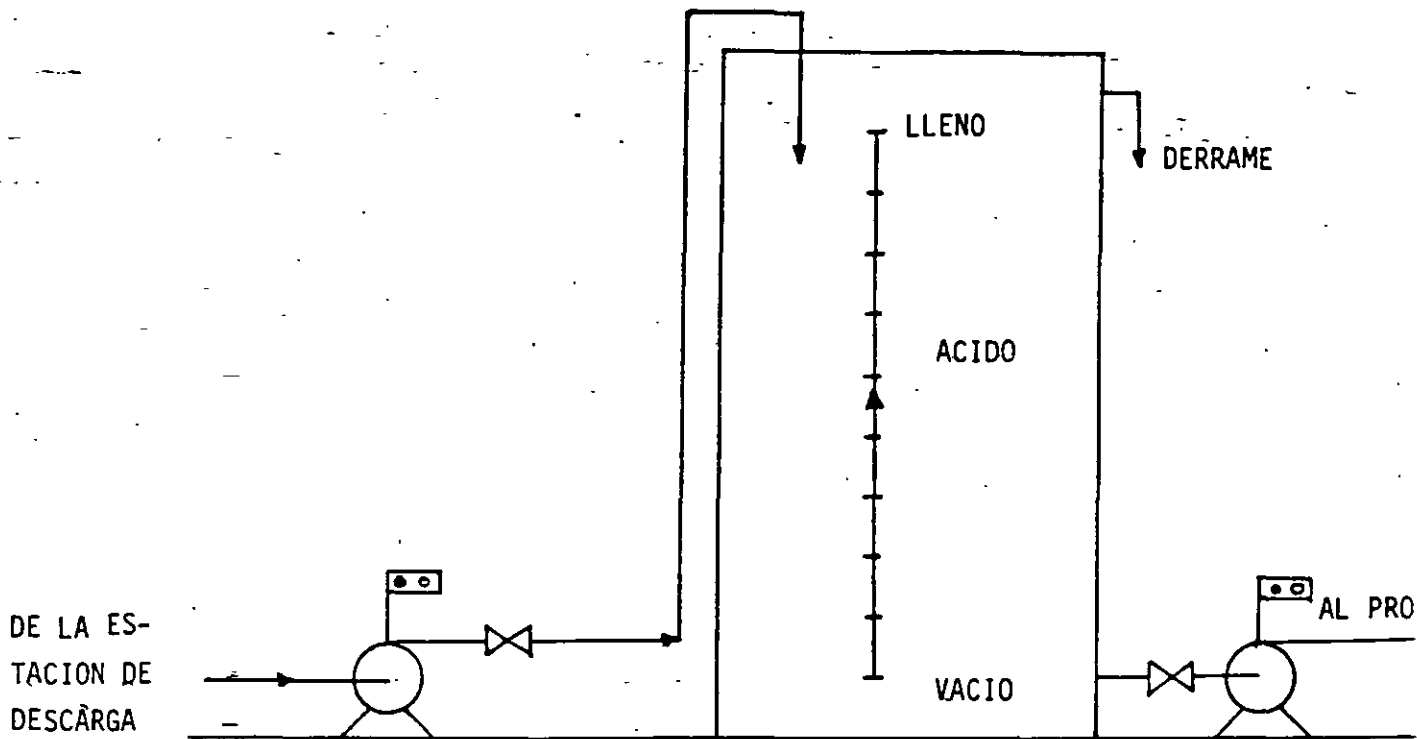
Se da la palabra a uno de los miembros y se solicita que exponga su cuestionamiento, entonces el grupo discute las posibles respuestas y propone soluciones para los riesgos detectados.

Inicio

- (1) Seleccionar una parte del proceso
- (2) Explicar la intención de la parte seleccionada
- (3) Seleccionar una etapa u operación del proceso
- (4) Explicar la intención de la etapa u operación
- (5) Aplicar la pregunta ¿qué pasa si...?
- (6) Dar las respuestas posibles (consecuencias)
- (7) Evaluar si las consecuencias son un riesgo.
- (8) Proponer las acciones para eliminar o reducir el riesgo
- (9) Marcar la etapa u operación analizada
- (10) Repetir 3-9 para todas las etapas u operaciones de la parte del proceso seleccionado
- (11) Repetir 1-10 para todo el proceso

Final

Ejemplo de aplicación



A manera de ejemplificar la aplicación de la metodología tendremos el siguiente caso: el director de la sesión de análisis define el objetivo y alcance de la revisión y entrega un diagrama simple de flujo (figura superior) a cada uno de los miembros del grupo de trabajo, después de una breve explicación del proceso (intención). Se les ha entregado también una copia del manual de procedimientos de operación y la revisión empieza.

¿Qué pasa si...

Respuesta

El operador falla al monitorear el nivel?

*El tanque puede derramarse.

El sello de la bomba fuga?

El operador podría detectar el problema y parar las bombas en la estación local de botones o remotamente.

Existe una fuga en la bomba o en la tubería?

*Los trabajadores del área se pueden poner en contacto con el ácido.

Si una fuga ocurre o si el tanque se sobrellena

La fuga no se podría contener

* Puntos que requieren acción correctiva.

Seguimiento

Normalmente existirán acciones pendientes de evaluar, puntos de desacuerdo por concluir o información que recopilar. Se deberá elaborar una lista de los pendientes, indicando los responsables y fechas compromiso para su ejecución. Transcurrido el tiempo necesario se llevará a cabo una sesión de revisión, en la cual se evaluará el plan de acción propuesto para reducir o eliminar los riesgos identificados.

Las acciones propuestas generalmente son de cuatro tipos:

- Cambios en el proceso (recipientes, materiales, instrumentación, etc.)
- Cambio en los procedimientos de operación.
- Cambios en las condiciones del proceso (temperatura, presión)
- Modificaciones en el diseño físico.

Cuando las acciones han sido definidas, es muy útil separarlas en dos grupos:

- Las que eliminan las causas del riesgo
- Las que reducen sus consecuencias.

Registro de resultados

Una actividad importante del grupo de trabajo es el registro de los resultados del análisis, para lo cual es recomendable integrar un expediente conteniendo:

- Una copia de los diagramas y descripción del o los procesos.
- Una copia de las hojas de registro de las preguntas, respuestas (consecuencias) y acciones propuestas, la cual se muestra a continuación:

Intención: _____

Planta o Proyecto: _____

Etapas u operación: _____

¿Qué pasa si...

CONSECUENCIAS

ACCIONES PROPUESTAS

Programación de los análisis

Esta metodología puede ser aplicada tanto en el diseño de nuevas instalaciones y plantas en operación para hacer revisiones generales. En el desarrollo de tecnología se pueden identificar riesgos potenciales ya que la información de soporte no requiere contener especificaciones a detalle de los equipos ni de las instalaciones.

Investigación

En esta actividad es necesario el desarrollo de experimentación a nivel laboratorio o planta piloto, en los cuales se parte de una serie de hipótesis y conceptos teóricos, lo que genera un cierto nivel de incertidumbre, en relación con los riesgos propios del proceso, por lo que al preguntarnos ¿qué pasa si...? y dar las respuestas correspondientes, podremos identificar gran parte de los riesgos.

El registro de la información del análisis será de gran utilidad en el complemento de la tecnología una vez desarrollada.

Proyectos

Esta metodología puede ser aplicada en las inspecciones a cada una de las etapas de la vida de un proyecto, en base a lo establecido en el Procedimiento PTI-26, ya que permite la revisión general del proyecto en forma sistemática.

Plantas en operación

En localidades que no manejen materiales altamente peligrosos y que los posibles riesgos a la comunidad y al ambiente se consideren menores, la aplicación de ¿qué pasa si...? es la indicada y en las localidades, con alto nivel de riesgo, se puede aplicar periódicamente como complemento al análisis básico a través de HAZOP.



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

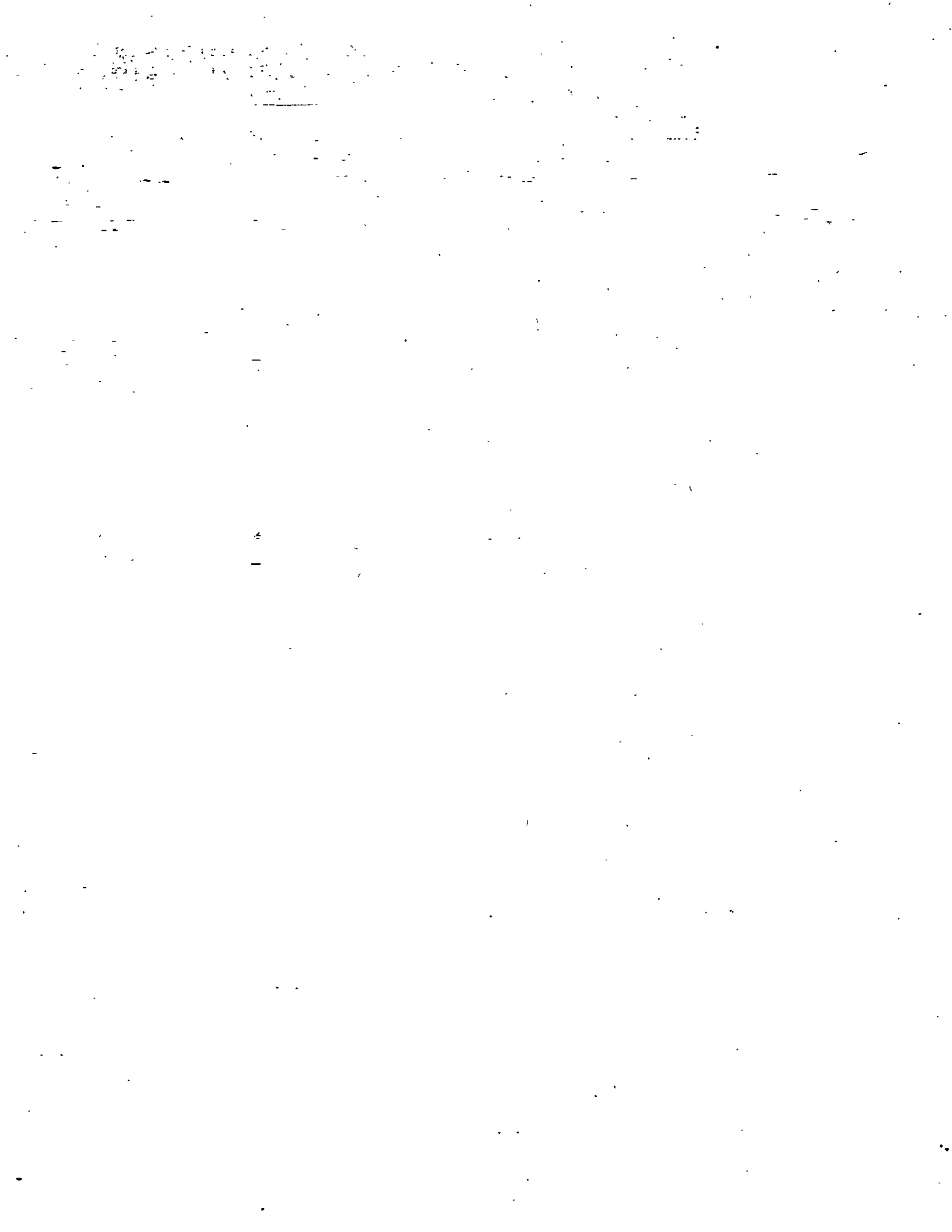
DIPLOMADO EN RIESGO AMBIENTAL

**MODULO III: METODOS Y ANALISIS DE RIESGO
(CUALITATIVO Y CUANTITATIVO)**

TEMA: 4. ARBOL LOGICO (FALLAS Y EVENTOS)

EXPOSITOR: ING. MARIO MARTINEZ MARTINEZ

1997



Arbol de Fallas

El Arbol de Fallas (AF) es un método analítico mediante el cual se calcula la probabilidad de ocurrencia de un determinado evento, denominado Evento Tope (ET), a partir de un árbol lógico que describe la combinación de eventos (llamados eventos precursores) que pueden dar como resultado el evento tope; se identifican eventos precursores hasta encontrar eventos a los cuales sea posible asignar una probabilidad de ocurrencia (por experiencia, tablas de datos de falla, etc.), cuando se tiene el árbol lógico que describe la secuencia de fallo y la probabilidad de ocurrencia de los eventos primarios, se puede calcular la probabilidad de ocurrencia del evento tope.

En resumen, la metodología involucrada en un análisis por Arbol de Fallas es la siguiente:

1. Especificar el evento tope de interés.
2. Estimar la magnitud (potencial) de dicho evento.
3. Tomando en cuenta el sistema de proceso, y el medio ambiente, se identifican los eventos precursores.
4. Se continúa identificando eventos precursores, hasta que tienen eventos primarios.
5. Se asigna una probabilidad a los eventos primarios y usando el algebra de probabilidades, se calcula la probabilidad del evento tope.

El Arbol de Fallas además de servir para determinar la probabilidad de un evento tope, es una herramienta que ayuda a apreciar las contribuciones relativas de cada una de las trayectorias involucradas. También puede ser útil como modelo para evaluar el efecto de los cambios que se realicen en un proceso.

1.1 Identificación y Selección del evento tope

La selección del evento tope, se hace como resultado de un estudio previo de riesgos potenciales del proceso (por ejemplo, Hazop, What if?, etc) ya que estos análisis nos ayudarán a detectar riesgos.


1.2 Propiedades lógicas del Arbol de Fallas


El Arbol de Fallas es una representación gráfica de la lógica que describe la información real del proceso (en este caso la propagación de fallas).

Los bloques de construcción básicos del Arbol de Fallas consisten en interconexiones lógicas de la secuencia de eventos, conocidos como puertos lógicos; estos puertos lógicos, definen las condiciones de entrada que se deben tener, para que se propague una secuencia de falla por el árbol, hasta el evento tope en el nodo superior. Existen dos puertos lógicos básicos, aunque bajo ciertas circunstancias se pueden definir algunos más. Los puertos básicos son el "y" y el "o". Cuando se tiene un puerto "y" significa que se tendrá la salida (D), solamente si se presentan simultáneamente todos los eventos o condiciones de

entrada (A, B y C ver tabla), si se tiene un puerto "o" se tendrá una condición de salida (D), si al menos una de las condiciones o eventos de entrada (A, o B, o C) se da.

Tablas de verdad de los puertos lógicos "y" y "o".

	<table border="0"> <tr><td>A</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>B</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>C</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>D</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </table>	A	1	1	1	1	0	0	0	0	B	1	1	0	0	1	1	0	0	C	1	0	1	0	1	0	1	0	D	1	0	0	0	0	0	0	0
A	1	1	1	1	0	0	0	0																													
B	1	1	0	0	1	1	0	0																													
C	1	0	1	0	1	0	1	0																													
D	1	0	0	0	0	0	0	0																													

	<table border="0"> <tr><td>A</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>B</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>C</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>D</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	A	1	1	1	1	0	0	0	0	B	1	1	0	0	1	1	0	0	C	1	0	1	0	1	0	1	0	D	1	1	1	1	1	1	1	0
A	1	1	1	1	0	0	0	0																													
B	1	1	0	0	1	1	0	0																													
C	1	0	1	0	1	0	1	0																													
D	1	1	1	1	1	1	1	0																													

1.3 Construcción del Arbol de Fallas

La construcción de Arboles de Fallas, pueden ser una tarea muy laborio y compleja, que consume mucho tiempo, sobre todo cuando se tienen procesos muy grandes y complejos, pero aún en sistemas que parecen simple los árboles que representan dicho sistema, pueden no serlo tanto y pueden llegar a estar formados por muchos niveles y dar lugar a cientos de eventos primarios; esto dependiendo de la calidad de los datos Fall disponibles o del grado de profundidad que el usuario requiere. por esto que se han hecho esfuerzos por parte de investigadores para contar con métodos computarizados, los cuales cuentan con bases de datos para hacer este trabajo, pero estos paquetes computarizados tienen alto cos

Si se requiere un análisis de este tipo y no se cuenta con un paquete de computadora, se puede realizar manualmente y existe la posibilidad de simplificar un Arbol de Fallas, convirtiendo éste en sub-árboles, los cuales pueden tener como nodo tope alguna de las variables de proceso (temperatura, presión, concentración, etc.), las cuales conducirán al evento tope.

1.3.1 Construcción de cortes

Cuando se tienen Arboles de Fallas complejos, en ocasiones es difícil seguir las ramificaciones por inspección visual, una manera de simplificar el árbol, es convertirlo a la forma de cortes mínimos, esto consiste en convertir el árbol a árboles de dos niveles, formados por un puerto "o" alimentado por una serie de puertos "y".

Una vez que se han determinado grupos de eventos primarios, que pueden dar como resultado el evento tope, éstos se pueden reducir a grupos de eventos que son suficientes para causar el evento tope, una vez que se ha hecho esto la probabilidad del evento tope será la suma de la probabilidad de los cortes.

Al realizar un análisis de riesgos por medio de Arbol de Fallas se hacen algunas suposiciones, las cuales se resumen a continuación:

- 1) La representación por medio de un conjunto de cortes mínimos (obtenidos mediante Algebra Booleana) describe adecuadamente el sistema.
- 2) Los eventos primarios contenidos en los cortes son estadísticamente independientes.
- 3) El sistema pasa de un estado de operación normal, a un estado de fallo instantáneamente.
- 4) La reparación de un equipo, que falla en un evento primario, es estadísticamente independiente de la reparación de todos los demás equipos que fallan en otros eventos primarios.
- 5) La vida útil del equipo no se incrementó por medio de una reparación.

1.3.2 Eliminación de causas de falla comunes

Como se vió anteriormente, el análisis por Arbol de Fallas asume que todos los eventos son independientes, pero en la práctica no siempre se tiene este caso. Por ejemplo: para un evento de "pérdida de flujo" se puede tener un puerto "y" que diga: "paro de la bomba que se encuentra en uso" y "fallo en el arranque de la bomba que se encuentra en "stand-by" y se requiere de ambos para que no exista flujo; sin embargo, si ambas bombas tienen el mismo suministro eléctrico, la sola pérdida del suministro es suficiente para que se presente el evento final.

Es importante al realizar el análisis, que éste se lleve a cabo con la suficiente profundidad para asegurar que estos modos de falla puedan ser detectados.

1.4 Estimación de probabilidades

Una vez que se ha construido el árbol y detectado los eventos primarios, es necesario asignar probabilidades a éstos para conocer la probabilidad del evento tope.

Se han desarrollado recientemente técnicas matemáticas muy sofisticadas para estimar probabilidades; pero los datos disponibles en las plantas de proceso, no justifican su uso y por esta razón se utilizan conceptos de probabilidad simples.

Partiendo de la probabilidad de eventos primarios, se puede calcular la probabilidad de los siguientes eventos a través de los puertos "y" y "o".

1.4.1 Cálculo de probabilidad a través de los puertos lógicos

Dados dos eventos X e Y con probabilidad P(X) y P(Y) respectivamente, que conducen a un evento Z, con probabilidad P(z) se tiene que:

Para un puerto "y"

$$P(z) = P(X) P(Y)$$

y para un puerto "o"

$$P(z) = P(X) + P(Y) - P(X) P(Y)$$

1.4.2 Datos de falla de equipos

Antes de empezar la etapa de cuantificación, se debe contar con una base de datos adecuada para el sistema en particular, el lugar más obvio para obtener los datos es la planta ya que la frecuencia de fallos de muchos equipos se puede obtener de los registros de mantenimiento o con el encargado de esta área, o los supervisores operativos; pero a menudo los registros de mantenimiento son pobres o si se trata de una planta nueva no existirán, si existe una planta similar en operación los registros de ésta se pueden usar como fuente de datos, pero se debe tener cuidado al utilizar estos datos ya que aún siendo plantas iguales y equipos a-les, su probabilidad de fallo está determinada por el t mantenimiento, condiciones climáticas, etc.

Si no se cuenta tampoco con datos de este tipo, como último recurso se pueden utilizar datos genéricos de falla de equipo (ver Artículo: "Some data on the reliability of instruments in the Chemical Plant Environment" por S.N. Anyakora, G.F.M. Engel y F.P. Lees (Anexo).

1.4.3 Probabilidades a partir de tasa de falla

Es importante notar que algunos datos se obtienen en forma de probabilidades mientras que otros en forma de razón de fallo. Por ejemplo: la probabilidad de que un operador falle al realizar una operación puede ser 0.01; mientras que el índice de falla de una válvula de relevo (válvula bloqueada) estará dado como 0.5 veces en 10^6 horas de operación. Para convertir esta razón de fallo a una probabilidad se hacen las siguientes suposiciones:

1. La tasa de fallo es constante.
2. Como las fallas no serán detectadas normalmente, se asume que se harán pruebas regularmente a intervalos no mayores de $1/10$ del tiempo de falla (si la tasa de fallo es λ , el tiempo de fallo es λ^{-1}).
3. Se asume que si se detecta que el equipo ha f... éste será reparado y puesto en sus condiciones de operación originales.

Bajo estas circunstancias si el intervalo de tiempo entre pruebas es T , el tiempo promedio que el equipo estará fuera de operación es $T/2$ más el tiempo requerido para la reparación (t).

Así el tiempo global que el sistema no estará disponible será τ ($\tau = T/2 + t$); y la probabilidad que dicho sistema no se encuentre en disposición de actuar se puede calcular por una expresión que se reduce a:

$$P = \lambda t$$

donde P = probabilidad
 λ = razón de fallo
 t = tiempo en que no se cuenta con el equipo o sistema

Esta expresión es válida si P es mucho menor que 0.1, lo cual es generalmente el caso. El valor P obtenido se conoce como fracción de tiempo fuera de operación (fractional down time o fractional dead time) y se entiende como la probabilidad de que el equipo o sistema no opere cuando se requiere.

Por ejemplo, si se tiene una válvula de relevo con razón de fallo $\lambda = 0.5$ en 10^6 horas
 $\lambda = 0.5$ en 10^6 horas = 4×10^{-3} veces/año (8000 hr. de operación/año)

Si el intervalo de prueba es 1 año (T) y la prueba se realiza con el equipo en paro, entonces:

$$\tau = T/2 + t = 1/2 + 0 = 0.5$$

$$P = \lambda \tau = 4 \times 10^{-3} \text{ veces/año} \times 0.5 \text{ años} = 2 \times 10^{-3}$$

El procedimiento antes descrito sólo será necesario bajo las siguientes circunstancias:

- 1) Si se tiene un puerto "y" y los eventos de entrada están expresados como frecuencia, se requerirá convertir, preferentemente, todos excepto uno a probabilidad. Es factible que todos sean expresados como probabilidad, pero es poco recomendable para fines prácticos.
- 2) Si se tiene un puerto "o" y los eventos de entrada están expresados en probabilidades y frecuencias será necesario que todos aquéllos expresados como frecuencia sean expresados como probabilidad.

1.4.4. Fallo humano

Cuando se requiere, que en una secuencia de operaciones una persona realice alguna de ellas; por ejemplo: que al oír una alarma cierre una determinada válvula, no se puede decir que "el operador siempre lo hará" o que "nunca lo hará", en estas circunstancias es necesario preguntarse ¿Con qué frecuencia

el operador cerrará la válvula correcta en el tiempo requerido? La respuesta a esta pregunta dependerá de muchos factores, pero principalmente del grado de tensión y de concentración (suponiendo que sabe, puede y quiere realizar la operación).

Para realizar un juicio, a continuación se presentan algunas sugerencias:

Tasa = 1 en 1 (i.e. una falla por demanda): esto se tiene cuando se requiere una acción rápida y compleja para evitar un incidente serio.

Tasa = 1 en 10: en cuartos de control con mucho movimiento, donde haya otras alarmas sonando, suene un teléfono, la gente está pidiendo permisos de trabajo y cosas por el estilo.

Tasa = 1 en 100: en un cuarto de control tranquilo; si el operador se encuentra presente.

Tasa = 1 en 1000: si la válvula a cerrar se encuentra inmediatamente junto a la alarma.

Cuando se lleva a cabo una rutina familiar, como el arranque de un reactor "batch" la tasa de fallo típica será de 1 en 1000 por cada operación (ej. "cierre válvula").

Por último recuerde que no todas las operaciones pueden describirse. En algunas ocasiones el operador tendrá que decidirse por una acción, dependiendo de las señales que percibe, y puede que la decisión no sea adecuada, particularmente si la lectura de los instrumentos no es correcta (error sistemático).

1.5 Evaluación del Arbol de Fallas

Una vez que se ha construido el árbol, éste se evalúa con el fin de establecer la importancia de las diferentes trayectorias. En algunos casos simples esto se puede hacer por inspección y en casos más complejos evaluando las probabilidades de los cortes.

El efecto de cambios en el diseño, tales como cambios de instrumentación, se puede evaluar, para determinar el efecto global de dichos cambios; de esta manera el diseño puede modificarse para obtener una menor probabilidad de falla.

1.6 Cuándo usar Arbol de Fallas

Arbol de Fallas, es una herramienta útil para realizar análisis de riesgos, ya que como es un método que, hace uso de una representación gráfica por medio de diagramas lógicos, da una visión de las trayectorias o secuencias de fallo; también es útil para descubrir los puntos débiles del diseño, comparar alternativas de medidas de seguridad y elegir

una estrategia óptima de mantenimiento. Tal vez resulte sorprendente que el uso de esta herramienta no se haya generalizado, pero existen algunas razones para ello:

- 1) El Arbol de Fallas es difícil de construir para sistemas grandes y complejos.
- 2) Los resultados que se obtengan serán tan buenos, como los datos con que se cuente.
- 3) Es un análisis dual. No toma en cuenta fallos parciales.
- 4) La tasa de falla humana es difícil de predecir, ya que varía de persona a persona y, tal vez, de un día a otro.
- 5) Cuando se usan datos de falla de equipos tabulados en manuales, éstos pueden no tomar en cuenta las condiciones específicas del proceso (temperaturas, presión, corrosividad, etc.).
- 6) Los cambios en el diseño de equipo (cambio de proveedores) no necesariamente son para mejorar y no siempre se tiene aviso de ellos.
- 7) Se requiere una revisión detallada de las instrucciones de operación y de los procedimientos de mantenimiento.
- 8) Consume mucho tiempo y es difícil de actualizar.
- 9) Para sistemas grandes y complejos puede requerirse de algún método computacional y éstos son muy caros.
- 10) Pueden pasarse por alto algunas trayectorias de fallo críticas.
- 11) El personal que lo aplique requiere de una capacitación formal.

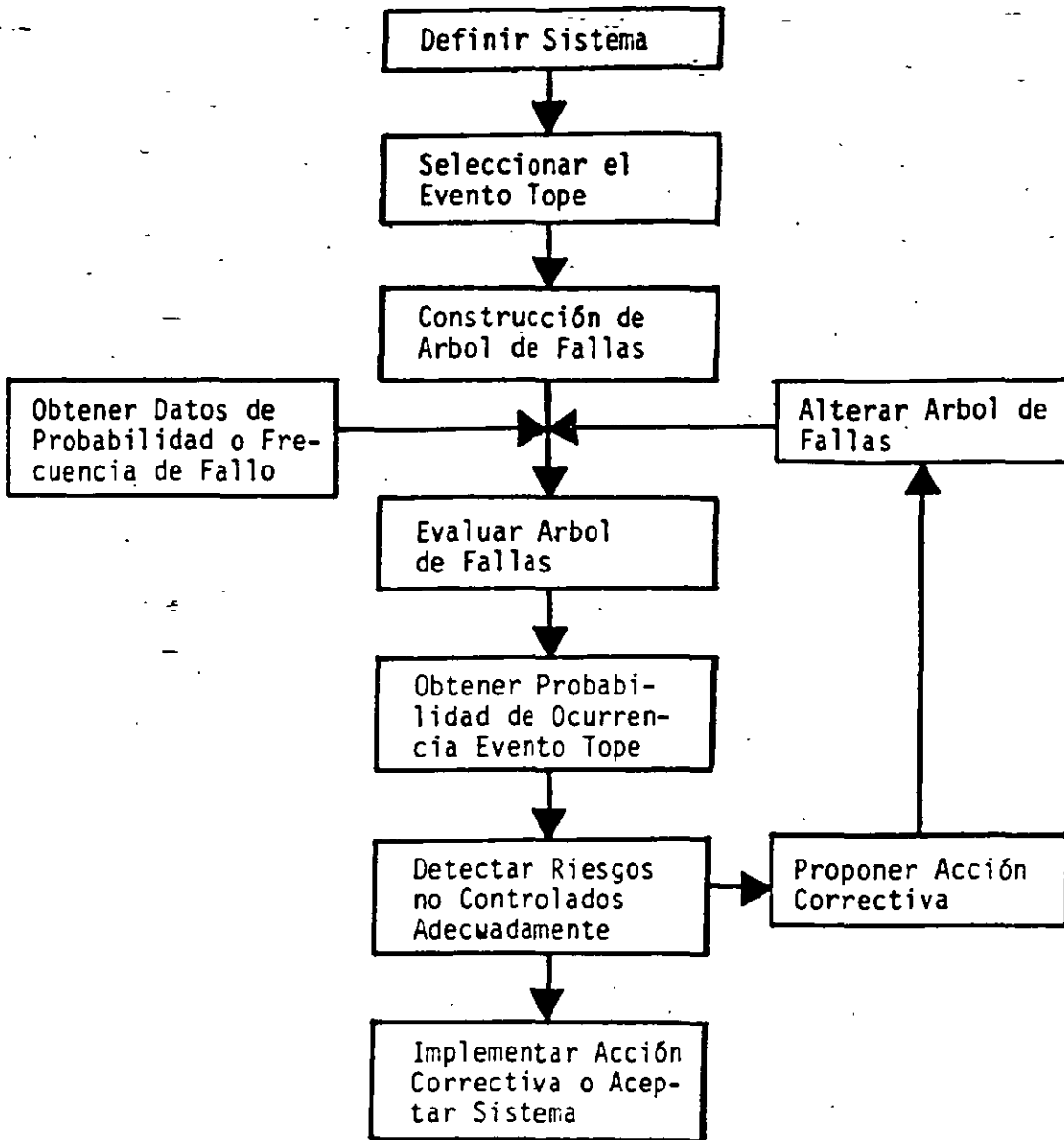
1.7 Ejemplo

Se instala un tanque entre dos unidades de operación, la alimentación, (proveniente de la unidad corriente arriba) entra al tanque y es bombeada a través de una válvula de control actuada por la unidad "corriente abajo". Se ha instalado una alarma de paro en el motor de la bomba y un switch de alto nivel con alarma localizado por abajo del nivel de derrame del tanque.

El proceso es continuo y se ilustra en la Fig. 1; se requiere la frecuencia con que derramará el tanque, y éste será el evento tope.

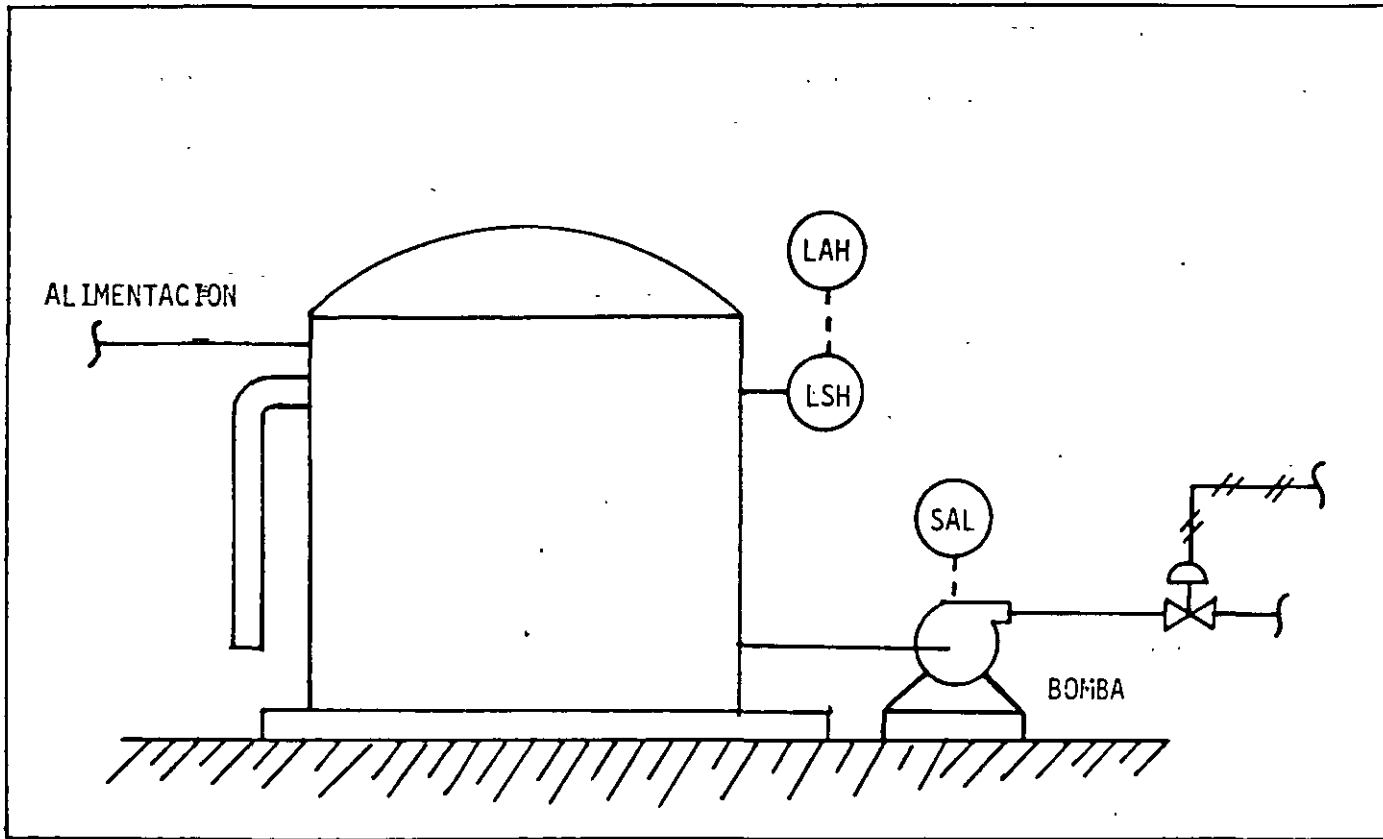
El árbol de fallas que muestra algunos de los eventos que pueden dar como resultado el derrame del tanque se muestra en la figura 2, nótese que éste es un ejemplo sencillo, para mayor claridad y en el que no todos los eventos primarios han sido evaluados (se puede construir otra trayectoria para "alto flujo de alimentación" por ejemplo).

SECUENCIA DE EVENTOS EN UN ANALISIS DE ARBOL DE FALLAS



En este árbol se ha tomado el evento "falla en la alarma del motor" como primario, pero se pudo haber desarrollado hasta eventos primarios tales como: fallas en: conexiones, relevadores, etc.

Fig. 1 DIAGRAMA DE PROCESO E INSTRUMENTACION



SIMBOLOS DE EVENTOS Y LOGICA DEL ARBOL DE FALLAS


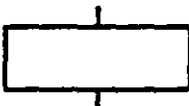

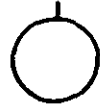
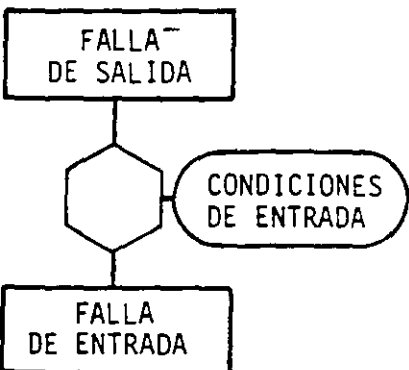
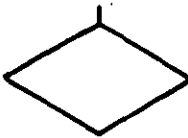
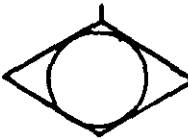
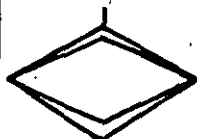
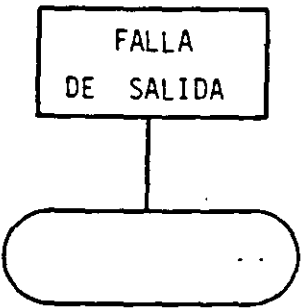

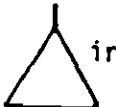

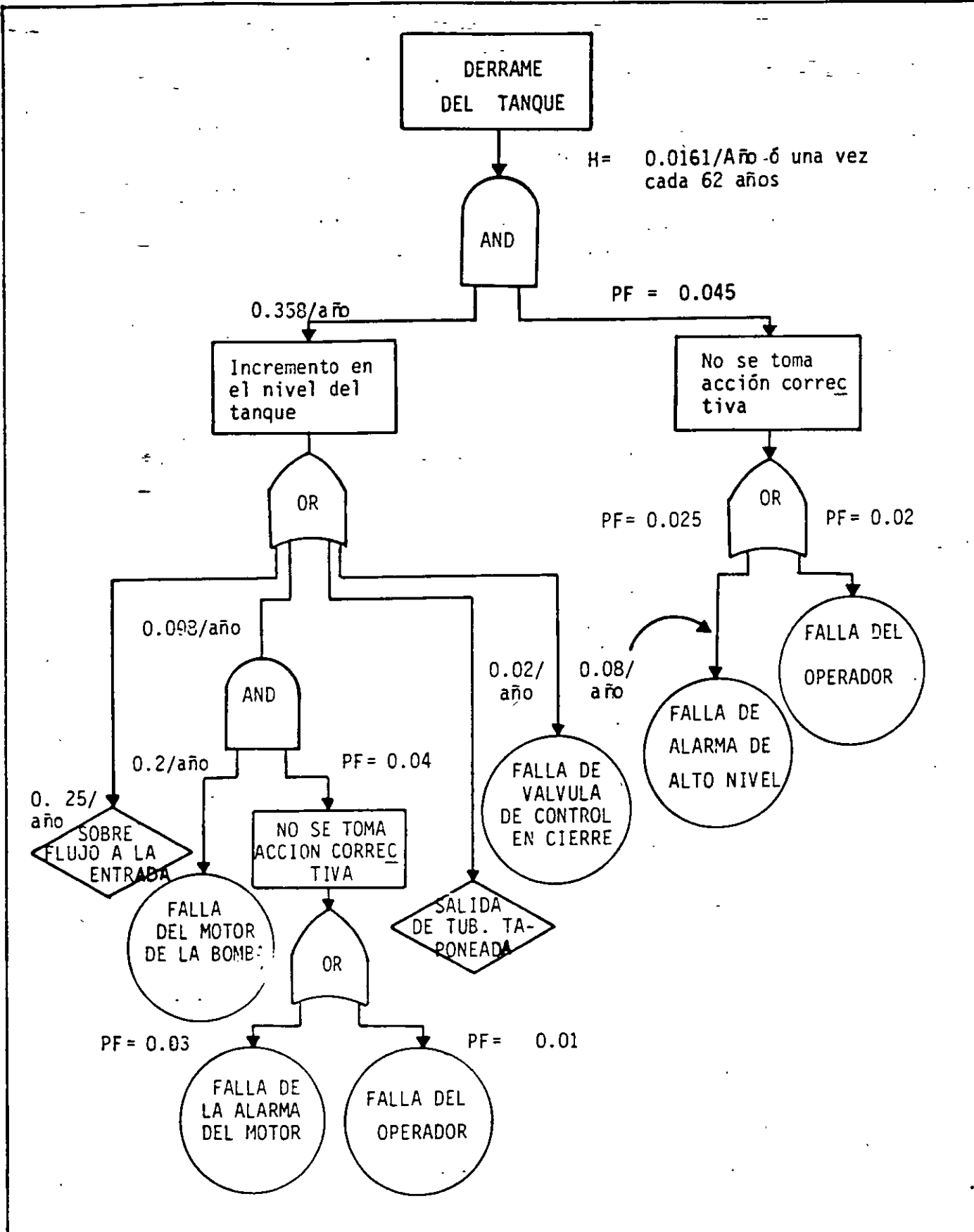
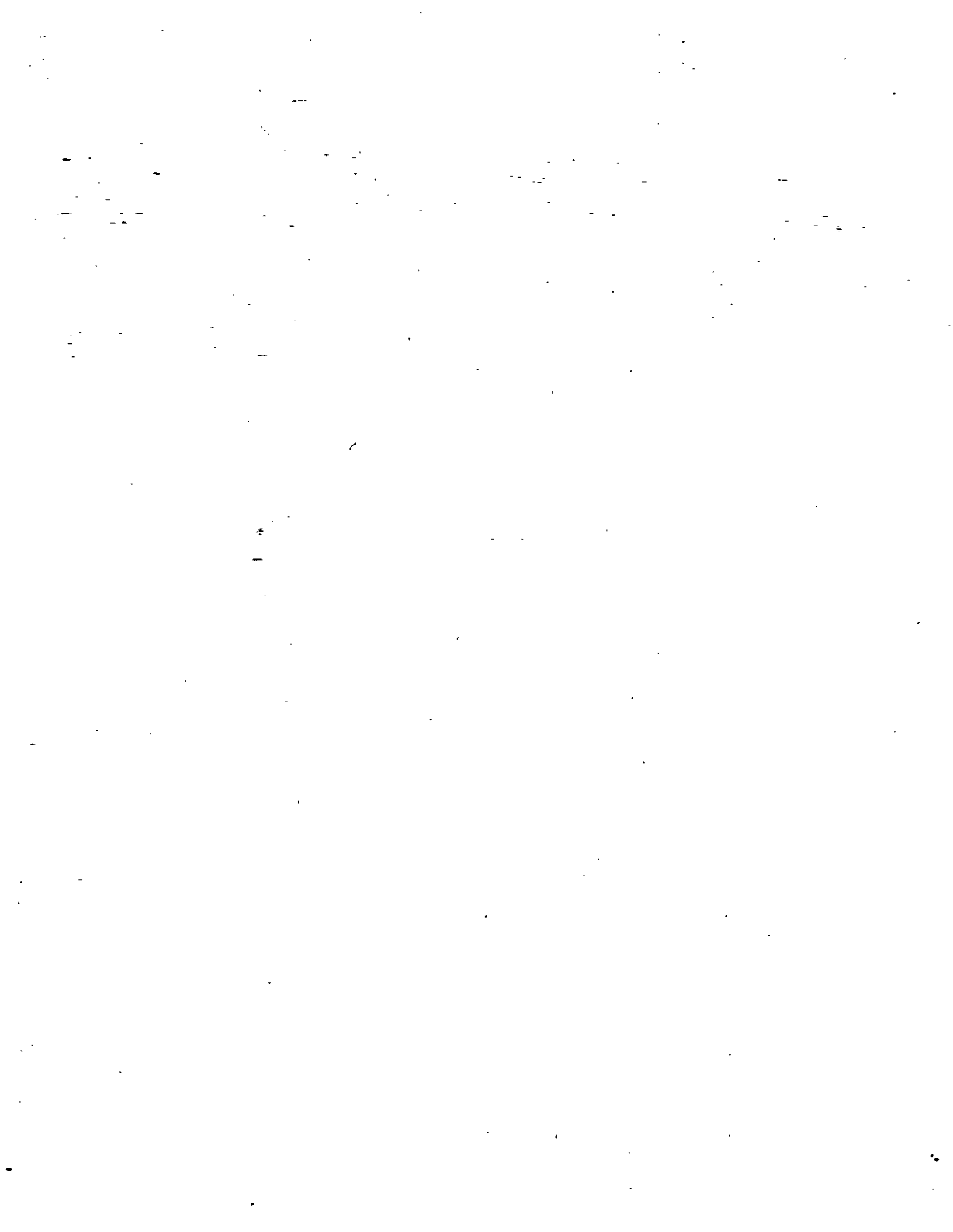
SIMBOLOS LOGICOS	SIMBOLOS DE EVENTOS
 <p style="text-align: center;">Puerto "And" Existe salida solo si existen todas las entradas</p>	 <p style="text-align: center;">Rectangulo: Evento de falla usualmente resultante de eventos de fallas básicas</p>
 <p style="text-align: center;">Puerto "Or" Existe salida si existe alguna de las entradas</p>	 <p style="text-align: center;">Circulo: Falla primaria</p>
 <p style="text-align: center;">Puerto de Inhibición salida es igual a la entrada si se satisface la condición de entrada.</p>	 <p style="text-align: center;">Diamante: Evento de falla no desarrolla hasta sus causas</p>
 <p style="text-align: center;">Circulo dentro de Diamante: Evento de falla desarrollado en otro árbol de falla y aquí incluido como si fuese primario</p>	 <p style="text-align: center;">Diamante dentro de Diamante: Evento de falla que requiere desarrollarse en lo futuro con el fin de completar el árbol.</p>
 <p style="text-align: center;">Puerto de retraso Existe salida después de transcurrido el tiempo de retraso</p>	 <p style="text-align: center;">Casa: Evento que se espera normalmente que ocurra.</p>
 <p style="text-align: center;">Triangulo: Transferir hacia dentro</p>	 <p style="text-align: center;">Transferir hacia fuera</p>

Fig. 2 EJEMPLO DE ARBOL DE FALLAS







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

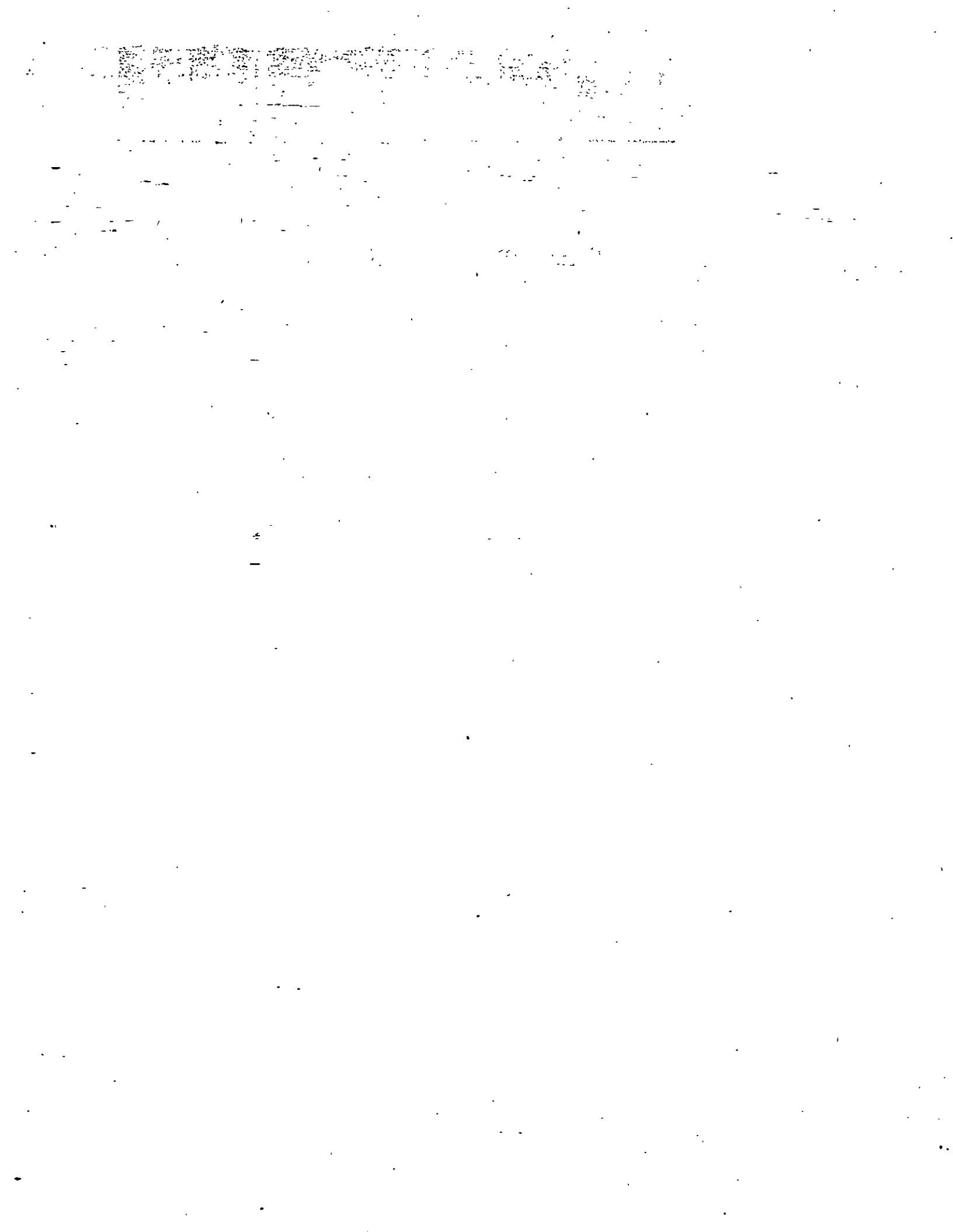
DIPLOMADO EN RIESGO AMBIENTAL

**MODULO III: METODOS Y ANALISIS DE RIESGO
(CUALITATIVO Y CUANTITATIVO)**

TEMA: 5. EVALUACION HAZOP

EXPOSITOR: ING. JORGE BERMUDEZ MENDIZABAL

1997



RECONOCIMIENTO DE LA VULNERABILIDAD DE LA INSTALACION

CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES (MATERIAS PRIMAS, PRODUCTOS SUBPRODUCTOS).

- * - Inflamabilidad (Flash Point, Rango de Explosividad, etc.).
- * Toxicidad (TLV, IDLH, etc.).
- * Reactividad (Temperatura de Descomposición, Incompatibilidad, etc.).
- * Punto de Ebullición.
- * Presión de Vapor, Punto de Fusión, Capacidad Calorífica, etc.

TECNOLOGIA UTILIZADA

- * Cinética de la Reacción.
- * - Subproductos.
- * Condiciones del Proceso (Temperatura, Presión, etc.).
- * Sistemas de Control del Proceso (Instrumentación, Accesorios, etc.).
- * Diagramas de Flujo.
- * Balance de Materia y Energía, etc.

UBICACION, SITUACION GEOGRAFICA DE LA LOCALIZACION DE LAS INSTALACIONES

- * Distribución de las instalaciones.
- * Instalaciones industriales vecinas.
- * Asentamientos humanos.
- * Areas ecologicas.
- * Servicios públicos (luz, agua, drenajes, etc.).

RECURSOS HUMANOS.

- * Poblacion laboral.
- * Nivel técnico de operadores.
- * Nivel cultural de los operadores.
- * Salud de los operadores.
- * Etc.

EVALUACION Y SELECCION DE LA METODOLOGIA DE ANALISIS

I) Métodos basados en la experiencia:

- Investigación de accidentes/incidentes. Identificación de las causas básicas (origen - factores personales y factores de trabajo) e inmediatas (síntomas: actos o condiciones subestándares) de eventos ocurridos que hayan generado pérdidas o no. Y establecimiento de las medidas de control para evitar su reincidencia.
- Publicaciones de seguridad. Evaluación de las acciones tomadas en eventos o instalaciones similares, ocurridas en el pasado y su adaptación a nuestra planta para evitar su reincidencia.
- Listas de verificación. Identificación de desviaciones del "es contra el debiera" empleando códigos y estándares normalmente aceptados.
- Qué pasa si....? Identificación de eventos de riesgo, sus causas y consecuencias y establecimiento de las medidas de control, mediante la aplicación sistemática - etapa por etapa del proceso, de la palabra ¿ Qué pasa si....? por un equipo multidisciplinario.

II) Métodos creativos.

- Tormenta de ideas. Aplicación de la técnica de dinámica de grupos a fin de identificar el mayor número posible de alternativas para que se genere un riesgo particular.
- Hazop. Identificación de eventos de riesgo, sus causas, consecuencias y medidas de control; mediante la aplicación sistemática de palabras clave, línea por línea, equipo por equipo, por un grupo multidisciplinario.

III) Métodos analíticos

- Arbol de fallas. Metodología deductiva, que parte de lo general a lo particular, identificando la combinación lógica de fallas que pueden dar lugar a un evento de riesgo.
- Arbol de eventos. Método inductivo, que parte de lo particular a lo general, identificando la combinación lógica de fallas consecuentes, iniciando en eventos primarios hasta identificar el evento de máximo riesgo.

EJERCICIO DE ANALISIS DE RIESGOS

I) Definición de los objetivos y alcance.

- Los objetivos generales son normalmente establecidos por la persona responsable de proyecto o de la planta (Gerente de Proyectos, Ingeniero de proyectos, Gerente de planta).

II) Selección del grupo de trabajo.

- Dependiendo de la metodología, este puede variar en número y características, pero básicamente estará integrado por personal técnico y de soporte.

III) Preparación previa.

- Este concepto se refiere a contar con la información básica previa (descripción del proceso, diagramas de ingeniería, etc.) y la coordinación de las sesiones de trabajos.

IV) Ejecución del análisis.

- Es la aplicación de la metodología seleccionada.

V) Seguimiento.

- Es la verificación de que el proceso de análisis esta siendo aplicado en las fases previstas.

VI) Registro de resultados.

- Consiste básicamente en la edición de la información producto del análisis.

EVALUACION DE LAS CONSECUENCIAS

Aplicación de metodologías cuantitativas para determinar el impacto al personal, instalaciones, comunidad y medio ambiente, por el desencadenamiento del riesgo identificado.

I) Arbol de fallas y eventos.

II) Indices Dow y Mond.

Evaluaciones de magnitud de eventos por fuego, explosión y toxicidad, considerando penalizaciones o puntos a favor por el grado de tecnología del proceso, instalaciones y administración de la empresa.

III) Método TNT.

Determinación del grado de destrucción, por ondas de presión generadas por explosiones tomando como referencia el TNT.

IV) Dispersión.

Aplicación de metodologías numéricas (simulaciones) para determinar el impacto por incendios, explosiones y fugas.

**DECISION SOBRE
MEDIDAS
PREVENTIVAS/
CORRECTIVAS**

Tratamiento administrativo y técnico a los riesgos identificados.

I) Eliminación.

- Esta debe ser considerada como la primera opción y normalmente implicará la sustitución o modificación de la tecnología.

II) Reducción.

- Si los riesgos no pueden ser eliminados, por ser técnicamente incosteable, la reducción de los mismos será la siguiente opción a través de la aplicación de estándares, códigos o medidas creativas propuestas por grupos multidisciplinarios altamente calificados.

III) Transferencia.

- Aún cuando los riesgos hayan sido reducidos, algunos sera necesario transferir. Esto se logra a través de compañías de seguros, lo que permite "financiar" las probables pérdidas.

IV) Aceptación.

- Si un riesgo "no es posible" eliminar, reducir o transferir, la última opción será su aceptación, la cual debe quedar perfectamente documentada y siempre y cuando exista un verdadero "compromiso" de su aceptación por parte de la alta gerencia.

EJECUCION DE LOS PLANES DE ACCION

Programas

El aspecto más importante en el análisis de riesgos es poner en práctica las acciones que eliminen o reduzcan los eventos detectados y algunas de ellas implicará modificación a procedimientos de operación, programas de mantenimiento preventivo etc., las cuales no involucran inversiones de capital y normalmente se manejarán como gastos de operación.

Proyectos de inversión

Algunas acciones representarán cambios importantes en la tecnología, modificaciones mayores a las instalaciones, etc., que requerirán de inversiones que deben ser administradas a través de un proyecto.

Proyectos de desarrollo tecnológico

Cuando por razones de sus riesgos, es necesario sustituir una tecnología, una alternativa para la ejecución y financiamiento es a través de un PDT.

REEVALUACION DEL NIVEL DE RIESGO OBTENIDO

Para que el trabajo realizado en análisis de riesgos no pierda sus logros, siempre será necesario mantener el nivel de riesgo alcanzado (positivamente: el nivel de seguridad), lo cual requerirá la actualización continua de la información resultante mediante la consideración de cualquier modificación o adición a las instalaciones y tecnología.

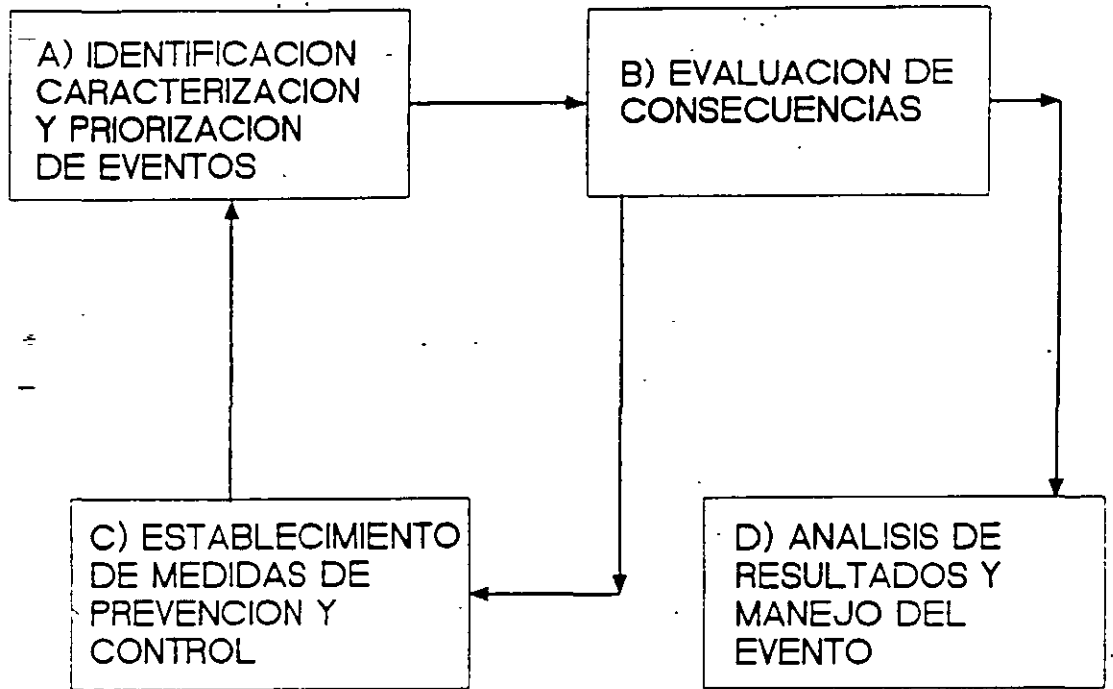
La industria Química es una rama caracterizada por su continua evolución, lo cual puede en un momento dado afectar el nivel de seguridad en forma positiva o negativa y debemos contar con sistemas de monitoreo sensibles a los cambios.

REEVALUACION DEL NIVEL DE RIESGO OBTENIDO

Para que el trabajo realizado en análisis de riesgos no pierda sus logros, siempre es necesario mantener el nivel de riesgo alcanzado (positivamente: el nivel de seguridad), lo cual requerirá la actualización continua de la información resultante mediante la consideración de cualquier modificación o adición a las instalaciones y tecnología.

La industria Química es una rama caracterizada por su continua evolución, lo cual puede en un momento dado afectar el nivel de seguridad en forma positiva o negativa y debemos contar con sistemas de monitoreo sensibles a los cambios.

ESQUEMA GENERAL DE ANALISIS DE RIESGOS.



Donde cada etapa queda definida como:

A) Identificación de eventos

Este rubro se analiza mediante un equipo multidisciplinario de profesionista que participa en la operación de la planta (procesos, seguridad, proyectos, operación), analizando la información siguiente:

- Descripción del proceso.
- Diagramas de flujo del proceso.
- Diagramas de tubería e instrumentación del proceso.
- Plano de localización general (Layout)
- Diagramas del equipo del proceso.
- Integridad física de las instalaciones.
- Volúmenes de materiales peligrosos.
- Procedimientos de operación, seguridad y mantenimiento.
- Accidentabilidad de la planta.

Con el objetivo de identificar los posibles puntos de falla que puedan generar eventos peligrosos (casos creíbles hipotéticos), mediante alguna metodología conocida. ejem:

- ¿Qué pasa si...?
- Listas de verificación.
- HAZOP (Riesgos en la operación)
- Modos de falla y efecto.
- Arbol de eventos y fallas.

Caracterización de eventos.

Las actividades de este rubro se centran en la generación y/o recopilación de la información necesaria que permita establecer el tipo de evento (fuga, derrame y/o ambas) así como sus características de acuerdo a las condiciones del proceso (P, T, V, G, etc.), considerándose como referencia los siguientes escenarios:

- 1) Emisiones de materiales tóxicos que puedan alcanzar concentraciones a nivel de piso superiores al valor del "IDLH" respectivo.
- 2) Incendios con un nivel de radiación superiores a 5 KW/m^2 , por varios segundos.
- 3) Explosiones de gases o vapores que generen ondas de presión superiores a 0.5 ps (3 Kpa).

Priorización de eventos.

Este rubro es virtualmente selectivo de los eventos a analizarse mediante un modelo de dispersión, esta actividad se efectúa considerando una serie de parámetros físico-químicos, operativos y de impacto, a saber:

- A) Físico-químicos. Peligrosidad del material: toxicidad, inflamabilidad, reactividad, etc.
- B) Operativos. Presión, temperatura, tasa de emisión, tiempo de control, et

- C) Impacto. Muertes, afectación a la comunidad, contaminación, destrucción de planta, lesiones, pérdida de producto o daños menores a las instalaciones

La priorización de los eventos se distingue por las calificaciones:

- 1 = Muy peligroso.
- 2 = Peligroso.
- 3 = Moderado.

B) Evaluación de las consecuencias.

La siguiente etapa del esquema empleado es la evaluación de consecuencias, la cual tiene como objetivo determinar el impacto o afectación potencial subsecuente a la ocurrencia del evento. La simulación se efectúa mediante algunos programas tales como:

ISCST2	Industrial Source Short Model (modelo Gaussiano)
Whazan	DNV Technica Ltd. Software products.

C) Medidas de prevención y control.

En esta etapa se sugieren las medidas de mitigación a tomarse para la eliminación o reducción del riesgo identificado, considerándose para ello las dos vías de control:

- Administración.
- Inversión.

Las medidas administrativas son aquellas que vía la elaboración de políticas, procedimientos, planes de emergencia, capacitación, etc., pueden reducir la probabilidad e impacto del evento.

Las medidas de inversión son aquellas que involucran un cambio, sustitución, adaptación, adquisición o diseño de equipo de proceso y control.

D) Análisis de resultados

Finalmente en esta etapa se analizarán los resultados obtenidos fundamentalmente de los paquetes de dispersión, correlacionando los diferentes eventos con su respectiva área de afectación, con las medidas que eviten o reduzcan la mayor afectación al personal, comunidad, medio ambiente e instalaciones.

RESPONSABILIDAD INTEGRAL CODIGO DE SEGURIDAD DE LOS PROCESOS

PROPOSITO

Las prácticas administrativas de seguridad de los procesos tienen como propósito diseñar y operar los procesos así como transferir o comprar tecnología de manera segura, a fin de preservar la integridad física y salud del personal, proteger a la comunidad y medio ambiente, minimizar los daños a las instalaciones y mantener la continuidad del proceso productivo, a través de prevenir riesgos de incendio, explosiones, fugas y derrames en los procesos, manejo y almacenamiento de productos químicos.

La instrumentación de este código permite desarrollar y establecer sistemas efectivos de prevención y control de riesgos, programas de preparación y respuesta a emergencias derivadas de las operaciones de proceso y se complementa con los programas de seguridad, salud ocupacional y protección ambiental de cada unidad productiva. Además proporciona los elementos necesarios para negociar la compra-venta de tecnología responsablemente.

ALCANCE

El Código de Seguridad de los procesos contiene las prácticas administrativas con las que deben operar las compañías afiliadas a la Asociación Nacional de la Industria Química. Está integrado por cinco elementos: liderazgo gerencial, tecnología, instalaciones, personal y transferencia de tecnología, donde cada uno de ellos describe actividades y enfoques encaminados a prevenir los riesgos en los procesos, desde su adquisición o transferencia, diseño, construcción, operación y mantenimiento; así como el nivel de entrenamiento del personal.

RELACION CON OTROS CODIGOS DE RESPONSABILIDAD INTEGRAL

Este código está relacionado con los siguientes códigos de responsabilidad integral.

- Seguridad y salud en el trabajo.
- Protección a la comunidad.
- Investigación y desarrollo.
- Seguridad de producto.
- Prevención y control de la contaminación ambiental.

RELACION CON LOS PRINCIPIOS DE RESPONSABILIDAD INTEGRAL

- Reconocer y responder a las inquietudes de la comunidad acerca de la responsabilidad de nuestros productos y operaciones.
- Desarrollar y producir productos químicos que puedan ser fabricados, transportados, usados y desechados bajo esquemas efectivos de seguridad.
- Convertir a la salud, seguridad y medio ambiente en consideraciones prioritarias de todos nuestros proyectos y procesos nuevos y existentes.

Instalaciones.

11. **Localización.** Considerar y mitigar los efectos de los riesgos potenciales que pud haber hacia la comunidad, el personal y el medio ambiente por las expansiones y modificaciones en los procesos existentes y planta nuevas.
12. **Normas y estándares.** Diseñar, construir, arrancar, operar y dar mantenimiento a instalaciones utilizando buenas prácticas de ingeniería y de seguridad consistentes con estándares, normas y regulaciones vigentes.
13. **Auditorías de seguridad de proyectos.** Realizar auditorías de seguridad a todas las instalaciones y equipos nuevos y/o modificados durante la etapa de diseño, antes y durante el arranque.
14. **Mantenimiento.** Desarrollar y mantener programas documentados de mantenimiento, inspección y pruebas que aseguren la integridad de las instalaciones y equipo durante el proceso.
15. **Sistemas preventivos.** Garantizar niveles adecuados de protección en las áreas de tecnología, instalaciones y personal para prevenir el escalamiento de una falla sencilla a un evento catastrófico.
16. **Manejo de emergencias.** Establecer medidas de control de los procesos y equipos para el caso de que se presente una emergencia ocasionada por desviaciones de los parámetros de los procesos, interrupción de los servicios, así como eventos naturales y otras condiciones externas.

Personal.

17. **Perfil.** Identificar las habilidades y conocimientos necesarios que requiere el personal para realizar trabajos relacionados con la operación del proceso.
18. **Procedimientos.** Establecer los procedimientos y prácticas de trabajo necesarios para operar y realizar actividades de reparación y mantenimiento en forma segura.
19. **Capacitación.** Entrenar a todos los empleados en el conocimiento del proceso y los materiales que en él se manejan, de tal manera que puedan realizar su trabajo con seguridad.
20. **Destreza.** Evaluar y mantener un registro de las habilidades de cada empleado antes de asignarse un trabajo, cubriendo las necesidades de re-entrenamiento necesarias.
21. **Educación a la salud.** Establecer programas para asegurar que todos los empleados, particularmente aquellos que realizan trabajos críticos, no se involucren con sustancias que alteren su comportamiento, como el alcohol y las drogas.
22. **Contratistas.** Asegurar que los contratistas tengan programas de seguridad para sus empleados, consistentes con las políticas de la empresa.

Adquisición y transferencia de tecnología.

23. **Principios éticos.** Comprar o vender tecnologías que involucren instalaciones riesgosas, exclusivamente en los casos en los cuales se tenga la seguridad de que el licenciador o adquirente cuenta con los recursos naturales, económicos, técnicos y regulatorios, infraestructura y servicios, para operar en forma segura la tecnología.
24. **Co-responsabilidad.** Establecer a través de un contrato las obligaciones, tanto del licenciador como del adquirente de la tecnología, relacionadas con la operación segura del proceso.

25. Responsabilidades del licenciador. Brindar al adquirente toda la información relacionada con los riesgos del proceso y materiales y la forma de control, de manera que se garantice su operación.
26. Responsabilidad del adquirente. Cumplir con las condiciones de seguridad de operación establecidas por quien transfiere la tecnología, de manera que se garantice la seguridad del personal, comunidad, ambiente e instalaciones. Todo cambio o modificación mayor será motivo de consulta y aprobación del licenciador de tecnología.

ADMINISTRACION DEL RIESGO

Esta etapa del proceso operativo comprende el establecimiento de las medidas necesarias para satisfacer a nuestros clientes, atendiendo a un enfoque de prevención y minimización de riesgo antes que su transferencia y control; es decir, el orden de las medidas indicadas en la figura no. 2.8. Establece una escala de preferencias y a la vez un menu de opciones que pueden combinarse para la administración de los riesgos totales de una planta dada.

Una vez que se hayan evaluado los riesgos de cualquiera de las etapas del ciclo de vida o de todo el ciclo en si, es muy conveniente establecer las áreas o procesos implicados en esa etapa que requieren de una administración de riesgos de control ambiental, seguridad e higiene; es decir, requiere definir áreas prioritarias de riesgo de control ambiental, seguridad e higiene. Esto implica contar con técnicas y procesos de decisión sobre este tópico, las cuales pueden considerarse tan importantes como de la propia magnitud del riesgo; por ejemplo, para la jerarquización de los riesgos involucrados en un proyecto productivo, se emplean las siguientes categorías:

1. Prioridad uno: riesgos con afectaciones a la vida y la salud o que originen clausura por parte de autoridades.
2. Prioridad dos: riesgos que puedan afectar el medio ambiente o que causen daños materiales mayores ocasionando paro de producción o lesiones con incapacidad temporal no permanente.
3. Prioridad tres: riesgos que puedan generar lesiones leves al personal y/o daños menores a las instalaciones.

El mecanismo de toma de decisiones alrededor de la administración de riesgos debe establecer los elementos básicos necesarios (quien, cuando, como, donde) para establecer las medidas de administración; dentro de estos elementos, uno fundamental es o son los criterios de aceptabilidad del riesgo que son los valores de referencia que deben cumplir, satisfacer o incluso exceder (en términos de calidad) la magnitud del riesgo respecto a los requerimientos de nuestros clientes (externos e internos).

PREMISAS:

A) En la estrategia de manejo deben considerarse primordialmente los enfoques de prevención y minimización del riesgo en su origen (eliminación y reducción) antes que su transferencia o control, entendido este como la simple adición de equipos o sistemas (por ejemplo: tratamiento de emisiones.).

B) Deberá establecerse el esquema de manejo para todo riesgo que con alta probabilidad de ocurrencia ocasione las siguientes consecuencias:

- Afectaciones a la vida y la salud:
 - + Defunciones
 - + Incapacidad parcial permanente
 - + Cualquier afectación a la comunidad.
 - + Enfermedades profesionales.

- Deterioro del ambiente.
- Suspensión de operaciones por acciones de las autoridades.

Un aspecto primordial en la administración del riesgo es el establecimiento de mecanismos de seguimiento y alerta que permitan asegurar que los riesgos de las áreas prioritarias están siendo administrados conforme a especificaciones previamente establecidas y de acuerdo a las capacidades requeridas y, en todo caso, identificar las causas de descontrol (quien, como cuando donde).

En caso de descontrol en la administración de riesgos, deberá especificarse el tipo de medidas correctivas a aplicar y la manera de verificar el efecto de dichas medidas. Al igual que las medidas primarias de administración (eliminación, reducción, control o transferencia), la definición de los sistemas de respuesta a emergencias deben comprender un análisis sistematizado (quien como cuando donde) de la situación.

Los sistemas de respuesta a emergencias en las diferentes etapas del ciclo de vida de los productos de una organización deberán contener los elementos necesarios, tener la capacidad y rapidez de respuesta adecuados a los riesgos que se trate a fin de no causar afectaciones indeseables a nuestros clientes.

IDENTIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DE LA INSTALACIÓN.

Los criterios fundamentales para determinar el grado de Peligrosidad o Vulnerabilidad de las áreas de proceso de una planta o propiamente de la planta misma son:

I) CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES.

II) TECNOLOGÍA UTILIZADA.

III) UBICACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE LA INSTALACIÓN.

IV) RECURSOS HUMANOS.

I) CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES. Análisis sobre las propiedades Físico -Químicas de todos los materiales que intervienen en el metabolismo industrial de la localidad, tales como: Materias Primas, Productos, Subproductos, Residuos.

Los aspectos que deben ser revisados y documentados son:

I.1) Inflamabilidad.

- * **Líquidos Inflamables:** Son aquellos que tienen un Punto de Inflamación (Flash Point) igual o por debajo de los 37.8°C y con una Presión de Vapor que no exceda las 40 Psi.
- * **Líquidos Combustibles:** Son aquellos que tienen una Temperatura de Ignición (Flash Point) por arriba de los 37.8°C.
- * **Polvos Explosivos:** Materiales orgánicos e inorgánicos fragmentados a tal tamaño de micras que pueden formar mezclas explosivas con el aire.
- * **Punto de Inflamación:** Temperatura a la cual el material empieza a generar vapores que en presencia de aire pueden generar un incendio. (Ejemplo: Gasolina = -43°C, Kerosene = 43 - 70°C)
- * **Temperatura de Ignición:** Temperatura a la cual una mezcla de vapores inflamables y aire puede iniciar su combustión, independientemente de la temperatura de los vapores o del aire. (Ejemplo Gasolina = 280°C, Kerosene = 210°C)
- * **Limites de Inflamabilidad:** Concentración necesaria de los vapores o gases inflamables en presencia de aire u oxígeno para iniciar y mantener la combustión. Existen dos niveles de inflamabilidad: Limite Inferior y Limite Superior, por abajo del limite inferior la mezcla será pobre y no arderá y por arriba del limite superior la mezcla será muy rica y tampoco arderá. (Ejemplo: Gasolina = 1.4 - 7.6 % Vol., Kerosene 0.7 - 5% Vol.)

A estos límites también se les conoce como Límites de Explosividad".

Temperatura de Autoignición: Es la temperatura a la cual la mezcla de vapores con aire, se incendian espontáneamente sin necesidad de una fuente de ignición.

1.2) Clasificación de Áreas.

Clasificación de áreas: Esta clasificación se efectúa de acuerdo a la NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION (NFPA), de la siguiente forma:

- **RIESGO LIGERO:** Áreas o localidades donde la cantidad de materiales y/o el grado de combustibilidad de los materiales contenidos es relativamente baja y los incendios que puedan originarse tienen bajos índices de desprendimiento de radiación.

- **RIESGO ORDINARIO.**

• **GRUPO 1:** Áreas o localidades donde la combustibilidad es baja y la cantidad de combustibles es moderada. Los niveles de almacenamiento de estos materiales no exceden alturas de 2.4 m. El desprendimiento de radiación de fuegos de estas áreas es moderada.

• **GRUPO 2 :** Ídem Grupo 1, con la diferencia de que los niveles de almacenamiento no exceden los 3.7m.

• **GRUPO 3 :** Áreas o localidades donde la cantidad de los materiales y su combustibilidad es alta y los incendios que puedan originarse tienen un alto grado de desprendimiento de radiación.

- **RIESGO EXTRA.** Son las áreas o localidades donde la cantidad y combustibilidad de los materiales que contiene es muy alta, y líquidos inflamables, vapores, gases, polvos u otros materiales se hayan presentes introduciendo la probabilidad de un rápido desarrollo de incendio con altos índices de desprendimiento de radiación. Las áreas o localidades con esta clasificación de riesgos, manejan o envuelven una gran cantidad de variables que generan la posibilidad de grandes incendios, Clasificación:

• **GRUPO 1 :** Incluye las áreas ya descritas pero con poca cantidad de líquidos combustibles e inflamables.

• **GRUPO 2 :** Incluye las áreas ya descritas pero con grandes cantidades de líquidos, gases, vapores, polvos, etc., combustibles e inflamables. Con alto índice de desprendimiento de radiación.

1.3) Toxicidad. IDLH, TLV, Etc.

Incertidumbre sobre la posible emisión de materiales tóxicos al ambiente, alcanzando concentraciones a nivel de piso dentro y fuera de los límites de baterías de la localidad, superiores a los valores de IDLH respectivo de la sustancia.

18

I.4) Reactividad.

Materiales que emiten cantidades peligrosas de energía, cuando se somete a golpes, chispas o luz, durante una polimerización incontrolada o cuando entra en contacto con algunas sustancias como por ejemplo: Aire, Agua, Acero o Sustancias que producen una oxidación fuerte o Materiales reductores.

I.5) Punto de Ebullición, Presión de Vapor, Punto de Fusión, Capacidad Calorífica, Etc.

Datos Físico - Químicos que nos ayudan a determinar el grado de peligro que presentan los materiales dentro del entorno del ente productivo.

I.6) Subproductos y Residuos.

Posible generación de materiales no reutilizables en el proceso de la localidad, con características peligrosas (CRETIB = Corrosivo, Reactivo, Explosivo, Tóxico, Inflamable y Biológico infeccioso.)

II) TECNOLOGÍA UTILIZADA. Análisis de los Procesos, Equipos, Instalaciones, Operaciones e Inventarios, utilizados para Metabolizar los materiales y alcanzar el producto con las especificaciones deseadas.

II.1) Cinética de la Reacción. Comportamiento de una reactada en función de variables tales como: Presión, Temperatura, Tiempo, Flujo, Etc., así como la Velocidad de Reacción controlada con Catalizadores e Inhibidores. Análisis del tipo de Reacción Química: Endotérmica, Exotérmica.

Ejemplo de Proceso:

Reacción: Polimerización de Metil Metacrilato.

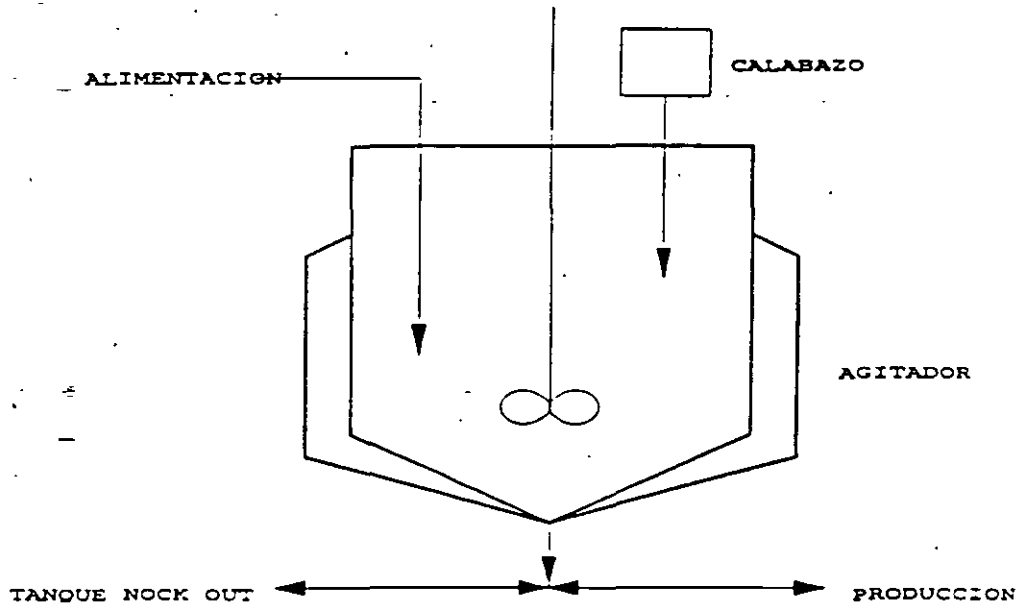
Tipo de Reacción: Endotérmica/Exotérmica.

Secuencia de Proceso/Reacción:

- a) Agregar al reactor el MMA, Catalizadores, Etc.
- b) Calentar hasta 60°C. (reacción endotérmica).
- c) Durante el calentamiento: Agitar.
- d) Dejar de calentar y la reacción pasara a exotermia, debiendo alcanzar la reactada una temperatura de 90°C, y una presión de 2 Kg/cm².

e) Mantener la agitación, agregar inhibidor y comenzar el enfriamiento hasta la temperatura de 18°C y una presión atmosférica.

f) Abrir la válvula correspondiente y descargar la Miel para distribuirla a otra parte del proceso.



II.3) Condiciones del Proceso. Manejo de variables de proceso tales como : Presión, Temperatura, Gasto, Etc., con Gradientes Diferenciales Altos con referencia a las condiciones atmosféricas.

II.4) Instalaciones. Grado de revisión de Riesgos y de cumplimiento de: Buenas Practicas de Ingeniería (Estándares, Códigos, Normas, Guías, Etc.), durante las siguientes etapas del proyecto:

- * Bases de Diseño.
- * Ingeniería Básica.
- * Ingeniería de Detalle.
- * Etapa de Construcción.
- * Programa de Pruebas y Arranque.
- * Operación de la Planta.

Ejemplo de aplicación de Buenas Practicas de Ingeniería.

- BASES DE DISEÑO:

- + Descripción del Proceso.
- + Selección de Materias Primas.
- + Selección de Tecnología ("Receta")
- + Diagrama Genérico de Flujo.
- + Evaluación de Subproductos y Residuos.
- + Evaluación de Peligros Genérica.
- + Etc.

- INGENIERÍA BÁSICA.

- + Dimensionamiento de Equipos.
- + Balance de Materia y Energía.
- + Diagramas de Flujo Mas Específicos.
- + Establecimiento de Variables de Operación.
- + Revisión y Análisis de Peligrosidad de Reacciones Químicas.
- + Etc.

- INGENIERÍA DE DETALLE.

- + Instrumentación y Control del Proceso.
- + Diseño de Recipientes y de Equipos Involucrados en el Proceso y Periféricos.
- + Análisis de Esfuerzos de Tuberías, Soporteras, Estructuras, Etc.
- + Ingeniería Civil y Arquitectura del Proyecto.
- + Diseño y Clasificación de Instalaciones Eléctricas.
- + Análisis de riesgos para determinar las necesidades de establecer:

A) Sistemas de Preventores (Interlocks), para Reducir y/o Eliminar la posibilidad de descontroles del proceso o desencadenamiento de secuencias hacia un evento de Emergencia. (Sistemas tales como: Interruptores de Presión, Temperatura , Flujo, así como Detectores de Gases, Alarmas, Etc.).

B) Sistemas de Protección, para reducir la afectación del: Personal, Instalaciones, Comunidad y Medio Ambiente, por medio de sistemas: Contra incendio, Supresores de Explosión, Control de Derrames, Etc.

C) Administración de Inventarios de Materiales Peligrosos. Considerando Los requerimientos del proceso, Suministro de Proveedores, Capacidad de la Planta, Etc.

- + Etc.

- ETAPA DE CONSTRUCCIÓN.

- + Cumplimiento de los Estándares de Construcción.
- + Construir de acuerdo a Planos y Diagramas Aprobados para

Construcción.

- + Efectuar las Auditorias de Seguridad necesarias durante la Construcción del Proyecto.
- + Etc.

- PRUEBAS Y ARRANQUE.

- + Efectuar las Pruebas necesarias a todo el equipo para determinar su: Hermeticidad, Resistencia, Flujo, Operación, Eficiencia, Etc.
- + Contar con todos los Procedimientos, Permisos y Listas de Verificación para la Operación y Seguridad de la Instalaciones.
- + Capacitación y Entrenamiento del Personal que Operara la Instalación.
- + Registro de Resultados de Pruebas.
- + Etc.

- OPERACIÓN DE LA PLANTA.

- + Contar con todo el entrenamiento e información necesaria para Operar la Planta en condiciones: Normales, Emergencia, Siniestro, Paro/Arranques Normales y de Emergencia, Etc.
- + Reevaluar los Riesgos remanentes.
- + Etc.

II.5) Integridad física de la Instalación. Programas de Mantenimiento: Predictivo, Preventivo y Correctivo, dentro de una Política de Manufactura Sana. Administración de Cambios que incluya desde aspectos tales como: Substitución de Refacciones y Equipos, hasta cambios, mejoras y aumentos de la Producción e Instalaciones.

II.6) Inventarios de Materiales Peligrosos. Que aparezcan en los listados de Actividades Altamente Peligrosas, emitidos en el Diario Oficial de la Federación.

II.7) Incertidumbre. Sobre la posibilidad de tenerse mas haya del limite de batería de la localidad, niveles de radiación superiores a 5 kW/m² durante varios segundos en posibles incendios, así como ondas de presión originadas por explosiones, superiores a 0.5 Psi (3Kpa).

III) UBICACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE LA PLANTA.

III.1) Localización de la Planta. Revisión de las características del Entorno de la Planta:

- Distancias entre Plantas Vecinas y evaluación de la peligrosidad de las mismas.
- Distancias entre los limites de batería de la planta o de las zonas potencialmente riesgosas hasta los asentamientos mas cercano (Comunidad).

- Distancias entre la planta y los sitios denominados: Turísticos, Históricos, Deportivos, Etc.

- Distancia entre las áreas de riesgo de la Planta y las áreas denominadas: Reservas Ecológicas, Flora y Fauna protegidas, Ríos, Presas, Mares, Explotación de Terrenos, Etc.

- Servicios Públicos: Drenajes, Bomberos, Hospitales, Policía, Sistema de Protección Civil, Etc.

- Condiciones Geográficas y Meteorológicas de la Localidad: Sismicidad, Vientos Dominantes, Velocidad de Viento, Tipo de Estabilidad Atmosférica, Características del Terreno, Montañas, Huracanes, Ciclones, Nortes, Heladas, Etc.

III.2) Distribución Interna de Equipos y Áreas de Proceso de la Planta.

- Distancias entre áreas de Almacenamiento y Áreas de: Proceso, Servicios Auxiliares, Laboratorios, Áreas de Carga y Descarga, Oficinas, Talleres, Etc.

- Distancias Entre Áreas de Proceso y las Demás Áreas de la planta.

- Distancia Entre Áreas de Quemadores y las restantes Áreas de la Planta.

- Ídem para todas las Áreas Peligrosas y el resto de las Instalaciones.

IV) RECURSOS HUMANOS.

IV.1) Población Laboral:

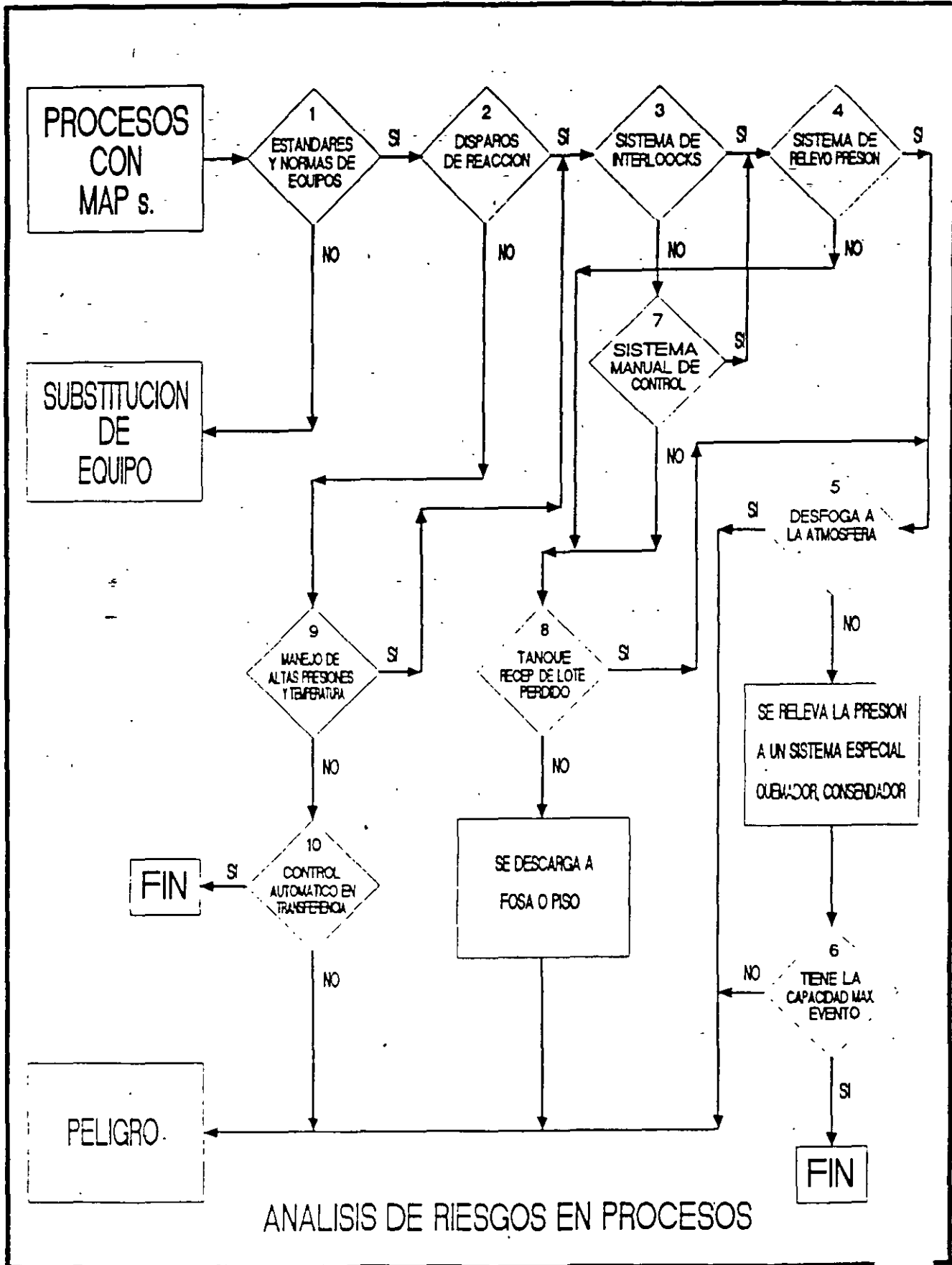
- Educación, Cultura, Sexo, Alimentación, Vicios, Nivel socioeconómico, Etc.

- Relaciones Laborales: Ausentismo, Despidos, Clima Organizacional, Antecedentes de Actitudes Punibles, Etc.

- Capacitación y Entrenamiento: Programas, Seguimiento, Reentrenamiento, Etc.

IV.2) Comunidad Circundante:

- Delincuencia, Vandalismo, Nivel Económico Medio, Etc.



NOTAS DEL DIAGRAMA DE ANALISIS DE RIESGOS

- 1) Se refiere: - Al cumplimiento de estándares en su diseño original.
 - Si se mantiene operando para las condiciones originales de diseño.
 - Si se encuentra dentro del tiempo de vida útil del equipo y/o el mantenimiento preventivo que se le ha dado indica aun rangos de operación segura.
 - De no contar con estos parámetros de ingeniería, se deberá sustituir el equipo.

- 2) Se refiere a disparos de reacción por las siguientes causas:
 - Falla en los sistemas auxiliares (vapor, enfriamiento, electricidad, etc.).
 - Falla en las condiciones de operación (temperatura, presión, flujo).
 - Diferencias en las propiedades fisico-químicas de los reactivos.
 - Error en la secuencia de alimentación de reactivos.

- 3) Se refiere: - Al control del proceso en forma automática.
 - Indicación y control de nivel.
 - Indicación de flujo ogasto.
 - Paros o control por altas presiones y temperaturas.

- 4) Se refiere: - Que si se cuenta con los dispositivos de alivio de presión instalados y diseñados de acuerdo a estándares e identificados y mantenidos dentro de un programa de inspección de equipo crítico, tales como:
 - Válvulas de alivio, relevo, seguridad.
 - Discos de ruptura.

- 5) Se refiere: - Que si los sistemas mencionados en el inciso 4) desfogon las sobrepresiones de los recipientes directamente a la atmósfera o son colectados y enviados a:
 - Quemadores.
 - Condensadores.
 - Absorvedores.
 - Etc.

- 6) Se refiere: - Que si los equipos mencionados en el inciso 5) (quemadores, etc.) tienen la capacidad suficiente para procesar el máximo evento por desfogue.

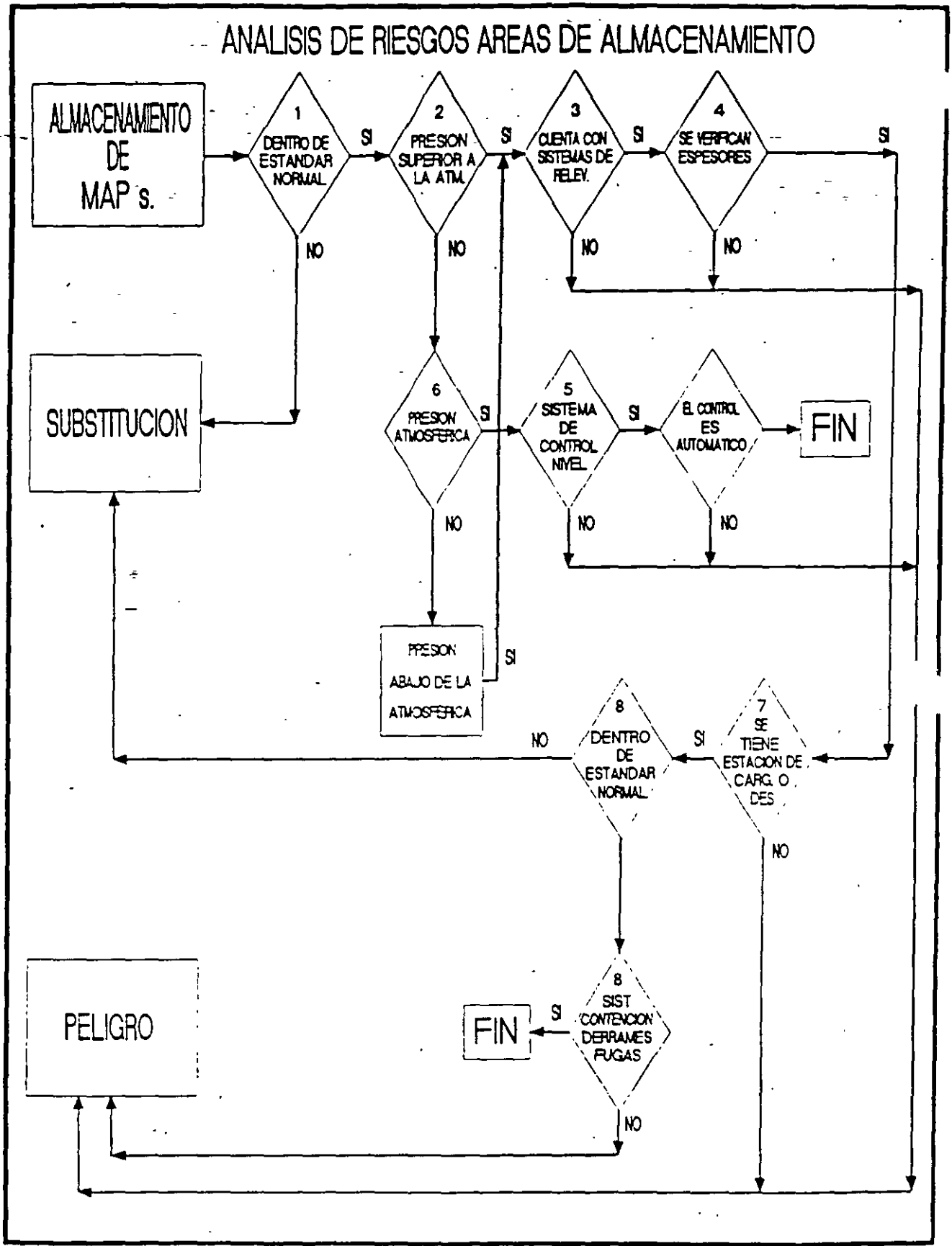
- 7) Se refiere: - Que si el control mencionado en el inciso 3) se efectúa en forma manual.

- 8) Se refiere: - Que si se cuenta con tanques receptores herméticos e instrumentados tales como knock out o se descarga directamente al piso o fosa.

- 9) Se refiere: - que si las condiciones de operación del proceso requieren el manejo de altas presiones y temperaturas.

- 10) Se refiere: - que si la transferencia de MAP s se efectua a través de circuitos cerrados de tubería, los cuales están instrumentados para su control.

ANALISIS DE RIESGOS AREAS DE ALMACENAMIENTO



NOTAS DEL DIAGRAMA DE AREAS DE ALMACENAMIENTO

- 1) Se refiere: - Al cumplimiento de estándares en su diseño original.
- Si se está utilizando para las condiciones originales de diseño.
- Si se encuentra dentro del tiempo de vida útil del equipo y/o el mantenimiento preventivo que se le ha proporcionado indica aun rangos de uso seguros.
- De no cumplir con estos parámetros de ingeniería, se deberá sustituir el tanque.
- 2) Se refiere: - Tanques que manejen presión por arriba de la atmosférica, por lo tanto existen más probabilidades de falla si no existe un mantenimiento preventivo (inspección visual, verificación de soldaduras, etc.).
- 3) Se refiere: - Si se cuenta con los dispositivos de alivio de presión instalados y diseñados de acuerdo a estándares, identificados y mantenidos dentro de un programa de mantenimiento de equipo crítico (válvulas de alivio, de relevo, de seguridad, discos de ruptura, etc.).
- 4) Se refiere: - Debe existir un programa de mantenimiento preventivo en donde se este checando el desgaste del material de tal forma que no se presente un evento por rotura o falla del material.
- 5) Se refiere: - Que cuente con instrumentos que indiquen los niveles manejados así como alarmas o interlocks, con esta instrumentación eliminariamos eventos de derrame por un sobrellenado.
- 6) Se refiere: - Tanques que operan a la presión atmosférica y por esta razón están emitiendo vapores en forma normal a la atmósfera.
- 7) Se refiere: - En las áreas de almacenamiento deben existir estaciones de carga y descarga de productos y materias primas, de esta manera se tiene un área específica para realizar maniobras.
- 8) Se refiere: - Las estaciones de carga y descarga deben cumplir con los estándares y normas de acuerdo a los materiales manejados y las maniobras a realizar, de no cumpli deberá sustituirse o meterla dentro de estándar.
- 9) Se refiere: - En las áreas de carga y descarga se originan fugas y derrames, deberá de contarse con sistemas específicos para el control de estos eventos (tanques de derrames, diques, trincheras, guarda bridas, etc.).

1. ANALISIS DE RIESGOS Y OPERABILIDAD (HAZOP)

Generalmente, después de un accidente y cuando se detecta un problema mayor de operación, se investigan sus causas y se establecen acciones para prevenir su repetición. Frecuentemente, una vez que la investigación finaliza, se detectan fallas en el diseño o en los métodos de operación, lo cual ocurre a pesar del cuidado que se tenga en el diseño de una planta. En gran parte aprendemos de las experiencias, pero esto puede resultar muy costoso en términos de vidas humanas e inversiones.

HAZOP es una metodología que nos permite conocer los riesgos de una planta en forma sistemática, antes de que se generen consecuencias innecesarias.

1.1 Principios Básicos de la Metodología

Esta metodología funciona a través de utilizar la imaginación de los miembros de un grupo multidisciplinario para visualizar las rutas en que una planta puede operar en forma indeseable. Es lo suficientemente flexible para aplicarse a todo tipo de plantas, procesos, equipos, etc.

La metodología puede ser aplicada en el diseño final de una planta o en algunos diseños intermedios, al realizar trabajos de mantenimiento mayor o reparaciones complejas y en operaciones de paro, arranque o condiciones normales de operación.

Debido a que el proceso de aplicación de la metodología es complejo y altamente estructurado, es recomendable su aplicación en forma selectiva, considerando parámetros tales como: manejo de materiales altamente peligrosos, ubicación de la planta en zonas de asentamientos humanos, posibles efectos a instalaciones industriales colindantes y posibles afectaciones a mantos acuíferos y vías de conducción de aguas.

Esencialmente el procedimiento de análisis consiste en revisar la descripción completa de los procesos, cuestionando sistemáticamente cada una de sus partes, para descubrir como las desviaciones de la intención del diseño pueden ocurrir e identificar cuales de estas pueden dar por resultado un riesgo. Cada parte del diseño se somete a una serie de preguntas formuladas en base a "palabras clave", las cuales son utilizadas para garantizar que todos los caminos posibles, para que ocurra una desviación de la intención del diseño, son explorados. Esto normalmente genera una serie de desviaciones teóricas y cada desviación es considerada para identificar sus causas, posibles consecuencias y las acciones a seguir para su eliminación o reducción.

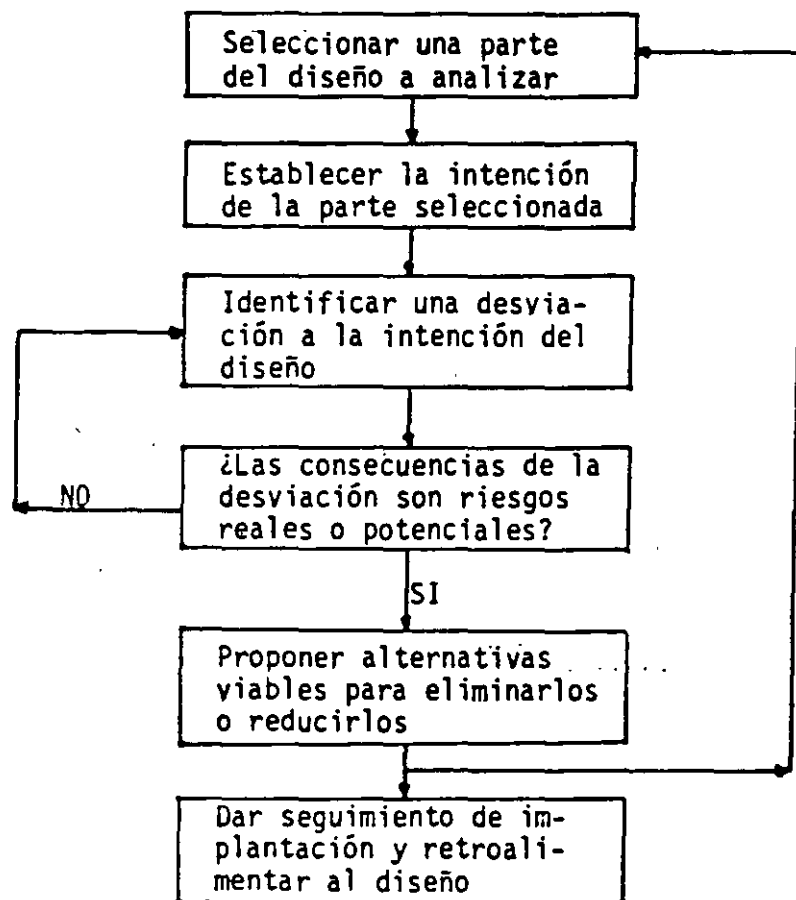
Habiendo examinado una parte del diseño y registrado todo los riesgos reales y potenciales asociados con él, se procede con la siguiente y así sucesivamente hasta completar toda la planta.

El propósito del análisis es identificar todas las posibles desviaciones con respecto a la intención del diseño y todos los riesgos asociados a estas desviaciones, así como el proponer las alternativas viables para eliminarlos o reducirlos.

El éxito de la metodología depende de:

- A. La exactitud de los diagramas y datos utilizados como base del estudio.
- B. La habilidad técnica y perspicacia del grupo.
- C. La habilidad del grupo en el uso de la metodología como una ayuda a su imaginación en la visualización de desviaciones, sus causas y consecuencias.
- D. La habilidad del grupo para mantener el sentido de proporción, no minimizando o exagerando la severidad de las consecuencias de los riesgos identificados.

A continuación se muestra un esquema general del procedimiento:



1.2 Significado de las "palabras clave"

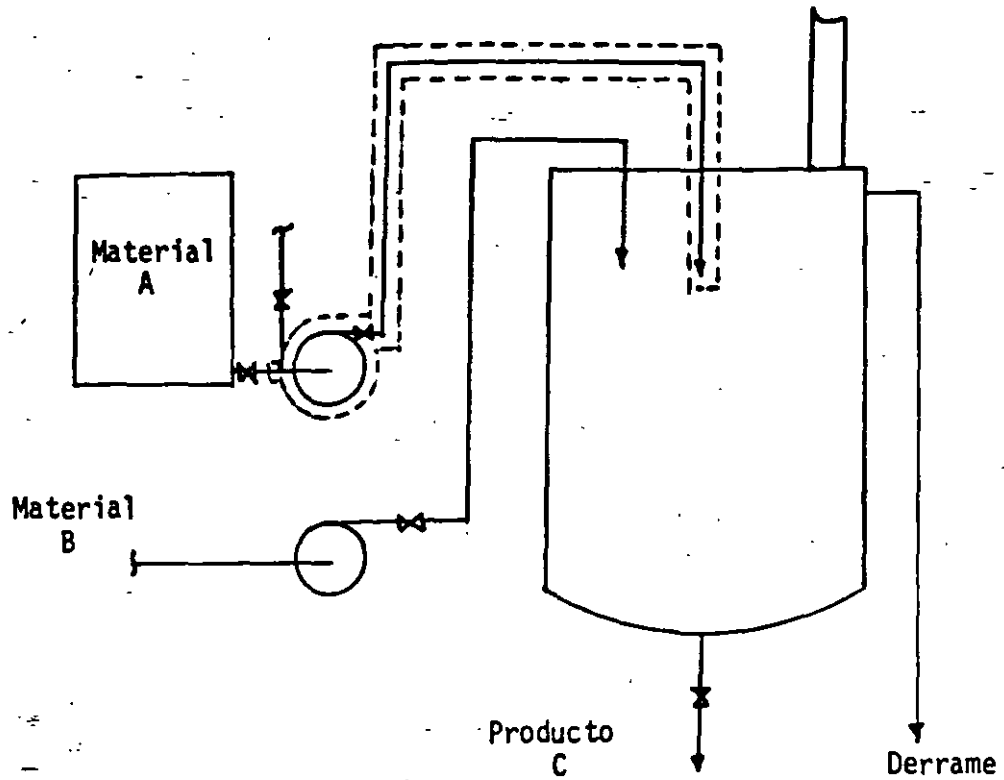
Las "palabras clave" son palabras simples, las cuales se utilizan para analizar la intención (propósito del diseño) de un equipo, línea, etc. y estimular la imaginación del grupo de trabajo para visualizar las desviaciones con respecto a la intención del diseño.

Palabras clave	Significado	Comentarios
No, nada	La completa negación de la intención.	Ninguna parte de la intención ocurre.
Más, mayor Menos, menor	Incremento o decremento cuantitativo.	Esto se refiere a cantidades y propiedades (flujo, temperatura, presión) así como a actividades (calentamiento, reacción, enfriamiento).
Además de	Incremento cualitativo.	Todas las intenciones del diseño se llevan a cabo junto con alguna actividad adicional.
Parte de	Decremento cualitativo.	Sólo algunas de las intenciones del diseño se llevan a cabo.
Inverso	Lo opuesto a la lógica de la intención.	Aplicable a actividad (reacción química inversa, calentamiento en lugar de enfriamiento, adición del catalizador en lugar de inhibidor).
En vez de	Sustitución completa de la intención.	Nada de la intención original ocurre.

1.2.1 Un ejemplo simple

Para ilustrar los principios del procedimiento de análisis, consideramos una planta en la cual los materiales A y B reaccionan para formar un producto C. Suponiendo que la materia prima B no debe exceder a la materia prima A, debido al comportamiento de esta reacción en particular, si esto llegara a suceder, la consecuencia sería una explosión.

Refiriéndonos a la siguiente figura, iniciamos el análisis con la línea que parte de la succión de la bomba, que lleva a cabo la transferencia de materia A, hasta la cámara del reactor.



Reacción $A + B = C$

El componente B no debe exceder al componente A
 La parte de la planta a analizar está marcada por una línea punteada.

La intención es descrita, en parte, por el diagrama de flujo y su complemento por la descripción del proceso. La primera desviación es obtenida al aplicar la palabra clave No, Nada.

No transferencia de A

El diagrama de flujo es examinado para establecer las causas que pueden producir la suspensión del flujo de A. Estas causas podrían ser:

- Tanque de suministro vacío
- Falla de la bomba (mecánica, eléctrica, bomba apagada, etc.)
- Rotura de la tubería
- Válvula de bloqueo cerrada.

Todas las causas anteriores son posibles, por lo tanto la desviación también lo es.

A continuación consideramos las consecuencias. La suspensión completa del flujo de A podría darnos rápidamente un exceso de B con respecto a A en el reactor y consecuentemente el riesgo de explosión. Se ha identificado un riesgo en el diseño y se deben tomar las medidas correspondientes.

Ahora se aplica la siguiente palabra clave que es Más, Mayor. La desviación es:

Más cantidad de A se transfiere al reactor

La causa podría ser que las características de la bomba permitan, bajo ciertas circunstancias, un flujo excesivo. Si esta causa es aceptada como posible, procedemos a la definición de las consecuencias.

- Producto C contaminado con un exceso de A.
- El exceso de flujo hacia el reactor significa que algo de material descargará por el derrame.

Se requiere obtener la información para determinar si estas consecuencias representan un riesgo.

La siguiente palabra clave es Menos, Menor. La desviación es:

Menos cantidad de A se transfiere al reactor

Las causas son un poco diferentes a las identificadas en el caso de No transferencia de A.

- La válvula de bloqueo parcialmente cerrada.
- La línea está parcialmente bloqueada.
- La bomba no produce el flujo requerido (impulsor inadecuado, válvulas mal seleccionadas, etc.).

Las consecuencias son semejantes al caso de No transferencia de A y el riesgo es una posible explosión.

Las dos siguientes desviaciones son cualitativas y toda o parte de la intención original del diseño se conserva. La primera de éstas es una desviación en la cual algunos otros efectos se presentan simultáneamente con la intención del diseño. La palabra clave es Además de y la desviación es Además de transferir A. Esto puede significar:

- Transferir algún componente además de A. En el diagrama de flujo se muestra una válvula de bloqueo en la succión de la bomba. Si esta válvula no estuviera cerrada, otro componente pudiera ser traído junto con el material A.

- La transferencia de A hacia algún lugar diferente al reactor. El diagrama de flujo muestra esta posibilidad; si la válvula de la línea que se deriva de la succión de la bomba está abierta, la desviación puede ocurrir.
- Llevarse a cabo otra actividad simultáneamente con la transferencia de A. Por ejemplo, A puede ebullición o descomponerse en la línea o la bomba.

La otra desviación ocurre cuando la intención del diseño se lleva a cabo en forma parcial. La palabra clave es Parte de y la desviación Parte de A se transfiere. Esto puede significar que:

- Un componente de A se pierde (mezclas). Se requiere de conocer la composición de A, así como los efectos de la pérdida de uno de los componentes.
- La omisión de uno o más reactores en el caso de que la misma bomba transfiera el material A a más de un reactor.

Las dos desviaciones restantes son también cualitativas pero ninguna de las partes de la intención original del diseño se conserva. La primera de éstas es lo contrario a la intención del diseño. La palabra clave es Inverso y la desviación es Transferencia Inversa de A. Esto significa que el flujo regresa desde el reactor a través de la bomba hasta el tanque de almacenamiento de A.

Finalmente, la completa sustitución de la intención del diseño por algo más. La palabra clave es En vez de y la desviación es En vez de transferir A. Esto puede significar:

- La transferencia de un material diferente. La sustitución puede ocurrir en varias formas. Por ejemplo, el material erróneo podría ser enviado a través de la T en la succión de la bomba (punto 10.1.2). Es necesario obtener información, en relación a que otros materiales se pudieran transferir y sus efectos.
- Un cambio del destino implícito. Transferir el material A (totalmente) a otro lugar, menos al reactor.
- Un cambio en la naturaleza de la actividad, por ejemplo, el material A puede solidificarse antes de ser transferido.

Cuando la línea que transfiere el material A hacia el reactor ha sido analizada, se marca en el diagrama de flujo con un marcador (de preferencia en color amarillo). Se selecciona y se marca con líneas punteadas la siguiente parte del diseño a analizar y ésta pudiera ser la línea

que transfiere la materia prima B al reactor. Esta secuencia se repite para todas y cada una de las partes del diseño, cada línea, recipientes auxiliares, equi auxiliares del reactor como pudiera ser un agitador, todos los servicios del reactor tales como calentamiento, enfriamiento etc.

Es importante que una vez definida la desviación, sus causas y consecuencias, se establezcan, las medidas correctivas o las indicaciones para profundizar en su análisis antes de pasar a la identificación de la siguiente desviación.

Cuando revisamos a un nivel más detallado la intención del diseño, será necesario contemplar algunas restricciones porque los modos posibles de la desviación son reducidos. Por ejemplo, suponiendo que consideramos que la intención del diseño es 100 °C de temperatura, la única forma posible de desviación (si olvidamos el cero absoluto) son Más, arriba de 100°C, y Menos, abajo de 100°C.

Cuando las palabras clave son aplicadas a aspectos relacionados con el tiempo, Más y Menos pueden significar larga y corta duración o altas y bajas frecuencias. Ahora bien, cuando tratamos aspectos relacionados con tiempo absoluto o secuencia, las palabras clave extras Antes o Después dan mayor idea que En vez de. Así mismo, cuando nos referimos a posición, procedencia y destino, Donde es más útil que En vez de. Alto y Bajo tendrán más significado que Más y Menos para desviaciones de Elevación.

Cuando se trata de intenciones de diseño que involucran especificaciones complejas de temperaturas, velocidades, composición, presiones, etc., es más conveniente aplicar la secuencia completa de palabras clave a cada elemento individualmente que aplicar cada palabra clave a todo el rango de especificaciones. Cuando aplicamos las palabras clave a una oración, es más útil aplicar las palabras clave en secuencia a cada palabra o frase separadamente, empezando por la parte clave que describe la actividad.

1.3 Procedimiento para el Análisis

Los principios descritos son puestos en práctica a través de un procedimiento que consiste en las siguientes etapas:

- Definición de objetivos y alcance
- Selección del grupo de trabajo
- Preparación previa del análisis
- Ejecución del análisis
- Seguimiento
- Registro de resultados

1.3.1 Definición de Objetivos y Alcance

Los objetivos y alcance de un análisis deben ser explícitos tanto como sea posible. Algunos ejemplos son:

- Revisar un diseño
- Decidir cuándo y dónde construir una planta
- Obtener una lista de verificación para seleccionar un proveedor
- Verificar procedimientos de operación
- Mejorar las condiciones de seguridad de plantas existentes

Es necesario definir el tipo de riesgos que se pretenden identificar, por ejemplo:

- Al personal que trabaja en la planta
- A la planta y equipo
- A la calidad del producto
- A la comunidad
- Al ambiente

Los límites físicos de la planta a ser analizada deben definirse y cuando existen interacciones con los vecinos, todos deberán incluirse en el análisis. Deben ser contempladas las condiciones económicas que prevalecen en el momento del análisis por los posibles efectos en la toma de decisiones.

Los objetivos Generales para un análisis son normalmente fijados por la persona responsable del proyecto o la planta; por ejemplo, el Gerente del Proyecto, el Ingeniero del Proyecto o el Gerente de la Planta. Esta persona normalmente es asesorada en la definición de los objetivos por el líder del equipo.

El análisis es efectuado por un grupo multidisciplinario, el cual propone las alternativas de solución, quedando la decisión final de su aplicación en la Gerencia. La definición del alcance y objetivos del análisis es sencilla siempre y cuando el gerente o responsable esté convencido de las bondades de la metodología.

1.3.2 Selección del Grupo de Trabajo

Los estudios de los riesgos y operación son normalmente ejecutados por grupos multidisciplinarios. Dentro de estos grupos existen dos tipos de participantes: los que realizan la contribución técnica y los que asesoran y establecen las reglas de funcionamiento del grupo.

Personal Técnico. El análisis requiere de la participación de personal con conocimientos y experiencia en ciertas áreas, algunas de ellas relacionadas con el diseño y otras con la operación de la planta. La metodología genera una

gran cantidad de preguntas que requieren la participación de personal con un grado alto de conocimientos y experiencia para dar las respuestas adecuadas.

A manera de ejemplo, una planta química pequeña deberá ser analizada por un grupo formado por los responsables de

- Mantenimiento
- Producción
- Procesos
- Seguridad e Higiene

Los miembros del grupo deben tener la suficiente autoridad para realizar las modificaciones necesarias al diseño y operación. La mezcla de disciplinas puede variar dependiendo del tipo del proyecto o planta. Algunas ocasiones se requiere de la inclusión de disciplinas tales como:

- Ingeniería Eléctrica
- Instrumentación
- Ingeniería Civil
- Ingeniería en Seguridad
- Higiene Industrial
- Ingeniería Ambiental
- Etc.

El grupo no debe ser muy grande y el número ideal de persona está entre 3 y 6.

Personal de Soporte. Debido a que las sesiones de análisis son altamente estructuradas y muy sistemáticas, es necesario tener a alguien que modere las discusiones. Esta persona se le conoce como el "Líder del Grupo".

El líder del grupo tiene algunas funciones a cubrir durante el análisis.

- Asesorar en la definición de los objetivos y alcance de análisis.
- Ayudar en la selección del grupo y su entrenamiento
- Coordinar la recopilación de información previa y verificar que se cuente con toda la necesaria para el análisis.
- Moderar las discusiones dentro de lo establecido por la metodología.

El líder del grupo no debe tener la responsabilidad de proporcionar el soporte técnico principal y no deberá ser una persona directamente asociada con el tema principal del análisis, debido a que puede fallar en el uso de la metodología o dar por hecho algunos aspectos que pudieran ser fundamentales en la identificación de riesgos. Pero deberá tener un amplio conocimiento de la metodología y habilidad para moderar las discusiones del grupo.

En adición al líder del grupo, es deseable contar con una persona de soporte para que tome nota de los riesgos detectados, la cual se le conoce como "Secretario". Pudiera considerarse como una extravagancia el contar con un Secretario, pero la experiencia nos indica que esto incrementa en forma importante la efectividad del grupo, ya que el tomar notas puede distraer la atención y limitar el aprovechamiento de su sinergia.

La actitud de los miembros del grupo. Es imperativo que los miembros del grupo tengan una actitud positiva y constructiva, dado que los resultados dependen de su inventiva e imaginación.

1.3.3 Preparación Previa del Análisis

El trabajo de preparación dependerá del tamaño y complejidad de la planta y éste consiste de cuatro etapas:

- Obtención de información
- Estructuración de la información
- Planeación de la secuencia del análisis
- Coordinación de las reuniones

Información. Esta normalmente consta de diagrama de flujo, balance de materia y energía, diagramas de tubería e instrumentación, diagramas de distribución de la planta (lay out), cinética química de las reacciones involucradas, descripción detallada del proceso, manual de procedimientos de operación, especificaciones y características fisicoquímicas de los materiales utilizados y producidos, hojas de especificación de equipos y programas de mantenimiento preventivo. Esta información invariablemente debe estar totalmente actualizada.

En plantas de proceso continuo la estructuración es relativamente sencilla. Los diagramas de tuberías e instrumentación, el lay out y los balances de materia contienen suficiente información y pueden ser fácilmente reproducidos para ponerlos a disposición de los miembros del equipo de trabajo. La información restante no requiere ser reproducida, únicamente será necesario mantenerla disponible para consulta.

En plantas de proceso por lotes, normalmente la estructuración de la información requiere de un mayor esfuerzo y adicionalmente a los diagramas descritos para plantas continuas, será necesario reproducir la secuencia de operación, así como la participación de los operadores en cada etapa del proceso.

En el diseño de una nueva planta es relativamente sencillo contar con la información necesaria ya que ésta se encuentra recientemente editada. En plantas existentes, la labor de recopilación de información se vuelve muy compleja porque normalmente no se encuentra actualizada. En este último caso; es indispensable actualizar la información existente y generar la faltante antes de iniciar el análisis, ya que sin ello será tiempo perdido.

Una vez que la información se ha recopilado y estructurado, el líder del grupo está en la posibilidad de realizar la planeación de la secuencia del análisis. La primera etapa será estimar las horas hombre que se requerirán, lo cual se puede lograr de varias maneras. Una regla general es que cada parte a ser estudiada (línea, recipiente, etc.) tomará aproximadamente 15 minutos del tiempo del grupo. El ejemplo del punto 10.2.1 tomará una hora y media, considerando 15 minutos para cada una de las dos líneas de acceso al reactor, dos salidas, el venteo y el reactor en sí. Entonces una forma de estimar el tiempo es considerando el número de líneas y recipientes.

Otra forma de hacer la estimación de tiempo es considerar dos horas y media por cada recipiente.

Teniendo la estimación de tiempo, el líder del grupo o el secretario pueden coordinar las reuniones de trabajo. Idealmente una sesión de trabajo no deberá durar más de tres horas debido a que el cansancio puede llevar a ser improductivo el análisis. Bajo condiciones extremas de presión de tiempo, las sesiones pueden ser programadas para dos días consecutivos, pero sólo en circunstancias excepcionales.

En condiciones normales, no se deberán programar más de dos sesiones por semana permitiendo un día de descanso entre sesión y sesión. El inconveniente sería que algunos miembros del grupo tuviesen que viajar y la programación pudiera ser complicada.

Las sesiones de trabajo deben efectuarse en un lugar bien ventilado, iluminado adecuadamente, con las instalaciones adecuadas para revisar planos, explicar diagramas y comodidades que permitan un trabajo placentero, libre de ruido y distracciones.

1.3.4 Ejecución del Análisis

Las sesiones de análisis son altamente estructuradas, con el líder del grupo controlando la discusión para el seguimiento de su plan predeterminado. Si la ejecución está basada en los diagramas de tubería e instrumentación, el líder del equipo selecciona el primer recipiente y pide al grupo que describan su función. Selecciona una línea u otro elemento del diseño y solicita al grupo establecer la intención de la parte seleccionada. Esta secuencia se sigue en forma similar en un estudio basado en los procedimientos de operación.

El líder del grupo aplica la primera palabra clave y la discusión del grupo se inicia. Algunas veces es necesario, particularmente cuando se trata de un grupo inexperto, para el líder del grupo orientar la discusión haciendo preguntas tales como ¿Puede no haber flujo? o ¿Qué puede ocurrir si no hay flujo?. El grupo no sólo deberá proporcionar las respuestas técnicas si no que debe orientarse hacia la creatividad y considerar todas posibles desviaciones y riesgos.

Una vez que los riesgos son identificados, el líder del grupo debe asegurarse que sean claramente comprendidos por el grupo. Todos los problemas detectados durante el análisis deben ser resueltos, pero pueden existir algunos problemas por falta de información o necesidad de profundizar en la propuesta de alternativas de solución. Existen dos posiciones extremas:

- A.- Una solución es definida para cada riesgo detectado antes de pasar a la identificación del riesgo siguiente.
- B.- No proponer soluciones hasta que todos los riesgos hayan sido identificados.

Puede ser inapropiado o imposible para el grupo definir todas las acciones requeridas para cada uno de los riesgos detectados durante la sesión o por otro lado las acciones pueden ser llevadas a cabo en forma inmediata, porque éstas son simples. La habilidad para tomar decisiones rápidas depende del tipo de planta. En plantas continuas, la decisión tomada en algún punto puede no invalidar las decisiones tomadas previamente, pero siempre es importante considerar esta posibilidad. En plantas con procesos por lotes, con control en secuencia, cualquier alteración en el diseño o modo de operación puede tener implicaciones mayores.

Si la acción a tomar quedase pendiente para evaluación posterior, es necesario hacer la anotación correspondiente e indicar la persona responsable de ejecutarla.

El líder del grupo debe intentar que se concluyan todas las discusiones antes de pasar a la siguiente palabra clave, por lo que el líder debe tratar de que en todos los puntos a discusión se llegue a un acuerdo. Cuando esto no sea posible, será necesario que una discusión entre dos expertos sea concluida, proponiendo que el punto de desacuerdo sea registrado y discutido una vez terminada la sesión.

Una vez que una línea, recipiente o instrucción del procedimiento de operación ha sido totalmente analizada, el líder del grupo marcará su copia indicando su finalización.

1.3.5 Seguimiento

Normalmente existirán acciones pendientes de evaluar, puntos de desacuerdo por concluir o información que recopilar. Se deberá elaborar una lista de ello, indicando los responsables de su ejecución y fechas de cumplimiento. Transcurrido el tiempo necesario, se llevará a cabo una sesión de "Evaluación de las Recomendaciones a Seguir", en la cual se revisarán los puntos pendientes y se revisarán las acciones que se tomarán para eliminar o minimizar los riesgos identificados.

Las acciones propuestas generalmente son de cuatro tipos:

- Cambios en el proceso (recipientes, materiales, instrumentación, etc.).
- Cambios en las condiciones del proceso (temperatura, presión).
- Modificaciones en el diseño físico.
- Cambios en los procedimientos de operación.

Cuando las acciones han sido definidas, es muy útil separarlas en dos grupos.

- Aquéllas que eliminan las causas del riesgo.
- Aquéllas que reducen sus consecuencias.

Existirán acciones que no requieren de una evaluación detallada, dado que el riesgo es claro y las acciones son obvias para su corrección, pero suele ocurrir que para ciertos riesgos existen diferentes alternativas (unas más caras que otras, reducen más el riesgo, etc.) que será necesario evaluar su costo beneficio. Para ayudar en la toma de decisiones, se recomienda evaluar el riesgo, así como su modificación con las alternativas propuestas. Para lograrlo se sugiere utilizar metodologías tales como Arbol de Fallas, Dow Index, ICI Mond Index o Evaluación Matemática de Riesgos, las cuales se incluyen en el presente manual. El uso de estas metodologías debe ser selectivo y sólo en caso estrictamente necesario debido a su complejidad y el tiempo que se requiere para su aplicación.

1.3.6 Registro de Resultados

Una actividad importante del grupo de trabajo es registrar los resultados del análisis. Una forma útil es la generación del "Expediente Hazop". Este contiene.

- Una copia de los diagramas de tuberías e instrumentación utilizados por el grupo durante el análisis.
- Una copia de todas las hojas de trabajo, preguntas, recomendaciones, rediseños, etc. generadas durante las sesiones de trabajo.

La hoja de trabajo se muestra a continuación:

INTENCION _____

PLANTA O PROYECTO _____

DIAGRAMA _____

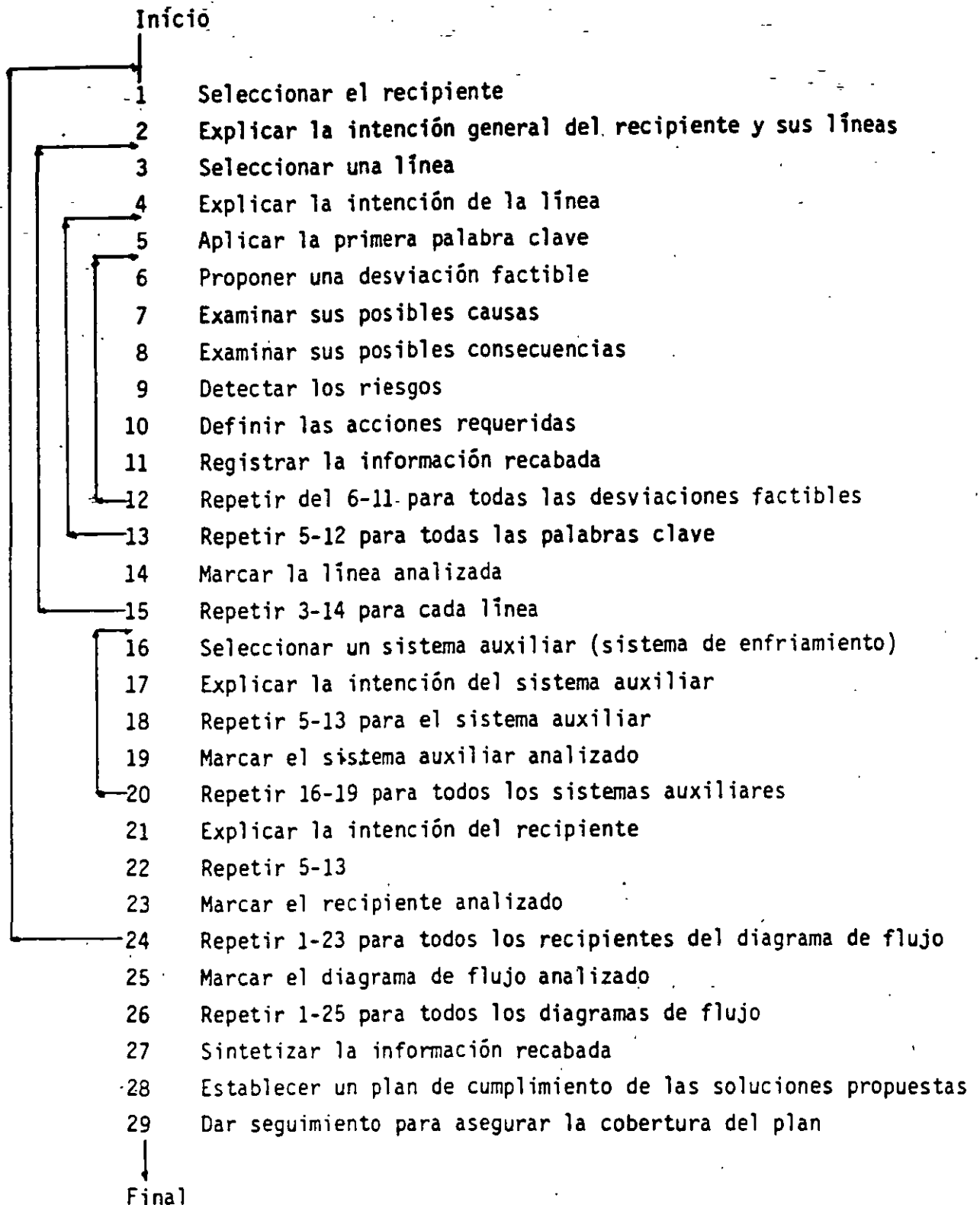
LINEA O EQUIPO _____

PALABRA CLAVE	DESVIACION	CAUSAS POSIBLES	CONSECUENCIAS	ACCION REQUERIDA

14

27

1.4 Secuencia Detallada del Análisis



10.5 La Programación de los Análisis

El mejor momento para aplicar un análisis a través de HAZOP es durante el diseño de un proceso en la etapa en que la ingeniería de detalle se ha concluido, pero antes de su aprobación.

En esta etapa es posible realizar cambios antes de incurrir en gastos innecesarios y además la información necesaria está concluida.

Los análisis, también pueden llevarse a cabo cuando la etapa de construcción ha concluido, pero antes del arranque. Es evidente que las correcciones en esta etapa son normalmente costosas y pueden implicar un retraso en la iniciación de las operaciones.

La aplicación de la metodología puede hacerse en plantas existentes.

10.5.1 Identificación de Riesgos Mayores

El objetivo fundamental de la aplicación de la metodología es la identificación de riesgos mayores. Una vez conocidos, es posible la toma de decisiones fundamentales, tales como:

- Dónde localizar la planta.
- Cuál sería la localización de la planta con respecto a otras plantas, asentamientos humanos, etc.
- Qué aspectos particulares del diseño requerirán un desarrollo especial con el fin de controlar los riesgos.

La identificación de riesgos mayores puede hacerse con relativa facilidad una vez que ciertos parámetros generales son establecidos. Estos son:

- Materiales. Materias primas, productos intermedios, productos finales, efluentes.
- Operaciones unitarias. Mezclado, destilación, secado, etc.
- Lay out. Arreglo de las operaciones unitarias dentro de la planta, espaciamiento con otras plantas, etc.

Estos parámetros generales pueden ser considerados una vez que la lista de verificación de riesgos potenciales se les aplica. Una lista útil para la mayoría de las plantas químicas es la siguiente:

Fuego	Ruido
Explosión	Vibración
Detonación	Material nocivo
Toxicidad	Electrocución
Corrosión	Asfixia
Radiación	Falla mecánica

Por supuesto, otros riesgos pueden adicionarse a la lista dependiendo del tipo de procesos existentes.

1.5.2 Análisis en la Etapa de Diseño

Es en esta etapa, durante el desarrollo de un proyecto de inversión, es el mejor momento para realizar un análisis de riesgo y operabilidad. Los diagramas de ingeniería e instrumentos de definición, actualizados. El grupo de diseño conoce qué planta ha sido diseñada en una forma particular. Si una modificación sustancial se genera, ésta podrá ser implantada evitando gastos innecesarios.

También es posible realizar el análisis a los proveedores de equipos antes de decidir su compra.

1.5.3 Análisis Previo al Arranque

Es posible realizar el análisis cuando la construcción está prácticamente completa y los procedimientos tentativos de operación han sido escritos. Si se ha realizado un análisis completo durante la etapa de diseño y la persona que preparó los procedimientos tentativos de operación participó como miembro del grupo de trabajo, no será necesario realizar un análisis completo en esta etapa. Sin embargo, bajo las siguientes condiciones puede ser muy útil llevarlo a cabo:

- Existencia de cambios importantes de última hora.
- Los procedimientos de operación son muy críticos.
- La nueva planta es una copia de una planta existente con cambios importantes en el proceso debido a cambios en los equipos.

1.5.4 Análisis en Plantas Existentes

Aún cuando el énfasis principal ha sido aplicar la metodología en el diseño de nuevas unidades, ésta es una herramienta muy valiosa para tener una visión clara en relación a los riesgos en plantas existentes. Una planta puede operar por muchos años y ser modificada en muchas ocasiones durante su vida útil, a ser que tales modificaciones se realicen cuidadosamente, se podría estar comprometiendo los márgenes de seguridad con lo que originalmente se diseñó.

La decisión de realizar un análisis de riesgos y operabilidad puede ser el producto de una reacción emocional motivada por algún accidente en una planta o proceso similar. Este tipo de reacciones son entendibles, lo cual no significa la imperiosa necesidad de realizar un análisis de riesgos aplicando HAZOP. Por lo tanto, se sugiere que algunos factores sean considerados.

- Una auditoría de seguridad ha mostrado la necesidad de análisis más detallado.
- Se manejan materiales altamente peligrosos que pudieran dar como consecuencia un riesgo de máximo desastre.

- Han ocurrido accidentes de alto potencial con una frecuencia "alta".
- Existe una evaluación previa de riesgos detectables por la experiencia y la verificación contra códigos y estándares y se han corregido las desviaciones identificadas o se están corrigiendo.
- La planta ha permanecido en operación por largo tiempo.
- La planta ha sido modificada.
- Los programas de mantenimiento preventivo son aceptables.
- Por su localización y a través de métodos de evaluación rápida tal como Dow Index, nos indica posibles efectos hacia la comunidad, aún cuando no se manejan materiales altamente peligrosos.

Cuando se realiza la preparación para los análisis en plantas existentes, es necesario considerar tiempo adicional, ya que muy probablemente se requiera actualizar la información o elaborar la faltante.

Se deberá tener un mayor cuidado en la etapa de definición. El grupo generará recomendaciones y algunas de estas implicarán cambios significativos a realizar en la planta. Es muy importante ser lo suficientemente claro al respecto con quién será el responsable de la aprobación de estas recomendaciones. También será necesario establecer un sistema de seguimiento vigoroso que garantice el cumplimiento de los programas de implantación.

1.5.5 Análisis previos a modificaciones en plantas existentes

Una vez que el análisis de riesgos y operabilidad en una planta se ha llevado a cabo, la gerencia puede sentirse segura de que la gran mayoría de los riesgos han sido identificados y corregidos. Ahora bien, la industria de procesos es dinámica y es inconcebible que una planta opere sin modificaciones durante su vida útil.

Con el fin de mantener la confianza gerencial, es necesario asegurar que la planta o el proceso no pueda ser alterado o modificado sin considerar los aspectos de riesgo y operabilidad. Existen dos posibles alternativas para el control de modificaciones.

La primera de ellas está esencialmente basada en el hecho de que los supervisores que están directamente en el control de la planta realizan cambios con menor frecuencia que sus administradores o ingenieros. Por lo tanto, si ellos están involucrados en el análisis de riesgos y operabilidad original y son consultados en relación con las modificaciones propuestas probablemente puedan identificar riesgos potenciales.

La segunda alternativa requiere de que se cuente con un sistema

La segunda alternativa requiere de que se cuente con un sistema. Una modificación propuesta se pone a consideración de las dos personas con mayor conocimiento de la planta, los cuales aplican una lista de verificación de posibles riesgos y problemas de operabilidad y deciden una de las siguientes cuatro líneas de acción:

- La modificación puede proceder.
- La modificación puede proceder bajo ciertas condiciones.
- La modificación no procede.
- Existe incertidumbre acerca de su viabilidad o no, por lo que la modificación al diseño requiere de análisis de riesgos y operabilidad completo cubriendo el área de cambio.

10.6 Aplicación del Método

10.6.1 Planta Continua

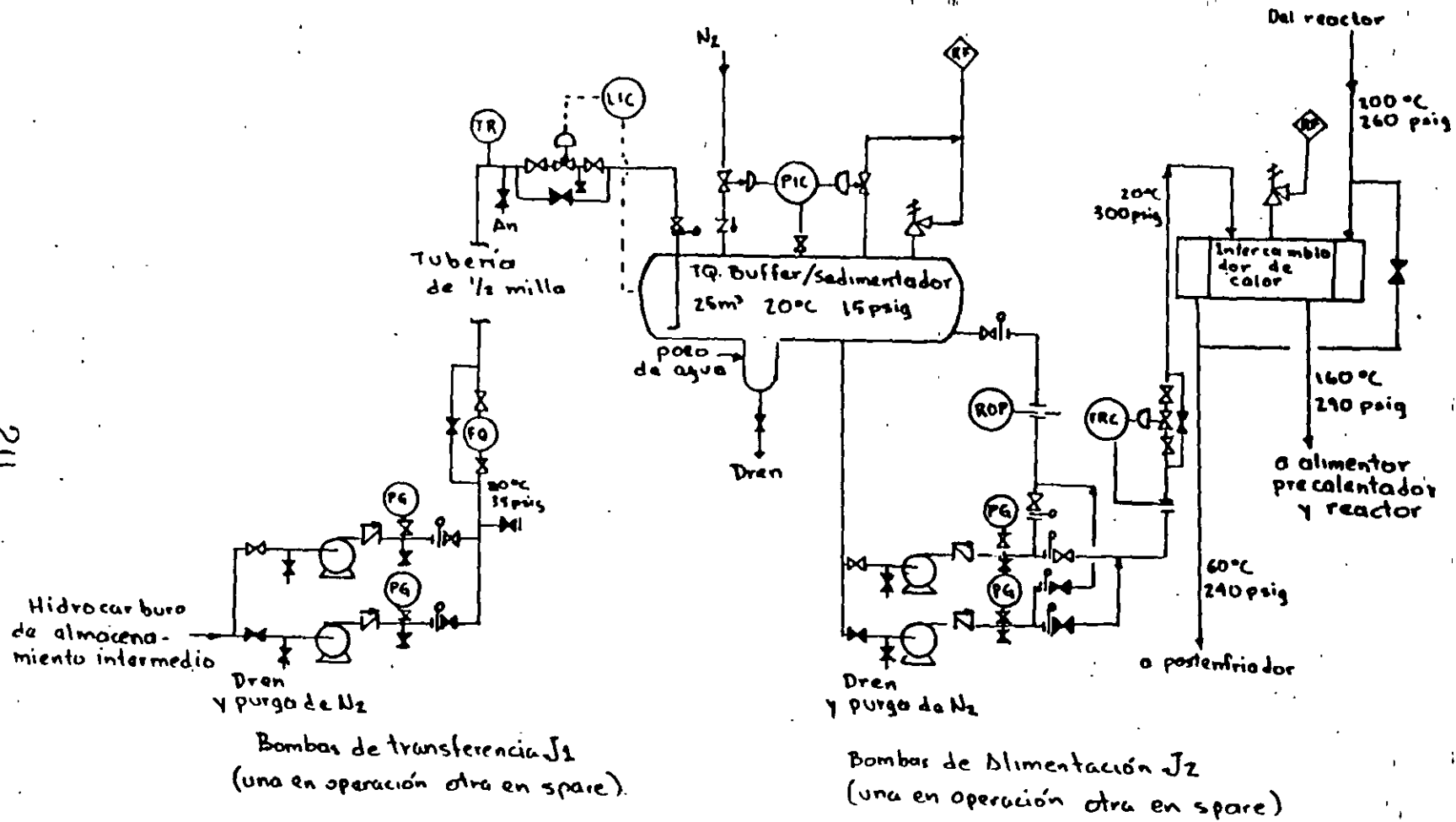
Considerar la sección de alimentación en una unidad de dimerización de una olefina. Esta es la descripción:

"Una fracción alqueno/alcano conteniendo pequeñas cantidades de agua suspendida, es bombeada continuamente de un tanque intermedio a través de una tubería de media milla a un tanque buffer/sedimentación. El agua residual es extraída para posteriormente pasar por un intercambiador de calor y precalentador en la sección de reacción. El agua que tiene un efecto adverso en la reacción de dimerización es extraída manualmente del tanque de sedimentación a intervalos. El tiempo de residencia en la sección debe ser mantenido entre ciertos límites para asegurar la conversión adecuada del alqueno y evitar una formación excesiva de polímero".

Se analizará la línea de tanque intermedio al tanque buffer.

Intención. Transferir una fracción de alquenos/alcanos de composición definida del tanque intermedio al tanque buffer/sedimentación a un cierto flujo y temperatura tal como se muestra en la figura.

SECCION DE ALIMENTOS A UNA PLANTA DE DIMERIZACION



20

47

ESTUDIO DE RIESGO Y OPERABILIDAD PLANTA DE DIMERIZACION LINEA DE TANQUE INTERMEDIO AL TANQUE BUFFER/SEDIMENTACION

PALABRA CLAVE	DESVIACION	CAUSAS POSIBLES	CONSECUENCIAS	ACCION REQUERIDA
No	No hay flujo	(1) No existe hidrocarburo en el tanque intermedio.	Falta de alimentación a la sección de reacción y disminución de producto. Formación de polímero en el intercambiador.	(A) Asegurar una buena comunicación con el operador del tanque intermedio. (B) Instalar alarma a bajo nivel del tanque de sedimentación LIC.
		(2) La bomba J ₁ falla.	Igual que (1)	Cubierto por (B)
		(3) Bloqueo de la línea, válvula(s) cerrada(s) o la LCV cierra.	Igual que (1) sobrecalentamiento de la bomba J ₁	Cubierto por (B) (C) Instalar sistema de recirculación en la bomba. (D) Checar el diseño del strainer (coladera, trampa) de la bomba.
		(4) Fractura de la línea.	Igual que (1) Descarga del hidrocarburo en una área adyacente a camino público.	(E) Patrullar regularmente inspeccionar la línea.
Más; Mayor	Flujo mayor	(5) Válvula LCV abre (erróneamente) o Bypassada.	Se sobrellena el tanque Buffer.	(F) Instalar alarma de alto nivel en el LIC, checar dimensiones de la válvula de alivio. (G) Cerrar el by pass del LIC en caso de no usarse, por medio de una brida.

8/7
20

PALABRA CLAVE	DESVIACION	CAUSAS POSIBLES	CONSECUENCIAS	ACCION REQUERIDA
			Separación incompleta del agua causando problemas posteriormente en la reacción.	(H) Extender la línea de succión de la bomba J ₂ 12 pulgadas sobre la base del tanque.
	Mayor presión	(G) Válvula cerrada o LCV cerrada mientras funciona la bomba J ₁ .	Línea de transferencia sujeta a la presión de descarga o de pulsación.	(J) Cubierto por (C) salvo cuando el sistema de recirculación se encuentre bloqueado o aislado, checar especificaciones de la línea rotámetro, coladera, reducir la velocidad de cierre de la LCV. Instalar manómetro después del LCV y en el tanque buffer.
Más, Mayor (Cont.)	Mayor temperatura	(7) Expansión térmica en una sección entre válvulas debido a fuego o calor solar. (8) Alta temperatura en el tanque intermedio.	Fractura en la línea o en coladera. Alta presión en la línea de transferencia y tanque buffer.	(K) Instalar en la sección valvulada un sistema de alivio. La ruta seguida por este sistema se decidirá posteriormente. (L) Instalar señal de alta temperatura en el tanque intermedio (o alarma) en caso de que no exista.
Menos, Menor	Menor flujo Menor temperatura	(9) Fugas (10) Condiciones de invierno.	Pérdida de producto adyacente a camino público. Congelamiento del pozo de agua y de línea de drenaje.	Cubierto por (E), (J) (B) (M) Trazar con línea de vapor.
A parte de, También	Presencia de ácidos orgánicos	(11) Problemas de destilación antes del tanque intermedio	Aumenta la corrosión.	(N) Checar materiales de construcción.

PALABRA CLAVE	DESVIACION	CAUSAS POSIBLES	CONSECUENCIAS	ACCION REQUERIDA
Parte de	Alta concentración de agua en la corriente.	(12) Alto nivel de agua en el tanque intermedio.	El pozo de agua se llena más rápidamente, por lo que la fase de agua podría pasar a la reacción.	(O) Adaptar forma de drenar seguidamente el tanque intermedio. Instalar alarma de alto nivel de interfase en el pozo.
	Alta concentración de alkanos- alquenos ligeros.	(13) Problemas de destilación antes del tanque intermedio.	Aumento en la presión del sistema.	(P) Verificar el diseño del tanque buffer y sus válvulas, tuberías, venteos, etc., soporten un aumento en presión.
Otros	Mantenimiento	(14) Falla de equipo.	La línea no puede ser purgada.	(O) Instalar drenaje en punto bajo, vía N ₂ . (Instalar venteo para N ₂ en el buffer

1.6.2 Planta Bath (por lotes)

Características

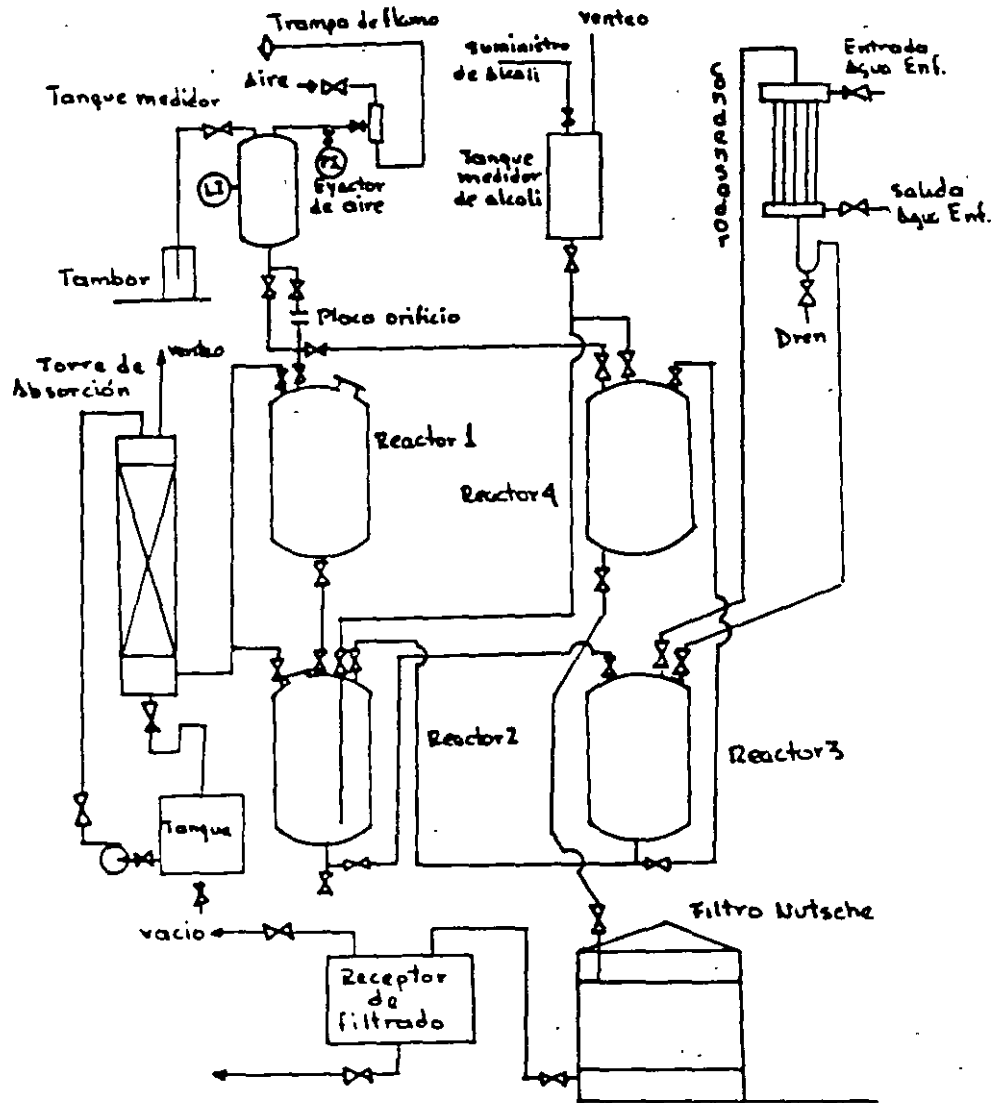
- El status de las distintas partes de la planta cambian en forma cíclica con el tiempo, por lo que un diagrama de flujo por sí solo da información incompleta.
- Existe un gran número de posibles interconexiones entre equipos.
- Los operadores participan físicamente en el proceso.

Considerar la siguiente planta consistente en:

- 2 Tanques medidores
- 4 Reactores
- 1 Condensador
- 1 Torre de absorción con sistema de recirculación
- 1 Filtro nutsche con su receptor de filtración

SE REQUIERE DE LAS INSTRUCCIONES DE OPERACION Y ES DESEABLE
CONTAR CON DIAGRAMAS DE GANT Y DE MOVIMIENTO DE OPERADORES.

PLANTA BATCH SIMPLIFICADA



CASO HIPOTETICO

FORMATO DE INSTRUCCIONES DE OPERACION

NO	OPERACION	PRECAUCIONES	INICIALES
23	Cargar 100 L del material C del tambor al tanque general de medición usando el eyector de aire.	Vestir casco, guantes de PVC y apron.	
24	Transferir 100 L del material C del tanque general de medición al reactor 1 vía la placa de orificio.	Asegurarse que el flujo va únicamente por la placa de orificio.	

El líder del grupo debe decidir si el estudio se basará en el diagrama de flujo o en la secuencia de operaciones. Puede ser deseable utilizar ambas, considerando el diagrama de GANT.

Supondremos se utilizará el formato de instrucciones de operación.

La instrucción 23 "cargar 100 L del material C del tambor al tanque general de medición usando el eyector de aire" es muy compleja para generar desviaciones. Se puede dividir en la parte del eyector y de la transferencia del líquido. Los propósitos serían:

- Remover algo de aire del tanque general de medición.
- Cargar 100 L de material C al tanque general de medición.

REMOVER ALGO DE AIRE DEL TANQUE GENERAL DE MEDICION

DESVIACIONES	CAUSAS	CONSECUENCIAS
NO se remueve aire	Falla en el suministro de aire. Falla en el eyector. Válvula cerrada.	Inconvenientes en proceso. No hay peligro.
MÁS aire se remueve	Sobre diseño del eyector o funciona más tiempo.	Se evacúa totalmente el tanque. ¿Puede soportar vacío total?
MENOS aire se remueve	Pobre diseño del eyector o funciona menos tiempo.	No se puede transferir del tambor. Inconvenientes, sin peligro.
APARTE DE remover aire	Succionar gotas de C u otros materiales de tambores o de los reactores.	Peligros de: fuego, explosión, corrosión. ¿Bloqueada la trampa de flama? ¿El material será peligroso al salir de la trampa de flama? ¿A dónde irá a parar?
PARTE DEL aire se remueve	Remover O ₂ o N ₂ únicamente. No es posible.	
LO OPUESTO inverso flujo del aire	Si la línea del eyector de aire está bloqueada, el aire fluirá hacia el tanque de medición.	¿Sobrepresurización del tanque? ¿Aire soplará los tambores y derramará su contenido? Meter aire en los reactores.
EN VEZ DE remover aire	Operar el eyector cuando el tanque de medición está lleno.	Arrastrar el contenido por la línea hacia la trampa de flama. Mismo peligros que en A PARTE.

CARGAR 100 L DE MATERIAL C AL TANQUE GENERAL DE MEDICION

DESVIACION	CAUSAS	CONSECUENCIA
NO se carga C	No hay disponibilidad de C. Válvulas cerradas.	No hay peligro.
MAS carga de C	Cargas más de 100 L.	Si se sobrellena el tanque operando el eyector, peligros descritos en tabla anterior. ¿Cómo puede ser removido en forma segura?
MENOS carga de C	Cargar una cantidad menor a 100 L.	No hay peligro.
A PARTE DE cargar C	Mezcla de C y otros componentes. Hacer lista de posibles mezclas.	Posibilidad de mezclas peligrosas.
PARTE DE C se carga	Sin sentido. (No es una mezcla)	
LO OPUESTO, carga inversa de C	Flujo del tanque hacia el tambor.	Derrame de producto. ¿Peligro?
EN VEZ DE cargar C	Confundir los tambores. Hacer lista de los otros productos en tambores.	Reacciones posibles, corrosión, etc.

LA INSTRUCCION 24 SE EXPLICA COMO:

Transferir 100 L de material C del tanque general de medición al reactor 1 a un cierto flujo controlado.

DESVIACIONES	CAUSAS	CONSECUENCIAS
NO transferir C	Línea bloqueada. Válvula cerrada. Alta presión en el reactor 1.	Inconveniente. Sin peligro.
MAS cantidad de C se transfiere	Transferir más de 100 L. Transferir a un mayor flujo bypaseando el orificio o siendo éste mal diseñado.	Exceso de C en R1. Lista de consecuencias químicas. Indicar si se sobrellenará R1 y hacia donde se derramaría. Considerar consecuencia de rapidez de reacción. ¿Peligro de estática?
MENOS cantidad de C se transfiere	Transferir menos de 100 L. Acumulamiento de C en las líneas. Parte de C permanece en el tanque de medición.	Consecuencias químicas. ¿Peligro de presión? ¿Cuál es el siguiente producto en el tanque? Consecuencias de mezclarse
A PARTE DE transferir C	Contaminación de C. Lista de posibles contaminantes. Mezcla con aire.	Determinar el efecto de los contaminantes y de aire en R1.
PARTE DE C se transfiere	Sin significado.	
LO OPUESTO, carga inversa de C	Flujo de material del R1 al tanque de medición es posible si R1 está lleno y a presión.	Estimar las consecuencias.

DESVIACIONES	CAUSAS	CONSECUENCIAS
EN VEZ DE transferir C	Transferir otro producto. ¿Qué podría ser?	Determinar con. encia
A QUE OTRO LUGAR	Transferir al R4.	Observar el diagrama de GANT que existe en R4 y sus consecuencias.

1.6.3 Caso Estudio

Descripción

"Propano líquido es transferido por una línea de 10 millas a una planta, donde es vaporizado y utilizado".

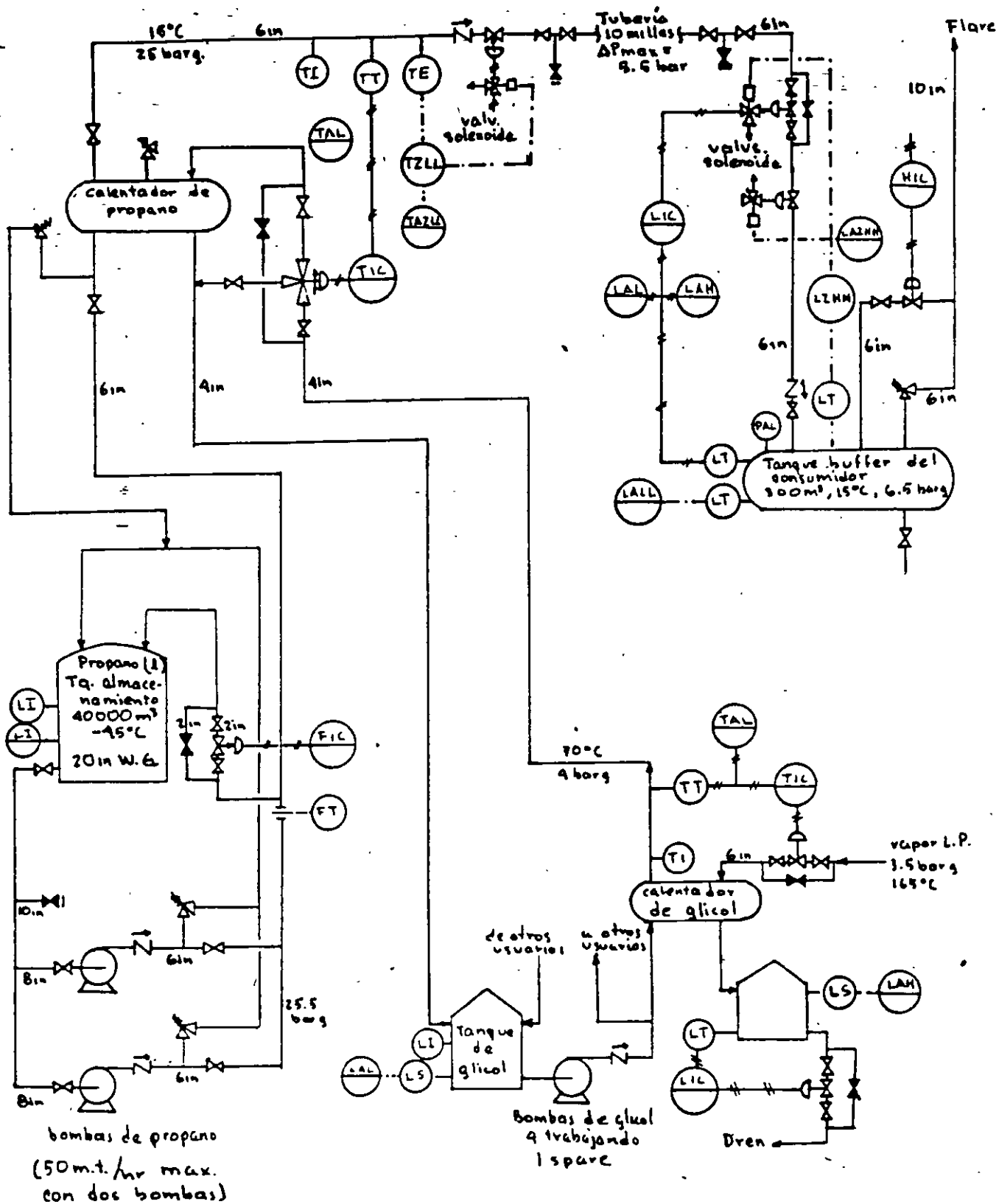
- Propano líquido es bombeado de un tanque atmosférico (-45°C, 20" W.G.) a un calentador (15°C) pasando así a la línea de 10 millas hasta un tanque buffer (opera un control de nivel de entrada a 6.5 bar G). Este tanque permite almacenar producto.
- Las dos bombas centrífugas transfieren combinadas 50 Ton/H a 25.5 bar G. Son de operación manual. Para protección por bajo o nulo flujo se tiene un sistema de recirculación al tanque de almacén.
- El sistema es clase 300 (49 Bar G) y a esta presión están calibradas las válvulas de alivio.
- Calor es suministrado a la coraza del calentador por un flujo continuo de glicol (70°C, 4 Bar G) recirculado por bombas (4 operan, 1 spare). El glicol primero es calentado en un calentador/vapor baja presión (165°C, 3.5 Bar G) operando con control de temperatura.
- La temperatura del propano a transferir se controla con una válvula de tres pasos que permite al glicol bypasear el calentador. Esto también se puede hacer manualmente. El condensado del calentador de glicol se colecta en un tambor de condensados que opera con control de nivel y así drena.
- Todo equipo y ductería antes de la línea de 10 millas está aislado soportando -50°C. La línea de 10 millas (Sc 40, API SL, grado B) no está aislado y puede fracturarse bajo -15°C. Se tiene un control de temperatura (-5°C) que bloquea la línea de 10 millas. Se cuenta con alarmas de baja temperatura en el sistema de glicol y de propano. También alarmas de alto nivel de condensado y bajo nivel de glicol.
- Cuenta con alarmas de alto y bajo nivel en el tanque buffer y con alarmas de extra bajo-alto nivel y de baja recirculación. A extra alto nivel, cierra automáticamente un switch. Cuenta

con válvulas de alivio (13 Bar G) y una válvula de venteo operada a remoto hacia el quemador en caso de emergencia.



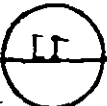





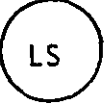


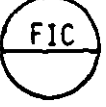



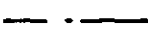

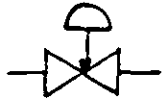

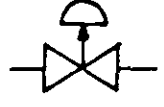

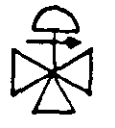
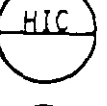





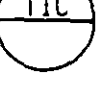

PROCEDIMIENTO

- Presurizar equipo y líneas a 6.5 Bar G con N_2 . Establecer condiciones normales en el sistema de glicol. Se bombea el propano líquido hasta establecer el nivel normal en el buffer, desplazando en N_2 vía el quemador (flama).
- Descargas de la línea pueden ser necesarias en ocasiones. Debido a las válvulas check, se debe desplazar el contenido con N_2 hacia buffer.

DISEÑO PROPUESTO PARA LA TRANSFERENCIA DE PROPANO LIQUIDO



S I M B O L O G I A

	Level indicator (local)		Low-temperature alarm to control room
	Level indicator to control room		Temperature transmitter (electrical)
	Level transmitter		Extra-low-temperature trip switch
	Level controller, with level indicator in control room		Extra-low-temperature trip alarm to control room
	Level switch		Flow transmitter
	Low-level alarm to control room		Flow controller, with flow indicator in control room
	High-level alarm to control room		Pneumatic connection
	Extra-low-level alarm to control room		Electric connection
	Extra-high-level trip switch		Valve, closes on loss of instrument air pressure
	Extra-high-level trip alarm to control room		Valve, opens on loss of instrument air pressure
	Low-pressure alarm to control room		3-way valve, indicating flow direction on loss of instrument air pressure
	Remote hand-control blowoff, with indicator in control room		Isolation valve, normally open
	Temperature indicator (local)		Isolation valve, normally closed
	Temperature transmitter		Non-return valve
	Temperature controller, with temperature indicator in control room		Relief valve

CASO ESTUDIO 1

DISTRIBUCION DE PROPANO LIQUIDO

PALABRA CLAVE	DESVIACION	CAUSAS POSIBLES	CONSECUENCIAS	ACCION REQUERIDA
No, Nada	No hay flujo	Pérdida de nivel en el tanque de almacén.	A. Sobrecalentamiento de las bombas por pérdida de succión llevando a fugas en el sello y posible fuego.	1. Adoptar la conducta de operación de mantener siempre el tanque por lo menos 30% lleno. 2. Duplicar instrumentación y que sean de distinto tipo. Recalibrar regularmente.
			B. Baja el nivel en el buffer por lo que el sistema de bajo nivel opera, abre la solenoide y se flashea producto regresando al tanque de almacén el producto anterior a la válvula check, (ver flujo inverso, contrario A).	3. Operar el tanque hasta a un nivel de 240 m ³ 3-4 horas de suministro perderse el suministro. establecer procedimiento de emergencia. 4. Checar que el tanque de almacén y su sistema de apoyo soporten los vapores flasheados en flujo inverso.
		Falla de las bombas.	Igual que B.	5. Cubierto por 3, 4. Pon en cuarto de control luce a falla en las bombas.

PALABRA CLAVE	DESVIACION	CAUSAS POSIBLES	CONSECUENCIAS	ACCION REQUERIDA
		Falla en el sello de las bombas	C. Igual que B. Puede formarse una nube flamable que fácilmente prendería fuego.	6. Bombas tipo "enlatadas" reduciendo el chance y rapidez de fugas. Incluir un sistema a remoto para aislar la línea de succión. Considerar la necesidad de un detector de gas combustible en el área.
		La nueva válvula de aislamiento (6) cierra en error.	Igual que (A) y (B)	7. La nueva válvula debe ser "normalmente abierta" por falla de energía. Equipo a prueba de explosión y fuego. 8. Las bombas deben parar un bajo amperaje. Considerar una alarma de bajo flujo.
		La válvula de alivio junto a las bombas abre y no hay reset.	D. Igual que (B), pasa recirculándose todo el líquido al tanque de almacén. (Sólo si únicamente una bomba funciona).	9. Las válvulas de alivio de las bombas deben ser diseñadas para alivio por requerimiento término.
		La válvula de control de recirculación al tanque de almacén permanece cerrada por mal funcionamiento.	E. Aumenta presión en la línea. Sobrecalentamiento de la bomba. Posible fuego.	10. Como en (8).

PALABRA CLAVE

DESVIACION

CAUSAS POSIBLES

CONSECUENCIAS

ACCION REQUERIDA

El switch de baja temperatura cierra la válvula (o se cierra por error).

F. Igual que (B).

11. Igual que (3), dando importancia a la comunicación entre el sitio de almacenamiento y planta.

Tubería rota en el calentador de propano.

F1. Sobrepresión de la coraza del calentador y del tanque del glicol.

11a. Cubierto al estudiar el sistema de glicol.

Falla en la línea defectuosa, impacto, clima, corrosión.

G. Fuga de producto en área pública, con riesgo de ignición y pérdidas humanas.

12. Checar la ruta. Instalar barreras. Verificar regularmente espesores de tubería y patrullajes semanales.

13. Considerar la necesidad de agujeros para romper sifón en el tubo luego de adición del tanque buffer. ¿Se requiere alarma?

Flujo inverso

Pérdida en la presión y falla en la válvula check.

H. Igual que (B), disminuyendo la temperatura en la línea. Posible fractura.

14. ¿Es suficiente una válvula check?

15. ¿Soportará el tanque de almacén y sus válvulas de alivio?

PALABRA CLAVE	DESVIACION	CAUSAS POSIBLES	CONSECUENCIAS	ACCION REQUERIDA
Menos Menor	Menor flujo	La segunda bomba no está comisionada y se requiere.	M. Merma en la producción.	24. Comunicación. Verificar alarmas de bajo nivel función.
		Fugas.	N. Escape a la atmósfera. Posible causa de fuego.	25. Mínimo de juntas. Ver (6) y (12).
		Fuga en el calentador de propano.	O. Alta presión y temperatura subcero en el sistema de glicol.	26. Cubierto al analizar el sistema de glicol.
Menor presión	Menor presión	La válvula de alivio del buffer falla al reset. HIC abre por mal funcionamiento.	P. El propano líquido en la tubería se flashea hacia el tanque buffer, bajando la temperatura y pudiendo causar fracturas.	27. Considerar si HIC debe operar automático (normalmente cerrado) y a prueba de explosión. 28. Similar a (14).
			Q. El vaporizador en planta puede estar en riesgo por fractura al reducirse la presión en el buffer.	29. Cubrir posibles efectos en el sistema de vaporización al estudiarlo.
		El tanque buffer es evacuado (HIC) sin haberse aislado de la tubería.	R. Igual que (P), (Q).	30. Como en acción (14) 31. Indicar en instrucciones de operación la importancia de aislarse las líneas del buffer (¿Automatizarlo?).

65

PALABRA CLAVE	DESVIACION	CAUSAS POSIBLES	CONSECUENCIAS	ACCION REQUERIDA
	Menor temperatura	Inadecuado calentamiento por falla (sistema glicol, fouling).	S. Probabilidad de fracturas.	32. (14).
Parte De	Cambio en la composición (contenido de azufre)	Alta cantidad de material con azufre recibido.	T. Serios problemas de corrosión en cámara de combustión del usuario.	33. Analizar el producto antes descargar/embarcar.
A Parte De	Contaminación. (Nitrógeno).	El nitrógeno utilizado para presurizar durante el arranque no es purgado.	U. Mayor presión en el tanque buffer a lo normal. N ₂ presente en la alimentación al vaporizador.	34. Examinar efecto del N ₂ .
En Vez De, Otros	Errores de arranque.	La presurización con N ₂ no se lleva adecuadamente. El sistema de calentamiento de propano no es puesto correctamente.	V. Posible fractura si el LP entra a la línea debajo de -15°C, o cuando la presión de la línea es menor a 2 BARG.	35. Cubrir en las instrucciones y en el programa de entrenamiento, la importancia de estas etapas durante el arranque. Ver acción (14).



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

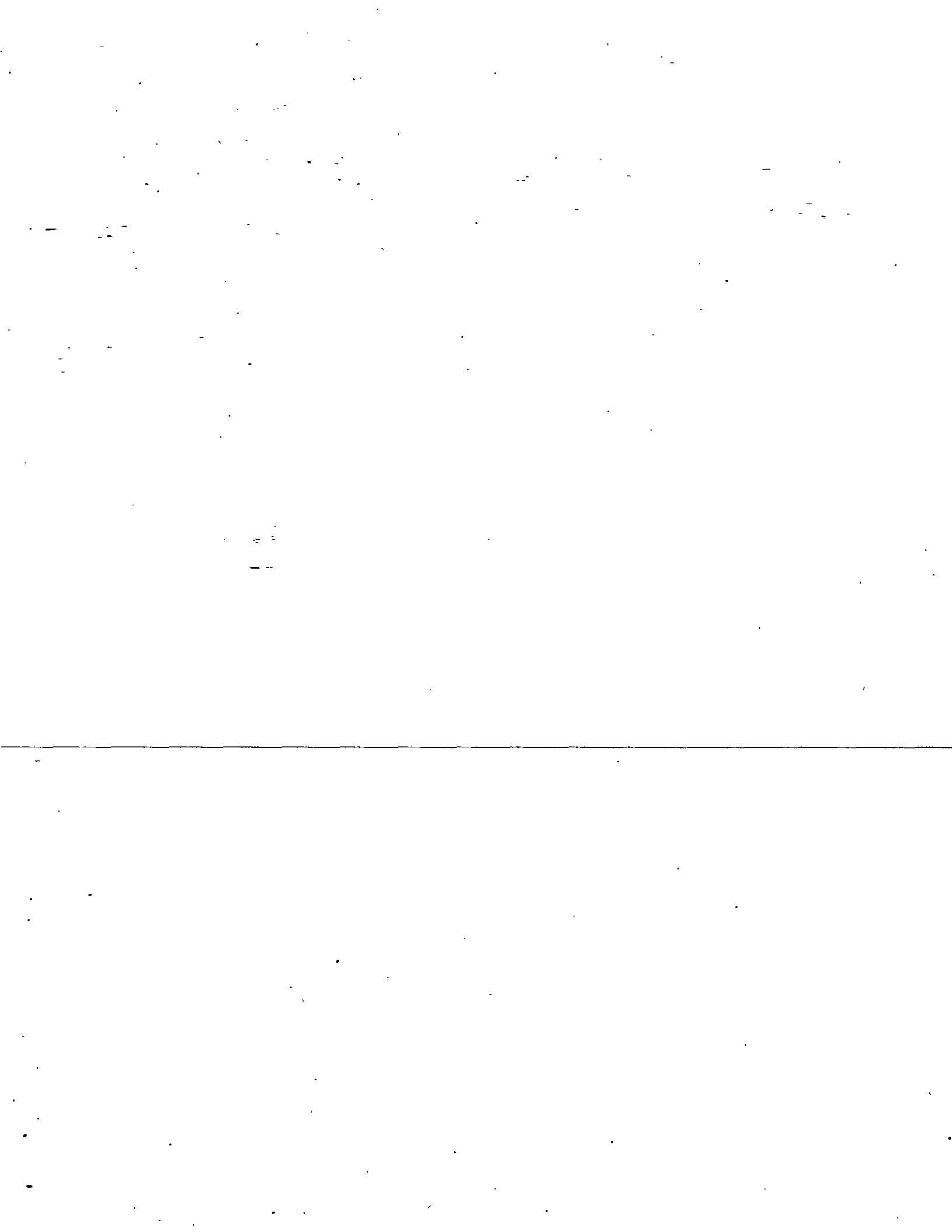
DIPLOMADO EN RIESGO AMBIENTAL

**MODULO III: METODOS DE ANALISIS DE RIESGO
(CUALITATIVO Y CUANTITATIVO)**

INDICE DOW

EXPOSITOR: ING. ENRIQUE JIMENEZ VARGAS

1997

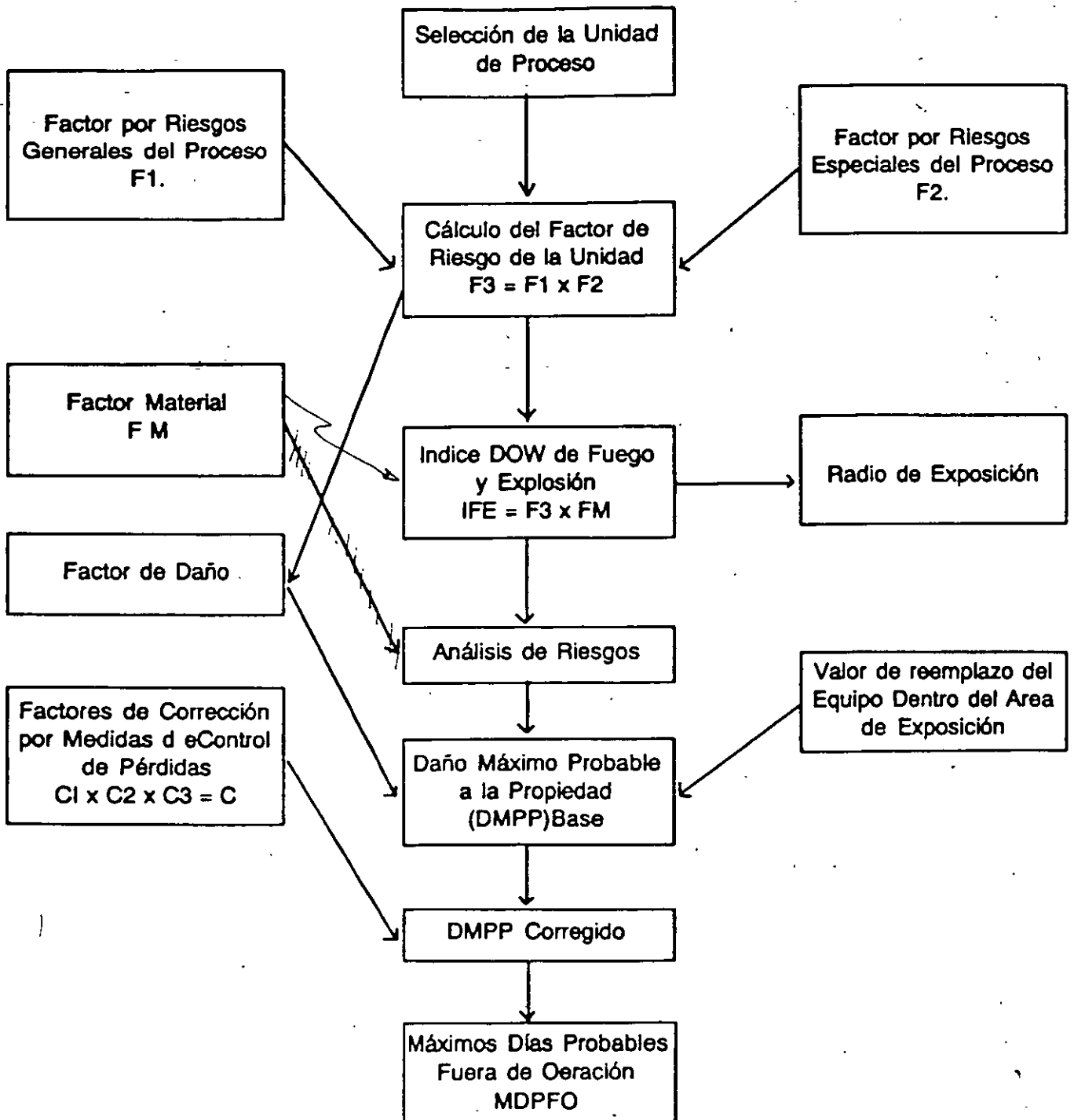


INDICE DOW

L- PROCEDIMIENTO DE APLICACIÓN DEL INDICE DOW.

1.- Diagrama de Flujo

Figura No. 1



2.- Requerimientos para aplicar el Índice Dow.

- a) Plano de localización de la planta (Plot Plant) preciso.
- b) Conocimiento profundo del flujo y condiciones de proceso.
- c) Diagrama de flujo detallado.
- d) Formato de trabajo Índice Dow.
- e) Guía de cálculo Índice Dow.
- f) Calculadora y compás.
- g) Relación de costos del equipo instalado en la planta.
- h) Procedimientos de operación y seguridad de la unidad.

MATERIAL CANTIDAD
- MAT PRIMA
- PROD.
- SUBPROD

3.- Secuencia de cálculo

Se inicia identificando, en el plano de localización, aquellas unidades o secciones de proceso que se consideren como las de mayor impacto o que contribuyan más al riesgo de fuego o explosión.

Se determina el factor material para cada unidad o sección. Se evalúa la contribución de cada factor de riesgo para determinar el factor de riesgo de la unidad y el factor de daño, que representa el grado de exposición a pérdidas.

Se calcula el Índice Dow de fuego y explosión (IFE) y el área de exposición alrededor de la unidad o sección analizada.

Se determina el valor en US Dls. del equipo dentro del área de exposición, con lo que se calcula el Daño máximo probable a la propiedad Base al cual se corrige por los factores por medidas de control de pérdidas obteniendo el Daño Máximo Probable a la Propiedad Actual o corregido, (eso también se logra relocalizando el equipo fuera del área de exposición.)

Con el Daño Máximo Probable a la Propiedad Actual, se determinan los Días Máximos Probables Fuera Operación. El DMPP actual representa la pérdida probable que pueda ocurrir si se presenta un incidente de magnitud razonable y operan varias protecciones, la falla de algún equipo de protección puede regresar el DMPP a su valor base,

Cada paso citado se explica en esta guía de cálculo de Índice Dow; se incluye una lista de áreas importantes de control de pérdidas en una Planta.

II. UNIDADES DE PROCESO

Para el estudio DOW, es necesario dividir el proceso en unidades o secciones, como puede ser; unidad de alimentación, almacenamiento, precalentamiento, reacción absorción, purificación, mezclado, destilación, etc. o considerar equipos específicos como bombas, tanques, reactor, evaporador, columna de destilación, etc.

El Índice Dow debe aplicarse en aquellas Unidades de proceso donde exista un gran impacto en el riesgo de incendio o explosión de acuerdo al material existente, reacciones o proceso peligroso.

El objetivo del grupo ARUP, será encontrar el área más grande de exposición en la Planta, y determinar los costos y días perdidos máximos que se podrían originar, así como las medidas necesarias para prevenir los riesgos que se encuentren.

III. FACTOR MATERIAL (FM)

El FM es una medida de la intensidad de energía liberada por un compuesto químico, mezcla o sustancia; y es el punto de partida para el cálculo del Índice de Fuego y/o Explosión.

El FM se determina considerando los riesgos de inflamabilidad y reactividad del material, y es un número entre 1 y 40, los cuales se reportan en el Apéndice A para algunos materiales, para determinar el factor material de materiales no listados en dicha apéndice, se procede de la siguiente manera:

1. Gases, Líquidos o Sólidos:

a) Use el NFPA 49 y 325 M y encuentre Nf (riesgo de inflamabilidad) y Nr (riesgo de reactividad).

b) Use las propiedades termodinámicas del material.

Inflamabilidad (Nf): se deriva del punto de flama (Flash Point) y del punto de ebullición cuando el punto de flama es menor a 100°F.

Reactividad (Nr): se deriva de los cálculos de reactividad química por cualquiera de los siguientes métodos:

- Usando la temperatura adiabática de descomposición (Td), que es la temperatura teórica alcanzada por el proceso de descomposición del material inicialmente a 25°C, sin considerar la presencia de trazas de impurezas, efectos catalíticos, atmosféricos, etc.

- Utilizando un calorímetro con rango de aceleración, o similar, para materiales con Td > 1000°K,

2. Polvos:

El FM se basa en la máxima velocidad de incremento de presión que alcanza, definida como la velocidad de aumento de presión de explosión para intervalo de tiempo de ese aumento.

3. Mezcla de compuestos:

El FM se obtiene de los datos de la mezcla (Punto de Flama, Td, etc.): otra manera es considerando el FM promedio de acuerdo al % en peso de los componentes, si los componentes no reaccionan entre si.

*Datos
de NFPA*

TABLA 1 GUIA PARA DETERMINAR FM

	Td K 2	< 830	830 a 935	935 a 1010	1010 a 1080	> 1080
	DTA/DSC	> 400	305 a 400	215 a 305	125 a 215	< 125
	NFPA 325	Nr = 0	Nr = 1	Nr = 2	Nr = 3	Nr = 4
No combustible.	Nf = 0	1	14	24	29	40
PF > 140°F	Nf = 1	4	14	24	29	40
140°F < PE < 100°F	Nf = 2	10	14	24	29	40
PF < 100 F PE > 100°F	Nf = 3	18	18	24	29	40
PF < 100 F PE < 100°F	Nf = 4	21	21	24	29	40
POLVOS O NIEBLAS COMBUSTIBLES						
ST 1 < 7300 psi/seg		18	18	24	29	40
ST 2 > 7300 < 22000 psi/seg		21	21	24	29	40
ST 3 > 22000 psi/seg		24	24	24	29	40
SOLIDOS COMBUSTIBLES						
Densio > 40 mm grueso 3		4	14	24	29	40
Abierto < 40 mm grueso 4		10	14	24	29	40
Celda de espuma cerrada 5		18				
Celda de espuma abierta		21				

1 No enciende en aire cuando se expone a 1500 F durante 5 minutos

2 Sumo 100 a Td para peróxidos

3 Incluye madera, magnesio en lingotes o estacas solidos

4 Incluye materiales como pellets plásticos, almacenamientos, rollos de papel

5 Incluye materiales de hule, como llantas, botas etc.

IV Riesgos Generales del Proceso

Los puntos contenidos en esta sección incrementan la magnitud de un probable incidente, por lo que deben ser revisados en relación a la unidad de proceso analizada y evaluar los factores adecuados.

A. REACCIONES EXOTERMICAS

1. El siguiente tipo de reacciones tienen un factor de 0.30: Hidrogenación, Hidrólisis, Isomerización, Sulfonación, Neutralización.

La Hidrólisis con Epiclorohidrina tiene un factor de 0.50.

2. Las reacciones de Alquilación, Esterificación, Oxidación, Polimerización y Condensación, tienen un factor de 0.50.

La Oxidación con oxidantes fuertes como cloratos, HNO₃, Ácidos Hipoclorosos, tienen un factor de 1.00.

3. La reacción de Halógenos tiene un factor de 1.00.

4. La reacción de Nitración tiene un factor de 1.25.

B. REACCIONES ENDOTERMICAS

Todas las reacciones endotérmicas tienen un factor de 0.20, excepto aquellas cuya fuente de calor, para sostener la reacción, sea proporcionada por combustión directa de combustibles sólidos, líquidos o gaseosos, las cuales tienen un factor de 0.40.

C. MANEJO Y TRANSFERENCIA DE MATERIALES

Se consideran actividades relativas a mezclado, carga y descarga, almacenaje y empaquetado.

1. En la carga y descargas de líquidos inflamables Clase I (PF < 100°F) o gas LP considerando actividades de conexión y desconexión de líneas de transferencia desde pipas, carros-tanques, barcos o tanques, se aplica un factor de 0.50.

2. El uso de centrifugas, reacciones batch, o mezclado en batch en recipientes semi-abiertos, tiene un factor de 0.50.

3. Bodegas y Patios de almacenamiento.

a) Líquidos inflamables Clase I o Gas LP o gases inflamables, factores de 0.85.

b) Sólidos combustibles abiertos o de capa abierta (espesor < 40mm), factor de 0.65.

c) Sólidos combustibles densos o de celda cerrada (espesor > 40mm), factor de 0.40.

d) Líquidos combustibles Clase II, factor de 0.25.

Los factores se aplican de acuerdo a la cantidad presente.

D. UNIDADES DE PROCESO CERRADAS

1. Si existen colectores o filtros para polvos explosivos, factores de 0.50.

2. Si contiene líquidos inflamables calentados arriba del punto de flama pero abajo del punto de ebullición, factor de 0.30.

3. Líquidos inflamables o Gas LP calentados arriba del punto de ebullición, factor de 0.60.

4. Mas de 10 M lb de material de los puntos 2 o 3, el factor se multiplica por 1.5.

E. ACCESO CON EQUIPO DE EMERGENCIA AL AREA DE PROCESO

Se debe poder llegar a la unidad de proceso con equipo de emergencia y combate de incendios por al menos 2 caminos distintos. Si el acceso es inadecuado, el factor sera de 0.35.

F. DRENAJE

Un drenaje inadecuado incrementa las pérdidas por fuego cuando se produce un derrame de inflamables, para la evaluación de este punto se ^ssume que el 75% del liquido inflamable contenido en la unidad se derrama, si queda liquido rodeando la unidad se aplica un factor de 0.50, si el drenaje es directo o un contenedor, se aplica un factor de 0.25.

V. Riesgos Especiales del Proceso

A. TEMPERATURA DE PROCESO

1. Si la temperatura del proceso o de las condiciones de manejo es o esta sobre el punto de flama del material, se usa un factor de 0.30.

2. Si la temperatura del proceso o de las condiciones de manejo es o esta sobre el punto de ebullición el factor de 0.60

3. Para materiales con baja temperatura de autoinducción o pirofóricos, como el CS2 o el Hexano, se usa un factor de 0.75.

B. BAJA PRESION (SUB-ATMOSFERICA)

Se aplica a cualquier proceso donde la entrada de aire al sistema pueda ser un riesgo. El factor aplicable a cualquier Equipo de proceso que opere a presión sub-atmosferica, aun momentáneamente, es de 0.50.

C. OPERACION EN O CERCA DEL RANGO INFLAMABLE

1. Tanques de almacenamiento de líquidos inflamables Clase I donde pueda entrar aire durante el bombeo, factor 0.50.

2. Procesos u operaciones donde se pueda caer en el rango inflamable o cerca de el, solo en caso de fallas de instrumentos o falla de purga, factor de 0.30.

3. Procesos u operaciones donde se opere cerca o en el rango inflamable sea porque no se pueda purgar, por el proceso en sí, o por diseño, tiene un factor de 0.80.

4. La descarga de pipas o carros tanques que involucren un relleno, factor de 0.40.

D. POLVOS EXPLOSIVOS

Tamaño de partículas ()	Mesh de Malla Tyler	Factor
mas de 175	60 a 80	0.25
150 a 175	80 a 100	0.50
100 a 150	100 a 150	0.75
75 a 100	150 a 200	1.25
menos de 75	más de 200	2.00

Si se transporta o maneja con gas inerte, el factor sera la mitad del señalado.

E. PRESION

Esta sección se refiere a las unidades de proceso que operan a alta presión y que tienen dispositivos de alivio, tales como discos de ruptura, válvulas de alivio, etc.

La Figura No. 2 indica el valor del Factor en función de la presión de calibración del dispositivo de alivio. El factor se modificara de acuerdo a los siguientes puntos:

1. Si se manejan materiales altamente viscosos, se multiplica por 0.70.
2. Si son gases comprimidos, se multiplica por 1.20.
3. Si son gases licuados inflamables o materiales con presión vapor de 40 psig o mas, se multiplica por 1.3.

Esta sección no se aplica a procesos de extrusión o moldeado.

F. BAJA TEMPERATURA

Esta sección estima los posibles daños que ocurren en el área al carbón en o bajo de su temperatura de transición, sin considerar si el equipo no opera a temperaturas abajo de la transición con el que esta construido.

1. Para equipos de acero al carbón operando entre 10 y -29 c (50 y -20°f), factor de 0.30
2. Si el acero al carbón se usa abajo de -29 c (20°f), factor de 0.50
3. Para otros materiales en o bajo de su temperatura de transición, factor de 0.20

G. CANTIDAD DE MATERIAL INFLAMABLE

1. Líquidos inflamables o combustibles, gases licuados o gases varias etapas de proceso, se obtienen los BTUx10 a la 9 totales, multiplicando las libras del material por Hc; con este dato en la figura No. 3 se determina el valor del factor.

Los líquidos combustibles con punto de flama arriba de 140°f, solo se consideran si la temperatura del proceso es mayor al punto de flama del material.

En los materiales inestables se determina el valor del factor utilizando 6 veces el valor del calor de descomposición en BTU/lb ($H_b = (T_d - 300) \times 0.70$).

2. Líquidos o gases en almacenamiento; En este punto se analiza el riesgo que representan los líquidos inflamables o combustibles, los gases licuados o gases en almacenamiento, aplicándose el proceso en tambores, tanques y en tanques portátiles.

El factor se basa en los BTU totales de un solo recipiente de almacenamiento, excepto en el caso de tambores donde se utiliza la cantidad total almacenada en tambores.

Los materiales inestables se evalúan en función del calor de descomposición.

El factor se evalúa por medio de la figura 4 en la curva que corresponda.

Cuando hay más de un recipiente en un área de tanques con un dique común, y no hay drenaje hacia un contenedor seguro, se evalúan los BTU de todos tanques para obtener el factor.

3. Sólidos combustibles en almacenamiento. El factor se evalúa considerando las libras totales de sólidos combustibles almacenados en un área aislada de otras, utilizando la Figura No.5, de acuerdo a la densidad del material.

H. CORROSION Y EROSION

Esta sección considera tanto corrosión externa como interna.

1. Velocidad de corrosión menor a 0.5 mm/año, factor de 0.10
2. Velocidad de corrosión de 0.5 mm/año a menos de 1.0 mm/año, factor de 0.20.
3. Velocidad de corrosión mayor a 1.0 mm/año, factor de 0.50
4. Riesgo de que la corrosión desarrolle esfuerzos de ruptura, factor de 0.75.

I. FUGAS-JUNTAS Y EMPAQUES

1. Bomba y prensaestopas sellados de manera que solo puedan dar fuga menores, factor de 0.10.
2. Si se sabe que se tendrán problemas regulares de fugas en bombas, compresores y juntas, factor de 0.30.
3. Si la naturaleza del fluido puede causar problemas continuos en los sellos, el factor es de 0.40.
4. Juntas de expansión, tubos o juntas flexibles y mirillas de vidrio, tienen un factor de 1.50.

J. EQUIPO CALENTADO CON FUEGO DIRECTO

La localización de los equipos calentados con fuego directo (Hornos, Calderas, etc.) en una unidad de proceso, aumenta la exposición a un incendio o explosión cuando hay alivio de vapores inflamables. Si el líquido inflamable se derrama, para formar una mezcla vapor-aire inicial de algún grado de peligrosidad. La cantidad de fuga, la probabilidad de ignición, la cual aumenta si el líquido que fuga está calentado arriba de su punto de fuga, determina la probabilidad de ignición, la cual aumenta si el líquido que fuga está calentado arriba a su punto de ebullición, la fuente de fuga al equipo.

Los equipos operados con quemadores de presión, aplican solo la mitad del vapor del factor.

K. INTERCAMBIO DE CALOR CON ACEITE

Los sistemas que utilizan aceites combustibles como medio de intercambio de calor, presentan una exposición adicional al fuego cuando opera arriba de su punto de flama. El vapor del factor depende de la cantidad utilizada y de la temperatura de operación sin considerar las partes del sistema usadas como almacenamiento o que no tienen alimentación automática, excepto si es la unidad estudiada.

TABLA 3

Cantidad de aceite (gal)	T sobre punto de flama	T sobre punto de ebullición
< 5 M	0.15	0.25
5M a 10 M	0.30	0.45
10 M a 25 M	0.50	0.75
> 25 M	0.75	1.15

L EQUIPO ROTATORIO-BOMBAS

La evidencia estadística indica que los equipos rotatorios, como bombas y compresores, arriba de cierto tamaño contribuyen a producir incidentes de perdidas, por lo que las unidades de proceso que utilicen bombas mayores a 75 hp o compresores desde 600 hp tienen un factor de 0.50.

VI. Determinación del Factor de Riesgo de la Unidad, (F3)

El factor de riesgo de la unidad es el producto del factor de riesgos generales del proceso (F1) y el factor de riesgos especiales del proceso (F2), siendo cada uno la suma de los factores considerados mas de 1.00 que es la base del factor. El factor de riesgo de la unidad (F3), es la medida de la magnitud del daño probable relativo a la exposición a la combinación de los factores utilizados en el análisis y es un valor de 1 a 8.

El factor de daño es la magnitud de daño probable y esta en función del factor de riesgo de exposición y se calcula multiplicando el factor material como se muestra en la Figura No. 7.

VII. Detreminación del Índice DOW de fuego y Explosión (IFE)

El IFE es la probabilidad de daño de un fuego o explosión al área determinada por el radio de exposición y se calcula multiplicando el factor material por el factor de riesgo de la unidad.

Aunque un fuego o una explosión no afectan un área perfectamente circular, por lo que no producen el mismo daño en todas direcciones, por depender de la dirección y velocidad del viento, posición del equipo, drenajes, etc., para poder calcular el área de exposición se considera circular, como la necesaria para retener un derrame de liquido inflamable de 8 cm de profundidad, y los radios de sobrepresion de varias mezclas vapor-aire, Estos 2 tipos de exposición se han relacionado con el IFE para determinar el radio de exposición como se muestra en la Figura No. 8.

TABLA 4 CLASIFICACION DE RIESGO

IF E	TIPO DE RIESGO
1-60	Ligero
61-96	Moderado
97-127	Intermedio
128-158	Grave
más de 158	Severo

VIII. Determinación del daño Máximo probable a la propiedad Base (DMPP)

El DMPP base, se obtiene del valor de reemplazo del equipo del área de exposición.

Valor de Reposición = Costo original x 0.82 x Factor de Escalacion
 (\$Us Dils Cy)

0.82 es la corrección estadística por partes no sujetas a reemplazo, tales como, materias primas y materiales considerando el 80% de capacidad para tanques de almacenamiento, 70% de capacidad para bodegas y la capacidad de diseño de los recipientes y líneas de proceso.

La suma de estos costos del valor de reposición multiplicada por el factor de daño nos da el DMPP base.

IX. Factores de Corrección por medidas de Control de Perdidas

En el diseño y operación de plantas y edificios, se incluyen factores básicos de seguridad que contribuyen a minimizar la exposición de un área donde pueda ocurrir un riesgo a reducir la probabilidad y magnitud del riesgo. Estos factores se utilizan para reducir el DMPP base a un valor actual y se han dividido en 3 grupos: C - referente a control de proceso, C2 - aislamiento del material y C3 - protección contra incendios. Cada grupo contiene una serie de elementos afines, que al evaluarlos y multiplicarlos entre sí, se obtiene el factor de cada grupo (C1 - C2 y C3); el producto de los factores de grupo nos da el factor de corrección global (C1 x C2 x C3 = C) y al referirse a la Figura No. 9, obtenemos el factor de corrección actual o definitivo. El producto del factor de corrección actual por el DMPP base nos da el DMPP actual. En el apéndice B se listan algunas medidas y dispositivos importantes de Control de perdidas y daños.

C1. Control de Proceso.

1. Energía de Emergencia para los servicios esenciales, factor 0.97.
2. Sistema de Enfriamiento capaz de mantener un enfriamiento normal durante 10 min. en una condición anormal, el factor es de 0.98; si es capaz de dar el 50% de los requerimientos en esos 10 min. el factor es de 0.95.
3. Control de Explosiones: si hay sistema de su presión de explosión instalados en los equipos de proceso, el factor es de 0.75; si hay dispositivos de alivio de presión o de venteo de explosiones el factor es de 0.95.

4. Paro de Emergencia: si el sistema de reduante, activado por 2 o 3 condiciones anormales, el factor es de 0.98; si los equipos críticos rotatorios (turbinas, compresores, etc.) tienen detector de vibraciones y solo alarma, el factor es de 0.98, si inicia el paro el factor es de 0.94.

5. Control por Computadora: si la computadora es solo una ayuda para los operadores y no controla las operaciones claves directamente o si la Planta se opera frecuentemente sin la computadora, aplique un factor de 0.98, si la computadora controla con falla segura lógica y con control directo use 0.95, si se utiliza alguna de las siguientes opciones, aplique un factor de 0.89.

- a) Entrada a campos críticos redundantes.
- b) Capacidad de abortar a salidas críticas.
- c) Capacidad de registros de los sistemas de control.

6. Gas Inerte: Si los equipos que contienen vapores inflamables están blanqueados con gas inerte, el factor es de 0.94; si la capacidad de gas inerte es tal que permita purgar toda la unidad, el factor es 0.90.

7. Instrucciones de Operación: sume los valores de los procedimientos e instrucciones siguientes que la unidad cubra y aplique la relación $1.0 - x/100$, para el total, el factor es 0.86.

- a) Arranque, 0.50
- b) Rutina de paro, 0.50
- c) Operación normal, 0.50
- d) Cambio de condiciones de operación, 0.50
- e) Condiciones de espera de corrida o total recirculación, 0.5
- f) Condiciones sobre la capacidad de operación 1.00
- g) Arranque después de paro por mantenimiento, 1.00
- i) Procedimientos de mantenimiento, permisos, entrega, candado, 1.50
- j) Paro de emergencia, 1.5
- k) Modificaciones o adiciones a equipo y tubería, 2.00
- l) Revisión de situaciones anormales de falla, 3.00

8. Análisis de Reactivos Químicos: si existe programa continuo como parte de la operación, aplique un factor de 0.85; si el análisis es ocasional, aplique 0.96.

C2 - Aislamiento del Material

1. Válvulas de Control de Remoto: si aíslan secciones de transferencia, tanques de almacenamiento o de proceso, el factor es 0.94

2. Descarga a Verdaderos: si se cuenta con un vertedero de emergencia donde se reciban los desechos de una fuga de proceso, aplique un factor de 0.96, si el vertedero está en un área exterior al proceso, use 0.94, si los vapores van a un flare o a un recibidor, el factor es de 0.94.

3. Drenaje: si el drenaje tiene una pendiente mínima de 2% y la trinchera es capaz de manejar mínimo el 75% del contenido de proceso, aplique 0.85, si cuenta con un vertedero para grandes fugas, pero puede manejar hasta el 30% de contenidos, el factor es de 0.95. El área de tanques en dique no tiene factor por seguridad, a menos que dentro del dique exista una pendiente que lleve los derrames a un vertedero localizado a mínimo un diámetro de tanque de distancia, el factor es de 0.95.

4. Interlock: el factor es de 0.96 si el proceso cuenta con un sistema de interlock que prevenga flujo de material incorrecto o reacciones no deseadas.

C3 - Protección contra incendio.

1. Detección de Fugas: si se cuenta con detectores de vapores que alarmen e identifiquen la zona de fuga, aplique 0.97, cuando alarme al 25% del límite inferior de explosividad y actúe de protección al 75%, el factor es 0.90.

2. Acero Estructural: si está recubierta a una altura de 3m. aplique 0.97; si está recubierta de 3 a 6 m. use 0.95, si el recubrimiento esta a mas de 6m use un factor de 0.92.

3. Tanques Recubiertos: si el tanque tiene doble envolvente donde el segundo cuerpo pueda contener la carga total, factor de 0.85, si el tanque es recubierto bajo o sobre tierra con un contenedor o pared de retención con una línea de retorno, el factor es de 0.75.

4. Suministro de Agua: si la presión en el punto de descarga es de 100 psi o mas, el factor es de 0.90, si es menor a 100 psi, aplique 0.95.

5. Sistemas Especiales: si la unidad cuenta con sistemas de CO₂, polvo químico seco, detectores de humo, temperatura o ionización el factor es de 0.85.

6. Sistemas de Rociadores: factor de 0.90, para sistema diluvio, los sistemas seco y húmedo tienen un factor de acuerdo a la densidad de diseño y corregido por el área a proteger.

TABLA 5

DENSIDAD gpm/ft ²	FACTOR
---------------------------------	--------

<0.20	0.80
0.21 a 0.34	0.70
>0.35	0.60

TABLA 6

CORRECCION DEL FACTOR POR AREA PROTEGIDA

AREA (ft ²)	FACTOR POR
>10 000	1.10
>20 000	1.15
>30 000	1.20

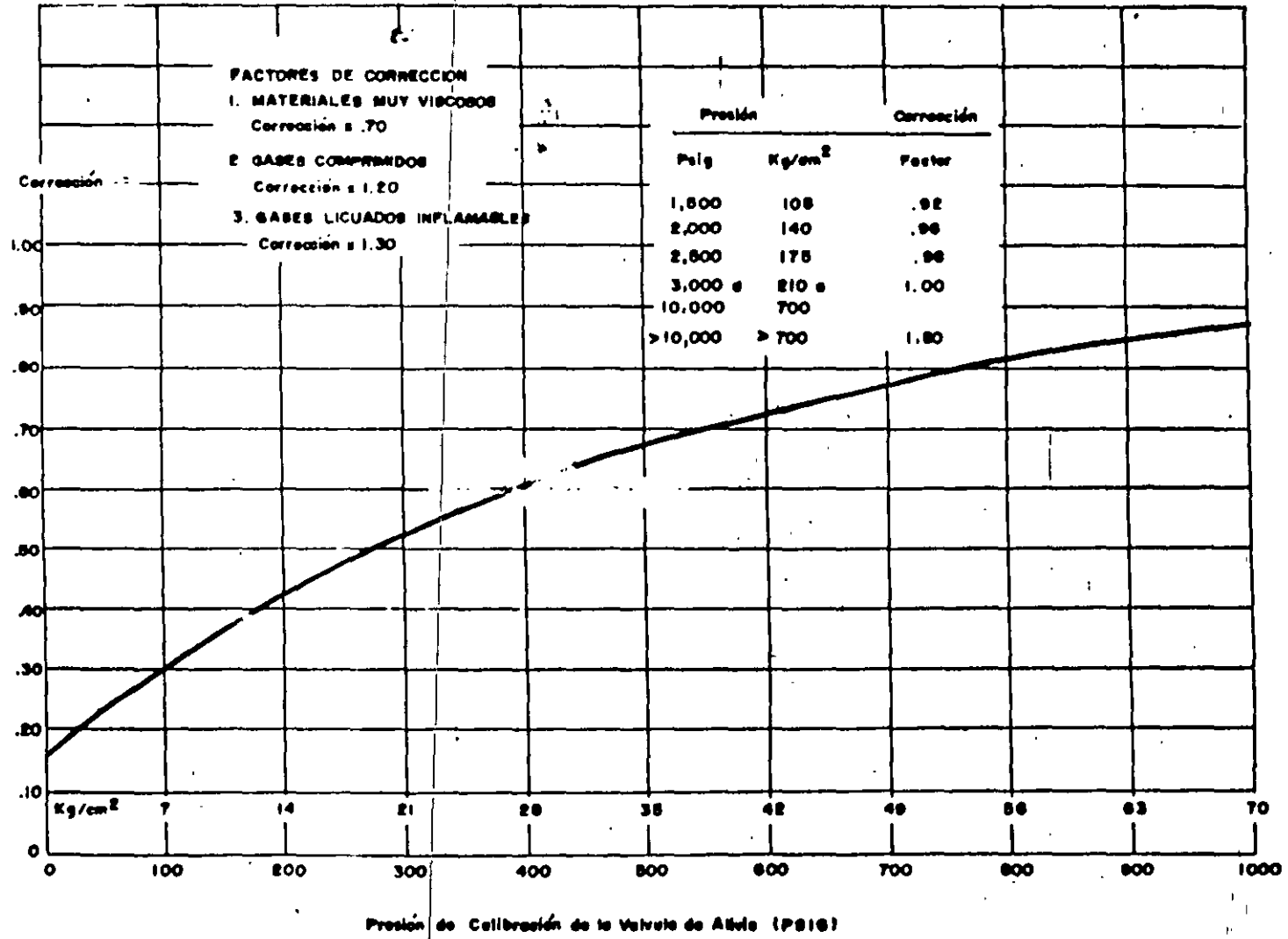
7. Cortinas de Agua: si utilizan cortinas de agua entre la fuente de vapores y la fuente de ignición a menos de 25 m de la fuente de vapores compuesta de una sola hilera de boquillas, elevadas a máximo 5 m aplique un factor de 0.97, si se cuenta con una segunda hilera a máximo 2 m de la primera use un factor de 0.95.

8. Espuma: si se puede inyectar solución espumante al sistema diluvio desde una estación remota manual, el factor es de 0.90, si el sistema de espuma es automático utiliza 0.87, si hay estaciones de espuma en los tanques de techo flotante, el factor es 0.95, si se utilizan dispositivos para la detección del inicio de un fuego use 0.90, si se utilizan como cámaras de espuma o sistemas superficiales en tanques de techo cónico, el factor es 0.98, si se cuenta con estaciones de espuma exteriores a los envoltentes de tanques de inflamables, el factor es 0.95, si se utilizan monitores o mangueras para aplicar la espuma, el factor es de 0.95.

9. Extintores Portátiles: canones monitores: si se utilizan con la cantidad suficiente de extintores, se aplica 0.97, si además se cuenta con canones monitores se utiliza 0.95, si el canon monitor se puede operar a control remoto, se aplica factor de 0.92.

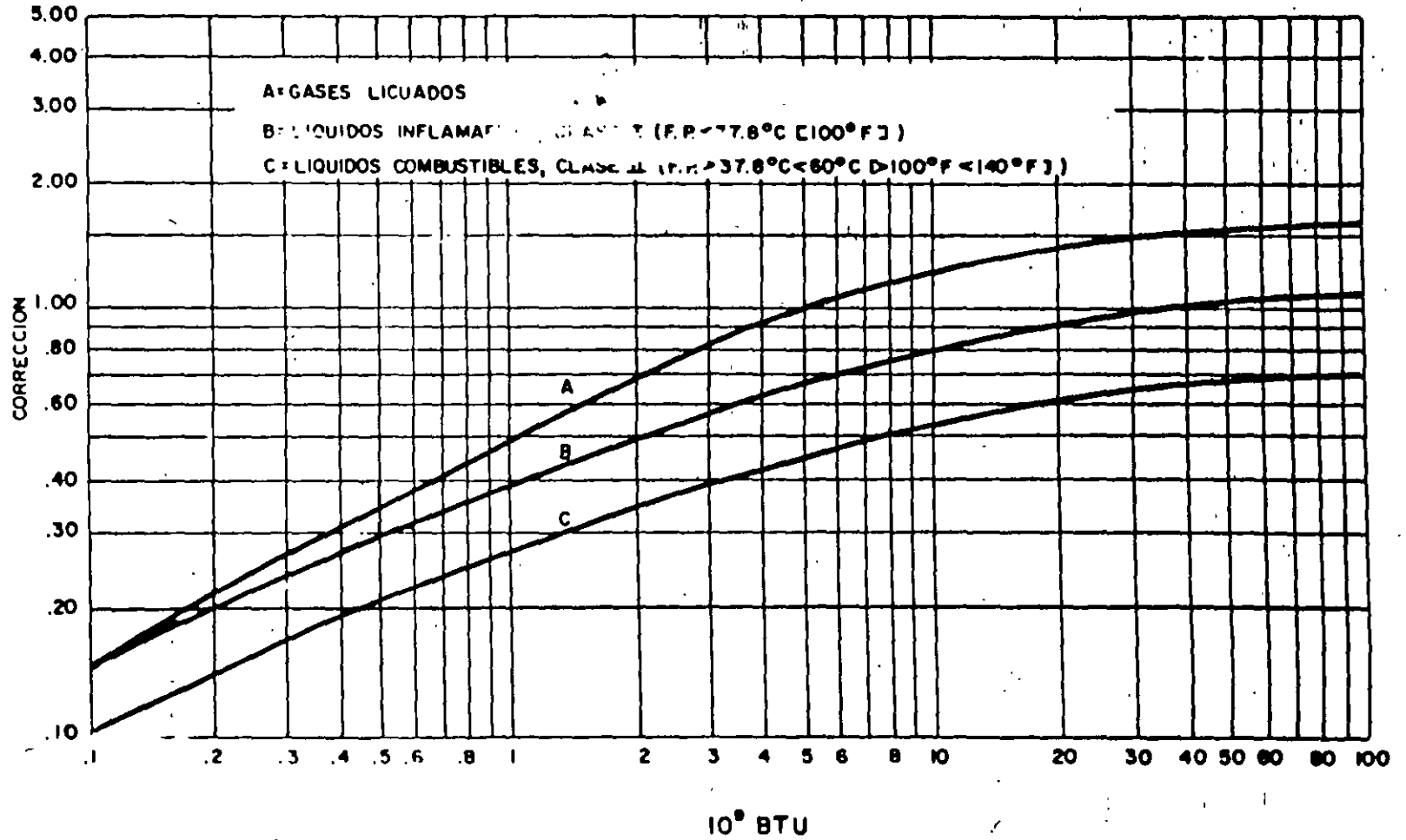
Fig-2

- PRESION-CALIBRACION PARA VALVULAS DE ALIVIO PARA LIQUIDOS INFLAMABLES Y COMBUSTIBLE



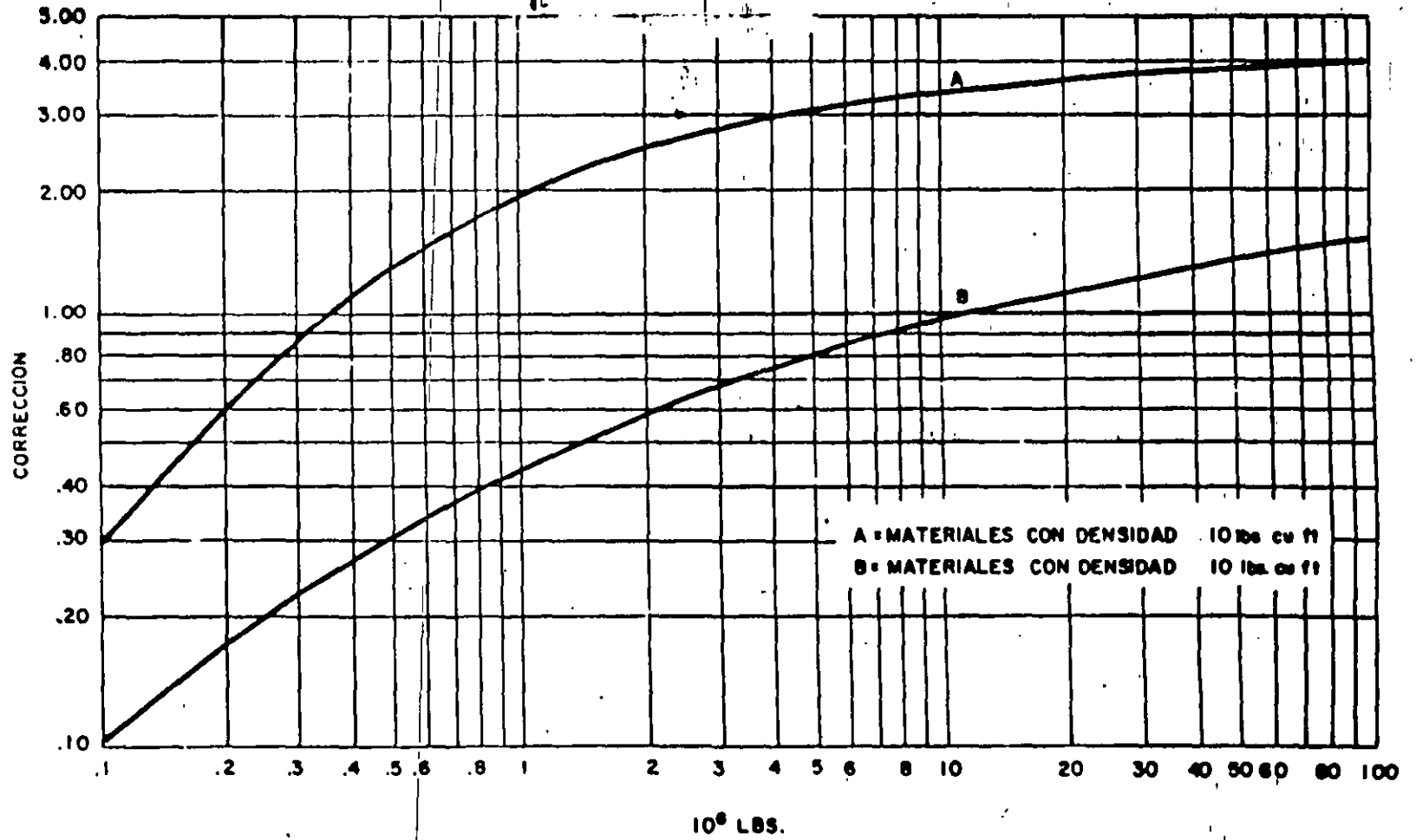
13

FIG. 4 — LIQUIDOS O GASES ALMACENADOS



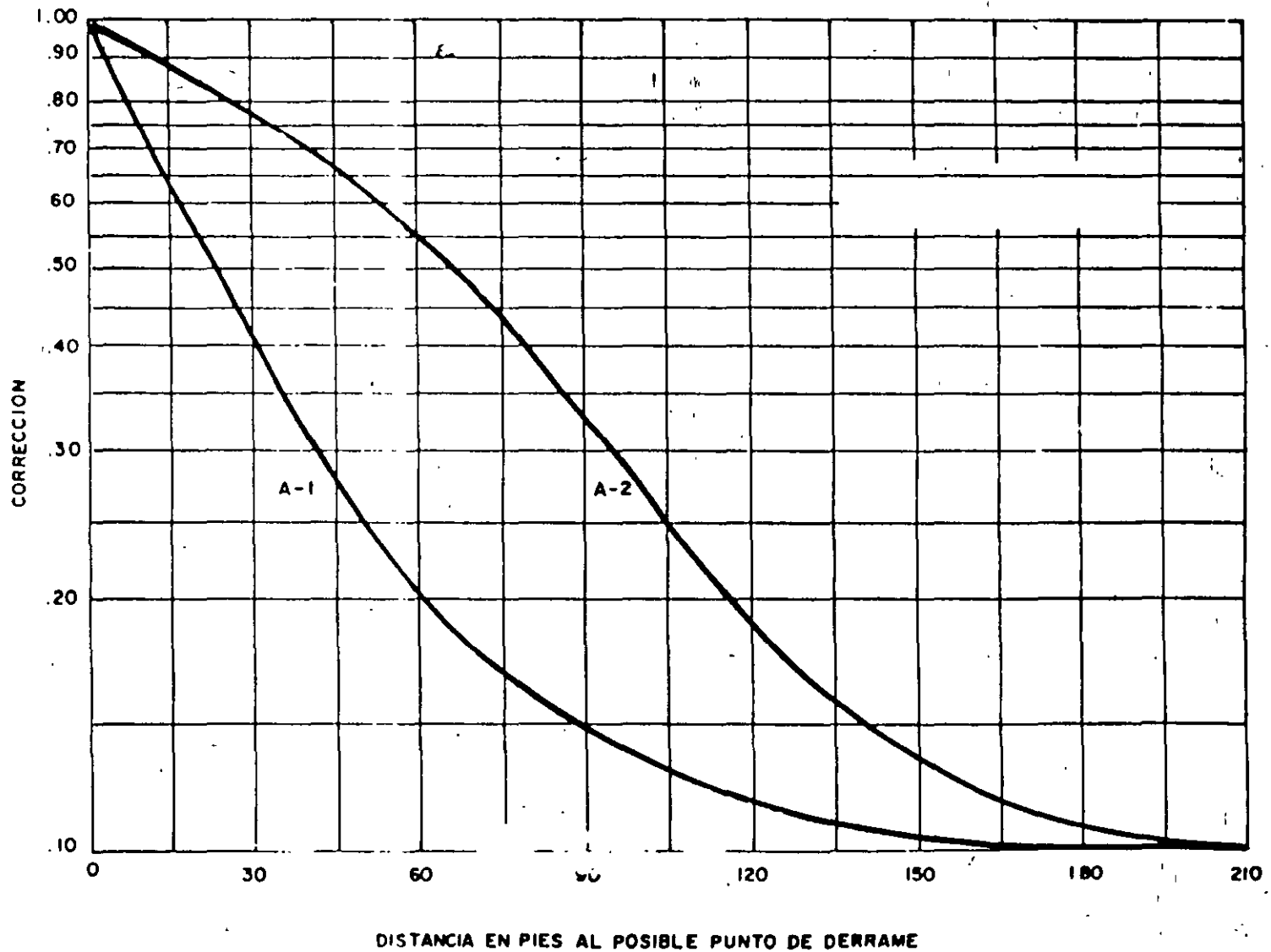
141
D.

FIG. 5 - SÓLIDOS COMBUSTIBLES ALMACENADOS



15
0.

FIG. 6 - FACTOR DE CORRECCION POR EQUIPO VS. INCENDIO (INSTALADO AREA DE PROCESO)



16.

FIGURA 7 — RIESGO DE LA UNIDAD (F_3)

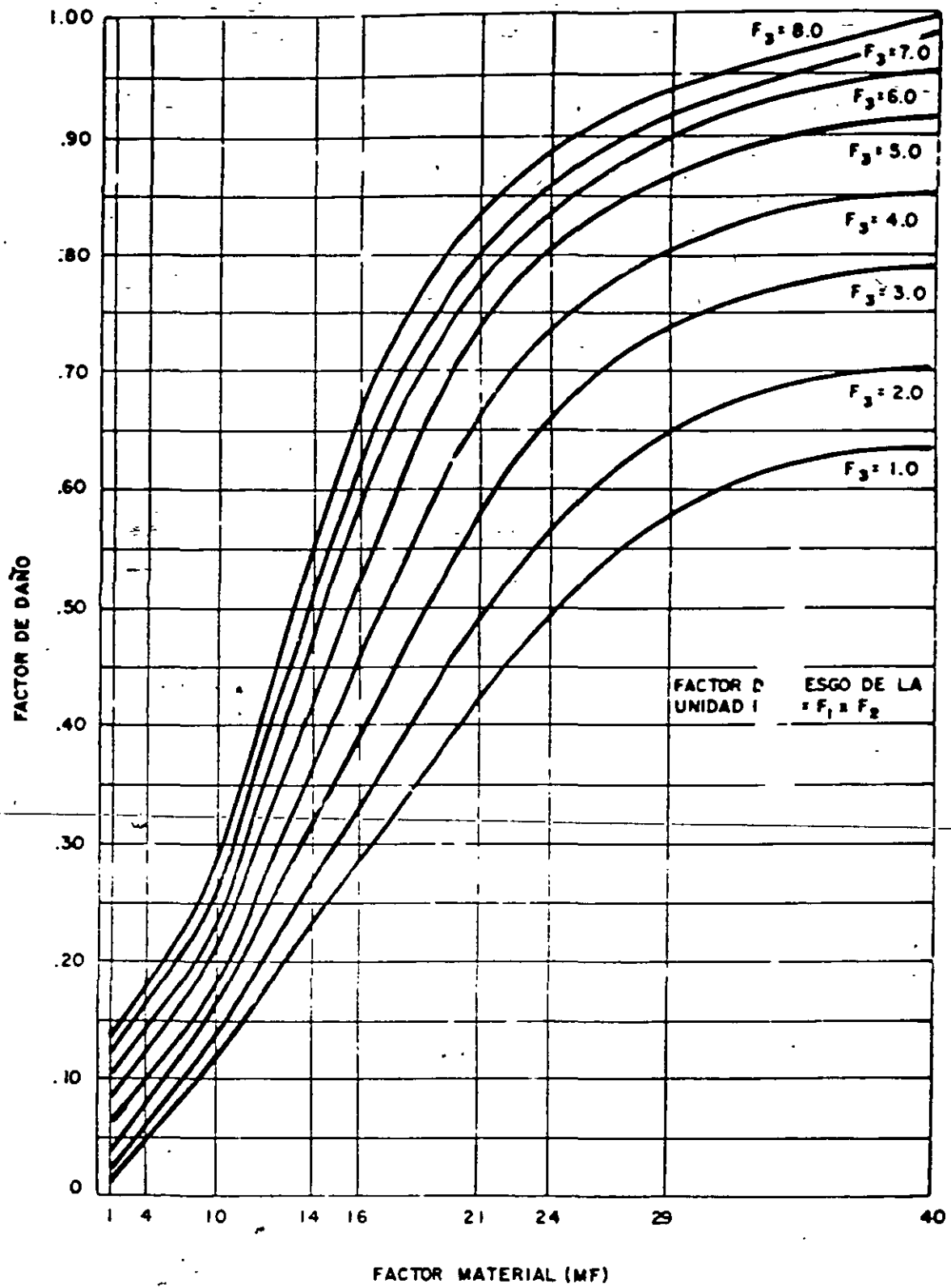
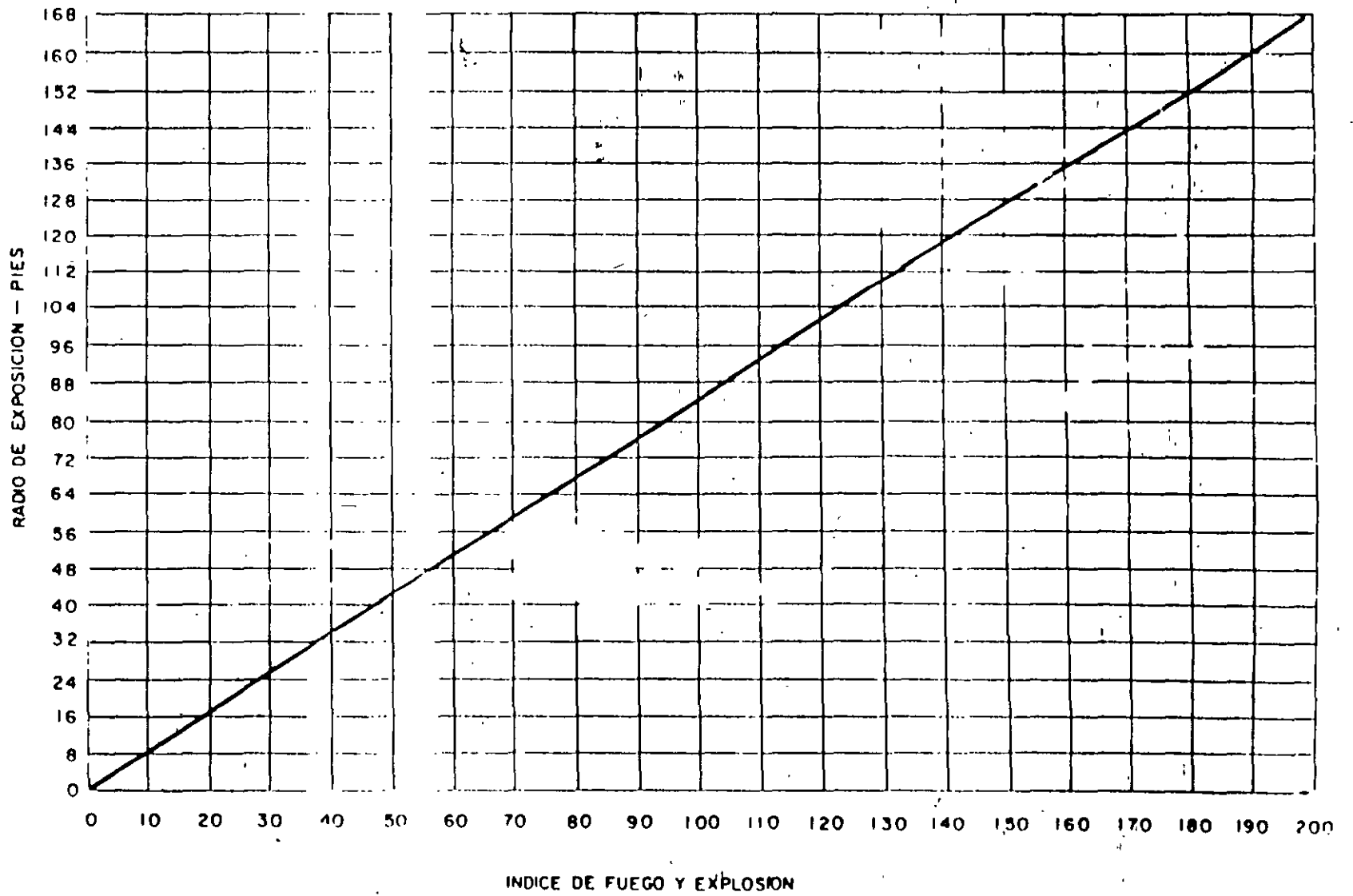


FIGURA 8 - AREA DE EXPOSICION



8

FIGURA 9 - FACTOR DE CREDITO

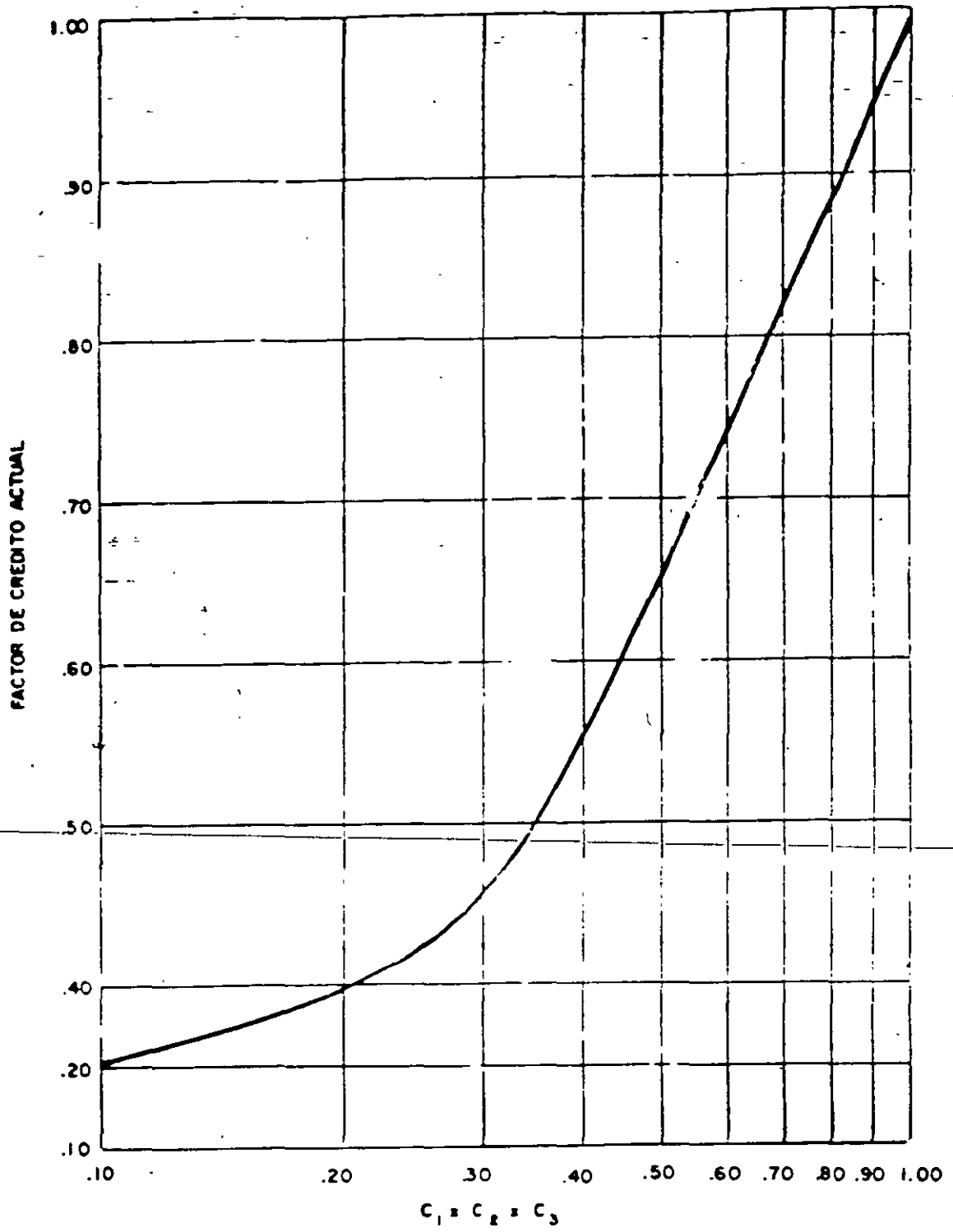
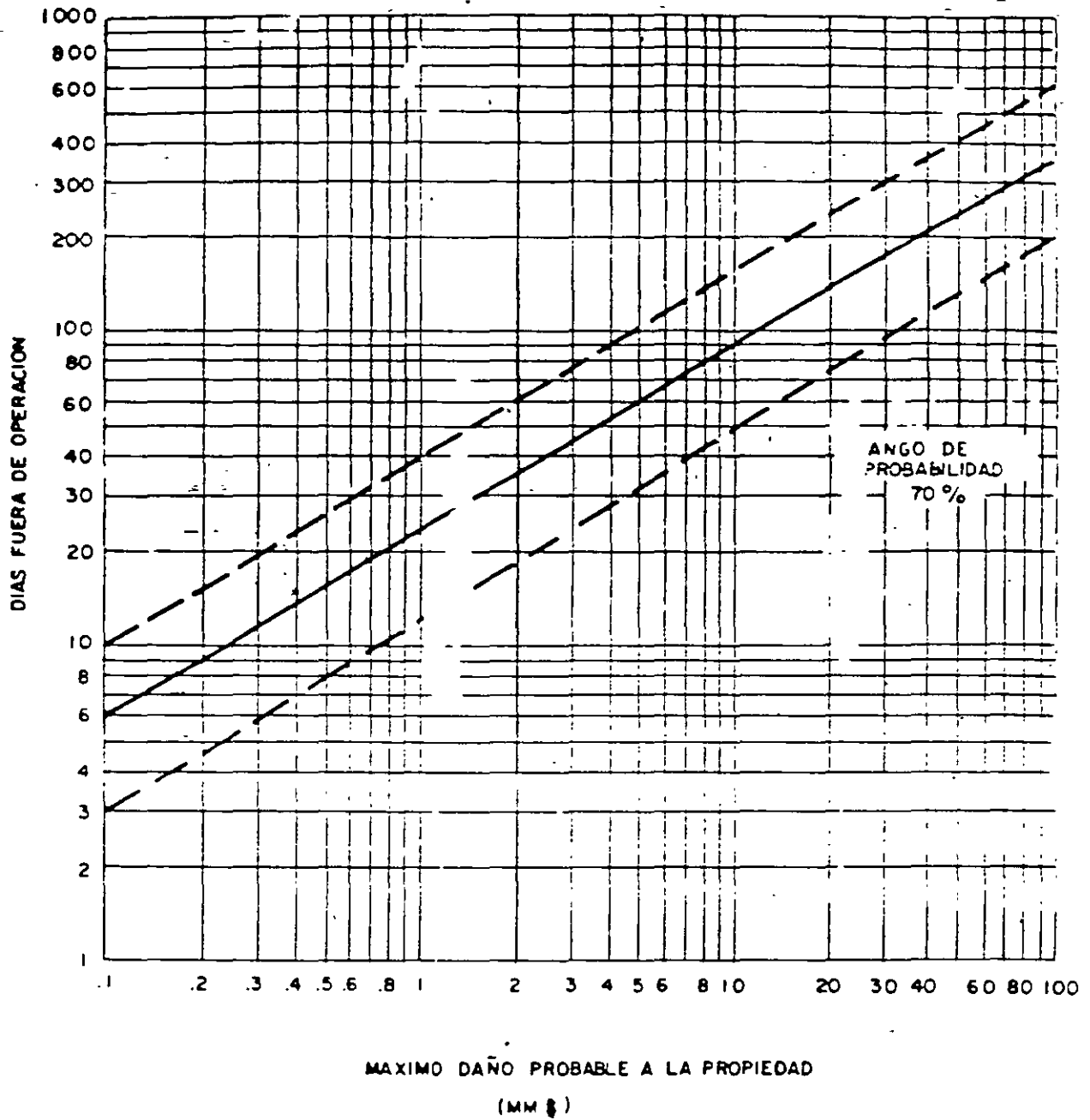


FIGURA 10 - MAXIMOS DIAS PROBABLES FUERA DE OPERACION (MPDO)



APENDICE A

FACTOR MATERIAL (FM)

COMPUESTO	FM	T _g °K	Hc BTU/lb x10 ³	Clasific. NFPA			Punto de Fusión °F	Punto de Ebullición °F
				SH	MF	Nr		
Aceite Lubricante (Lube Oil)	4	(4)	19.0	0	1	0	350/400	
Aceite Mineral	4		17.0	0	1	0	380	680
Acetaldehído	24	866	10.5	2	4	2	-36	70
Acetato de l-Amilo	16	705	14.4	1	3	1	77	300
Acetato de Amilo	16	659	14.6	1	3	0	89	249
Acetato de Bencilo	4	817	12.3	1	1	0	216	417
Acetato de Etilo	16	735	10.1	1	3	0	24	171
Acetato de Isopropilo	16	696	11.2	1	3	1	40	194
Acetato de Metilo	16	704	8.5	1	3	0	14	140
Acetato de Propilo	16	625	11.2	1	3	0	58	215
Acetato de Vinilo	16	843	9.7	2	3	1	18	161
Acetato de n-Butilo	16	715	12.2	1	3	0	72	260 (1)
Acetil Etilanolamina	14	770	9.4	1	1	1	355	
Acetil Tributil Citrato	4	693	10.9		1	0	400	343
Acetileno	40	2898	20.7	1	4	4	Gas	-118
Acetona	16	794	12.3	1	3	0	0	134
Acetona Cyanohidrina	24	833	11.2	4	1	2	165	248
Acetonitrilo	24	875	12.8	3	3	2	42	179
Acido 3,5-Dicloro Salicílico	24	847	5.3	0	1	2		
Acido Acético	20	634	5.6	3	2	0	109	245
Acido Acetilsalicílico (P)	4	775	8.9	1	1	0		
Acido Acrílico	14	787	7.6	3	2	1	130	287
Acido Benzoico	4	763	11.0	2	1	0	250	482 (1)
Acido Cianhídrico	29	2524	10.3	4	4	3	0	79
Acido Estéarico	4	528	15.9	1	1	0	385	726
Acido Fórmico	4	499	3.0	3	1	0	156	213
Acido Metacrílico	24	706	9.3	3	1	2	171	316
Acido Oléico	4	634	16.8	0	1	0	372	432
Acido Peracético	40	1076	4.8	3	2	4	105	221
Acido Perclórico	29	1003	(2)	3	0	3		397
Acido Sulphúrico	21	305	6.5	3	4	0	Gas	-76
Acilamida	14	757	9.5	2	1	1		257
Acrilato de Butilo	24	775	14.2	2	2	2	120	293
Acrilato de Etilo	16	835	11.0	2	3	1	60	211
Acrilato de Metilo	24	859	18.7	2	3	2	27	176
Acetonitrilo	40	1553	13.7	4	3	4	32	171
Acroleína	24	947	11.8	4	3	2	-15	125
Alcohol Alílico	16	826	13.7	4	3	1	70	206
Alcohol Fenílico	4	526	13.5	1	1	0	113	413
Alcohol Isobutílico	16	622	11.5	1	2	0	55	115
Alcohol Isopropílico	16	607	14.7	1	3	0	82	225
Alcohol Propargílico	24	564	11.1	1	3	0	53	187
Alcohol Propérgico	24	1112	12.6	3	3	2	97	239
Alcohol Propílico	16	615	12.4	1	3	0	77	207
Alitamina	16	838	15.4	3	3	1	-20	128
Amoniaco	4	Endo	8.0	3	1	0	Gas	-28
Anhidrido Acético	24	793	7.1	4	2	2	129	284
Anhidrido Maléico	14	899	5.9	3	1	1	215	396
Anilina	14	821	15.0	4	1	1	158	364
Azufre	4	302	4.0	2	1	0		
Benceno	16	867	12.3	2	3	1	12	176
Benzaldehído	24	906	13.7	2	1	2	149	355
Benzina (Nafta)	16	(4)	18.0	1	3	0	28/85	212/350 (1)

COMPUESTO	FM	Td °K	Hc BTU/lb x 10 ³	Clasific. NFPA			Punto de Fiebo °F	Punto de Ebul. °F
				Nh	Nf	Nr		
Benzato de Etilo	4	800	12.2	1	1	0	204	414
Bisfenol A	14	795	14.1	2	1	1	175	428
Bisulfuro de Carbono	16	755	8.1	2	3	0	-22	115 (5)
Borato de Metilo	16			2	3	1	80	156
Bromo	14	300	0.0	4	1	1		
Bromobenceno	14	918	8.1	2	2	1	124	313
Bromotolueno	14	865	8.5	2	1	1	174	359
Bromuro de Alilo	16	989	5.9	3	3	1	30	160
Bromuro de Butilo	16	668	.6	2	3	0	65	215
Bromuro de Etilo	21	670	3.6	2	4	0	-4	100
Bromuro de Laurilo	4	830	12.9	1	1	0	291	356
Bromuro de Propargilo	40	2220	5.9	4	3	4	64	192
1,3-Butadieno	29	991	19.2	2	4	3	Gas	24
Butano	21	833	19.7	1	4	0	Gas	31
Butanol (1-Alcohol Butilico)	16	700	14.3	2	3	0	84	243
1-Buteno	21	825	19.5	1	4	1	Gas	21
n-Butilamina	16	648	16.3	2	3	0	10	172 (5)
Butirato de Etilo	16	745	12.2	0	3	0	78	248
Carbonato de Dietilo	16	753	9.1	2	3	1	77	259
Carbonato de Etil Butilo	14	645	10.6	2	2	1	122	275
Carbonato de Etileno	14	789	5.3	2	1	1	290	351
Carbonato de Metilo	16	746	6.2	2	3	1	66	182
Carburo de Calcio	24	302	9.1	1	1	2		
Cianamida	29	1102	7.0	4	1	3	286	500
Ciclobutano	29	865	19.1	1	4	1	Gas	55
Ciclohexano	16	677	18.7	1	3	0	-4	179
Ciclohexanol	4	584	15.0	1	1	0	154	322
Ciclopropano	21	936	21.3	1	4	1	Gas	-29
Clorato de Bario	24		(2)	0	1	2		
Clorato de Potasio	29		(2)	2	0	3		752
Clorato de Sodio	24		(2)	1	0	2		
Clorato de Zinc	24		(2)	2	1	2		
Cloro	14	301	0.0	3	1	1		
1-Cloro 1-Nitroetano	40	1165	3.5	1	2	4	133	344
Cloroacetato de Metilo	14	768	5.1	2	2	1	122	266
Clorobenceno	24	936	10.9	2	3	2	84	270
1-Clorobutano	16	701	2.0	2	3	0	15	170 (5)
Cloroestireno	24	986	12.5	2	1	2		
Clorofenol	14	881	9.2	3	1	1	147	347
Cloroformato de Etilo	16	842	5.2	2	3	1	61	201
Cloroformo	1	683	1.5	2	0	0		142
Clorometil Etil Eter	14	860	5.7	2	1	1		
Cloruro de Calcio	29	1827	0.7	4	0	3		234
Cloruro de Propilo	21	649	10.1		4	0	-26	95
Cloruro de Potasio	16	743	2.5	3	3	0	40	124
Cloruro de Alilo	29	912	9.7	4	3	3	-25	113
Cloruro de Aluminio	24		(2)	3	0	2		(3)
Cloruro de Azufre	14	302	1.8	2	1	1	245	280
Cloruro de Benzoilo	14	886	12.6	3	1	1	753	354
Cloruro de Cloroacetilo	14	894	2.5	3	0	1		222
Cloruro de Etilo	21	701	8.2	2	4	0	-58	54
Cloruro de Isobutilo	16	592	11.4	2	3	0	70	156
Cloruro de Isopropilo	21	545	10.0	2	4	0	-26	95
Cloruro de Metileno	14	1072	2.3	2	1	1	80	104
Cloruro de Metilo	21	744	5.5	2	4	0	Gas	-11

COMPUESTO	FM	T _g °K	Hc BTU/lb x10 ³	Clasific. NFPA			Punto de Fusión °C of	Punto de Ebul. °F
				Nh	Nr	Nr		
Cloruro de Propilo	16	813	10.0	2	3	0	10	115
Cloruro de Vinilideno	24	1808	4.2	2	4	2	0	99
Cloruro de Vinilo	21	1448	8.0	2	4	1	Gas	7
Combustibles (Fuel Oil) 91-6	10	(4)	18.7	0	2	0	100/150	340/420
Cumarina	24	997	12.0	2	1	2		554
Cumeno	10	759	18.0	2	2	0	111	306
Diciclohexadieno	24	990	17.9	1	3	2	90	342
Diclorobenceno	29	1145	8.1	2	1	3	150	345
Dicloro-estireno	24	1143	9.3	2	1	2	225	
1,1-Di etoxilano	16	847	4.5	2.0	3	1	22	138
1,2-Dicloroetileno	40	1785	8.9	2	3	4	43	141
1,3-Dicloropropeno	24	1225	8.3	2	3	2	95	219
Dicloruro de Etileno	16	724	4.6	2	3	0	56	183
Dicloruro de Propileno	16	642	6.3	2	3	0	80	205
Dicromato de Sodio	14			1	0	1		
Diesel	10	683	18.7	0	2	0	100/130	315
Dietanolamina	14	707	10.0	1	1	1	305	514
Diethyl Eter	21	761	14.5	2	4	0	-49	95
Diethylamina	16	693	16.5	2	3	0	10	134
Diethylbenceno	10	738	18.0	2	2	0	133	358
Diethyl Glicol	4	770	8.7	1	1	0	255	472
Difil A	14	912	14.0	1	1	1	255	495
Difil G	14	916	15.4	1	1	1	305	576
Difil J	4	739	17.8	1	1	0	145	358
Disobutileno	16	734	19.0	1	3	0	23	219
Disopropilbenceno	4	713	17.9	0	1	0	170	401
2,2-Dimetil Propanol	16	725	14.8		3	0	98	237
Dimetilamina	21	792	15.2		4	0	Gas	45
Dinitrobenceno	40	1851	7.2		1	4	302	604
2,4-Dinitrofenol	40	1476	8.1		1	4		
p-Dioxano	16	813	10.5		3	0	54	214
Dioxido de Azufre	1	302	0.0		0	0	Gas	12
Dioxido de Cloro	40	1768	0.7		1	4		
Dioxolano	24	911	9.1		3	2	35	165
Dipropilén Glicol	4	749	10.8		1	0	280	449
Divinil Acetileno	29	1690	18.2	1	3	3	-4	183
Divinil Benceno	24	1038	17.4	1	1	2	169	392
Divinil Eter	24	1050	14.5	2	3	2	-22	102
Dowtherm 30 LF	14	884	16.0	1	1	1	260	507
Dowtherm A	14	912	14.0	1	1	1	255	495
Dowtherm G	14	916	15.4	1	1	1	305	575
Dowtherm J	4	739	17.8	1	1	0	145	358
Epiclorhidrina	24	912						
Estearato de Etilo	4	574	8.9	0	1	0		
Estearato de Zin.	4	532	13.1	0	1	0		
Estireno	24	993	17.4	2	3	2	90	205
Etileno	21	597	20.4	1	4	0	Gas	-178
Fenolamina	4	660	9.5	2	1	0	185	142
Eter Butilico	16	686	16.3	2	3	0	77	281
Eter Diisobutlico	24	1050	14.5	2	3	2	-22	102
Eter Etil Propilico	16	748	15.2	1	3	0	-4	147
Eter Etilén G Dimetilico	10	674	11.6	2	2	0	104	174
Eter Etilico	21	761	14.4	2	4	0	-49	95
Eter Isopropilico	16	712	15.6	2	3	1	-18	156
Eter Metilico	21	844	12.4	2	4	1	Gas	-11

COMPUESTO	FM	Td oK	Hc BTU/lb x10 ³	Clasific. NFPA			Punto de Punto de Firma CC Eb.	
				Mh	Nf	Nr	oF	oF
Eter Propilico	16	699	15.7	1	3	0	70	194
Eter Vinil Ailrico	24	959	15.5	2	3	2	68	153
Eter Vinil Butilico	24	807	15.4	2	3	2	15	202 (1)
Eter Vinil Etilico	21	880	14.0	2	4	1	-50	96
Eter silico	24	994	18.0	4	3	2	20	203
Etil Benceno	16	830	17.6	2	3	0	59	277
Etil Bulil Amina	16	860	17.0	3	3	1	64	232
2-Etil Hexanal	14	691	16.2	2	1	1	185	359
Etil Mercaptano	21	522	12.7	2	4	0	80	95
Etilamina	21	740	16.3	3	4	0	40	82
Etilen Diamina	10	708	12.4	3	2	0	110	241
Etilen Glicol	4	643	7.3	1	1	0	232	387
Etilenimina	29	1092	13.0	3	3	3	12	132
Etileno	24	1005	20.8	1	4	2	Gas	-155
Fenol	4	822	13.4	2	1	0	175	358
Fluor	29			4	0	3		-310
Fluorobenceno	24	992	13.4	2	3	2	5	185
Formaldehido	24	987	8.0	2	4	2	Gas	-3
Formiato de Etilo	16	788	8.7	2	3	0	-4	130
Formiato de Metilo	21	814	6.4	2	4	1	-2	90
Fuel Oil #1 a 6	10	(4)	18.7	0	2	0	100/150	340/420
Furano	21	838	12.6	1	4	1	32	88
Gasavión (Jet Fuel AyJP-g)	16		21.7	0	3	0		10
Gasavión (Jet Fuel AyJP-1,6)	10		21.7	0	2	0		105
Gasolina	16	691	18.8	1	3	0	-45	100/400
Glicerina	4	684	6.9	1	1	0	320	554
Glicolantrilo	14	882	7.6	1	1	1		
Heptano	16	587	19.2	1	3	0	32	194
Hexacloro Butadieno	14	626	2.0	2	1	1		410
Hexanal	16	620	15.5	2	3	0	90	268
Hexano	16	581	19.2	1	3	0	-7	156
Hidracina	40	1338	7.2	3	3	4	100	236
Hidrogeno	21	301	51.6	0	4	0	Gas	-422
Hidroperoxido de 1-Butilo	24	919	11.9	1	3	2	480	
Hidroxilamina	29	2000	3.2	1	3	3	(5)	158
Hidroxiperoxido de C-6	29	989	13.7	1	2	3	175	
Hidruro de Sodio	24			3	3	2		
Isobutano	21	609	19.4	1	4	0	Gas	11
Isobutil Amina	16	568	16.2	2	3	0	15	150
Isopentano	21	626	21.0	1	4	0	-60	82
Isopren	21	895	18.9	2	4	1	-25	91
Isopropenil Acetilero	24			2	4	2	19	92
Isopropil Amina	21	549	15.5	3	4	0	-35	89
Jet Fuel A y JP-4	16		21.7	0	3	0		10
Jet Fuel A y JP-5 6	10		21.7	0	2	0		105
Lauril Mercaptano	4	671	16.8	2	1	0	260	287
Magnesio	14	290	10.6	0	1	1		
Metacrilato de Metilo	24	854	11.9	2	3	2	50	212
Metano	21	298	21.5	1	4	0	Gas	-259
Metanol	16	691	8.6	1	3	0	52	147
Metil Acetileno	40	1818	20.0	2	4	4	Gas	-10
Metil Amina	21	767	13.2	3	4	0	Gas	71
Metil Celulosa	10	789	6.5	0	1	0		
Metil Ciclohexano	16	660	19.0	2	3	0	25	214
Metil Ciclopentadieno	14	919	17.4	1	2	1	120	163

COMPUESTO	FM	Tg oK	Mc BTU/lb x10.3	Clasific. NFPA			Punto de Punto de Fusio CC Eb. oF oF	
				Nh	Nf	Nr		
Metil Estireno	14	865	17.5	2	2	1	134	342
Metil Etil Cetona (MEK)	16	688	13.5	1	3	0	21	176
Metil Hidracina	24	1022	10.9	3	3	2	80	190
Metil Isobutil Cetona	16	506	1.6	2	3	0	73	244 (5)
Metil Mercaptano	21	680	12.0	2	4	0		42
Metil Vinil Cetona	24	908	13.4	2	3	2	20	177
2-Metilpropenal	24	1116	15.4	3	3	2	-40	142
Mono Cloro Benzeno	16	936	11.3	2	3	1	84	270
Monocloroamina	4	660	9.6	2	1	0	200	338
Monóxido de Carbono	16	1038	4.3	3	3	1	Gas	-314
Nafta	16	(4)	18.0	1	3	0	28/85	212/350
Naftaleno	14	860	16.7	2	1	1	174	424
Nitrato de Amilo	24	1128	11.5	1	2	2	125	305
Nitrato de Amonio	29	3248	6.0	2	0	3		410
Nitrato de Butilo	29	406	11.1	1	3	3	97	277
Nitrato de Etilo	40	2094	6.4	2	3	4	50	190
Nitrato de Potasio	29	(2)	1	0	3			752
Nitrato de Propilo	29	1079	7.4	2	3	3	68	231
Nitrobenzeno	24	1341	10.4	3	1	2	190	412
Nitrobifenilo	14	1037	12.7	2	1	1	290	626
Nitroclorobenceno	29	1764	7.6	3	1	3	26.1	457
Nitroclorano	24	1161	7.7	1	3	2	82	237
Nitrodiclorina	40	2895	7.8	2	1	4	(5)	
Nitrometano	40	2621	5.0	1	3	4	95	214
Nitropropano	29	1046	9.7	1	2	3	103	248
1-Nitrotolueno	29	1112	13.2	1	1	1	223	460
Octano	16	593	20.5	0	3	0	56	258
Octil Mercaptano	10	672	16.5	2	2	0	115	318
Oxido de Butileno	24	863	14.3	3	3	2	5	149
Oxido de Difenilo	14	906	14.9	1	1	1	239	498
Oxido de Etileno	29	1062	11.7	2	4	3	10	51
Oxido de Hexacloro Difenilo	29	1025	5.5	2	1	2		440
Oxido de Pentametileno	16	742	13.7	2	3	1	-4	178
Oxido de Propileno	21	948	13.2	2	4	1	-35	95
Perilano	21	645	19.4	1	4	0	-40	97
Peracetato de t-Butilo	40	875	10.6	1	3	4	180	
Peracetato de t-Pentilo	40	905	12.2	1	2	4	190	
Peracido de Acetilo	24	741	6.5	1	1	2		
Peracido de Butilo	24	741	6.5	1	1	2		
Peracido de Sodio	24			3	0	2		
Peracido de Acetilo	40	987	6.4	1	2	4		
Peróxido de Benzoilo	40	971	12.0	1	3	4		
Peróxido de Dietilo-Etilo	16	64	14.1	1	1	1	10	
Peróxido de Dicumilo	29	1047	11.4	1	1	1		
Peróxido de Dietilo	40	968	12.2	0	4	4	(5)	
Peróxido de Hidrógeno (35%)	24	1144	(2)	2	0	2		(6)
Peróxido de Laurilo	40	1613	25.7	0	1	4		(6)
Peróxido de Potasio	24		(2)	3	0	2		(6)
Peróxido de Sodio	24			3	0	2		(6)
Peróxido de t-Butilo	29	850	14.5	1	3	3	64	176 (6)
Petroleo Crudo	16		21.3	1	3	0	20/90	(8)
2-Pirrolina	14	860	15.0	2	2	1	102	262
Piridina	24	978	5.9	2	3	2	68	239
Potasio	24			3	1	2		1418
Propanal	16	766	12.5	2	3	1	15	120

COMPUESTO	FM	Td gK	Mc BTU/lb x10 ³	Clasific. NFPA			Punto de Fusión CC gF	Punto de Ebul. gF
				-	Nh	Nf		
Propano	21	628	19.9	1	4	0	Gas	-44
Propil Benceno	16	762	17.3	2	3	0	86	319
Propilamina	16	651	15.8	3	3	0	-35	120
1,6-Propilen Diamina	16	776	13.6	2	3	0	75	276
Propilen Glicol	4	619	9.3	0	1	0	210	370
Propileno	21	866	19.7	1	4	0	Gas	-53
Propionitrilo	16	903	15.0	4	3	1	36	207
Sodio	24			3	1	2		
Sulfito Acido de Sodio	24			3	1	2		
Tetraclorebenceno	4	789	4.7	0	1	0	311	475
Tolueno	16	859	17.4	2	3	0	40	231
Tributil Amina	4	845	17.8	2	1	0	187	417
Triclorebenceno	29	1400	6.2	2	1	3	210	413
1,1,1-Tricloroetano	24	1126	3.1	2	1	2		165
Tricloroetileno	14	849	2.7	2	1	1		189
Trietanolamina	24	752	10.1	1	1	1	355	650
Trietil Aluminio	29	661	16.9	2	3	3	-63	381
Trietil Amina	16	702	17.8	2	3	0	7	193
Trietilen Glicol	4	797	9.3	1	1	0	31	550
Trisobutil Aluminio	29	563	18.9	2	3	3	32	238
Trisopropil Benceno	16	685	18.1	2	3	1		
Trimetil Aluminio	29	525	16.5	2	3	3	32	259
Trimetil Amina	21	782	16.2	2	4	0	6	38
Tripropil Amina	10	685	17.8	2	2	0		313
1,1,1,1-Tetra Acetileno	40	2317	19.5	1	4	4		41
Vinil Ciclohexano	16	878	19.0	2	3	1		266
Viniltolueno	14	915	17.5	2	2	1	7	349
Xileno	16	817	17.6	2	3	0		292

APENDICE B

MEDIDAS BASICAS DE-PREVENCION Y PROTECCION

- 1.- Suministro adecuado de agua contra incendio
- 2.- Diseño estructural de recipientes, tuberías, soportería, etc.
- 3.- Dispositivos de alivio de sobrepresión
- 4.- Resistencia a la corrosión
- 5.- Separación de reactivos en líneas de proceso
- 6.- Aterrizaje de equipo eléctrico
- 7.- Localización segura del suministro de corriente
- 8.- Protección contra pérdida de servicios
- 9.- Instrumentación falla segura
- 10.- Acceso libre a vehículos de emergencia a las áreas
- 11.- Drenajes de capacidad suficiente
- 12.- Aislamiento de superficies calientes
12. Apego al NEC
- 14.- Liberación de los dispositivos de vidrio y juntas de expansión
- 15.- Separación de áreas peligrosas
- 16.- Protección a racks de tubería y cableado
- 17.- Suficientes válvulas de bloqueo
- 18.- Protección a torres de enfriamiento
- 19.- Protección a equipos calentados por fuego directo
- 20.- Clasificación eléctrica del equipo eléctrico adecuado.
- 21.- Cuartos de control aislados y protegidos

APENDICE C

LISTA DE VERIFICACION PARA INGENIEROS DE SEGURIDAD Y DE PROYECTO

A. LOCALIZACION

- 1.- Accesibilidad
- 2.- Tráfico
- 3.- Estacionamiento
- 4.- Areas libres
- 5.- Drenajes
- 6.- Calles y caminos
- 7.- Accesos
- 8.- Lay out

B. EDIFICIOS

- 1.- Presión de viento, carga de piso, diseño contra terremotos
- 2.- Material de techos, anclaje
- 3.- Venteo en techos, drenes, dispersión de humo
4. Cubos de escaleras, rampas
- 5.- Elevadores y descansos
- 6.- Paredes contra fuego, aberturas y puertas contra incendio.
- 7.- Alivio de explosión
- 8.- Salidas de emergencia, identificación
- 9.- Cintoteca
- 10.- Ventilación
- 11.- Pararrayos, red de tierras
- 12.- Calentadores
- 13.- CUarto de lockers y ventilación
- 14.- Denaje interior y exterior
- 15.- Recubrimiento contra fuego al acero estructural
- 16.- Escaleras exteriores
- 17.- Resistencia al subsuelo

C. RED DE AGUA Y ROCIADORES

- 1.- Suministro de agua
- 2.- Sistema de tubería
- 3.- Hidrantes
- 4.- Rociadores
- 5.- Tanques y tuberías para edificios
- 6.- Extintores
- 7.- Sistemas especiales de extinción
- 8.- Sistemas especiales de protección

D. ELECTRICIDAD

- 1.- Clase de riesgo
- 2.- Acceso a circuitos e interruptores críticos
- 3.- Salidas polarizadas y sistema de tierras
- 4.- Interruptores equipo crítico
- 5.- Iluminación
- 6.- Teléfonos
- 7.- Sistema de distribución eléctrica
- 8.- Tubos conduit-corrosión
- 9.- Protección a motores y circuitos
- 10.- Tipo y localización de transformadores
- 11.- Controles de falla segura
- 12.- Cargas críticas
- 13.- Interlocks clave para seguridad
- 14.- Exposición de las líneas a fuego

E. DRENAJES Y DESECHOS

- 1.- Químicos
- 2.- Sanitario
- 3.- Pluvial
- 4.- Tratamiento de aguas
- 5.- Trincheras
- 6.- Disposición de desechos

F. ALMACENAMIENTO

- 1.- Accesibilidad, rociadores, espaciamiento, carga de piso, altura de estiba, hileras, venteos
- 2.- Líquidos y gases inflamables, polvos y mezclas peligrosas: sistemas cerrados, atmósferas seguras, rociadores, venteos y altura de emergencia, flare, drenajes, ventilación, tanques y silos, diques, sistemas especiales, refrigeración.
- 3.- Materias primas: clasificación de riesgo, instalaciones de recepción y almacenaje, separación de materiales, pureza.
- 4.- Producto terminado: identificación, separación de materiales peligrosos, protección contra contaminación, etiquetado, ruta de embarques peligrosos, hoja de material, contenedores.

G. GAS INERTE

- 1.- Considerando materias primas, intermedios, productos, almacenamiento, manejo y proceso.

H. MANEJO DEMATERIALES

- 1.- Puente de carga y descarga
- 2.- Montacargas
- 3.- Aterrizaje
- 4.- Transportación y convoyes
- 5.- Área de almacenes
- 6.- Almacenamiento de inflamables
- 7.- Almacenamiento de materiales reactivos o explosivos
- 8.- Eliminación de desechos

I. MAQUINARIA

- 1.- accesibilidad, mantenimiento y operación
- 2.- Interruptores de emergencia
- 3.- Monitoreo de vibración

J. PROCESO

- 1.- Químicos: riesgo de fuego y a la salud
- 2.- Presiones y temperaturas críticas
- 3.- Dispositivos de alivio
- 4.- Material de recipientes y tubos
5. Método de manejo de reacciones
- 6.- Sistemas de protección fijos
- 7.- Ventilación
- 8.- sistemas de limpieza
- 9.- Bañeras contra explosión y aislamiento
- 10.- Gas inerte
- 11.- Paros de emergencia
- 12.- Recubrimiento contra el fuego o elementos estructurales
- 13.- Dispositivos de seguridad de equipos de intercambio de calor
- 14.- Juntas de expansión
- 15.- Traceo de vapor
- 16.- Aislamiento de partes calientes
- 17.- Aterrizajes
- 18.- Mantenimiento y limpieza de recipientes de proceso
- 19.- Control de corrosión
20. Identificación de líneas
- 21.- Riesgos por radiación ionizante
- 22.- Instrumentación redundante

K. EQUIPO DE SEGURIDAD

- 1.- Enfermería
- 2.- Ambulancia
- 3.- Carro de bomberos
- 4.- Alarma de emergencia
- 5.- Sirenas y chicharras
- 6.- Tratamiento de desechos
- 7.- Equipo contra hielo y nieve
- 8.- Regaderas lavavojos
- 9.- Escaleras seguras
- 10.- Localización del equipo de emergencia
- 11.- Campanas en laboratorios
- 12.- Casas de mangueras
- 13.- Analizadores y detectores
- 14.- Sistemas de comunicación
15. Guardas
- 16.- Protección de combustión
- 17.- Válvulas de corte de gas

Las sustancias con una concentración inferior al 5 por ciento (porcentaje en peso para los líquidos y los sólidos, porcentaje en volumen para los gases) no se han de tomar en cuenta aquí. -

3. Determinación del factor material (FM)

El punto de partida para calcular el índice de incendio y explosión es el factor material. Este factor es la medición del potencial de energía del material o mezcla de materiales presente más peligroso. El factor material se indica con un número que va de 0 a 40, correspondiendo los números más altos a la mayor cantidad de energía disponible.

El factor material se determina utilizando únicamente dos propiedades, la inflamabilidad y la reactividad, caracterizadas por la inestabilidad y la reactividad al agua de la sustancia química. En el apéndice 2a) se enumeran los factores correspondientes a muchos materiales. El factor material se debe determinar con respecto a todas las sustancias peligrosas que existen en el elemento de la planta.

El factor material puede calcularse a partir del cuadro 2.2, utilizando el valor numérico de la inflamabilidad y de la reactividad dados por la NFPA³.

Por ejemplo, el óxido de etileno con una inflamabilidad de 4 y una reactividad de 3 da un factor material de 29, con arreglo al cuadro 2.2. El acrilato de

butilo, con una inflamabilidad de 2 y una reactividad de 2, da un factor material de 24, con arreglo al cuadro 2.2.

El punto de inflamación o H_{cv} se puede utilizar con respecto a la inflamabilidad N_i . El valor del H_{cv} se calcula multiplicando el calor de la combustión kJ/mol, por la presión del vapor a 300 K (27 °C) medida en el barómetro. Para materiales que hierven a menos de 300 K, utilícese 1,00 como presión del vapor. Para calcular el N_i úsese la temperatura adiabática de descomposición (T_d).

Por ejemplo, el óxido de propileno tiene las siguientes propiedades básicas:

- punto de inflamación inferior a -20 °C,
- calor de la combustión 30,703 kJ/g;
- peso molecular 58;
- el calor de combustión es, por tanto, $30,703 \times 58 = 1780,78$ kJ/mol,
- presión barométrica 0,745 (27 °C),
- temperatura de descomposición 675 °C.

Para un punto de inflamación inferior a -20 °C, el valor del riesgo con respecto a la inflamabilidad es de 4. Esto se puede verificar calculando H_{cv} como sigue.

$$H_{cv} = 1780,78 \times 0,745 = 1326 \text{ kJ bar/mol aproximadamente.}$$

Un H_{cv} de 1326 da un valor de riesgo de 4 con respecto a la inflamabilidad.

La temperatura adiabática de descomposición es la siguiente

$$T_d = 675 + 273 = 948 \text{ K}$$

Esto da un valor de riesgo de 2 con respecto a la reactividad. A partir del cuadro 2.2, se podrá aplicar un factor material de 24 al óxido de propileno.

4. Determinación de los riesgos generales del proceso

4.1. Reacciones exotérmicas

4.1.1 Se penaliza con 0,20:

- *combustión* = la combustión de combustible sólido, líquido o gaseoso con aire como en un horno.

4.1.2 Las reacciones que se indican a continuación se penalizan con 0,30:

- a) *hidrogenación* = adición de átomos de hidrógeno a ambos lados de un enlace doble o triple; los riesgos

Cuadro 2.2. Determinación del factor material

		Tiempo adiabático de descomposición (T _d)									
		< 830	830 - 935	935 - 1010	1010 - 1080	> 1080					
		reactividad									
		N									
		0	1	2	3	4					
Punto de inflamación °C	H _{cv} kJ bar/mol	inflamabilidad									
Nulo	< 4 · 10 ⁻⁵							14	24	29	40
> 100	4 · 10 ⁻⁵ - 25						4	14	24	29	40
40 - 100	25 - 40						10	14	24	29	40
-20 - +40	40 - 600						16	16	24	29	40
< -20	> 600						21	21	24	29	40
		Factor Material FM									



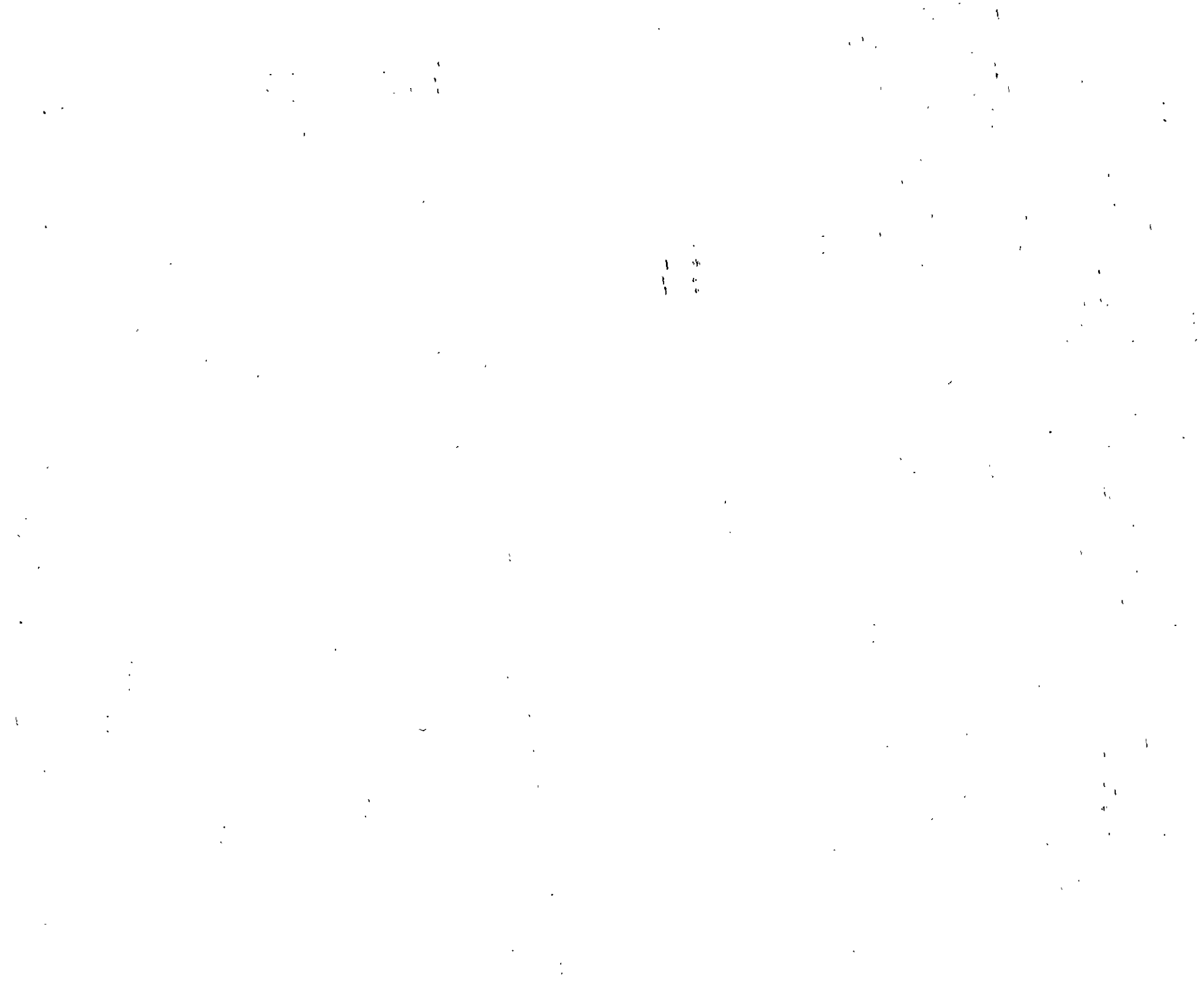
**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

DIPLOMADO EN RIESGO AMBIENTAL




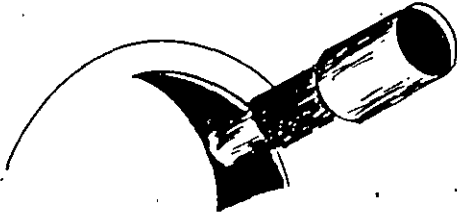
**MODULO III: METODOS DE ANALISIS DE RIESGO
(CUALITATIVO Y CUANTITATIVO)**

SISTEMAS DE ANALISIS DE RIESGOS EN PLANTAS DE PROCESO

1997



SISTEMA DE ANALISIS DE RIESGOS EN PLANTAS DE PROCESO.

EXTRACCION DE PELIGROS	GRADO DE PROFUNDIDAD	EVALUACION DE IMPACTO
<ul style="list-style-type: none"> - INVESTIGACION DE ACCIDENTES - LISTAS DE VERIFICACION. - TORMENTA DE IDEAS. - INSPECCIONES PLANEADAS. 	 <p align="center">(VISUAL)</p>	<ul style="list-style-type: none"> INCAPACIDADES/MUERTES. EQUIPO/INSTALACIONES. \$ PRODUCTO / PERDIDA DE DANADO. / PRODUCCION. MULTAS/CLAUSURA. IMAGEN.
<ul style="list-style-type: none"> - WHAT IF. - LISTAS DE VERIFICACION. 	 <p align="center">(LUPA)</p>	<p>EVALUACION DEL GRADO DE RIESGO EN FUNCION DE LA EXPOSICION Y PROBABILIDAD. JUSTIFICACION DE LA ACCION CORRECTIVA.</p>
<ul style="list-style-type: none"> - HAZOP. 	 <p align="center">(MICROSCOPIO)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - INDICE DOW (FUEGO Y EXPLOSION.) - INDICE MOND (FUEGO, EXPLOSION Y TOXICIDAD.) RADIOS DE AFECTACION Y PERDIDA MAXIMA PROBABLE.
<ul style="list-style-type: none"> - ARBOL DE EVENTOS. - ARBOL DE FALLAS. 	 <p align="center">(TELESCOPIO)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - CALCULOS DE DISPERSION DE *INFLAMABLES. *TOXICOS. - CALCULO DE NUBES EXPLOSI- UAS (TNT). - CALCULO DE RADIACION. DIAGRAMAS DE PETALOS.

02

APLICACION DE ANALISIS DE RIESGOS.

BASES DE DISEÑO:

LISTAS DE VERIFICACION.
PUBLICACIONES DE SEGURIDAD.
LITERATURA TECNICA.
TORMENTA DE IDEAS.



INGENIERIA DE DETALLE:

LISTAS DE VERIFICACION.
¿QUE PASA SI?
HAZOP.
ANALISIS DE FALLA Y EFECTO.
ARBOLE DE FALLAS Y EVENTOS.
ANALISIS DE ERROR HUMANO.

CONSTRUCCION:

LISTAS DE VERIFICACION.
¿QUE PASA SI?
ANALISIS DE FALLA Y EFECTO.
ANALISIS DE ERROR HUMANO.



OPERACION:

LISTAS DE VERIFICACION.
REVISIONES DE SEGURIDAD.
¿QUE PASA SI?
HAZOP.
ANALISIS DE FALLA Y EFECTO.
ARBOLES DE FALLAS Y EVENTOS.
ANALISIS DE CAUSA - CONSECUENCIA.
ANALISIS DE ERROR HUMANO.

PREARRANQUE:

LISTAS DE VERIFICACION.
¿QUE PASA SI?
HAZOP.
ANALISIS DE FALLA Y EFECTO.



General Recommendations for Spacing in Petrochemical Plants

MINIMUM DISTANCE
IN FEET

		PROCESS UNIT—MH	PROCESS UNIT—LM	TANK FARMS—MH	TANK FARMS—LM	PRODUCT WAREHOUSE	SHIPPING & RECEIVING—MH	SHIPPING & RECEIVING—LM	SERVICE BUILDINGS	BOILER AREA	FIRE PUMPS	EMERGENCY CONTROLS	WATER SPRAY CONTROLS	TURBINE MOTTLES	EMERGENCY PLANS	PILOT PLANTS	LARGE COOLING TOWERS	PIPE HYDRANTS	FIELD PROCESS RELIEFS	
Process Unit—	HIGH HAZARD	200								250	100	50 ³	50 - 100 to Center of Target For 100' Flare that is 25' above Surrounding Equipment, Use 300'			200	150	50 to 100		
Process Unit—	LOW HAZARD	100	50							50	50						200	100	50	
Tank Farms—	HIGH HAZARD	250 ¹	250 ¹	1 1/2 Dia. Larger						250		100 ³					250	250	200	
Tank Farms—	LOW HAZARD	200 ³	100 ³	One Dia. Larger	1/2 Dia. Larger					200							200	200	200	
Product Warehouse	LOW HAZARD	150	50 ⁴	250 ¹	100 ²	50 ⁴				200							200	150	100	
Shipping & Receiving—	HIGH HAZARD	200	200	150 ³	100 ³	150	50			150	100	50 ³					200	200	200	
Shipping & Receiving—	LOW HAZARD	150	100	100	50	20	50	—		100	50						150	150	100	
Service Buildings		200	100	200	100	100	150	100	See Diag. Chart	100							200	100	100	
Boiler Area		200	150	200	150	100	200	100	100	—	—						200	100	100	

Recommended Spacing Within Process Units

	REACT.	COMP.	TANKS	FRACTION. EQUIP.	CONT. ROOMS														
Reactor	25 ⁶																		
Small Compressor House or Pump House	40 ⁶																		
Intermediate Sige. Tanks High Hazard Rundown-Feed	100 to 200	100 to 200	One Dia. ⁷																
Fractionation Equipment	50	30	100																
Control Rooms *	30 ⁴ to 100	30 to 100	100	30 to 100	10														

* Control houses serving unusually large or hazardous units and control control houses for multiple units or housing computer equipment, require greater spacing than shown.

- A. Distance between process units is measured from battery limits.
- B. A high hazard process unit has explosion classification under petrochemical schedule of E-4 or E-5.
- C. High hazard tanks are class "O" under the above schedule. Class "E" requires special consideration.
- D. High hazard product warehouses contain unstable materials, low-flash flammable liquids, or highly combustible solids. These require special consideration.
- E. High hazard shipping and receiving denotes stable materials with flash point below 110° F.
- F. High hazard shipping and receiving of unstable materials requires special consideration.
- G. Service buildings include offices, gate houses, change houses, laboratories, shops, garages, maintenance warehouses, cafeterias, hospitals, etc. Experimental laboratories classify as process units.
- H. Keep open flames 100' from vapor hazard area.
- I. Deviation from these distances requires special protective installations such as flood beam systems, water spray, automatic sprinklers, fire-system grading of 4 or better, or superior construction.
- J. In borderline cases, high value requires high hazard classification.
- K. Vertical storage tanks should be individually diked. If not, capacity in single dike should not exceed 25,000 bbls. For horizontal storage tanks, maximum is 400,000 gallons per group, with 100' between groups, or other suitable arrangement.

1. For specific vertical tank, use 5 diameters.
2. For specific vertical tank, use 4 diameters.
3. For specific vertical tank, use 3 diameters.
4. Standard fire-wall and sprinklered warehouse acceptable. Limit warehouse to maximum 25,000 sq. ft. floor area.
5. Two stations desirable.
6. Barricades desirable for hazardous reactors.
7. Over 100,000 gallons requires special consideration.

REFINERIES

General Recommendations for Spacing in Refineries

MINIMUM DISTANCE IN FEET

	Service Buildings	Process Units	Boilers, Utilities & Elect. Equip., etc.	Fired Process Heaters	Process Vessels, Fractionating Equipment, etc.	Gas Compressor Houses	Large Oil Pump Houses	Control Houses*	Cooling Towers	Dropout Controls, Steam Snuffing, & Water Spray Controls	Blowdown Drums & Flare Stacks	Product Storage Tanks	Rundown Tanks	Blending Tanks	Hazardous Loading & Unloading Facilities, Including Docks	Fire Pumps			
Service Buildings	See Sldg. Chart															50	30 to 100	30 to 100	
Process Units	17	30 to 100															30 to 100	30 to 100	
Boilers, Utility & Elect. Generating Equipment, etc.	100	100	—														50	50 to 100	
Fired Process Heaters	100	50	100	25													30 to 100	30 to 100	
Process Vessels, Fractionating Equipment, etc.	100	—	100	50	—												30 to 100	30 to 100	
Gas Compressor Houses	100	—	100	100		30	30	See Sldg. Chart									50	50 to 100	
Large Oil Pump Houses	100	—	100	100		20	30	See Sldg. Chart									50	50 to 100	
Control Houses*		—	100	50	50	50	30	See Sldg. Chart									50	50 to 100	
Cooling Towers	30 to 100	100	100	100	100	30 to 100	30 to 100	30 to 100	35 to 50								30 to 100	30 to 100	
Dropout Controls, Steam Snuffing, & Water Spray Controls	—	—	—	50	50	50	20	See Note	50	—							—	—	
Blowdown Drums & Flare Stacks	200 to 300	200 to 300	200 to 300	200 to 300	200 to 300	200 to 300	200 to 300	200 to 300	200 to 300	200 to 300	200 to 300	200 to 300	200 to 300	200 to 300	200 to 300	200 to 300	100	100	250
Product Storage Tanks	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	30 to 100	30 to 100	300
Rundown Tanks	100	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200 to 300	200 to 300	300
Blending Tanks	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200 to 300	200 to 300	250
Hazardous Loading & Unloading Facilities, Including Docks	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	30 to 100	30 to 100	250
Fire Pumps	30 to 100	250	0	250	250	100	100	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

- Special consideration should be given to the installation of fire hydrants and turret nozzles.
- Small open flame devices should be located not less than 100' from any vapor-hazardous area.
- Between battery limits.
- Tanks over 10,000 bbls. capacity—250'; tanks less than 10,000 bbls. capacity—150'.
- Tanks with capacities in excess of 5000 bbls.—200'; tanks less than 5000 bbls.—100'.
- 25' to 50', considering area.
- Controls may be installed adjacent to or inside, to serve as a shield.
- Flare stacks less than 75' in height should be 300' distance; with stacks over 75' in height 200' distance.
- Tanks with capacities up to 10,000 bbls. should be spaced 1/2 dia. apart; tanks from 10,000 to 50,000 bbls. capacity, space 1 dia. apart; and tanks over 50,000 bbls. should be spaced 1 1/2 dia. apart. Tanks over 250,000 bbls. require special consideration.
- Service buildings include: offices, change houses, maintenance, cafeterias, labs., hospitals, garages, except as specifically provided for as indie.
- Prop. & batteries, preferably should be isolated to other sections of plant, & "aimed" away from...

* Control houses serving only large or hazardous units and central control

SECUENCIA DETALLADA DE LA METODOLOGÍA.

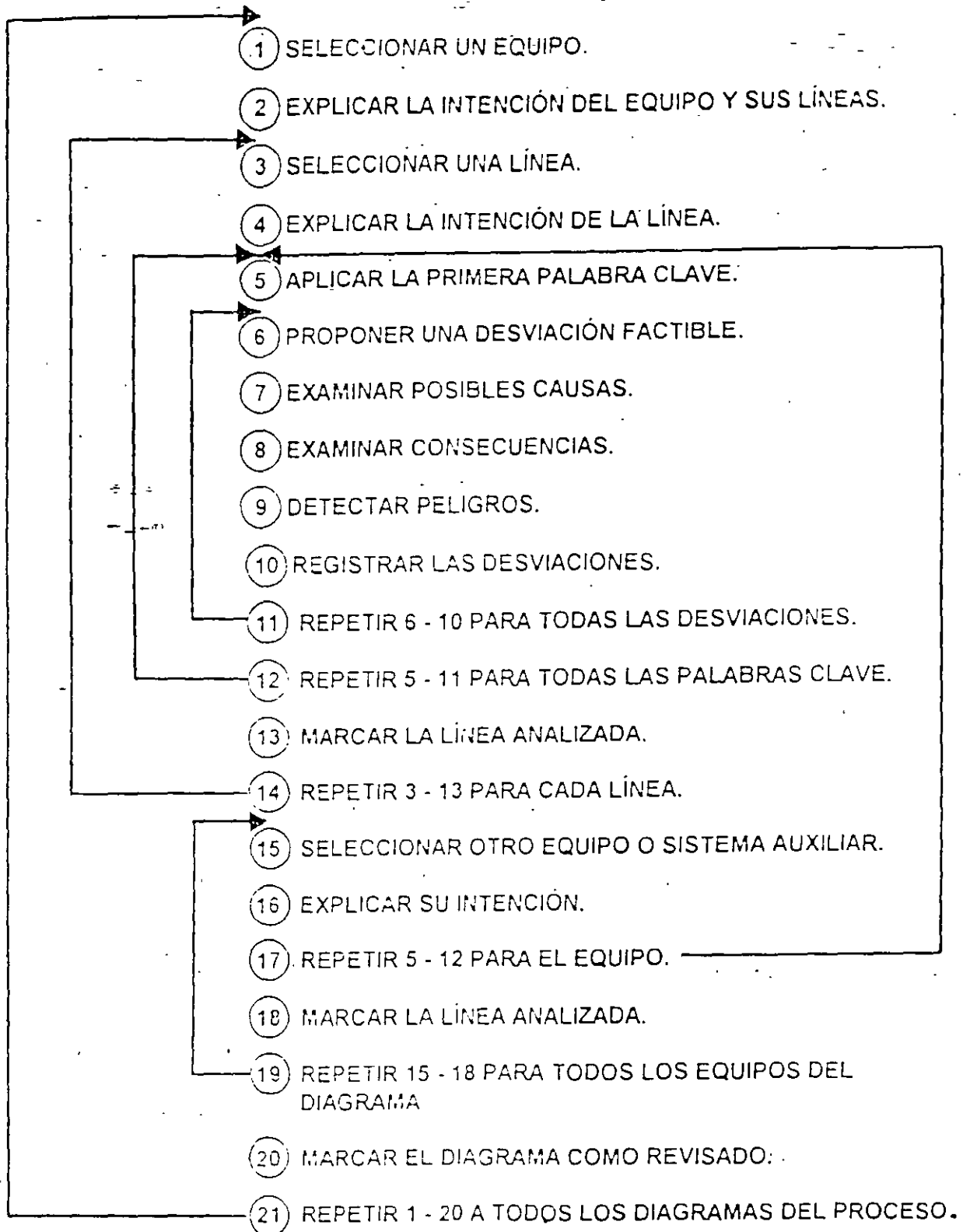
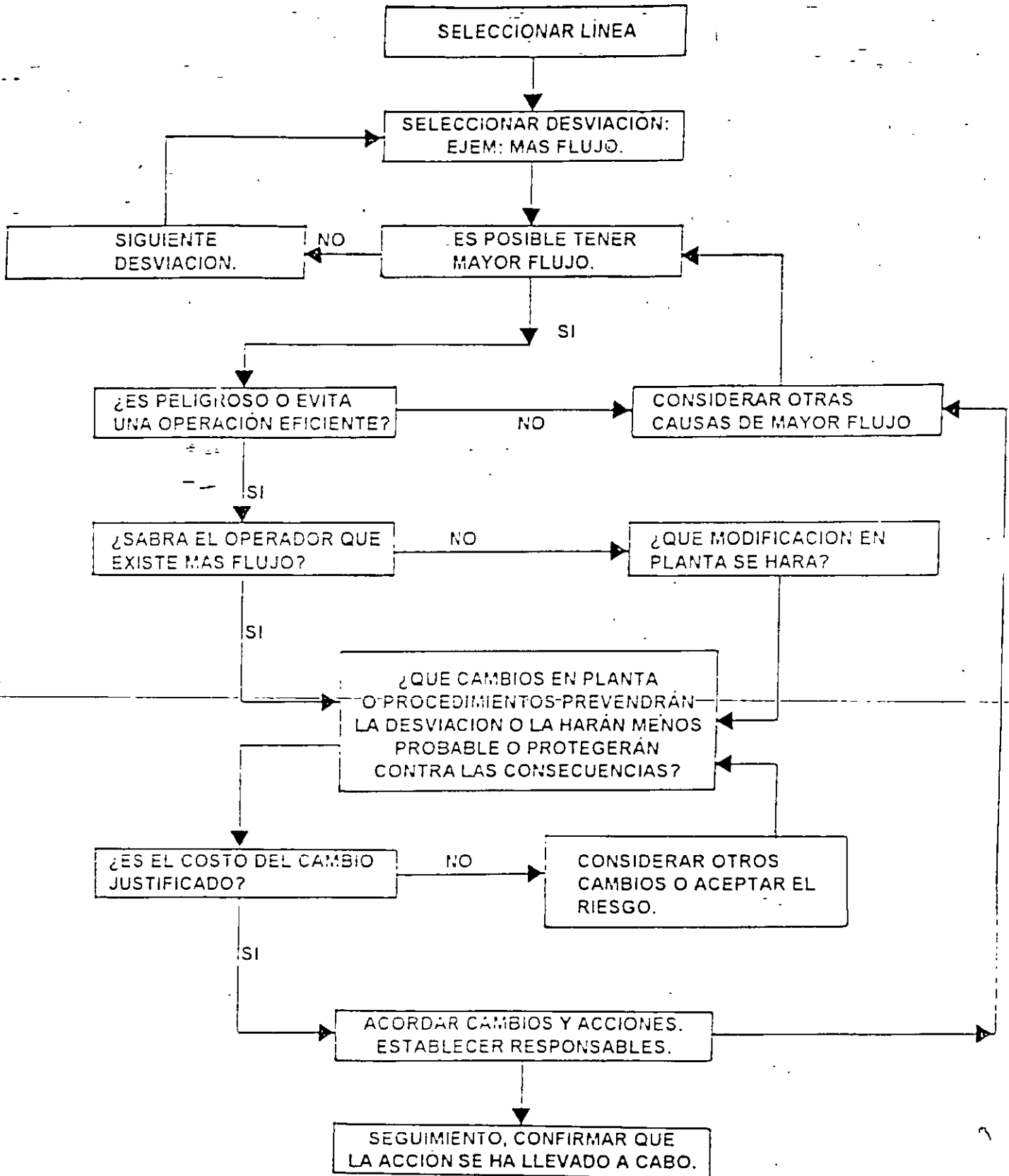


DIAGRAMA DE FLUJO DE LA METODOLOGÍA.





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

**CURSOS
ABIERTOS**

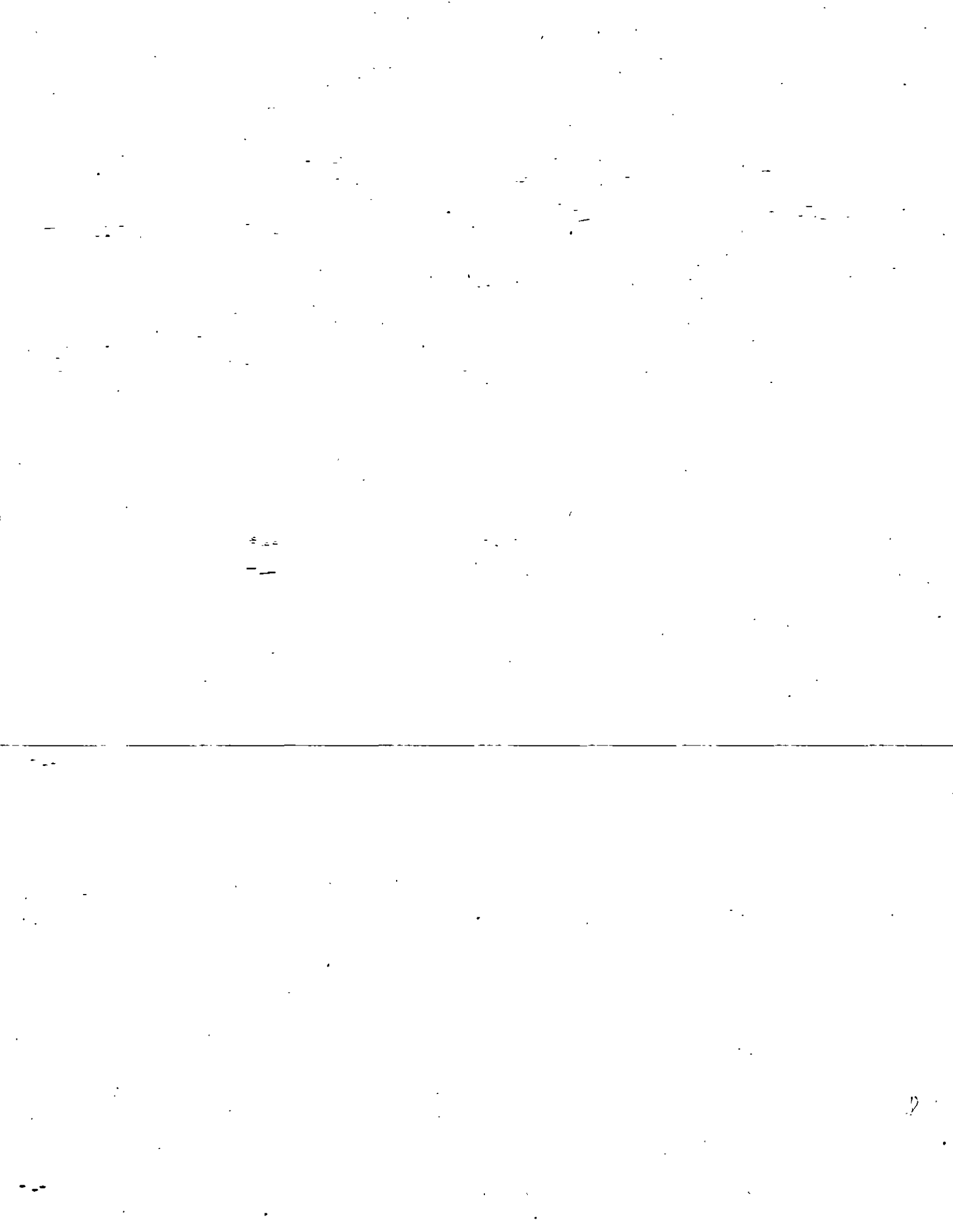
DIPLOMADO EN RIESGO AMBIENTAL

**MODULO III: MÉTODOS DE ANÁLISIS DE RIESGO (CUALITATIVO Y
CUANTITATIVO)**

TEMA:

ÍNDICE MOND (PARA FUEGO, EXPLOSIÓN Y TOXICIDAD)

**EXPOSITOR: ING. ENRIQUE JIMÉNEZ VARGAS
Mayo 1997**



**ÍNDICE MOND (PARA
FUEGO, EXPLOSIÓN Y
TOXICIDAD).**

ÍNDICE MOND DE FUEGO, EXPLOSIÓN Y TOXICIDAD

METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DEL ÍNDICE MOND

1. DIVISIÓN DE UNA PLANTA EN SECCIONES

Una "sección" se define como parte de una planta que se puede identificar lógica y fácilmente como una entidad separada. puede consistir en una porción de la planta que esta (o puede estar) separada del resto, ya sea por una distancia o por barreras contra fuego, dique, etc. la parte de la planta seleccionada como una sección es normalmente el área donde exista un proceso particular y/o un riesgo material, diferente de aquellos presentes en otras secciones cercanas. los tipos más comunes de secciones son:

- a) Almacenamiento de materias primas
- b) Sección de alimentación
- c) Sección de reacción
- d) Destilación de un producto
- Sección de absorción o agotamiento
- e) Almacenamiento intermedio
- f) Almacenamiento de productos
- g) Sección de carga y descarga
- h) Sección de manejo de catalizadores
- i) Tratamiento de subproducto
- j) Tratamiento de efluentes
- k) Una porción del puente de tuberías que entre al área la planta.

Estos tipos de unidades no son las únicas, hay otras tales como filtración, secado, procesamiento de sólidos, compresión de gas, etc., que deben usarse para dividir a la planta en secciones adecuadas.

Solamente dividiendo a la planta en una numero de secciones de diferentes tipos, pueden establecerse las características de riesgo de las diferentes unidades de la planta; de otra manera, toda la planta o una gran parte de ella se caracterizaría por la sección más peligrosa. también permite considerar limites par que los incidentes no se extiendan a otras unidades de alta inversión de capital desde la sección más peligrosa de una planta.

Evaluando las áreas de almacenamiento, una unidad comprenderá generalmente un dique y todos los tanques y equipos contenidos.

Otras áreas cercadas separadamente se consideran como secciones diferentes para identificar correctamente los peligros relativos de gases licuados, líquidos altamente inflamables, líquidos combustibles y materiales que tengan riesgos especiales, como riesgos de polimerización espontánea, formación potencial de peróxido, propiedades de explosión de la fase condensada, etc. los puentes de tuberías más grandes que están dentro del área de la planta se estudian como secciones separadas de los procesos de la planta y de las unidades de almacenamiento. una sección adecuada para considerar los riesgos de un puente de tuberías es el largo del puente de tuberías entre los polos de soporte principal y el armazón completo con la tubería colocada encima.

Los tubos que corren a nivel del piso se consideran como una sección. se sugiere una longitud de 25 m como definición adecuada de una sección (trincheras completas o tuberías individuales) para estudio, a menos que las condiciones locales indiquen otra alternativa de longitud.

En el caso de edificios de muchos pisos donde se efectúan operaciones de procesos separados en diferentes pisos y en diferentes partes del edificio, se puede dividir en secciones apropiadas tanto en dirección vertical como horizontal, teniendo cuidado de que ninguna operación (como columnas de destilación) pase a través de los límites entre las diferentes secciones verticales u horizontales. una vez que los límites de las secciones se definan, se analiza cada una en forma separada.

2. LISTADO DE MATERIALES PARA UNA SECCIÓN DE LA PLANTA

Los materiales, catalizadores, intermedios, subproductos y solventes se identifican y listan para la sección junto con las reacciones u operaciones normalmente efectuadas dentro de ella. a continuación se selecciona uno de estos materiales (o mezclas de los mismos) que represente el mayor riesgo de la unidad. esto se basa generalmente en el grado de inflamabilidad combinado con la cantidad de material entre los listados individualmente en la sección, pero en algunos casos la combinación de cantidad y energía potencial explosiva puede considerarse como de mayor riesgo.

Para que un material se seleccione como material clave, debe estar presente en tal magnitud que sea peligroso. si un material que tiene riesgo excepcional (como el acetileno) esta solamente presente en pequeñas cantidades en relación con una mayor cantidad de un material como el propano, este ultimo (propano) se seleccionara como el material clave. sin embargo, si un material tal como el acetileno esta presente en pequeñas cantidades relativas a un material inerte como el nitrógeno, el acetileno se seleccionara como el material clave.

Si una sección de la planta tiene más de un material apropiado, se deben hacer apreciaciones separadas basadas en cada material clave y establecerse como final el más severo, seleccionándolo como representando los riesgos de la sección. también se puede hacer una mezcla como el material clave si la mezcla permanece constante y representa la reacción o el potencial dominante de fuego, reactividad, explosión o toxicidad en la sección.

3. MÉTODO DE APLICACIÓN

1. Determinación del factor de material

El primer punto para la aplicación de la técnica es el cálculo del factor de material de material clave (o mezclado de materiales) previamente identificado al listar los materiales, reacciones y operaciones incluidas en la sección.

El factor de material se define como una medida del fuego, explosión o energía potencial liberada por el material clave a una temperatura de 25 °c y a presión atmosférica (gas, liquido o sólido). en el formato de trabajo el factor material se designa con la letra "b".

a). el factor de material para materiales normalmente inflamable se define como el calor neto en aire a 25 °c del material clave en su estado normal a 25 °c y a presión atmosférica. el factor de material se calcula como sigue:

$$b = \frac{hc}{1000} \text{ donde } hc \text{ se expresa en btu/lb de material clave}$$

$$b = \frac{hc1 \times 1.8}{1000} \text{ donde } hc1 \text{ se expresa en calorías/gr. de material clave}$$

b) Materiales poco inflamables

El factor de material para materiales clave que tengan poca inflamabilidad o que se consideren como incombustibles en situaciones de transporte, no debe tomarse como cero debido a que se puede calcular un calor neto de combustión equivalente. esto se hace con referencia a los colores de formación del material clave y sus productos de combustión (en estado gaseoso) en la forma convencional. el factor de material a partir del calor neto de combustión equivalente se determina como sigue:

$$b = \frac{hr \times 1.8}{m} \quad \text{donde } hr = \text{ calor equivalente de combustión en kcal/gr.}$$

m mol de "combustible".
 m = peso molecular del "combustible".

ejemplo de materiales poco inflamables:

tricloroetileno 1.1.1. tricloroetano, percloroetileno, cloruro de metilo, cloroformo.

c) Materiales no combustibles

Algunas veces el material clave puede ser de los que no dan calor neto de combustión con oxígeno. ejemplos: agua, arena, nitrógeno, helio, tetracloruro de carbono, dióxido de carbono y hexacloroetano. para este grupo de materiales, que estrictamente no tienen factor de material, debe usarse un valor de 0.1 a fin de permitir que el método sea efectivo.

d) Mezclas de materiales inflamables con diluyentes

En caso de mezclas de materiales, se usa el factor de material de componente más combustible o explosivo. a menos que siempre este una proporción fija de diluyente. en este caso se puede tomar el factor de material para el componente combustible y ajustarlo en base al peso y tomando $f_m = 1.0$ para un diluyente inerte (o un valor más alto para materiales poco inflamables).

e) Sólidos y polvos combustibles

Muchos materiales sólidos tiene valores de calor de combustión que no son apropiados para usarse en el índice mond. por ejemplo, cuando sólidos metálicos voluminosos u otros con materiales orgánicos como madera en gran volumen (otros que no sean granulados o más pequeños), se seleccionan como el material clave. en estos casos, se aplica un valor $f_m = 0.1$, a menos que el sólido combustible este en forma separada, granular o en polvo, lo que se reconoce como más peligroso que usando el mismo material en forma másiva. en estos casos de mayor riesgo, se calcula el factor de material basado en el calor de combustión del material.

f) Materiales de composición no especificado

Algunos materiales tales como gases combustibles, materiales patentados para aplicaciones especializadas, polvos mezclados (productos farmacéuticos), algunos polvos (harina, carbón, etc.) pueden presentar dificultad para obtener el valor de calor de combustión (a menos que se cuente con datos de bomba calorimétrica). en algunas situaciones se puede disponer de datos en forma de

presión de explosión de recipientes cerrados, que pueden convertirse en factor de material por la siguiente relación:

$$b = \frac{p \times t}{288 \times 6.2}$$

donde p = presión de explosión máxima en psig
partiendo inicialmente de presión atmosférica.
t = temperatura inicial °k

g) Combinación de materiales que pueden reaccionar

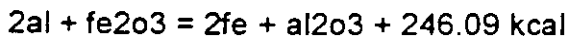
Esto se refiere a combinaciones de materiales donde la cantidad de calor que se puede liberar excede del valor del calor de combustión para el material clave. estas combinaciones surgen cuando se pueden mezclar en la planta cantidades de materiales oxidantes y reductores, y como ejemplo están las reacciones tipo "termita", reacciones de metales finamente divididos con solventes de hidrocarburos halogenados, reacciones de nitración o sulfatación.

Bajo estas condiciones, se calcula el calor de reacción de la combinación y se determina el factor de material como sigue:

$$b = \frac{hr1 \times 1.8}{m1}$$

donde: hr1 = calor de reacción en kcal/grmol de un componente
m1 = peso molecular del componente usado para calcular
hr + el peso molecular equivalente del otro
componente basado en el mecanismo de reacción.

ejemplo de reacción "termita" de aluminio con oxido férrico:



$$b = \frac{246.09 \times 1.8}{53.96 + 159.69} = 2.07$$

Para identificar las combinaciones reactivas potenciales de materiales se debe consultar las referencias 1,2 y 3.

h) Materiales que tienen potencial de explosión o descomposición de la fase condensada

Se considera bajo esta categoría la situación en la que cantidades apreciables de

materiales, tienen algunas propiedades de comportamiento de este tipo. por ejemplo: nitrometano, dinitrobenzeno, acetileno, nitrato propílico, peróxido de hidrogeno concentrado, peróxido orgánico, tetrafluoretileno, etc. en estos casos es necesario establecer si el calor neto de combustión es mayor o menor que el calor neto liberado durante la explosión o descomposición. el valor de liberación de calor que sea mayor se usa para determinar el factor de material.

En los casos en que el material clave pueda formar una mezcla o producto que tiene potencial de explosión o descomposición en la fase condensada al exponerse al aire u otras condiciones, no se considerara este hecho en el cálculo del factor material, ya que el material modificado no representa el volumen total del material presente durante la operación de la unidad.

CONSIDERACIONES DE MEDIDAS PREVENTIVAS POTENCIALES

Al considerar muchos aspectos de los riesgos especiales de proceso, surgen problemás para fijar el valor correcto de los factores cuando se sabe por anticipado que se tomaran medidas preventivas para neutralizar algún riesgo especial del proceso en particular. obviamente, si no se hace ninguna concesión para el sistema más simple de control de la unidad o estándar de diseño, resultara un riesgo alto fuera de la realidad. por otra parte, si se supone que todos los sistemas de seguridad y control operan correctamente todo el tiempo, esto dará una estimación muy baja de riesgos porque no se toman en cuenta las fallas de los operadores ni del equipo.

La directriz que debe seguirse en el estudio de riesgos especiales de proceso (y cualesquiera otras comparables) es suponer que la planta cuenta con sistemas de control (si se operan correctamente) apropiados para mantener la operación del proceso (aunque con algunas desviaciones). este es el sistema de control básico sin considerar los sistemas complejos que normalmente se instalan para mejorar la eficiencia o por razones de control de seguridad. por lo mismo, se considera que la unidad contara con equipo eléctrico de acuerdo con los materiales presentes normalmente y con la guía de clasificación eléctrica de áreas (ver ref. 4).

Los sistemas especiales de interlock, equipo de supresión de explosión, sistemas de venteo o desecho, sensores de gas combustible o analizadores de gas continuo, sistemas fijos de inerte, válvulas de exceso de flujo u operadas a distancia y muchos otros aspectos similares de seguridad, no deben tomarse en cuenta para el estudio inicial de la sección de proceso.

El objetivo del estudio inicial es asegurar que el resultado represente el nivel de riesgo potencial si todos los sistemas de seguridad especiales no operaran. el tamaño y naturaleza de este incidente potencial se puede revisar junto con los sistemas especiales que existan en la sección o los que se consideren por la vía de otros estudios de riesgos. la técnica de la estimación del índice de fuego, explosión y toxicidad mond tiene como uno de sus objetivos la identificación de algunas, pero no necesariamente todas las áreas que requieren estudio más detallado de riesgo.

En una etapa posterior, los valores de factores de riesgo seleccionados inicialmente se revisan y se asignan factores para medidas preventivas.

2. Riesgos especiales del material (m)

Los aspectos a revisar para determinar los riesgos especiales del material tienen por objeto tomar en cuenta las propiedades específicas del material clave o cuando se mezcle con otros materiales tales como catalizadores, los factores de riesgo se asignan en función de las circunstancias de uso del material clave en la sección que se estudia y no se definen por las propiedades del material clave aislado.

a) Materiales oxidantes

Se aplica cuando el material es capaz de liberar oxígeno bajo condiciones de fuego y a cualquier material que se clasifique como una sustancia oxidante en los reglamentos de transporte (ver refs. 1, 2, 3, 5 y 6). el factor usado debe estar entre 0 y 20 y debe relacionarse con la cantidad de material oxidante respecto al material clave y a su poder oxidante. ejemplos: oxígeno líquido, cloratos, nitratos, percloratos, peróxidos.

No se aplica un factor cuando en material oxidante se haya incluido como parte de una combinación especialmente reactiva en la determinación del factor material. no se debe aplicar en los casos de reacciones de oxidación controlada o cloración, donde el abastecimiento de material oxidante o cloración se controla de manera que no se libere ninguna cantidad bajo condiciones de fuego.

b) Materiales que reaccionan con agua para producir gas combustible

Se consideran aquellos materiales que en estado normal o bajo condiciones de fuego reaccionan con agua para liberar gas combustible. si la cantidad de material reactiva es lo suficientemente pequeña como para producir solo un fuego pequeño o un aumento insignificante del incendio, aplique un factor de hasta 5. si el material reactivo es inflamable, no se aplica ningún factor. en los casos en que los que la contribución al fuego de la reacción del material con agua es

apreciable, se selecciona un factor de hasta 30. ejemplos: carburos, sodio, magnesio, amidas metálicas alcalinas, hidruros, etc. (ver refs 3,5 y 6).

c) Características de mezclado y dispersión (m)

El grado de riesgo del material clave esta en función de si se trata de un gas denso o ligero, liquido inflamable, gas licuado inflamable, material viscoso, etc., aunque el material de material sea sensiblemente constante. se selecciona un factor m para los aspectos de riesgo de mezclado y dispersión por fugas o derrames como sigue:

1. Gases inflamables de baja densidad

A menos que estos estén a temperaturas bajo cero, se dispersan rápidamente y su contribución a los riesgos de fuego y explosión es menor que la de los gases con densidad igual a la del aire.

hidrogeno	-use un factor de -60 (menos 60)
metano y amoniaco	-use un factor de -20 (menos 20)
mezclas con otros materiales	-use un factor proporcional basado en los valores arriba anotados y un factor cero a la densidad del aire.

2. Gases licuados inflamables

Un gas licuado inflamable se define como un material inflamable con una temperatura critica arriba de -10 c. para estos gases se usara un factor de 30.

3. Líquidos criogénicos inflamables

El material criogénico se define como un liquido que se almacena a, o cerca de la presión atmosférica y a temperaturas de -73 c o menos.

En los casos en que sean inflamables (como el hidrogeno liquido) se aplica un factor de 60.

4. Materiales viscosos

Si el material clave es altamente viscoso a temperaturas relevantes de la sección, se debe seleccionar un factor de -20 (menos 20); por ejemplo: alquitrán betún, aceites lubricantes pesados, resinas, asfaltos, materiales tixotropicos, etc.

d) Sujetos a calentamiento o combustión espontanea

A los materiales que pueden desarrollar efectos de calentamiento durante el almacenamiento o uso, se les asigna un factor de 30; ejemplos: algunos peróxidos orgánicos y almacenamiento en silos de carbón, materiales orgánicos como paja y pasto, nitrato de amonio, etc.

A los sólidos pirofóricos (como sulfuro de hierro, metales reactivos, fósforo, etc.) se les asigna un factor de 50 a 250. el valor del factor seleccionado debe referirse a la tendencia al fuego que surja de las partículas de sólido pirofórico y si hay impurezas inertes que reduzcan el grado de piroforicidad:

A los líquidos pirofóricos se les asigna un factor de 100. si hay duda de las propiedades del material clave, se deben consultar las referencias 3 y 5.

e) Polimerización espontanea

Para materiales que se puedan polimerizar espontáneamente con rápida generación de calor, cuando se sobrecalientan con fuego o contaminación bajo condiciones normales de almacenamiento, use un factor de 75.

f) Sensibilidad a la ignición

Se refiere a la sensibilidad a la ignición en general del material clave del aire como oxidante. no se incluye la piroforicidad. la guía para seleccionar factores de sensibilidad a la ignición se basa en estándares de clasificación eléctrica para equipos de gas y de vapor, con cambios específicos en los casos en que el trabajo de estudio de riesgo requiere el reconocimiento de diferentes niveles de riesgo como se muestra en la tabla i.

En la tabla i se notaran variaciones entre los diferentes códigos de clasificación relacionados con sensibilidad a la ignición, y a menos que aparezca una guía específica en la tabla mencionada, se debe usar el factor más alto para sensibilidad a la ignición.

g) Sujetos a descomposición explosiva

Una descomposición explosiva se define como una reacción acompañada por la liberación de grandes cantidades de gases calientes que ocurre con suficiente rapidez para proporcionar una rápida reacción o una explosión visible a un observador.

El factor 125 se asigna para el caso de etileno de alta presión, peróxidos concentrados vaporizados, vapor de oxido de etileno, acetileno a presiones a bajo de una parcial de 20 psig, vapor de nitrato propílico, etc. dicho factor también se debe aplicar al acetileno almacenado en cilindros conteniendo absorbente poroso inerte aprobado. no se debe aplicar ningún factor bajo este

encabezado a materiales explosivos en fase condensada (ver i) o a materiales sujetos a detonación gaseosa (ver h).

h) Sujetos a detonación gaseosa

Ciertos materiales pueden dar lugar a detonación gaseosa bajo condiciones normales de procesos o con el equipo específico involucrado o cuando es necesario depender de la instrumentación para conservar el material fuera de los rangos especificados de temperatura, presión, etc. para evitar detonación a estos materiales se le debe dar el factor de 150; ejemplos: acetileno con una presión de más de 20 psig; tetrafluoroetileno bajo presión, peróxido de hidrogeno concentrado, etc. este factor no debe aplicarse a combustibles que detonan cuando se mezclan con aire u otro soporte.

i) Propiedades explosivas de la fase condensada

Bajo este encabezado se consideran las propiedades propulsoras y detonantes explosivas de la fase condensada del material clave o de la mezcla. cuando el material tiene propiedades deflagrantes o de propulsión se le asigna un factor de 200 y 400.

Quando el material puede detonar, se le asigna un factor entre 500 y 1000.

Quando el material sea tal que una explosión de gas o de fase vapor inicie una explosión de fase condensada, adicione 500.

Debe tomarse en cuenta que el comportamiento de la fase condensada de un material es una función de la cantidad del material presente, la presencia de contaminantes y de inertes.

Si el comportamiento es dudoso, debe consultarse con el área de seguridad industrial para definir el factor a asignar.

j) Otro comportamiento extraño

Un ejemplo de riesgos especiales que pueden producir fuego espontáneo o explosión, es el hexano mezclado con el 20 % o más de alquil aluminio, que provoca fuego espontáneo cuando se pone en contacto con el aire.

Las referencias 5 y 6 deben consultarse para estos casos peligrosos y se debe asignar un factor entre 0 a 150. Cuando se presente este riesgo especial se recomienda consultar el área de seguridad industrial.

3. Riesgos generales del proceso (p)

a) Solo manejo y cambio físico

d) Drenaje superficial

Si la unidad de proceso tiene un área de contención de derrame donde el gradiente y/o drenaje a otra fosa es tal que el derrame de la unidad pueda producir un charco de líquido inflamable de más de 2" (50 mm) en el centro del área bajo la estructura o equipo de la unidad de proceso, use un factor de 100.

e) Otros aspectos

Si cualquier unidad de procesos que ocupe un área neta que exceda de 400 m² no se rodea por tres lados por caminos de acceso de 7 m. de ancho como mínimo, use un factor de 75.

Cuando parte de la unidad de proceso corresponde a almacenamiento de materias primas, productos intermedios o finales con una capacidad para más de 12 horas de demanda o producción, use un factor dependiente de la capacidad de almacenamiento involucrada. determine la más alta capacidad en el proceso para cada material como valor h (horas) y calcule el factor $2(h-12)$.

Si la unidad de procesos que esta siendo estudiada se localiza a menos de 10 m. del cuarto de control principal, cafetería, oficinas o limite de talleres, aplique un factor de 50; sin embargo, si la unidad esta construida sobre o abajo de la casa de control, oficinas, etc., use un factor de 250

7. Riesgos de toxicidad

Los riesgos para la salud pueden variar tanto en el grado como en la forma en que se presentan. algunos son identificables en condiciones anormales de proceso, como mantenimiento o procesos fuera de control o en incendios, mientras que otros están presentes continuamente como resultado de pequeñas fugas en juntas, empaques, venteos de gases de proceso, etc. otros riesgos para la salud pueden producirse por asfixiantes como nitrógeno, metano, dióxido de carbono.

La toxicidad de gases, vapores y polvos se clasifica con base en los **time weighted threshold limit values (tlv)**, que se basan en 8 horas de trabajo por día y 40 horas de trabajo por semana. la mayoría de los valores listados de tlv pueden ser excepciones para exposición corta (15 min) considerando que "balancearse" por periodos de tlv de manera que el valor promedio en tiempo no exceda del valor de tlv (referencia 8).

Así mismo la presencia de fuentes radioactivas y los factores físicos como el calor, se deben considerar como riesgos relacionados con "toxicidad".

a) Valores TLV

1) Identifique el material más peligroso en la sección como el que se presenta en cantidad apreciable con el valor de tlv más bajo o el mayor riesgo tóxico (por ejemplo, en el caso de absorción por la piel). Este material puede ser diferente al usado como material clave.

2) Para el valor del tlv se asigna un factor como sigue:

tlv de 0.001 ppm o menos	-factor de 300
tlv > 0.001 ppm hasta 0.01 ppm	-factor de 200
tlv > 0.01 ppm hasta 0.1 ppm	-factor de 150
tlv > 0.1 ppm hasta 1 ppm	-factor de 100
tlv > 10 ppm hasta 100 ppm	-factor de 75
tlv > 100 ppm hasta 1000 ppm	-factor de 50
tlv > 1000 ppm hasta 1%	-factor de 30
tlv > 10 ppm hasta 10 ppm	-factor de 10
tlv > mayor 1% (ejem. asfixiantes simples)	-factor de 0 (cero)

b) Forma de material.

Si el material se presenta en el proceso bajo condiciones criogenicas, asigne un factor de 200.

Si el material se presenta en el proceso como partículas sólidas o polvo, asigne un factor de 200.

Si el material se almacena bajo condiciones gaseosas con una densidad relativa de 1.3 con relación al aire, o más asigne un factor de 25.

Si el material no tiene olor y no se puede ver en su nivel tóxico, aplique un factor de 200; de otra manera, cero.

c) Riesgo de m corta.

El siguiente factor que se puede ver en su nivel permisible por un periodo corto (15 minutos) relativo al tlv medio en tiempo, se debe determinar el factor como sigue:

Factor de excursión = stl/tlv

cuando el factor el excursión es de 1.25	factor de 150
cuando el factor el excursión es > 1.25 hasta 2	factor de 100
cuando el factor el excursión es > 2 hasta 5	factor de 50
cuando el factor el excursión es > 5 hasta 15	factor de 20
cuando el factor el excursión es > 15 hasta 100	factor de 0
cuando el factor el excursión es > 100	factor de -100

b) Factores físicos

Los factores físicos como el calor más alto que el promedio, radiaciones ionizantes o ultravioletas, humedad, gran altura de otros, provocan un mayor esfuerzo del cuerpo y aumentan los efectos de una exposición tóxica. donde se trabaja continuamente a temperaturas superiores a 32 °c y se tiene muchas horas de trabajo (más del 25% de tiempo extra), aplique un factor se 20. se deben evaluar otros factores físicos para caso individuales y se debe de aplicar un factor de 0 a 50 cuando sea apropiado. si hay partículas molestas, use un factor de 10 (ver referencia 8).

8) CÁLCULOS DEL ÍNDICE GLOBAL MOND/ (M)

$$M = b (1 + m/100) (1 + p/100)[1 + (s + q + l)/100 + t/400]$$

donde:

b = factor material

m = factor por riesgos especiales del material

p = factor por riesgos generales del proceso

s = factor por riesgos especiales del proceso

q = factor por riesgos por cantidad

l = factor por riesgos por lay out

t = factor por riesgos de toxicidad

RANGO DEL ÍNDICE GLOBAL MOND GRADO RIESGO

0 - 20	suave
20 - 40	ligero
40 - 60	moderado
60 - 75	moderadamente alto
75 - 90	alto
90 - 115	extremo
115 - 150	muy extremo
150 - 200	potencialmente catastrófico
más de 200	muy catastrófico

9) cálculo de carga de fuego (f)

$$f = (bk/n) * 20\ 500 \text{ btu/ft}^2$$

donde:

b = factor material

k = cantidad de material

n = área normal de trabajo.

Se calcula la carga de fuego de la unidad porque da una indicación de la duración del fuego en caso de un incidente. el cálculo se basa en los btu/ft² de área plana, lo que permite efectuar una comparación con valores para otros tipos de edificios.

Cantidad de fuego (f) en-----Rango de la categoría----- duración----- comentarios
btu/ft² del área normal de trabajo. (horas)

0 - 50 000	ligero	1/4 - 1/2	
50 000 - 100 000	bajo	1/4 - 1	casas
100 000 - 200 000	moderado	1 - 1	fabricas
200 000 - 400 000	alto	2 - 4	fabricas
400 000 - 1000 000	muy alto	4 - 10	edificios
1 000 000 - 2 000 000	muy alto	4 - 10	bodegas
2 000 000 - 5 500 000	muy alto	4 - 10	
5 000 000 - 10 000 000	muy alto	4 - 10	

10) cálculo de potencial de explosión

$$e = 1 + (m + p + s)/100$$

$$a = b (1 + m/100) qhe (t/300) (1+p)1000$$

donde:

m = factor por mezclado y dispersión

h = altura de la unidad

t = temperatura del proceso

p = factor por alta presión

Se calcula un índice de explosión interna de la planta, como una medida del riesgo de explosión interna de la planta. las categorías asignadas a los valores del índice (e) son:

Índice de explosión interna de la sección (e)	Categoría
0 - 1	ligero
1 - 2.5	bajo
2.5 - 4	moderado
4 - 6	alto
arriba - 6	muy alto

Esto no representan el único potencial de explosión de la sección. De un estudio de un gran numero de escapes de sustancias inflamables que han dado lugar ya sea a explosiones aéreas o a nubes que han causado inicialmente fuego por ignición, ha sido posible derivar el índice (a) de explosión aérea.

las categorías asignadas a varios valores a son:

explosión aérea índice (a)	categoría
0 - 10	ligero
10 - 30	bajo
30 - 100	moderado
100 - 500	alto
arriba de 500	muy alto

11) cálculos de riesgos de toxicidad

$$u = t/100 (1 + (m + p + s) / 100)$$

Un índice unitario de toxicidad se calcula de manera que represente la influencia de la toxicidad y consideraciones afines sobre el control y supervisión de la sección de la planta. Sobre el control y supervisión de la sección de la planta, las categorías asignadas a los valores del índice unitario de toxicidad (U) son:

INDICE UNITARIO DE TOXICIDAD.

TOXICIDAD U	CATEGORIA
0 - 1	ligero
1 - 3	bajo
3 - 6	moderado
6 - 10	alto
arriba de 10	muy alto

Usando una combinación del índice unitario de toxicidad U y el factor de cantidad Q. Se obtiene el índice del máximo incidente tóxico c.

Se debe aclarar que si ha sido derivado a partir de una cantidad de material que no es el material tóxico, en este caso se debe derivar de la cantidad de material tóxico presente en la sección:

ÍNDICE DEL MÁXIMO INCIDENTE TÓXICO (C) CATEGORÍA

0 - 20	ligero
20 - 50	bajo
50 - 200	moderado
2100 - 500	alto
arriba de 500	muy alto

12) índice global de riesgo (r).

$$r = d (1 + (fuea) 1/2) / 10 e3$$

si uno de los factores tiene un valor de cero, se debe considerar un valor mínimo del en esta formula.

las categorías para r se aplican como sigue:

FACTOR DE RIESGO (R)	CATEGORÍA DEL RIESGO GLOBAL.
-----------------------------	-------------------------------------

0 - 20	suave
20 - 100	bajo
100 - 500	moderado
500 - 1100	alto (grupo 1)
1100 - 2500	alto (grupo 2)
2500 - 12 500	muy alto
12500 - 65 000	extremo
> 65 000	muy extremo

El uso de esta categoría del riesgo global en el arreglo de una planta se considera con más detalle en la referencia 10 como diferentes niveles aceptables de riesgo global, pueden ser apropiadas según las circunstancias, la lista de valores del factor global de riesgo a la mitad del rango se divide en dos conjuntos más pequeños: alto (grupo 1) y alto (grupo 2), ya que uno puede considerarse aceptable y el otro no.

13) DISMINUCIÓN EN EL VALOR DE LOS ÍNDICES POR LA ADOPCIÓN DE MEDIDAS ADECUADAS DE SEGURIDAD MEDIANTE EL DISEÑO.

El valor y la categoría de los índices se pueden considerar aceptables; en caso contrario, se requerirá trabajo posterior para lograr tal objetivo. El primer paso es revisar los factores individuales y asegurarse si se puede hacer una reducción por cualquiera de las siguientes razones:

- ⇒ Si se ha sobrestimado un riesgo en la evaluación original.
- ⇒ Alteraciones hechas a tamaños, condiciones de operación, etc., Relativas a las unidades que forman parte de la sección.
- ⇒ Sustitución por diferentes tipos de equipo de proceso de aquellos seleccionados originalmente.
- ⇒ Adopción de diseños de equipo que involucren menos riesgos de fallas de operación de la unidad o fugas de materiales clave.

En el caso de propuesta para una planta con proceso nuevo, pueden existir pocas posibilidades de efectuar cambios a menos que se efectúe una investigación adecuada de las alternativas. si un cambio en particular puede reducir en forma considerable el riesgo, se justifica el trabajo de investigación necesario.

Con plantas en operación, los registros y experiencias y accidentes deben tomarse como guía para mejorar diseños y técnicas de operación. sin embargo, debe tenerse cuidado al usar las experiencia de operación para disminuir los factores de riesgo en áreas donde se hayan presentado accidentes. para poderlo hacer se requiere que:

- a) La planta se haya operado de la misma manera por un periodo de tiempo determinado.
- b) Que se hayan presentado un número adecuado estadístico de paros, arranques y otras situaciones anormales.

Siempre que los factores de riesgo individual se reduzcan, el nuevo valor debe aparecer en una columna de "valor reducido" en las formás y se debe añadir una nota de la razón del cambio. una vez que los cambios individuales se hayan hecho, los índices se deben recalcular. esto se identifican por el sufijo uno para distinguirlos de los valores calculados anteriormente.

14) clasificación de factores de seguridad y medidas preventivas.

Los diversos factores de seguridad y medidas preventivas que se pueden incorporar a una unidad, se dividen en dos clases, que se definen como:

- i.- Reducción de riesgo por disminución de la frecuencia.
- ii.- Reducción de riesgo por disminución de la gravedad potencial.

La primera clase comprende los factores de seguridad y medidas preventivas tendientes de evitar los accidentes y/o que disminuye las frecuencia de los mismos. la naturaleza de estos factores se relaciona con el diseño mecánico, instrumentación de control y seguridad, procedimientos de operación y mantenimiento, entrenamiento de personal enfocado a la seguridad, la buen a operación de la planta se puede decir de algunos de estos factores que actúan en forma directa reduciendo el potencial de riesgo; como el entrenamiento de personal. juegan un papel importante al asegurar que la eficiencia de los factores de diseño no se vea afectada por errores humanos.

La segunda clase de factores de seguridad y medidas preventivas esta constituida por las acciones que se deben tomar en cuando suceda un accidente para minimizar sus consecuencias, además para minimizar sus consecuencias, además de aquellas como protección contra incendios, sistemas fijos para combatir fuegos, etc., que también sirven para reducir el daño producido por fuegos y explosiones. estos son muy importantes (a pesar de que la frecuencia de los accidentes se reduzca por otros medios), porque un accidente puede presentarse en cualquier momento sin importar la frecuencia.

Hay situaciones particulares en las cuales los factores o cambios específicos pueden lograr mejoras en ambas clases al mismo tiempo. Para el propósito de este manual se clasifican de acuerdo al efecto más importante que se intente producir.

No se deben incluir bajo ambas clasificaciones porque esto produciría una disminución excesiva de riesgos.

El efecto combinado de estas dos clases de medidas es disminuir la categoría de riesgos de una unidad, lo que es aceptable y para decidir asuntos tales como un arreglo apropiado para la planta.

Los factores seleccionados en cada apartado se multiplican entre sí para obtener los valores de k1 a k6. Cuando algún inciso no aplique, ya sea porque no se cuente con lo que especifique o no sea necesario, se le asignará un valor de 1.

MEDIDAS DE DISMINUCIÓN DE LA FRECUENCIA

k1) sistemas de contención.

Referido a la reducción de riesgo como consecuencia de riesgo como consecuencia de cualquier mejora en el diseño estándar de los recipientes a presión y sistemas de tuberías y protección de estos contra daño accidental o efectos de "knock-out", incluyendo procedimientos de mantenimiento y modificaciones. Los sistemas de detección de fugas que puedan advertir de un escape de material, si el equipo está protegido adecuadamente contra sobrepresión interna y también si el material venteado o de desecho se envía a lugares seguros.

Las fallas del sistema de contención se indican por fugas del contenido de la atmósfera. Muchas mejoras del sistema de contención (especialmente en unidades que llevan a cabo una operación o reacción específica), se puede hacer por la selección de un diseño diferente de juntas o empaques y a menudo, al reducir su número en la unidad. Igualmente, se pueden hacer cambios en los materiales de construcción y reducir la influencia de los puntos mecánicos débiles (tales como fuelles de expansión).

Cuando se trata de sistemas de almacenaje, contenedores de transporte, tuberías de transferencia o sistemas de alta velocidad de reacción a presión, el principio básico para mejorar los sistemas de contención es adoptar un estándar de diseño superior al común y una mejor técnica de fabricación/inspección que la usual. Como la mayoría de estos sistemas tendrán grandes inventarios, la

disminución de riesgo potencial es considerable con estos cambios y tienen que ser compensada adecuadamente antes de que estén disponibles las clasificaciones reales de riesgo del arreglo general de la planta.

a) Recipientes a presión.

Si un recipiente esta de acuerdo con el ASME pressure vessel code section 8, div. 1 o 2, se utiliza un factor de disminución de 0.9. si no se cuenta con información sobre el código que se utiliza en su construcción o el recipiente esta deteriorado, se utiliza un factor de 1.0.

b) Tanques de almacenamiento atmosféricos verticales.

Los tanques de almacenamiento atmosférico verticales se usan para almacenar líquidos y gases licuados a presiones que van de 6 mbar de vacío interno a un presión de vapor interna máxima de 140 mbar (más el peso contenido) y se diseñan de acuerdo con los estándares de ingeniería aprobados. no es probable en un tanque atmosférico de almacenamiento vertical hacer un prueba de presión al grado que normalmente se hace con un recipiente a presión. el esfuerzo adicional que se tiene en un tanque de almacenamiento vertical por efecto de la corrosión, es menor en los tanques de diámetro grande (igual que el caso de los recipientes a presión) que con los tanques de almacenamiento pequeños.

Por estas razones, un tanque de almacenamiento vertical de gran diámetro no garantiza un factor de disminución aun cuando se estipule en los códigos de diseño el uso de una pequeña cantidad de pruebas no-destructivas.

Esto no implica que el estándar de construcción sea inferior sino que la ausencia de pruebas de rendimiento más la verificación mínima de soldadura es indicada en el asme, pressure vessel code, sección 8, div. 1 o 2. se aplica un factor de disminución de 0.9 (o excepcionalmente 0.8) para tanques de diámetro pequeño (hasta 10 metros de diámetro), o cuando en casos especiales se adoptan estándares extensivos de prueba no-destructivas y otras pruebas que las normales.

c) tuberías de transferencia.

Las tuberías que se usan para transportar cantidades de materiales peligrosos entre unidades de una planta o entre complejos de plantas de un sitio dado, o entre fabricas a través del campo o terceras partes, frecuentemente se diseñan con estándares superiores a los normales para tuberías de proceso. el potencial total de fuga de estas tuberías de transferencia puede ser grande, debido a que los inventarios considerables de material en la tubería y a los sistemas de recipientes de recepción/alimentación.

En el American National Standar For Gas Transmission And Distribution Piping Systems (sistemas de tuberías para transmisión y distribución de gas de E.U.A.), referencia 12, se menciona en la cláusula 841.151 cuatro tipos de diseño permitidas que se reducen progresivamente dependiendo de la localización a fin de controlar el riesgo a un nivel razonable de exposición a comunidades.

El grado de reducción global de riesgo logrado por estándares de diseño superiores también se refiere a eliminar conexiones bridadas hasta que sea posible, así como el uso de diseños óptimos donde las bridas sean necesarias y el uso de modelos de válvulas, bombas, etc., en los que las fugas de los empaques se reduzcan al mínimo por arreglos especiales de doble sello, diseños de rotor canned, sellos de fuelle, etc.

Para uso de procesos, la tubería debe sujetarse a un prueba hidrostática después de su fabricación y también a una prueba apropiada al ser instalada. no es aceptable la limitación de numero de bridas normales ni de bridas de traslape. las condiciones de diseño se proporcionan en la American National Standar For Gas Transmisión And Distribution Piping Systems (sistemas de tuberías para transmisión y distribución de gas de E.U.A.), referencia 13, para servicio de fluidos no incluidos en las categorías d o m.

Esto se considera como el diseño estándar "normal" respecto al cual se asignan los factores de disminución por mejoras de tubería de transferencia de fluido (dentro o fuera de la planta).

Los factores de disminución para tubería de transporte de fluidos diseñada de acuerdo con el ANSI B31-8: 1975 se asignan de la siguiente manera:

- 1) Cuando la tubería se diseña y se construye de acuerdo a las clases de localización 1, 2, 3, 0 4 de conformidad con la cláusula 841. 151, use un factor de disminución de 0.90.
- 2) si el tipo de diseño y construcción adoptado en una categoría más resistente que el tipo especificado, use un factor de disminución de 0.80.
- 3) Si el tipo de diseño y construcción adoptado es dos categorías (o su equivalente, aunque no este en el código) más resistente que el especificado use un factor de disminución de 0.70.
- 4) Si el tipo de diseño y construcción adoptado es 3 categorías (o su equivalente, aunque no este en el código) más resistente que el especificado, use un factor de disminución de 0.60.

En adición a los anteriores factores de disminución por diseño y construcción de tubería de acuerdo a diseños más resistentes que los estándar, se debe aplicar un factor de disminución adicional apropiado por medidas relacionadas con fugas en juntas, válvulas, bombas, etc., para dar un factor de disminución de "fugas" se deben asignar como sigue:

1) Por el uso de tubería completamente soldada y 100% radiografiada sin bridas, excepto en las secciones de válvulas, como se especifica en la cláusula 846.11 de la ref. 23, use un factor de 0.90.

2) Por el uso de bridas de cuello soldadas en lugar de bridas de traslape en todas las uniones bridadas, use un factor de 0.95.

3) Por el uso de caras realzadas y juntas restringidas (anillos sólidos en el interior y exterior o diseños de trampa) en todas las uniones bridadas, use un factor de 0.95.

3) Por el uso de diseños de rotor coned, válvulas selladas por fuelles y otros sistemas especiales para sellado de la flecha, use un factor de 0.95.

Se permite usar más de uno de los factores anteriores multiplicandolos entre si.

Usando ambos grupos de factores de disminución para tubería de transferencia bajo condiciones optimas, se puede obtener un factor de reducción total hasta de 0.50.

d) Contenido adicional, chaqueta para recipientes y diques.

Una técnica que se puede aplicar para mejorar los estándares de contención de recipientes de almacenamiento y de proceso a presión, así como en recipientes atmosféricos y en los grandes tuberías de transferencia, es proveerlos de una segunda (y ocasionalmente tercera) cubierta o pared, de manera que más de una "barrera" tenga que fallar antes de que haya un escape incontrolable a la atmósfera. también un dique es medio de mejorar los estándares de contención para que una falla no conduzca a un escape de material que se extienda sino que asegure la permanencia en un área limitada para combatir incendios, neutralizar o recuperar.

Cuando un recipiente de almacenamiento que contiene líquidos inflamables o tóxicos (o gas licuado bajo condiciones totales o parciales de refrigeración) se provee con una segunda pared de contención (para presión atmosférica), que se construye a todo lo largo del recipiente, se le asigna un factor de 0.45 si la segunda pared resistente la carga del contenido total después de la falla de la

primera pared. en el caso de un recipiente a presión, la provisión de una segunda cubierta fuera de una capa de aislamiento también capaz de contener los contenidos a presión, aplica un factor de 0.50.

Bajo condiciones donde una segunda pared o cubierta este provista por fuera de un recubrimiento de al menos 150 mm. de espesor y la pared o la cubierta este sellada y tiene una resistencia equivalente a 3 mm. de acero suave, use un factor de 0.75.

En el caso de los recipientes transportables que contengan líquidos inflamables o tóxicos (gases licuados) que están provistos en los extremos con protección contra impacto equivalente a 12 mm de espesor de acero suave, use un factor de 0.80. estos se puede aplicar en adición a los factores de la segunda cubierta ya especificados.

Cuando las tuberías de transporte están provistas de una cubierta exterior equivalente a 6 mm. de acero suave, aplique un factor de 0.6.

En casos excepcionales en los que se proporciona una tercera cubierta o pared, multiplique entre si los factores apropiados para cada una de ellas.

Cuando el área de tanques de almacenamiento esta provista de diques según los requerimientos normales para líquidos inflamables, use un factor de 0.95. si la altura de la pared del dique es igual al 50% de la altura del tanque más alto que se encuentra dentro de el, o cuando su capacidad se cálculo tomando en cuenta la formación de espuma u otra condición más severa, use un factor 0.75. cuando la pared del dique es vertical o incluida hacia adentro (más acerca aplique un factor adicional de 0.85.

Si la base del dique es de concreto o se aplanado para tener para tener menor superficie de contacto con el material que se escape, aplique un factor adicional de 0.90. si el dique esta sellado por completo de manera que el material que se escape no pueda salir fuera del dique ni penetrar en la tierra, use un factor adicional de 0.90.

Si especialmente para equipos de investigación o planta piloto, las condiciones de diseño del recipiente son capaces de soportar una explosión interna previsible, use un factor de 0.4.

Se puede incrementar la eficiencia de los sistemas de contención si se tienen instalados en forma permanente sistemas de detección de fugas de gas o vapores de todas las posiciones factibles alrededor de la sección. este sistema de detección de fugas debe contar con una indicación de la localización del sensor que es respondido en el cuarto de control, desde donde se puede tomar una acción inmediata para aislar y/o depresurizar el área. se asigna factores de

reducción como sigue:

1.- Si el sistema de detección de fugas se ha instalado de manera que sea necesaria una investigación antes de iniciar las actividades de paro, use un factor de 0.95.

2.- Si el sistema de detección de fugas permite a los operadores en el cuarto de control la rápida identificación del punto que requiere aislarse y/o despresurizado, use un factor de 0.90.

3.- Cuando por detección de la fuga se puede tener una identificación y respuesta rápida para paro de la planta, por parte de los operadores en el cuarto de control, use un factor de 0.85.

4.- Cuando después de la detección de la fuga, los operadores en el cuarto de control puedan lograr el aislamiento y la efectiva despresurización por medio de válvulas accionadas remotamente con un tiempo de respuesta de 10 a 20 segundos por diámetros de 2" - 4" de 30 segundos a 1 minuto para válvulas con diámetro entre 9" y 18" en si proporcionalmente, use un factor de 0.80.

5.- En el caso de líneas de transferencia en el que todas las válvulas de corte pueden operarse remotamente por el personal del cuarto de control, aplique un factor de 0.90.

Los factores anteriores se aplican cuando las unidades de detección operan una concentración equivalente al 25 % del límite inferior de inflamabilidad; si se ajustan para operar una concentración menor o igual al 10% del límite inferior de inflamabilidad, aplique un factor adicional de 0.90.

f) manejo del material relevado, venteado o de desecho.

En general se reduce el riesgo si el material que debe ser eliminado de un sistema de contención se maneja de tal manera que se evite la contaminación del ambiente por lo que se puede aplicar un factor de reducción apropiado por mejorar el sistema de contención, como sigue:

1.- Si todo el material en estado gaseoso o de vapor que se releva se ventea en una emergencia o se desecha, se envía a un quemador elevado o a un recipiente de venteo cerrado, use un factor de 0.9.

2.- Si se arregla que el líquido u otro contenido que se vaya a desechar se envíe a un quemador del campo a una fosa alejada (cuando menos 15 m), use un factor entre 0.95 y 0.90 de acuerdo con la eficiencia que se prevea para el sistema en el enfriamiento neutralización de reacciones peligrosas.

K2) CONTROL DE PROCESO.

Referido a alarmas y/o sistemas de paro de seguridad activados por condiciones normales específicas de proceso. Los factores especiales tales como sistemas de enfriamiento de emergencia para el proceso, suministro de energía de emergencia para operaciones vitales (como unidades de refrigeración, agitadores y bombas) y sistemas de gas inerte, están claramente relacionados con el control de procesos bajo condiciones normales y construyen frecuentemente un factor esencial para cualquier sistema de seguridad.

La instalación de equipo de supresión de explosión, equipo diseñado para registrarlo o equipo de venteo seguro para explosiones internas, también son parte importante del sistema de control de procesos.

La interconexión de arreglos de válvulas en líneas de procesos y la posibilidad para aprobar la instrumentación y el control de seguridad durante la operación de la unidad, son otros aspectos deseables para un buen sistema de control de procesos.

Una mejora en la eficacia del control de procesos es cuando se efectúa por medio de una computadora que también este ligada al sistema de paro de seguridad.

~~Un aspecto muy importante del control de procesos son los procedimientos de operación para:~~

- ⇒ Operación Normal
- ⇒ Arranque
- ⇒ Paro
- ⇒ Trabajo De Mantenimiento
- ⇒ Prevenir Situaciones Anormales
- ⇒ Modificaciones A La Planta

Así mismo es esencial para el buen funcionamiento del control del proceso el enfriamiento de los operadores, para que la protección, la inspección frecuente del equipo de la planta por operadores o donde haya un circuito cerrado de televisión adecuado que ayude efectivamente al control de proceso via instrumentación instalada

Siempre que se cuente con un sistema automatizado de control de proceso y se tenga confianza en los sistemas de alarma de seguridad y de paro, resulta necesario el contar con el suministro adecuado de energía para el control de las

principales operaciones durante condiciones anormales. todos estos aspectos requieren la adopción de factores de reducción de acuerdo con la confianza que se tenga al sistema como fue diseñado.

A) Sistemas de alarma.

La ayuda más simple para la operación segura de una planta es el proporcionar un sistema de alarma que indique las diversas fallas que se pueden encontrar en operación. si el sistema requiere de decisiones por parte del operador y acciones de corrección o paro para evitar una acción potencial de riesgo que puede convertirse a un accidente, un factor de 0.95 es apropiado.

Si el sistema de alarma es del tipo en que las condiciones anormales especificas se indiquen como situaciones peligrosas contra la retroalimentacion de otras indicaciones de alarma aplique un factor de 0.90.

b) Suministro de energía de emergencia.

El contar con suministro de energía de emergencia para servicios esenciales (aire de instrumentos, instrumentación de seguridad y de control clave, agitadores, bombas, ventiladores) donde el cambio de suministro normal al de emergencia se lleva a cabo automáticamente sin necesidad de rearrancar motores constituye un aspecto clave en la reducción de riesgos. el numero de unidades de energía que se justifica para tener este tipo de servicio, solamente puede determinarse efectuando un estudio detallado de riesgos en la sección. sin embargo, es posible definir durante las primeras etapas del diseño si se va a contar con un suministro de energía de emergencia con cambio automático; si se toma esta decisión, un factor de 0.90. es apropiado.

c) Sistemas de enfriamiento de proceso.

Es frecuente que cuando se presenta una situación anormal en la planta, sea necesario evitar que los sistemas de enfriamiento y refrigeración dejen de funcionar rápidamente. si los sistemas de enfriamiento de proceso están diseñados con una capacidad para poder continuar trabajando por espacio de 10 minutos al presentarse un situación anormal se usa un factor de 0.95. si el sistema de enfriamiento es capaz de proporcionar el 150% de los requerimientos marcados en el diagrama de flujo durante 10 minutos se aplica un factor de 0.90.

d) Sistemas de gas inerte

Si se cuenta con una cantidad de gas inerte capaz de purgar toda la sección cuando se requiera, sin suspender el suministro normal se aplica un factor de

0.95.

Si los equipos que contienen líquidos inflamables cuentan con un colchón permanente de gas inerte para reducir el nivel de oxígeno por bajo de 1% v/v (en base libre de combustible), se aplica un factor de 0.8.

Si se tiene conectada la sección una tubería permanente de vapor, asigne un factor de 0.90.

e) Estudios de riesgo

Solamente pierde ser efectivo un sistema de paro de seguridad si se ha hecho un estudio completo de riesgos en la sección, para identificar las fallas que puedan crear condiciones riegosas y cada una de estas citaciones se ha evaluado para obtener el grado de riesgo resultante. en un sentido amplio, el valor inicial del factor r de riesgo global da una idea de la magnitud potencial del incidente que pide presentarse en una sección, pero no pretende identificar las fallas que lo originan.

Antes de seleccionar los factores de reducción para los sistemas de control de seguridad propuestos (o existentes) se necesitan factores de reducción equivalente al grado de detalle con que se ha efectuado (o se efectuara) el estudio de riesgos. se aplica un factor entre 1.0 y 0.7 de acuerdo al tiempo y al personal con experiencia disponible para el estudio de riesgos.

La categoría del riesgo global y su aceptación (junto con los resultados de riesgos) servirá para definir la eficiencia que debe tener el sistema de paro de seguridad con la que se obtiene un factor de reducción. es obvio que antes de asignar un factor de reducción es importante verificar que sea efectuado (o que se efectuar) un estudio completo de riesgo; de otra manera puede suceder que cualquier sistema de paro de seguridad seleccionado no se diseñe correctamente.

f) Sistemas de paro de seguridad

Se pueden identificar tres niveles de sistemas de paro, para los que se tienen los siguientes factores de reducción

1.- Cuando se usa un sistema de protección altamente integrado un factor de 0.75 es apropiado. estos sistemas constan de varias señales de disparo consideradas por un sistema de votación en el sistema de paro de seguridad antes de que cualquier instrumento (más de uno por servicio) de paro sea activado.

2.- Un nivel intermedio de sistemas de paro es el sistema de redundancia directa donde se duplican las funciones de disparo de manera que una condición anormal iniciara el paro. para este tipo de sistema de seguridad se aplica un factor de reducción de 0.85, a menos que se tenga otra opinión por parte de ingenieros de seguridad y control.

3.- Para el sistemas simple de paro de seguridad constituido solamente por funciones individuales de disparo o paro u operaciones de venteo, es apropiado un factor de 0.95 se debe recalcar que es necesaria la experiencia o guía de un experto para asignar factores de reducción en un estudio de riesgos y par todo lo relacionado con sistemas de paro, y que los valores sugeridos constituyen una guía básica. si se puede probar regularmente la instrumentación de control y de seguridad con la planta en operación y la frecuencia de las pruebas se define de acuerdo al análisis de confiabilidad y estudios de riesgos use un factor adicional de 0.80.

Si como parte de la sección que tiene equipo rotatorio como compresores, ventiladores, turbinas, etc., cuentan con equipo de detección de vibración, seleccione un factor de 0.90 únicamente consta de alarmas y de 0.80 si se inicia el paro de sección.

g) control de computadora.

Si la planta esta controlada por computadora en línea directa a los controles y monitores de flujo de proceso de manera que continuamente se toman acciones correctivas, se logra generalmente una operación más uniforme que con instrumentación o control manual esto tiene una influencia para el nivel de riesgo de la planta siempre que esta sea operada únicamente por control de computadora y que tenga funciones de paro independientes del sistema de control de paro. si se tiene estas condiciones, se usa un factor de 0.85. cuando la computadora en línea funciona únicamente como ayuda para los operadores no controla directamente las operaciones clave o cuando la planta se opera frecuentemente con la ayuda de la computadora, use un factor de 0.95.

h) protección contra explosiones y reacciones incorrectas.

La planta esta provista de un sistema de interlock para prevenir el flujo incorrecto de material y evitar reacciones indeseables aplique un factor de 0.95.

Cuando se tiene instalado un equipo de supresión de explosión en una unidad de proceso o de almacenamiento, use un factor de 0.80. si el equipo de la planta esta provista de instrumentos de relevo de sobrepresiones o de venteo de explosión (en el caso de riesgo de explosión interna) adecuados para protegerlo de condiciones anormales previsibles, seleccione un factor entre 0.95 y 0.85 de acuerdo a la eficacia de los instrumentos de sobrepresiones en el caso de: gas,

vapor, neblina o venteo de reacción interna. con riesgos de explosión de polvo, debe usarse un rango de 0.90 y 0.70, seleccionando factores cercanos de 0.90 para los polvos que producen explosiones más violentas.

En el caso de edificios que manejan polvos y productos similares, se seleccionan un factor de 0.85 si se cuenta con relevo de explosión para el edificio diseñado según NFPA o un código equivalente.

i) Instrucciones de operación

Las instrucciones de operación debe cubrir las condiciones normales de operación pero su valor se aumenta si incluye otros aspectos como:

- 1.- arranque
- 2.- paro normal
- 3.- paro de emergencia
- 4.- arranque después de un paro de poca duración
- 5.- procedimientos para el mantenimiento incluyendo permisos de trabajo o sistemas de limpieza, descontaminaron para mantenimiento etc.,
- 6.- arranque después del periodo de mantenimiento.
- 7.- situaciones anormales predecibles
- 8.- procedimientos de control para modificación de equipo de tubería (necesidad de re-examinar los estudios como resultado de la modificación).
- 9.- Condiciones normales de operación.
- 10.- Condiciones normales durante el paro.
- 11.- Condiciones de operación con una capacidad mayor (por arriba) de la mencionada en el diagrama de flujo)
- 12.- Condiciones cuando esta recirculando (recirculación total sin reacción química a temperatura y presión normal).

Para aplicar el factor, determine cuantas condiciones de las doce mencionadas arriba se cubren efectivamente. Si el numero de condiciones cubiertas es x, aplique un factor de:

1 - x/100.

Este factor de reducción se encontrara en el rango entre 0.97 y 0.88, dependiendo del grado de explicación que tenga las instrucciones de seguridad.

j) Supervisión de la planta.

Si la planta se encuentra normalmente patrullada a todas horas del día y de la noche y se pueden tener una buena vigilancia del equipo principal mediante el circuito cerrado de televisión, use un factor de 0.95. si es posible ponerse en contacto con todos los operadores por medio de un radio o un medio equivalente desde el cuarto de control use un factor adicional de 0.97.

K3) ACTITUDES DE SEGURIDAD.

La actitud de la gerencia hacia normás de seguridad contribuye (cuando el énfasis es correcto) significativamente a la reducción de la frecuencia de accidentes. el resultado de fomentar la seguridad se ve en aumento en el nivel de entrenamiento de todo el personal, la adhesión o procedimientos de operación establecidos, buenas normás de mantenimiento, la aplicación correcta de sistemas de aprobación a las modificaciones y permisos de trabajo, verificaciones regulares y eficientes de todos los sistemas de seguridad y control y un informe concienzudo de circunstancias anormales, fallas y accidentes menores.

la actitud gerencial hacia la seguridad, solo será plénamente efectiva si es visible y esta respaldada por actividades apropiadas (inspección, exigencia, modelaje, acciones disciplinarias, entre otras.)

Aunque la planta este adecuadamente diseñada, construida, provista de instrucciones de operación por escrito, etc., la actitud general en el sitio hacia las normás de seguridad tendrá efecto sobre el grado de alcance en la obtención de un operación segura.

a) Actitud de la gerencia.

Es de esperarse que en toda compañía y sitio bien organizado se tenga la firme resolución de seguir normás altas de procedimientos de seguridad, se selecciona un factor de 0.95 y 0.90.

b) Entrenamiento en seguridad.

Si regularmente se lleva a cabo un programa de entrenamiento sobre seguridad que incluya a todos los operadores, personal administrativo, auxiliar o del contratista en planta, use un factor entre 0.80 y 0.95, de acuerdo a las características del programa.

c) Procedimientos de mantenimiento y seguridad.

La observancia estricta de permisos de trabajo o sistemas de certificación de limpieza para mantenimiento y trabajos de modificaciones proporciona un factor entre 0.98 y 0.90, dependiendo del apego a los procedimientos.

En una planta donde se efectúe el mantenimiento preventivo programado, se usa un factor adicional de acuerdo a la eficacia con la que se efectúen las inspecciones de seguridad y limpieza en la planta, se debe escoger un factor en el rango de 0.97 a 0.90 que depende de la ausencia de basura (particularmente de materiales combustibles e inflamables), de fugas de materiales tóxicos, inflamables, fluidos e servicio, etc.

Cuando se elaboren Cursos completos de accidentes, condiciones anormales de proceso y falla (que cubran cuando menos el 50% de dichos eventos), se aplica un factor de 0.95.

En una planta donde se manejan sólidos inflamables, combustibles o tóxicos, al contar con un equipo fijo de limpieza por medio de vacío u otro sistema equivalente que se use regularmente y evite la acumulación de polvos fuera del equipo de proceso, justifica el uso de un factor de 0.80.

MEDIDAS DE DISMINUCIÓN DE LA GRAVEDAD POTENCIAL.

K4 PROTECCIÓN CONTRA FUEGO.

La medida más importante para reducir el riesgo es asegurarse de que las estructuras y recipientes de la sección estén provistos de la protección efectiva contra el fuego, así como contar con cortinas de agua o vapor, paredes resistentes a fuego, arrestadores de flama, pisos sólidos, etc., que eviten que se propague el fuego y el humo.-

Otro aspecto es la protección contra exposición al fuego o agentes corrosivos de los cables de instrumentos, líneas de corriente, cables de potencia, con el fin de que no se interrumpan las funciones de control durante una situación anormal.

La protección contra fuego de las estructuras de las plantas (de acero, pisos, etc.) que soportan el peso del equipo de proceso, debe considerarse de manera diferente a las paredes o barreras contra fuego que únicamente proporcionan una cubierta de carga se limitan a evitar que la pared o barrera se caiga por efecto de su propio peso.

El equipo de la planta requiere protección contra fuego para evitar que se dañe por el calor y que se efectúe una transferencia de calor inaceptable hacia el contenido del mismo. la cantidad de calor transferible es una función de las características del contenido y la presión de operación.

Cuando se lleva a cabo un entrenamiento regular por operadores sobre el uso de extintores portátiles, equipo de flujo y colaboración con las brigadas contra incendio, asígne un factor de 0.90.

h) ventiladores para humo.

Si se tiene ventiladores para humo colocados en los techos d edificios de almacenamiento, empaque u otros procesos, además de separadores de humo a nivel del techo para evitar que otros edificios se vean afectados, aplique un factor de 0.90.

15) Cálculo del efecto global de los factores de reducción

carga de fuego $f1 = fk1 k4 k5$

índice de explosión $e1 = ek2 k3$

índice de explosión aérea $a1 = a k1 k5 k6$

índice global mond $r1 = r k1 k2 k3 k4 k5 k6$

Los resultados obtenidos en cada encabezado por el producto y los factores son utilizados para el cálculo de los valores revisados de: la magnitud del fuego (f1), el índice de explosión (e1), el índice de explosión aérea (a1) y el índice global de riesgos (r1).

Este último valor es importante para determinar si el nivel de riesgo de la sección es aceptable o no y para escoger un arreglo satisfactorio de la planta durante las primeras etapas de diseño.

Finalmente, los elementos principales de la reducción de r a r_1 deben anotarse en la hoja para recordar la necesidad de apegarse a ellos durante las últimas etapas de diseño.

16) conclusiones

Los lineamientos dados para los factores de reducción están basados en la experiencia obtenida por las compañías de seguros y los análisis de accidentes y se consideran razonables para poder asegurar que se ha dado un peso adecuado a los factores que indirectamente disminuyen los riesgos, al efectuar la revisión de los riesgos y definir un arreglo de equipo adecuado. no se les debe asignar una confiabilidad mayor del + 20 % que tiene globalmente el método de índice de m_{ond} para fuego, explosión y toxicidad.

SECUENCIA DE CÁLCULO ÍNDICE MOND

I Cálculo de índices sin considerar los factores de seguridad

1.-SELECCIÓN DEL MATERIAL CLAVE (MÁS RIESGOSO Y EN MAYOR CANTIDAD)

- a) Listado de materiales, reacciones , características termodinámicas y fisicoquímicas.
- b) Selección del material clave.

2.- CÁLCULO DEL FACTOR MATERIAL B

- a) Material inflamable $b = f$
 $f(\text{calor de formación}) = \Delta H_c / 1000 \text{ (btu/lb)}$
- b) Material no inflamable o no combustible en transporte
 $b = f(\text{calor de formación}) = \Delta H_c * 1.8 / \text{peso molecular (kcal/gmol)}$
- c) Material no combustible $b = 0.1$
- d) Sólidos o polvos combustibles $b=0.1$ a menos que se encuentren en la forma granular $b = f(\text{calor de combustión})$
- e) Material de composición no conocida $b = p / 288 * 6.2$

3.- DETERMINACIÓN DE RIESGOS ESPECIALES DE MATERIAL M = SUMA DE FACTORES.

- a) Material oxidante
- b) Reacción con agua que produzca gases o vapores combustibles.
- c) Características de mezclado y dispersión = m
- d) Sujeto a calentamiento espontaneo
- e) Sujeto a rápida polimerización espontanea.

- f) Sensibilidad a la ignición.
- g) Sujeto a descomposición explosiva.
- h) Sujeto a detonación en fase de gas.
- i) Propiedades de la fase condensada.
- j) Otros riesgos.

4.- DETERMINACIÓN DE RIESGOS GENERALES DE PROCESO P=SUMA DE FACTORES.

- a) Manejo y cambio físico solamente .
- b) Reacción única
- c) Reacción única por etapas
- d) Múltiples reacciones en un mismo equipo.
- e) Transferencia de material.
- f) Contenedores transportables.

5.- DETERMINACIÓN DE RIESGOS ESPECIALES DE PROCESO S = SUMA DE FACTORES.

- a) Baja presión (< 15 psi.)
- b) Alta presión = p
- c) Baja temperatura - acero al carbón +10oc , -10oc.
 - acero al carbón - 10oc.
 - otros materiales.
- d) Alta temperatura - inflamabilidad
 - materiales de construcción.
- E) Corrosión y erosión.

f) Fugas en juntas y empaques.

g) Vibración, ciclos de carga, etc.

h) Procesamiento o reacciones difíciles de controlar.

i) Operación cerca o dentro de los límites de inflamabilidad.

j) Proceso con riesgo de explosión mayor que el valor promedio de riesgo.

k) Polvos o mezclas riesgosas.

l) Oxidantes altamente fuertes.

m) Sensibilidad del proceso a la ignición.

n) Riesgos electrostáticos
temperatura de proceso $t = k$

6.- RIESGOS POR CANTIDAD DE MATERIAL TOTAL Q.

Cantidad en toneladas = k.

En toda la unidad a estudiar, incluye tuberías, tanques y recipientes de proceso.

7.- RIESGOS POR DISTRIBUCIÓN DE LA UNIDAD L = SUMA DE FACTORES.

Altura en m = h
área normal de trabajo en m' = n

a) Diseño de estructuras.

b) Efecto domino.

c) Bajo tierra.

d) Drenaje superficial.

e) Otros.

8.- RIESGOS POR TOXICIDAD T = SUMA DE FACTORES.

- a) TLV
- b) Forma de material.
- c) Riesgo de exposición corta.
- d) Absorción por la piel.
- e) Factores físicos.

9.- CÁLCULO DE ÍNDICES.

a) Índice general de riesgos.

$$d = b(1 + \bar{m}/100) * (1 + s + q + l/100 + v/400) * (1 + p/100)$$

d = factor material (riesgo material) (r.g. proceso) (r.e. proceso, cant, distribución y toxicidad).

b) Carga de fuego

$$f = b * k/n * 20500 \text{ btu/ft}^2 = f. \text{material} * \text{ton material} / \text{área de trabajo}$$

c) Índice de toxicidad

$$u = v/100 * (1 + m + p + s/100) = \% \text{ r toxicidad (r. material, g.proceso e. proceso)}$$

d) Índice de incidente mayor de toxicidad $c = q * u = r \text{ cant. material, índice toxicidad.}$

e) Índice de explosión $e = 1 + m + p + s/100 = r. \text{ material, g proceso, e.proceso.}$

f) Índice de explosión aérea.

$$a = b(1 + m/100) * (q * h * e) * v/300 * 1 + p/1000$$

a = f, material, r.cant. mant., altura, índice explosión carac. mezclado, temperatura, presión alta

g) Índice total mond $r = d (1 + (f.u.e.a)e^{0.5/1000}) = ig$
riesgo corregido por carga de combustible, índice toxicidad, explosión y explosión aérea.

II.- FACTORES DE SEGURIDAD PARA CORRECCIÓN DE ÍNDICES

1.- PREVENCIÓN DE RIESGOS EN ALMACENAMIENTO K1 = PRODUCTO DE FACTORES.

- a) Recipientes a presión.
- b) Tanques verticales de almacenamiento no a presión.
- c) Líneas de transferencia - tensión de diseño - juntas y empaques.
- d) Contenedores adicionales.
- e) Detección y respuesta a fugas y derrames.
- f) Desecho de material derramado.

2.- CONTROL DE PROCESO K2 = PRODUCTO DE FACTORES.

- a) Sistemas de alarmas.
- b) Suministro de energía de emergencia.
- c) Sistemas de enfriamiento de proceso.
- d) Sistemas de gas inerte.
- e) Actividades de estudio de riesgos.
- f) Sistemas de seguridad para paros.
- g) Control por computadora.
- h) Protección contra explosión o reacción incorrecta.

i) Instrucciones de operación.

j) Supervisión de planta.

3.- ACTITUD DE SEGURIDAD K3 = PRODUCTO DE FACTORES.

a) Involucramiento de la gerencia.

b) Entrenamiento de seguridad.

c) Procedimiento de seguridad y mantenimiento.

4.- PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS K4 = PRODUCTO DE FACTORES.

a) Recubrimiento a estructuras.

b) Barreras resistentes a fuegos.

c) Equipos de protección contra incendios.

5.- AISLAMIENTO DE CORTE DE MATERIAL K5 = PRODUCTO DE FACTORES.

a) Sistemas de válvulas.

b) Ventilación.

6.- COMBATE DE INCENDIOS K6 = PRODUCTO DE FACTORES.

a) Alarma de emergencia.

b) Extinguidores.

c) Red contra incendios.

d) Espuma o inertización.

e) Respuesta a la brigada.

f) Cooperación con otras plantas.

g) Extractores de humo.

7.- CÁLCULO DE ÍNDICES FINALES.

- a) carga de fuego $f_1 = f_1 k_1 k_4 k_5$ corregido por prevención en almacenamiento, protección contra incendios, aislamiento material.
- b) índice de explosión $e_1 = e_1 k_2 k_3$ corregido por el control de proceso y actitud en seguridad.
- c) índice de explosión aérea $a_1 = a k_1 k_5 k_6$ corregido por prevención en almacenamiento, aislamiento de material y combate de incendios.
- d) índice global mond $r_1 = r k_1 k_2 k_3 k_4 k_5 k_6$

ÍNDICE MOND.REFERENCIAS

1. HAZARDOUS CHEMICAL DATA. NFPA 49, 1975.
2. MANUAL OF HAZARDOUS CHEMICAL REACTIONS. NFPA 491 M, 1975
3. HANDBOOK OF REACTIVE CHEMICAL HAZARDS. BRETHERIC, L. BUTTERWORTH'S SCIENTIFIC PUBLICATIONS. 1975.
4. NATIONAL ELECTRIC CODE. NFPA 70, 1986.
5. IATA RESTRICTED ARTICLES REGULATIONS. 20TH ED AUG 77, INTERNATIONAL AIR TRANSPORT ASSOCIATION, SUIZA.
6. CODE OF FEDERAL REGULATIONS-TITLE 49-TRANSPORTATION. U.S. GOVERNMENT PRINTING OFFICE. WASHINGTON.
7. PROPERTIES OF FLAMABLE LIQUIDS, GASES AND VOLATILES SOLIDES. NFPA 325 M, 1984.
8. THRESHOLD LIMIT VALUES AND BIOLOGICAL EXPOSURE INDICES FOR 1987-1988, ACGIH.
9. MANUAL DE MANEJO DE MATERIALES PELIGROSOS (MSD'S). CELANESE MEXICANA.
10. THE APLICATION OF MOND FIRE, EXPLOSION AND TOXICITY INDEX TO PLANT LAYOUT AND SPACING DISTANCES. PAPER FOR PRESENTATION AL THE AICHE LOSS HAS PREVENTION SYMPOSIUM, TEXAS ON APRIL 1-5, 1979. LEWUIS, D.J.
11. ASME BOILER AND PRESSURE VESSEL CODE, SECTION VIII DIVISIONS 1 AND 2 PRESSURE VESSELS.
12. GAS TRANSMISSION AND DISTRIBUTION PIPING SYSTEMS. AMERICAN NATIONAL STANDARDS. ANSI B.31.8. 1975 ASME.
13. CHEMICAL PLANT AND PETROLIUM REFINERY PIPING. AMERICAN NATIONAL ATANDARD. ANSI 31.3, 1976. ASME.

14. OPERABILITY STUDIES AND HAZARDS ANALYSIS. LAWLEY, H.G., AICHE LOSS PREVENTION VOL.8 PP105-106, 1974.
15. LOSS PREVENTION DATA, SECTION 1-21, FMEC. JULY 1977.
16. STANDARD FOR WATER SPRAY FIXED SYSTEMS FOR FIRE PROTECTION. NFPA 13, 1977.

TABLA 1 SENSIBILIDAD A LA INGENIERÍA.

MATERIAL	CLASF.EQUIPO.ELEC	FACTOR
amoníaco -	NEC 500 grupo D	25
cloruro de metileno.		-50
tricloroetileno y similares.		-75
metano (puro) y cloruro de metilo - 5	NEC 500 grupo D	5
materiales del grupo del propano.	NEC 500 grupo D	0
materiales del grupo del etileno(acrilonitrilo, butadieno,sulfuro de hidrogeno, dimetileter, oxido de etileno, etc)	NEC 500 grupo C	25
materiales del grupo del hidrogeno (gases con más de 30 % de h2)	NEC 500 grupo B	50
materiales del grupo del acetileno.	NEC 500 grupo A	75
materiales sensibles a ignición por compresión-adiabatica (nitratos de isopropilo y nitrilo)		35
pólvora negra, cordita y mezclas con fase condensada deflagrante		100
bisulfuro de carbono	NEC 500 grupo A	100
fulminato de mercurio,nitroglicerina peróxidos altamente oxidantes.		150
tricloruro de nitrógeno y líquidos con alta sensibilidad a la ignición polvos metálicos aluminio y magnesio y polvos inorgánicos con sensibilidad a la ignición similar	NEC 500 grupo E	35
polvos metálicos altamente sensibles como circonio y torio		50
polvos orgánicos con energías de ignición menor a 0.1 mj		25
polvos orgánicos con energía de ignición de 0.1 a 2.5 mj		0
polvos orgánicos con energía de ignición de 2.5 a 100 mj		-25
polvos orgánicos con energía de ignición mayor que 100 mj		-50

ÍNDICES DE RIESGOS MOND.

GENERAL DE RIESGO

FACTOR GENERAL DE RIESGO		CATEGORÍA
0	20	SUAVE
20	100	BAJO
100	500	MODERADO
500	1100	ALTO GRUPO (1)
1100	2500	ALTO GRUPO (2)
2500	12500	MUY ALTO
12500	65000	EXTREMO
>65000		MUY EXTREMO

CARGA DE FUEGO

CANTIDAD DE FUEGO (F) EN BTU/FT ² DEL ÁREA NORMAL DE TRABAJO		CATEGORÍA
0	50000	LIGERO
50000	100000	BAJO
100000	200000	MODERADO
200000	400000	ALTO
400000	1000000	MUY ALTO
1000000	2000000	INTENSO
2000000	5500000	EXTREMO
5500000	10000000	MUY EXTREMO

TOXICIDAD DE LA UNIDAD

ÍNDICE UNITARIO DE TOXICIDAD		CATEGORÍA
0	1	LIGERO
1	3	BAJO
3	6	MODERADO
6	10	ALTO
>10		MUY ALTO

TOXICIDAD MAYOR

ÍNDICE DEL MÁXIMO INCIDENTE TÓXICO

		CATEGORÍA
0 _____	20 _____	LIGERO
20 _____	50 _____	BAJO
50 _____	200 _____	MODERADO
200 _____	500 _____	ALTO
> 500 _____	_____	MUY ALTO

ÍNDICE DE EXPLOSIÓN

ÍNDICE DE EXPLOSIÓN INTERNA DE LA SECCIÓN

		CATEGORÍA
0 _____	1 _____	LIGERO
1 _____	2.5 _____	BAJO
2.5 _____	4 _____	MODERADO
4 _____	6 _____	ALTO
> 6 _____	_____	MUY ALTO

ÍNDICE DE EXPLOSIÓN AÉREA

ÍNDICE DE EXPLOSIÓN AÉREA

		CATEGORÍA
0 _____	10 _____	LIGERO
10 _____	30 _____	BAJO
30 _____	100 _____	MODERADO
100 _____	500 _____	ALTO
> 500 _____	_____	MUY ALTO

ÍNDICE TOTAL MOND

ÍNDICE TOTAL MOND

GRADO DE RIESGO

0 _____	20 _____	SUAVE
20 _____	40 _____	LIGERO
40 _____	60 _____	MODERADO
60 _____	75 _____	MODERADAMENTE ALTO
75 _____	90 _____	ALTO
90 _____	115 _____	EXTREMO
115 _____	150 _____	MUY EXTREMO
150 _____	200 _____	POTENCIALMENTE CATASTRÓFICO
> 200	_____	MUY CATASTRÓFICO.

DICE MOND PARA FUEGO, EXPLOSION Y TOXICIDAD	HOJA 1 DE 2
--	-------------

EMPRESA	PLANTA	SECCION DE PROCESO A ANALIZAR	FECHA
CLIA NESTLÉ	TOLUCA		NOVIEMBRE-1995

MATERIALES EN LA SECCION DE PROCESO:

1.- FACTOR MATERIAL (F. M.):
BASE PARA SELECCION DEL FACTOR MATERIAL:

COMBUSTION	DESCOMPOSICION	REACCION	PRESION DE EXPLOSION
------------	----------------	----------	----------------------

Formula utilizada: Factor material (FM): **24.00**

2.- RIESGOS ESPECIALES DEL MATERIAL (REM)	VALOR	5. RIESGOS POR CANTIDAD (RPC)	VALOR
A. MATERIAL OXIDANTE (0 A 20)		VOLUMEN INVOLUCRADO (m3)	
B. REACCION PELIGROSA CON AGUA (0 A 30)		PESO INVOLUCRADO (Tons.)	
C. MEZCLADO Y DISPERSION, 2C (-50 A 60)		FACTOR ASIGNADO (1 A 1000)	
D. COMBUSTION ESPONTANEA (30 A 250)		6.- RIESGOS POR ARREGLO (RPA)	VALOR
E. POLIMERIZACION ESPONTANEA (27 A 75)		ALTURA DE LA UNIDAD (m)	
F. SENSIBILIDAD A LA IGNICION (-75 A 150)		AREA DE TRABAJO (m2)	
G. DESCOMPOSICION EXPLOSIVA (125)		A. DISEÑO ESTRUCTURAL (0 A 200)	
H. DETONACION GASEOSA (150)		B. EFECTO DOMINO (0 A 250)	
I. FASE CONDENSADA (200 A 1500)		C. SUBTERRANEAS (0 A 150)	
J. OTRAS (0 A 150)		D. DRENAJE SUPERFICIAL (0 A 100)	
SUMA DE FACTORES REM		E. OTROS (0 A 250)	0.00

3.- RIESGOS GENERALES DEL PROCESO (RGP)	VALOR	7.- RIESGOS POR TOXICIDAD	VALOR
A. MANEJO Y CAMBIOS FISICOS (10 A 60)		A. TLV (0 A 300)	
B. REACCION UNICA CONTINUA (25 A 50)		B. FORMA DEL MATERIAL (25 A 200)	
C. REACCION UNICA BATCH (10 A 60)		C. EXPOSICION CORTA (100 A 150)	
D. MULTIREACCIONES (0 A 75)		D. ABSORCION POR LA PIEL (0 A 300)	
E. TRANSFERENCIA DE MATERIAL (0 A 75)		E. FACTORES FISICOS (0 A 300)	
F. CONTENEDORES PORTATILES (10 A 100)		SUMA DE FACTORES RPT	160.00

4.- RIESGOS ESPECIALES DE PROCESO (REP)	VALOR	8.- INDICES	VALOR	CATEGORIA
A. BAJA PRESION		GENERAL DE RIESGO		
B. ALTA PRESION (Pop= <input type="text"/> X0 A 150)		CARGA DE FUEGO		
C. BAJA TEMPERATURA		TOXICIDAD DE LA UNIDAD		
1. Accarbon (T > -10° C) (15)		TOXICIDAD MAYOR		
2. Accarbon (T < -10° C) (50 A 100)		EXPLOSION		
3. Otro material (0 A 100)		EXPLOSION AEREA		
D. ALTA TEMPERATURA		TOTAL MOND		
1. Inflamabilidad (0 A 40)		9.- FACTORES DE CORRECCION		
2. Materiales construccion (0 a 25)		CONTROL EN CONTENEDORES (CEC)		VALOR
(Top= <input type="text"/> 25.00)		A. RECIPIENTES A PRESION		
E. CORROSION Y EROSION (0 A 150)		B. TANQUES VERTICALES		
F. FUGAS EN JUNTAS Y EMPAQUES (0 A 60)		ATMOSFERICOS		
G. VIBRACION (0 A 50)		C. TUBERIA		
H. CONTROL DIFICIL DE PROCESO (20 A 300)		1. Diseño por tension		
I. OPÉRACION RANGO INFLAMABLE (0 A 150)		2. Juntas y empaques		
J. RIESGO DE EXPLOSION MAYOR		D. CONTENEDORES ADICIONALES		
K. PROMEDIO (40 A 100)		E. DETECCION Y RESPUESTA A FUGAS		
L. POLVOS O NIEBLAS RIESGOSAS (30 A 70)		F. DESECHO DE MATERIAL FUGADO		
M. OXIDANTES MUY FUERTES (0 A 300)		PRODUCTO FACTORES CEC		
N. SENSIBILIDAD A LA IGNICION (0 A 75)	49			
O. RIESGOS ELECTROSTATICOS (0 A 200)				
SUMA DE FACTORES REP				

INDICE MOND PARA FUEGO, EXPLOSION Y TOXICIDAD

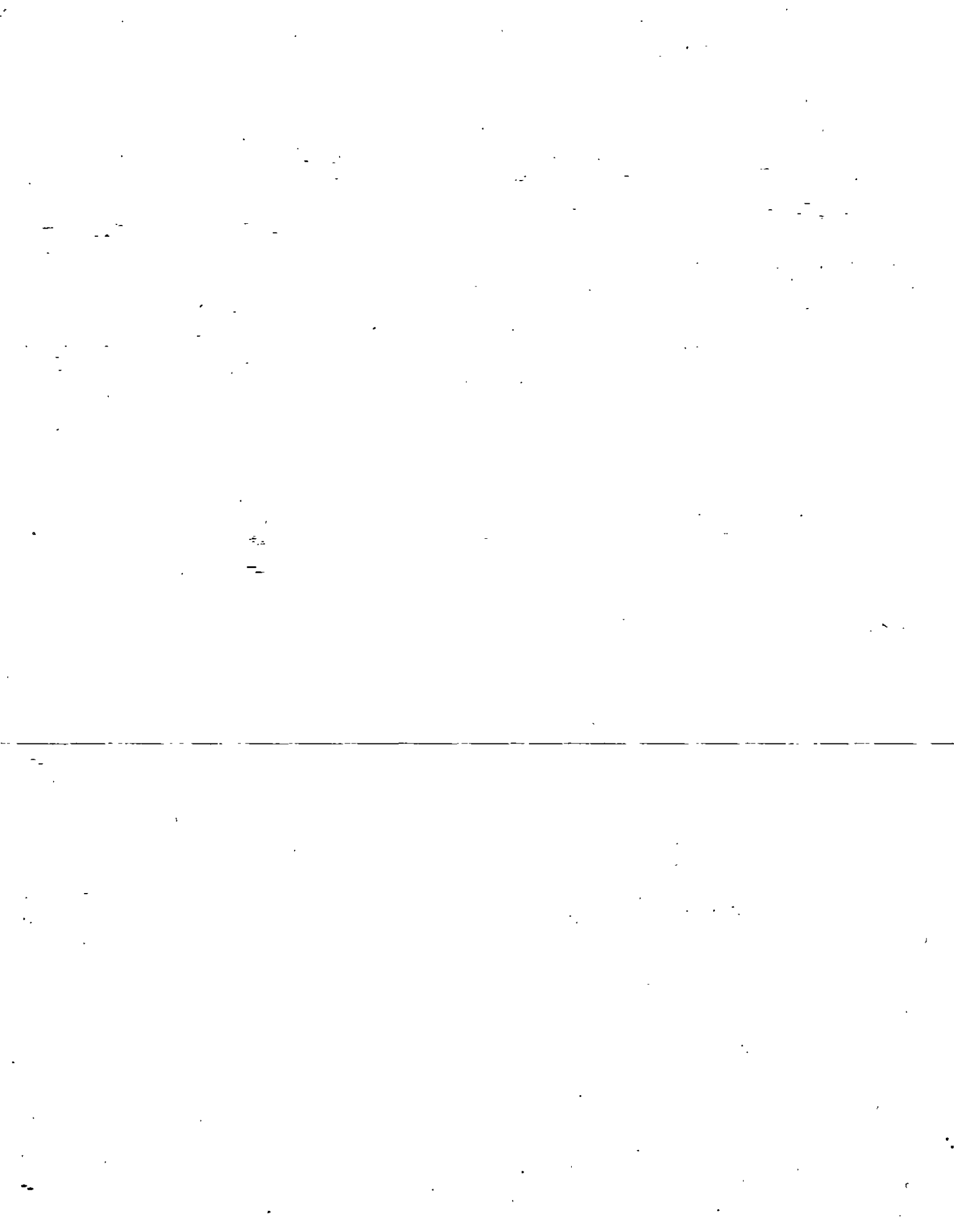
HOJA 2 DE 2

EMPRESA	PLANTA	SECCION DE PROCESO A ANALIZAR	FECHA
CIA NESTLE	TOLUCA		NOVIEMBRE DE 1995

CONTROL DE PROCESO (CDP)	VALOR	B. BARRERAS CONTRA INCENDIO	
A. SISTEMA DE ALARMAS		C. PROTECCION A EQUIPOS	
B. ENERGIA DE EMERGENCIA		PRODUCTO DE FACTORES PCI	
C. SISTEMA DE ENFRIAMIENTO		AISLAMIENTO DE MATERIALES (ADA)	VALOR
D. SISTEMA DE GAS INERTE		A. SISTEMAS DE VALVULAS	
E. ACTIVIDADES DE ANALISIS DE RIESGOS		B. VENTILACION	
F. SISTEMAS DE PARO		PRODUCTO DE FACTORES ADM	
G. CONTROL POR COMPUTADORA		COMBATE DE INCENDIOS (CDI)	VALOR
H. PROTECCION CONTRA REACCION PELIGROSA O EXPLOSION		A. ALARMA DE EMERGENCIA	
I. INSTRUCCIONES DE OPERACION		B. EXTINGUIDORES PORTATILES	
J. SUPERVISION DE PLANTA		C. SUMINISTRO DE AGUA CONTRA INCENDIO	
PRODUCTO DE FACTORES CDP		D. SISTEMAS DE ROCIADORES	
ACTITUD DE SEGURIDAD (ADS)	VALOR	O MONITORES	
A. INVOLUCRAMIENTO DE LA GERENCIA		E. ESPUMA Y GAS INERTE	
B. ENTRENAMIENTO DE SEGURIDAD		F. BRIGADA	
C. PROCEDIMIENTOS DE SEGURIDAD		G. APOYO EXTERNO Y/O INTERNO	
MANTENIMIENTO		H. VENTILACION DE HUMO	
PRODUCTO DE FACTORES ADS		PRODUCTO DE FACTORES CDI	
PROTECCION CONTRA INCENDIO (PCI)	VALOR		
A. PROTECCION A ESTRUCTURAS			

10. INDICES FINALES	VALOR	CATEGORIA
CARGA DE FUEGO		
INDICE DE EXPLOSION		
INDICE DE EXPLOSION AEREA		
INDICE TOTAL MOND		

11.- RECOMENDACIONES





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

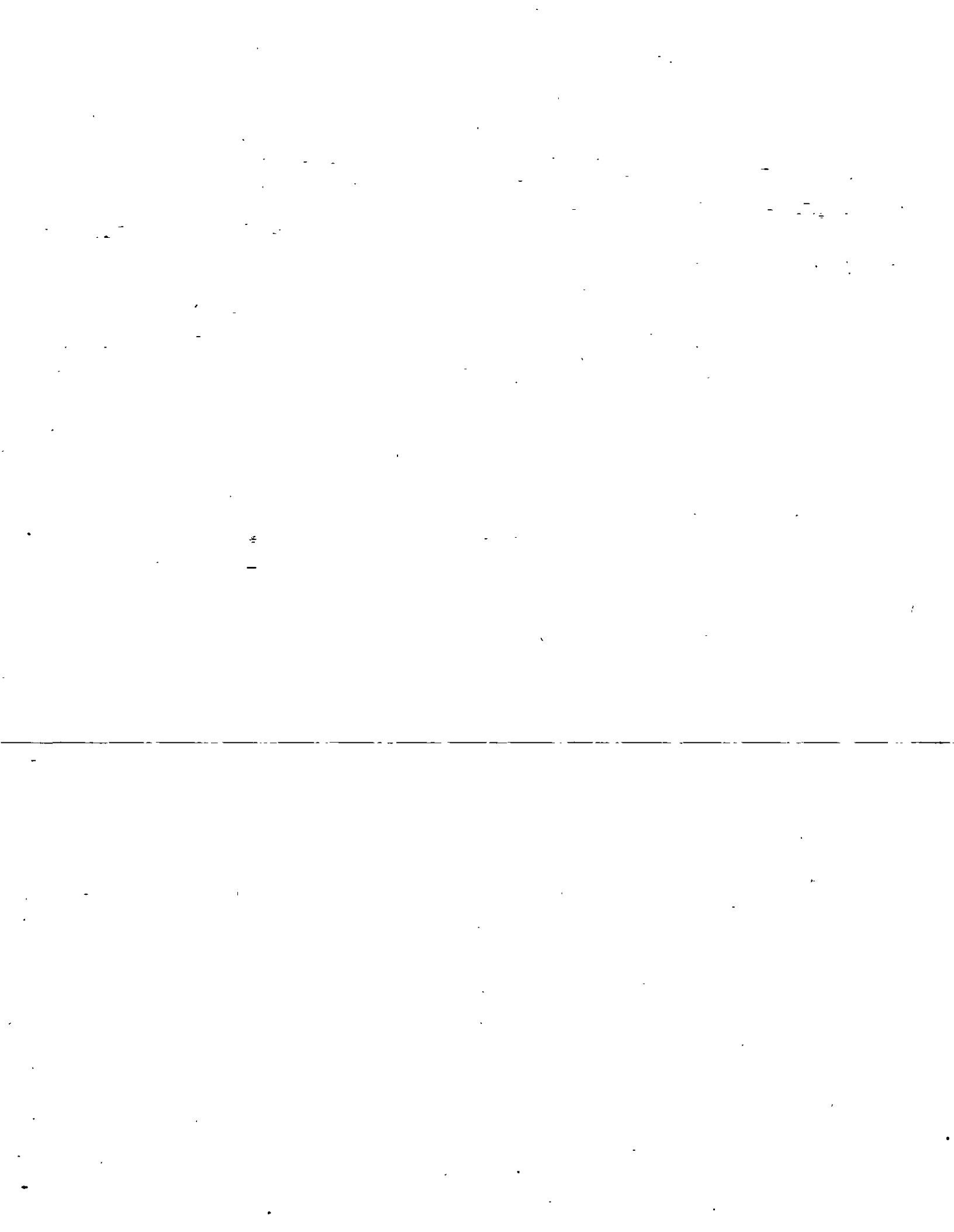
DIPLOMADO EN RIESGO AMBIENTAL

**MODULO III: METODOS DE ANALISIS DE RIESGO
(CUALITATIVO Y CUANTITATIVO)**

ANALISIS DE CONSECUENCIAS

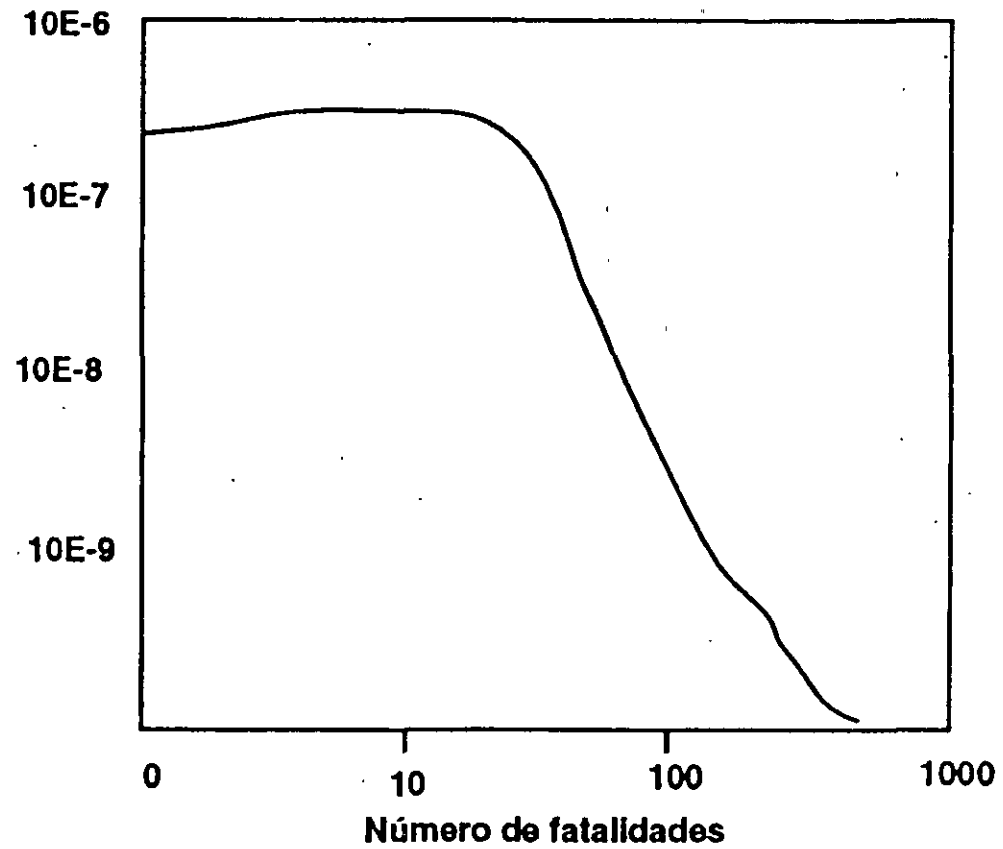
EXPOSITOR: ING. ENRIQUE JIMENEZ VARGAS

1997

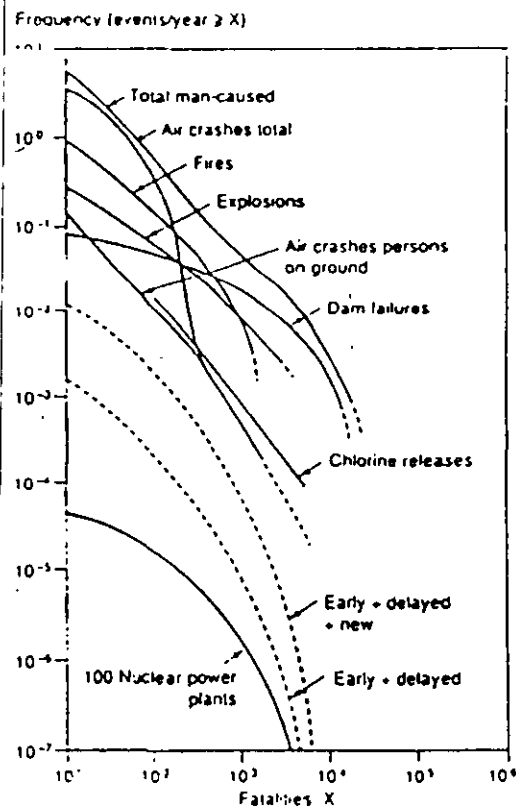


Ejemplo: resultados

Probabilidad anual de exceder
el número de fatalidades



Presentación de resultados



Frecuencia de eventos causados por el hombre que implican muertes

Definición matemática de riesgo

$$\text{Riesgo} \left(\frac{\text{consecuencia}}{\text{tiempo}} \right) = \text{frecuencia} \left(\frac{\text{evento}}{\text{tiempo}} \right) * \text{magnitud} \left(\frac{\text{consecuencia}}{\text{evento}} \right)$$

Riesgo de muerte en accidentes automovilísticos en EUA:

frecuencia: 15 millones de accidentes por año

magnitud: 1 muerte por cada 300 accidentes

Riesgo = $15 * 10^6$ (accidentes/año) * (1 muerte / 300 accidentes) = 50.000 muertes / año

Riesgo Individual: $50.000 / 250.000.000 = 0,20$ por mil por año (0.0002 por año)

= 0.0002 (1/año) * 70 años = 0.014 por vida entera

Suposiciones:

participación involuntaria

sexo y edad no son factores

todos tienen la misma exposición al peligro

probabilidad de morir en accidente uniformemente distribuida en la población

población de 250 millones

esperanza de vida de 70 años

RIESGOS GENERALES DEL PROCESO

Estas consideraciones de riesgo se refieren al tipo básico de proceso u otra operación que se efectúe en la unidad.

1.- Manejo y cambio físico

Al almacenamiento de materiales inflamables que esté provisto de protección adecuada (dique) y separado de las operaciones de cargas y descarga se le debe un factor de 10.

Cuando un material que está siendo almacenado está caliente y tiene una fase acuosa separada, y/o el recipiente de almacenamiento está calentado con vapor, se usa un factor de 50.

Las operaciones de proceso que incluyen manejo y cambio físico solamente se llevan a cabo en sistemas cerrados con tubería permanentemente instalada (como destilación, absorción, evaporación, etc), deben ser asignadas con un factor de 10.

Los procesos como centrifugado, mezclado "batch", filtración, etc., requieren un factor de 30.

2.- Reacciones continuas simples

Para reacciones endotérmicas y aquellas exotérmicas que se efectúen en soluciones diluidas de manera que el solvente pueda absorber todo el calor que se genere en un disparo de reacción sin crear una situación peligrosa, úsese un factor de 25; algunos ejemplos son reacciones de separación (cracking) e isomerización y también producción de clorohidrina cuando la sección del reactor contenga más de 90% de agua.

El factor 50 se asigna a otras reacciones exotérmicas como polimerización, cloración, oxidación, etc.

A los procesos que incluyen materiales sólidos como pulverización, mezclado, transportación neumática, tolvas, filtración de polvos, secado de polvos, secado de sólidos, etc., se les debe dar un factor de 50.

3.- Reacciones "batch" simples.

El factor escogido debe ser mayor cuando la reacción batch sea rápida (menos de 1 hora) o lenta (más de un día). Las reacciones de velocidad media entre estos valores deben tener un factor bajo. Se debe usar además un factor adicional entre 10 y 60 para tomar en cuenta un posible error del operador.

4.- Multiplicidad de reacciones diferentes operaciones de proceso efectuadas en el mismo equipo

Se debe incluir otro factor extra por el riesgo de contaminación de una a otra reacción o por obstrucción de sólidos. El procedimiento debe considerar las reacciones individuales u operaciones y seleccionar el factor más alto para la reacción u operación individual.

Se debe aplicar un factor de contaminación cuando las reacciones u operaciones difieran considerablemente una de otra o cuando se use el reactor para hacer otro tipo de producto en el que la contaminación afecte a la reacción. Aplique un factor de hasta 50 de acuerdo con el grado de contaminación.

Donde haya una alteración en el orden o secuencia de admisión de reactivos en una situación de multi-reacción, que pueda conducir a reacciones inesperadas, aplíquese un factor de hasta de 75.

Si por la multiplicidad de reacciones u operaciones se tiene un riesgo de obstrucción debido a las reacciones de subproductos, úsese un factor de 25.

5.- Transferencia de materiales

Bajo este encabezado se consideran los riesgos adicionales asociados con métodos específicos de llenado, vaciado o transferencia de materiales. Los factores que deben aplicarse son como siguen:

- Solamente donde haya tubería permanentemente instalada, completamente cerrada, aplíquese un factor de CERO.
- Donde haya tubería flexible o donde la operación requiera la conexión o desconexión de tubería, úsease un factor de 25.
- Donde las operaciones de llenado o vaciado se efectúen a través de compuertas o otras tapas o salidas inferiores (por ejemplo reactores " batch", mezcladores, centrifugas, filtros) úsease un factor de 50.

6.- Recipientes Transportables

Si los tambores, tanques desmontables, pipas carros tanque están bien cerrados (excepto cuando se llenan o vacían), las consecuencias de choques, fuego externo y otros incidentes pueden ser mayores que en las unidades fijas de las plantas, debido a que el venteo disponible es insignificante o mínimo. Esta sección considera los riesgos adicionales causados por esta razón, también se ha tomado en cuenta el caso de tambores llenos de vapor y otros recipientes. Se les debe asignar el factor como sigue:

- Cuando se trate de tambores llenos(que no estén en vehículos de transporte) úsease un factor de 25.
- Cuando se trate de tambores llenos en vehículos de transporte, úsease un factor de 40.

- Cuando se trate de tambores vacíos (en o fuera de vehículos) úsese un factor de 10.
- Cuando se trate de pipas o trailers, úsese un factor de 100.
- Cuando se trate de carros-tanque, úsese un factor de 57.

RIESGOS ESPECIALES DEL PROCESO

En esta sección los factores se asignan con respecto a las características de operación del proceso, almacenamiento, transferencia, etc., que intensifiquen el riesgo total sobre la clasificación determinada por las características del material clave y del proceso u operación básica de que se trate.

Esta es la sección donde es de la mayor importancia hacer una estimación correcta de las medidas de control y protección.

1.- Baja presión

Cuando los procesos operan a presión atmosférica o al vacío (condiciones sub-atmosféricas), el aire o contaminantes pueden entrar al sistema de proceso. Cuando el aire u otro contaminante (por ejemplo vapor de agua) no represente un riesgo, no se

necesita aplicar un factor, por ejemplo : unidades que contienen "freón" o "argón", unidades de compresión de cloro, sistemas de condensación de agua, etc. Si el aire o los contaminantes que entren al sistema reaccionan con materiales allí presentes para producir una condición riesgosa, aplíquese un factor de 50. Un ejemplo es el manejo de diolefinas (dioxano) donde hay el peligro de formación de peróxido y polimerización catalítica subsecuente; y el manejo de materiales pirofóricos etc., requiere tratamiento similar.

Los procesos que operan casi a presión atmosférica (defina como más/menos 0.5 psig ó más/menos 0.35 bar) o al vacío (hasta un diferencial de 600 mm Hg) con materiales inflamables, presentan un gran peligro por el riesgo de explosión originado por la entrada de aire al sistema. En tales casos debe usarse un factor de 100. Ejemplos de estas situaciones son los sistemas colectores de hidrógeno, destilación a vacío parcial de líquidos inflamables, etc.

Los procesos que operan a más alto vacío (diferencial) superior a 600 mm Hg) con materiales inflamables, presentan un riesgo menor y se debe usar un factor de 75.

2.- Alta presión

Donde se opera una unidad de planta a una presión más alta que la atmosférica, se requiere un factor para compensar la magnitud de riesgos de fuego y de explosión interna. Los riesgos de fuego se incrementan si se aumenta la presión de la sección y por lo tanto el riesgo de una explosión interna que sobrepresionará alguna parte de la unidad. Se debe usar un factor p para representar el peligro de alta presión, el cual se determina graficando dos curvas: la primera curva o curva principal va del rango 0-900 psig (0-62.1 bars man), mientras que la segunda curva va del rango 1,000 - 10,000 psig (69 a 690 bars manométricos).

Para sistemas de más de 3,000 psig (207 bars manométricos, el sistema está fuera de códigos estándar (sección VIII, DIV. 1 del código ASME para recipientes a presión no sujetos a fuego directo) y las juntas especiales para esa presión, los sellos de cono o

equivalentes se deben usar en el diseño de bridas. Puede resultar un riesgo considerable de un escape grande de fluido descargado a la atmósfera proveniente de sistemas a estas elevadas presiones (excepto donde se trata de sólidos como es en las operaciones de moldeo por extrusión o inyección). La segunda curva aumenta más rápidamente arriba de 3, 000 psig (207 bars manométricos) por el problema descrito. Arriba de 10,000 psig (690 bars manométricos); debe aumentarse al factor p en 10 por cada 2,500 psig adicionales (172.4 bars).

3.- Baja temperatura

Donde se use acero al carbón normal en la construcción de equipos para la planta y las temperaturas normales de operación oscilen entre 10° C (850°F) y -10°C (14°F), asígnese un factor de 15.

Cuando se use acero al carbón normal a temperaturas normales de operación entre -10°C (14°F) y -25°C (-13°F) sin posibilidad de alcanzar temperaturas menores a -25°C bajo cualquier condición, asígnese un factor de 30.

Donde se use acero al carbón normal a temperaturas normales de operación menores de 25°C (-13°F) o donde haya posibilidad de alcanzar temperaturas menores a -25°C bajo condiciones anormales, asígnese un factor de 100.

El propósito de esta sección es tomar en cuenta el posible debilitamiento de unidades de acero al carbón al ser operadas a una temperatura igual o menor a la de transición. Sin embargo, si las pruebas muestran que el acero al carbón ha operado siempre sobre su temperatura de transición, no se aplica ningún factor.

Cuando se usan grados de acero para bajas temperaturas, aleaciones de acero u otras aleaciones, resistentes a la corrosión, debe aplicarse un factor adecuado (normalmente entre 0 y 30, pero ocasionalmente hasta 100) cuando la temperatura normal de operación difiera en menos de 10°C de la temperatura de transición (tomando la temperatura normal de transición de acero al carbón como 0°C). Se debe buscar la guía de los especialistas en Diseño de recipientes a presión y de metalúrgistas para los

valores de la temperatura de transición de aleaciones de acero etc. y para los efectos que se pueden anticipar al usar construcciones de paredes gruesas.

4.- Alta temperatura

La operación a alta temperatura presenta un efecto doble: primero, aumenta los riesgos inherentes al manejo de material inflamable; y segundo, la resistencia del equipo de planta se puede ver afectada negativamente.

Los efectos de la alta temperatura en los riesgos del material dominante presente, son mayores cuando el material es un líquido inflamable, pero también son significativos con gases y vapores inflamables.

Cuando la unidad contenga el material dominante en fase líquida o sólida se asigna el factor de inflamabilidad por alta temperatura como sigue:

- Cuando un líquido o sólido inflamable esté arriba de su punto de inflamación de copa cerrada, úsese un factor de 20.
- Si el líquido o sólido está por arriba del punto de inflamación de copa abierta úsese un factor de 25.
- Si el material dominante está en fase líquida a una temperatura arriba de su punto de ebullición a 760 mm Hg, úsese un factor de 25. Esto también se aplica en el caso de GASES LICUADOS INFLAMABLES presentes en la sección como un LIQUIDO.
- Si el material es un sólido a temperatura normal, pero se presenta en la unidad en fase líquida, úsese un factor de 10.
- También para todos los materiales inflamables, si el material (ya sea su estado normal gas, líquido o sólido) se maneja arriba de su temperatura normal de autoignición, úsese un factor de 35.

Cuando algún material cae bajo varios criterios se usa el factor más grande, o donde los factores sean iguales, se debe usar un factor de 1.1 VECES el factor individual para este efecto de temperaturas en el material.

Un factor adicional se debe asignar, cuando sea apropiado, para el efecto de la temperatura sobre la resistencia del equipo de la planta, como sigue:

- Si la temperatura es tal que el material (metales, plásticos, plomo etc) usado para construir los equipos de la planta se opera bajo condiciones de esfuerzo longitudinal a progresivo, aplíquese un factor de 25.
- Si la temperatura de operación está en el rango donde la resistencia disponible del material de construcción se reduce en un 25% o más, por un aumento en la temperatura de 50°C, aplíquese un factor de 10.

5.- Riesgos de corrosión y erosión

Bajo este encabezado se consideran los riesgos debido a los efectos de corrosión/erosión. Los factores que se deben aplicar son como sigue:

- Velocidad de corrosión menor que 0.1 mm/año, factor de 0.
- Velocidad de corrosión menor que 0.5 mm/año con algún riesgo de perforación o erosión local, factor de 10.
- Velocidad de corrosión cercana a 1 mm/año con o sin defectos de erosión, factor de 20.
- Velocidad de corrosión mayor que 1 mm/año sin efectos de erosión o hinchazón de plásticos, factor de 50.
- Velocidad de corrosión mayor que 1 mm/año acompañada de efectos de erosión, factor de 100.
- Alto riesgo de desarrollo de tensión y agrietamiento, factor de 150.

- Cuando un tubo soldado en forma espiral se usa en lugar de un tubo soldado longitudinalmente o fundido, se debe usar un factor de 100 A MENOS que la calidad del tubo y su uso se controle de manera que su comportamiento no esté por abajo del tubo longitudinalmente soldado.

Estos factores deben asignarse tanto un respecto a la **corrosión interna** como a la **corrosión externa**. Se debe vigilar la influencia de impurezas menores en la corrosión o erosión producidas por el fluido del proceso y también la corrosión externa producida por la caída de la pintura o por líquidos contaminantes en el recubrimiento, que se concentran por evaporación. Cuando la planta se construye con revestimientos resistentes (plásticos, ladrillos, hule, metales, recubiertos, etc) los efectos del resquebrajamiento en los agujeros para espigas, uniones con cemento, soldaduras contaminadas, etc., se deban tomar en cuenta en todos los problemas de corrosión. Igualmente se deben revisar los efectos de la corrosión de sub-productos normalmente producidos cuando la reacción deseada se inhibe o se modifica.

6.- Riesgos de juntas y empaques

Un equipo de proceso puede contener partes donde el sellado de juntas o flechas se efectuó. Estas partes pueden causar problemas, particularmente donde se tienen ciclos de temperatura y de presión. Se debe seleccionar un factor de acuerdo con el diseño y los materiales escogidos para estas partes, como sigue:

- Construcción soldada para la mayoría de las uniones, más uniones con bridas se sabe que no causan problemas, cuellos de bombas y válvulas bien sellados (posiblemente con fuelles o doble sello mecánico) ; factor de 0.
- Uniones bridadas que se sabe llegaran a tener fugas regulares de menor cuantía, factor de 30.
- Sellos de bombas que podrían tener fugas de menor cuantía, factor de 20.

- Problemas mayores de sello en el proceso (fluido del proceso que penetra, lodos abrasivos, etc.) factor de 60.

7.- Riesgos de vibración y de fatiga por carga cíclica y fallas en los cimientos o ganchos de soporte

Algunos tipos de operaciones tales como unidades de compresión, introducen vibración en equipos asociados y tuberías. Efectos similares, en un período más largo de tiempo se pueden producir en un equipo donde las condiciones de temperatura y presión varían cíclicamente dentro de un rango razonable. Ambas situaciones introducen riesgos de fatiga en equipo, que intensifican el riesgo de la sección. En estos casos aplíquese un factor de HASTA 30 de acuerdo con las consecuencias que ocasione la falla.

Cuando un recipiente se coloca sobre celdas de carga o artefacto similar de tal manera que los movimientos laterales puedan causar inestabilidad al recipiente, úsese un factor de 50.

8.- Procesos o reacciones difíciles de controlar

Cuando se llevan a cabo reacciones de naturaleza exotérmica o en casos en los que se puede evitar una reacción lateral de naturaleza exotérmica, hay una gran posibilidad de que la reacción quede peligrosamente fuera de control. Algunos ejemplos lo constituyen las nitraciones, algunas polimerizaciones y reacciones de Friedel-Crafts.

La operación de un proceso a temperatura normal dentro de 20°C del límite de temperatura especificado por seguridad para dicho proceso (definido con respecto a la capacidad REAL de operación y materiales de construcción) debe asignarse un factor de 100.

Factores en el rango entre 20 y 300 se deben usar para otros aspectos de difícil control, dependiendo la dimensión del Factor, de la influencia de impurezas y cantidad de catalizador, de la sensibilidad general de la reacción a condiciones súbitas fuera de control sin cambios de avance detectables, etc.

Para asignar el valor del factor que se debe usar, se debe considerar el efecto de inercia a cambios del material en una unidad. Con reacciones líquido-líquido y líquido-gas, hay una cantidad amortiguadora que actúa como un agente buffer en los riesgos introducidos por un cambio en el flujo de material. En estas situaciones, se debe considerar un valor en el rango de 20 a 75. En el caso de sistemas de gas o fase de vapor, el tiempo de residencia es mucho más corto y los efectos de un cambio en velocidad de un material son más pronunciados. Aquí se deben seleccionar factores más altos en el rango de 100 a 300, de acuerdo con el grado de dificultad de control esperada.

9.- Operación en o cerca del rango inflamable

No se necesita considerar aquí a las unidades de proceso que operan a baja presión. Los límites de inflamabilidad considerado bajo este apartado son aquellos determinados con el aparato de 2" del US Bureau of mines por propagación hacia arriba (NO aquellos observados en la práctica que tienden a ser más pequeños, ni aquellos determinados en aparatos más grandes).

En el caso de almacenamiento de líquidos inflamables dentro de recipientes cerrados que no tienen venteo atmosférico, se debe usar un factor de 25 si el espacio de vapor puede caer dentro del rango inflamable por venteo accidental. Un ejemplo de esto sería un tanque de metanol normalmente purgado con nitrógeno donde el espacio de vapor se puede inflamar si se permite al nitrógeno dispersarse en la atmósfera.

Se debe asignar un factor de 150 a los tambores vacíos u otros recipientes que hayan contenido materiales inflamables y no hayan sido purgados o descontaminados totalmente.

Donde se haya almacenado líquidos inflamables de manera que el espacio de vapor esté (bajo condiciones normales o de equilibrio) fuera del rango inflamable, pero que puedan entrar en el rango inflamable durante el vaciado o llenado, o en otras situaciones frecuentes pero normales, se debe usar un factor de 50. Por ejemplo: tanques de almacenamiento de gasolina y crudo (normalmente ricos en combustible) que pueden producir una atmósfera inflamable si se vacían rápidamente.

Igualmente un líquido inflamable almacenado a una temperatura por abajo de su punto de inflamación de copa cerrada, puede producir un espacio de vapor inflamable por la entrada de líquido caliente, formación de neblina, etc. Donde se tiene un llenado de golpe (sin evitar salpicaduras) en tales condiciones se debe usar un factor de 50.

Las reacciones de proceso y otras operaciones, que se lleven a cabo cerca del rango inflamable donde se debe tener confianza en la instrumentación para permanecer fuera de los límites de inflamabilidad, se aplica un factor de 100. Un ejemplo es la oxidación de tolueno a ácido benzoico con aire.

Se les debe asignar un factor de 150 a los procesos que siempre operen dentro del rango inflamable. Un ejemplo es la destilación y/o vaporización del óxido de etileno.

10.- Riesgos de explosión mayor que el promedio

Para los procesos que usen líquidos inflamables o gases licuados inflamables a temperaturas y presiones tales que una descarga procedente del equipo resulte en rápida vaporización y formación probable de concentración inflamable en una gran parte del edificio o atmósfera circundante, úsese un factor de 40.

A los procesos con riesgo de explosiones de vapor se les debe dar un factor de 60; por ejemplo; procesos donde el agua de enfriamiento se usa en conjunto con circuitos de sales fundidas.

A los procesos susceptibles de acumular contaminantes que puedan causar una explosión, se les daba dar un factor de 100; por ejemplo plantas de separación de aire, almacenamiento de óxido de etileno.

Para cualquier proceso donde por la experiencia que se tiene se sospeche que la ESCALACION en tamaño PUEDA AFECTAR LA REACTIVIDAD y aumentar la naturaleza peligrosa de la operación, úsese un factor de POR LO MENOS 60. Ejemplos: el uso a gran escala de químicos sensibles tales como el etileno, acetileno, óxido de etileno, presurizados o el cambio de un proceso de reactores con serpentín a reactores con hervidor, etc.

Donde los subproductos, productos corrosivos o residuos puedan acumularse en la unidad y afectar la estabilidad de los materiales que están siendo procesados, produciendo una descomposición, úsese un factor de POR LO MENOS 50.

Donde se almacenan gases licuados inflamables usando refrigeración y en los casos de almacenamiento de líquidos criogénicos inflamables u oxidantes, aplíquese un factor de 80.

11.- Riesgo de explosión por polvo o neblina

Se debe aplicar un factor para este riesgo cuando la experiencia muestra que bajo condiciones normales o ligeramente anormales se pueda desarrollar un potencial de explosión por polvo o neblina.

Si se sabe que un proceso bajo condiciones y variaciones definidas NO se origina un riesgo por polvos, no se necesita ningún factor; por ejemplo: el manejo y transporte controlado de "pellets" de polietileno donde no exista peligro de polvo.

Para procesos donde los materiales se manejen de tal manera que los riegos de explosión por polvo o neblina dentro o fuera del equipo puedan producirse únicamente por ruptura o mal funcionamiento del equipo, úsese un factor de 30. Ejemplos: aceite

hidráulico de alta presión, óxido de difenilo, sistemas de azufre o naftaleno fundido, cuando la falla del sistema de contención de lugar a la formación de una nube de polvo o niebla.

Si el proceso o la operación usa líquidos a una temperatura que sea susceptible de ignición o explosión de tal manera que pueda haber formación de neblina DENTRO del equipo, aplíquese un factor de 50. Por ejemplo: Sistemas "Dowtherm" de transferencia de calor y el bombeo de aceites hidráulicos calientes, aceites minerales, aceites, fluidizantes, etc.

En los procesos en los que el riesgo de formación de polvo o neblina casi siempre está presente, se les debe dar un factor de 50 a 70. El manejo de polvos finos que se clasifican como inflamables por pruebas estándar, es ejemplo de lo anterior y el valor del factor debe relacionarse con el grado de riesgo presentado por el polvo. La neblina se debe tratar de igual manera.

12.- Procesos que usan oxidantes gaseosos muy fuertes

La liberación potencial de energía en procesos que usan oxígeno, mezclas de aire-oxígeno, óxidos de nitrógeno y cloro, se intensifica considerablemente sobre los procesos de oxidación con aire a la misma temperatura y presión. Se debe hacer una consideración basada en la concentración máxima del soporte en la corriente del proceso de la planta bajo la base libre de combustible:

- Donde el oxígeno se use como oxidante, úsese un factor de 300.
- En el caso de aire enriquecido por oxígeno, úsese un factor calculado de acuerdo con el x% de oxígeno disponible en el aire enriquecido.

$$(x-21) 300/79$$

- Donde se use cloro sin dilución, úsese un factor de 125.
- Si el cloro se diluye con un inerte hasta una concentración de $y\%$ $C1_2$, en una base libre de combustible, úsese un factor dado por:

$$(y-39) 125 / 61$$

- Donde N_2O o NO_2 se usan sin ser diluidos, el aumento en la liberación de energía potencial es similar al del oxígeno. Por lo tanto, se debe usar un factor de 300.
- La dilución de N_2O o NO_2 se debe tratar igual que la del oxígeno diluido.
- Si el óxido Nítrico sin dilución es el oxidante, se debe usar un factor de 230.
- En lo que se refiere al Óxido Nítrico diluido, se debe calcular el factor basado en la composición $z\%$ del Óxido Nítrico, como sigue:

$$\text{Factor} = (z-26) 230 / 74$$

- En lo referente a oxidantes mezclados, recúrrase a especialistas.

No se deben dar factores negativos para las condiciones en las que el soporte se diluye abajo del equivalente de aire, ya que el AIRE puede entrar al equipo de la planta durante una operación anormal.

13.- Sensibilidad a la ignición del proceso

Al igual que los efectos anteriores sobre la liberación potencial de energía, se debe introducir un factor separado para ajustar una mayor sensibilidad a la ignición de algunas mezclas de procesos comparada con el mismo material en el aire. Este factor también se debe usar para tomar en cuenta la posible formación de sub-productos pirofóricos, peróxidos inestables, etc. que puedan actuar como fuentes de ignición eficientes.

El factor usado se debe seleccionar como sigue:

- Si O_2 concentrado, N_2O o NO es el oxidante, úsese 50.
- Donde $C1_2$ concentrado o NO_2 es el oxidante, úsese 75.
- Donde el oxidante se diluye, úsese un factor linealmente proporcional, de manera que de un factor cero a 21% N_2O , 26% NO , 21% NO_2 y 39% $C1_2$
- Donde es probable que el proceso produzca materiales pirofóricos, que pueden provocar ignición en espacios de vapor o donde es probable que se formen pequeñas cantidades de materiales inestables como peróxidos, úsese un factor de 25.

14.- Riesgos electrostáticos

Los riesgos electrostáticos se pueden introducir cuando una unidad contiene:

- Polvos y materiales granulados en movimientos.
- Líquidos puros de gran resistividad.
- Líquidos que contienen dos fases
- Descargas de gas que contienen dos fases y
- Cuando el equipo en estudio está hecho de materiales aislantes o tiene recubrimientos aislantes, por ejemplo plásticos y hule.

El comportamiento de POLVOS O MATERIALES GRANULADOS, de alta resistividad (ejemplo: materiales en polvo o forma granular a partir de los que se elaboran los

aislantes eléctricos) es tal, que pueden generar cargas electrostáticas cuando fluyen dentro de equipos de la planta, ductos, silos, etc. El riesgo se aumenta cuando se tratan volúmenes considerables de material, ya que la carga en las partículas sólo puede pasar a tierra lentamente.

Si el equipo está recubierto con materiales aislante, el riesgo es mayor. Cuando se tiene este riesgo, se debe usar un factor de entre 25 y 75 más un factor adicional de 50 si el equipo es de material aislante o tiene recubrimientos aislantes (incluyendo recubrimientos de polietileno no fijos para tambores)

LOS LIQUIDOS ORGANICOS de alta resistividad también tienen la facilidad de generar cargas electrostáticas cuando: son bombeados a altas velocidades, caen libremente en superficies líquidas dentro de los recipientes, pasan a través de filtros y unidades similares, etc. Cuando se trata de líquidos sustancialmente puros (no contaminados por una segunda fase de material como agua otro material en partículas) el potencial de generación de cargas electrostáticas peligrosas durante las operaciones convencionales de flujo de líquido, puede relacionarse con la resistividad eléctrica del líquido puro. Si esta resistividad es menor de 10^9 ohms cm, se puede concluir que el manejo del LIQUIDO SUSTANCIALMENTE PURO presenta riesgos mínimos de generación de carga electrostática. Si el líquido se va a manejar en estado contaminado o si la pureza en la operación puede ser tal que se espere un valor de resistividad más alto, se recomienda que los riesgos se consideren mínimos, si la resistencia es menor de 10^{10} ohms cm. Los combustibles que generalmente se encuentran en esta categoría de riesgo son: gasolina, nafta, benceno, tolueno, parafinas, xileno, etc. Alcoholes, cetonas, aldehidos y ésteres generalmente tienen baja resistividad.

Los sistemas acuosos tienen resistividad que son mucho más bajas (10^7 ohms cm. o menos) y en general no presentan ningún potencial de generación de carga, ya que cualquier carga formada, rápidamente descarga en componentes de tierra. Al otro extremo de la escala, un hidrocarburo altamente purificado es esencialmente no-conductor y tiene una resistividad muy alta. Como resultado, los valores de resistividad del líquido están en función del nivel de pureza y de la naturaleza de las impurezas. Las listas de los valores de resistividad no siempre se encuentran en los documentos de

referencia sobre propiedades de líquidos. PARA EL LÍQUIDO EN CUESTIÓN, ESTE DATO DEBE SOLICITARSE EN ESTADO SIMILAR AL PREVISTO EN LA UNIDAD. Se aconseja un factor de entre 10 y 100 cuando se prevean riesgos de descarga electrostática en líquidos. Se debe buscar la guía de un experto en esta materia cuando probablemente estén presentes dos fases (partículas o un segundo líquido inmiscible) y seleccionar así un factor de 50 a 200. Algunos GASES, cuando se descargan a gran velocidad, también pueden generar cargas electrostáticas, por ejemplo: dióxido de carbono gaseoso, vapor húmedo, gases conteniendo partículas sólidas, etc. Esto también es un asunto para que un experto decida un factor en el rango de 10 a 50.

MEDIDAS DE SEGURIDAD

Quando se habla de riesgo de proceso es necesario hablar también de algunas medidas que se deben considerar para operar los equipos con seguridad. A continuación, y a manera de ejemplo, se mencionan algunas de estas.

- Para permitir el escape de gases, las cajas de los manómetros Bourdon deberán estar previstas de grandes orificios respiraderos cubiertos con papel o una fina hoja metálica para protegerlos contra el polvo. Para proteger el aparato contra el polvo, debe sustituirse el vidrio con una lámina gruesa o vidrio de seguridad.
- Los barómetros de Bourdon deben ponerse a una altura mayor que la de los ojos. Debe hacerse uso de los cierres de aceite para impedir la corrosión, regular con una válvula la toma de presión para evitar la fatiga por las oscilaciones, y el empleo de dispositivos de retención para impedir que la presión suba o baje bruscamente.
- Con gases inflamables a presiones elevadas, el efecto Armstrong es una fuente posible de accidentes, debido a que el gas puede contener partículas líquidas o sólidas que pasan a gran velocidad sobre un objeto metálico aislado, el cual puede

adquirir una carga eléctrica tan grande capaz de provocar una chispa que a su vez inflame el gas.

- Los efectos de fricción pueden hacerse presentes cuando se rompen recipientes metálicos, situación que puede provocar temperaturas locales muy elevadas e inflamar los gases.
- Cuando no es factible usar una válvula de seguridad de reposición automática, es a veces factible tener dos válvulas de seguridad, una puesta en punto para una presión ligeramente mayor que la de trabajo con una válvula de cierre interpuesta entre ella y el aparato que se quiere proteger, y la otra regulada para una presión algo más elevada y sin la válvula de cierre o interrupción. Cuando la válvula de seguridad regulada para la presión más baja funciona, puede reponerse con la válvula de interrupción cerrada; mientras que la observación minuciosa y la válvula de seguridad a presión más alta proporcionan la seguridad necesaria.
- Las piezas mayores y más calientes de las instalaciones de alta presión pueden colocarse detrás de gruesas barricadas de protección; pues en caso de explosión, los muros gruesos y los techos ligeros protegen al resto de la instalación que los rodea. Al mismo tiempo, debe advertirse la conveniencia de evitar todo lo que permita la formación de bolsas de gases; los edificios en los cuales estén instalados los aparatos de alta presión deben permitir el paso libre de aire por todas sus partes, especialmente debajo del tejado.
- Un dispositivo de seguridad muy empleado por su acción positiva y porque es muy difícil que deje de actuar cuando la presión exceda de un valor determinado es el disco de ruptura. Cuando la presión sube demasiado o es muy baja, el disco se debilita por corrosión y se rompe.
- Las válvulas de seguridad y los discos de ruptura deben conectarse con tuberías, de modo que la descarga se produzca en algún lugar donde no puedan causar daño

alguno. La tubería de descarga debe ser de un diámetro suficiente para que no entorpezca la descarga libre.

RIESGOS DE CANTIDAD

En este punto se asigna un factor para los riesgos relacionados con el uso de grandes cantidades de combustibles, inflamables, explosivos o materiales que puedan descomponerse.

Se calcula la cantidad total de material en la sección estudiada (incluyendo tubería, tanques de alimentación, columnas, así como recipientes de reacción), por medio de volumen y densidad o directamente como peso de material. Haciendo referencia a: gases, sólidos y mezclas, con base al peso, se logra una comparación lógica de riesgo.

La cantidad de material se registra como cantidad total en peso.

Se asigna el factor de cantidad, relacionándolo con el peso de material en tonelada. Se debe usar el valor mínimo de 1 para una cantidad menor o igual a los 100 kg.

RIESGOS POR EL ARREGLO DEL EQUIPO (L)

Un aspecto importante es la altura a la que se encuentra en cantidades considerables el material inflamable. Para considerar aspectos relacionados con el arreglo de equipo en la sección, es necesario especificar las principales dimensiones de ésta. La ALTURA de una sección se define como la altura arriba del piso terminado de la UNIDAD DE PROCESO o de la TUBERÍA DE TRANSFERENCIA DE MATERIALES más alta. La tubería de venteo y las estructuras para levantar vigas no se usan para determinar la altura, pero la posición de las tuberías principales de salida de los equipos, los condensadores de productos del domo, recipientes de alimentación elevados, se toman en cuenta. La altura en metros se identifica como H.

El área normal de trabajo de una unidad de proceso se define como el área plana de la estructura asociada con la sección, incluyendo bombas, tubería y equipo que no estén dentro del área de la estructura. Se debe considerar como el área rodeada por una cerca colocada alrededor de la estructura de la sección y equipos auxiliares. El área normal de trabajo en metros cuadrados se identifica como N.

En el caso de un tanque (o tanques) de almacenamiento dentro de un dique, tomado como una sección, el área de trabajo se define como el área plana del tanque, más el área local ocupada por cualquier bomba y tubería asociada cuando estas se incluyen en la sección de la planta que está siendo estudiada. El total del área NO se debe usar como área normal de trabajo.

En el caso de tanques de almacenamiento enterrados, el área normal de trabajo se define por la posición de los contornos del tanque cuando estos no estén a más de 10 metros por abajo del nivel de piso. Para almacenamientos subterráneos localizados a profundidades más grandes, el área normal de trabajo se define por la posición en plano de las entradas-hombre y conexiones de tuberías a nivel del piso o a menos de 10 metros de la superficie.

A) Diseño de la estructura

Aunque el arreglo del equipo en una cantidad incluye muchos factores que no se pueden prever en un análisis preliminar de riesgo global, hay algunos aspectos clave que fácilmente identifican y tratan como sigue. Se debe aplicar un factor para estructura de acuerdo con las siguientes indicaciones:

1. Para estructuras abiertas de proceso sin pisos intermedios sólidos o diques locales y con más de 5 toneladas de material inflamables presentes en un recipiente cuya base tenga una elevación de 7 m sobre el nivel del piso, factor de 50.

2. Para estructuras abiertas de proceso, de altura mayor de 7 m conteniendo entre 1 y 5 toneladas de material inflamable arriba de los 7 m sin pisos intermedios sólidos o diques locales, factor de 30.
3. Para estructuras abiertas de proceso, de altura mayor de 7 m donde hayan sido adaptados diques individuales abajo de todos los recipientes elevados que contengan 1 tonelada o más de material inflamable, factor de 15.
4. Para estructuras abiertas de proceso sin pisos intermedios sólidos o diques y con una altura menor de 7 m conteniendo más de 5 toneladas de material inflamable presente en o arriba de una elevación de 3 m sobre el nivel del piso, factor de 25.
5. Para estructuras abiertas de proceso, con altura menor de 7 m conteniendo menos de 5 toneladas de materiales inflamables con o sin diques locales o con o sin pisos intermedios sólidos, factor de 10.
6. Para áreas de procesos cerradas que tengan ventilación menor de 6 cambios por hora y contengan más de 5 toneladas de material inflamable por piso (pisos sólidos) factor de 100.
7. Para áreas de procesos cerradas que tengan ventilación de más de 25 cambios por hora, conteniendo 5 toneladas o más de material inflamable, factor de 20.
8. Para casas de compresor donde se manejen gases inflamables, aplique un factor de 200 si las paredes son continuas hasta el nivel del piso, pero en caso de un cobertizo con ventiladores de caballetes, estilo Dutch, aplique un factor de 40.
9. Si la unidad es un edificio o estructura conteniendo materiales inflamables que tengan una densidad de gas o vapor relativa a la del aire de 3 o más y el patrón de ventilación sea solamente hacia arriba, factor de 100. Si la unidad está sujeta a ventilación natural solamente, use un factor de 50. Si se cree que el material inflamable va a formar una niebla en el edificio o estructura, trátese como estructura y como si tuviera una densidad de 3 o más. Si la unidad cuenta con extracción de aire

por la parte inferior, no se requiere factor de riesgo para los arreglos que incluyan escapes de materiales densos.

EFEECTO DOMINÓ

Cuando unidades de proceso o edificios se localizan juntos, un incidente en una unidad puede involucrar los adyacentes por el efecto dominó. Aquí se considera el debilitamiento de estructuras por fuego, explosión, colapso de los cimientos; lo principal es asegurarse de que haya suficiente espacio. Además, se debe considerar la propagación a unidades adyacentes por medio de corrientes de líquido en combustión o gas o brasas u otros medios.

Debido a que no hay un acuerdo uniforme en estándares sobre espaciamiento y porque las consecuencias de un incidente son diferentes para variar actividades industriales, no hay ninguna base para un arreglo "normal" de equipo en las plantas. Sin embargo está claro que las unidades de proceso muy altas tienen más probabilidad de crear un efecto Dominó, especialmente si son unidades con base pequeña.

Si la sección tiene más de 20 m de altura, se aplica un factor de acuerdo con la siguiente escala, EXCEPTO EN LOS CASOS DE UNIDADES DE ALMACENAMIENTO:

Altura	Factor
De 20 a 30 metros	20
De 30 a 40 metros	40
De 40 a 60 metros	150

Dependiendo de la proporción de dimensiones entre la altura y la base de la sección, se requiere un factor adicional cuando la unidad tenga más de 15 m de alto, como sigue:

Cuando la altura sea entre 3 y 5 veces la dimensión más pequeña (largo o ancho) del área normal de trabajo factor de 25.

Si la altura es entre 5 y 8 veces la dimensión más pequeña del área normal de trabajo factor de 50.

Si la altura es entre 8 y 12 veces la dimensión más pequeña del área normal de trabajo factor de 100.

Si la altura es más de 12 veces la dimensión más pequeña del área normal de trabajo use un factor de 10 veces la relación entre la altura y el área normal de trabajo más pequeña.

C) ÁREAS SUBTERRÁNEAS

Si la estructura de la unidad o el edificio de la planta incluye áreas subterráneas, fosas de recolección o separación, fosas de bombeo u otras abajo del nivel del piso, colocadas dentro del área normal de trabajo de la unidad, factor de 150. este factor no se aplica en áreas rodeadas de diques alrededor de tanques de almacenamiento, esferas, etc. que puedan incluir una excavación abajo del nivel de piso terminado.

Tampoco se debe aplicar a unidades de tratamiento o separación de afluentes o fosas, siempre que estén separadas de las áreas de drenaje de la unidad de proceso.

A los tanques encerrados se les da un factor de 0 a 50.

**DESCRIPCION SIMPLIFICADA DE LOS DIFERENTES TIPOS DE CAJA O GABINETE
SEGUN DESIGNACIONES DE NEMA Y CCONNIE.**

- Definición.-** GABINETE.- Es un recinto o recipiente, que rodea o aloja un equipo eléctrico, con el fin de protegerlo contra las condiciones externas y con objeto de prevenir a las personas de contacto accidental con partes vivas.
- TIPO 1.-** USOS GENERALES.- Diseñado para uso en interiores, en áreas donde no existen condiciones especiales de servicio, y proteger el contacto accidental de personas con el equipo protegido.
- TIPO 2.-** A PRUEBA DE GOTEOS.- Diseñado para uso en interiores, proteger el equipo contra goteo de líquidos no corrosivos y contra la salpicadura de lodos.
- TIPO 3.-** PARA SERVICIO INTEMPERIE.- Diseñado para uso en exteriores y proteger el equipo que encierran contra tolvaneras y aire húmedo. Gabinete metálico resistente a la corrosión.
- TIPO 3R.-** A PRUEBA DE LLUVIA.- Diseñado para uso en exteriores y proteger el equipo que encierran contra la lluvia; Gabinete metálico resistente a la corrosión.
- TIPO 4.-** HERMETICO AL AGUA Y AL POLVO.- Diseñado para equipo expuesto directamente a severas condensaciones externas, salpicaduras de agua o chorro de manguera.
- TIPO 4X.-** HERMETICO AL AGUA, POLVO Y RESISTENTE A LA CORROSION.- Debe cumplir con los mismos requisitos que se indican para gabinetes Tipo 4, y además ser resistentes a la corrosión (con acabado especial para resistir corrosión o gabinete hecho de poliéster).
- TIPO 5.-** HERMETICO AL POLVO.- Diseñado para uso en interiores y proteger el equipo que encierran contra el polvo.
- TIPO 6.-** SUMERGIBLE, HERMETICO AL AGUA Y AL POLVO.- Diseñado para uso en interiores y exteriores, en caso de inmersión ocasional, caída de chorros directos de agua, polvos o pelusas.
- TIPO 7.-** A PRUEBA DE GASES EXPLOSIVOS.- (Equipo encerrado en aire) Diseñado para uso en atmósferas peligrosas Clase I Grupos B, C o D (ver Código Nac. Eléct.) y soportar una explosión interna sin causar peligros externos.
- TIPO 8.-** A PRUEBA DE GASES EXPLOSIVOS.- (Equipo encerrado en aceite) Diseñado para el mismo fin que el Tipo 7 pero su equipo trabaja sumergido en aceite y evitar cualquier posibilidad de chispas que se produzcan, arriba del aceite.
- TIPO 9.-** A PRUEBA DE POLVOS EXPLOSIVOS.- (Equipo encerrado en aire) Diseñado para uso en atmósferas peligrosas Clase II Grupos E, F y G. (ver Código Nac. Eléct.) y evitar el ingreso de cantidades peligrosas de polvos explosivos.
- TIPO 10.-** PARA USO EN MINAS.- Diseñado para uso en minas, cumpliendo los requisitos para atmósferas que contienen mezclas de metano y aire. Gabinete a prueba de explosión con juntas y seguros adecuados.
- TIPO 11.-** RESISTENTE A LA CORROSION.- (Equipo encerrado en aceite) Diseñado para proteger al equipo contra condensaciones externas de líquidos corrosivos, humos y gases corrosivos. Gabinete resistente a la corrosión.
- TIPO 12.-** USO INDUSTRIAL, HERMETICO AL POLVO Y AL GOTEOS.- Diseñado para uso en interiores y proteger el equipo contra fibras, insectos, pelusas, polvos, salpicaduras ligeras, goteos y condensaciones externas de líquidos.
- TIPO 13.-** USO INDUSTRIAL, HERMETICO AL ACEITE Y AL POLVO.- Diseñado para uso en interiores y proteger el equipo contra aceites, líquidos refrigerantes y polvos. Principalmente en gabinetes de positivos piloto para máquinas herramientas.



MODELOS DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS

LOS MODELOS DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS SON HERRAMIENTAS QUE PERMITEN SIMULAR EL COMPORTAMIENTO DE DICHS CONTAMINANTES EN LA ATMÓSFERA. RESULTAN IMPRESCINDIBLES EN MUCHOS ESTUDIOS, DESDE LOS DE IMPACTO AMBIENTAL DE ACTIVIDADES QUE EMITAN ALGUNA SUSTANCIA EN EL SENO DEL AIRE, HASTA LOS PURAMENTE CIENTÍFICOS, PARA LA COMPRENSIÓN DE LA QUÍMICA Y LA FÍSICA ATMOSFÉRICAS. SE PRESENTAN EN ESTE ARTÍCULO LOS MODELOS DE DISPERSIÓN DE FORMA GENERAL, INCIDIENDO EN LOS DISTINTOS TIPOS Y POSIBLES APLICACIONES. ASIMISMO, SE DESCRIBEN TAMBIÉN DOS MODELOS CONCRETOS, COMO EJEMPLOS DE LA GRAN VARIEDAD EXISTENTE EN ESTE CAMPO.

**JOSÉ M. BALDASANO,
LÁZARO CREMADES
Y JOSEP CALBÓ**

■

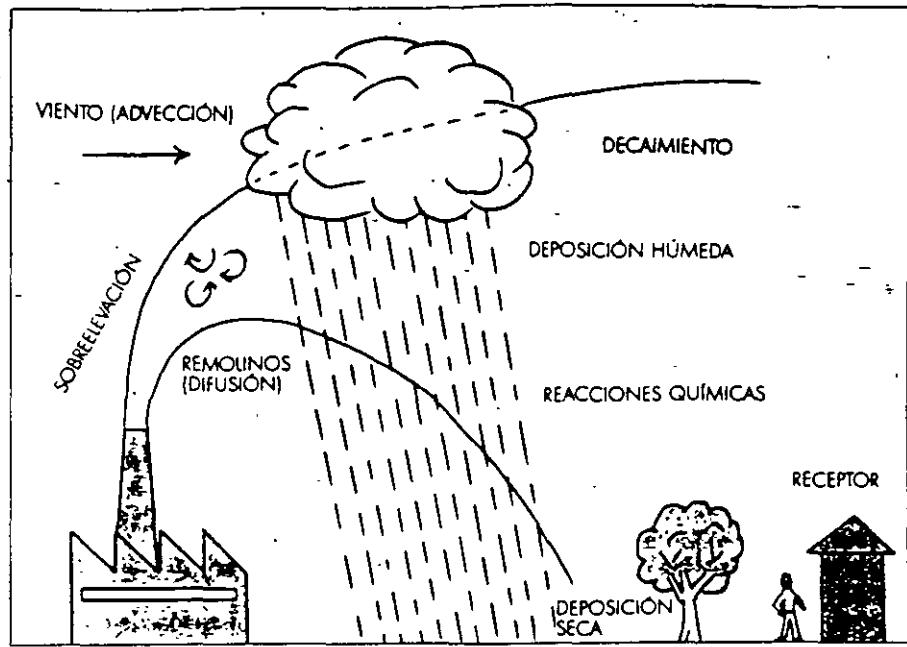
En todo proceso de combustión se obtienen, además de calor, otros productos no deseados, como son el vapor de agua y el anhídrido carbónico (principalmente), y también óxidos de azufre y nitrógeno, infinidad de minúsculas partículas (que según su tamaño, sedimentarán rápidamente o permanecerán en suspensión), etc. Estos últimos son en general conocidos como productos contaminantes, tanto porque alteran la composición de la atmósfera natural, como por sus efectos potenciales más o menos nocivos.

El anhídrido carbónico, a pesar de que ha sido y es emitido en cantidades muy importantes, no había sido considerado contaminante hasta hace poco tiempo. Actualmente, si se le considera un contaminante más, ya que se sabe que el aumento de su concentración en el aire, que refuerza el efecto invernadero, puede llevar a un calentamiento global de la atmósfera.

Después de su emisión, los contaminantes son transportados por el aire, donde además sufren diversas transformaciones, permaneciendo un tiempo

de residencia variable en función de su propia naturaleza y de las condiciones meteorológicas existentes. La cantidad de un contaminante contenida en un cierto volumen de aire, relativamente lejano de una fuente de emisión, se llama normalmente concentración en inmisión, aunque también se habla a veces de nivel de calidad del aire. Se mide habitualmente en $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ (microgramos por metro cúbico normal), ppm (partes por millón en volumen) o ppb (partes por billón). La primera unidad empleada nos indica que la concentración en inmisión es de mil a un millón de veces inferior al de la emisión, ya que ésta se mide normalmente en mg/Nm^3 , y en ciertos casos, en g/Nm^3 (cuando se utilizan carbones con alto contenido de azufre, por ejemplo). La existencia de una cierta cantidad (incluso pequeña) de algunos contaminantes en la atmósfera puede tener efectos perjudiciales, directos o indirectos, sobre las personas, la naturaleza o los materiales en general. Por tanto, es lógico que se estén desarrollando sistemas para el control de la contaminación atmosférica y legislación dirigida a establecer los niveles aceptables de calidad del aire.

Para ello, las autoridades encargadas del control de la contaminación atmosférica requieren dos tipos de información: por una parte, la de las emisiones en sí, y por otra, la de la calidad del aire en una región dada. Mientras en el primer caso, la realización de un inventario es un proceso tedioso pero realizable, en el segundo, el problema de establecer la contribución de cada fuente sobre los niveles de inmisión, no es nada evidente. En consecuencia, es difícil imponer restricciones a fuentes individuales si no se pueden establecer sus relaciones con los receptores. Es en este punto donde los modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos juegan un papel importante,⁽¹⁾ ya que permiten estimar estas relaciones, o predecir los efectos sobre la calidad del aire de una o varias fuentes de emisión.



FUENTE (EMISIÓN)	ATMÓSFERA (DISPERSIÓN)	RECEPTOR (INMISIÓN)
LOCALIZACIÓN	TRANSPORTE -Viento -Circulaciones locales	LOCALIZACIÓN
CONFIGURACIÓN	DIFUSIÓN -Turbulencia	MONITORIZACIÓN
EMISIONES -Hora y duración	TRANSFORMACIÓN -Química -Física	SENSIBILIDAD -Seres humanos -Animales y plantas -Materiales
CARACTERÍSTICAS -Altura -Caudal volumétrico -Temperatura	ELIMINACIÓN -Deposición seca -Deposición húmeda	

Figura 2 Agentes y fenómenos que pueden intervenir en la dispersión de contaminantes atmosféricos y sus relaciones entre ellos a) los contaminantes que se emiten en las fuentes o agentes emisores. La importancia que tendrá esa emisión en los agentes posteriores dependerá de la hora y día de la emisión, así como de su duración, altura a la que se emite, caudal, etc.; b) los contaminantes emitidos son transportados por los vientos (advección) y dispersados esencialmente por los remolinos existentes en el aire (turbulencia). En el aire agente transportador-dispersante pueden sufrir transformaciones fisicoquímicas. Asimismo pueden eliminarse del aire debido a fenómenos de adsorción sobre la superficie del terreno, plantas, edificios, etc. (deposición seca) o arrastrados por el agua de lluvia u otros fenómenos de absorción (deposición húmeda); c) tanto debido a su presencia en el aire, como a su contacto físico por fenómenos de deposición, los contaminantes pueden afectar a los agentes receptores (materiales y seres vivos).

DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS

Entre la emisión de un contaminante y su medida en inmisión (o su respiración por una persona o su efecto sobre un material) hay una gran cantidad de fenómenos bastante complicados, que tienen lugar en la no menos complicada atmósfera. Estos mecanismos son varios (véase la fig. 2):

Transporte por advección: es decir, el desplazamiento de la masa de contaminantes debido al viento existente.

Transporte por difusión: que puede ser molecular, debida al movimiento de las moléculas en el seno del aire y a las diferencias de concentración entre distintos puntos; pero es poco importante su efecto frente al de la difusión turbulenta, mecanismo equivalente en cuanto a su formulación matemática, pero mucho más efectivo como mecanismo de transporte. La difusión turbulenta se debe a la existencia de remolinos en el

Figura 1. Representación bidimensional de la base de datos topográficos del paquete informático que se cita en el texto. En la versión actual, esta base contiene las cotas sobre el nivel del mar de un modelo digital del terreno de Carluña (261 x 268 km²) con un espaciado mínimo de 0,5 km. En la foto está representada la base con un espaciado de 3 km. Se pueden apreciar asimismo la localización de las estaciones meteorológicas que integran la base de datos meteorológicos y el área de estudio escogida para el ejemplo que se presenta en las siguientes fotos

(1) M. Beniston, D. Ruffieux y J.A. Henig, «A combined numerical and wind-tunnel stud. of ventilation an air pollution episodes in a rural area of Sw. Sw. Bol. Meteorol. 48, pp 129-135, 1989»

JOSÉ M. BALDASANO, LAZARO CREMADES Y JOSÉ al Del nto de Proyectos de Ingeniería, Universitat Politècnica de Catalunya.

aire, provocados por las irregularidades del terreno (turbulencia de origen mecánico) o por el calentamiento diferencial de las distintas capas de aire (turbulencia de origen térmico.)

Reacciones químicas: existen multitud de reacciones químicas de unos contaminantes emitidos directamente (primarios) con otros, o con los componentes naturales de la atmósfera. Estas reacciones dan lugar a los contaminantes conocidos como secundarios.

Deposición seca: debida a efectos gravitacionales sobre las partículas relativamente grandes (su peso es superior a la fuerza de rozamiento por la viscosidad del aire) o a la adsorción que sufren por parte de las superficies (el resto de los contaminantes).

Deposición húmeda: tanto las gotas de lluvia como las de las nubes, e incluso las de rocío, pueden capturar y disolver los contaminantes, eliminándolos definitivamente de la atmósfera en caso de que las gotas alcancen la superficie.

Decaimiento: los contaminantes radiactivos pierden actividad en el transcurso del tiempo, por lo que, aunque sigan existiendo moléculas o átomos, pueden dejar de considerarse contaminantes desde ese punto de vista después del paso de un cierto tiempo (que oscila entre unos segundos y unos años, según el material radiactivo de que se trate).

De todos los anteriores, los dos primeros mecanismos existen siempre en menor o mayor grado. La combinación de sus efectos es lo que se llama dispersión de contaminantes, aunque puede generalizarse este concepto para incluir todos los demás mecanismos. Es decir, la dispersión de contaminantes es el conjunto de mecanismos que se dan en la atmósfera, en que intervienen los contaminantes y cuyo efecto es reducir la concentración en que han sido emitidos. Esencialmente, la dispersión es, pues, la explicación de las ya comentadas diferencias de concentración de varios órdenes de magnitud entre emisión e inmisión.

La física y la química implicadas en todos los procesos mencionados no son nada sencillas. Además, ciertos datos que son necesarios para resolver la mayor parte de las ecuaciones tampoco son conocidos, o al menos, no lo son de forma completa. Por ejemplo, es necesario conocer el campo de vientos existente en la zona para resolver la ecuación de transporte-difusión, pero normalmente sólo se dispone de un número limitado de medidas superficiales (a 10 m del suelo) de dirección y velocidad, y sólo en contadas ocasiones de datos en altura (muy importantes para definir la estructura vertical de la capa fronteriza atmosférica). En cuan-

to a los datos necesarios para la caracterización de la turbulencia atmosférica, son por lo general difíciles de medir, incluso en un solo punto. Por lo tanto, sea por una razón (complejidad de las ecuaciones) sea por la otra (falta de datos en cantidad o calidad suficiente) es difícil resolver el problema de la dispersión de los contaminantes atmosféricos.

MODELOS DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS: DEFINICIÓN, APLICACIONES Y CARACTERIZACIÓN

Un modelo de dispersión de contaminantes atmosféricos es un instrumento que permite reproducir el comportamiento de los contaminantes en la atmósfera, de manera que partiendo de datos sobre la emisión y la meteorología, se obtengan los valores de inmisión. Un modelo, sea sencillo o complicado, se hace imprescindible para la obtención de estos valores (si no son medidos directamente, claro está). Alguien podría preguntarse aquí el porqué de los modelos, pero ello sería de alguna manera equivalente a preguntarse el porqué de los modelos de predicción meteorológica si ya se miden las variables. En cualquier caso, a continuación pasaremos a indicar algunas de las aplicaciones de los modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos, en las que se notará su importancia fundamental, para después consi-

derar la caracterización de los distintos tipos de modelos.

En primer lugar, los modelos pueden usarse para los estudios de impacto ambiental de cualquier actividad contaminante de la atmósfera. Es decir, se hace imprescindible algún modelo para predecir con una cierta objetividad y rigor el efecto en una determinada zona de una nueva emisión contaminante en la atmósfera. Así, el modelo podrá informar aproximadamente de cuáles serán las zonas potencialmente más afectadas, a qué nivel llega esta afectación, etc. En el caso de que la emisión permita más de un emplazamiento, el modelo puede soportar la decisión de cuál es el mejor (desde el punto de vista del medio ambiente). También puede ser valiosa su ayuda para determinar las características geométricas de la chimenea, etc. Para este tipo de estudios, de evaluación de impacto y minimización del daño, previos a la emisión real, un modelo se hace absolutamente imprescindible.

En segundo lugar, los modelos pueden ser usados (y, de hecho, lo son) complementados por una red de medida en inmisión (de la misma manera que los modelos meteorológicos se complementan con la red de estaciones meteorológicas), tanto por parte de las industrias potencialmente contaminantes como por las administraciones encargadas de proteger el medio ambiente. Las primeras pueden obtener de los modelos datos varios, como puede ser saber cuándo es aconsejable un cambio de combustible, conocer el momento más adecuado (es decir, el menos perjudicial) para efectuar una emisión extraordinaria, etc.

La administración usará los modelos

CLASIFICACIÓN DE LOS MODELOS DE DISPERSIÓN ATMOSFÉRICA, SEGÚN DIVERSOS CRITERIOS

Alcance espacial	escala local escala regional escala sinóptica
Escala temporal	climáticas episódicas
Dimensión del campo de vientos	unidimensionales bidimensionales tridimensionales
Tipo de fuente emisora	
Contaminante	
Química atmosférica	
Complejidad	estadísticas, de caja o «rollback» analíticas numéricas eulerianos lagrangianos
Extrapolaciones futuras	modelos de diagnóstico modelos de pronóstico

básicamente en dos direcciones: para la previsión de episodios de altos niveles de contaminación, y actuación en consecuencia (sobre todo en ciudades grandes o en zonas muy industrializadas), y para la realización de auditorías ambientales, es decir, la asignación de responsabilidades, la determinación del origen de problemas de contaminación, la justificación de sanciones, etc. De hecho, desde hace años, ciertas legislaciones han incluido modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos en su texto.

Por último, los modelos son útiles desde un punto de vista científico, ya que pueden ayudar a comprender en menor o mayor grado los mecanismos de la dinámica atmosférica.

En todas las aplicaciones anteriores⁽²⁾ se observa que un modelo es imprescindible, ya que las medidas de inmisión (cuando éstas pueden realizarse) dan una información necesaria pero insuficiente. Esto es debido a que la gran diversidad de situaciones de dispersión que pueden darse (resultado, por ejemplo, del ciclo diario) obligarían a instalar una importantísima red de medida para poder ser recogidas, lo que es técnicamente imposible. Es decir, las redes de calidad de aire actuales pueden tener una buena resolución temporal, pero la resolución espacial no es completa. Este detalle espacial puede obtenerse con la ayuda de un modelo (que puede dar, además, la situación de contaminación a distintas alturas, lo que también es difícil conseguir partiendo únicamente de medidas en superficie). Se ha visto hasta aquí el porqué de los modelos, la definición de lo que se entiende por modelo y su utilidad. Pero, lógicamente, falta por concretar qué tipos de modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos existen.

Una forma de presentar la gran variedad de modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos y la razón de esta diversidad, es estableciendo su clasificación por distintos conceptos (véase la tabla).

El primer aspecto que parece ser importante en cuanto a la clasificación de modelos es su alcance espacial, es decir, a qué zona territorial pueden ser aplicados. Hay, bajo este punto de vista, *modelos locales*, que tratan la dispersión a escala local, a distancias inferiores a 10 km del foco emisor. En terminología meteorológica, podría decirse que son modelos que trabajan en la mesoscala β . Otros modelos estudian la dispersión a *escala regional* (o mesoscala α), es decir en zonas de unos cientos o miles de kilómetros cuadrados. Por último, hay *modelos de escala sinóptica*, también llamados de larga distancia, que tratan la dispersión

en la macroescala, es decir, en distancias superiores a los 100 km.

Otro aspecto importante es la *escala temporal* en que trabajan los modelos, es decir, qué periodos de tiempo se simulan, y a qué periodos corresponden los resultados. Básicamente, existen dos posibilidades: los *modelos de tipo climatológico*, que simulan la dispersión durante largos periodos de tiempo (meses, estaciones, año), y que de hecho intentan predecir el comportamiento climatológico (entendido como comportamiento medio durante varios años) de los contaminantes emitidos en una determinada zona; y los *modelos episódicos*, que permiten simular con mayor detalle la dispersión durante un corto periodo de tiempo (unas horas o unos días).

En tercer lugar, y teniendo en cuenta

tical; y finalmente, los *modelos tridimensionales* son aquellos que consideran las tres componentes del vector viento, que varían además a lo largo de la zona de estudio.

En este punto conviene distinguir los *modelos matemáticos* de los *modelos físicos*. Estos últimos son representaciones a pequeña escala de la dispersión atmosférica. Requieren el uso de maquetas de la zona de estudio, túneles de viento, cámaras de humo, etc., en general, de toda clase de medios que permitan simular y medir «físicamente» los fenómenos que intervienen en la dispersión de contaminantes.

En cuanto a los modelos matemáticos, que son a los que nos referiremos exclusivamente más adelante, además de la hipótesis considerada en el tratamiento del viento, otras muchas hipó-

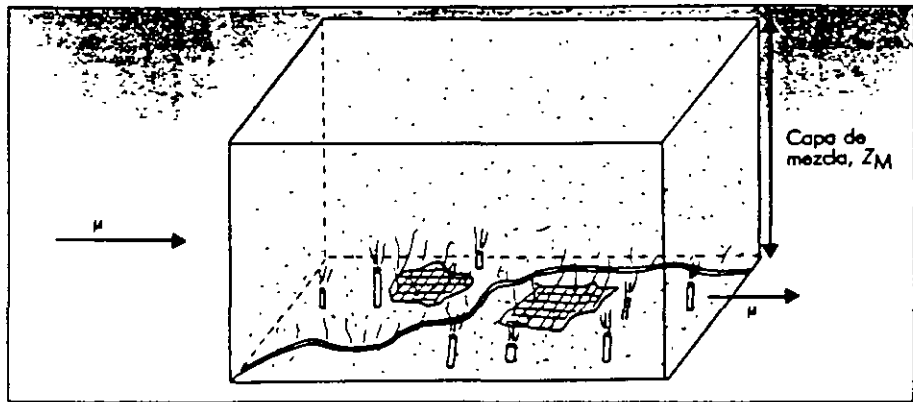


Figura 3. En los modelos de caja, se supone que toda la contaminación está igualmente repartida dentro de una caja que viene limitada por la superficie de la zona de estudio y por la altura de la capa de mezcla, Z_M (inversión térmica) las dimensiones horizontales de la caja corresponden a las de la zona que se desea estudiar (normalmente, una ciudad o polígono industrial). Son modelos estadísticos que correlacionan la cantidad emitida de ciertos contaminantes dentro de la caja con la concentración media en inmisión medida en su interior. De esta manera, conocida la emisión, la concentración de inmisión es inmediata. Los únicos parámetros que se hacen intervenir son la velocidad del viento u y la citada altura de la base de la inversión.

que el viento es una característica meteorológica que afecta de forma muy importante al resultado de un modelo de dispersión, hay que clasificar los modelos según la dimensión del campo de vientos que utilizan. Están los *modelos unidimensionales*, que consideran que el viento medido en un punto es constante y uniforme en toda la zona estudiada; los *modelos bidimensionales*, en los que se considera que el viento varía según el punto del espacio, pero sin tener en cuenta su componente ver-

tesis pueden o no realizarse. Según cuáles sean éstas, se tienen modelos de complejidad muy distinta. Los *modelos más simples* son los estadísticos, de caja o «rollback», que no tienen apenas en cuenta los fenómenos físicos y químicos implicados (fig. 3). A continuación se deben mencionar los modelos analíticos y los modelos numéricos. Los *modelos analíticos* están basados en soluciones explícitas analíticas. Estas soluciones sólo pueden hallarse bajo hipótesis simplificadoras, tales como suponer condiciones homogéneas y estacionarias. Estos modelos no requieren necesariamente el uso de ordenador, aunque la mayoría de ellos han sido implementados en programas de software para facilitar su aplicación. Entre estos modelos destacan los modelos semiempíricos basados en la fórmula del penacho gaussiano (fig. 4). Los *modelos numéricos* por su parte están basados en aproximaciones numéricas (tales como diferencias finitas, elementos finitos, métodos de Montecarlo, etc.) de las ecuaciones en derivadas parciales que representan los fenómenos de dispersión atmosférica. Pueden manejar, al menos teóricamente, condiciones no estacionarias y no ho-

(2) P. Zanetti, «Air pollution models», IRA, Environ. Meas. y Mon. N° 1, 1973.

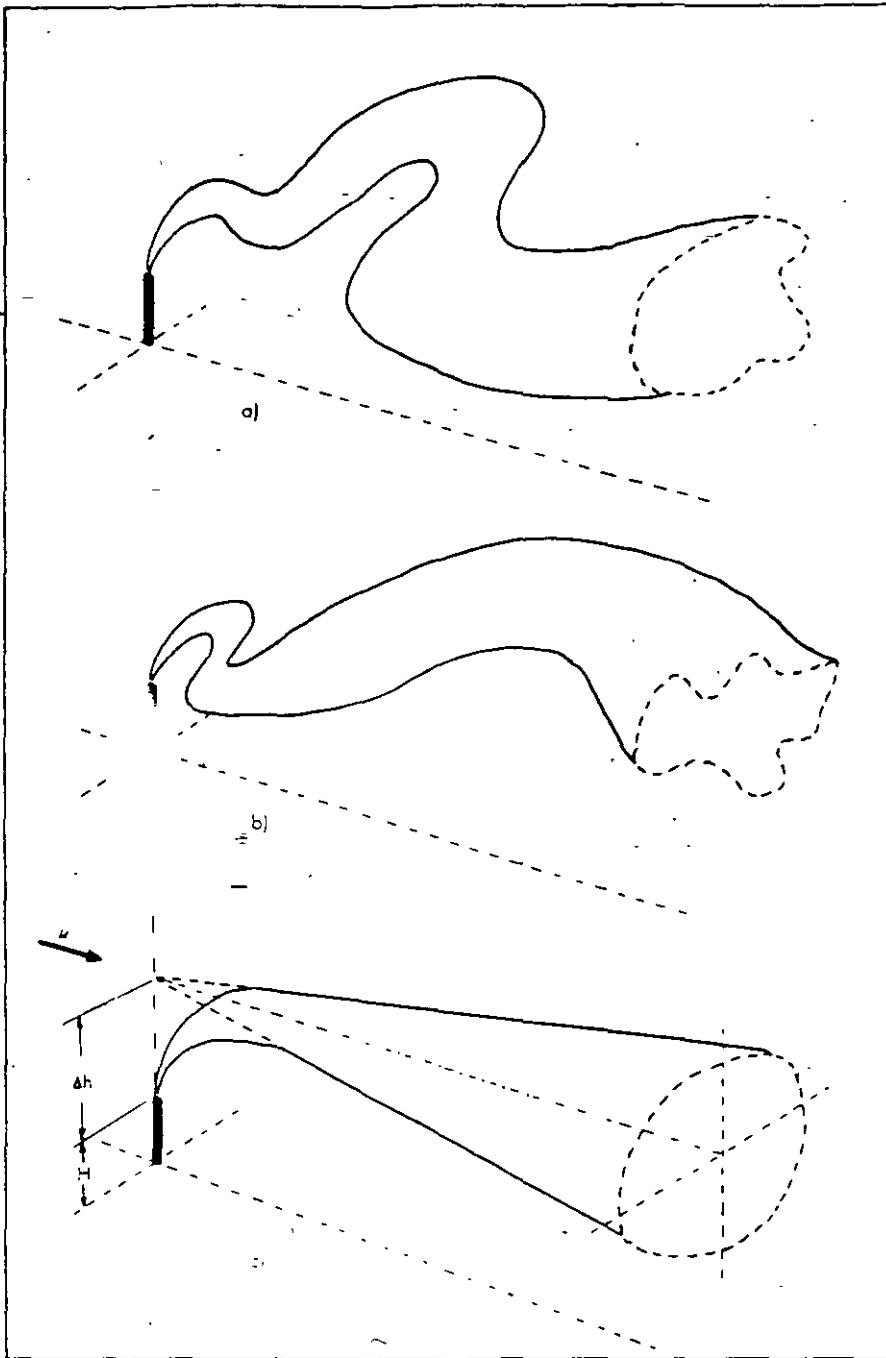


Figura 4. Uno de los modelos que pese a su sencillez, más se conoce y utiliza en los cálculos de dispersión de contaminantes, es el basado en el penacho gaussiano. Es un modelo semiempírico que tiene mayor aplicación para estimar los medios más probables de concentraciones de contaminante en el aire para tiempos de promedio relativamente largos. Por ejemplo, si hiciéramos una foto en un momento determinado a un penacho de humo que sale de una chimenea, podríamos obtener una imagen como la representada en a. En otro instante, se podría obtener, por ejemplo, la imagen b. Pero si, dejáramos abierto el diafragma de la máquina un tiempo suficientemente largo (suponiendo que la película no se velara), se podría llegar a conseguir una imagen como la representada en c, que es la que nos ofrece el modelo de penacho gaussiano.

homogéneas y configuraciones complejas del dominio espacial, como por ejemplo, terrenos con orografía complicada. Estos modelos tienen que tratarse forzosamente mediante ordenadores. Entre estos últimos, podemos distinguir además los *modelos eulerianos* y los *modelos lagrangianos* (los modelos gaussianos pueden considerarse como una solución particular, bajo hipótesis simplificadoras, de ambos modelos eulerianos y lagrangianos). Los primeros estudian los cambios de la concentración en varios puntos fijos en el espacio. Los segundos, por el contrario, fijan su atención en varios volúmenes de aire y estudian sus cambios siguiendo en su movimiento.

Para acabar con esta clasificación, añadir que hay *modelos de diagnóstico* (simulan a partir de una determinada serie temporal de datos, sin poder realizar extrapolaciones hacia el futuro) y *modelos de pronóstico* (que realizan predicciones del comportamiento futuro de los contaminantes debido al cambio de las variables meteorológicas).

Todos los modelos anteriores, por lo general, son «deterministas», esto es, están basados en la existencia de una relación causa-efecto entre la emisión de los contaminantes atmosféricos y la calidad del aire ambiente.

Además de todo lo anterior, es conveniente añadir otras características que permiten distinguir los modelos, u otras posibles formas de clasificarlos. Una de éstas, es en función del **tipo de fuente emisora** que consideran (puntual, lineal, superficial; sencilla o múltiple; fija o móvil). Otra, en función del **contaminante** que consideran (óxidos de azufre, partículas en suspensión, partículas radiactivas, óxidos de nitrógeno, etc.). También, según simulen la química atmosférica o no, etc.

DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES

La contaminación atmosférica es, en primer lugar, un problema local. Sin embargo, la atmósfera arrastra la contaminación alejándola de las ciudades, sobre la tierra y el mar, alrededor del mundo. Este proceso de transporte es al mismo tiempo un inconveniente y una ventaja.

La contaminación se diluye a medida que se expande alejándose de su fuente y, al cabo de unos días, gran parte de ella es "barrida" de la atmósfera por las precipitaciones y absorbida por el suelo. Estos procesos de autolimpieza (depuración por descenso), pueden producirse lejos del punto de emisión.

La constante oscilación de las concentraciones de la contaminación urbana; regional son el resultado del desequilibrio entre los índices de producción de contaminantes y los de su dilución y desaparición. Estos últimos son:

- 1) mezcla vertical a través de la capa de la superficie;
- 2) transporte por el viento fuera del espacio atmosférico regional;
- 3) reacciones químicas dentro del espacio atmosférico; y
- 4) absorción por el suelo y barrido por la precipitación.

Para determinar el grado de dispersión de contaminantes del aire, que una chimenea tiene, en un lugar dado y bajo condiciones atmosféricas específicas, se han desarrollado diferentes modelos matemáticos, que simulan el comportamiento de un contaminante, una vez que se descarga en la atmósfera.

La distribución gaussiana es el modelo empleado más comúnmente, para estimar la concentración de un contaminante en un punto de coordenadas (x,y,z), ubicado corriente abajo de la fuente de emisión.

La dispersión de emisiones por medio de una chimenea, no es un procedimiento de control de contaminación, sino que se trata tan solo de una dilución de los mismos dentro de la atmósfera.

1. ECUACIONES DE DIFUSIÓN

La concentración (C) de un gas o aerosol en un punto (x,y,z) de la fuente y con una altura efectiva de emisión (H), se obtiene de la siguiente ecuación:

Ecuación 1

$$C(X, Y, Z; H) = \frac{E}{2\pi \sigma_y \sigma_z u} \text{EXP} \left[-1/2 (Y / \sigma_y)^2 \right] \left\{ \text{EXP} \left[-1/2 ((Z-H) / \sigma_z)^2 \right] + \text{EXP} \left[-1/2 ((Z+H) / \sigma_z)^2 \right] \right\}$$

donde:

$C(X, Y, Z, H)$	=	Concentración del contaminante corriente abajo en la posición (x,y,z) en (g/m ³)
E	=	Emisión del contaminante en la fuente (g/ seg)
u	=	Velocidad promedio del aire (m / seg)
H	=	Altura efectiva del centro de línea de la pluma (m)
X	=	Distancia viento abajo de la fuente (m)
Y	=	Distancia horizontal perpendicular al centro de línea de la pluma (m)
Z	=	Distancia sobre el nivel de piso (m)
σ_y	=	Desviación estandar horizontal de la pluma desde su centro de línea (m)
σ_z	=	Desviación estandar vertical de la pluma desde su centro de línea (m)

Para calcular la concentración a nivel de piso (z=0) la ecuación 1 se simplifica a :

Ecuación 2

$$C(X, Y, 0; H) = \frac{E}{2 \pi \sigma_y \sigma_z u} \text{EXP} \left[-1/2 (Y / \sigma_y)^2 \right] \text{EXP} \left[-1/2 (H / \sigma_z)^2 \right]$$

Para el caso de concentración a nivel de piso y a lo largo del centro de línea (y=0), las ecuaciones 1 y 2 se reducen a :

Ecuación 3

$$C(X, 0, 0; H) = \frac{E}{2 \pi \sigma_y \sigma_z u} \text{EXP} \left[-1/2 (H / \sigma_z)^2 \right]$$

Si además de lo anterior, se tiene que la altura efectiva de la pluma es despreciable (H = 0), la ecuación 3 se simplifica a

Ecuación 4

$$C(X, 0, 0, 0) = \frac{E}{2 \pi \sigma_y \sigma_z u}$$

2. DETERMINACIÓN DE ALTURA EFECTIVA DE EMISIÓN

La altura efectiva de emisión (H) está dada por la siguiente ecuación:

Ecuación 5

$$H = h + \Delta H$$

donde:

h = altura real de la chimenea (m)

ΔH = altura de la pluma sobre la salida de la chimenea (m)

ΔH se obtiene de la ecuación de Holland que establece:

Ecuación 6

$$\Delta H = v_s d / u [1.5 + 2.68 P ((Ts - Ta) / Ts) d] K_s$$

donde :

v_s = velocidad de salida de la chimenea (m / seg)

d = diámetro interno de la chimenea en la salida (m)

u = velocidad promedio del viento (m / seg)

P = presión atmosférica (bar) (1 atm = 1 013 bar)

Ts = temperatura de los gases en la chimenea (° K)

Ta = temperatura ambiente (° K)

K_s = constante en función de la estabilidad de la atmósfera

valores de K_s :

<u>Estabilidad</u>	<u>K_s</u>
A	1.2
B	1.2
C	1.1
D	1.0
E	0.9
F	0.8

3. CORRECCIÓN DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO

Cuando el dato de velocidad del viento, fué tomado a una altura diferente del punto de descarga de la chimenea, se debe hacer una corrección, en base a la siguiente ecuación :

Ecuación 7

$$u_2 = u_1 (z_2 / z_1)^a$$

donde:

u_1 = velocidad del viento a una altura diferente a la chimenea (m / seg)

u_2 = velocidad del viento, estimada a la altura de la chimenea (m / seg)

z_1 = altura a que se tomó la medición de velocidad del viento (m)

z_2 = altura física de la chimenea (m)

a = exponente que varia en función a la clase de estabilidad

4. ESTIMACIÓN DE CONCENTRACIÓN PARA TIEMPOS DE MUESTREO MAYORES A 10 MINUTOS

Tanto Pasquill y Gifford como Holland, desarrollaron el modelo de difusión para un tiempo de muestreo de 10 minutos, sin embargo, las técnicas de monitoreo ambiental y las normas de calidad del aire, están referidas para períodos de tiempo diferentes de 10 minutos. Para poder comparar los resultados en el modelo de difusión contra la reglamentación ambiental, se aplica la siguiente ecuación:

Ecuación 8

$$C(x,y,z)_2 = C(x,y,z)_1 (t_1 / t_2)^{0.165}$$

donde:

$C(x,y,z)_1$ = concentración obtenida por el modelo en el tiempo t_1

$C(x,y,z)_2$ = concentración del contaminante en el tiempo t_2

t_1 = 10 minutos

t_2 = tiempo en que se realizó el muestreo ambiental o el tiempo a que están referidas las normas de calidad del aire (minutos)

TABLA DE CONTENIDO

I. INTRODUCCION

II. MODELO DE DISPERSION DE UNA EMISION PUNTUAL CONTINUA DE GASES (DEPC)

II.1 MODELO MATEMATICO

II.2 OPERACION DEL MODELO

II.3 EJEMPLOS DE APLICACION

III. MODELO DE DISPERSION DE UN GAS O VAPOR PROVENIENTE DE UNA FUGA O DERRAME DE UN LIQUIDO QUE SE EVAPORA (DFD)

III.1 MODELO MATEMATICO

III.2 OPERACION DEL MODELO

III.3 EJEMPLOS DE APLICACION

IV. MODELO DE DISPERSION DE UN GAS LIBERADO EN FORMA MASIVA E INSTANTANEA (DFMI)

IV.1 MODELO MATEMATICO

IV.2 OPERACION DEL MODELO

IV.3 EJEMPLOS DE APLICACION

V. MODELO DE EVALUACION DE DAÑOS PROVOCADOS POR NUBES EXPLOSIVAS (EDNE)

V.1 MODELO MATEMATICO

V.2 OPERACION DEL MODELO

V.3 EJEMPLOS DE APLICACION

REFERENCIAS

APENDICES

APENDICE A: Estándares y criterios de calidad del aire en algunos países.

APENDICE B: Tabla indicativa de datos sobre características de productos riesgosos.

APENDICE C: Operación del archivo de consulta a información de apoyo.

IV. MODELO DE DISPERSION DE UN GAS LIBERADO EN FORMA MASIVA E INSTANTANEA (DFMI)

IV.1 MODELO MATEMATICO

El modelo está desarrollado en base a las ecuaciones de dispersión gaussiana de una nube o "puff" tridimensional, formada por la masa de una sustancia gaseosa que es liberada a la atmósfera en unos cuantos segundos, tal como sería la liberación de una nube de gas tóxico provocada por una explosión o ruptura de un almacenamiento.

La fig 4 muestra la representación esquemática del modelo, el cual ha sido diseñado para proveer de una estimación de la zona afectada por el puff durante su desplazamiento, así como de un seguimiento de la concentración en función del tiempo de arrastre.

Una característica básica del modelo es que se asume que la dispersión de la nube a lo largo de la dirección del viento (x), es igual a la dispersión en la dirección lateral (y). Por lo tanto, se considera que el viento interviene únicamente como un vector de movimiento del puff, condicionando su posición viento abajo del punto de emisión, no existiendo dilución debida al viento. Así mismo, el modelo involucra solamente concentraciones a nivel del piso i.e. : z = 0.

La ecuación de la dispersión gaussiana tridimensional que constituye al modelo es (refs. 3, 5, 9, 10):

$$C(x,y,0;He) = \frac{2Q}{(2\pi)^{3/2} Sp^2 Sz} \exp\left(-\frac{1}{2} \left(\frac{(x-Ut)^2 + y^2}{Sp^2} + \frac{He^2}{Sz^2} \right)\right) \quad (27)$$

Donde:

$C(x,y,0,He)$ = Concentración a nivel de piso en la posición (x,y) a partir del centro de la nube, (g/m³)

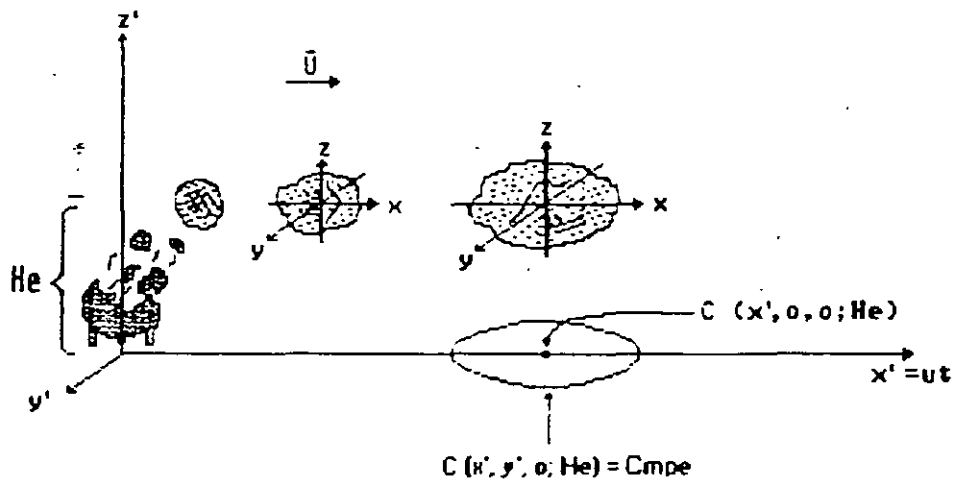
Q = Emisión total de gas, (g)

He = Altura de emisión de la nube, (m)

Sp = Sy = Sx = Coeficientes de dispersión de la nube en las direcciones x e y, (m)

Sz = Coeficiente de dispersión de la nube en la dirección z, (m)

Figura 4. Esquema conceptual del modelo gaussiano puntual.



$$P_i = 3.1416$$

t = Tiempo de desplazamiento o recorrido de la nube, (s)

U = Velocidad promedio del viento, (m/s)

x = Distancia a partir del centro de la nube en la dirección del viento x , (m)

y = Distancia a partir del centro de la nube en la dirección lateral y , (m)

z = Distancia a partir del centro de la nube en la dirección vertical z , (m)

Los coeficientes de dispersión S_y y S_z , los cuales definen el tamaño de la nube, son función de la distancia recorrida por el mismo (Ut) y de las condiciones de estabilidad atmosférica prevalecientes. En el modelo se asume que la estabilidad, así como el viento, permanecen constantes durante todo el recorrido del puff; los coeficientes S_y y S_z se determinan de acuerdo con el procedimiento de Pasquill (ref. 3), ya descrito en el modelo puntual continuo y seleccionándolos de tal forma que la concentración estimada resultante sea representativa de la concentración que se tendría desde una fuente emisora puntual continua (ref. 10). El tamaño inicial de la nube se estima considerando una distancia ficticia x_f en la cual $S_{y0} = S_{z0} = \text{radio recipiente}/2.15$ (ref. 3).

Los resultados suministrados por el modelo son la distancia recorrida por el puff, el tiempo recorrido, y la concentración en el centro del mismo a nivel de piso, así como una gráfica de concentración-distancia en el centro del puff. Los cálculos se interrumpen cuando se alcanza una distancia de interés o una concentración determinada por el usuario (que puede ser una concentración máxima permisible de exposición (C_{mpe})). Igualmente se determinan las curvas de isoconcentración, correspondientes a la concentración de interés suministrada por el usuario, en varios puntos del recorrido del puff, con ayuda de la ecuación:

$$y = (2 \ln (C(0,0,0;He) / C(x,y,0;He))^{1/2}) S_y \quad (28)$$

Donde :

$C(0,0,0;He)$ = Concentración del gas en el centro del puff, a nivel del piso y a una distancia Ut del punto de emisión (g/m^3)

$C(x,y,0;He) = C_{mpe}$ = Concentración correspondiente a la curva de isoconcentración deseada (g/m^3)

Debido a las suposiciones efectuadas, en particular que

$$S_x = S_y$$

se tiene que la curva de isoconcentración estará representada por un círculo. Cabe recalcar que en cualquier punto situado dentro del círculo se tendrá que la concentración en el punto es superior a la concentración máxima de exposición (Cmpe) suministrada por el usuario.

Al igual que en el modelo de fugas y derrames, es necesario mencionar que las características de la ecuación gaussiana empleada en el modelo puff condicionan su aplicación considerando las suposiciones y restricciones señaladas en el modelo puntual continuo, además de las siguientes:

- . El gas es emitido masiva e instantáneamente
- . La dispersión horizontal es igual a la lateral ($S_x = S_y$)
- . El viento no provoca una dilución de la nube en la dirección x

IV.2 OPERACION DEL MODELO

Para iniciar el uso de este modelo es necesario entrar previamente al Menú Principal tecleando la palabra **SCRI** y oprimiendo la tecla [Return] (regreso); aparece la pantalla de presentación de SCRI; teclear [Return]:

<p>S C R I</p> <p>MODELOS ATMOSFERICOS PARA SIMULACION DE CONTAMINACION Y RIESGOS EN INDUSTRIAS</p>
<p>A) DISPERSION EMISION PUNTUAL CONTINUA DE GASES (DEPC)</p> <p>B) DISPERSION FUGA DE GAS O VAPOR DE UN DERRAME (DFD)</p> <p>C) DIPERSION FUGA DE GAS MASIVA E INSTANTANEA (DFMI)</p> <p>D) EVALUACION DE DAÑOS DE NUBES EXPLOSIVAS (EDNE)</p> <p>1) CONSULTA A INFORMACION DE APOYO</p> <p>T) TERMINAR</p> <p style="text-align: center;">Opción ----></p>

La segunda etapa de cálculo corresponde a la determinación de la curva de isoconcentración para Cmpe, empleando la ecuación:

$$y = (2 \ln (C(x,0,0;He) / C(x,y,0;He))^{1/2}) S_y \quad (21)$$

Para el caso de fuga de gas (fig. 3 (a)) :

$$C(x,0,0;He) = (Q/Pi S_y S_z U) \exp((-1/2) (He/S_z)^2) \quad (22)$$

$$C(x,y,0;He) = C_{mpe} \quad (23)$$

Donde :

$C(x,0,0;He)$ = Concentración del gas (g/m^3), x metros viento abajo de la fuga

$Pi = 3.1416$

S_y = Coeficiente de dispersión en la dirección y, (m)

S_z = Coeficiente de dispersión en la dirección z, (m)

He = Altura de emisión, (m)

C_{mpe} = Concentración máxima permisible de exposición, (g/m^3)

U = Velocidad media del viento (m/s)

Para el caso de derrame líquido la emisión se estima asumiendo una fuente de área (fig. 3 (b)) y considerando que su forma es cuadrangular.

Para una fuente de área es necesario efectuar una modificación en el cálculo del coeficiente de dispersión lateral S_y , asumiendo una desviación estándar inicial S_{y0} que toma en cuenta una emisión en línea cuya dispersión se efectúa en forma gaussiana (ref. 3). Esto se hace considerando una distancia ficticia de la pluma X_f tal que :

$$X_f = x + X_y$$

Xy se obtiene asumiendo que la longitud de un lado del cuadrado (S) del derrame sera

$$S = 4.3 S_{yo}$$

y

$$S_{yo} = S/4.3 \quad (24)$$

Donde S_{yo} es el coeficiente de dispersión a la distancia Xy .

Una vez conocido S_{yo} se determinan Xy y Xf , empleándose ésta última para el cálculo de Sy .

Las ecuaciones de cálculo de la concentración para la dispersión del vapor son:

$$C(x,0,0;0) = Q/Pi S_y S_z U \quad (25)$$

$$C(x,y,0,0) = C_{mpe} \quad (26)$$

Como el derrame ocurre a nivel del piso $H_e = 0$ m.

Los cálculos anteriores darán como resultado importante la distancia máxima (X_{max}) alcanzada por la curva de isoconcentración C_{mpe} y el ancho máximo de la elipse Y_{max} . Cabe mencionar que en cualquier punto dentro de la elipse se tendrá una concentración superior a C_{mpe} .

La tercera etapa de cálculo se refiere a la determinación del área de exclusión. Debido a que ésta última estará determinada por las condiciones de estabilidad atmosférica y por la dirección del viento, se ha definido un ángulo de variación o fluctuación (θ) de la pluma de gas o vapor, que es función del tipo de estabilidad. En el modelo se asumen los ángulos siguientes (ref. 7):

Categoría de estabilidad	(θ)
A - B	80°
C - D	30°
E - F	15°

Para el caso de estabilidad intermedia B-C se considera un ángulo de 55° .

El área de exclusión estará entonces definida por un sector con un ángulo θ mas la distancia Y_{max} a ambos lados, alcanzando una distancia X_{max} (fig. 3).

Cabe recordar que las ecuaciones de dispersión gaussianas y sus parametros asociados son los mismos que se presentaron en el modelo puntual continuo, y por lo tanto las suposiciones y restricciones asociadas en el mismo deben ser tomadas en cuenta para la aplicación de este modelo.

III.2 OPERACION DEL MODELO

Para iniciar el uso de este modelo es necesario entrar previamente al Menú Principal tecleando la palabra SCRI y oprimiendo la tecla [Return] (regreso); aparece la pantalla de presentación de SCRI; teclear [Return]:

S C R I
MODELOS ATMOSFERICOS PARA SIMULACION DE CONTAMINACION Y RIESGOS EN INDUSTRIAS
A) DISPERSION EMISION PUNTUAL CONTINUA DE GASES (DEPC)
B) DISPERSION FUGA DE GAS O VAPOR DE UN DERRAME (DFD)
C) DISPERSION FUGA DE GAS MASIVA E INSTANTANEA (DFMI)
D) EVALUACION DE DAÑOS DE NUBES EXPLOSIVAS (EDNE)
1) CONSULTA A INFORMACION DE APOYO
T) TERMINAR
Opción ----->

PASO 1

SELECCION DEL MODELO DFD

Se oprime la letra B para seleccionar el modelo DFD. En la parte superior aparece una gráfica a cuadros y en la parte inferior un desplegado:

Nombre de la Sustancia ----->

PASO 2

Una vez que se introduce el nombre de la sustancia se oprime la tecla [Return]. Inmediatamente aparece en la parte inferior de la pantalla las opciones que contiene el modelo:

≠ OPCIONES _ A) Correr el Modelo B) Cambio de Escalas [X,Y,] C) Cambio Nombre de Sustancia D) Reporte Impreso de Modelación S) Salir Opción ----->
--

PASO 3

CORRER EL MODELO, OPCION A) DEL MENU

Se inicia la corrida del modelo tecleando la letra A, con lo cual aparece en la parte inferior de la pantalla:

Concentración 1 de interés (mg/m3) Conc. ---->

Esta es la primera concentración a localizar y que servirá para graficar el área de exclusión. Esta concentración debe ser diferente de cero. Opcionalmente pueden involucrarse otras 2 concentraciones, si no se desean, teclear cero a esas solicitudes. Presionar la tecla [Return] después de la introducción de cada dato de concentración.

Nota: A partir de este momento los datos que se introduzcan a este modelo aparecen en la parte superior de la pantalla en forma simplificada.

PASO 4

Este paso consiste en definir qué tipo de evento se desea modelar:

El evento es una fuga o un derrame (f/d) ---->

En el caso de que sea una fuga, se pide primero la altura:

Gasto de Emisión (g/s)
Altura de la Fuga (m) H ---->

Oprimir la tecla [Return].

Después, el gasto de emisión :

Gasto de Emisión (g/s) Q ---->

Oprimir la tecla [Return].

PASO 5

En caso de que sea un derrame el modelo solicita:

- La longitud del derrame:

Gasto de Emisión (g/s)
Longitud del Derrame
S ----->

Oprimir la tecla [Return].

- Si el gasto de emisión es conocido o no:

Gasto de Emisión (g/s)
Gasto "Q" Conocido o Desconocido?
(c/d) ----->

En caso de respuesta afirmativa se introduce el gasto de emisión directamente:

Gasto de Emisión (g/s)
Q ---->

Oprimir la tecla [Return].

PASO 6

Si el gasto de emisión no es conocido, se solicita la presión de vapor del líquido:

Gasto de Emisión (g/s)
Presión de Vapor de Sustancia Liq. (mm Hg)
PV ----->

Oprimir la tecla [Return].

Enseguida se pregunta si es conocido o no el peso molecular. En este paso se selecciona el procedimiento para estimar el gasto de vapor emitido.

<p>Gasto de Emisión (g/s)</p> <p>Peso Molecular Conocido ?</p> <p>(s/n) ----></p>
--

Si el peso molecular es conocido el procedimiento de cálculo de vapor emitido será con las ecuaciones 19 y 20; introducir su valor:

<p>Gasto de Emisión (g/s)</p> <p>Peso Molecular -----></p>

Oprimir la tecla [Return].

Enseguida aparece el gasto Q de emisión en la pantalla.

PASO 7

Si el peso molecular no es conocido el procedimiento de cálculo de vapor emitido será con las ecuaciones 17 y 18; se solicita:

- El gasto del líquido derramado:

<p>Gasto de Emisión (g/s)</p> <p>Gasto Líquido Derramado (l/s)</p> <p>Lo -----></p>
--

Oprimir la tecla [Return].

- El peso específico de la sustancia:

<p>Gasto de Emisión (g/s)</p> <p>Peso Específico de la Sustancia</p> <p>Ro -----></p>
--

Oprimir la tecla de [Return].

En este momento se muestra en la pantalla el % de evaporación del líquido y el gasto Q de emisión.

PASO 8

Enseguida el modelo solicita la información meteorológica de la corrida. Inicia preguntando si la estabilidad es conocida o no. Si el tipo de estabilidad es conocida es necesario elegir un tipo de ésta:

Información Meteorológica
Clase Estabilidad ('A' . 'F') ----- >

Asimismo se pide la velocidad promedio del viento:

Información Meteorológica
Veloc. promedio del viento (m/s)
U [X..X] ----- >

Oprimir la tecla [Return]. El tipo de estabilidad aparece en pantalla.

En caso que se teclee la letra d señalando que la estabilidad es desconocida, el modelo pregunta otro tipo de información que es necesaria para estimar el tipo de estabilidad de que se trata. Esta información aparece en la parte inferior de la siguiente manera:

- Velocidad promedio del viento del lugar de interés:

Información Meteorológica
Veloc. promedio del viento (m/s)
U ----- >

Oprimir la tecla [Return].

- Es de día o de noche:

Día o Noche (d/n) -- >

- En caso de que sea de día, suministrar la intensidad de la radiación solar:

Información Meteorológica		
Radiación Solar		
[L] > ligera < 300 W/m ²	M > moderada 300-600	F > fuerte -----> > 600 W/m ²

- En caso de que sea de noche indicar la nubosidad:

Información Meteorológica		
Nubosidad [A] > Alta, [B] > baja ----->		
"4/8 - 7/8"	"< 3/8"	

El tipo de estabilidad es desplegado en pantalla.

PASO 9

En este punto se pregunta si se quiere o no modificar el ángulo de fluctuación de la pluma. G = Grados.

El ángulo de Fluctuación de la Pluma = XX G
Desea modificarlo (s/n) ----->

Si la respuesta es afirmativa-se teclea el nuevo valor del ángulo de fluctuación a considerar:

Angulo de Fluctuación
----->

Oprimir la tecla [Return].

PASO 10

La siguiente pregunta del modelo es si se desea modificar los datos ya capturados.

Desea modificar datos (s/n) -->

En caso de que la respuesta sea afirmativa se regresa hasta la primera pregunta, es decir, la primera concentración de interés y se repasan cada una de las preguntas ya mencionadas, si no se desea modificar algún valor solo presionar [Return] a esa solicitud. En caso de que la respuesta sea negativa el modelo procesa todos los datos y efectúa la corrida.

PASO 11

Resultados de la modelación.

Lo que primero aparece en la gráfica de la pantalla son los datos de gasto de emisión, velocidad del viento, y la altura de emisión, en la parte inferior izquierda. En la parte inferior derecha de la pantalla aparece la concentración a localizar y el ángulo de fluctuación, así como la palabra "Procesando":

MODELO FUGA DE GAS O VAPOR DE DERRAME	
Q = XXX.XX g/s	Conc. X = XXX.XX mg/m ³
U = X.XX m/s	TETA = XX G
H = XXX.X m	Procesando ...

Enseguida el modelo al terminar sus cálculos despliega la distancia final en kilómetros en la parte inferior y comienza el cálculo de la distancia de exclusión así como la gráfica de exclusión:

MODELO FUGA DE GAS O VAPOR DE DERRAME	
Q = XXX.XX g/s	Conc. X = XXX.XX mg/m ³
U = X.XX m/s	TETA = XX G
H = XXX.X m	Calc. Y ...
	Distancia = XXXX.X km

Finalmente, en la gráfica aparece el área afectada y la estabilidad considerada por el modelo. En la parte inferior aparece un desplegado como el siguiente:

MODELO FUGA DE GAS O VAPOR DE DERRAME	
Q = XXX.XX g/s	Conc. X = XXX.XX mg/m3
U = X.XX m/s	TETA = XX G
H = XXX.X m	Yexc = XXXX.X m
	Distancia = XXXX.XX km

A continuación el modelo emite un sonido semiagudo con el cual se avisa que la corrida ha terminado. Se debe oprimir la tecla [Return] para volver al menú del modelo, o para procesar eventualmente la segunda y tercera concentraciones de interés.

En caso de que se hayan introducido dos o tres datos de concentración, es necesario oprimir la tecla [Return] y aparecerá un desplegado como el siguiente:

MODELO FUGA DE GAS O VAPOR DE DERRAME		
Concentración	Distancia de Exclusión	Area afectada
X.XXX mg/m3	XXXX.X m	XX.X Km2
X.XXX mg/m3	XXXX.X m	XX.X Km2
X.XXX mg/m3	XXXX.X m	XX.X Km2
Angulo de Fluctuación = XX X		

Oprimir [Return] para regresar al menú del modelo.

PASO 12

CAMBIO DE ESCALAS [X , Y], OPCION B) DEL MENU

Esta opción se puede elegir antes o después de usar la opción A lo cual permite mucha flexibilidad al modelo. Al oprimir la letra B del menú aparece en la pantalla las escalas disponibles para las coordenadas X y Y. En primer lugar aparecen las escalas disponibles para X:

LIMITE MAXIMO HORIZONTAL : (KMS)									
A)	1	E)	5	I)	9	M)	25	Q)	45
B)	2	F)	6	J)	10	N)	30	R)	50
C)	3	G)	7	K)	15	O)	35	S)	60
D)	4	H)	8	L)	20	P)	40	T)	70
Opción ----->									

Después de seleccionar la escala X es necesario oprimir la tecla [Return]. Enseguida en la parte inferior de la pantalla aparecen las escalas disponibles para la coordenada Y:

LIMITE MAXIMO VERTICAL : (KMS)									
A)	0.5	E)	2.5	I)	4.5	M)	12.5	Q)	22.5
B)	1.0	F)	3.0	J)	5.0	N)	15.0	R)	25.0
C)	1.5	G)	3.5	K)	7.5	O)	17.5	S)	30.0
D)	2.0	H)	4.0	L)	10.0	P)	20.0	T)	35.0
Opción ----->									

Después de seleccionar la escala Y es necesario oprimir la tecla [Return].

Al introducir la elección más conveniente el modelo regresa al menú del modelo. En caso de que se realice este cambio de escalas después de usar la opción A del menú principal (corrida del modelo), el modelo cambia las escalas y calcula automáticamente la gráfica nuevamente.

PASO 13

CAMBIO DEL NOMBRE DE LA SUSTANCIA, OPCION C) DEL MENU

En la parte superior aparece una gráfica a cuadros y en la parte inferior un desplegado como el siguiente:

Nombre de la Sustancia ----->

Se introduce el nuevo nombre de la sustancia y se oprime la tecla [Return] Inmediatamente, aparece nuevamente el menu del modelo.

PASO 14

REPORTE IMPRESO DE LA MODELACION, OPCION D) DEL MENU

Para obtener un ejemplar impreso de la corrida del modelo es necesario oprimir la tecla D. Enseguida el modelo solicita el número de datos a imprimir (en este caso se refiere al número de puntos horizontales en que se efectúan los cálculos del área de exclusión). Si se desea cancelar esta opción teclear 0. En caso de proceder la impresión, el modelo pregunta si se desean numerar las páginas. A continuación se inicia la elaboración del reporte.

Para efectuar lo anterior es evidentemente necesario tener conectada la impresora y en línea. Si la impresora no está lista, aparecerá el mensaje: "A)abort R)etry I)gnore."

Para continuar encender (o poner en línea) la impresora, ajustar el papel y presionar la tecla R.

PASO 15

SALIR, OPCION S) DEL MENU

Para regresar al menú principal de SCRI simplemente teclear S.

Este paquete de modelos SCRI puede ser obtenido con nuestro distribuidor mayorista o solicitando a la siguiente dirección:

Sistemas Heurísticos, S.A. de C.V.
San Ramón # 19-1
Col. del Valle
Deleg. Benito Juárez
México, D.F. C.P. 03100
Tel.: 523-20-11

II. MODELO DE DISPERSION DE UNA EMISION PUNTUAL CONTINUA DE GASES (DEPC)

Antes de entrar propiamente a la descripción de este modelo, a continuación se presentan algunos conceptos que son generales a los modelos de difusión gaussiana y se aplican tanto al modelo de emisión puntual continua como al de fugas y derrames y al de nube o puff.

En los modelos de difusión gaussiana se tiene que la concentración promedio de contaminante en la pluma o masa gaseosa, a una distancia x viento abajo del punto de emisión o del centro de la pluma, es inversamente proporcional a la cantidad de dispersión de la pluma en las direcciones lateral y vertical (D_y , D_z), y a la velocidad del viento de transporte (U) (ref. 1):

$$C \propto \frac{Q}{U D_z D_y} \quad (1)$$

Donde Q es el flujo o masa de contaminante emitido.

A partir de observaciones efectuadas se ha encontrado que la concentración dentro de la pluma no es uniforme, sino que se tiene un máximo hacia el centro, disminuyendo hacia los bordes. Los resultados teóricos y experimentales indican que el perfil de la concentración dentro de la pluma sigue aproximadamente una curva de distribución en forma de campana, también llamada distribución normal o gaussiana (fig. 1), (refs. 1, 2).

El pico de la curva (la media poblacional) corresponde a una concentración muy cerca del centro de la pluma y los puntos a ± 3 desviaciones estándar (S) de la media, representan aproximadamente los bordes de la pluma o nube.

En la práctica S es igual a la distancia, a partir del centro de la pluma, en donde la concentración es igual a 0.6066 la concentración en el centro de la pluma.

La función gaussiana para las direcciones Y y Z puede emplearse entonces para reemplazar:

$$D_y = S_y (2\pi)^{1/2} \quad (2)$$

REFERENCIAS

- (1) Noll K.E., Miller T.L., "Air Monitoring Survey Design", Ann Arbor Science, Michigan, 1977.
- (2) O.I.E.A., "Dispersión Atmosférica en Relación con el Emplazamiento de Centrales Nucleares: Guía de Seguridad", STI/PUB/549, Viena, 1982.
- (3) Turner D.B., "Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates", Environmental Protection Agency, Office of Air Programs, Research Triangle Park, North Carolina, 1970.
- (4) Mery P., Deniau R., "Les Moyens d'Estimation de la Dispersion des Polluants à l'Aval des Cheminées Industrielles", E.D.F., Bulletin de la Direction des Etudes et Recherches, Série A-Nucleaire, Hydraulique, Thermique, No. 3., pp. 5-64, 1972.
- (5) Pasquill F., "Atmospheric Diffusion: The Dispersion of Windborne Material from Industrial and Other Sources", Ellis Horwood Lt., 2nd. Edition. New York, 1974.
- (6) Perkins H.C., "Air Pollution", McGraw Hill KogaLusha Ltd., Tokio, 1974.
- (7) Environmental Protection Agency, "Accidental Episode Manual", Office of Air Programs, Research Triangle Park, North Carolina, 1972.
- (8) S.E.D.U.E., "Guía Metodológica para la Evaluación del Riesgo Derivado del Uso Antagónico del Suelo", México 1985.
- (9) U.S. Nuclear Regulatory Commission, "Methods for Estimating Atmospheric Transport and Dispersion of Gaseous Effluents in Routine Releases from Light-Water Cooled Reactors", Regulatory Guide I.III., U.S.A., July 1977.
- (10) Ludwig F.L., Gasiorek L.S., Ruff R.E., "Simplification of a Gaussian Puff Model for Real-Time Minicomputer Use", Atmos. Environ., Vol. II, pp. 431-436, 1977.
- (11) Lees F., "Loss Prevention in the Process Industries", Vols. 1-2, Butterworths, London, 1985.

III.3 EJEMPLOS DE APLICACION

EJEMPLO 1 :

Se desea evaluar el impacto que producirá una fuga de 3 kg/s de ácido sulfhídrico (H₂S) debido a la ruptura de una línea de conducción situada a nivel de piso. Los puntos identificados como críticos a la exposición de H₂S se sitúan a 1 y 4 Km del punto de ruptura. El escenario meteorológico se considera del tipo de estabilidad neutra. La concentración máxima de exposición se ha fijado en 18 mg/m³.

SOLUCION :

a) Datos suministrados .

Al entrar al Modelo DFD ó con la Opción C) Cambiar

Nombre de Sustancia

Nombre de la sustancia : H₂S

Opción A) Correr el Modelo

Concentración 1 de interés : 18 mg/m³

Concentración 2 de interés : 0

Concentración 3 de interés : 0

Fuga o derrame: fuga

Altura de emisión : 0 m

Gasto de emisión : 3000 g/s

Estabilidad : conocida

tipo D neutra

velocidad del viento : 3 m/s

Angulo de Fluctuación = 30 G

Desea modificarlo : N

b) Resultados :

El modelo proporciona el área de exclusión con las siguientes características :

Distancia : 3.39 Km

- Y exc : 1.05 Km

II. MODELO DE DISPERSION DE UNA EMISION PUNTUAL CONTINUA DE GASES (DEPC)

Antes de entrar propiamente a la descripción de este modelo, a continuación se presentan algunos conceptos que son generales a los modelos de difusión gaussiana y se aplican tanto al modelo de emisión puntual continua como al de fugas y derrames y al de nube o puff

En los modelos de difusión gaussiana se tiene, que la concentración promedio de contaminante en la pluma o masa gaseosa, a una distancia x viento abajo del punto de emisión o del centro de la pluma, es inversamente proporcional a la cantidad de dispersión de la pluma en las direcciones lateral y vertical (D_y , D_z), y a la velocidad del viento de transporte (U) (ref. 1):

$$C_x = \frac{Q}{U D_z D_y} \quad (1)$$

Donde Q es el flujo o masa de contaminante emitido.

A partir de observaciones efectuadas se ha encontrado que la concentración dentro de la pluma no es uniforme, sino que se tiene un máximo hacia el centro, disminuyendo hacia los bordes. Los resultados teóricos y experimentales indican que el perfil de la concentración dentro de la pluma sigue aproximadamente una curva de distribución en forma de campana, también llamada distribución normal o gaussiana (fig 1), (refs. 1, 2)

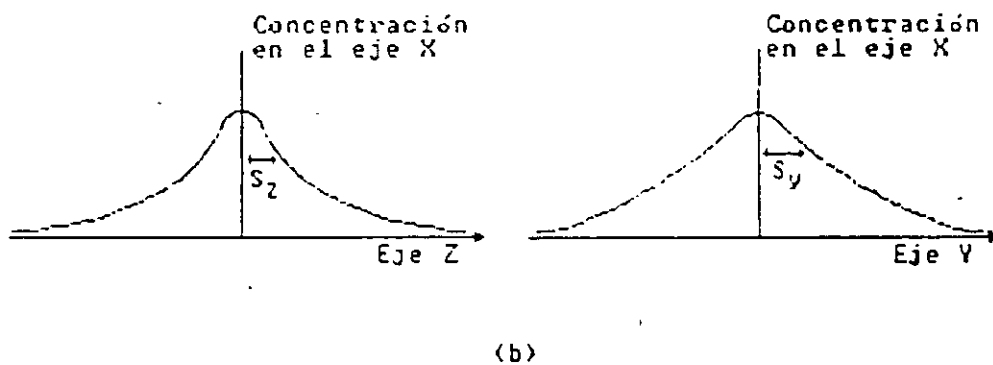
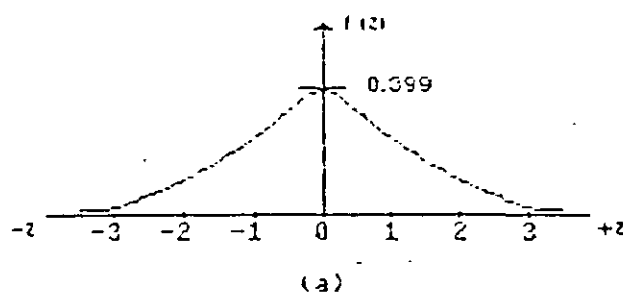
El pico de la curva (la media poblacional) corresponde a una concentración muy cerca del centro de la pluma y los puntos a ± 3 desviaciones estándar (S) de la media, representan aproximadamente los bordes de la pluma o nube.

En la práctica S es igual a la distancia, a partir del centro de la pluma, en donde la concentración es igual a 0.6066 la concentración en el centro de la pluma.

La función gaussiana para las direcciones Y y Z puede emplearse entonces para reemplazar

$$D_y = S_y^2 (2 \pi)^{-1/2} \quad (2)$$

Figura 1. Representación esquemática de (a) curva de distribución normal estándar y (b) coeficientes de dispersión S_x y S_z .



$$Dz = Sz (2 \text{ Pi})^{1/2} \quad (3)$$

Pi = 3.1416

Sy y Sz son conocidos como los coeficientes gaussianos de dispersión lateral y vertical respectivamente.

II.1 MODELO MATEMATICO

El desarrollo del modelo matemático para la dispersión de una emisión puntual continua, como es el caso de una chimenea, se basa en el esquema de la fig. 2.

De acuerdo con este esquema la concentración de un contaminante gaseoso en una posición x,y,z, proveniente de un emisor puntual continuo, está representada por la ecuación (refs. 2, 3)

$$C(x,y,z; \text{He}) = \frac{Q}{2\text{PiSySzU}} \exp\left(-\frac{1}{2} \left(\frac{y}{\text{Sy}}\right)^2\right) \left(\exp\left(-\frac{1}{2} \left(\frac{z-\text{He}}{\text{Sz}}\right)^2\right) + \exp\left(-\frac{1}{2} \left(\frac{z+\text{He}}{\text{Sz}}\right)^2\right) \right) \quad (4)$$

Donde:

C(x,y,z;He) = Concentración en la posición x,y,z, (g/m³)

Q = Emisión de contaminante, (g/s)

U = Velocidad promedio del viento, (m/s)

Pi = 3.1416

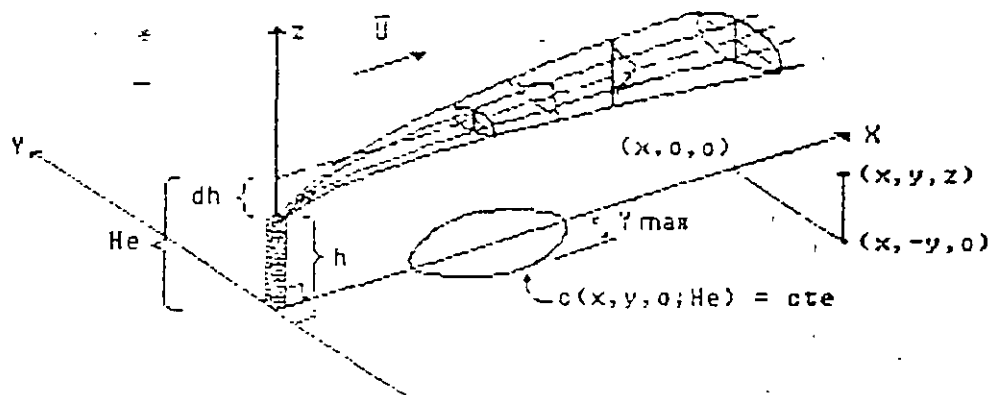
He = Altura efectiva de emisión, (m)

Sy = Coeficiente de dispersión en la dirección lateral y, (m)

Sz = Coeficiente de dispersión en la dirección vertical z, (m)

Esta ecuación representa la forma más general del modelo, que para ciertos casos puede ser simplificada:

Figura 2. Esquema conceptual del modelo gaussiano de emisión puntual continua.



Caso 1:

Si se desea estimar la concentración a nivel de piso, entonces $z = 0$ y :

$$C(x,y,0; He) = \frac{(Q/PiSySzU) \exp((-1/2) (y/Sy)^2)}{\exp((-1/2) (He/Sz)^2)} \quad (5)$$

Caso 2:

Si se quiere estimar la concentración a lo largo del centro de la pluma y a nivel de piso, entonces $y = 0$, $z = 0$ y.

$$C(x,0,0; He) = (Q/PiSySzU) \exp((-1/2) (He/Sz)^2) \quad (6)$$

Caso 3:

Si la emisión de contaminante se produce a nivel de piso y se desea estimar la concentración a lo largo del centro de la pluma y a nivel de piso, entonces $y = 0$, $z = 0$, $He = 0$ y:

$$C(x,0,0;0) = Q/PiSySzU \quad (7)$$

En algunas ocasiones es interesante determinar cuál es la concentración máxima alcanzada en el centro de la pluma de un emisor elevado ($He > 0$), y a nivel de piso ($C(x,0,0,He)_{max}$), y a qué distancia se presenta (X_{max}). Esto ocurre cuando (ref. 2) :

$$X = X_{max} \text{ para } Sz = He (2)^{-0.5} \quad (8)$$

y

$$C(x,0,0,He)_{max} = 2 Q Sz / 2.718 Pi U He^2 Sy \quad (9)$$

La altura efectiva de emisión H_e es igual a la suma de la altura de la chimenea h mas el termino de elevación de la pluma dh , debida a la velocidad y temperatura de los gases a la salida de la chimenea. La elevación de la pluma puede ser calculada empleando la ecuación empírica de Holland (refs. 2, 3):

$$dh = (V_s D / U) (1.5 + 2.72 P ((T_s - T_a) / T_s) D) \quad (10)$$

Donde.

dh = Elevación de la pluma, (m)

V_s = Velocidad de emisión del gas, (m/s)

D = Diámetro interno de la chimenea, (m)

U = Velocidad del viento, (m/s)

P = Presión atmosférica, (atm)

T_s = Temperatura del gas, (°K)

T_a = Temperatura del aire, (°K)

Debido a que la elevación de la pluma se produce a una cierta distancia de la base de la chimenea, se recomienda no aplicar esta ecuación en el cálculo de concentraciones en los primeros metros a partir de la base de la chimenea. Existen otras ecuaciones para el cálculo de la elevación de la pluma, sin embargo se seleccionó la de Holland debido a que los parametros que involucra son fáciles de obtener o estimar. El empleo de la ecuación de Holland da resultados conservadores de las concentraciones calculadas, ya que en algunos casos subestima la elevación de la pluma (ref. 3). Se sugiere que para condiciones atmosféricas inestables se multiplique el valor de dh por 1.1-1.2 obtenido con la ecuación (10), y para condiciones estables por 0.8-0.9 (ref. 3).

Para el calculo de los coeficientes de dispersión S_y y S_z se requiere considerar el tipo de estabilidad atmosférica prevaleciente. En el modelo se emplea la clasificación de estabilidad de Pasquill (refs. 3, 4):

Clase	Estabilidad
A	Muy inestable
B	Inestable
C	Ligeramente inestable
D	Neutra
E	Estable
F	Muy estable

La clase se determina a partir de la tabla siguiente, la cual considera varias combinaciones entre la velocidad del viento y la radiación solar durante el día, y la nubosidad durante la noche:

Velocidad del viento (a 10 m) (m/s)	Día			Noche	
	Radiación Solar Incidente *			Nubosidad entre 4/8 y 7/8	Nubosidad < 3/8
	Fuerte	Moderada	Ligera		
< 2	A	A - B	B	F	F
2 - 3	A - B	B	C	E	F
3 - 5	B	B - C	C	D	E
5 - 6	C	C - D	D	D	D
> 6	C	D	D	D	D

* NOTA Radiación solar fuerte significa : $\geq 600 \text{ W/m}^2$

Radiación solar moderada significa entre 300 y 600 W/m^2

Radiación solar ligera significa: $< 300 \text{ W/m}^2$

Los valores de S_y o S_z se obtienen utilizando la ecuación:

$$S_y \text{ o } S_z = a x^n - c \quad (11)$$

Donde los coeficientes correspondientes, en función del tipo de estabilidad, son (ref. 4):

Clase	x < 1 Km			x > 1 Km		
	a	b	c	a	b	c
A Sy Sz	215 .467	.858 1.89	0 .01	mismos coeficientes que, para x < 1 Km		
B Sy Sz	.155 .103	.889 1.11	0 0			
C Sy Sz	.105 .066	.903 .915	0 0			
D Sy Sz	.068 .0315	.908 .822	0 0			
E Sy Sz	.050 .0232	.914 .745	0 0	.050 .148	.914 .150	0 .126
F Sy Sz	.034 0144	.908 .727	0 0	.034 .0312	.908 .306	0 .017

Para los casos de estabilidad intermedia (A-B, B-C, C-D) se obtienen por separado Sz y Sy para ambos tipos de estabilidad y se calcula su promedio.

Los coeficientes de dispersión estimados con el procedimiento anterior se aplican para sitios planos sin obstáculos físicos importantes y probablemente subestiman el potencial de dispersión de la pluma de emisoras a baja altura en áreas construidas.

Lo anterior es debido a que en la atmósfera existen variaciones espaciales de la turbulencia debido a los efectos de la estratificación del viento en función de la altura y a la rugosidad de la superficie terrestre: en general, la intensidad de la turbulencia es mayor cerca de la superficie terrestre que a alturas elevadas (algunos cientos de metros de altitud), y es generalmente más elevada sobre un terreno rugoso (colinas, edificios, etc.) que sobre un terreno suave (pradera o desierto) (refs. 2, 3, 4).

Es también importante mencionar que los coeficientes calculados con la técnica de Pasquill son representativos para periodos de monitoreo de cerca de 10 minutos. En la realidad y debido a las variaciones del viento, las concentraciones medidas viento abajo de un emisor disminuyen a medida que se incrementa el tiempo de muestreo. Para estimar las concentraciones con tiempos de muestreo superiores a unos cuantos minutos se puede emplear la relación (ref 3):

$$C_t = C_c (T_c/T_t)^P \quad (12)$$

Donde:

C_t = Concentración en base al tiempo de muestreo superior a unos cuantos minutos (T_t)

T_t = Tiempo de muestreo superior a unos cuantos minutos

C_c = Concentración conocida y calculada en base a un periodo de muestreo corto (T_c)

T_c = Tiempo de muestreo corto (generalmente 10 minutos)

P = Constante, con valores entre 0.17 y 0.2

En el caso de tener la presencia de una capa de inversión térmica, la pluma quedará "atrapada" entre esta y la superficie del suelo, a partir de una cierta distancia (X_L).

Cuando se presenta esta situación es necesario incluir un término adicional en la ecuación 4, con el fin de tomar en cuenta las reflexiones del contaminante tanto sobre el piso como bajo la capa de inversión (se asume que el contaminante no atraviesa la base de la capa de inversión) (refs. 3, 5, 6).

El modelo tiene incorporado un algoritmo de cálculo para involucrar la presencia de una capa de inversión cuya altura de su base está a L metros sobre el nivel del piso. El procedimiento de cálculo es el siguiente:

a) Cálculo de la concentración con la ecuación 4 hasta una distancia $x = X_L$ tal que X_L corresponda a una $S_z = 0.47 L$

b) Entre $x = X_L$ y $x = 2X_L$ se efectúa el cálculo con:

El programa calcula primeramente las distancias en las cuales la curva de isoconcentración corta al eje X, y en seguida determina los valores de la distancia lateral Y en función de incrementos de la distancia X. Puesto que la forma de la curva se aproxima a una elipse, el área se puede estimar por $(3.1416 AB)$, donde A es el semieje mayor y, B el semieje menor.

El modelo implica las siguientes suposiciones:

- La pluma posee una distribución gaussiana de la concentración de contaminante en las direcciones vertical y lateral, con desviaciones estándar de S_y y S_z .
- La velocidad media del viento es U y se considera constante durante el tiempo de aplicación del modelo.
- La fuente emite con un gasto constante Q.
- No existe depósito de contaminante hacia el suelo, ni reacciona con el mismo.
- La difusión de contaminante en la dirección x es insignificante, lo cual es adecuado si la emisión es continua o si la duración de la emisión es igual o mayor al tiempo de desplazamiento de la pluma (x/U).
- La densidad del gas en la pluma tiene un valor cercano a la densidad del aire.

El modelo es aplicable en zonas con topografía plana sin obstáculos físicos importantes.

IV. MODELO DE DISPERSION DE UN GAS LIBERADO EN FORMA MASIVA E INSTANTANEA (DFMI)

IV.1 MODELO MATEMATICO

El modelo está desarrollado en base a las ecuaciones de dispersión gaussiana de una nube ó "puff" tridimensional, formada por la masa de una substancia gaseosa que es liberada a la atmósfera en unos cuantos segundos, tal como sería la liberación de una nube de gas tóxico provocada por una explosión o ruptura de un almacenamiento.

La fig. 4 muestra la representación esquemática del modelo, el cual ha sido diseñado para proveer de una estimación de la zona afectada por el puff durante su desplazamiento, así como de un seguimiento de la concentración en función del tiempo de arrastre.

Una característica básica del modelo es que se asume que la dispersión de la nube a lo largo de la dirección del viento (x), es igual a la dispersión en la dirección lateral (y). Por lo tanto, se considera que el viento interviene únicamente como un vector de movimiento del puff, condicionando su posición viento abajo del punto de emisión, no existiendo dilución debida al viento. Así mismo, el modelo involucra solamente concentraciones a nivel del piso i.e. : z = 0.

La ecuación de la dispersión gaussiana tridimensional que constituye al modelo es (refs. 3, 5, 9, 10):

$$C(x,y,0;He) = \frac{2Q}{(2\pi)^{3/2} Sp^2 Sz} \exp\left\{-\frac{1}{2} \left[\frac{(x-Ut)^2 + y^2}{Sp^2} + \frac{He^2}{Sz^2} \right]\right\} \quad (27)$$

Donde:

$C(x,y,0;He)$ = Concentración a nivel de piso en la posición (x,y) a partir del centro de la nube, ($g \cdot m^{-3}$)

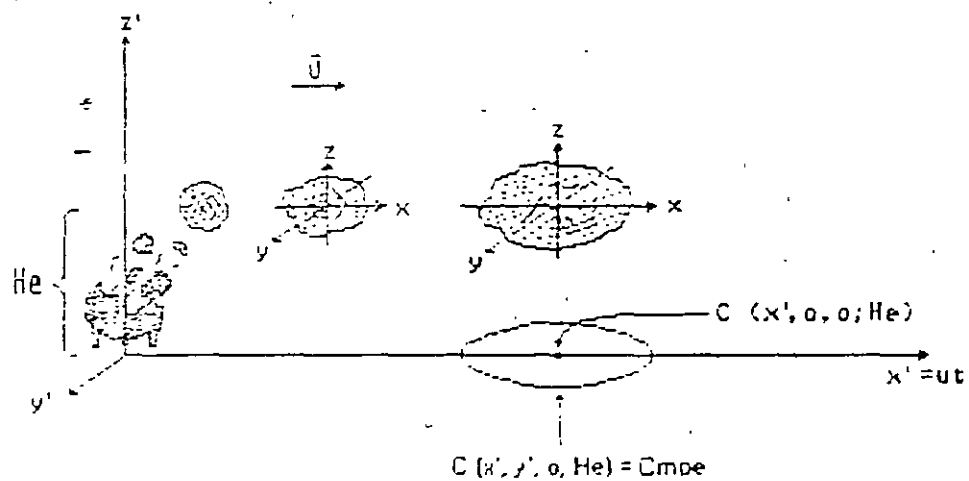
Q = Emisión total de gas, (g)

He = Altura de emisión de la nube, (m)

Sp = Sy = Sx = Coeficientes de dispersión de la nube en las direcciones x e y, (m)

Sz = Coeficiente de dispersión de la nube en la dirección z, (m)

Figura 4. Esempio concettuale del modello gaussiano pulito.



$$P_i = 3.1416$$

t = Tiempo de desplazamiento o recorrido de la nube, (s)

U = Velocidad promedio del viento, (m/s)

x = Distancia a partir del centro de la nube en la dirección del viento x, (m)

y = Distancia a partir del centro de la nube en la dirección lateral y, (m)

z = Distancia a partir del centro de la nube en la dirección vertical z, (m)

Los coeficientes de dispersión S_y y S_z , los cuales definen el tamaño de la nube, son función de la distancia recorrida por el mismo (Ut) y de las condiciones de estabilidad atmosférica prevaletientes. En el modelo se asume que la estabilidad, así como el viento, permanecen constantes durante todo el recorrido del puff; los coeficientes S_y y S_z se determinan de acuerdo con el procedimiento de Pasquill (ref. 3), ya descrito en el modelo puntual continuo y seleccionándolos de tal forma que la concentración estimada resultante sea representativa de la concentración que se tendría desde una fuente emisora puntual continua (ref. 10). El tamaño inicial de la nube se estima considerando una distancia ficticia x_i en la cual $S_{y0} = S_{z0} = \text{radio recipiente}/2.15$ (ref. 3).

Los resultados suministrados por el modelo son la distancia recorrida por el puff, el tiempo recorrido, y la concentración en el centro del mismo a nivel de piso, así como una gráfica de concentración-distancia en el centro del puff. Los cálculos se interrumpen cuando se alcanza una distancia de interés o una concentración determinada por el usuario (que puede ser una concentración máxima permisible de exposición (C_{mpe})). Igualmente se determinan las curvas de isoconcentración, correspondientes a la concentración de interés suministrada por el usuario, en varios puntos del recorrido del puff, con ayuda de la ecuación:

$$y = (2 \ln (C(0,0,0;He) / C(x,y,0;He))^{1/2}) S_y \quad (28)$$

Donde

$C(0,0,0;He)$ = Concentración del gas en el centro del puff, a nivel del piso y a una distancia Ut del punto de emisión (g/m^3)

$C(x,y,0;He) = C_{mpe}$ = Concentración correspondiente a la curva de isoconcentración deseada (g/m^3)

Debido a las suposiciones efectuadas, en particular que

$$S_x = S_y$$

se tiene que la curva de isoconcentración estara representada por un círculo. Cabe recalcar que en cualquier punto situado dentro del círculo se tendra que la concentración en el punto es superior a la concentración máxima de exposición (C_{mpe}) suministrada por el usuario.

Al igual que en el modelo de fugas y derrames, es necesario mencionar que las características de la ecuación gaussiana empleada en el modelo puff condicionan su aplicación considerando las suposiciones y restricciones señaladas en el modelo puntual continuo, además de las siguientes:

- . El gas es emitido masiva e instantáneamente
- . La dispersión horizontal es igual a la lateral ($S_x = S_y$)
- . El viento no provoca una dilución de la nube en la dirección x

EJEMPLO DEL MODELO PUNTUAL CONTINUO

Una industria emite 5.78 g/s de ácido sulfhídrico en forma continua. La emisión se hace a partir de una chimenea de 68 m con un diámetro interno de 2.44 m. Los gases salen a una velocidad de 13.7 m/s y a 121°C de temperatura. El aire ambiente se encuentra a 20°C y la presión atmosférica es de 0.92 atmósferas. Se desea determinar la curva de isoconcentración correspondiente a $2.9 \times 10^{-5} \text{ g/m}^3$ y la concentración a 1700 metros viento abajo de la fuente emisora. El viento se asume sopla a 2 m/s durante la mañana, y - capa de inversión térmica a 1,500 mts.

EJECUCION DEL PAQUETE SCR1

MODELOS	ATMOSFERICOS	PARA	SIMULACION
DE	CONTAMINACION	Y	EN
S	C	R	I
MODELO DE DISPERSION DE UNA EMISION PUNTUAL CONTINUA DE GASES			

D A T O S

Nombre del Contaminante : Acido Sulfidrico
 Gasto del Contaminante Q = 5.78 g/s
 Altura Efectiva Emisión He = 119.23 m

Altura Fisica de la Chimenea h = 68.00 m
 Velocidad de Emisión del Gas Vg = 13.70 m/s
 Diámetro interno Di = 2.44 m
 Presión Atmosférica Pa = 0.92 Atm
 Temperatura del Gas Tg = 121.00 °C
 Temperatura Ambiente Ta = 20.00 °C

Velocidad del Viento U = 2.00 m/s
 Clase de Estabilidad C Ligeramente Inestable.
 Altura Capa Inversión L = 1500.00 m

R E S U L T A D O S

ConcMax = 0.030 mg/m³ en X = 1.307 km

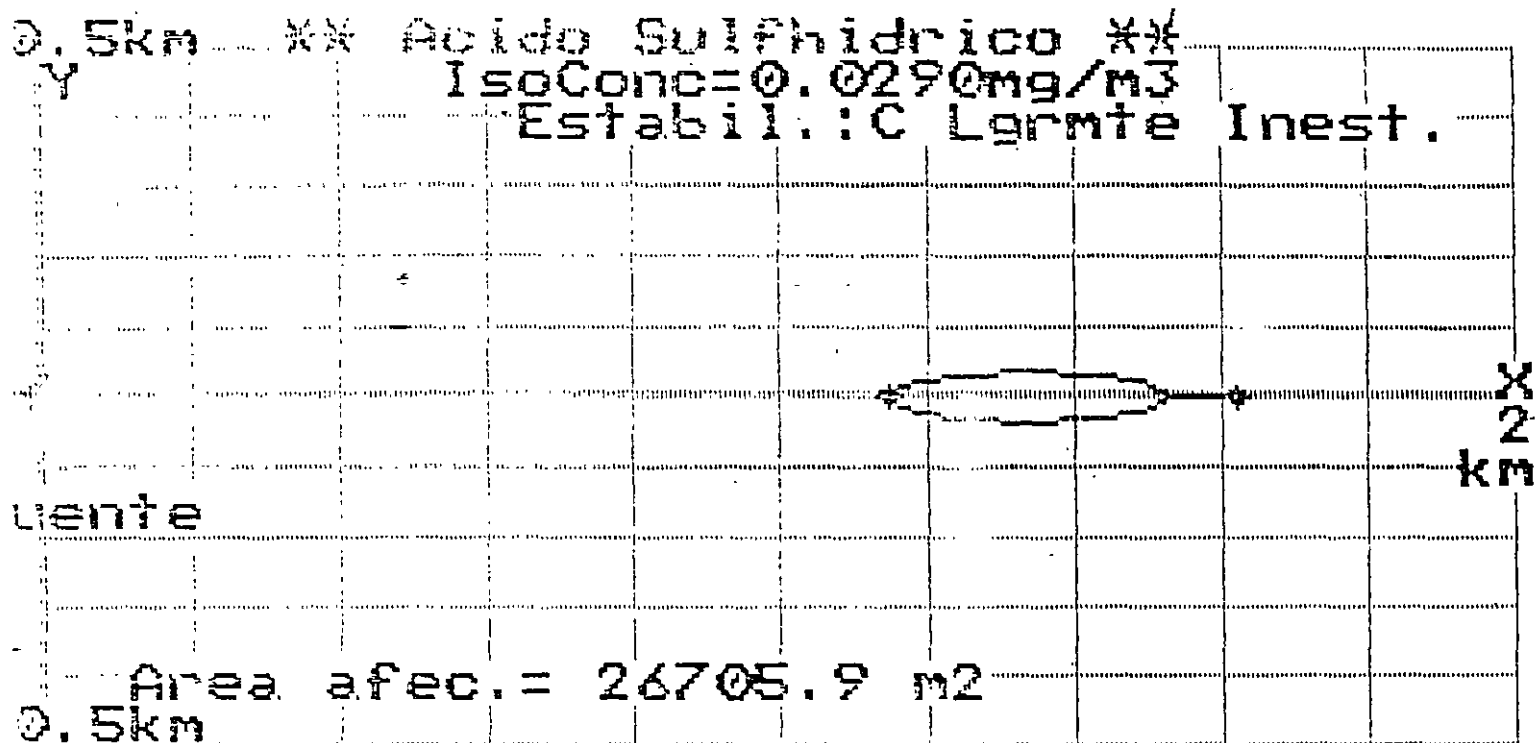
X= 1.700 km	Y= 0.000 km	Z= 0.000 km	Conc= 0.0273 mg/m ³
X= 1.700 km	Y= 0.050 km	Z= 0.000 km	Conc= 0.0261 mg/m ³
X= 1.700 km	Y= 0.100 km	Z= 0.000 km	Conc= 0.0229 mg/m ³
X= 1.700 km	Y= 0.200 km	Z= 0.000 km	Conc= 0.0136 mg/m ³

Isoconcentración 1 = 0.0290 mg/m³

Y Máxima = 35.61 m

Area afectada 1 = 0.03 km²

Dist.X (km)	Conc. (µg/m ³) en (X, 0, 0)	Dist.Y (m)	Sy (m)	Sz (m)
1.145	29.038	6	118.66	74.71
1.177	29.409	20	121.69	76.64
1.210	29.684	26	124.71	78.57
1.242	29.872	31	127.73	80.50
1.275	29.982	33	130.74	82.42
1.307	30.023	35	133.74	84.34
1.340	30.001	35	136.73	86.27
1.372	29.924	34	139.72	88.20
1.405	29.799	33	142.70	90.13
1.437	29.631	30	145.68	91.97
1.469	29.426	25	148.64	93.87
1.502	29.188	17	151.60	95.76
1.534	28.923	0	154.56	97.65



CURVA DE ISODONCENTRACION

== 120.00 g/s
 == 120.00 g/s
 == 119.2 g/s

Ymax= 35.6 m
 L = 1500.0 m

ConcMax= 0.030 mg/m3 en X= 1.307 km
 xst. = 0.45 km Dist.Fin= 1.62 km

EJEMPLO DEL MODELO DE FUGAS Y DERRAMES

Una fuga de amoníaco anhidro (NH_3) se produce por la ruptura de un carro tanque de ferrocarril, con un gasto de 1 kg/s y situada a 1.5 m del nivel del piso.

A 2500 metros del lugar del accidente se tiene un asentamiento rural, extendiéndose éste hasta una distancia de 10 Km. Se desea estimar si la población será expuesta a niveles de concentración mayores a 27 mg/m^3 de NH_3 , considerando que el accidente se produce durante una noche despejada con un viento de 2 m/s.

EJECUCION DEL PAQUETE SCRI

El asentamiento rural se verá afectado en un sector cuya distancia será de $5.65 - 2.5 = 3.15$ Km. Se recomienda efectuar la evacuación de toda la población. El tiempo aproximado que tardará la nube en alcanzar el asentamiento es de :

$$2500 \text{ m} / (2 \text{ m/s}) = 1250 \text{ s} = 20.8 \text{ minutos.}$$

MODELOS DE CONTAMINACION S	ATMOSFERICOS Y C	PARA RIESGOS R	SIMULACION EN INDUSTRIAS I
MODELO DE DISPERSION FUGA DE GAS O VAPOR DE UN DERRAME			

D A T O S

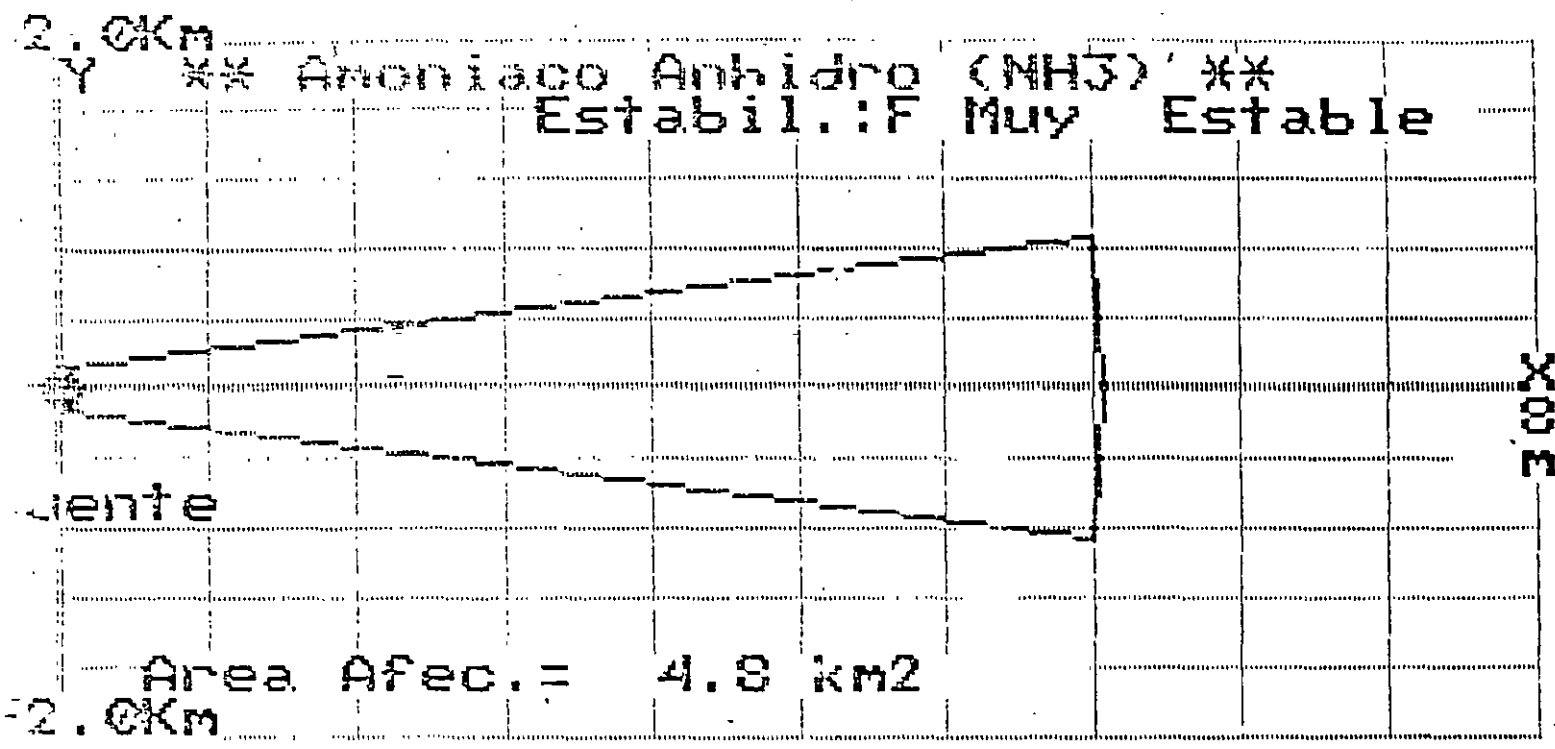
Nombre de la Sustancia : ** Amoniaco Anhidro (NH₃) **
 Gasto de Emision : Q = 1000.000 g/s
 Altura de Emision : He = 1.500 m
 Velocidad del Viento : U = 2.000 m/s
 Clase de Estabilidad : F Muy Estable.
 Angulo de Fluctuacion : Teta = 15.0

R E S U L T A D O S

Area de Exclusion = 4.818 km² para Concentracion 1 = 27.000 mg/m³

Yexc (max) 1 = 558.39 m en X = 5.597 km

Dist. X (km)	Conc. (X, 0, 0) (mg/m ³)	Yexc. (m)	Sy (m)	Sz (m)
0.205	3312.313	153.03	9.11	5.03
0.470	1097.526	181.00	17.14	8.32
0.708	569.703	214.97	24.77	11.18
0.941	357.035	245.93	32.17	13.78
1.175	254.741	270.90	39.39	15.79
1.411	193.081	307.88	46.19	17.67
1.646	150.422	330.83	53.47	19.34
1.882	120.001	369.70	60.95	20.86
2.117	100.251	400.76	67.18	22.25
2.352	91.303	431.73	73.92	23.53
2.587	79.689	462.69	80.60	24.73
2.822	70.459	493.60	87.23	25.86
3.058	62.921	524.32	93.30	25.92
3.292	56.713	555.09	100.33	27.93
3.520	51.507	586.88	106.82	28.89
3.752	47.087	617.52	113.27	29.60
3.999	43.283	648.19	119.68	30.68
4.234	40.011	679.45	126.05	31.52
4.469	37.142	710.42	132.39	32.33
4.704	34.613	741.03	138.71	33.11
4.939	32.383	772.35	144.99	33.86
5.175	30.390	803.31	151.24	34.59
5.410	28.605	834.37	157.47	35.30
5.645	25.397	0.00	163.68	35.99
5.880	25.513	0.00	169.86	36.65



MODELO FUGA DE GAS O VAPOR DE DERRAME

Q=1000.0 g/s
 H=1.5 m
 U=2.0 m/s

Conc1= 27.000 mg/m3
 Teta= 15.0 G
 Yexc=858.9 m

Distancia=5.645 Km

EJEMPLO DEL MODELO DE FUGA MASIVA E INSTANTANEA (PUFF)

Se produce una liberación masiva e instantánea de 1 tonelada de cloro gas (Cl_2) a 2 metros del nivel del piso, debido a la ruptura de un almacenamiento de aproximadamente 3 m de diámetro. El accidente se produce durante una noche nublada con viento de 2 m/s. Viento abajo del lugar del accidente se encuentran 2 centros de habitación situados a 5 km y 1 km. Se desea evaluar si los pobladores de los centros estarán expuestos a concentraciones superiores a 72.5 mg/m^3 .

EJECUCION DEL PAQUETE SCRI

A 5 km de distancia la concentración es inferior a 72.5 mg/m^3 .

El centro situado a 1 km se verá afectado por concentraciones del orden de 2000 mg/m^3 y la nube tardará en alcanzarlo aproximadamente $1000 \text{ m} / (2 \text{ m/s}) = 500 \text{ s} = 8'20''$.

MODELOS ATMOSFERICOS PARA SIMULACION

DE CONTAMINACION Y RIESGOS EN INDUSTRIAS
S C R I

MODELO DE DISPERSION DE GAS LIBERADO EN FORMA MASIVA E INSTANTANEA

D A T O S

Nombre de la Sustancia : ** Cloro Gas (Cl₂) **
 Masa Emit.da Q = 1000.000 kg
 Altura de Emision H = 2.00 m
 Radio-del Recipiente R = 1.50 m
 Velocidad del Viento U = 2.00 m/s
 Clase de Estabilidad : E Estable

Concentración de Interes = 72.5000 mg/m³

Distancia de Interes = 3.000 Km

R E S U L T A D O S

Para Distancia X = 3.000 Km
 Concentración = 139.3914 mg/m³ Tiempo = 0:24'60''

Para Concentración = 72.5000 mg/m³
 Distancia = 3.97 km Tiempo = 0:33' 5''

Concentraciones en el Centro de la Nube o Puff a Nivel de Piso :

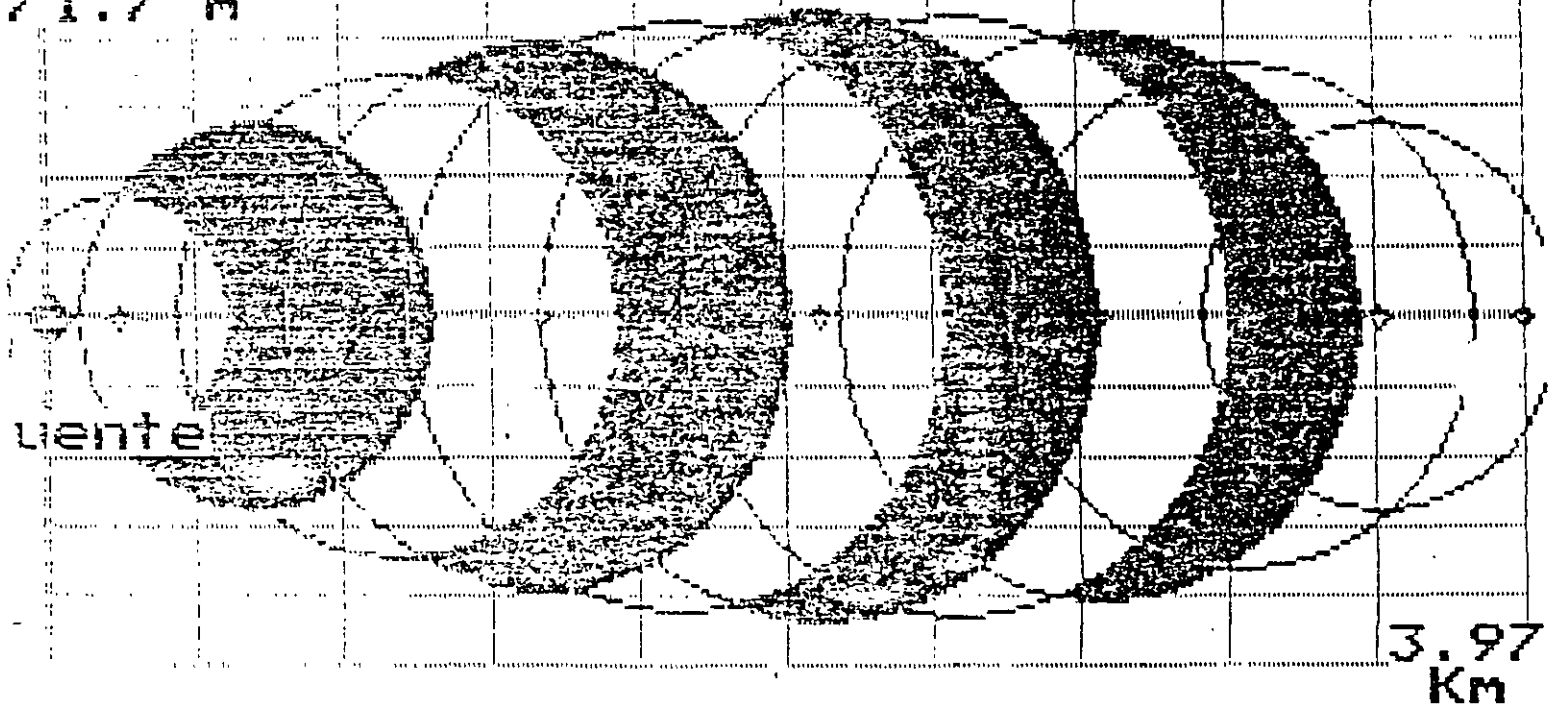
Radio Máximo de Isoconcentración = 171.7 m

Dist. X (km)	Conc. (mg/m ³)	Radio Isoc. (m)	Tiempo	Sy = Sx (m)	Sz (m)
0.088	775670.02	25	0: 0'44''	5.44	3.80
0.176	155057.89	42	0: 1'28''	10.24	6.37
0.265	59693.04	56	0: 2'12''	14.84	8.62
0.353	29357.56	68	0: 2'56''	19.30	10.68
0.441	16831.81	79	0: 3'41''	23.67	12.61
0.529	10652.97	89	0: 4'25''	27.96	14.45
0.618	7224.11	99	0: 5' 9''	32.19	16.20
0.706	5154.80	107	0: 5'53''	36.37	17.90
0.794	3824.97	115	0: 6'37''	40.50	19.54
0.882	2927.55	122	0: 7'21''	44.60	21.14
0.971	2297.77	129	0: 8' 5''	48.66	22.69
1.059	1911.38	135	0: 8'49''	52.69	23.28
1.147	1536.80	141	0: 9'34''	56.69	25.08
1.235	1260.30	145	0:10'18''	60.66	26.77
1.324	1050.69	150	0:11' 2''	64.61	28.1
1.412	888.23	154	0:11'46''	68.53	29.6
1.500	759.90	157	0:12'30''	72.44	31.28
1.588	656.89	161	0:13'14''	76.32	32.64
1.677	573.01	163	0:13'58''	80.19	33.93

Dist. X (km)	Conc. (mg/m ³)	Radio Isoc. (m)	Tiempo	Sy = Sx (m)	Sz (m)
1.765	503.85	166	0:14'42''	84.04	35.16
1.853	446.21	168	0:15'27''	87.87	36.35
1.941	397.70	169	0:16'11''	91.69	37.49
2.030	356.50	171	0:16'55''	95.49	38.58
2.118	321.23	171	0:17'39''	99.28	39.63
2.206	290.83	172	0:18'23''	103.05	40.65
2.294	264.44	172	0:19' 7''	106.81	41.63
2.383	241.41	172	0:19'51''	110.56	42.59
2.471	221.19	171	0:20'35''	114.30	43.51
2.559	203.34	170	0:21'20''	118.02	44.40
2.647	187.52	163	0:22' 4''	121.74	45.27
2.736	173.43	166	0:22'48''	125.44	46.12
2.824	160.84	163	0:23'32''	129.13	46.94
2.912	149.54	160	0:24'16''	132.82	47.74
3.000	139.36	156	0:25' 0''	136.49	48.52
3.089	130.16	152	0:25'44''	140.15	49.28
3.177	121.82	146	0:26'28''	143.81	50.02
3.265	114.24	140	0:27'13''	147.46	50.74
3.353	107.33	134	0:27'57''	151.10	51.45
3.442	101.01	126	0:28'41''	154.73	52.15
3.530	95.22	117	0:29'25''	158.35	52.82
3.618	89.91	106	0:30' 9''	161.96	53.49
3.706	85.01	93	0:30'53''	165.57	54.14
3.795	80.50	77	0:31'37''	169.17	54.77
3.883	76.33	55	0:32'21''	172.76	55.40
3.971	72.47	0	0:33' 5''	176.35	56.01
4.059	68.68	0	0:33'50''	179.92	56.61

**** Cloro Gas (Cl2) ****

71.7 m



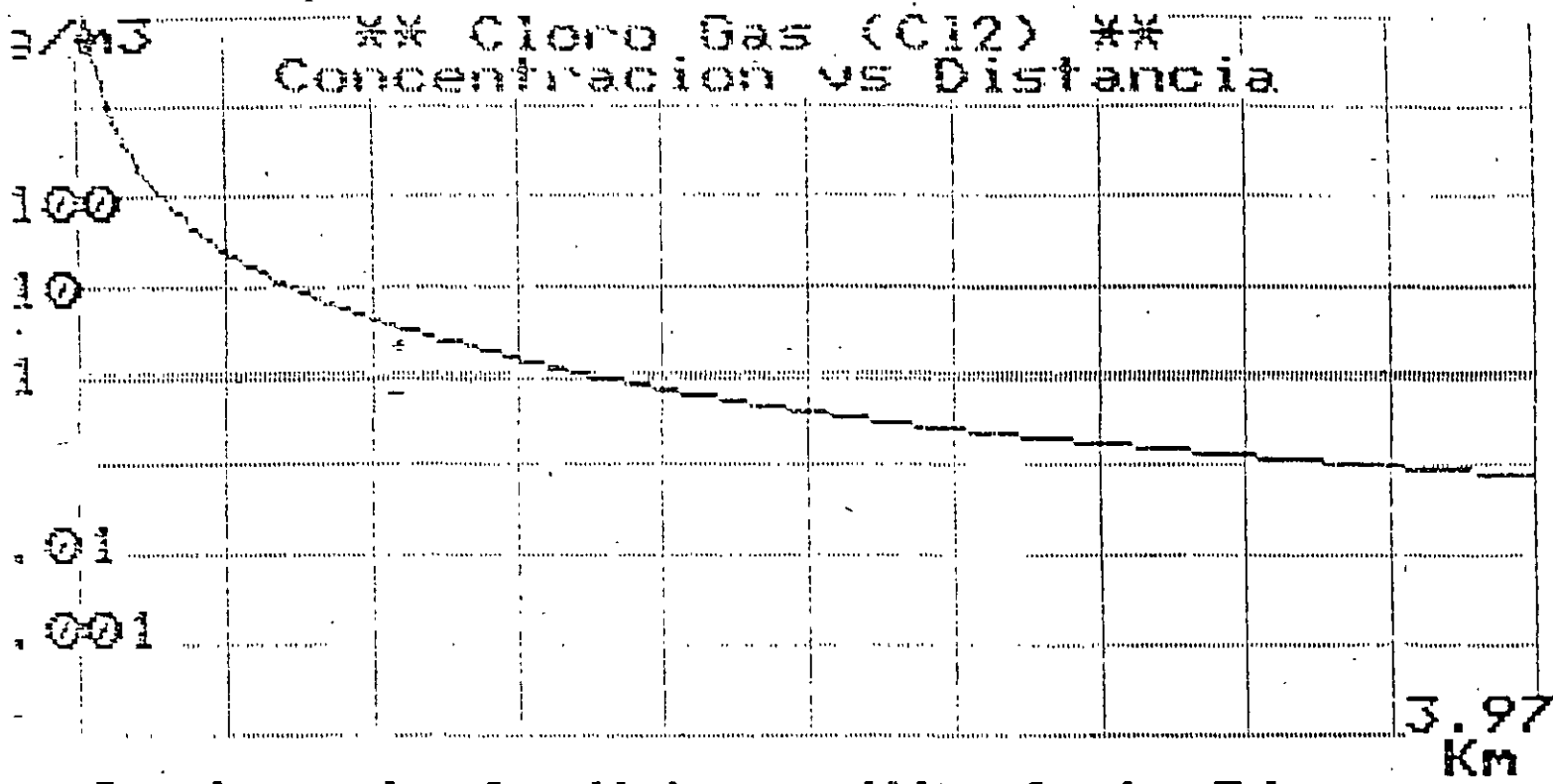
Modelo Nube o Puff

Para X_{int} = 1.000 Km

Conc = 2240.371 mg/m³ Tiempo = 0:8'20''

Para Concentracion = 72.500 mg/m³

Dist = 3.97 Km Tiempo = 0:33' 5''



Centro de la Nube a Nivel de Piso

$Q = 1000.0 \text{ Kg}$
 $H = 2.0 \text{ m/s}$
 $H = 2.0 \text{ m}$

Radio $R = 1.5 \text{ m}$
 Estab. = E Estable

EJEMPLO DEL MODELO DE NUBES EXPLOSIVAS

Se tiene un cilindro de almacenamiento de n-Butano, conteniendo 1000 ft³ del gas (referidos a 0°C y 1 atm) a una presión de 600 psi. Se desea evaluar el radio de afectación que produciría el almacenamiento en caso de explosión, asumiendo que la máxima sobrepresión admisible sea de 3 psi. Se considera que la nube de gas alcanza una altura de 8 ft. El n-Butano presentará las siguientes características:

- Peso molecular : 58
- Temperatura de ebullición : -0.6°C
- Calor de combustión : 19665 Btu/lb
- Límite superior de explosividad : 8.5 %
- Límite inferior de explosividad : 1.9 %

EJECUCION DEL PAQUETE SORI

MODELOS	ATMOSFERICOS	PARA	SIMULACION
DE	CONTAMINACION	RIESGOS	EN INDUSTRIAS
S	C	R	I
MODELO	DE EVALUACION	DE DAÑOS	PROVOCADOS POR NUBES EXPLOSIVAS

Sustancia : GAS a 500 psi o mas.

D A T O S

Nombre de la Sustancia : n-Butano

M) Peso Molecular = 58.000 (lb/lb-mol)
 Vg) Volumen del Gas a TPN = 1000.000 (ft³)
 ΔHc) Calor de Combustión = 19665.000 (Btu/lb)
 LIE) Limite Inf. Explosividad = 1.800 (%)
 LSE) Limite Sup. Explosividad = 8.400 (%)
 h) Altura de la Nube = 8.000 (ft)

R E S U L T A D O S

wg) Peso del Gas en la Nube = 161.646 lb
 F) Fracción de Material en la Nube = 0.051 %
 D) Diámetro de la Nube = 51.872 ft
 Ed) Energia Desprendida [DMP] = 0.015894 Ton. de TNT
 Ed) Energia Desprendida [DMC] = 0.079469 Ton. de TNT

Diámetros de Ondas Expansivas

Para	[DMP]	[DMC]
[0.5 psi]	324.591 ft	555.042 ft
[1.0 psi]	201.141 ft	343.945 ft
[2.0 psi]	121.941 ft	208.517 ft
[3.0 psi]	100.570 ft	171.973 ft
[5.0 psi]	73.416 ft	125.540 ft
[7.0 psi]	60.342 ft	103.184 ft
[10.0 psi]	50.235 ft	85.986 ft
[20.0 psi]	40.480 ft	69.219 ft
[30.0 psi]	30.171 ft	51.592 ft

CAPITULO VIII
ESTRUCTURA DEL SUELO
Y MODELOS MATEMATICOS
PARA EL ESTUDIO DE
CONTAMINACION DEL SUELO

DEFINICION

EL TERMINO ESTRUCTURA DEL SUELO SE HA USADO PARA REFERIRSE A UNA GRAN DEIVERSIDAD DE IDEAS, QUE, ALGUNAS VECES SE DEFINEN CON VAGEDAD. DESDE EL PUNTO DE VISTA MORFOLOGICO EL TERMINO ESTRUCTURA DEL SUELO SEA DEFINIDO COMO LA DISPOSICION DE LAS PARTICULAS ELEMENTALES (ARENA, LIMO Y ARCILLA) QUE FORMAN PARTICULAS COMPUESTAS SEPARADAS DE LAS CONTIGUAS Y QUE TIENEN PROPIEDADES DIFERENTES DE LAS DE UNA MASA IGUAL DE PARTICULAS ELEMENTALES SIN AGREGACION.

* CARACTERISTICAS DE LA ESTRUCTURA DEL SUELO EN RELACION CON EL AIRE Y AGUA DEL SUELO.

LA ESTRUCTURA DEL SUELO AFECTA EL CRECIMIENTO DE LAS PLANTAS DEBIDO A LA INFLUENCIA EN EL AIRE Y AGUA DE SUELO; ASIMISMO, PERTURBA EL MOVIMIENTO MECANICO DE RAICES Y BROTES, Y LAS RELACIONES DE TEMPERATURA EN EL SUELO.

AIRE EN EL SUELO

CUANDO LA CONCENTRACION DE CO₂ SE TORNA MUY ALTA Y LA DE OXIGENO MUY BAJA, EL CRECIMIENTO DE LAS PLANTAS SE RETARDA. LA VELOCIDAD DE DIFUSION DE LOS GASES EN EL SUELO ESTA EN RELACION DIRECTA CON LA POROSIDAD LLENA DE AIRE LA DIFUSION DE GASES ATRAVES DEL SUELO Y EL CAMBIO CON LA ATMOSFERA SON MUY PEQUEÑOS CUANDO LA POROSIDAD LLENA DE AIRE ES MENOR DEL 10 %; PRESUMIBLEMENTE PORQUE LOS POROS NO SON CONTINUOS. EN TALES CONDICIONES, AUN LAS PLANTAS MAS TOLERANTES DE LAS TIERRAS ALTAS SIEMPRE SUFREN POR LA AEREACION RESTRINGIDA DEL SUELO.

EL TAMAÑO DE LOS POROS Y LAS CONDICIONES DE DRENAJE DETERMINAN LA POROSIDAD LLENA DE AIRE. LO MISMO QUE EL ENCOGIMIENTO Y EL INCHAMIENTO. SI EL SUELO CONTIENE UNA CANTIDAD APRECIABLE DE AGRAGADOS, RELATIVAMENTE ESTABLES, DE TAMAÑO MODERADO, 1 A 5 MM DE DIAMETRO POR LO GENERAL TENDRAN SUFICIENTES POROS GRANDES PARA UNA AEREACION ADECUADA. CUANDO LAS CONDICIONES DE DRENAJE SON BUENAS. EN SUELOS CON MAL DRENAJE, AUN LOS POROS MAS GRANDES ESTARAN LLENOS DE AGUA Y EL SUELO TENDRA AEREACION INADECUADA.

AGUA DEL SUELO

LA INFILTRACION Y LA PERMEABILIDAD ESTAN INTIMAMENTE RELACIONADAS CON EL TAMAÑO DE LOS POROS Y LA ESTABILIDAD DE LAS UNIDADES ESTRUCTURALES DEL SUELO.

EN LOS SUELOS QUE TIENEN UNIDADES ESTRUCTURALES GRANDES, LA INFILTRACION PUEDE SER ALTA, INICIALMENTE. SIN EMBARGO, LA VELOCIDAD DE INFILTRACION BAJARA TAN PRONTO COMO LAS GRIETAS GRANDES SE LLENEN LUEGO, EL SUELO SE INCHA Y LA VELOCIDAD SE PUEDE REDUCIR HASTA UN VALOR CERCANO A CERO.

LOS SUELOS BIEN ESTRUCTURADOS, CON UN TAMAÑO APROPIADO DE AGREGADOS COMO ARCILLA, TIENEN UNA BUENA VELOCIDAD DE INFILTRACION INICIAL, QUE NO SE REDUCE A UN VALOR MUY BAJO CUANDO SE MOJAN. LAS UNIDADES ESTRUCTURALES SON GRANULARES Y DURAS, Y NO SE INCHAN Y SE DESTRUYEN CUANDO SE MOJAN.

LA INFLUENCIA DE LA MOJADURA EN LA ESTRUCTURA LA PONE DE MANIFIESTO LA PROPORCION DE PERMEABILIDAD INTRINSECA EN EL AGUA, CON LA PERMEABILIDAD DEL AIRE. SI LOS AGREGADOS FUERON COMPLETAMENTE ESTABLES, LA RAZON SERIA IDEAL, IGUAL A 1, SIN EMBARGO ESTE IDEAL NO SE ALCANZA NI AUN CUANDO SE USE EL ESTABILIZADOR DE SUELOS.

LOS SUELOS QUE TIENEN UNA APRECIABLE CANTIDAD DE COLOIDE PRESENTAN UNA DISMINUCION DE PERMEABILIDAD CONFORME AUMENTA EN ELLOS EL PORCENTAJE DE SODIO COMBINABLE.

EL SUELO BIEN ESTRUCTURADO, TODA LA MAYOR PARTE DEL AGUA O LA MAYOR PARTE DEL AGUA QUE SALE ES REEMPLAZADA POR AIRE EN LOS ESPACIOS POROSOS. EN SUELOS DE ESTRUCTURA DEFICIENTE, LA ELIMINACION DEL AGUA PUEDE OCASIONAR EL ENCOGIMIENTO DEL SUELO; TALES SUELOS TIENEN LA TENDENCIA A FORMAR TERRONES GRANDES Y MASIVOS, CON GRANDES GRIETAS EN LUGAR DE GRANOS FREABLES.

LA FUERZA DE RETENCION Y FACILIDAD RELATIVA DE REMOCION DEL AGUA DEL SUELO, EN EL RANGO DE CRECIMIENTO DE LAS PLANTAS, ESTA EN RELACION CON EL ARREGLO DE LOS AGREGADOS FINOS DEL SUELO LLAMADO MICROESTRUCTURA QUE SE MANIFIESTA EN LAS CURVAS DE RETENCION DE HUMEDAD, POR ULTIMO LA ESTRUCTURA MAS DESEABLE ES AQUELLA EN QUE LAS CANTIDADES CASI IGUALES DE AGUA SE LIBERAN DEL SUELO CON DISMINUCION IGUALES DE POTENCIAL.

* EFECTO DE LA ESTRUCTURA DEL SUELO EN EL CRECIMIENTO DE LAS PLANTAS

LA ESTRUCTURA DEL SUELO NO AFECTA DIRECTAMENTE A LAS PLANTAS, SINO ATRAVES DE UNO O MAS DE LOS CUATRO FACTORES SIGUIENTES: AEREACION, COMPACTACION RELACION DE AGUA, Y TEMPERATURA, ADEMAS HAY INTERACCION ENTRE ELLOS.

LA ESTRUCTURA Y LOS FACTORES ASOCIADOS SON FUNCIONES DE TIEMPO EN CAMBIO CONSTANTE, HAY CAMBIOS ETACIONALES DE ESTRUCTURA COMO COMO CONSECUENCIA DE LAS PRACTICAS DE LABOREO DEL SUELO CRECIMIENTO DE LAS PLANTAS, IRRIGACION, LLUVIA Y PRACTICAS DE MANEJO.

LA EXPERIENCIA A DEMOSTRADO QUE LOS SUELOS COMPACTADOS PRESENTAN DIFICULTAD, AL IGUAL QUE LAS COSTRAS O SUELOS DUROS, PARA LA BUENA SIEMBRA Y DESARROLLO DE LAS PLANTAS, AUN LAS RAICES DE LAS PLANTAS PEQUERAS COMO EL FRIJOL QUE TIENEN UNA FUERZA PARA VENCER UN MODULO DE RUPTURA HASTA DE 273 MILIBARS O MAS, A DIFERENCIA DE LOS SUELOS

CON AGREGADOS ESTABLES DE UNOS 2 A 6 MM DE DIAMETRO EN LOS CUALES PENETRAN FACILMENTE LAS RAICES.

ES CONVENIENTE TENER EN CONSIDERACION LA COMPOSICION DEL SUELO (ARENAS CON 1.75 GR/CM³) Y (ARCILLAS CON 1.46 GR/CM³). LOS SUELOS QUE CONTIENEN ESTOS AGREGADOS TIENEN LA FACILIDAD DE DAR UNA BUENA INTERACCION DE LOS FACTORES AL PRINCIPIO ENUNCIADOS DANDO COMO CONSECUENCIA LA MAXIMA EFICIENCIA Y LA OBTENCION DE BUENAS COSECHAS.

* CLASIFICACION DE LAS ESTRUCTURAS

MUCHOS CIENTIFICOS DEDICADOS AL ESTUDIO DEL SUELO HAN INTENTADO HACER CLASIFICACIONES DE SU ESTRUCTURA, PERO A LA FECHA NO EXISTE UNA CLASIFICACION ACEPTADA UNIVERSALMENTE, DEBIDO A QUE NO SE HA ENCONTRADO UN METODO SATISFACTORIO.

EL CIENTIFICO NIKIFOROFF SUGIERE LA SIGUIENTE CLASIFICACION MORFOLOGICA DE LA ESTRUCTURA DEL SUELO:

A) TIPOS O FORMAS DE ESTRUCTURA DEL SUELO DETERMINADOS POR LAS FORMAS GENERALES DE LOS AGREGADOS

B) CLASE O TAMANO, DIFERENCIANDOLAS CON BASE EN SU TAMARO LAS ESTRUCTURAS PUEDEN SER:

-MUY GRUESAS: 10 MM

-GRUESAS: DE 5 A 10 MM

-MEDIANA: DE 2 A 5 MM

-FINA: DE 1 A 2 MM

-MUY FINA: DE 1 MM

C) GRADO O ESTABILIDAD DE LA ESTRUCTURA, DETERMINADO POR LA DURABILIDAD O ESTABILIDAD DE LOS AGREGADOS Y SU FACILIDAD DE SEPARACION:

1. -POBREMENTE DESARROLLADA
2. -DEBILMENTE DESARROLLADA
3. -MODERADAMENTE DESARROLLADA
4. -BIEN DESARROLLADA
5. -FUERTEMENTE DESARROLLADA.

HAREMOS ALUSION A UNA CLASIFICACION ADAPTADA POR VARIAS FUENTES DE ESTUDIO DE AGRONOMIA Y QUE ESTA MUY SIMPLIFICADA Y PRACTICA EN LA CUAL SE OMITEN MUCHOS SUBTIPOS.

ESTA CLASIFICACION ESTA DE ACUERDO A LA FORMA, TENIENDO 3 SUBGRUPOS A SABER ESTRUCTURA DE GRANOS SIMPLES, ESTRUCTURA MASIVA, ESTRUCTURA COMPUESTA.

TAMBIEN ESTA CLASIFICACION ATIENDE A LA DUREZA DE LOS AGREGADOS Y ESTA SUBDIVIDA DE ACUERDO AL TAMAÑO DE LOS AGREGADOS Y DE ACUERDO AL TAMAÑO DE LOS POROS.

* COMPUESTOS Y CEMENTANTES ORGANICOS, MICROORGANISMOS, TEMPERATURA Y PRESION.

LA FORMACION DE AGREGADOS ESTA ESTRECHAMENTE RELACIONADA CON LA FLOCULACION Y COMPORTAMIENTO DE LA DOBLE CARGA ELECTRICA. CUANDO SE LES DEJA SOLOS, LOS UELOS QUE POSEEN UNA DOBLE CAPA ELECTRICA FAVORABLE, TIENDEN A REGENERAR AGREGADOS Y PRODUCIR UNA ESTRUCTURA FAVORABLE.

EL CULTIVO DEL CESPED, O LEGUMINOSAS QUE NO NECESITAN LABOREO DEL SUELO, TAMBIEN PUEDEN AYUDAR A LA REESTRUCTURACION DE LOS AGREGADOS DESTRUIDOS POR EL LABOREO.

LOS SUELOS QUE CONTIENEN PROPORCIONES ALTAS DE SODIO, EN LA DOBLE CAPA ELECTRICA TIENDEN A PERMANECER DISPERSOS Y LOS AGREGADOS NO SE CONSTITUYEN POR MEDIO DE LOS PROCESOS NATURALES; POR LO TANTO, TALES SUELOS TIENEN UNA CAPA ESTRUCTURAL DEFICIENTE.

LA MATERIA ORGANICA LOS SILICATOS Y LAS ARCILLAS, CUANDO SE COMBINAN CON LOS CATIONES APROPIADOS EN EL COMPLEJO DEL CAMBIO DEL SUELO, PARECEN FORMAR LOS INGREDIENTES BASICOS DE LOS CEMENTOS; AUNQUE, BAJO CIERTAS CONDICIONES DE HIDROXIDOS DE HIERRO Y ALUMINIO PUEDEN CEMENTAR PARTICULAS Y UNIRLAS. EN ALGUNOS SUELOS CALCAREOS, EL CARBONATO DE CALCIO TAMBIEN FORMA LA ARMAGAZA QUE MANTIENE JUNTAS LAS PARTICULAS, A CONTINUACION IREMOS ENUMERANDO LOS FACTORES PRINCIPALES QUE AFECTAN LA FORMACION DE AGREGADOS PARA UNA BUENA SIEMBRA.

ARCILLA

ENTRE MAS ARCILLA HAYA EN EL SUELO, SE TENDRA MAYOR NUMERO DE AGREGADOS PUESTO QUE UNE A LAS DEMAS PARTICULAS DE TAMAÑOS MAYORES PARA FORMAR AGREGADOS, LA FORMACION DE AGREGADOS ESTABLES NO SE REALIZA EN ARENAS Y LIMOS EN AUSENCIA DE COLOIDES, ES UN REQUISITO INDISPENSABLE DE LA FORMACION DE AGREGADOS ES QUE HAYA UN MATERIAL DISPONIBLE DE QUE PUEDE SER AGREGADO.

EL EFECTO AGREGANTE DE LA ARCILLA SE DEBE A LA ACCION CONSTANTE Y A SU PROPIEDAD DE HINCHAMIENTO Y CONTRACCION CON LOS CAMBIOS DE HUMEDAD.

IONES INTERCAMBIABLES

LOS IONES INTERCAMBIABLES TALES COMO EL Ca^{++} , Mg^{++} , Y EL DEL K TIENEN EFECTO PECTIZANTE SOBRE LAS ARCILLAS PARA DAR LA FLOCULACION NECESARIA QUE SOLO ALCANZAN EL TAMANO DE LAS PARTICULAS DE LIMO.

EL Ca^{++} Y EN MENOS GRADO EL Mg^{++} INDUCEN LA FLOCULACION DE LA ARCILLA Y AL MISMO TIEMPO SON IMPORTANTES EN LA NUTRICION Y EN PROPORCIONAR AL SUELO UNA REACCION FAVORABLE PARA EL CRECIMIENTO DE RAICES Y MICROORGANISMOS. UN SUELO EXCENTO DE MATERIA ORGANICA NO SE AGREGA FACIL Y RAPIDAMENTE AL AGREGARLE Ca^{++} . POR OTRO LADO EL Na^{+} TIENDE A FLOCULIZAR LA ARCILLA Y A CREAR UNA REACCION EN LA QUE MUCHOS DE LOS NUTRIENTES PRESENTES NO PUEDEN APROVECHARSE, DISMINUYENDO EL CRECIMIENTO DE RAICES Y MICROORGANISMOS ADEMAS DE UNA MALA AEREACION.

CEMENTANTES INORGANICOS

LOS PRINCIPALES SON LOS SESQUIOXIDOS DE FIERRO Y ALUMINIO QUE FORMAN COLOIDES IRREVERSIBLES, O MUY LENTAMENTE REVERSIBLES, Y QUE AYUDAN A FORMAR AGREGADOS ESTABLES A LA ACCION DEL AGUA. ES RECOMENDABLE NO UTILIZARLOS.

PLANTAS Y RESIDUOS VEGETALES

LAS PLANTAS AYUDAN A AGREGAR LAS PARTICULAS DEL SUELO EN MUCHAS FORMAS. LA MAS IMPORTANTE ES QUIZA, LA EXCRECION DE COMPUESTOS ORGANICOS GELATINOSOS POR LAS RAICES QUE SERVIRAN COMO LIGAMENTOS ENTRE LAS SUSTANCIAS INORGANICAS.

LA PRESION EJERCIDA POR LA RAIZ, EL CO_2 , PRODUCIDO EN LA RESPIRACION Y LOS MINERALES ESCRETADOS TAMBIEN SON IMPORTANTES. LAS PEQUERAS RAICECILLAS MANTIENEN JUNTAS LAS PARTICULAS. LA DESHIDRATACION DEL SUELO POR LA RAIZ CAUSA GRIETAS AL ENCOGERSE EL SUELO LO QUE ORIGINA ROMPIMIENTOS Y POSTERIORMENTE FORMACION DE AGREGADOS. EL FOLLAJE DE LAS PLANTAS Y SUS RESIDUOS CUBREN EL SUELO Y LO PROTEGEN DE LOS CAMBIOS BRUSCOS DE TEMPERATURA Y HUMEDAD Y DE LOS DEFECTOS DE LAS GOTAS DE LLUVIA, ADEMAS DE QUE SIRVE DE ALIMENTO A LOS MICROORGANISMOS.

*PRINCIPIOS BASICOS

UN MODELO ES LA EXPRESION MATEAMTICA QUE DESCRIBE UN FENOMENO FISICO. AL APLICARSE A UNA REGION DETERMINADA, SE UTILIZAN DATOS OBTENIDOS EXPERIMENTALMENTE O EN EL CAMPO Y SE EXAMINA SU COINCIDENCIA CON LAS SOLUCIONES DE LAS EXPRESIONES MATEMATICAS QUE DESCRIBEN EL SISTEMA.

EL MODELO DEBE DE SER LO MAS SENCILLO POSIBLE Y SOLO SE INCREMENTA SU COMPLEJIDAD CUANDO REALMENTE SE REQUIERE. LAS EXPRESIONES MATEMATICAS QUE DESCRIBEN LA NATURALEZA DEL MODELO, PUEDEN SER DESDE ECUACIONES LINEALES DE PRIMER GRADO, HASTA SISTEMAS DE ECUACIONES DIFERENCIALES CUYA SOLUCIOIN NO ES SIEMPRE FACIL.

LOS MODELOS DE CALIDAD DEL AGUA TIENEN DOS PROPOSITOS GENERALES: EL PRIMERO, PROVEER LOS FUNDAMENTOS CIENTIFICOS BASICOS PARA EL ENTENDIMIENTO DE LAS INTERACCIONES OCASIONADAS POR LA ENTRADA DE UN MATERIAL AL AGUA. ESTAS INTERACCIONES SE EXPRESAN EN FORMA DE ECUACIONES MATEMATICAS QUE CONSTITUYEN LA SINTESIS DE LAS OBSERVACIONES DE UN FENOMENO. LA SEGUNDA FUNCION ES DE NATURALEZA PRACTICA: CON BASE EN LA CONFIABILIDAD DE LAS RELACIONES OBTENIDAS, LAS ECUACIONES SERAN UTILIZADAS COMO AUXILIARES EN EL MANEJO, PLANEACION, Y POLITICA DE LOS RECURSOS DE AGUAS SUBTERRANEAS.

EL ESTUDIO DE LOS SISTEMAS DE AGUAS SUBTERRANEAS ES PARTICULARMENTE DIFICIL DEBIDO A LA MULTITUD DE FACTORES QUE INTERVIENEN, TANTO DE INDOLE NATURAL COMO LOS PRODUCIDOS POR EL HOMBRE. NO OBSTANTE, EL PROBLEMA PUEDE SER ANALIZADO UTILIZANDO PARA ELLO LOS CONCEPTOS DE HIDRAULICA FISICA QUE CONDUCEN LA MAYORIA DE LAS VECES A CA;CULOS SENCILLOS.

LAS PRINCIPALES SUSTITUCIONES EN LAS CUALES SE PUEDEN UTILIZAR MODELOS MATEMATICOS. INCLUYEN:

- CAMBIOS EN LA DISPONIBILIDAD DE AGUA SUBTERRANEA.
- CAMBIOS EN LOS NIVELES DE AGUA SUBTERRANEA DEBIDOS A LA OPERACION HIDRAULICA
- CAMBIOS EN EL FLUJO SUBTERRANEO PRODUCIDOS POR LA VARIACION EN EL REGIMEN DE FLUJO SUPERFICIAL. POR EL. URBANIZACION DE ZONAS DE RECARGA.
- MOVIMIENTO DE CONTAMINANTES EN EL SISTEMA ACUIFERO
- HUNDIMIENTO O SUBSIDENCIA DE LA SUPERFICIE DEL TERRENO OCASIONADO POR EL ABATIMIENTO DE LOS NIVELES DE AGUA SUBTERRANEA.

LAS MAYORES DIFICULTADES QUE SURGEN PARA LA REALIZACION DE UN ESTUDIO SOBRE LOS TEMAS ANTERIORES APARECEN POR FALTA DE CONOCIMIENTO DE ALGUNO DE LOS PROCESOS INVOLUCRADOS, O BIEN, DE LA INTERACCION ENTRE

ELLOS, TODA LA VEZ QUE EL EFECTO DE UN PROCESO PODRA ESTAR MODIFICADO O CONDICIONADO POR OTRO.

LA HERRAMIENTA FUNDAMENTAL PARA OBTENER INFORMACION SOBRE LA VARIACION DE LA CALIDAD O REGIMEN DEL AGUA SUBTERRANEA EN ACUIFEROS DE OPERACION CONSTANTE O CON FUERTES POSIBILIDADES DE CONTAMINACION ES LA REALIZACION PERIODICA DE MEDICIONES HIDRAULICAS Y ANALISIS FISICOS QUIMICOS Y BIOLÓGICOS.

EL ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FISICO QUIMICO BIOLÓGICAS PERMITE EVALUAR LOS PROCESOS QUE APARECEN COMO CONSECUENCIA DE LA INTRODUCCION DE MATERIALES AJENOS AL ACUIFERO LAS CUALES SON: DIFUSION MOLECULAR, DISPERSION LONGITUDINAL, DISPERSION TRANSVERSAL, ADSORCION, REACCIONES QUIMICAS (OXIDACION, REDUCCION, PRECIPITACION) OSMOSIS, ELECTROLISIS Y BIODEGRADACION, ENTRE OTROS.

*MODELOS DE TRANSPORTE DE CONTAMINANTES

LOS MODELOS DE TRANSPORTE DE CONTAMINANTES ANALIZAN EL MOVIMIENTO, MEZCLA Y REACCIONES QUIMICAS DE AGUAS CONTAMINADAS EN UN ACUIFERO, SUPERFICIE, O CUALQUIER MATERIAL POR EL QUE ESTA FLUYA. TAL COMO LOS MODELOS DE FLUJO, LOS MODELOS DE TRANSPORTE SE CLASIFICAN DE ACUERDO AL TIPO DE FLUIDO, TIPO DE MEDIO, ASI COMO A LA NATURALEZA Y TIPO DE REACCIONES QUIMICAS INVOLUCRADAS.

LOS MODELOS DE TRANSPORTE DE CONTAMINANTES PUEDEN O NO CONSIDERAR LA PARTICIPACION DE REACCIONES QUIMICAS. LOS DOS TIPOS DE MODELOS BAJO ESTA CONSIDERACION SON: i) MODELOS DE TRANSPORTE CONSERVATIVO EL CUAL NO CONSIDERA REACCIONES QUIMICAS Y ii) MODELOS DE TRANSPORTE NO CONSERVATIVO, QUE SI LAS CONSIDERA.

LOS MODELOS DE TRANSPORTE NO CONSERVATIVO PUEDEN SIMULAR UNA VARIEDAD DE REACCIONES QUIMICAS POSIBLES. POR EJ. LOS MODELOS PUEDEN CONSIDERAR LA PERDIDA DE CONTAMINANTES AL INCORPORARSE ESTOS AL MATERIAL POR EL QUE FLUYE EL AGUA, YA SEA POR REACCIONES DE PRECIPITACION, ADSORCION, POR EL MEDIO GRANULAR O ROCOSO, O POR REACCIONES DE PRECIPITACION.

LOS DATOS NECESARIOS TANTO EN MODELOS DE TRANSPORTE CONSERVATIVO COMO LOS NO CONSERVATIVOS, INCLUYEN AQUELLOS DE LOS MODELOS HIDROLOGICOS EN FLUJO, ADEMAS DE AQUELLOS QUE DESCRIBEN LOS PROCESOS DE MEZCLA DE AGUAS Y LAS REACCIONES QUIMICO BIOLÓGICAS. ESTOS MODELOS GENERALMENTE CALCULAN LAS CONCENTRACIONES A FUTURO DE VARIOS CONTAMINANTES, ASI COMO SU COMPORTAMIENTO EN TIEMPO Y ESPACIO.

*MECANISMOS DE DIFUSION

DIFERENTES MECANISMOS CONTRIBUYEN AL FENOMENO DE DIFUSION. LOS MAS IMPORTANTES SON:

A) DIFUSION MOLECULAR EN LA DIRECCION DEL FLUJO Y TRANSVERSAL A ESTE.

B) MEZCLADO TURBULENTO

C) PROCESO DE TRANSPORTE LATERAL ACOPLADO CON LA VELOCIDAD Y/O LA DISTRIBUCION DEL TIEMPO DE RESIDENCIA. ESTE PRODUCTO INCLUYE LOS SIGUIENTES FACTORES:

- i) LA DIFUSION TIPO TAYLOR OCASIONADA POR LA INTERVENCION DE PERFILES DE VELOCIDADES EN VACIOS INDIVIDUALES CON DIFUSION MOLECULAR LATERAL
- ii) SEPARAMIENTO Y REMEZCLADO O INTERDIFUSION DE CORRIENTES CON DIFERENTES VELOCIDADES ALREDEDOR DE PARTICULAS.
- iii) ACOPLAMIENTO DE PERFILES DE VELOCIDADES GLOBALES, CAUSADO POR LA INESTABILIDAD DE VISCOSIDADES O POROSIDADES N OHIMOGENEAS CON DISPERSIO LATERAL.

D) GASTO DE TRANSFERENCIA DE MASA FINITA ENTRE LA MATRIZ POROSA Y LA FASE QUE SE ESTA MOVIENDO Y UN GASTO DE DIFUSION FINITO DENTRO DE LOS ELEMENTOS DE LA MATRIZ POROSA

LOS MECANISMOS ANTES MENCIONADOS PUEDEN ACTIVAR INDIVIDUALMENTE O COMBINADOS.

LA DISPERSION QUE TIENE LUGAR EN MEDIOS POROSOS PUEDE SER DESCRITA APROXIMADAMENTE POR SOLUCIONES A LA ECUACION DE DIFUSION CONSIDERANDO EL TERMINO RESPECTIVO DE CONVECCION. A CONTINUACION SE PRESENTAN ALGUNAS SOLUCIONES AL PROBLEMA DE VALORES EN LA FRONTERA EMPLEANDO EL MODELO DE DIFUSION.

*DIFUSION MOLECULAR

CUANDO DOS PUNTOS EN UN MISMO PUNTO PRESENTAN CONCENTRACIONES DIFERENTES AL TRANSCURRIR CIERTO TIEMPO EL FLUIDO DEL PUNTO DE MAYOR CONCENTRACION SE DIFUNDIRA GRADUALMENTE HACIA EL DE MENOR CONCENTRACION, TENDIENDO A ALCANZAR UNA CONCENTRACION HOMOGENEA. INICIALMENTE SE PUEDE PENSAR QUE EXISTEN DOS FASES DEL SISTEMA, UNA CON ALTA Y OTRA CON BAJA CONCENTRACION, ENTRE LAS CUALES SE CREA UNA INTERFACE EN VIRTUD DEL GRADIENTE DE CONCENTRACION. AL PRODUCIRSE EL FENOMENO DE DIFUSION MOLECULAR, LA INTERFASE DESAPARECE, CREANDOSE EN SU LUGAR UNA ZONA DE MEZCLA POR DIFUSION MOLECULAR.

EL FENOMENO ANTERIOR SE PRESENTA POR LA LEY DE DIFUSION MOLECULAR DE FICK EN LA CUAL SE CONSIDERAN LAS SIGUIENTES RESTRICCIONES:

- NO EXISTE TRANSFERENCIA DE VOLUMEN DE MASA
- COMPORTAMIENTO ESTACIONARIO DEL SISTEMA
- MEDIO HOMOGENEO CONTINUO

BAJO ESTAS CONDICIONES LA CANTIDAD DE MATERIAL QUE SE DIFUNDE DE A A B CON RESPECTO AL TIEMPO SE EXPRESA:

$$\frac{dG}{dt} = - D_0 A' \frac{dC}{dx}$$

DONDE:

G = CANTIDAD DE MATERIAL QUE SE DIFUNDE A TRAVES DE UN AREA A'

t = TIEMPO EN SEG

D₀ = COEFICIENTE DE DIFUSION MOLECULAR (CM²/SEG)

C = CONCENTRACION, FRACCION VOLUMEN

x = DISTANCIA EN CM

UNA DE LAS SOLUCIONES DE LA ECUACION DIFERENCIAL (1) ES:

$$C = \frac{1}{2} \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{\sqrt{2 D_0 t}} \right) \right]$$

EN DONDE PUEDE OBSERVARSE QUE EL COEFICIENTE DE DIFUSION MOLECULAR (D₀) ES FUNCION DE LA CONCENTRACION, EL CUAL ES VALOR ESTIMABLE EXPERIMENTALMENTE.

DESDE EL PUNTO DE VISTA EXPERIMENTAL, TAYLOR HA DEMOSTRADO QUE EL COEFICIENTE DE DIFUSION MOLECULAR PUEDE CALCULARSE POR MEDIOS GRAFICOS, UTILIZANDO LA SIGUIENTE ECUACION:

$$D_0 = \frac{1}{t} \left(\frac{x_{90} - x_{10}}{3.625} \right)^2$$

DONDE X₉₀ ES LA INTERFASE INICIAL EN QUE LA COMPOSICION ES DEL 90% DEL FLUIDO BAJO CONSIDERACION Y X₁₀ ES LA DISTANCIA PARA EL 10%.

*DISPERSION

CUANDO UN FLUIDO ESTA FLUYENDO A TRAVES DE MEDIOS POROSOS EXISTE UN FACTOR ADICIONAL AL DE DIFUSION, EL CUAL ES CAUSADO POR EL FLUJO DE FLUIDOS O POR UN GRADIENTE DE CONCENTRACION COMO RESULTADO DEL FLUJO DE FLUIDOS. A ESTE MECANISMO SE LE DENOMINA DISPERSION.

*DISPERSION LONGITUDINAL

OCURRE EN LA DIRECCION DEL MOVIMIENTO GLOBAL DE LOS FLUIDOS. PARA SU ESTUDIO SE HA RECURRIDO A MODELOS DIFERENTES COMO POR EJEMPLO TUBOS CAPILARES, RED DE TUBOS CAPILARES Y EMPACAMIENTO DE MATERIAL, ENTRE OTROS. PARA EL CASO DE MATERIALES GRANULARES NO CONSOLIDADOS, EL COEFICIENTE DE DISPERSION ES DE LA FORMA:

$$\frac{k_l}{D_o} = \frac{l}{F \phi} + \sigma \frac{V_{dp}}{D_o} \quad -4-$$

DONDE:

k_l - COEFICIENTE DE DISPERSION LONGITUDINAL (CM²/S)

V - VELOCIDAD PROMEDIO INTERSTICIAL DEL FLUJO (CM²/S)

D_o - COEFICIENTE DE DIFUSION MOLECULAR (CM²/S)

d_p - DIAMETRO PROMEDIO DE PARTICULA (CM)

F - FACTOR DE FORMACION (EN FUNCION DE LA RESISTIVIDAD ELECTRICA) = FACTOR DE INHOMOGENEIDAD. PARA EL CASO DE ARENAS NO CONSOLIDADAS = 1.75) = POROSIDAD.

*DISPERSION TRANSVERSAL

ESTE FENOMENO LO HAN DESCRITO VARIOS AUTORES COMO UN FENOMENO DE CORRIENTE DIVIDIDA, EN EL CUAL SE TIENE TRANSFERENCIA DE MASA ENTRE LAS CORRIENTES.

EL COEFICIENTE DE DISPERSION TRANSVERSAL PUEDE SER DETERMINADO MEDIANTE LA ECUACION:

$$k_t = \frac{V}{L} \left[\frac{x_{90} - x_{10}}{3.625} \right]^2 \quad 5$$

DONDE:

k_t - COEFICIENTE DE DISPERSION LATERAL (CM²/S)

V - VELOCIDAD PROMEDIO INTERSTICIAL (CM²/S)

L - DISTANCIA DE SEPARACION ENTRE DOS PUNTOS x_1 , x_2

X90 = DISTANCIA A PARTIR DEL PUNTO INICIAL, EN EL CUAL LA CONCENTRACION DE UN COMPONENTE ES DEL 90 % DE LA ORIGINAL (LIXIVIADO).

X10 = DISTANCIA A PARTIR DEL PUNTO INICIAL EN LA CUAL LA CONCENTRACION DE UN COMPONENTE ES DEL 10 % DE LA ORIGINAL (LIXIVIADO)

LOS VALORES DE V, L, X90, Y X10 SON DETERMINABLES A PARTIR DE ANALISIS QUIMICOS DE UN CONSTITUYENTE A LO LARGO DE UN LINEA DE FLUJO EN QUE HAYA POR LO MENOS TRES POZOS.

LA EXPRESION FINAL PARA CONDICIONES DE FLUJO LAMINAR EN MATERIALES GRANULARES CON DISTRIBUCION DE TAMAÑO NO UNIFORME Y EN MATERIALES NO CONSOLIDADOS ES:

$$\frac{Kt}{D_0} = \frac{l}{F_0} + \frac{V}{L} \left(\frac{x_{90} - x_{10}}{3.625} \right)^2 \quad 6$$

*DISPERSION TURBULENTA

LA DISPERSION TURBULENTA TIENE LUGAR PREFERENTEMENTE EN FLUJOS RADIALES (EN LA VECINDAD DE POZOS EN OPERACION.) SE PRESENTAN DOS CASOS GENERALES:

- A) FUENTE PUNTUAL Y METODO DE SUPERPOSICION
- B) FUENTE LINEAL INSTANTANEA Y FUENTE PLANAR

A) FUENTE PUNTUAL Y METODO DE SUPERPOSICION (L.I.W.H.)

ALGUNAS SOLUCIONES UTILES DE LA ECUACION DE DIFUSION CON COEFICIENTES CONSTANTES, SE PUEDEN OBTENER MEDIANTE LA SUPERPOSICION DE SOLUCIONES DE FUENTES PUNTALES. SI BIEN, LOS COEFICIENTES DE DIFUSION Y DISPERSION NO SON DEL TODO CONSTANTES, EN LOS CASOS PRACTICOS ESTAS SOLUCIONES TIENEN UN VALOR MUY APROXIMADO A LA DESCRIPCION DEL FENOMENO.

CONSIDERANDO UNA MASA M DE UN MATERIAL CONTAMINANTE INTRODUCIDO AL TIEMPO $t=0$ EN UN PUNTO DE UN FLUIDO EN MOVIMIENTO, Y ASUMIENDO QUE LA POROSIDAD Y EL COEFICIENTE DE DIFUSION PROMEDIO SON CONSTANTES, LA ECUACION DE DIFUSION ES:

$$\frac{dc}{dt} = D \left(\frac{d^2 c}{dx^2} + \frac{d^2 c}{dy^2} + \frac{d^2 c}{dz^2} \right)$$

DONDE:

c = CONCENTRACION EN MASA POR UNIDAD DE VOLUMEN

t = TIEMPO

x, y, z = VARIABLES DE ESPACIO XYZ

LA SOLUCION DE ESTA ECUACION DIFERENCIAL PARA UNA FUENTE PUNTUAL INSTANTANEA ES DE LA FORMA:

$$C (R, t) = \frac{M}{8 (Dt)^{3/2}} e \left(- \frac{R^2}{4 Dt} \right)$$

DONDE $R = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$ ES LA DISTANCIA DESDE EL PUNTO DE ORIGEN. ; A VARIACION DE $c(R, t)$.

B) FUENTE LINEAL INSTANTANEA Y FUENTE PLANAR

UNA FUENTE LINEAL INSTANTANEA CONSISTE EN UNA MASA "M" POR UNIDAD DE LONGUITUD QUE SE INTRODUCE INSTANTANEAMENTE A LO LARGO DE UN LINEA RECTA INFINITAMENTE LARGA. TAL ES EL CASO DE UNA FUENTE CONTAMINANTE DE FORMA ALARGADA EN LA QUE EL FLUJO SUBTERRANEO ES PERPENDICULAR A LA DIMENSION MAYOR DE LA FUENTE.

PARA UNA FUENTE LINEAL A LO LARGO DEL EJE Z, COMO SE MUESTRA EN LA FIGURA 9A LA CONCENTRACION DEL CONTAMINANTE EN UN PUNTO P DEBIDA A UNA FUENTE PUNTUAL MDZ' SE OBTIENE CON LA ECUACION:

$$dc = \frac{mdz}{8 (Dt)^{3/2}} \exp \left(- \frac{x^2 + y^2 + (z-z')^2}{4 Dt} \right)$$

PERO COMO SE TRATA DE UN FUENTE LINEAL, LA CONCENTRACION DEL CONTAMINANTE DEBERA CALCULARSE MEDIANTE:

$$c = \frac{m}{4 \pi Dt} \exp \left(- \frac{r^2}{4 Dt} \right)$$

donde $r = \sqrt{x^2 + y^2}$ ES LA DISTANCIA DEL PUNTO DE OBSERVACION A LA LINEA DONDE SE UBICA EL CONTAMINANTE.

UNA FUENTE PLANAR INSTANTANEA CONSISTE DE UNA MASA POR UNIDAD DE AREA QUE ES INTRODUCIDA INSTANTANEAMENTE EN UN PLANO INFINITO. PARA UAN FUENTE PLANAR SOBRE EL PLANO YZ, LA CONCENTRACION EN UN PUNTO P DEBIDA A UNA FUENTE LINEAL UBICADA EN Y' CUYA MASA ES UDY' POR UNIDAD

DE LONGUITUD, A LO LARGO DE LA DIRECCION Z. SE PODRA CALCULAR MEDIANTE LA ECUACION:

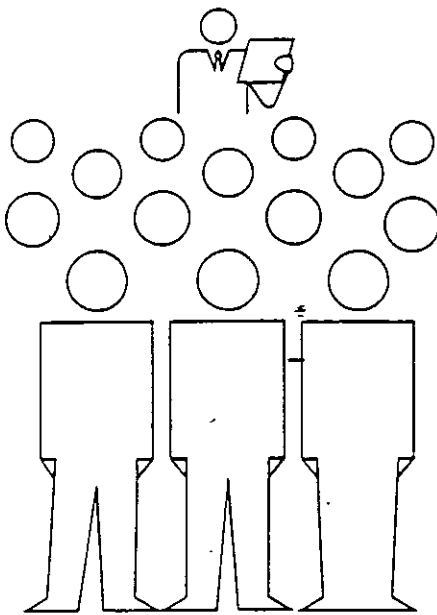
$$dc = \frac{\mu dy'}{4\sqrt{Dt}} \exp \left[- \frac{x^2 + (y-y')^2}{4Dt} \right]$$

AHORA, PUESTO QUE LA FUENTE ES PLANAR, LA CONCENTRACION DEL CONTAMINANTE SERA:

$$c = \frac{\mu}{4\sqrt{\pi Dt}} \int_{-\infty}^{\infty} \exp \left[- \frac{x^2 + (y-y')^2}{4Dt} \right] dy' = \frac{\mu}{4\sqrt{Dt\pi}} \exp \left(- \frac{x^2}{Dt} \right)$$

ESTA ULTIMA EXPRESION ES MUY UTIL PARA RESOLVER PROBLEMAS DE DIFUSION UNIDIRECCIONAL MEDIANTE LA SUPERPOSICION DE FUENTES PLANARES.

BCS fue sede del Taller Regional sobre Evaluación y Modelación Hidrogeológica



Para capacitar al personal de las Subgerencias Técnicas de los estados que integran la región noroeste de la Comisión Nacional del Agua, en el manejo de las aguas subterráneas, en la ciudad de La Paz, Baja California Sur, se llevó a cabo el "Taller de Evaluación y Modelación Hidrogeológica de Acuíferos", los días 29 y 30 de noviembre y 1o. de diciembre pasados.

En el taller, que fue inaugurado por el Ing. Pedro Castro Pérez, Gerente Estatal de la CNA, se estudiaron nuevas técnicas mediante el empleo de modelos matemáticos que permiten el análisis de las modificaciones de los niveles de agua y su aplicación práctica, para efectuar predicciones del comportamiento de nuestros recursos hidráulicos subterráneos, en función a la extracción a que están siendo sometidos.

A los técnicos de las Gerencias Estatales de Sonora, Sinaloa, Baja California, Nayarit y Baja California Sur, el Ing. Castro Pérez manifestó su interés porque se amplíen este tipo de cursos, sobre todo en estados como el de Baja California Sur, que cifran su desarrollo en el buen uso que se de al recurso agua, mediante acciones de protección y conservación de los acuíferos subterráneos.

Por su parte, el Ing. Noel Hernández Laloith, expositor del curso, explicó a "Vertientes" que el modelo tratado se basa en el manejo del conocimiento de aspectos geológicos, propiedades hidráulicas de los acuíferos, comportamiento de los niveles y calidad del agua, para experimentar la variación de circunstancias que pueden presentarse de acuerdo a las particularidades de cada manto freático.

Dexter

Es un programa francés de computación, creado para simular efectos en tercera dimensión, de sistemas e interacciones que incluyen una gran cantidad de partículas.

Es útil en varias aplicaciones industriales, técnicas y científicas. Se pueden simular reacciones químicas, metalurgia/herrería, dinámica de los contaminantes, procesos de producción, partículas elementales y

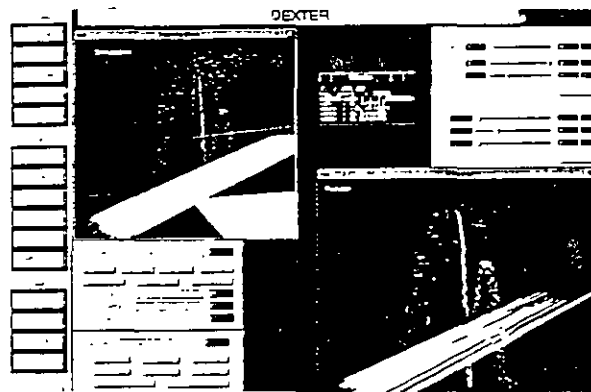
puede ser simulado.

Es posible realizar simulaciones científicas a nivel de mecánica cuántica y efectos especiales sorprendentes en imágenes de síntesis o video.

Por sus cualidades *Softimage*, líder mundial de la imagen de síntesis, lo eligió como herramienta de extensión a su producto, destinada a los profesionales del audiovisual, diseño e ingeniería creativa.

Dexter está disponible para estaciones de trabajo con UNIX tm y Windows NTtm. Se entrega "a la medida" en función de las necesidades específicas de su usuario.

Los servicios técnicos y desarrollo de *ArSciMed* (empresa promotora del producto),



plasma; simulación de nubes, humo, fuego, nieve, arena, fluidos. Todo lo que es susceptible de ser representado bajo forma de sistema complejo de objetos interactivos.

están disponibles para el estudio de todo problema, simulación o aplicación específica.

Centro Frances de Prensa Industrial y Técnica. Tel.: 511-97-83.

CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN EN LAGOS

(Aplicación al lago de Chapala)

ANTECEDENTES

Por razones culturales y económicas, y por la alta densidad de población, la cuenca del río Lerma es la más importante del país. El río Lerma drena una cuenca de casi 52,500 km². Recibe efluentes urbanos, agrícolas e industriales de agua prácticamente sin tratamiento, provocando la entrada al lago de Chapala de un flujo con carga contaminante, que posteriormente es transportado dentro del cuerpo de agua debido a las corrientes generadas por el viento.

Desde 1991 se han desarrollado y entregado a la Gerencia Regional Lerma Balsas de la CNA, herramientas para el manejo de información, así como modelos numéricos que permiten simular la hidrodinámica y el transporte de contaminantes en el lago de Chapala. Ello mejora su capacidad de toma de decisiones para la preservación de este cuerpo de agua.

OBJETIVOS

Contribuir a la caracterización, cuantificación y solución de la contaminación del sistema Lerma-Chapala, a través del desarrollo de herramientas computacionales, para el análisis de transporte de contaminantes en el río Lerma y el lago de Chapala.

RESULTADOS

Se han producido herramientas computacionales que permiten estudiar el movimiento contaminantes y otras sustancias en el lago de Chapala y en el río Lerma con gran precisión; éstas herramientas comprenden: ICAS (Índices de Calidad del Agua), que permite evaluar la calidad del cuerpo de agua con parámetros muestreados; modelado de transporte de contaminantes en el río Lerma (DISPER); (SILCH), Sistema de Información del Lago de Chapala (hidrometría, batimetría,



Figura a

puntos de muestreo, niveles históricos, etc.); y simuladores de la hidrodinámica del lago (CHAPDROD y CHAPCURV, ver figura a); y otro que realiza la modelación de transporte de contaminantes en el lago (CHAPCONT).

Por ejemplo, se simuló la aplicación de un herbicida (glifosato) sobre el lirio acuático del lago considerando la acción del viento y entradas y salidas de agua, con los resultados de decaimiento mostrados (figura b). Con ello se demostró que este herbicida no rebasa las concentraciones establecidas en las normas vigentes.



Figura b

APLICACIONES DEL SISTEMA RAISON EN CALIDAD DEL AGUA

ANTECEDENTES

Dentro del proceso para evaluar la calidad de los cuerpos de agua son muy importantes las tareas de almacenamiento, análisis e interpretación de los datos de campo recolectados durante la etapa de monitoreo. El IMTA seleccionó entre diversas herramientas la que se considera más adecuada para México: El RAISON (Regional Analysis System ON/Micro) que es un sistema que permite efectuar las actividades antes mencionadas de manera sencilla, incorporando al mismo tiempo hoja de cálculo, base de datos y un sistema georreferenciado. El RAISON se desarrolló en el Instituto Nacional de Investigaciones Hidráulicas (NWRI) de Canadá, y se transfirió con un convenio internacional al IMTA en 1991 para su análisis, traducción al español y adaptación a las necesidades y casos específicos en México.

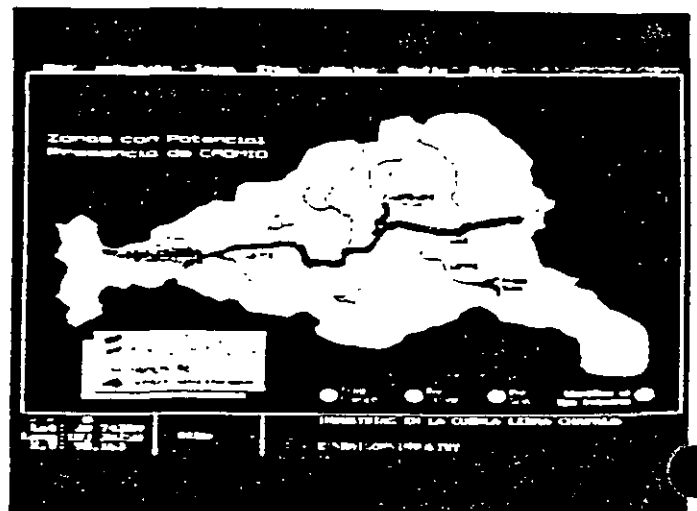
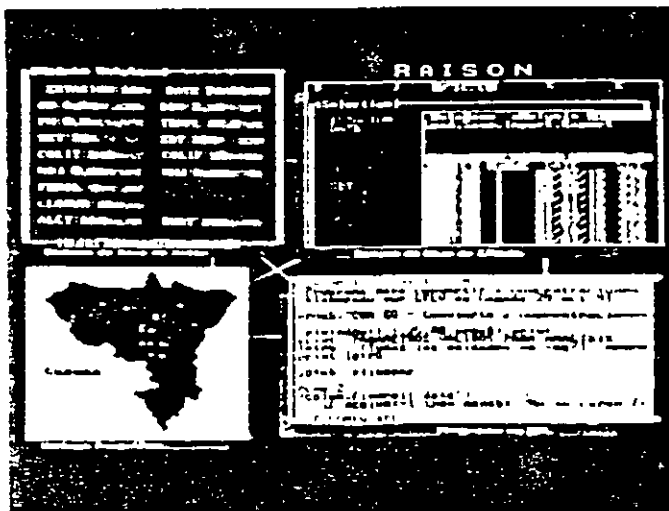
OBJETIVO

Contar con una herramienta informática, que permita analizar y explotar eficientemente las bases de datos de calidad del agua para mejorar el aprovechamiento, control y manejo del agua a nivel nacional y regional.

RESULTADOS

Se crearon en todo el país las correspondientes aplicaciones en RAISON para contar hoy con la información de calidad del agua superficial y subterránea de que se dispone en la CNA en una sola plataforma de rápido uso. La información está disponible en cada región hidrológica del país.

El RAISON se ha transferido, a través del IMTA, a las gerencias regionales y a la Gerencia de Calidad del Agua de la Subcoordinación General de Administración del Agua de la CNA en su versión 2.6. También se ha capacitado ampliamente a usuarios de diferentes regiones del país y se han generado varias aplicaciones en todo el territorio nacional relacionadas con evaluaciones ambientales.



A nivel regional, el principal destinatario de dichas aplicaciones ha sido la Gerencia Regional Lerma-Balsas con lo que ha sido posible detectar tendencias y patrones de contaminación, así como evaluar el agua en la cuenca. Se aplicó en RAISON el inventario industrial de la cuenca dentro del sistema, con lo cual se han identificado y evaluado las zona en peligro potencial de contaminación por metales pesados.

Actualmente el IMTA cuenta con la versión 3.0 del Sistema RAISON en español, por lo que sería importante llevar a cabo una actualización de los sistemas transferidos.

CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN EN LAGUNAS

— (Aplicación al sistema lagunar Nichupté)

ANTECEDENTES

La zona urbana de la ciudad de Cancún ha experimentado un gran crecimiento durante los últimos diez años como resultado de la actividad turística del Caribe Mexicano. En Cancún, se han desarrollado los complejos hoteleros más importantes incrementándose con ello las potenciales descargas contaminantes al sistema lagunar Nichupté. Por todo esto, la Gerencia Regional Sureste de la Comisión Nacional del Agua, solicitó que se analizara la recirculación del agua y el transporte de contaminantes en la Laguna de Nichupté, mediante la aplicación de modelos numéricos.

El Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, a través de la Coordinación de Tecnología Hidráulica, inició en 1993 el planteamiento y aplicación de una herramienta computacional para la predicción de las corrientes en la laguna de Nichupté. Como resultado, se llegó a desarrollar un programa de simulación numérica, adaptado a las condiciones de la laguna con el que es posible realizar simulaciones y determinar configuraciones o patrones de flujo.

OBJETIVO

Desarrollar una herramienta de cálculo que considere condiciones reales de simulación a fin de evaluar alternativas orientadas al saneamiento y control de la calidad del agua, dada la inquietud y preocupación que existe por evaluar y mantener el equilibrio ecológico del sistema lagunar Nichupté.

RESULTADOS

El Instituto Mexicano de Tecnología del Agua desarrolló un sistema denominado HID_NICH 2.0, que modela la hidrodinámica de la laguna, el cual permite manipular el problema a simular mediante

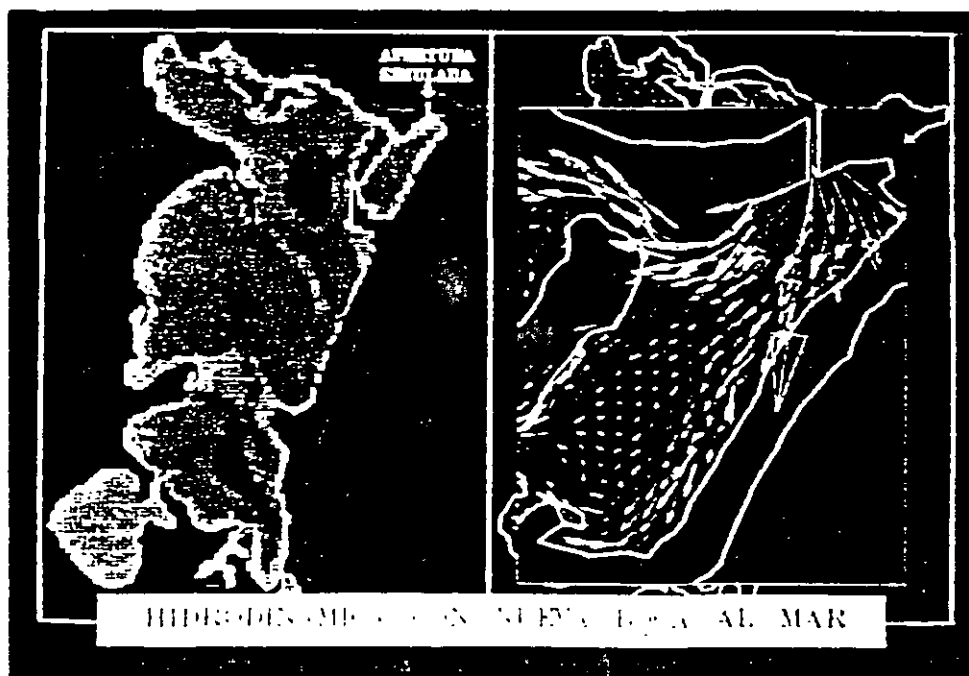


Figura a

modificaciones relativamente sencillas a la batimetría (simular rellenos o dragados al fondo), y tomar efectos de marea por las bocas, condiciones de entrada o salida de gasto por diferentes bocas de la laguna, previendo simular canales, o puntos de inyección diferentes a los canales de comunicación al mar (figura a).

Intimamente ligada con la simulación de la hidrodinámica, se desarrolló la aplicación de un modelo de transporte de contaminantes (figura b), donde se plantea en principio la modelación de contaminantes conservativos. Con esta herramienta será posible calcular tendencias de contaminación y servirá para apoyar en la toma de decisiones en el saneamiento del sistema lagunar.

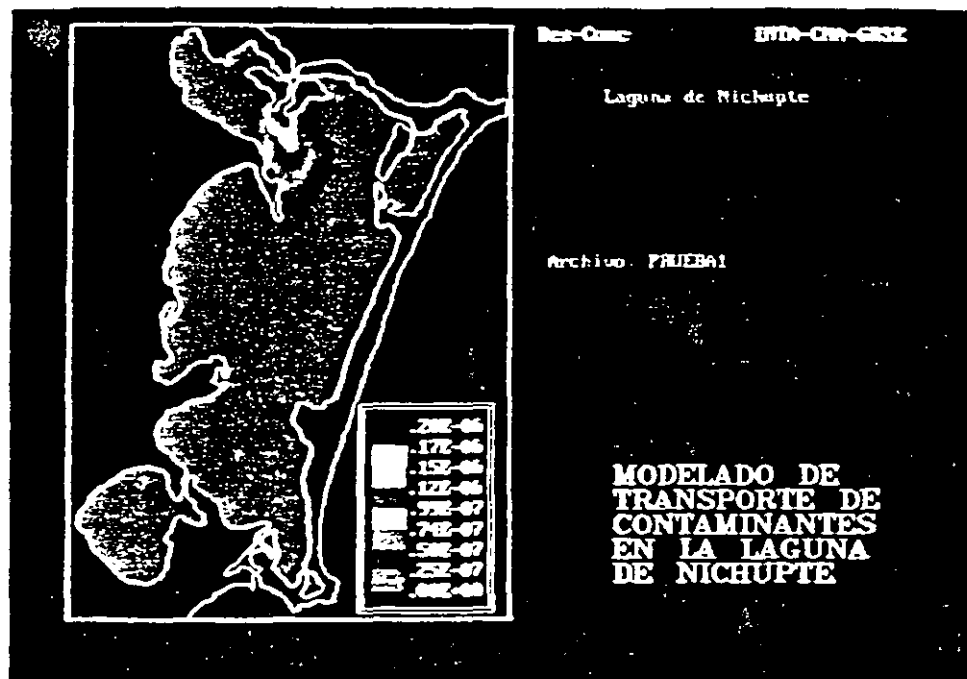


Figura b

Contaminated Land and Water

INVESTIGATION, REMEDIATION AND PREVENTION

ONTARIO HYDRO TECHNOLOGIES DELIVERS EXPERT, INNOVATIVE SERVICE FOR ALL ASPECTS OF LAND AND WATER CONTAMINATION AND ITS PREVENTION. WE DETERMINE THE NATURE AND SCOPE OF EXISTING OR POTENTIAL HAZARDS, AND WE HELP YOU CONTROL THEM IN A SAFE AND COST-EFFECTIVE MANNER.

THE CHALLENGE

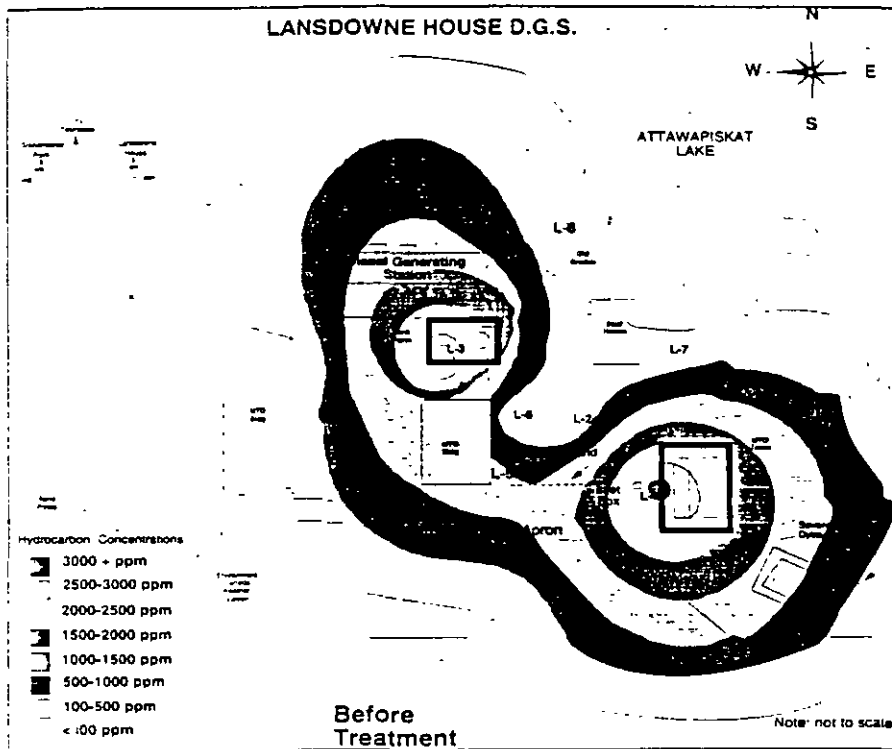
Your land or water is, or might be, contaminated by metals, petroleum hydrocarbons, chlorinated organics such as PCBs, or even radioactive pollutants. Or there may be a danger that such contamination may move onto or off your site. Your land or water might fail to meet regulatory standards.

THE SOLUTION

Ontario Hydro Technologies can establish the existence or extent of potential contamination. We assess the risks involved, work with you to set priorities for prevention or remediation, and follow through with remediation if required.

OUR EXPERTISE

The Ontario Hydro Technologies team provides a full range of services to handle all types contaminants, including radionuclides. We hold an unparalleled record in serving Canada's largest



Assessed and treated 1000 cubic metres of soil contamination by diesel oil from a broken, underground pipe

energy producer. Ontario Hydro, as well as diverse external clients. You can trust our experienced, conscientious staff, precision instrumentation, and state-of-the-art facilities to handle a sensitive environmental situation with care.

SPECIAL SERVICES AND ADVANCED TECHNOLOGIES FOR

- Site Assessment (soil and ground-water) - Phase I, Phase II, Remedial investigation and option selection
- Risk Assessment and Risk Management - prioritization among sites, contaminants, and options for

prevention and remediation

- Remediation, particularly Bioremediation of organic compounds
- Surface and Drinking Water Quality - Assessment, Monitoring, and Improvement
- Long Term Monitoring of contaminants and process effectiveness
- Environmental Audit and other "due diligence" reviews

RELATED SERVICES ARE AVAILABLE IN WASTE MANAGEMENT, NUCLEAR WASTE MANAGEMENT, AND ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT AND MITIGATION.

NumBlockParameters, Row, SumObjectsInBlock, WSumObjectsInBlock

• **Trig & Hyperbolic Functions:** Abs, C, Log, Log10, Mod, Power, Sqrt, ACos, ASin, ATan, ATan2, Cos, CosH, Sin, SinH, Tan, TanH

• **Other Functions:** X, Y, If, Index, Interpolate

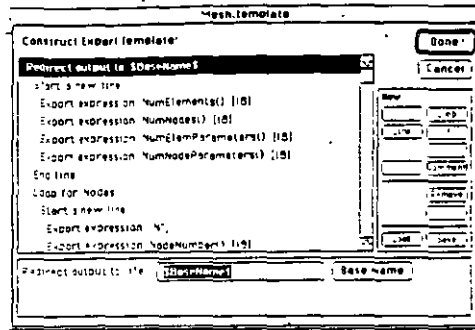
• **Algebraic & Boolean Operators:** *, /, +, -, >, >=, <, <=, !=, &, |

Export to All Your Numerical Models

Whether you develop your own numerical models, use public domain models or work with commercial models, MeshMaker enables you to do your pre-processing in one friendly environment and export the data you linked to your grid and mesh to all your models. Using the Export Template dialog you create an Export Template for each of the models you use and save it to disk. Whenever you need to export your data to a model, just load the appropriate Export Template from disk and choose the Export menu. Using export templates, Argus MeshMaker users ex-

port their data to different models such as:

- All USGS Public Domain models
- Commercial numerical models such as: COSMOS/M, MATLAB, ECLIPSE, etc.
- Self Developed models



Orientation

Find your way in complex domains using:

- User-definable coordinates, scale & units
- Drawing and text annotation tools
- Import DXF, BMP, TIFF, GIF & Bitmap
- Zooming by percent
- "Go to" and "Find" node/element/block
- Layer Hiding - reduces information clutter
- Extensive Search and Query capabilities

General

- Unlimited number of windows
- Unlimited number of layers
- Undo/Redo all commands
- File compatibility across all platforms
- On-screen digitizer

Printing Your Projects

Argus MeshMaker is device independent. Projects can be printed to any output device supported by your system such as: dot matrix, laser printers, postscript printers & plotters.

Protect Your Investment in Hardware

Regardless of the hardware you've purchased, or about to purchase, Argus products run on all your computing platforms.

- **PC Windows Version** - PC 486, 8 Mb RAM, hard disk, and Windows 3.1 or NT.
- **UNIX Workstations Version** - X Windows, call or write for other requirements.
- **Macintosh Version** - Any Macintosh, 8 Mb RAM and hard disk, System 6.0.4 or higher.
- **Power Macintosh Version** - Any Power Macintosh, 16 Mb RAM and hard disk, System - as recommended by Apple.

Argus MeshMaker Pro - Grid & Mesh Modules

The Argus Numerical Environments are designed to support an unlimited number of different types of finite difference grids and finite element meshes. All of the available grid and mesh types are integrated within the Argus Numerical Environments using a consistent user interface. To allow you to purchase only the grid and mesh types you use, the following Argus MeshMaker topological modules can be ordered separately:

Grids finite difference module

The finite difference grid module is the basic entry level module.

To automatically grid even the most complex domains, define the domain and click a magic wand in it. You can easily set different block/cell sizes at different areas of the domain. All grid objects can be linked to information layers to allow you to easily export your data.

Grid and Grid Editing

- Fast Auto Grid Generation for both block centered and grid centered grids
- Unlimited number of blocks/cells
- Intuitive grid density (block size) setting
- Refining of a grid or parts of a grid
- Manual row and column creation
- Click to select grid, blocks, rows/columns
- Grid blocks are linked to information (GIS) layers
- Automatically and manually remove grid blocks to follow the domain's outline
- Assign graphical icons to blocks

Triangular finite element module

The triangular finite element module is bundled with the finite difference module.

To automatically mesh even the most complex domains, define the domain and click a magic wand in it. You can easily set different element sizes at different areas of the domain. All mesh objects can be linked to information layers to allow you to easily export your data.

Triangular Meshing and Mesh Editing

- Fast Auto Mesh Generation, 1000 elements in under a minute on PC and Mac and under 5 seconds on UNIX workstations
- Unlimited number of nodes and elements
- Auto mesh multiple domains at once
- Refine and Smooth a mesh
- Nodes & Elements are linked to information (GIS) layers
- Renumber (band width optimization)
- Manually create, move & reshape elements
- Assign graphical icons and alpha-numeric values to nodes and elements

Quadrilateral finite element module

The quadrilaterals finite element module is bundled with the finite difference module.

To automatically mesh even the most complex domains, define the domain and click a magic wand in it. You can easily set different element sizes at different areas of the domain. All mesh objects can be linked to information layers to allow you to easily export your data.

Quadrilateral Meshing and Mesh Editing

- Fast Auto Mesh Generation, 1000 elements in under 2 minutes on PC and Mac and under 10 seconds on UNIX workstations
- Unlimited number of nodes and elements
- Auto mesh multiple domains at once
- Refine and Smooth a mesh
- Nodes & Elements are linked to information (GIS) layers
- Renumber (band width optimization)
- Manually create, move & reshape elements
- Assign graphical icons and alpha-numeric values to nodes and elements

Argus Numerical Environments

General Purpose Finite Element and Finite Difference Numerical Pre-Processors

For Windows, Unix Workstations, Macintosh and Power Macintosh

Argus Interware, Inc. offers numerical pre-processing tools for a wide range of engineering applications. **Argus MeshMaker** is comprised of a variety of modules including a **Finite difference grids** module, a **Triangular finite element** module and a **Quadrilateral finite element** module, all integrated within the Argus Numerical Environments.

Argus MeshMaker enables you to easily and intuitively prepare your data for any modeling package, finite element as well as finite difference based. By automatically linking the physical data you enter in GIS layers to grid blocks or mesh nodes and elements, Argus MeshMaker keeps your data reusable. **Changing your mesh or grid doesn't require you to re-enter your data.**

MeshMaker's Workplace

MeshMaker's workplace, different types of information re-created, edited and maintained in separate CAD-like layers. The number of layers is unlimited.

Mesh Layers

A mesh is created using automatic mesh generation tools. With interactive editing tools the mesh can be easily edited by point, click and drag techniques.

Grid Layers

A grid is created using auto gridding tools. Rows and columns can be manually added and deleted, the grid can be resized and relocated, and blocks are automatically moved to follow the domain's outline. Block Centered and Gnd Centered Grids are supported.

Domain Outline Layers

The domain's outline is created using on-screen digitizing tools or imported DXF files. The outline specifies the domain to be discretized, and the desired mesh/grid densities. A domain outline may contain internal discontinuities, river or fault lines and point sources.

Information (GIS) Layers

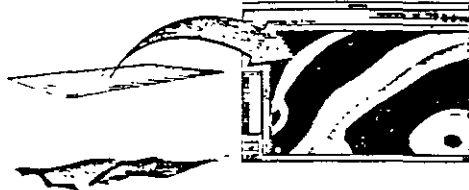
Information Layers enable you to incorporate, visualize, and edit the spatial distribution of any physical parameter such as topographical data, material properties, geographical information, initial and boundary conditions, sources and sinks, etc. The data can be automatically assigned to meshes and grids.

Orientation Layers

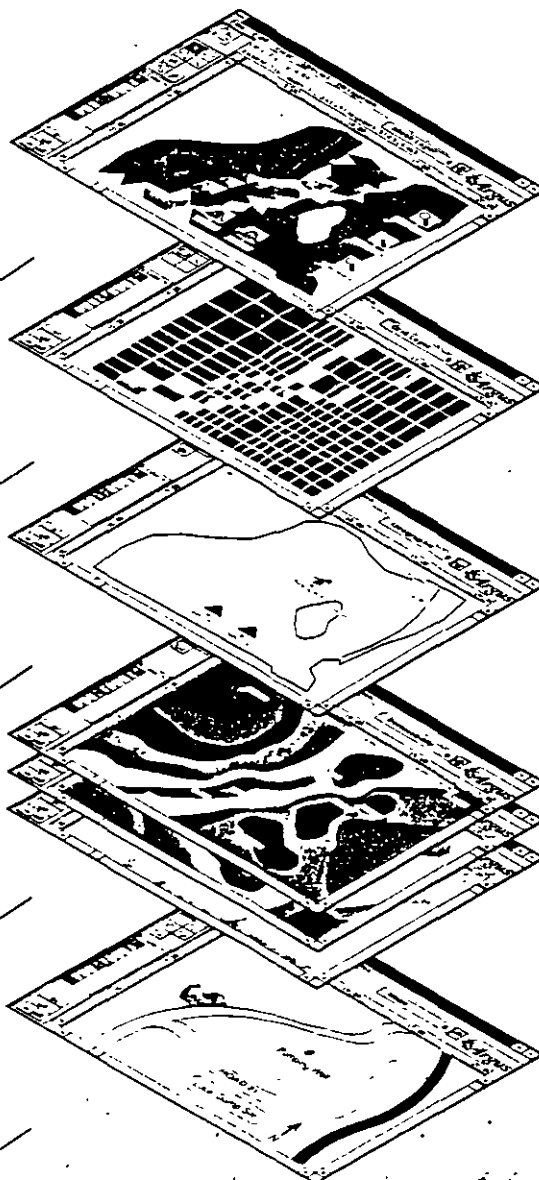
Background maps can be drawn or imported into Orientation Layers to facilitate orientation within complex geographical and topological domains. Bitmap as well as vector formats are supported. Arcs, circles, lines and rectangles can be created and copied into other orientation, information and domain layers.

Bringing in Your Data

By importing information from ASCII and DXF files, digitizing from background pictures and using point & click contouring tools you describe the spatial distribution of continuous and discrete information and store it in information (GIS) layers. In Information



layers you can store topographical data, material properties, geographical information, initial and boundary conditions, sources and sinks, etc. The information you bring into the



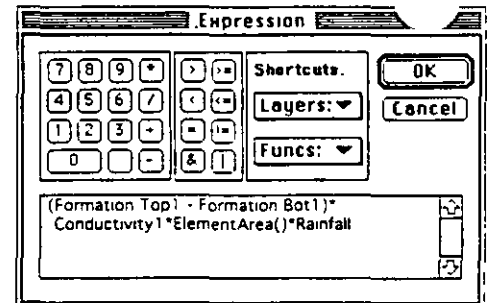
MeshMaker workplace can be used to refine the domain to be meshed or grided, to affect the mesh and grid density, and it can also be automatically linked to mesh nodes and elements and to grid blocks/cells.

Linking Your Data to Meshes & Grids

Link your information layers to Grid and Mesh objects and MeshMaker automatically assigns them their respective values in each of the information layers. When you refine your grids or meshes MeshMaker automatically reassigns them their new values.

Calculating Complex Expressions

To easily calculate complex expressions use MeshMaker's expression editor and the abundance of functions supplied. You can calculate the "Thickness" of a geological formation, the mass through an element or a block, the length of a "River" or "Fault" crossing an element or a block and the mass it contributes to them. You can also interpolate any parameter onto a grid or a mesh. Using these powerful tools will save you many programming hours.



To incorporate functions and layers names in expressions, pop-up the Funcs & Layers menus and choose the layer or function.

- **Mesh Functions:** MeshArea, NumElements, NumElemParameters, NumNodeParameters, NumNodes, NumParameters
- **Element Functions:** ElementArea, ElementNumber, ElementOnBoundary, GCenterX, GCenterY, MinAngle, NthAngle, NthNeighbourNum, NthNodeNum, NthSideCenterX, NthSideCenterY, NthSideLength
- **Node Functions:** NodeEffectiveArea, NodeNumber, NodeOnBoundary, PositionX, PositionY
- **Grid Functions:** ActiveArea, NumColumns, NumParameters, NumRows, TotalArea, NthColumnPos, NthRowPos
- **Block (Cell) Functions:** BlockArea, BlockActive, BlockOnBoundary, Column, CountObjectsInBlock, NthBlockSideLength.

GMS

Groundwater Modeling System

The Department of Defense GMS is a comprehensive graphical modeling environment designed for the simulation of ground-water flow and transport. The interface is written, however, so that it can be used for any type of 2D or 3D modeling.

GMS integrates and simplifies the process of ground-water flow and transport modeling by bringing together the majority of the tools needed to complete a successful study. Features include site characterization, two- and three-dimensional mesh generation, graphically-based model input for finite-element and finite-difference flow and transport codes, interpolation and geostatistics, DXF input and output, as well as complete 3D visualization.

GMS is available in both the UNIX X-Windows and Microsoft Windows environments. A common user interface, developed on both of these platforms takes full advantage of graphical interaction and editing techniques. The GMS interface is divided logically into nine well-integrated, task-oriented modules. These modules are: Triangulated Irregular Networks - Borehole Data - Solid Models - 2D Meshes - 2D Grids - 2D Interpolation - 3D Meshes - 3D Grids - 3D Interpolation.

MODFLOW

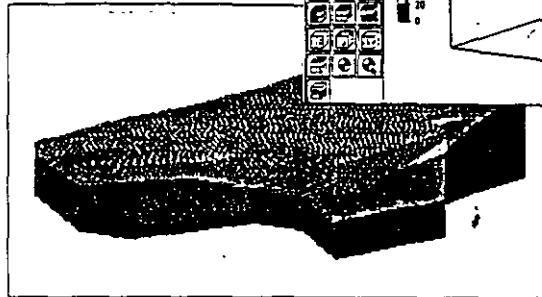
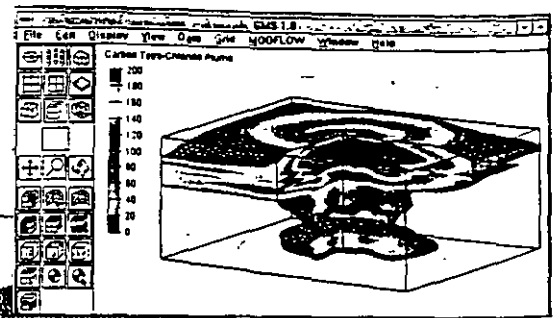
GMS is the most advanced pre and postprocessor available for the USGS ground-water model, MODFLOW. Fast point-and-click methods can be used to assign aquifer properties and boundary conditions. Intuitive dialogs, used to set up each of the MODFLOW packages, can also be used. Model calibration can be streamlined using the GMS gages tool. Close coupling with the GMS interpolation and geostatistics tools enable seamless definition of initial conditions and material properties.

MT3D

GMS also provides an extensive graphical interface to the contaminant transport model, MT3D. The MT3D interface has been coupled with the MODFLOW interface to allow fast and efficient transport solutions utilizing the head and flow results from a preceding MODFLOW simulation.

FEMWATER

FEMWATER is a fully three-dimensional finite-element flow and transport model. It provides density driven, coupled flow and contaminant transport in both saturated and unsaturated conditions. GMS produces a fast and efficient integration of preprocessor, analysis and solution.



3D Visualization

GMS has coupled the most advanced flow and transport codes available with the state-of-the-art in scientific visualization. From simple two-dimensional contour plots of head and drawdown to fully three-dimensional, rendered iso-surfaces of contaminant plumes, it is second to none in graphics and visualization.

Geostatistics

GMS has integrated a variety of two- and three-dimensional geostatistical and interpolation schemes within the system. A graphical interface to the standard Kriging libraries, GSLIB, enables rapid and intuitive generation of experimental and model variograms. Kriging and other methods can be used to characterize two- and three-dimensional contaminant plumes or for defining initial conditions and material properties for ground-water models.

Animation

The only way to truly visualize transient solutions is by utilizing animation. The GMS "film loop" tool enables rapid generation of animations depicting drawdowns and head changes over time as well as two- and three-dimensional migration of contaminant plumes.

Site Characterization

GMS provides an extensive set of tools for modeling the stratigraphy of an existing site. Borehole data in the form of ASCII input files can be used to graphically build solid models of subsurface features. Fence diagrams and cross sections can be quickly defined to illustrate these features.

Automated Mesh Generation

One of the most time-consuming parts of a modeling project is the generation of the computational mesh. GMS automates the process with its comprehensive set of tools for generating two- and three-dimensional finite-element and finite-difference grids. Some of these tools include utilizing site maps directly from AutoCAD to define boundaries and interior features. Boreholes can be used to build three-dimensional finite elements. Graphical editing tools can also be used to modify an existing mesh.

Requirements: Windows: PC 386/486/Pentium running Microsoft Windows 3.1, 16 MB RAM (32 MB RAM recommended), and math coprocessor. **UNIX X-Windows:** IBM RS6000, Sun SparcStation, HP 9000 Series 700/800, Silicon Graphics, and DEC Alpha.

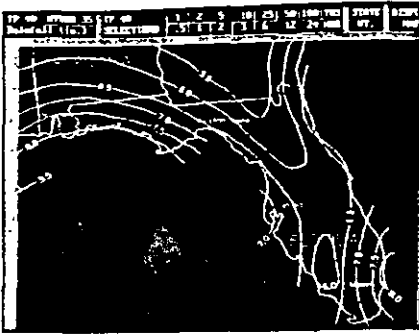
Prices:

	Windows/X-Windows
*MODFLOW Pkg (grids, MODFLOW interface)	\$ 900/\$1,400
*MODFLOW/MT3D Pkg (grids, MODFLOW/MT3D interface)	\$1,250/\$1,900
*FEMWATER Pkg (meshes, subsurface characterization, FEMWATER interface)	\$1,850/\$2,750
Geostatistics Pkg (grids, geostatistics)	\$1,000/\$1,550
*Geostatistics Component for above packages	\$ 650/\$1,000
Universities - 50% Discount	

Total Package

\$3,500/\$5,500

HYDROLOGY SYSTEM



Watershed Modeling

Designed for hydrologic analysis of both simple and complex drainage basins, use as a tool for determining runoff from various historical and synthetic storms and in modeling flood control measures such as detention basins with various outlet structures.

- Unit hydrographs—SCS triangular, SCS curvilinear, Snyder, and Rational methods; define storms with actual hydrographs or synthetic distributions.
- Run-off hydrographs—compute hydrographs from unit hydrographs, Rational method, Santa Barbara Urban hydrograph, manual hydrographs, ability to import hydrographs, combine hydrographs at any point, up to 100 hydrographs of any type.
- Interdependent hydrologic operations—view the entire watershed computational sequence, upstream data edits automatically affect downstream results allowing easy sensitivity analysis.
- Design storms—SCS 24-hour distributions (Types I, IA, II, IIA, and III), synthetic storms of any duration and return period, ability to input precipitation hydrographs, IDF curves input by user or generated by using FWHA HEC #12 methodology.
- Channel and reservoir routing—Muskingum, Modified Att-Kin, and Convex channel routing methods; Storage Indication and Modified Puls reservoir routing methods; multiple storm routing through a reservoir with one pass.
- Detention ponds—stage-storage curves defined with equation or user-input data; approximate storage volume computations with linear, SCS TR55, and modified Rational methods.
- Outlet structures/rating curves—stage-discharge rating curves developed for multiple or individual outlet structures; many types of hydraulic devices defined, maximum of 100 structures per data file.
- Output graphics/reports—multiple hydrographs of any type, stage-storage, stage discharge rating curves, and sche-

matic of watershed computational operations; port capability to DXF files.

Water Surface Profiles

Designed to compute water surface profiles through channels, culverts, and bridges, produces a comprehensive and effective hydraulic analysis of the effects of planned land development. Performs English or metric calculations.

- Standard methodology—HEC-2, Bernoulli energy equation, diverging/converging (eddy) losses, backwater curves.
- Analyzes flow in open channels—any shape and size, individual n-values and reach lengths for left and right overbank.
- Analyzes flow through bridges—modified standard step, computes pressure and/or weir flow based upon pier and abutment locations.
- Analyzes flow through culverts—multiple barrel circular and/or box culverts; entrance losses, weir and orifice coefficients; evaluates inlet and outlet control; computes pressure and/or weir flow.
- Analyzes critical and super critical flow regimes—determine critical depth, initial and final depths through hydraulic jumps, modeling at varying flow rates.
- Output graphics/reports—cross sections, profiles, and plan view.

Storm Sewers

Now Inside AutoCAD 12

Designed to compute the hydraulic grade line and to design and analyze any new or existing storm sewer system. Make adjustments to new designs or modify existing collection networks, immediately receive a complete system analysis. Performs English or metric calculations.

- Computes hydraulic grade line—Bernoulli energy equation; standard step method; Manning's equation for friction losses; up to 500 lines per project under partial, full or surcharged flow conditions; junction losses at manholes, inlets, and J-boxes using several methods.
- Model existing and/or design new systems—easily add pipes to existing systems; insert new and/or remove old lines; user-defined design constraints include pipe size, minimum velocity, minimum depth of cover, maximum/minimum slopes, and/or invert elevations; circular and/or box sections.
- FWHA HEC #12 capabilities for inlets—design new and/or analyze existing curb, grate, slotted, or combination inlets; choose uniform or composite cross sections; user-defined coefficients, percent

capture, spread, and clogging fraction; by-passed flow is shunted to next in

- Design flows—Rational method and/or user input, IDF curves input by user or generated using FWHA HEC #12 methodology.
- Output graphics/reports—IDF curves, sewer line profiles including HGL, network plan views; export capability to DXF files.

Sanitary Sewers

Now Inside AutoCAD 12

Designed to model complex networks in full and/or partial flow, full design capabilities, size pipes and set invert elevations, and hydraulically model lift stations with multiple pumps. Performs English or metric calculations.

- Computes hydraulic grade line—Bernoulli energy equation; standard step method; Manning's equation for friction losses; up to 500 lines per project under partial, full or surcharged flow conditions; junction losses at manholes, inlets and J-boxes.
- Models existing and/or design new systems—easily add pipes to existing systems; insert new and/or remove old user-defined design constraints include pipe size, minimum velocity, minimum depth of cover, maximum/minimum slopes, and/or invert elevations; circular and/or box sections.
- Pump stations—user-defined multiple pump performance curves, up to 3 pumps per force main, pump on/off elevations, discharge piping losses, system operating points computed as required.
- Design flows—land use analysis or user-defined flows including infiltration rates and peak flow factors.
- Output graphics/reports—pump and system curves, sewer line profiles including HGL, network plan views; export capability to DXF files.

Requirements: PC-386/486 with 4 Mb RAM, math coprocessor, VGA or higher graphics card and display, and toll-free telephone support.

Prices:	
(STAND ALONE)	
WATERSHED MODELING	\$ 695
SURFACE PROFILES	\$ 695
STORM SEWERS	\$ 695
SANITARY SEWERS	\$ 695
(AUTOCAD)	
STORM SEWERS	\$ 895
SANITARY SEWERS	\$ 895

WHAT OUR CUSTOMERS SAY ABOUT US

"Ontario Hydro Technologies has a very high level of expertise in atmospheric modelling, from short-range dispersions to large scale air quality studies. This has allowed them to make significant contributions to the on-going Canadian No_x/VOC Management Plan. Their current involvement in the development of a more sophisticated and powerful air quality modelling system will be invaluable to the progress of this program."

Dr. A. McMillan

Chief, Science Assessment and Policy Integration

Atmospheric Environment Service
Environment Canada —

OHT'S SERVICES

Emission Measurements

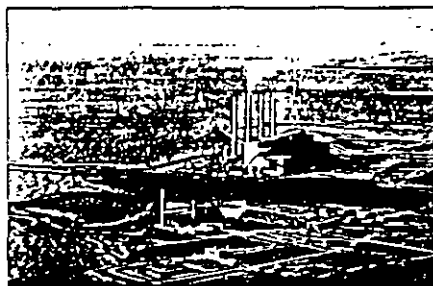
- Stack emission testing using standard reference methods
- Emission testing support of control technology studies
- Specialized sampling methods for stack emissions (e.g. mercury and chromium speciation)
- Specialized sampling protocols for Certificate of Approval testing of other processes

Atmospheric Modelling

- Short-range dispersion for both simple and complex scenarios, including multiple sources, shoreline settings, and varying meteorological stability conditions
- Reactive plume simulations to assess downwind effects of industrial and urban sources of ozone precursors
- State-of-the-science large scale modelling to study air quality related to pollutants such as ozone and acid rain
- Assessment of environmental impacts and risks to human health, agriculture, building materials and lake acidification from air pollutants

Ambient Air Monitoring

- Operation of sophisticated air monitoring stations for measurement



Ontario Hydro's Lakeview Generating Station

- of ozone, sulphur dioxide, nitrogen oxides and carbon monoxide, including the capability for very sensitive mercury measurements
- Mobile monitoring system for tracking in-plume mercury concentrations at ground level

BENEFITS

- Provides an accurate and up-to-date inventory of stack emissions
- Assesses environmental impact of stack emissions and effects of operational changes
- Enhances operational and environmental decision making processes
- Ensures worker safety and protection
- Demonstrates compliance with operational and regulatory requirements

TAKE ADVANTAGE OF OUR TEAM'S EXPERIENCE AND EXPERTISE IN AIR EMISSIONS CHARACTERIZATION AND MODELLING. CALL OHT TODAY TO DISCUSS YOUR UNIQUE NEEDS.

GENERAL ENQUIRIES: MARKETING OFFICE, 800 KIPLING AVENUE, TORONTO, ONTARIO, CANADA, M8Z 5S4

TEL: (416) 207-6800, FAX: (416) 207-5555

TECHNICAL ENQUIRIES: MEASUREMENT: KEITH CURTIS, TEL: (416) 207-6150, FAX: (416) 207-6094

MODELLING: XIUDE LIN, TEL: (416) 207-6403, FAX: (416) 207-5550

AMBIENT AIR: TOM JARV, TEL: (416) 207-5703, FAX: (416) 207-6094

Air Emissions Characterization and Modelling



Computer simulation of an ozone episode over eastern North America

ONTARIO HYDRO TECHNOLOGIES (OHT) HAS A UNIQUE ATMOSPHERIC EMISSIONS ASSESSMENT CENTRE FOR UTILITY AND PROCESS INDUSTRIES. OHT HAS BEEN MEETING CLIENTS' NEEDS FOR MORE THAN 20 YEARS THROUGH ITS COMPREHENSIVE MODELLING EXPERTISE AND SOFTWARE, WITH A RANGE OF SERVICES THAT INCLUDES ATMOSPHERIC EMISSION MEASUREMENT AND MODELLING, AND AMBIENT AIR MONITORING.

THE CHALLENGE

Are you in the electrical power, steel, pulp and paper, oil, gas or mining industry and are you concerned about the identification and environmental impact of atmospheric emissions from your stacks? Have you received public complaints or concerns about these emissions? Do you need to make an operational decision based on comparisons of emissions from a number of your facilities? Do you need to demonstrate that you are meeting all government environmental and testing regulations?

THE SOLUTION

OHT can help with your unique needs! Our team of experienced scientists and engineers has the expertise, equipment and facilities to provide a variety of short-range and long-range air emission characterization and modelling services. For example, our evaluation and comparison of your stack emissions can help you determine which facilities to operate, retrofit, or mothball. And we can help demonstrate that your industry complies with all government regulations.

OHT'S EXPERTISE

The experts at OHT have worked successfully with the Ontario Ministry of Environment and Energy, Environment Canada and the U.S. Department of Energy on various air emissions projects. And we continue to work with numerous industries to help with their individual needs. For more than 10 years we have been assessing the environmental impact of current conditions and future scenarios of electricity generation for Ontario Hydro, the largest electric utility in Canada.

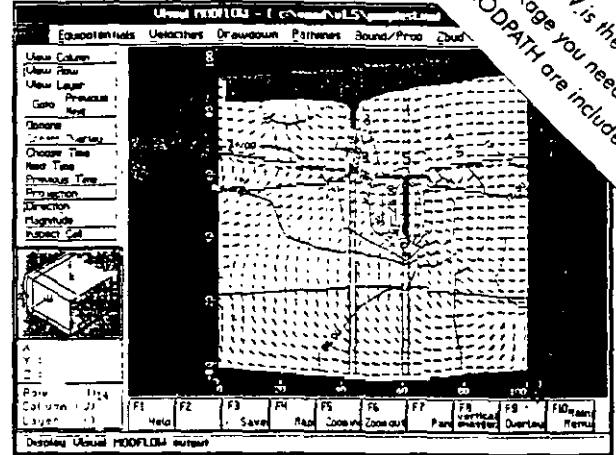
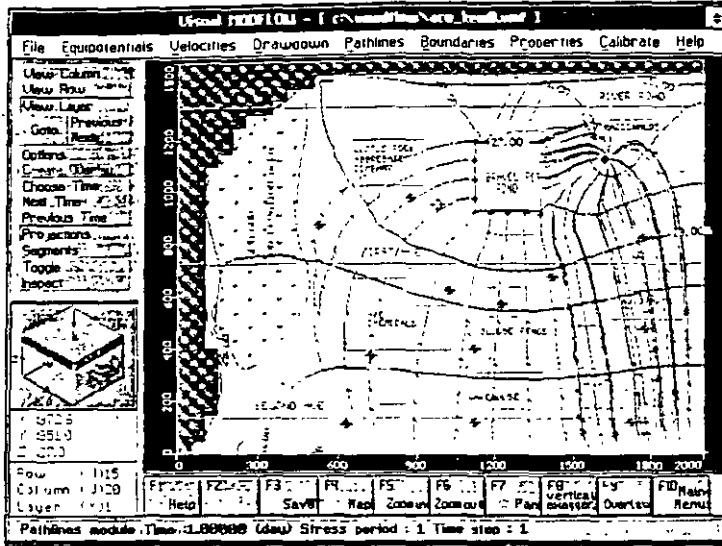
Introducing

Visual MODFLOW

Version 1.5

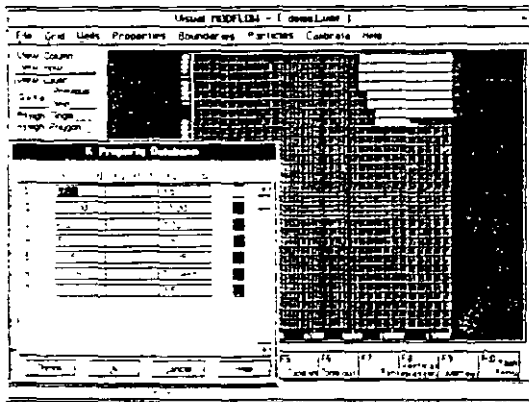
The first fully-integrated, 3-D modeling platform to unite the USGS's MODFLOW and MODPATH into one seamless package

For 3-D groundwater flow simulations, Visual MODFLOW is the only software package you need! MODFLOW and MODPATH are included

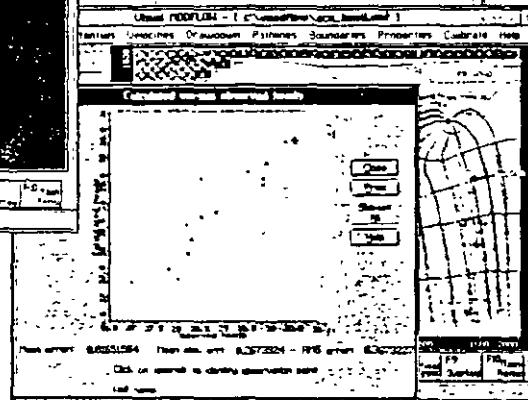


Easily switch between plan-view and cross-section

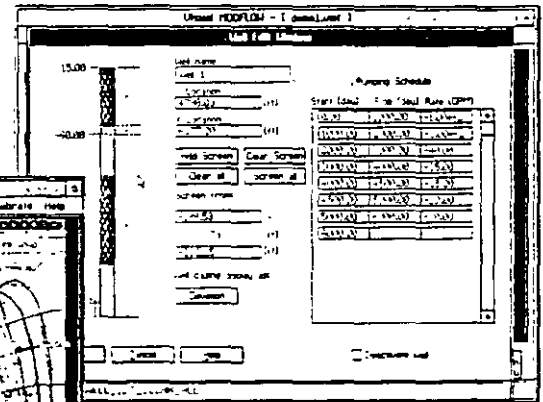
Design and modify the flow system, run the analyses, calibrate the results, and view the output without ever leaving the Visual MODFLOW environment



Aquifer parameters graphically assigned in a CAD environment

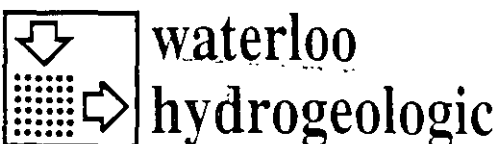


Display calibration results



Intuitive handling of well design and pumping schedules

"This is the modeling platform I have been waiting for. It makes the use of MODFLOW and MODPATH easier and more efficient than ever before." Michael G. McDonald, principal author of MODFLOW



SOFTWARE • CONSULTING • TRAINING

For more information or a demonstration diskette contact:

Waterloo Hydrogeologic, Inc.

180 Columbia Street W., Unit 1104

Waterloo, Ontario, Canada, N2L 3L3

Phone (519) 746-1798; Fax (519) 885-5262

Email WHS@CGRNSERC.UWATERLOO.CA

Circle Fast Action No. 266

FLOWPATH

Version 5.2

With over 5,000 Users worldwide, FLOWPATH is the most proven and accepted 2-D flow and pathline model

Now introducing a NEW SOLVER! Efficient PCG-Stab Solver converges up to 50X faster!

Fully-Integrated

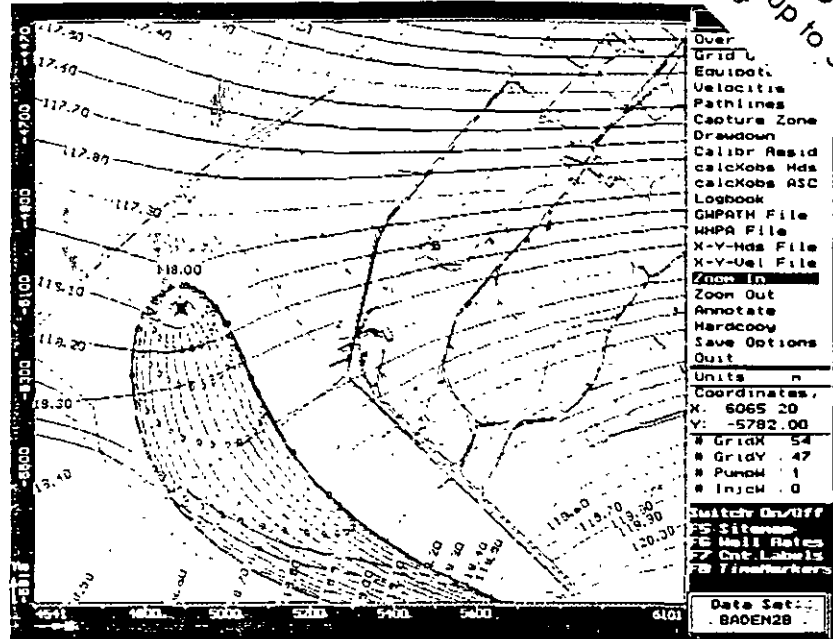
CAD modeling environment allows the user to:

- Design the flow system,
- Run the simulations, and
- Visualize the results

All in one easy-to-use package

Typical Applications

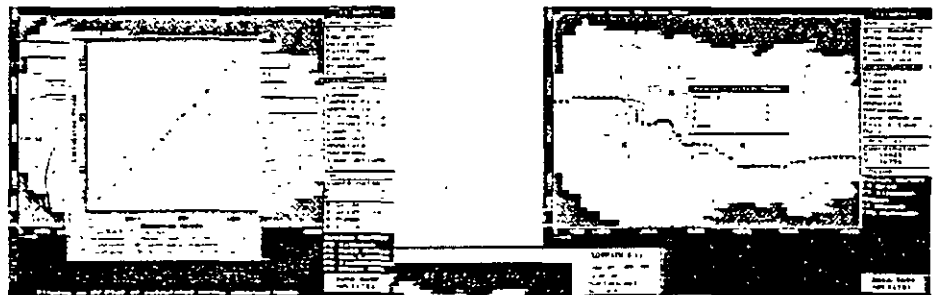
- Remediation system design
- Wellhead protection studies
- Capture zone simulations
- Site dewatering design
- Preferred pathways delineation for risk assessments



Capture zone simulation for a heterogeneous, anisotropic aquifer

Comprehensive Analysis

The unique design flexibility provided by FLOWPATH allows for the simulation of real world, complex flow problems (e.g. complex boundary conditions, multiple wells, irregular model domains, and heterogeneous aquifers) and overcomes the inherent limitations of analytically-based models such as WHAEM, WinFLOW, QuickFLOW and TWODAN.



Display calibration residuals and stats

Input complex boundary conditions (e.g. rivers and drains)

Full-color hardcopy output of all modeling results

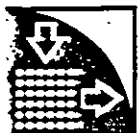
Circle Fast Action No. 266

Regulatory Approvals

- Approved and used by the U.S. EPA
- Reviewed and recommended by the IGWMC
- Official model for wellhead protection studies in England

Don't be fooled by simpler groundwater flow and pathline models. For real world problems and defensible results, GET FLOWPATH!

For more information or a demonstration diskette contact



waterloo hydrogeologic

SOFTWARE • CONSULTING • TRAINING

Waterloo Hydrogeologic, Inc.
180 Columbia Street West - Unit 1104
Waterloo, Ontario, Canada, N2L 3L3
Email whs@cgrnserc.uwaterloo.ca
Ph. (519) 746-1798, Fax (519) 885-5262

Other Waterloo Hydrogeologic software products include: Visual MODFLOW, FLONET/TRANS, AIRFLOW/SVE and PRINCE

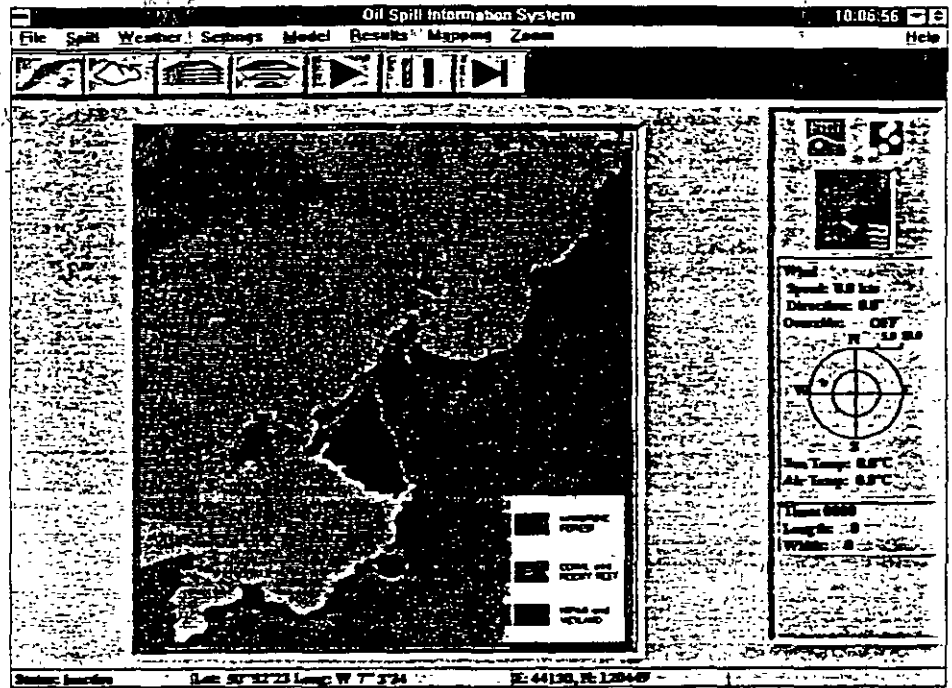
Software predice las condiciones de derrames de petróleo y ayuda a contener desastres marinos

Los riesgos inherentes en la explotación y el transporte de petróleo, y las desastrosas consecuencias ambientales, económicas y políticas de derrames petroleros se han demostrado una y otra vez en años recientes. Catástrofes tales como las del Exxon Valdez, el MV Braer y el Mar Egeo han vertido más de 180 millones de litros de petróleo en el ambiente marino entre 1991 y 1992. El autor Paul Jarman nos informa sobre un nuevo sistema de software que ha demostrado ser eficaz para predecir las condiciones de derrames petroleros y ayudar a contenerlos.

Aunque la fuente más grande por sí sola de contaminación, el 25 por ciento, proviene de escorrentía de ríos, la fuente del 12 por ciento de la contaminación petrolera total es su transporte. Las industrias del gas y petróleo y del transporte se han conseguido expuestas a más responsabilidades consecuentes y bajo una presión intensificada de gobiernos y grupos conservacionistas para reducir el número de derrames mediante medidas preventivas y limitar el impacto ambiental en caso de uno.

En respuesta a cambios recientes en la legislación internacional, tratados y responsabilidad ambiental, ha habido un incremento repentino en la actividad de compañías que ofrecen apoyo técnico. Una organización, British Maritime Technology (BMT) se ha inspirado de más de 30 años de experiencia para proporcionar a varios sectores de la industria de alta mar con lo último en tecnología de informática de punta. En colaboración con el laboratorio Warren Spring del gobierno británico, BMT combinó su pericia oceánica y sofisticado desarrollo de software con los años de experiencia de Warren Springs en la investigación de derrames petroleros para producir un sistema de monitoreo de derrames avanzado.

El resultado de esta colaboración es el sistema basado en Windows OSIS (Oil



El Sistema de Información de Derrame Petrolero se usó en operaciones a por primera vez en el incidente del Braer en las islas Shetland.

Spill Information System, o Sistema de Información de Derrames Petroleros). El sistema está diseñado para proporcionar todas las informaciones pertinentes que requiere un equipo de expertos para vigilar la trayectoria de un derrame, la velocidad a la que se extiende, el área probable de impacto del litoral y las propiedades físicas anticipadas del petróleo.

Predicir el movimiento de petróleo en el mar no es una tarea fácil: está influenciado por un número de procesos físicos imprevisibles. Crudo derramado en el mar también pasa por una variedad de cambios que pueden ser dramáticos y pueden iniciar modificaciones considerables en el comportamiento del petróleo en el agua, así como pueden crear problemas inesperados para la operación de limpieza.

Una vez que ocurre un derrame, es vital que los equipos de respuesta tengan una evaluación tan rápido como sea posible del destino probable del petróleo, con el fin de determinar qué zonas costeras van a ser afectadas y cuál debería ser la reacción más apropiada.

Debido al hecho que la viabilidad de la gestión de respuesta a un derrame significa que depósitos de equipos de limpieza de emergencia sólo pueden encontrarse en unas cuantas ubicaciones estratégicas en una región determinada, la logística para movilizar el equipo por largas distancias y a áreas remotas puede ser considerable. Bajo las influencias meteoceánicas, los derrames petroleros se extienden rápidamente y se vuelven sumamente difíciles de gestionar. La

capacidad de predecir la posición, la extensión y el destino de un derrame petrolero es por consiguiente fundamental para una respuesta eficaz. Con esta información, se pueden tomar las decisiones clave con respecto al despliegue de los equipos de respuesta, a la aplicación de dispersantes y al uso de equipos mecánicos de manera más eficiente.

Para responder a estas preguntas, se debe tomar en cuenta el tipo de petróleo, el tamaño y la ubicación del derrame y las condiciones ambientales: En el pasado, estas observaciones se han realizado de barcos o de aviones, pero equipos modernos de respuesta requieren de un grado de exactitud y de la capacidad de predecir acontecimientos que sólo modelos sofisticados de computadora como el sistema OSIS pueden proporcionar.

Estos sistemas ofrecen pronósticos precisos y en tiempo real y se pueden usar en un número de aplicaciones. No sólo son utilizados por un equipo de respuesta en el sitio, pero son un instrumento para entrenamientos, la planificación en caso de emergencias y el análisis de los riesgos.

El estado físico del petróleo derramado es vital para la gestión de una operación de limpieza. Durante el proceso de exposición a las intemperies, las fracciones más volátiles del petróleo se evaporan y su viscosidad aumenta para formar una emulsión de agua en aceite cuya mejor descripción es de "mousse de chocolate". Una vez que se vuelve una mous-

se, el petróleo va no se puede tratar con dispersantes pero requerirá de recuperación mecánica especializada.

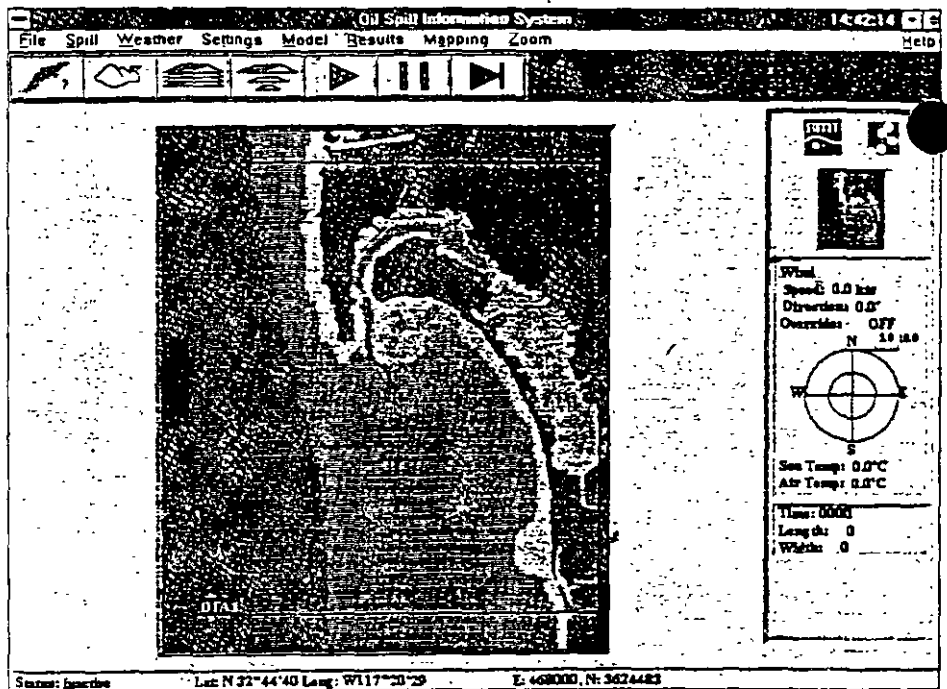
OSIS toma en cuenta la evaporación, la emulsificación y la dispersión del petróleo en la columna de agua, al igual que sus cambios de densidad. Estas son todas variables que cambian con las condiciones marinas y el tipo de petróleo que inicialmente se derramó.

El OSIS, usando el ambiente Windows de Microsoft, le proporciona al usuario una visualización gráfica clara del derrame, con acceso al modelo por medio de una ventana accionada por el ratón y la interconexión con el menú. OSIS suministra un despliegue gráfico de la extensión del petróleo en un mapa local, y puede desplegar otros datos geográficos definidos por el usuario, tales como la batimetría, las áreas sensibles, las reservas naturales y los almacenes de equipos.

BMT ya tiene mucho del detalle oceanográfico general que se requiere para hacer funcionar el OSIS para la zona costera del Reino Unido. A medida que crece la demanda del sistema, BMT actualizará aún más su banco de datos de la oceanografía regional y local del mundo para que el OSIS se pueda aplicar a cualquier tramo de litoral del mundo. El sistema ya se está usando en líneas costeras tan distantes como Indonesia y Omán.

Después de algunos años de desarrollo y de uso en ejercicios mayores de entrenamiento y de gestión de crisis, particularmente los realizados por British Petroleum en el Estuario de Forth, el sistema OSIS se usó en operaciones actuales por primera vez durante el incidente del Braer en las islas Shetland. El incidente del Braer proporcionó una oportunidad importante para el OSIS, y según Andrew Tyler, el especialista de BMT responsable de crear el sistema, "el incidente del Braer ayudó a validar aún más el sistema OSIS bajo condiciones operativas reales. BMT y Warren Spring Laboratory pudieron asistir a la Unidad de Control de Contaminación Marina y al Centro de Servicio de Derrames Petroleros con informaciones valiosas que predecían el movimiento del petróleo y sobre el mejor método de tratamiento de respuesta.

"Las flotas de buques petroleros trabajan a nivel mundial, haciendo que la mayoría de los litorales del mundo estén susceptibles al impacto posible de un derrame de petróleo. Variaciones en tipo de costa, oceanografía local y meteorología y densidades de tráfico hacen que ciertas regiones tengan un riesgo elevado de accidentes que implicarían perjuicios ambientales a gran escala. Las principales compañías petroleras compraron sis-



temas de BMT como parte de su planificación, en caso de emergencias, y lo que es particularmente interesante es que el OSIS se está empezando a integrar en sistemas de gestión de tráfico de buques en ciertas partes del mundo.

"Al desarrollar el OSIS, consultamos varias de las agencias y compañías petroleras implicadas en respuestas a derrames petroleros para asegurarnos que el OSIS, mientras es capaz de realizar modelados oceanográficos de punta, se pudiera aplicar directa y efectivamente a sus necesidades y que fuera también fácil de usar por usuarios no expertos. En calidad de organización, BMT considera la seguridad y la consideración por el medio ambiente áreas problemáticas críticas y enfatiza considerablemente el análisis de riesgos".

Tyler igualmente considera que el OSIS es considerablemente valioso en un rol de planificación en caso de emergencias, donde se puede usar para esumular escenarios hipotéticos que reflejen situaciones potenciales de derrames. Usando datos históricos, se puede lograr una idea de resultados posibles. OSIS también puede ayudar a evaluar el impacto ambiental, construir planes en caso de emergencia, ubicar almacenes de equipos y planificar magnitudes de respuesta.

El OSIS actualmente está siendo utilizado operativamente para la planificación en caso de emergencias y para el entrenamiento, por BY Grangenmouth en el Estuario de Forth, el Gobierno de Omán para todo el litoral del país, el Centro de Servicio de Derrames Petroleros en Southampton, R.E., Caltex en

Hong Kong, Total en el estrecho de Macassar en Indonesia y Shell y Elf para toda la costa del Reino Unido.

BMT ha estado involucrada desde hace mucho tiempo en el desarrollo de programas y software para operaciones en el medio marino. Creó una línea de marca de Sistemas de Información Marina incluyendo el OSIS, el Atlas Numérico de Mareas y sistemas de gestión de tráfico marino. En calidad de organización distribuidora no lucrativa, BMT invierte los beneficios de las actividades comerciales y ventas de sus sistemas en investigaciones adicionales. La compañía recientemente se ha concentrado en el problema de la contaminación orgánica y no orgánica en los estuarios. El resultado es un nuevo sistema basado en principios similares al OSIS, que modelará la dispersión de efluentes industriales en aguas estuarinas.

El autor, Paul W. Jarman, trabaja la compañía británica Industry and Relations, Ltd. (de Londres, Inglaterra), consultores de relaciones públicas para British Marine Technology.