



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

CURSOS INSTITUCIONALES

P E N E X

SUPERINTENDENCIA GENERAL DE DISTRITO

MOVIMIENTO DE TIERRAS

Del 21 al 25 de Noviembre

**Ing. Raul Ibarra Ruiz
Cd. del Carmen, Campeche**

1994

CURSO : MOVIMIENTO DE TIERRAS
DEPENDENCIA: PEMEX
SUPERINTENDENCIA GRAL DE DISTRITO
CD. DEL CARMEN CAMPECHE
FECHA: 21 AL 25 DE NOVIEMBRE DE 1994

TEMARIO

- I . Introducción.- Generalidades sobre el movimiento de tierras.- Equipo disponible.
- II . El movimiento de tierras en la construcción de caminos.
 - II.a.- Curva masa.- Cálculo y propiedades.
 - II.b.- Terracerías compensadas.
- III . Préstamos de terracerías.
 - III.a.- Préstamos laterales.
 - III.b.- Préstamos de banco.
- IV . Localización de préstamos.
 - IV.a .- Pruebas en sitio
 - IV.b .- Pruebas en laboratorio.
- V . Explotación de préstamos.
 - V.a .- Tipos de materiales que se van a excavar.
 - V.b .- Selección del equipo.
 - V.c .- Volumen por excavar.
 - V.d .- Longitud del acarreo
 - V.e .- Tipo del camino de acceso al banco.
- VI . Compactación.
 - VI.a .- Generalidades sobre la compactación.
 - VI.b .- Clasificación de los materiales en compactables y no compactables.
 - VI.c .- Pruebas de laboratorio para determinar el grado de compactación de los suelos.
 - VI.d .- Selección del equipo de compactación.
- VII . Costo Horario de la maquinaria.
- VIII . Rendimiento de la maquinaria.
- IX . Bases y Normas Generales para trabajos de movimiento de tierras.

THE MOVEMENT OF LANDS - EQUIPMENT

GENERAL PRINCIPLES

THE MOVEMENT OF LANDS - EQUIPMENT

TEMA I

GENERALIDADES SOBRE EL MOVIMIENTO DE TIERRAS.-EQUIPO

DISPONIBLE

MOVIMIENTO DE TIERRAS

LAS OBRAS QUE REALIZA LA INGENIERIA CIVIL MEDIANTE EL MOVIMIENTO DE GRANDES VOLUMENES DE TIERRA SON OBRAS DE GRAN IMPORTANCIA QUE CONSTITUYEN LA INFRAESTRUCTURA DE UN PAIS,TALES COMO:

CAMINOS

PERROCARRILES

PRESAS

AEROPUERTOS

SISTEMAS DE IRRIGACION

TUNELES

SISTEMAS DE AGUA POTABLE

Y ALCANTARILLADO

PARA REALIZAR ESTAS OBRAS EL INGENIERO PUEDE
DISPONER PRACTICAMENTE DE TODO EL MATERIAL QUE CONSTITUYE LA
CORTEZA TERRESTRE CON EXCEPCION DE AQUELLOS QUE TENGAN UN
ALTO CONTENIDO DE ARCILLA O MATERIA ORGANICA POR NO
PRESENTAR ESTABILIDAD DEBIDO A LA MODIFICACION NATURAL EN SU
ESTRUCTURA.

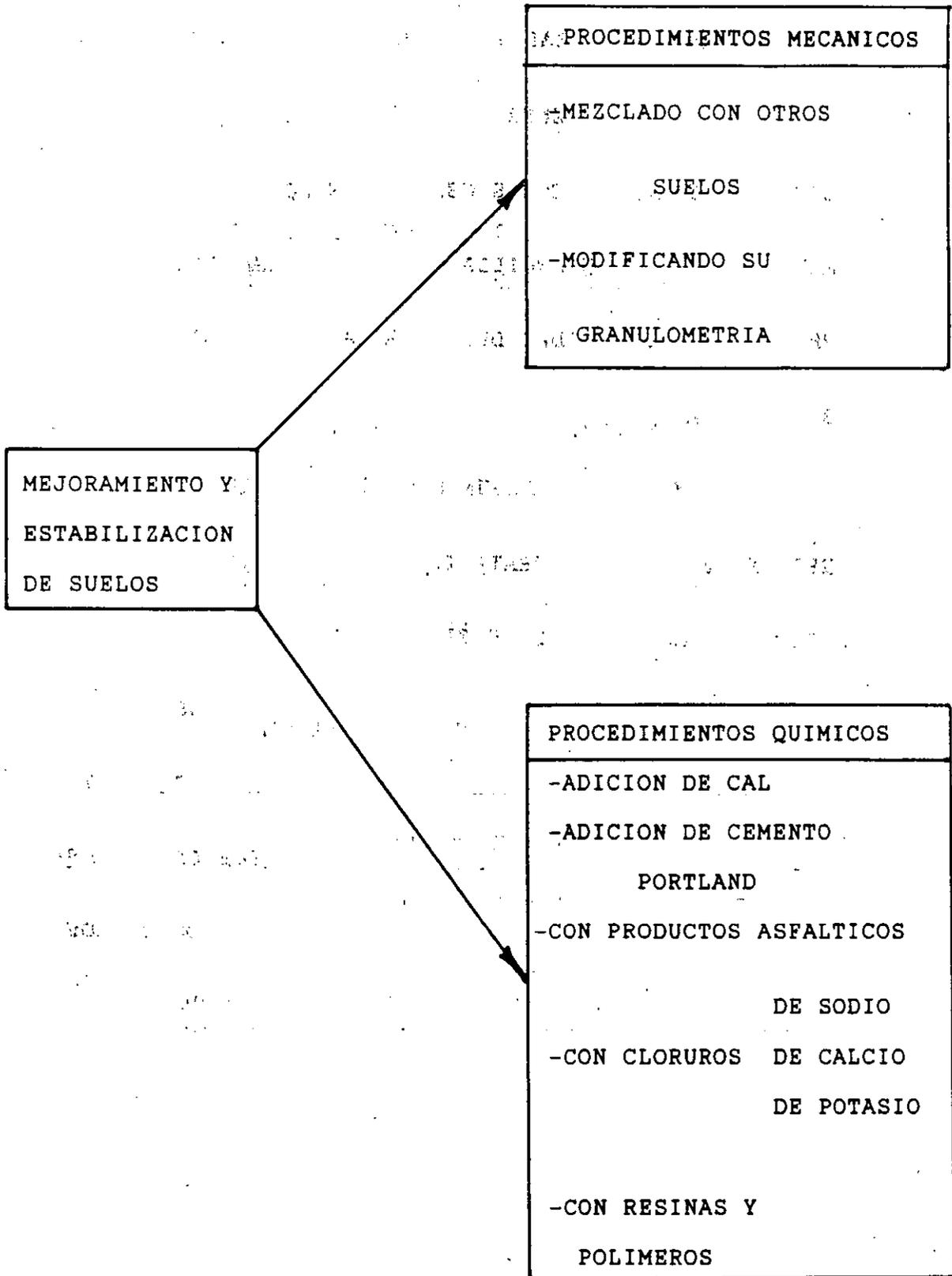
HAY TAMBIEN ALGUNOS MATERIALES QUE PARA UTILIZARLOS
REQUIEREN DE ALGUN TRATAMIENTO QUE PERMITA SU
ESTABILIZACION; SE CLASIFICAN EN:

SUELOS EXPANSIVOS

SUELOS DISPERSIVOS

SUELOS COLAPSABLES

SUELOS CORROSIVOS



LOS SUELOS PUEDEN SER ATACADOS EN FORMA MANUAL O CON MAQUINARIA.

SEGUN EL GRADO DE DIFICULTAD QUE PRESENTEN AL SER ATACADOS SE CLASIFICAN EN TRES GRUPOS SIGUIENTES:

MATERIAL A o I
MATERIAL B o II
MATERIAL C o III

SU DEFINICION DE CADA GRUPO SERA, DE ACUERDO CON LA FORMA DE ATAQUE, LA SIGUIENTE:

ATAQUE EN FORMA MANUAL

TIPO	FORMA DE ATAQUE	NOMBRE
A o I	PALA Y TALACHO	TIERRA
B o II	PALA Y PICO O ZAPAPICO	TEPETATE
C o III	CUÑA, MARRO, COMPRESOR Y EXPLOSIVO	ROCA

CUANDO EL MATERIAL ES ATACADO CON MAQUINARIA SE
DEFINE, SEGUN LAS NORMAS DE CONSTRUCCION DE LA SCT, EN LA
FORMA SIGUIENTE:.

(3-3.2) EL MATERIAL A ES EL BLANDO O SUELTO QUE
PUEDE SER EXTRAIDO CON ESCREPA DE CAPACIDAD APROPIADA PARA
SER JALADA CON TRACTOR DE TIPO ORUGA, DE 90 A 110 H.P EN LA
BARRA, SIN AYUDA DE ARADOS O TRACTOREA EMPUJADORES. POR LO
GENERAL, SE CONSIDERAN DENTRO DE ESTE TIPO LOS SUELOS POCO O
NADA CEMENTADOS CON COMPONENTES DE TAMAÑO (7.5) CENTIMETROS
(3")

(3-3.3) EL MATERIAL "B" ES EL QUE, DEBIDO A LA DIFICULTAD QUE PRESENTA PARA SU EXTRACCION Y CARGA, SOLO PUEDE EXTRAERSE MEDIANTE TRACTOR DE ORUGAS CON CUCHILLA DE INCLINACION VARIABLE, DE 140 A 160 H.P. EN LA BARRA, O BIEN, MEDIANTE PALA MECANICA CON CAPACIDAD DE 1 (UN) METRO CUBICO, POR LO MENOS, SIN EL USO DE EXPLOSIVOS, INDEPENDIENTEMENTE QUE ESTOS SE UTILICEN PARA OBTENER MAYOR RENDIMIENTO. SE INCLUYE TAMBIEN EL MATERIAL QUE PUEDE AFLOJARSE MEDIANTE ARADO DE 6 TONS., JALADO POR UN TRACTOR DE ORUGAS DE 140 A 160 H.P. EN LA BARRA.

EL MATERIAL QUE MAS COMUNMENTE SE CLASIFICA COMO "B" ES EL FORMADO POR ROCAS MUY ALTERADAS, CONGLOMERADOS MEDIANAMENTE CEMENTADOS, ARENISCAS BLANDAS Y TEPETATES

(3-3.4). EL MATERIAL "C" ES EL QUE PARA SER EXTRAIDO SE NECESITA EMPLEAR EXPLOSIVOS. ESTE MATERIAL INCLUYE ROCAS BASALTICAS, ARENISCAS Y CONGLOMERADOS FUERTEMENTE CEMENTADOS, CALIZAS, RIOLITAS, GRANITOS Y ANDESITAS SANAS; TAMBIÉN LAS PIEDRAS SUELTAS MAYORES DE SETENTA Y CINCO (75) CENTIMETROS.

(3-3.5) ADEMÁS DE ESTAS CLASIFICACIONES, SE DEBEN ESTABLECER OTRAS DOS INTERMEDIAS, SEGUN LO REQUIERA EL CASO. POR EJEMPLO: SI PARA EXTRAER Y CARGAR UN MATERIAL, ESTE PRESENTA MAYOR DIFICULTAD QUE EL DESCRITO COMO EL TIPO "A", PERO MENOR QUE EL "B", SE DETERMINARÁ ASIGNÁNDOLE LOS PORCENTAJES QUE CONTENGA DE ESTOS MATERIALES, EN PROPORCIÓN CON LAS CARACTERÍSTICAS MEDIAS DEL MATERIAL DE QUE SE TRATE; IGUALMENTE SE PROCEDERÁ CON EL MATERIAL QUE PARA SU EXTRACCIÓN PRESENTE UN GRADO DE DIFICULTAD MAYOR QUE EL "B", PERO MENOR QUE EL "C".

((3-3.6) PARA CLASIFICAR LOS MATERIALES SE DEBEN
SEGUIR LAS INDICACIONES SIGUIENTES:

A) SIEMPRE CON BASE EN EL GRADO DE DIFICULTAD QUE
PARA SU EXTRACCION Y CARGA PRESENTE UN MATERIAL, ESTE SE
CLASIFICARA COMO A, B O C. A FIN DE ESTABLECER CLARAMENTE EL
TIPO QUE LE CORRESPONDE SIEMPRE DEBEN MENCIONARSE LOS TRES
TIPOS DE MATERIAL, PARA LO CUAL SE HA DE UTILIZAR UNA CLAVE
NUMERICA DE 3 CIFRAS; LA PRIMERA DE ESTAS CORRESPONDERA AL
MATERIAL A; LA SEGUNDA AL MATERIAL B Y LA TERCERA AL
MATERIAL C.

A-B-C

SE REQUIERE QUE $A+B+C= 100\%$

EJEMPLO

100-0-0

50-50-0

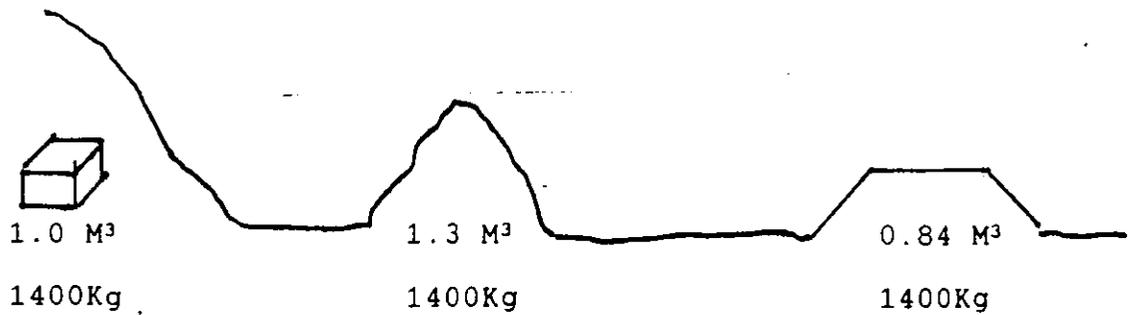
0-30-70

B) SI EL CORTE QUE HA DE CLASIFICARSE ESTA COMPUESTO POR MATERIALES QUE PARA SU EXTRACCION Y CARGA CADA UNO DE ELLOS PRESENTE DIFERENTE GRADO DE DIFICULTAD Y MUESTRA UNA SEPARACION DEFINIDA DE LOS DEMAS, CADA UNO DE ESTOS MATERIALES SE CLASIFICARA POR SEPARADO CONSIDERANDO LOS VOLUMENES PARCIALES; DESPUES PARA DETERMINAR LA CLASIFICACION GENERAL DEL VOLUMEN TOTAL SE CONSIDERARAN LOS TRES TIPOS DE MATERIALES ("A", "B" y "C") EJEMPLOS:

a) UN CORTE ESTA COMPUESTO POR DOS CAPAS DE MATERIAL; UNA DE ELLAS ES DE CLASIFICACION 100-00-00(TIPO A) Y SU VOLUMEN ES 30% DEL TOTAL DEL CORTE; LA OTRA ES DE UN MATERIAL INTERMEDIO, CUYA CLASIFICACION ES 0-50-50 (GRADO DE DIFICULTAD MAYOR QUE B, PERO MENOR QUE C); POR LO TANTO, EL VOLUMEN TOTAL DEL CORTE SE CLASIFICARA 30-35-35.

LOS VOLUMENES DE TIERRA EN LOS TRABAJOS DE
TERRACERIAS` SE MIDEN`

- a) EN BANCO
- b) VOLUMEN SUELTO
- c) VOLUMEN COMPACTO



a) MEDIDO EN

b) VOL.

c) VOLUMEN

BANCO

SUELTO

COMPACTO

AL EXCAVARSE EL MATERIAL EN SU ESTADO NATURAL (EN BANCO) SUFRE UN INCREMENTO EN SU VOLUMEN EL CUAL SE DENOMINA ABUNDAMIENTO.

CUANDO EL MATERIAL SUELTO SE COMPACTA PARA FORMAR UN TERRAPLEN SE REDUCE SU VOLUMEN, A LO QUE LLAMAMOS REDUCCION.

$$\frac{PVS_b}{PVS_s} = \text{COEFICIENTE DE ABUNDAMIENTO}$$

$$\frac{PVS_b}{PVSc} = \text{COEFICIENTE DE REDUCCION}$$

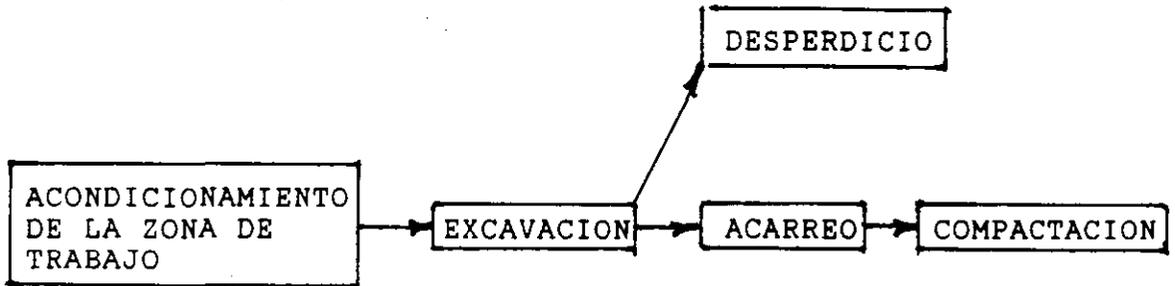
DONDE:

PVS_b = PESO VOLUMETRICO SECO EN BANCO

PVS_s = PESO VOLUMETRICO SECO SUELTO

PVSc = PESO VOLUMETRICO SECO COMPACTO

MOVIMIENTO DE TIERRA



ACONDICIONAMIENTO
DE LA ZONA DE
TRABAJO

DESMONTE

DESPALME

BOMBEO AGUA

O DRENADO

AFLOJADO O

TRONADO DE LA ROCA

SUPERFICIAL

FREATICA

TEMA II

EL MOVIMIENTO DE TIERRAS EN LA CONSTRUCCION DE CAMINOS

II.a. CURVA MASA. CALCULO Y PROPIEDADES.

II.b. TERRACERIAS COMPENSADAS

DENSIDADES APROXIMADAS DE VARIOS MATERIALES*

MATERIAL	Kg/m ³	lb/ft ³	kg/ft ³	lb/ft ³	Factores volumétricos
Carbón	1300	3300	1300	3300	67
Bauxita	1420	2400	1700	3000	75
Caliche	1700	2100	2000	1900	55
Carbónita, mineral de hierro	1600	2750	1800	2700	74
Ceniza	1600	950	800	1450	60
Ardilla, en su lecho natural	1660	2500	2100	3100	82
seca	1150	2500	1800	3100	81
mojada	1800	2600	2000	3500	80
Ardilla y grava, secas	1420	2400	1800	2800	88
mojadas	1540	2600	1800	3100	88
Carbón, antracita en bruto	1100	2300	1100	2700	71
lavada	1100	1650	—	—	74
ceniza, carbón bituminoso	530-650	900-1100	500-600	1000-1500	93
bituminoso en bruto	950	1500	1100	2150	74
lavado	930	1400	—	—	74
Roca descompuesta					
75% roca, 25% tierra	1650	3100	2700	3700	70
50% roca, 50% tierra	1720	2900	2700	3400	70
25% roca, 75% tierra	1570	2650	1900	3000	69
Tierra, Apisonada y seca	1510	2550	1900	3200	80
Esparcida y mojada	1600	2700	2000	3400	73
Marga	1250	2100	1500	2500	61
Granito fragmentado	1660	2800	2700	4600	81
Grava: Como sale de cantera	1930	3250	2700	3600	84
seca	1510	2550	1800	2850	85
seca, de 1/4" a 2" (6 a 51 mm)	1530	2850	1900	3200	81
mojada de 1/4" a 2" (6 a 51 mm)	2020	3400	2200	3900	83
Yeso, Fragmentado	1810	3050	3100	5300	82
Triturado	1600	2700	2700	4700	81
Hematita, mineral de hierro	1810-2450	4000-5400	2100-2900	4700-5400	80
Piedra caliza, fragmentada	1540	2600	2600	4400	80
Triturada	1540	2600	—	—	—
Magnetita, mineral de hierro	2790	4700	3200	5500	81
Pirita, mineral de hierro	2580	4350	3000	5100	85
Arena, seca y suelta	1420	2400	1600	2700	84
Húmeda	1690	2850	1900	3000	83
mojada	1840	3100	2300	3500	81
Arena y Ardilla, suelta	1600	2700	2000	3400	73
compactada	2400	4050	—	—	—
Arena y grava: seca	1720	2900	1900	3200	80
mojada	2020	3400	2200	3750	91
Arenisca	1510	2550	2000	4250	81
Esqueleto	1250	2100	1600	2800	70
Escorias fragmentadas	1750	2900	1900	4950	81
Hielo en bloques	130	220	—	—	—
mojada	520	860	—	—	—
Piedra triturada	1600	2700	2600	4500	81
Taconita	1630-1900	3600-4200	2300-2700	5200-6100	88
Tierra vegetal	950	1600	1300	2500	70
Roca trapoana fragmentada	1750	2950	2600	4400	87

*Varia según el contenido de humedad, el tamaño de grano, el grado de compactación, etc.
Se deben hacer comprobaciones cuidadosas para determinar las densidades exactas de los materiales en cuestión.

4. DISTANCIAS DE ACADREO

El éxito de un camino no se basa únicamente en obtener un resultado satisfactorio al ajustarse a las especificaciones sobre drenaje, curvatura y pendientes, etc., sino también es de suma importancia lograr la máxima economía posible en el movimiento de tierras.

El análisis de las cantidades de excavación y de relleno, su movimiento y compensación se lleva a cabo mediante un diagrama llamado curva masa.

4.1 Curva Masa

La curva masa es un diagrama dibujado en ejes cartesianos donde las abscisas representan los cadenamientos y las ordenadas los volúmenes acumulativos de terracerías.

4.1.1 Procedimiento de Cálculo

Los pasos a seguir para determinar la curva masa son los siguientes:

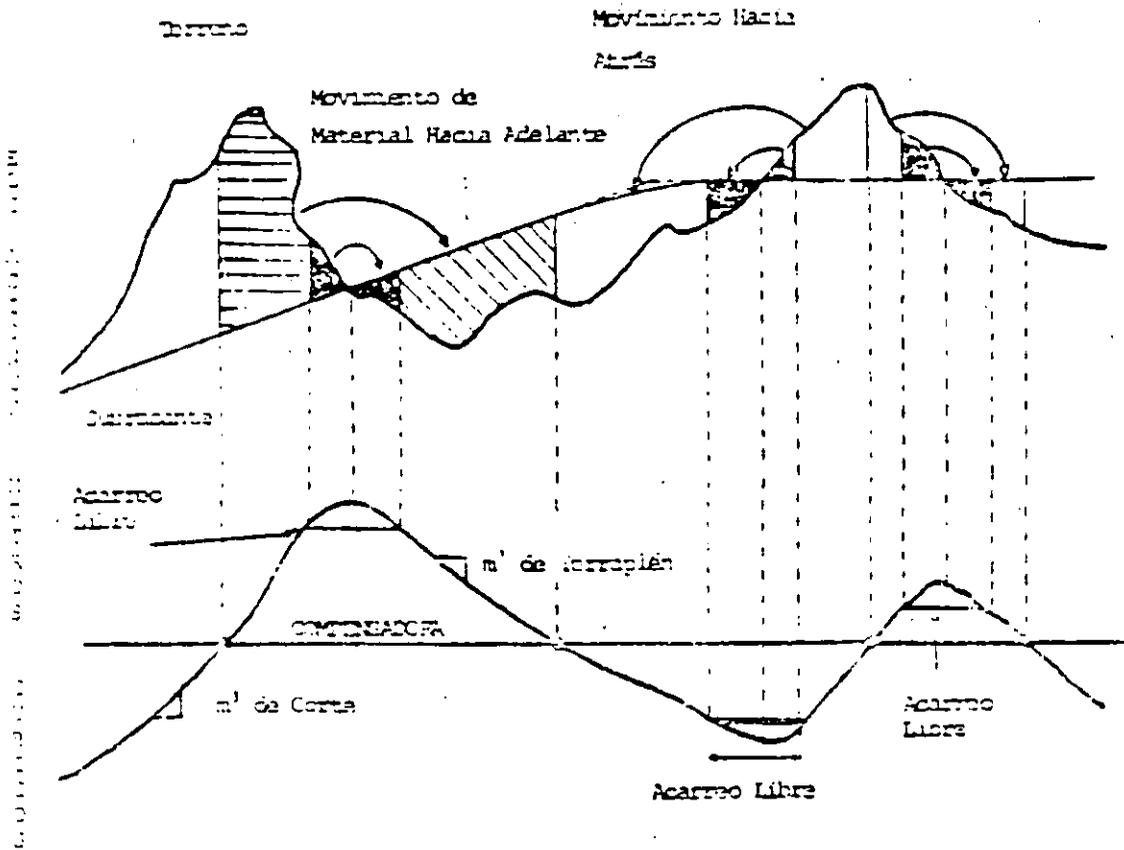
1. Se proyecta la subrasante sobre el dibujo del perfil del terreno.
2. Se determina en cada estación, o en los puntos que lo ameriten los espesores de corte o de terraplén.
3. Se dibujan las secciones transversales topográficas.
4. Se dibuja la plantilla del corte o del terraplén con los taludes escogidos según el tipo de material, sobre la sección topográfica correspondiente, quedando así dibujadas las secciones transversales del camino.

5. Se calculan las áreas de las secciones transversales del camino por cualquiera de los métodos ya conocidos.
6. Se calculan los volúmenes abundando los cortes según el tipo de material.
7. Se suman algebraicamente los volúmenes de cortes y terraplenes.
8. Los valores anteriores se ordenan en una tabla como la que se muestra en la figura.
9. Finalmente se dibuja la curva masa con los valores anteriores.

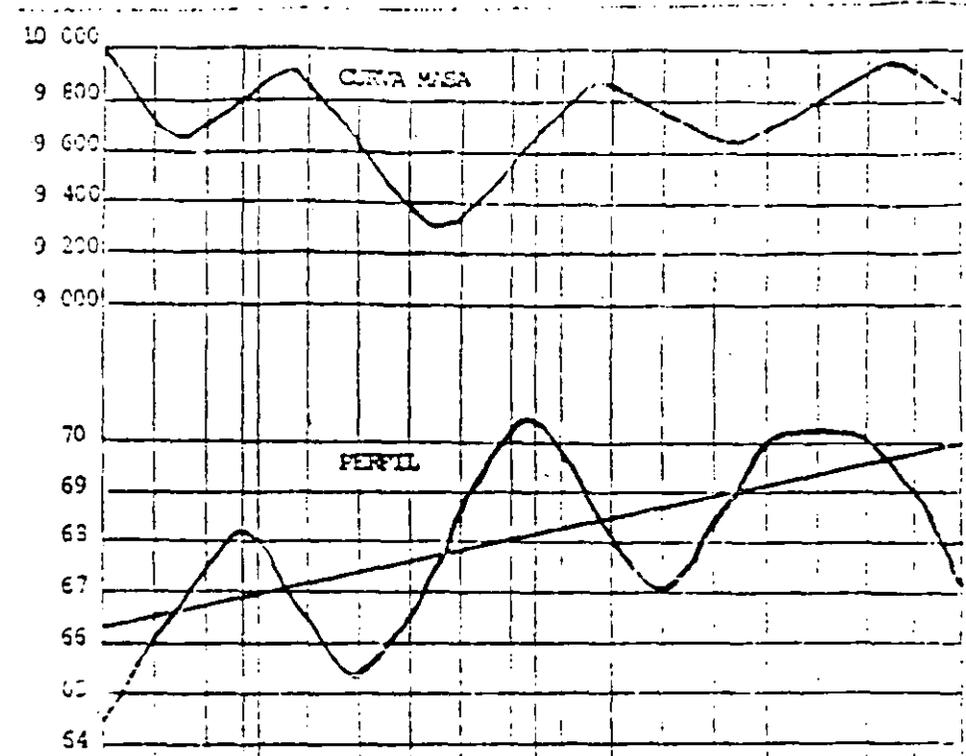
4.1.2 Propiedades de la Curva Masa

1. Entre los límites de una excavación, la curva crece de izquierda a derecha; cuando hay terraplén decrece.
2. En las estaciones donde hay cambio de excavación a relleno, habrá un máximo y viceversa.
3. Cualquier línea horizontal que corte a la curva, marcará puntos consecutivos entre los cuales habrá compensación, es decir que entre ellos el volumen de corte iguala al de terraplén.
4. La diferencia de ordenadas entre dos puntos, representará el volumen de terracería dentro de la distancia comprendida entre esos dos puntos.
5. Cuando la curva queda encima de la línea horizontal compensadora que se escoge para ejecutar la construcción, los acarrees de material se harán hacia adelante, y cuando la curva quede abajo, los acarrees se harán hacia atrás.

PERFIL



CURVA MASA



EJEA	Elevaciones		Espesor	
	lede.	Prop.	C	T
700	64.80	66.60		0.8
720	66.00	66.80		
734	67.00	67.00	0.60	
740	68.55	67.14	1.41	
740	69.20	67.20	1.00	
760	66.60	67.40		0.80
780	65.70	67.60		1.90
800	66.81	67.80		0.95
820	68.90	68.00	0.90	
840	70.70	68.20	2.50	
850	70.92	68.30	2.62	
860	70.30	68.40	1.70	
880	68.15	68.60		0.4
900	57.00	58.80		1.8
920	68.40	59.00		0.60
940	70.00	59.20	0.80	
960	70.59	69.40	1.19	
980	70.21	69.60	0.61	
1000	69.02	69.80		0.78
1020	67.40	70.00		2.60

ESTACION	Elevaciones		Espesores		Areas		A ₁ + A ₂		Semi distancia.	Volumen		Coef. de Abund.		Volumenes Abundados		Suma Alg. Vols. Ab.		ORDENADAS CURVA MASA		
	Terreno.	Sub Rasante.	C	T	C	T	C	T		C	T	C	T	C	T	C	T		+	-
+ 680	64.80	66.60		1.80		18.2													10000	
700	66.00	66.80		0.80		8.9		27.1	10.0		271				271		271		9729	
720	67.80	67.00	0.80		4.5		4.5	8.9	10.0	45	89	1.2		54	89		35		9694	
734	68.55	67.14	1.41		7.1		11.6		7.0	81		1.2		97		97			9791	
740	68.20	67.20	1.00		5.2		12.3		3.0	37		1.2		44		44			9835	
760	66.60	67.40		0.80		1.4	5.2	1.4	10.0	52	14	1.2		62	14	48			9883	
780	65.70	67.60		1.90		22.0		23.4	10.0		234				234		234		9649	
800	66.81	67.80		0.99		6.4		28.4	10.0		284				284		284		9365	
820	68.90	68.00	0.90		5.2		5.2	6.4	10.0	52	64	1.2		62	64		2		9363	
840	70.70	68.20	2.50		8.3		13.5		10.0	135		1.2		162		162			9525	
850	70.92	68.30	2.62		11.8		20.1		5.0	100		1.2		120		120			9645	
860	70.10	68.40	1.70		8.7		20.5		5.0	103		1.2		124		124			9769	
880	68.15	68.60		0.45		2.4	8.7	2.4	10.0	87	24	1.2		104	24	80			9849	
900	67.00	68.80		1.80		6.3		8.7	10.0		87				87		87		9762	
920	68.40	69.00		0.60		2.8		9.1	10.0		91				91		91		9671	
940	70.00	69.20	0.80		4.1		4.1	2.8	10.0	41	28	1.2		49	28	21			9692	
960	70.59	69.40	1.19		5.7		9.8		10.0	98		1.2		118		118			9810	
980	69.21	69.60	0.61		3.4		9.1		10.0	91		1.2		109		109			9919	
990	69.02	69.80		0.78		3.4	3.4	3.1	10.0	34	31	1.2		41	31	10			9929	

6. El área comprendida entre la curva masa y una horizontal cualquiera compensadora, es el producto de un volumen por una distancia, y nos representa el volumen por la longitud media de acarreo.

4.1.3 Objetivos de la Curva Masa

Los objetivos principales de la curva masa son:

- a) Compensar volúmenes
- b) Fijar el sentido de los movimientos del material
- c) Fijar los límites de acarreo libre
- d) Calcular los sobreacarreos
- e) Controlar préstamos y desperdicios

a) Compensar Volúmenes

En general, la línea de compensación que da los acarreos mínimos, es aquella que corta el mayor número de veces a la curva masa.

En el análisis de un tramo se pueden trazar varias compensadoras. Entre dos compensadoras habrá tramos sin compensación. En dichos tramos, si la curva asciende, habrá un volumen exedente que no se empleará para rellenar, denominado -- DESPERDICIO, y si la curva descende, será un tramo en donde hace falta material para el terraplén, volumen denominado PRESTAMO.

- b) Fijar el sentido de los movimientos del material

Cuando la curva queda encima de la línea horizontal compensadora que se escoge para ejecutar la construcción, los acarrees de material se harán hacia adelante, y cuando la curva queda abajo, los acarrees serán hacia atrás.

c) Fijar los Límites de Acarreo Libre

Cuando se manejan volúmenes de consideración en la construcción de terracerías, la longitud de acarreo para colocar los materiales producto de la excavación, en los terraplenes correspondientes, incide de manera importante en el costo total de dicha operación. Se ha adoptado en la práctica, debido a que en estos casos se presentan variaciones sustanciales en la longitud de acarreo del material excavado, el considerar dentro del precio de la excavación el acarreo del material hasta una distancia determinada denominada DISTANCIA DE ACARREO LIBRE. - Distancia que se ha fijado de 20 m, es decir, una estación.

En conclusión, el acarreo libre se considera como el movimiento de tierras - cuyo valor económico está contenido dentro del precio de excavación y no va más allá de 20 m.

El acarreo libre se representa con una horizontal en la zona inmediata a los máximos o mínimos del diagrama de masas; la cantidad de material removido está dada por la ordenada de la horizontal al punto más alto; o más bajo en su caso de la curva en cuestión.

d) Calcular los Sobreacarreos

Se denomina sobreacarreo a la distancia que se transportan los materiales ya sea del corte o de un préstamo a mayor distancia que la del acarreo libre.

A la distancia que hay del centro de gravedad del corte o préstamo al centro de gravedad del terraplén que se forma con ese material, se le resta la distancia media de sobreacarreero.

Es decir:

$$DMS = \frac{C_G \text{ corte} - C_G \text{ terraplón} - 20}{20} \quad (\text{est.})$$

El valor del sobreacarreo se obtiene multiplicando dicha distancia por los metros cúbicos de la excavación, medidos en la misma excavación, y por el precio unitario correspondiente del metro cúbico por estación.

Por otra parte, dentro de la construcción se aceptan otros tipos de acarreo:

Acarreo Corto

Acarreo Largo

Se considera acarreo corto al movimiento de material con escrepa, de 120 a 520 metros.

Para conocer la distancia de acarreo corto se utiliza la fórmula siguiente:

$$DAC = \frac{C_G \text{ corte} - C_G \text{ terraplén} - 20}{100}$$

Esta distancia tendrá como unidades el hectómetro. El acarreo corto resultará entonces de multiplicar la distancia por el volumen y se considerarán como unidades m³-hectómetro.

A partir de 520 m el movimiento de tierras se considera acarreo largo, y deberá ser efectuado con cargador frontal y camiones.

La distancia para el acarreo largo se evalúa con la siguiente expresión:

$$D_{\text{ECON}} = \frac{C_{\text{corte}} - C_{\text{terraplén}}}{1000} - 20$$

Esta distancia tendrá como unidades el kilómetro. Por lo tanto el acarreo - largo será el producto de la distancia por el volumen y se maneja en m³-km.

e) Controlar Préstamos y desperdicios

Existen dos métodos para formar un terraplén: uno sobreacarreando el material del corte y el otro, con material del préstamo. Si el primero resulta más económico que el segundo, conviene sobreacarrear; pero si el segundo resulta más económico, sin lugar a dudas conviene prestar, y desperdiciar el producto del corte.

Para poder elegir si es más conveniente tomar los materiales de un préstamo o sobreacarrearlos de un corte, es necesario determinar la distancia con la que el costo del sobreacarreo resulta igual al costo del préstamo para formar un mismo volumen de terraplén.

La distancia económica de sobreacarreo se obtiene de la siguiente manera:

$$\text{DISTANCIA DE SOBREACARREO} = \frac{\text{Costo del m}^3 \text{ del préstamo}}{\text{Costo del sobreacarreo por m}^3 \text{ y por estación de 20 m}}$$

$$= X \text{ estaciones}$$

Por lo tanto el número de metros a los cuales se puede sobreacarrear será de:

$$(X \text{ estaciones}) \cdot (20 \text{ m/estación}) = Y \text{ metros}$$

Aumentándole a esta distancia los 20 metros de acarreo libre, se tiene Y + 20 metros, como la máxima distancia a la que se puede acarrear de un corte más allá de esta distancia conviene que el contratista traiga material de un préstamo.

Por último, cabe mencionar que en la actualidad, con el uso de la computadora, la curva masa se ha vuelto una herramienta poderosa en el análisis de cantidades de excavación y relleno, acarreo y compensación racional.

5. CALIDAD

Las condiciones de calidad que deben satisfacer los materiales de construcción, guardan relación directa con los equipos que deben emplearse en las etapas de extracción, carga, acarreo, tendido y colocación final. Como ejemplo de este requisito, se presenta la especificación que el Departamento del Distrito Federal establece para el material a utilizarse en Sub-base de pavimentos.

NOTAS: 1.- Parte de estos apuntes fueron entresacados de la tesis profesional del Señor Jorge Armando Lazos Choy, dirigida por el Ing Ernesto Mendoza Sánchez.

2.- El ejemplo de CURVA MASA fue tomado del libro Topografía, del Ing. Miguel Montes de Oca.

P A V I M E N T O S

SUB-BASE
DEFINICION

La sub-base es la capa de materiales seleccionados (grava cementada) que se construye sobre la sub-rasante o mejoramiento y cuya función es soportar las cargas rodantes y transmitir las a las terracerías, distribuyéndolas de tal forma que no se produzcan deformaciones permanentes en éstas.

Existen algunos conceptos que intervienen o pueden intervenir en la construcción de la sub-base y que son tratados en otros capítulos de estas Normas, conceptos que deberán sujetarse en lo que corresponda, a lo indicado en las cláusulas de Materiales, Equipo, Requisitos de Ejecución, Sistema de Medición, Conceptos de Obra y Base de Pago, que se asientan en la siguiente tabla y de los cuales ya no se hará más referencia en el texto de este capítulo

C L A U S U L A S

CONCEPTOS RELATIVOS A ESTE CAPITULO.	CAPITULO DE REFERENCIA	MATERIALES	EQUIPO	REQ. DE EJEC.	CONCEPTOS DE OBRA Y B. DE PAGO.
Trazo y Nivelación	3.10			3.10 E	
Excavaciones y cortes	3.15			3.15 E	
Mejoramientos con materiales naturales.	3.17			3.17 E	
Estabilización de suelos.	3.18			3.18 E	
Materiales para terracerías.	5.10	5.10			
Sobreacarreos	3.35			3.38 E	
Materiales pétricos para revestimientos de sub-bases y bases.	5.19	5.19			
Terraplanes	3.16		3.16 D	3.16 E	

TEMA III

PRESTAMOS DE TERRACERIAS

III.a. PRESTAMOS LATERALES

III.b. PRESTAMOS DE BANCO

III. PRESTAMOS DE TERRACERIAS.

LOS PRESTAMOS SON LAS EXCAVACIONES QUE SE HACEN EN LOS LUGARES FIJADOS EN EL PROYECTO PARA OBTENER EL MATERIAL FALTANTE EN LA FORMACION DE UN TERRAPLEN.

EN LOS TRAMOS DE TERRACERIAS COMPENSADAS SOLO SE HARAN PRESTAMOS DE AJUSTE CUANDO EL VOLUMEN DE MATERIAL APROVECHABLE, OBTENIDO DE UN CORTE, NO SEA EL SUFICIENTE PARA FORMAR EL TERRAPLEN CONTIGUO, SEGUN LO INDIQUE EL ESTUDIO DE LA CURVA MASA.



III.a . PRESTAMOS LATERALES.- SON LOS QUE SE EFECTUAN DENTRO DE FAJAS UBICADAS FUERA DE LOS CEROS, EN UNO O EN AMBOS LADOS DEL EJE DE LAS TERRACERIAS, CUYOS MATERIALES SE UTILIZAN EXCLUSIVAMENTE EN LA FORMACION DE LOS TERRAPLENES SITUADOS A LOS LADOS DE DICHOS PRESTAMOS, PUDIENDO SOBRESALIR LONGITUDINALMENTE LOS EXTREMOS DE UNOS U OTROS, EN CADA CASO HASTA VEINTE (20) METROS.

LOS ANCHOS DE LAS FAJAS SIEMPRE SE MEDIRAN A PARTIR DEL EJE DE LAS TERRACERIAS. EL ACARREO ES LIBRE POR LO CUAL NO SE MEDIRA.

EL ANCHO DE CADA FAJA, PODRA SER HASTA DE :

- A) VEINTE (20) METROS
- B) CUARENTA (40) METROS
- C) SESENTA (60) METROS

D) OCHENTA (80) METROS

E) HASTA CIEN (100) METROS, COMO MAXIMO.

PRESTAMOS DE BANCO. SON LOS EJECUTADOS FUERA DE LA FAJA DE CIEN (100) METROS DE ANCHO. TAMBIEN SE CONSIDERAN PRESTAMOS DE BANCO LAS EXCAVACIONES EJECUTADAS DENTRO DE LAS FAJAS FIJADAS PARA PRESTAMOS LATERALES, CUYOS MATERIALES SE EMPLEEN EN LA CONSTRUCCION DE TERRAPLENES QUE NO ESTEN SITUADOS LATERALMENTE A DICHOS PRESTAMOS, TOMANDO EN CUENTA LA TOLERANCIA DE VEINTE (20) METROS SEGUN SE INDICA EN LA FIGURA 5.2

IV. LOCALIZACION DE PRESTAMOS.

EL METODO MAS ANTIGUO Y EL MAS SENCILLO ES MEDIANTE LA OBSERVACION DIRECTA EN EL CAMPO HACIENDO POZOS A CIELO ABIERTO O EMPLEANDO POSTEADORAS. POSTERIORMENTE SE REALIZAN ESTUDIOS GEOFISICOS LO QUE REPRESENTA EL AHORRO DE MUCHO TIEMPO Y DE ESFUERZO HUMANO.

DEBEN ESTABLECERSE CIERTAS DISTINCIONES ENTRE LOS BANCOS DE ROCA Y LOS DE SUELOS.

EN LAS ROCAS DEBEN OBSERVARSE DOS PUNTOS:

- a). CAMBIOS FISICOS QUE LA ROCA PUEDE SUFRIR POR FRAGMENTACION DURANTE LA EXTRACCION, POR MANEJO, O DURANTE LA COLOCACION
- b). LA ALTERACION FISICO-QUIMICA QUE PUEDE TENER LUGAR DURANTE

LA VIDA UTIL DE LA OBRA.

VEASE LA TABLA XII-1 CARACTERISTICAS DE ALGUNAS ROCAS COMO MATERIALES DE CONSTRUCCION . (TOMADA DEL LIBRO "GEOTECNIA APLICADA A LAS VIAS TERRESTRES" ALFONSO RICO RODRIGUEZ.

SERA NECESARIO REALIZAR EN CADA CASO PRUEBAS DE CAMPO Y DE LABORATORIO CON EL FIN DE DETERMINAR SI ES UTILIZABLE O NO EL BANCO DE ROCAS EN CUESTION, ASI COMO TAMBIEN TRATANDOSE DE LOS SUELOS CONSTITUTIVOS DE UN BANCO. DEBEN TOMARSE EN CUENTA LAS EXPERIENCIAS ANTERIORES QUE PUEDAN INVESTIGARSE.

LA LOCALIZACION DE LOS BANCOS ES UNA INFORMACION BASICA EN LA CONSTRUCCION DE UN CAMINO Y DEBE FIGURAR CON TODO DETALLE EN LOS PLANOS DE PROYECTO.

LA LOCALIZACION ES APENAS EL PRIMER PASO QUE DEBE COMPLEMENTARSE CON LA INVESTIGACION DE LOS SIGUIENTES ASPECTOS:

- CALIDAD DE LOS MATERIALES
- FACILIDAD DE ACCESO Y DE EXPLOTACION
- BUSCAR QUE LA DISTANCIA DE ACARREO SEA LA MENOR
- QUE EL MATERIAL QUE SE VA A EXTRAER REQUIERA PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS SENCILLOS Y ECONOMICOS.
- QUE LA EXPLOTACION DEL BANCO NO VAYA A ORIGINAR PROBLEMAS LEGALES.

PARA LA LOCALIZACION DE LOS BANCOS SE TIENE UNA VALIOSA AYUDA

EN LA FOTOINTERPRETACION O EN METODOS DE PROSPECCION GEOFISICA YA QUE PUEDEN EXPLORARSE GRANDES AREAS A BAJO COSTO, COMPLEMENTANDOSE POSTERIORMENTE CON LA INSPECCION FISICA DEL LUGAR.

LA EXPERIENCIA LOCAL CONSTITUYE ASIMISMO UNA VALIOSA AYUDA PARA EL INGENIERO.

LOS BANCOS PARA TERRACERIAS ABUNDAN Y SON FACILES DE LOCALIZAR YA QUE PRACTICAMENTE CASI TODOS LOS MATERIALES PUEDEN UTILIZARSE PARA ESTE FIN. DEBE PRINCIPALMENTE PONERSE ATENCION EN LA DISTANCIA DE ACARREO, PROCURANDO QUE LA SEPARACION ENTRE ELLOS NO SEA MUY GRANDE; LA OPTIMA ES AQUELLA EN LA QUE SE LOGRA EQUILIBRAR LOS COSTOS DEL ACARREO POR UN LADO Y DEL DESPALME Y PREPARACION DEL BANCO POR EL OTRO. ESTAS DISTANCIAS EN LO GENERAL NO EXCEDEN LOS 5 KMS.

TRATANDOSE DE BUSCAR MATERIAL PARA LA CAPA SUBRASANTE, CUYAS ESPECIFICACIONES SON MAS EXIGENTES, LAS DISTANCIAS ENTRE BANCOS PUEDEN EXTENDERSE HASTA 10 KMS Y BUSCANDO MATERIALES PARA SUB-BASES Y BASES SE ALARGAN EN OCASIONES HASTA 50 KMS.

LOS BANCOS PARA SUBRASANTE SUELEN ENCONTRARSE EN LOS OTEROS BAJOS Y EXTENDIDOS, EN FORMACIONES DE ROCA MUY ALTERADA; EN LAS ZONAS LIMOARENOSAS DE LOS DEPOSITOS DE RIOS, EN ZONAS DE DEPOSITOS VOLCANICOS, EN HORIZONTES ARENOSOS DE FORMACIONES ESTRATIFICADAS EXTENSAS, ETC.

TEMA IV

LOCALIZACION DE PRESTAMOS

IV.a. PRUEBAS EN SITIO

IV.b. PRUEBAS EN LABORATORIO

PRESTAMOS, TOMANDO EN CUENTA LA TOLERANCIA DE VEINTE (20) METROS
SEGUN SE INDICA EN LA FIGURA 5.2

IV. LOCALIZACION DE PRESTAMOS.

EL METODO MAS ANTIGUO Y EL MAS SENCILLO ES MEDIANTE LA OBSERVACION DIRECTA EN EL CAMPO HACIENDO POZOS A CIELO ABIERTO O EMPLEANDO POSTEADORAS. POSTERIORMENTE SE REALIZAN ESTUDIOS GEOFISICOS LO QUE REPRESENTA EL AHORRO DE MUCHO TIEMPO Y DE ESFUERZO HUMANO.

DEBEN ESTABLECERSE CIERTAS DISTINCIONES ENTRE LOS BANCOS DE ROCA Y LOS DE SUELOS.

EN LAS ROCAS DEBEN OBSERVARSE DOS PUNTOS:

- a). CAMBIOS FISICOS QUE LA ROCA PUEDE SUFRIR POR FRAGMENTACION DURANTE LA EXTRACCION, POR MANEJO, O DURANTE LA COLOCACION
- b). LA ALTERACION FISICO-QUIMICA QUE PUEDE TENER LUGAR DURANTE

~~IV.1~~

IV.1

IV.1

LA VIDA UTIL DE LA OBRA.

VEASE LA TABLA XII-1 CARACTERISTICAS DE ALGUNAS ROCAS COMO MATERIALES DE CONSTRUCCION . (TOMADA DEL LIBRO "GEOTECNIA APLICADA A LAS VIAS TERRESTRES" ALFONSO RICO RODRIGUEZ.

SERA NECESARIO REALIZAR EN CADA CASO PRUEBAS DE CAMPO Y DE LABORATORIO CON EL FIN DE DETERMINAR SI ES UTILIZABLE O NO EL BANCO DE ROCAS EN CUESTION, ASI COMO TAMBIEN TRATANDOSE DE LOS SUELOS CONSTITUTIVOS DE UN BANCO. DEBEN TOMARSE EN CUENTA LAS EXPERIENCIAS ANTERIORES QUE PUEDAN INVESTIGARSE.

LA LOCALIZACION DE LOS BANCOS ES UNA INFORMACION BASICA EN LA CONSTRUCCION DE UN CAMINO Y DEBE FIGURAR CON TODO DETALLE EN LOS PLANOS DE PROYECTO.

LA LOCALIZACION ES APENAS EL PRIMER PASO QUE DEBE COMPLEMENTARSE CON LA INVESTIGACION DE LOS SIGUIENTES ASPECTOS:

- CALIDAD DE LOS MATERIALES
- FACILIDAD DE ACCESO Y DE EXPLOTACION
- BUSCAR QUE LA DISTANCIA DE ACARREO SEA LA MENOR
- QUE EL MATERIAL QUE SE VA A EXTRAER REQUIERA PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS SENCILLOS Y ECONOMICOS.
- QUE LA EXPLOTACION DEL BANCO NO VAYA A ORIGINAR PROBLEMAS LEGALES.

PARA LA LOCALIZACION DE LOS BANCOS SE TIENE UNA VALIOSA AYUDA

ner tanto formaciones rocosas como auténticos suelos.

Un punto fundamental en la determinación de bancos de materiales es la valuación de las rocas o suelos contenidos, la que suele ser muy difícil de establecer en forma cuantitativa. En lo que se refiere a las rocas, dos puntos principales deben merecer atención (Ref. 1). El primero se refiere a los cambios físicos que la roca puede sufrir por fragmentación durante la extracción, por manejo o durante la colocación; el segundo a la alteración físico-química que pueda tener lugar durante la vida útil de la obra. Estos mismos factores han de ser considerados cuando se trate de suelos, pero revisten mayor importancia

en las rocas, pues los suelos seguramente han sufrido ya sus transformaciones físico-químicas importantes durante su proceso anterior de descomposición, que les dio existencia a partir de la roca madre; las rocas, sobre todo las sanas trituradas o rotas, no han estado antes sujetas a procesos intensos de meteorización y éstos pudieran tener consecuencias muy notables.

La tabla XII-1 (Ref. 1) puede servir para proporcionar una valuación preliminar de las diferentes clases de rocas, en cuanto a sus características como materiales de construcción; un buen diagnóstico definitivo, sin embargo, depende de tantos factores específicos que no es posible aspirar a emitirlo en nin-

TABLA XII-1
Características de algunas rocas como materiales de construcción (Ref. 1)

Roca	Método de Excavación requerido	Fragmentación	Susceptibilidad a la meteorización
Granito Diorita	Explosivos	Fragmentos irregulares, que dependen del uso de los explosivos.	Probablemente resistente.
Basalto	Explosivos	Fragmentos irregulares, que dependen de las juntas y grietas.	Probablemente resistente.
Toba	Equipo o explosivos	Fragmentos irregulares, muchas veces con finos en exceso.	Algunas variedades se deterioran rápidamente.
Arenisca	Equipo o explosivos	En lajas, dependiendo de la estratificación.	Según la naturaleza del cementante.
Conglomerado	Equipo o explosivos	Exceso de finos, dependiendo del cementante.	Algunos se alteran para formar arenas limosas.
Limonita Lutita	Equipo	Desde pequeños bloques a lajas.	Muchas se desintegran rápidamente para formar arcillas; debe considerárselas sospechosas, a menos que las pruebas indiquen otra cosa.
Caliza Masiva	Explosivos	Fragmentos irregulares; muchas veces, lajas.	Las vetas pizarrosas se deterioran, pero las otras son resistentes.
Coquina Creta	Equipo	Fragmentos porosos, usualmente con exceso de finos.	Algunas formas porosas se alteran por humedecimiento; otras se cementan con procesos alternados de humedecimiento y secado.
Cuarcita	Explosivos	Fragmentos irregulares, muy angulosos.	Probablemente resistente.
Pizarras Esquistos	Explosivos	Fragmentos irregulares o lajeados, según la foliación.	Algunas se deterioran con procesos de humedecimiento y secado.
Gneis	Explosivos	Fragmentos irregulares, muchas veces alargados.	Probablemente resistente.
Desechos industriales y de minas	Equipo	Depende del material, pero en la mayoría de los casos es irregular.	La mayoría de las variedades (excepto las ígneas de mina) deben considerarse deteriorables, en tanto las pruebas no indiquen otra cosa.

EN LA FOTOINTERPRETACION O EN METODOS DE PROSPECCION GEOFISICA YA QUE PUEDEN EXPLORARSE GRANDES AREAS A BAJO COSTO, COMPLEMENTANDOSE POSTERIORMENTE CON LA INSPECCION FISICA DEL LUGAR.

LA EXPERIENCIA LOCAL CONSTITUYE ASIMISMO UNA VALIOSA AYUDA PARA EL INGENIERO.

LOS BANCOS PARA TERRACERIAS ABUNDAN Y SON FACILES DE LOCALIZAR YA QUE PRACTICAMENTE CASI TODOS LOS MATERIALES PUEDEN UTILIZARSE PARA ESTE FIN. DEBE PRINCIPALMENTE PONERSE ATENCION EN LA DISTANCIA DE ACARREO, PROCURANDO QUE LA SEPARACION ENTRE ELLOS NO SEA MUY GRANDE; LA OPTIMA ES AQUELLA EN LA QUE SE LOGRA EQUILIBRAR LOS COSTOS DEL ACARREO POR UN LADO Y DEL DESPALME Y PREPARACION DEL BANCO POR EL OTRO. ESTAS DISTANCIAS EN LO GENERAL NO EXCEDEN LOS 5 KMS.

TRATANDOSE DE BUSCAR MATERIAL PARA LA CAPA SUBRASANTE, CUYAS ESPECIFICACIONES SON MAS EXIGENTES, LAS DISTANCIAS ENTRE BANCOS PUEDEN EXTENDERSE HASTA 10 KMS Y BUSCANDO MATERIALES PARA SUB-BASES Y BASES SE ALARGAN EN OCASIONES HASTA 50 KMS.

LOS BANCOS PARA SUBRASANTE SUELEN ENCONTRARSE EN LOS OTEROS BAJOS Y EXTENDIDOS, EN FORMACIONES DE ROCA MUY ALTERADA, EN LAS ZONAS LIMOARENASAS DE LOS DEPOSITOS DE RIOS, EN ZONAS DE DEPOSITOS VOLCANICOS, EN HORIZONTES ARENOSOS DE FORMACIONES ESTRATIFICADAS EXTENSAS, ETC..

~~14.4~~
14.4

LOS MATERIALES PARA SUB-BASE Y BASE SUELEN ENCONTRARSE EN PLAYONES Y MARGENES DE RIOS, EN FRENTES Y CANTILES ROCOSOS, CERROS RELATIVAMENTE ELEVADOS Y DE PENDIENTE ABRUPTA, ETC.

LOS MATERIALES PARA CONCRETOS ASFALTICOS O HIDRAULICOS SE OBTIENEN CASI SIEMPRE POR TRITURACION, A PARTIR DE FORMACIONES ROCOSAS SANAS. PARA LAS MAMPOSTERIAS EL MATERIAL PUEDE OBTENERSE DE FORMACIONES ROCOSAS FRACTURADAS O DE RECOLECCION SUPERFICIAL.

EXPLORACION Y MUESTREO DE BANCOS.

LA EXPLORACION DE UNA ZONA EN LA QUE SE PRETENDA ESTABLECER UN BANCO DE MATERIALES DEBE TENER LAS SIGUIENTES METAS:

1. DETERMINACION DE LA NATURALEZA DEL DEPOSITO, INCLUYENDO TODA LA INFORMACION QUE SEA DABLE OBTENER SOBRE SU GEOLOGIA, HISTORIA DE EXPLOTACIONES PREVIAS, RELACIONES CON ESCURRIMIENTOS DE AGUA SUPERFICIAL, ETC.

~~1476~~

14.5

2. PROFUNDIDAD, ESPESOR, EXTENSION Y COMPOSICION DE LOS ESTRATOS DE SUELO O ROCA QUE SE PRETENDAN EXPLOTAR.
3. SITUACION DEL AGUA SUBTERRANEA, INCLUYENDO POSICION Y VARIACIONES DEL NIVEL FREATICO.
4. OBTENCION DE TODA LA INFORMACION POSIBLE SOBRE LAS PROPIEDADES DE LOS SUELOS Y LAS ROCAS, LOS USOS QUE DE ELLOS SE HAYAN HECHO, ETC.

LA INVESTIGACION COMPLETA ESTA FORMADA POR TRES ETAPAS:

1. RECONOCIMIENTO PRELIMINAR, QUE DEBE INCLUIR LA OPINION DE UN GEOLOGO. EN ESTA ETAPA DEBE CONSIDERARSE ESENCIAL EL CONTAR CON EL ESTUDIO GEOLOGICO DE LA ZONA, POR SENCILLO QUE SEA.
2. LA EXPLORACION PRELIMINAR, EN LA QUE POR MEDIO DE PROCEDIMIENTOS SIMPLES Y EXPEDITOS, PUEDA OBTENERSE INFORMACION SOBRE EL ESPESOR Y COMPOSICION DEL SUBSUELO, LA PROFUNDIDAD DEL AGUA FREATICA Y DEMAS DATOS QUE PERMITAN DEFINIR SI LA ZONA ES PROMETEDORA PARA LA IMPLANTACION DE UN BANCO.
3. LA EXPLORACION DEFINITIVA, EN LA QUE POR MEDIO DE SONDEOS Y PRUEBAS DE LABORATORIO HAN DE DEFINIRSE DETALLADAMENTE

~~XXXXXX~~

IV.6

LAS CARACTERISTICAS DE LOS SUELOS Y ROCAS ENCONTRADAS.

YA QUE RARA VEZ SE REQUIERE EXPLORAR A PROFUNDIDADES MAYORES DE 10 M., LOS METODOS A EMPLEAR PUEDEN SER EL POZO A CIELO ABIERTO, LA POSTEADORA Y LOS BARRENOS HELICOIDALES.

LA DIFERENCIA ENTRE EL ESTUDIO PRELIMINAR Y EL DEFINITIVO SUELE SER EL NUMERO DE SONDEOS, QUE EN LA INVESTIGACION DEFINITIVA DEBEN CORROBORAR LA INFORMACION PRELIMINAR, DEFINIENDO CLARAMENTE LAS DISTINTAS FORMACIONES EXISTENTES Y CUBICAR CON LA APROXIMACION REQUERIDA EL VOLUMEN DE MATERIAL QUE VAYA A SER NECESARIO.

EN BANCOS DE ROCA LO COMUN ES ATENERSE EN MUCHO A LOS RESULTADOS DEL RECONOCIMIENTO PRELIMINAR YA QUE QUERER PROFUNDIZAR EN EL ESTUDIO REQUIERE DE EQUIPO MUY COSTOSO.

LOS BANCOS DE SUELO DEBEN MUESTREARSE PARA QUE MEDIANTE PRUEBAS DE LABORATORIO SE DETERMINEN LAS CARACTERISTICAS DEL MATERIAL Y ASI PODER DEFINIR SI PUEDE O NO UTILIZARSE.

IV.a. PRUEBAS DE CAMPO:

IV.b. PRUEBAS DE LABORATORIO

AMBAS QUEDAN ENGLOBADAS EN EL CUADRO SIGUIENTE:

NOTA: APUNTES TOMADOS DEL LIBRO "GEOTECNIA APLICADA A LAS VIAS

~~IV.7~~

IV.7

PRUEBAS INDICE MAS COMUNES PARA MATERIALES ROCOSOS.

DENSIDAD DE SOLIDOS

PESO VOLUMETRICO SECO

CONTENIDO DE AGUA

POROSIDAD

INDICE DE ALTERACION

PERMEABILIDAD AL AGUA

PERMEABILIDAD AL AIRE

ALTERABILIDAD

RESISTENCIA

DEFORMABILIDAD

10/11

10/11

IV. 8

Pruebas de Laboratorio que se efectúan a los suelos que se extraen de bancos, según su utilización.

CONCEPTO	CLASIFICACION	CALIDAD	DISEÑO
IV. Carpetaasfált	Límites de plasticidad Granulometría	Pruebas de desgaste y/o alterabilidad Equivalente de arena Expansión Afinidad con el asfalto Pruebas para definir la forma de los agregados	Prueba de Marshall o bien: Pruebas de Hveem El contenido óptimo de asfalto puede determinarse también por el Método C.K.E.

Pruebas de Laboratorio que se efectúan a los suelos que se extraen de bancos, según su utilización.

CONCEPTO	CLASIFICACION	CALIDAD	DISEÑO
I. Terracerías	Límites de plasticidad Granulometría	Peso Volumétrico Máx. (a veces) V.R.S.	
II. Capa subrasante	Límites de plasticidad Granulometría	Peso Volumétrico Máximo Valor Relat. de Soporte Expansión Equivalente de arena	Determinación de V.R.S. (Método del cuerpo de Inge- nieros U. S. A. o bien: Pruebas de Hveem o bien: Pruebas Triaxiales de Texas
III. Base y Sub-base	Límites de plasticidad Granulometría	Peso Volumétrico Máximo Valor Relat. de Soporte Equivalente de arena Expansión	Si se desea hacer un diseño estructural por capas, deberán reali- zarse las pruebas indi- cadas para la capa subrasante
			(Continúa)

Materiales de Construcción

(Tomado del libro "Estructuración de Vías Terrestres" Fernando Olivera Bustamante Editorial CECSA).

MATERIALES QUE SE UTILIZAN EN UNA OBRA VIAL

En la estructuración de la sección transversal de una vía terrestre, se utilizan materiales pétreos, térreos, asfálticos e industriales. Los materiales para aprovecharse deben cumplir los requisitos marcados en las normas de calidad.

Cuerpo del terraplén

Para la construcción del cuerpo del terraplén de una obra vial, dependiendo del tipo de terreno en que se construya, se utilizan materiales provenientes de los cortes o de préstamos. Si el terreno es plano, en general, la construcción

se realiza utilizando materiales de préstamos; si éstos se localizan dentro de una distancia máxima de 100 m del centro de línea se denominan préstamos laterales y cuando la distancia es mayor se consideran préstamos de banco. Si el terreno es de lomerío, los terraplenes se construyen con materiales provenientes de los cortes (Fig. 5-1), para fijar los movimientos de terracerías en este último caso, se hace un estudio detallado de la curva masa, para la cual, es fundamental que se proyecte la rasante económica. Por último, en terreno montañoso, en general, no se construyen terraplenes sino al contrario, por el exceso de cortes se tiene un volumen fuerte de desperdicio; en caso de presentarse algunos terraplenes (pedraplenes), éstos se proyectan como se indicó para lomeríos.

Capa subrasante

Para la construcción de la capa subrasante, en general, se utilizan materiales de banco que tengan las características adecuadas para las funciones que vayan a tener en la estructura vial. Si el material que se extraiga de los cortes cumple con estas características, pueden utilizarlo tanto en ellos (escarificando, conformando y compactando), como en los terraplenes contiguos, para construir esta capa subrasante.

Capas de pavimento

Los materiales para la construcción de las capas del pavimento siempre provienen de banco, pudiéndose utilizar aglomerados de arroyos y depósitos (Fig. 5-2), o congló-

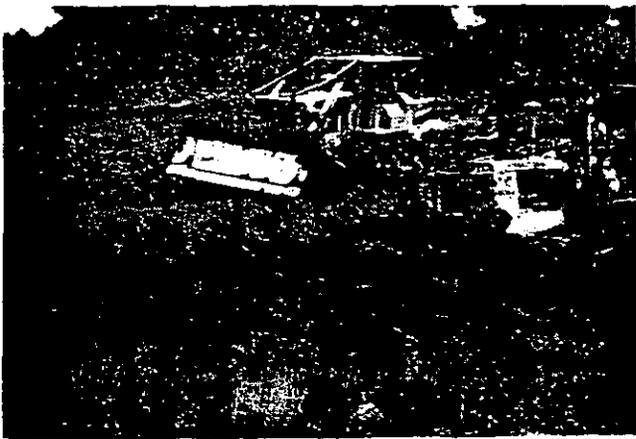


Fig. 5-1 Tractores con hoja frontal aflojando material de un préstamo, para la construcción de terraplenes.



Fig. 5-2 Banco de materiales en el lecho de un arroyo: aglomerado.

merados suaves o duros y rocas (Fig. 5-4) que puedan ser fisuradas o sanas, y en general, requieren de uno o más tratamientos (cribado, triturado...).

Los materiales de tipo industrial como cemento Portland, cal, acero, asfalto, se adquieren en las empresas estatales o particulares que los producen y deben cumplir los requerimientos necesarios de acuerdo al uso que van a tener.

PRUEBAS PARA LOS MATERIALES DE CONSTRUCCION

Para conocer las características de los materiales, se realizan pruebas que son mediciones de diferentes clases, que se hacen a especímenes elaborados siguiendo procedimientos estandarizados.

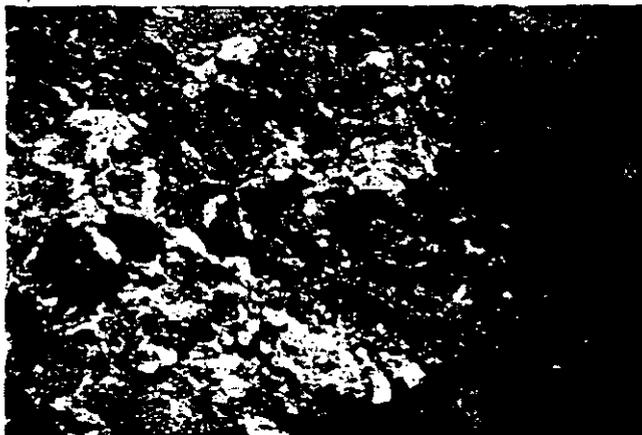


Fig. 5-3 Banco de conglomerado.



Fig. 5-4 Visita de estudiantes universitarios a un banco de materiales.

Las pruebas que se realizan a los materiales de construcción pueden dividirse en: pruebas de clasificación, de control y de proyecto (Fig. 5-5). Las pruebas de clasificación son aquellas que permiten identificar a los materiales y decidir si pueden utilizarse o no en algunas de las capas estructurales.

Las pruebas de control son las que permiten verificar si la obra cumple con los requisitos de proyecto. Por último, las pruebas de proyecto son las que permiten realizar la estructuración racional de la sección transversal de una vía terrestre.

En México, estas pruebas se indican con todo detalle en las normas de algunas Secretarías, como son: la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, las de la antigua Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas o las de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos.

En lo que sigue, sólo se harán descripciones generales de las pruebas más importantes y se explicarán sus significados.

PRUEBAS DE CLASIFICACION PARA MATERIALES PETREOS Y SUELOS

Las principales pruebas de clasificación que se realizan a los materiales pétreos y suelos que se utilizan en una vía terrestre son: granulometría, plasticidad, resistencia, expansión, valor cementante, densidad, adherencia con el asfalto, dureza y forma de la partícula.

Las pruebas más usuales que se realizan a los productos asfálticos son: destilación, penetración, viscosidad punto de encendido, asentamiento en cinco días, demul-

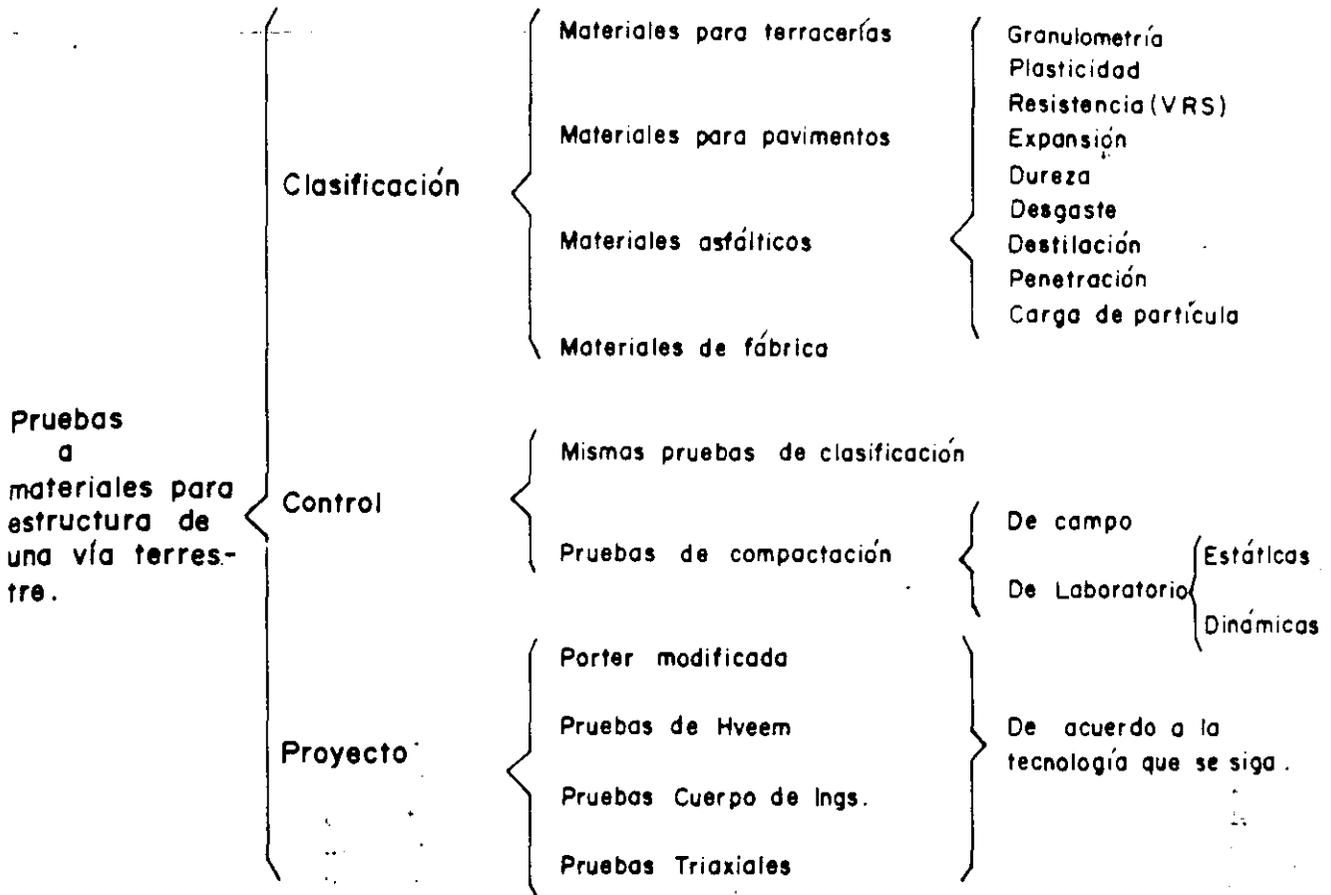


Fig. 5-5 Clasificación de pruebas para materiales que se utilizan en la estructuración de las vías terrestres. Se muestran ejemplos de cada clase.

sibilidad con cemento Portland, carga de la partícula y acidez. También se realizan pruebas al cemento Portland a la cal y al agua.

Granulometría

La prueba de granulometría de un material sirve para determinar el porcentaje en peso, de las partículas de diferentes tamaños que lo forman. Para realizar esta prueba, se hace uso de tamices o mallas (Fig. 5-6) por las que se hace pasar el material, se pesan las partículas que se retienen en cada una de ellas y se encuentra el porcentaje respectivo con relación al peso seco total; después se calcula el porcentaje que pasa por las diferentes mallas.

La denominación de las mallas se hace de dos maneras; la primera de ellas indica la separación interior que hay entre los alambres y se usa para las mallas de 7.5 cm (3 plg) a 6.4 cm (¼ plg); la segunda forma de denominar las mallas es asignándoles un número, que indica la cantidad de alambres o hilos que se tienen en una pulgada y se usa para las mallas de la Núm. 4 a la Núm. 200 que son las más utilizadas en suelos; aunque hay otras como la

325 que se utiliza en los cementos Portland; en este segundo caso, el calibre de los hilos está especificado.

Para obtener los datos con mayor exactitud, la porción de un material que pasa la malla 4, se lava por la malla 200; por diferencia de peso se calcula el porcentaje que

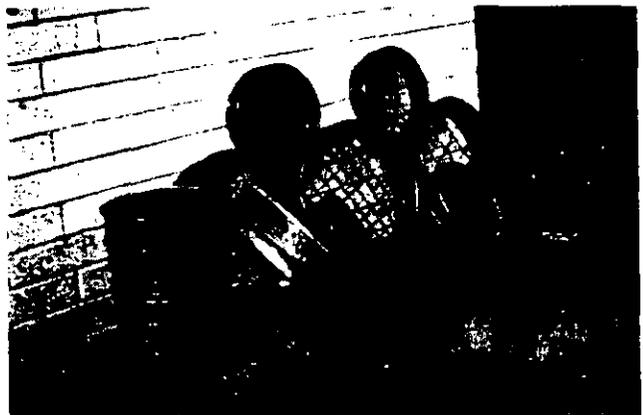


Fig. 5-6 Mallas para la prueba de granulometría.

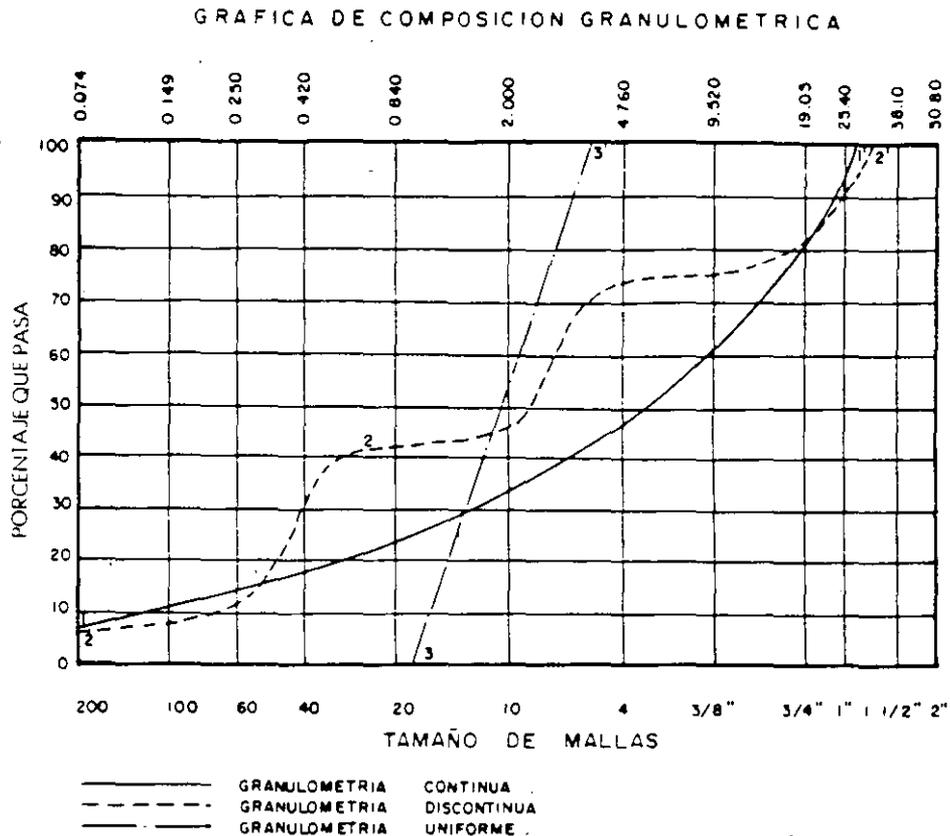


Fig. 5-7 Curvas granulométricas: 1-1' continua, 2-2' discontinua y 3-3' uniforme.

pasa esta malla y más tarde se tamiza esta porción de material entre las mallas 4 a la 200.

Generalmente el resultado de esta prueba se presenta en una gráfica como se muestra en la (Fig. 5-7); cuando la curva no tiene cambios bruscos de pendiente, se dice que la granulometría es continua como la 1-1; cuando sí se tienen cambios bruscos, se dice que la granulometría es discontinua como la 2-2, en cuyo caso hay escasez de partículas de los tamaños en donde la pendiente de la curva es menor; cuando la curva granulométrica se localiza dentro de un tramo estrecho de tamaños, como la 3-3, se dice que se tiene un material de granulometría uniforme; en ciertas ocasiones, se requieren granulometrías continuas, en otras se requieren granulometrías uniformes; se han hecho estudios en los que se ha llegado a la conclusión que el uso de granulometrías discontinuas en gravas y arenas para concretos, conducen a una reducción en el consumo de cemento; por otro lado, las especificaciones respecto a esta característica de los materiales son más o menos rígidas, de acuerdo a la capa que se trate de construir.

Plasticidad

La plasticidad de un material se puede definir como la facilidad que presenta a remoldearse sin cambio de volu-

men y teniendo un mínimo de resistencia al corte. Por tanto, en la plasticidad de un material pueden intervenir sus características de humedad, peso volumétrico, sensibilidad de sus partículas, principalmente las finas, con respecto al agua y al porcentaje de éstas dentro del total.

Para conocer la sensibilidad de los finos a cambiar sus características de consistencia en presencia del agua, se realizan pruebas de plasticidad, entre las que se encuentran los límites de Atterberg y la de contracción lineal; estas pruebas se realizan sobre la porción de los materiales que pasan la malla Núm. 40.

Límites de Atterberg

Los límites de Atterberg corresponden a la humedad, o sea, al porcentaje de agua con respecto al peso de los sólidos, en que los finos de los materiales pasan de una consistencia a otra; así, el límite líquido (L) es la humedad correspondiente al límite entre el estado semilíquido y el plástico, en esta condición el material tiene una resistencia mínima al esfuerzo cortante de 25 g por cm^2 .

El límite plástico (L_p) es la humedad correspondiente al límite entre el estado plástico y el semisólido; a la diferencia entre el límite líquido y plástico se le denomina índice plástico (I_p). Hay otros límites como el límite de

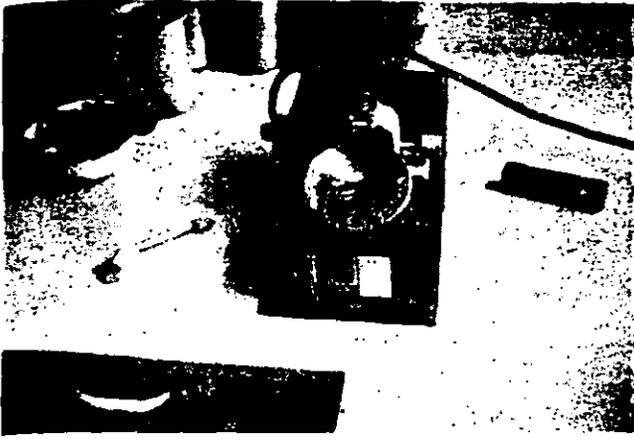


Fig. 5-8 Material dentro de la copa de Casagrande, en el límite líquido. Se observan diferentes herramientas para realizar la prueba: copa mecánica, ranurador, cápsula de batido, espátula y vasos de aluminio.

contracción o el equivalente de humedad de campo, que son menos utilizados.

Para situar el material en el límite líquido, se utiliza la copa de Casagrande en la que la porción del material que pasa malla Núm. 40 con ese contenido de humedad debe cerrar íntimamente, a lo largo de 1 cm, una abertura realizada con una pequeña herramienta especial denominada ranurador, al proporcionar 25 golpes sobre la base del aparato (Fig. 5-8).

Para que el material llegue al límite plástico, se elaboran rollitos de material, inicialmente en el límite líquido, que se rolan por medio de un vidrio pequeño, levantado 3 mm por medio de alambre, sobre otro vidrio base de mayores dimensiones (Fig. 5-9); se dice que el material está en el límite plástico cuando los rollitos empiezan a agrietarse. Este punto queda a juicio del laboratorista, por lo cual tiene una amplia variabilidad que influye en la obtención del índice plástico.

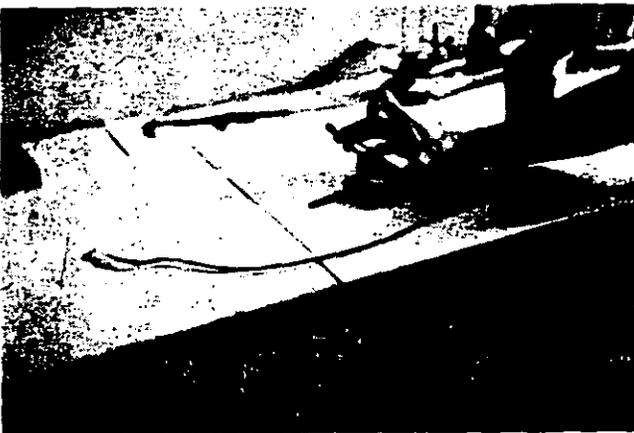


Fig. 5-9 Realización de la prueba de límite plástico.

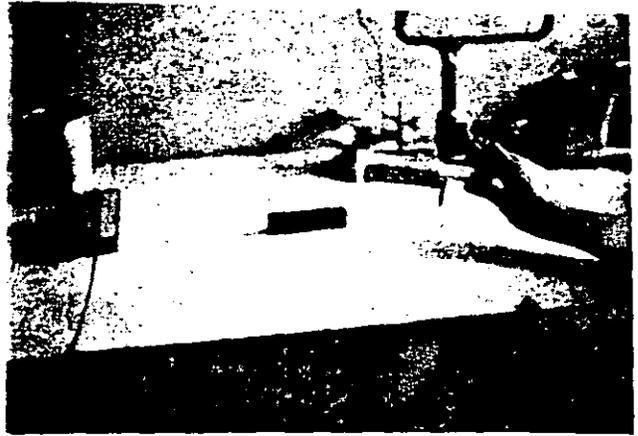


Fig. 5-10 Prueba de contracción lineal: se muestra la medición de la barra seca, el molde de lámina y la prueba realizada a otros materiales.

Prueba de contracción lineal

La prueba de contracción lineal, es también una medida de la plasticidad de la porción de los materiales que pasa la malla 40. En este caso, no se obtiene una humedad sino una relación de longitudes. El material con humedad correspondiente al límite líquido, se coloca en un molde de dimensiones de $2 \times 2 \times 10$ cm (Fig. 5-10) y se introduce en un horno hasta peso constante, periodo durante el cual sufre una disminución de longitud, de acuerdo a sus características (Fig. 5-11). El porcentaje de acortamiento sufrido con respecto a la longitud inicial, es la contracción lineal que se calcula de la siguiente manera:

$$\% \text{ Contracción lineal} = \frac{\text{Long. inicial} - \text{Long. final}}{\text{Longitud inicial}} \cdot 100$$

Esta prueba tiene ventajas, si se compara con los límites de Atterberg como son:

- Se necesita un solo parámetro.
- La variabilidad es menor que la del límite plástico y, por tanto, que la del índice plástico.
- Constituye una medida más exacta de la plasticidad y puede pensarse que es un vernier para los límites de consistencia.

Al utilizarse la contracción lineal en materiales de buena calidad, se pueden rechazar o aceptar con mayor precisión.

Se ha encontrado una correlación del índice plástico y la contracción lineal en la cual, aquélla es del doble al triple que ésta; dicha ambigüedad hace que al utilizar sólo los límites de Atterberg en materiales de baja plasticidad,



Fig. 5-11 Para calcular los diferentes límites de consistencia y la contracción, es necesario tener los datos del material seco, por lo que se coloca en un horno a 100 °C durante un tiempo que varía de 18 a 24 h.

dad, se pueden aceptar materiales de mala calidad o rechazar los utilizables.

Resistencia y expansión

Para medir los parámetros de resistencia y expansión, se pueden utilizar diferentes pruebas como las triaxiales y las realizadas en consolidómetros; sin embargo, una prueba muy usada para estos fines es la prueba de Porter del Estado de California, E.U.A., elaborada en 1925. Esta prueba es conocida como de Porter estándar, para diferenciarla de otras pruebas que se han derivado de ella y se denominan como Porter modificadas. Con la prueba de Porter estándar se obtienen cuatro parámetros o características de los materiales que son: peso volumétrico seco máximo (PVSM), humedad óptima (W_o), expansión (E) y valor relativo de soporte (VRS). Es conveniente que al manejar estos datos se aclare que precisamente se obtuvieron de la prueba Porter estándar.

Prueba de Porter estándar

Peso volumétrico seco máximo y humedad óptima

Para realizar esta prueba, en un molde metálico de 15 cm de diámetro se colocan 4 kg de material húmedo y se les da una presión estática (o sea, con una placa que cubre toda la sección del molde) de 140.6 kg/cm² (Fig. 5-12); si al terminar de dar la presión la base metálica se humedece ligeramente, se dice que el peso volumétrico seco obtenido es el máximo (PVSM), y la humedad correspondiente es la óptima (W_o) de esta prueba; para su cálculo se hacen las mediciones necesarias. Si no se humedece la base, se repetirá la prueba con mayor humedad; pero si la ex-



Fig. 5-12 Colocación de la placa de carga para realizar la prueba Porter estándar. Se dice que es compactación estática porque la placa cubre toda la superficie libre del espécimen.

pulsión es grande, la cantidad de agua que se use será menor.

Expansión

El espécimen, en la condición de PVSM y W_o confinado en el molde, se introduce en un tanque de saturación (Fig. 5-13) y se le coloca un extensómetro en el que se hace una lectura inicial (L_i); por efecto del agua, mientras más plástico es el material, éste aumenta de volumen, es decir, se expande; se conserva así hasta que la expansión sea imperceptible, con un mínimo de 72 h. Cuando las lecturas del extensómetro de un día para otro sean casi



Fig. 5-13 Especímenes saturándose en agua, durante la prueba Porter estándar.

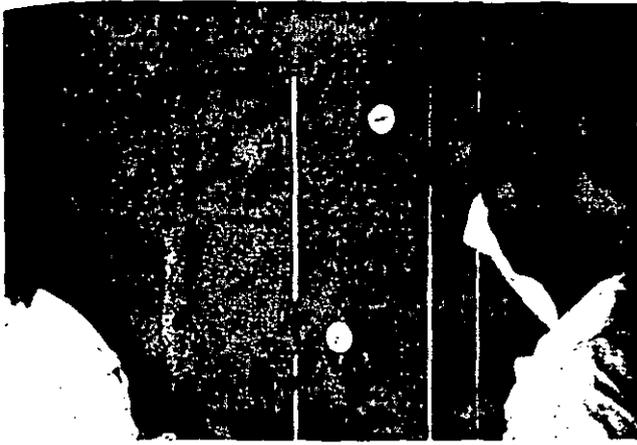


Fig. 5-14 Penetración del espécimen saturado para conocer el valor relativo de soporte.

iguales, se hace en él la lectura final (*Lf*), y se calcula el porcentaje de expansión de la siguiente manera.

$$\% \text{ Expansión (E)} = \frac{L_i - L_f}{\text{Espesor del espécimen sin saturar}} \cdot 100$$

Valor relativo de soporte

Se saca el espécimen del tanque de saturación y se procede a realizar la prueba de valor relativo de soporte. El valor relativo de soporte (VRS) se define como la relación de las resistencias en porcentaje, del material en estudio y de un material estándar, a ser penetrados por un cilindro metálico de 19.35 cm² de sección. Este término es el correspondiente al California Bearing Ratio (CBR) de la prueba Porter del Estado de California, EUA. El material estándar es una caliza triturada, para la cual ya se tienen las resistencias constantes para cualquier penetración de las que se indican más adelante.

Para obtener este valor, se coloca el espécimen en una prensa (Fig. 5-14), haciendo lecturas de las cargas en kg, correspondientes a las penetraciones de: 1.27, 2.54, 3.81, 5.08, 7.62, 10.16 y 12.70 mm. Con estos datos se dibuja una gráfica, en la que en las abscisas se coloca la penetración y en las ordenadas las cargas correspondientes (Fig. 5-15); si la curva no tiene cambios bruscos, el valor relativo de soporte se calcula con la carga (A) correspondiente a la penetración de 2.54 mm o sea:

$$VRS = \frac{A}{1360} \cdot 100$$

1360 es la resistencia en kilogramos correspondiente al material estándar, a la misma penetración de 2.54 mm.

En ocasiones, por errores al realizar la prueba se obtienen curvas que no son continuas, en cuyo caso se deben realizar algunas correcciones; cuando la curva es del tipo

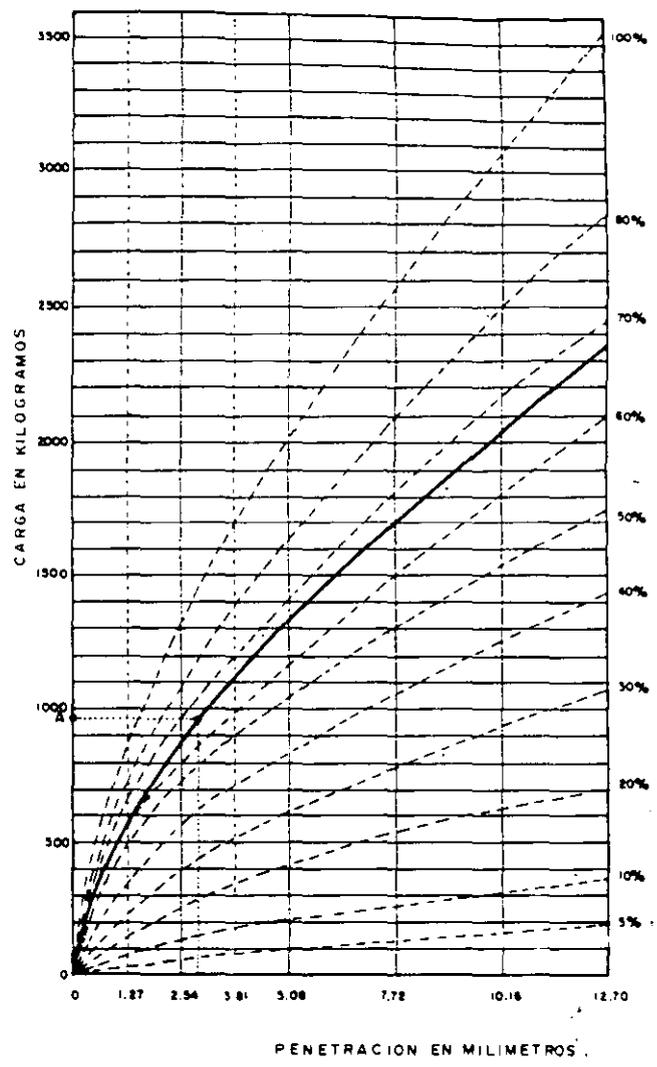


Fig. 5-15 Gráfica penetración-carga sin cambios bruscos

que se muestra en la Fig. 5-16, se hace una corrección pasando una tangente por la zona de cambio de curvatura, colocando el nuevo origen en donde esta línea corte a las abscisas; se encuentra la nueva posición de la penetración de 2.54 mm y la carga correspondiente (A) que se usa para el cálculo del VRS, así:

$$VRS_2 = \frac{A'}{1360} \cdot 100$$

A menudo, con materiales granulares redondeados, se obtienen curvas como la que se muestra en la Fig. 5-17, en este caso, si el VRS se calcula en forma directa con el valor de 2.54 mm, se corre el riesgo de obtener una resistencia mayor a la que presentará el material en la realidad. Para evitar lo anterior, se puede encontrar el VRS

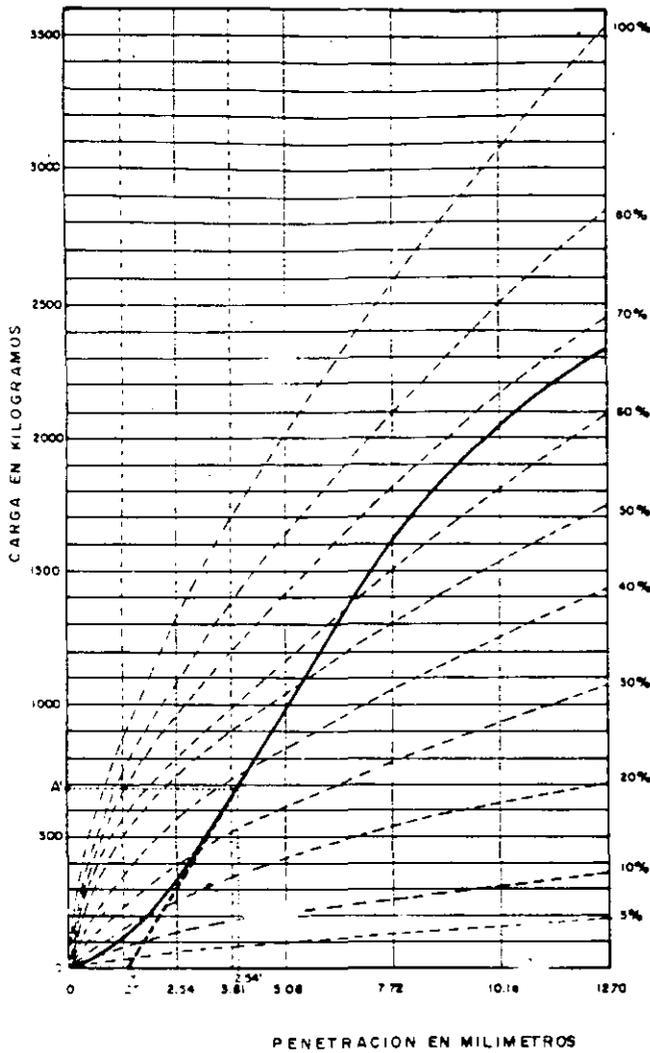


Fig. 5-16 Gráfica penetración-carga que requiere la corrección que se muestra para el cálculo de VRS debida a un error al inicio de la prueba.

corregido, calculando los correspondientes a cada penetración y luego obtener el promedio así:

$$VRS_3 = \frac{VRS_{1.27} + VRS_{2.54} + VRS_{3.81} + \dots + VRS_{12.7}}{7}$$

Otra manera de obtener el VRS en este caso, es por medio de un procedimiento gráfico (Fig. 5-17) en donde se traza una línea, como la discontinua, de tal forma que el área 1 sea aproximadamente al área 2 y con la carga A'' correspondiente a la línea punteada se obtiene el VRS así:

$$VRS_3 = \frac{A''}{1360} 100$$

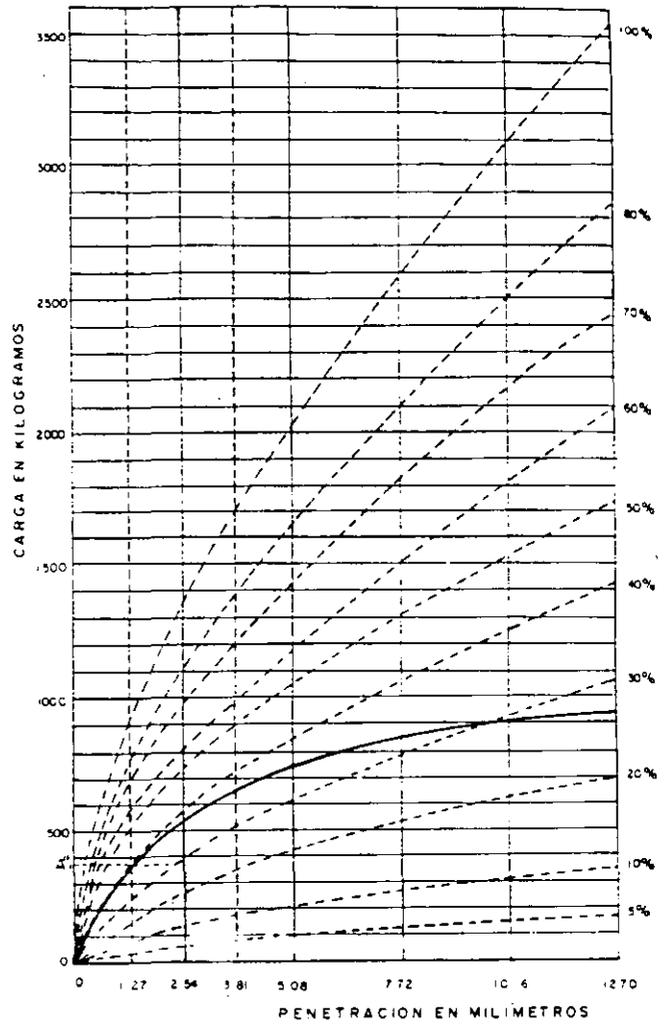


Fig. 5-17 Gráfica penetración-carga que se obtiene de materiales con superficies lisas como los de playones de arroyo y ríos. La corrección para el módulo de VRS puede hacerse en forma analítica o gráfica.

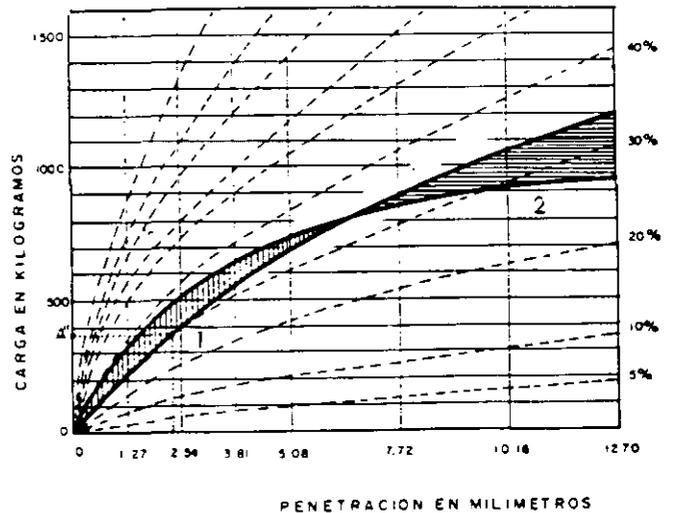


Fig. 5-18 Corrección gráfica a la curva penetración-carga de materiales que fallan al ser penetrados y presentan una curva discontinua.

Prueba de valor cementante

Es muy común en el país, que las carpetas asfálticas que se colocan en caminos rurales y en las ciudades tengan espesores menores a 10 cm (muy a menudo este espesor puede ser tan delgado como 2 o 3 cm, en carpetas de un riego), que no es suficiente para dar un confinamiento adecuado a materiales inertes de base y sub-base, para que puedan resistir sin deformaciones los esfuerzos, principalmente los tangenciales, producidos por el tránsito. Por tanto, es necesario que estos materiales tengan un cierto aglutinamiento, y así puedan proporcionar una sustentación adecuada a estas carpetas delgadas. Cuando el tránsito es mayor a 3000 vehículos diarios, o que la superficie de rodamiento sea un concreto asfáltico, se deberá rigidizar la base por medio de cal o cemento Portland. Cuando el tránsito es menor a 3000 vehículos diarios y la carpeta se construye con rebajados asfálticos o emulsión, este aglutinamiento puede producirse incorporando al material inerte algún otro material natural de baja plasticidad, como pueden ser limos, materiales calichosos, silíceos o arenas arcillosas cuyos límites plásticos sean menores del 18%, o sea, contracciones lineales menores a 6.5%, en cantidades tales que a la vez que se tenga suficiente aglutinamiento, también cumplan con los requisitos de resistencia y plasticidad, para materiales de base o sub-base.

Para conocer si un material tiene suficiente aglutinamiento, se realiza la prueba de valor cementante que se ejecuta con la porción de material que pasa la malla Núm. 4, de la siguiente manera:

En un molde cúbico de lámina de 7.5 cm de lado, se colocan tres capas de material con tal cantidad de agua, que al apretarse una porción cerrando el puño de la mano, ésta se humedezca ligeramente. A cada capa, por medio de una placa con un vástago, se le dan 15 golpes con una varilla de 900 g, desde una altura de 50 cm, por medio de una guía (Fig. 5-19); los especímenes con todo y



Fig. 5-19 Compactación del espécimen para la prueba de valor cementante.



Fig. 5-20 Ruptura a la compresión sin confinar, de un espécimen de valor cementante.

molde se introducen en un horno, en donde se secan hasta peso constante; se sacan del horno y cuando adquieren la temperatura ambiente, se descimbran y se llevan a la ruptura por medio de compresión sin confinar (Fig. 5-20).

El valor cementante se calcula dividiendo la carga de ruptura entre el área, y se reporta la resistencia promedio en kg/cm^2 , cuando menos de 3 especímenes.

Pruebas de adherencia de materiales pétreos con el asfalto

Los materiales que van a estar en contacto con asfalto como son los que se utilizan en carpetas asfálticas, bases negras o bases naturales, deben tener buena adherencia con el asfalto.

Esta característica se ve muy afectada, en forma negativa, cuando se tiene agua, de tal manera que aquellos materiales que son afines al agua (hidrófilos), en general tienen mala adherencia con el asfalto; es por ello que las pruebas que se realizan con este fin, se hacen en presencia de ese elemento y las más usuales en el país son:

- Prueba de desprendimiento por fricción.
- Prueba de pérdida de estabilidad por inmersión en agua.
- Prueba inglesa.

Prueba de desprendimiento por fricción

En la prueba de desprendimiento por fricción se colocan 50 g de mezcla asfáltica en un frasco y se deja reposando por 24 h, al término de las cuales se sujeta a 3 periodos de agitado de 5 min cada uno, al finalizar el agitado se saca la mezcla del frasco y se observa el porcentaje de desprendimiento de asfalto que sufrió el material pétreo. El agi-

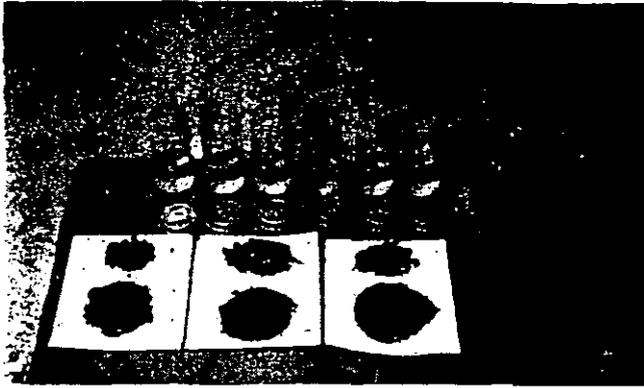


Fig. 5-21 Prueba de desprendimiento por fricción para conocer la clase de adherencia que tiene el asfalto con el material pétreo.

tado puede ser manual o mecánico (Fig. 5-21); en el primer caso el tiempo total es de 15 min. en el segundo caso es de tres horas (3 periodos de una hora). Si el porcentaje de desprendimiento es de 25% o menos, se considera que el material tiene adherencia aceptable.

Prueba de pérdida de estabilidad por inmersión en agua

Para realizar la prueba de pérdida de estabilidad por inmersión en agua, se coloca una porción de mezcla asfáltica en un molde metálico de 10 cm de diámetro y se le da una compactación de tipo estático bajo una presión de 40 kg/cm²; se elabora con la misma mezcla asfáltica otro espécimen de la manera ya anotada; la altura de los especímenes será de 12 cm ± 0.5 cm. Uno de los especímenes se deja reposando en la mesa de laboratorio y el otro se sumerge en agua por tres días, al cabo de ese tiempo, ambos se llevan a la ruptura por medio de compresión sin confinar; la pérdida de estabilidad se calcula de la siguiente forma:

$$P_s = \frac{R_u - R_{sat}}{R_u} 100$$

En donde:

- P_s = pérdida de estabilidad por inmersión en agua en porcentaje
- R_u = resistencia del espécimen sin saturar en kg/cm²
- R_{sat} = resistencia del espécimen saturado en Kg/cm²

Se considera que un material tiene adherencia aceptable si el valor calculado es menor a 25%.

Prueba inglesa

Para realizar esta prueba se esparce en el fondo de una charola producto asfáltico, de tal manera que se tenga una película de 1.5 mm, la cual se cubre con un tirante de agua de 2.5 cm a la temperatura de aplicación del asfáltico, y la charola se coloca sobre un recipiente mayor que contenga agua a la misma temperatura. Se toman 6 partículas de material con dimensiones entre 1/2 plg y 3/4 plg, se sumergen en la charola y se mantienen presionadas en el asfalto durante 10 min al cabo de los cuales se sacan y se observa en cada una de ellas el porcentaje de cubrimiento que tienen; se reporta el promedio de cubrimiento de las 6 partículas, si este valor es mayor al 90%, se dice que la adherencia es aceptable.

En caso de que por el resultado de las pruebas se considere que el material pétreo no tiene buena adherencia, se puede hacer uso de aditivos, escogiendo el de mayor efectividad y menor costo repitiendo las pruebas. De estos aditivos existe una gran variedad, pudiéndose decir que en la actualidad es muy difícil desechar algún material por mala adherencia.

Dureza

Para conocer la dureza de los materiales pétreos y suelos que se utilizan en la construcción de las vías terrestres, se pueden utilizar diferentes pruebas como son: de desgaste por medio de máquina de "Los Angeles" o de la "Devai" o la de durabilidad; también se pueden utilizar las pruebas de intemperismo acelerado, de densidad y de formas de partícula.

Desgaste

Las pruebas de desgaste consisten en colocar al material con una granulometría determinada, dentro de un cilindro de acero hueco (Fig. 5-22) junto con bolas de ace-



Fig. 5-22 Cilindro metálico para realizar la prueba de desgaste de "Los Angeles".

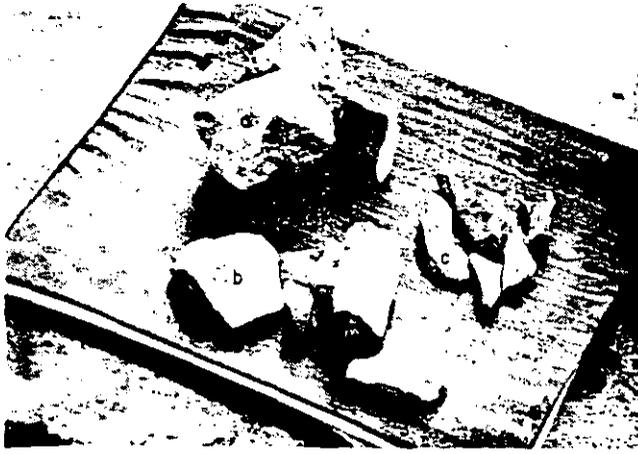


Fig. 5-23 Partículas de forma: (a) cúbica, (b) en forma de laja y (c) en forma de aguja (ascicular).

ro. Se hace girar el cilindro un determinado número de veces y al final se ve la cantidad de partículas finas que se produjeron, con lo cual se puede calcular el porcentaje de desgaste. Cuando los materiales son de poca densidad (pómez, tezontle, jal) esta prueba no es muy indicativa, pues la acción de las bolas de acero no es la misma que con materiales densos, en este caso se podría realizar una prueba del tipo de la durabilidad, pero con mayor rigidez, pues ésta, es más bien del tipo de agitado.

Forma de la partícula

Las pruebas de la forma de la partícula se llevan a cabo a fin de conocer el porcentaje de partículas en forma de aguja (asciculares), o de laja que se tienen en el material (Fig. 5-23), pues éstas al recibir las cargas tienden a romperse con facilidad y hacen que los materiales tengan menos resistencia.

Densidad

Es muy importante hacer notar que los materiales que tienen densidades menores a 1.8 (P. V. suelto menor de 1500 kg/m^3) en general presentan problemas al ser usados en alguna capa de la sección transversal de las vías terrestres, pues son deleznable, de baja resistencia y presentan rebote, lo cual se traduce en deformaciones o agrietamientos de la superficie de rodamiento, no siempre fáciles de corregir.

En seguida, se hará una descripción rápida de las pruebas que se llevan a cabo en los materiales asfálticos.

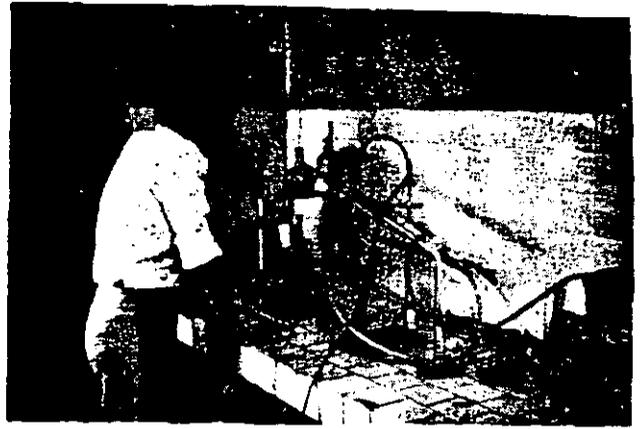


Fig. 5-24 Prueba de destilación para rebajados asfálticos.

PRUEBAS DE CLASIFICACION PARA PRODUCTOS ASFALTICOS

Prueba de destilación

Para esta prueba, que se realiza en asfaltos rebajados y emulsiones, se coloca el material en un recipiente que se conecta a un refrigerante. El recipiente con el producto asfáltico se calienta, empezando a evaporarse los productos más volátiles, los cuales al pasar por el refrigerante se condensan y se reciben en una probeta, en el extremo de aquél (Fig. 5-24). En la parte superior del recipiente se coloca un termómetro en el que se ve la temperatura a la cual cae la primera gota en la probeta, y posteriormente los volúmenes obtenidos a diferentes temperaturas marcadas en los procedimientos de prueba; con este último dato y la temperatura de la primera gota, se puede conocer el tipo de rebajado de que se trate, para el caso de emulsiones, el procedimiento es semejante, sólo que en este caso el elemento que se evapora es el agua. Al terminarse la prueba, antes que se enfríe el residuo que quedó en el recipiente, se vacía en una cápsula de aluminio, ya que se utilizará en la prueba de penetración.

Penetración

La prueba de penetración se realiza en cementos asfálticos y en los residuos de la destilación de rebajados y emulsiones asfálticas. Esta prueba se realiza por medio del penetrómetro (Fig. 5-25) que consta de un vástago lastrado que pasa 200 g y en el extremo inferior tiene una aguja. El material asfáltico contenido en una cápsula a temperatura de 25°C se pone en contacto con la aguja, se deja al vástago libre durante 5 s, al cabo de los cuales se ven en la carátula los décimos de milímetro que penetró la aguja, los cuales indican los grados de penetración.



Fig. 5-25 Prueba de penetración para cemento asfáltico y para el residuo de la destilación de rebajados y emulsiones.

Prueba de viscosidad

Con la prueba de viscosidad, se trata de conocer la dificultad de un producto asfáltico, a pasar por un orificio de características especificadas.

Para realizar esta prueba se hace uso del aparato llamado viscosímetro, con el cual se ve el tiempo que tarda el producto asfáltico en llenar un matraz aforado de 60 cm³, después de pasar a la temperatura de prueba por el orificio "Furol" (Fig. 5-26). Este tiempo en segundos se denomina grados de viscosidad y la prueba se realiza a emulsiones, rebajados y cementados asfálticos.

Punto de encendido

Esta prueba se efectúa a cementos y rebajados asfálticos; es muy importante, pues a partir del resultado se puede



Fig. 5-26 Prueba de viscosidad.

deducir el tipo de solventes que contiene el producto en estudio. Se pueden utilizar para esta prueba, según el tipo productos asfálticos, la copa Tag o la copa Cleveland y se calienta en ellas el producto hasta que se inflama al pasarles por la superficie descubierta un pequeño mechero encendido. Se reportan la temperatura de la primera flama y la de inflamación.

Prueba de asentamiento

Para esta prueba se colocan 500 g de emulsión en una probeta que se tapaná herméticamente y se dejan reposar por 5 días, al final de los cuales se extraen con cuidado con una pipeta los 50 g de la parte superior y por evaporación se calcula el porcentaje de cemento asfáltico; en seguida se extraen y se desechan los 400 g que siguen y, por último, se obtiene también por evaporación el contenido de cemento asfáltico de los últimos 50 g; el asentamiento en 5 días es la diferencia de los contenidos de asfalto que se obtuvieron de la parte inferior y la superior. Con esta prueba y otras como la de demulsibilidad y la de miscibilidad se puede conocer si las emulsiones son suficientemente estables.

Prueba de miscibilidad con cemento Portland

Se agregan 100 g de emulsión asfáltica a temperatura de 25 °C a 50 g de cemento Portland a la misma temperatura y se mezclan con una varilla durante un minuto para tener una mezcla uniforme, agregando en seguida 150 g de agua destilada, se continúa mezclando durante 3 min; en seguida se enjuaga la mezcla con agua limpia. El porcentaje de asfalto agrumado con respecto al peso inicial de la emulsión es el resultado de esta prueba.

Prueba de demulsibilidad

En esta prueba se obtiene el porcentaje de asfalto agrumado al utilizar cloruro de calcio, dos centésimos normal como coagulante.

Pruebas de acidez y carga de la partícula

Con estas pruebas, se decide si las emulsiones son aneónicas o cateónicas. La primera de estas pruebas se efectúa utilizando papel tornasol y la segunda haciendo pasar una corriente eléctrica por la emulsión por medio de un potenciómetro.

SISTEMAS DE CLASIFICACION

Como se dijo con anterioridad, las pruebas de clasificación sirven para conocer las características de los materiales y poder decidir el uso que se les puede dar: para realizar lo anterior, se han elaborado los sistemas de clasificación de materiales, que en forma fácil y ordenada nos permiten tener un conocimiento mejor de los materiales al combinar sus diferentes características: hay sistemas de clasificación que se basan en una sola prueba, otros que lo hacen con dos y otros más que toman en cuenta varias características de los materiales: en ocasiones, una característica de los materiales está influida por otras: así, el valor relativo de soporte, que es una prueba de resistencia, está influida por la granulometría, la plasticidad y la humedad de los materiales.

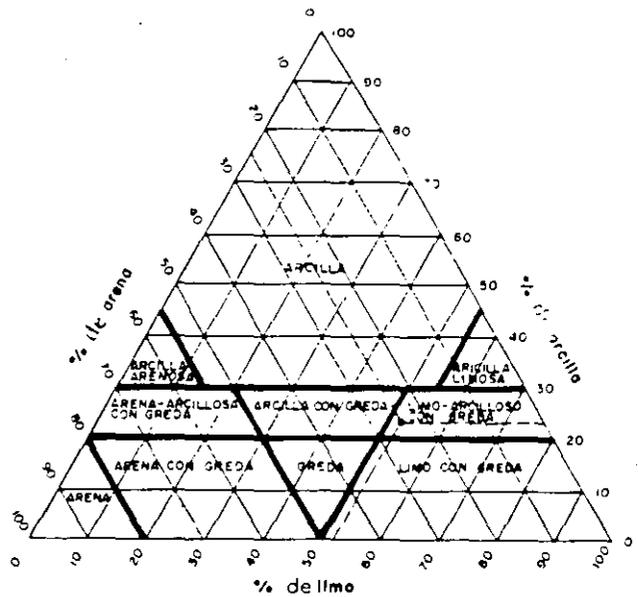


Fig. 5-27 Sistema de clasificación de mezclas de arenas y finos (limos y arcillas).

Clasificación basada en la granulometría

Tomando en cuenta la granulometría, los materiales que se utilizan en la construcción de caminos, se dividen de acuerdo a la siguiente tabla.

	Grandes	Mayores a 75 cm
Fragmentos de Roca	Medianos	Entre 25 y 75 cm
	Chicos	Entre 7.5 y 5 cm
Suelos	Gravas	7.5 cm (3 plg) a 4.76 mm (Núm. 14)
	Arenas	4.76 mm (#4) a 0.074 mm (Núm. 200)
	Finos	Pasan de 0.074 mm (Núm. 200)

De acuerdo a la cantidad de grava, arena y finos que contenga el suelo, se pueden tener denominaciones mixtas como, grava-arenosa arcillosa o arcilla-grava-arenosa; aunque se hace la aclaración que los materiales finos, aquellos que pasan la malla 200, no necesariamente son de tipo arcilloso, sino que pueden también ser limos. Para conocer la denominación mixta se hace uso de un monograma triangular como el que se muestra en la (Fig. 5-27). En los lados del triángulo se coloca el porcentaje de grava, arena o finos que componen el material, llevando de cada uno de estos puntos una línea paralela a la del siguiente lado del triángulo en sentido de las manecillas del reloj; de acuerdo a la zona en que quede el punto donde se juntan las tres líneas, será el nombre que lleve la combinación de tamaños.

Clasificación basada en el VRS de la Porter estándar

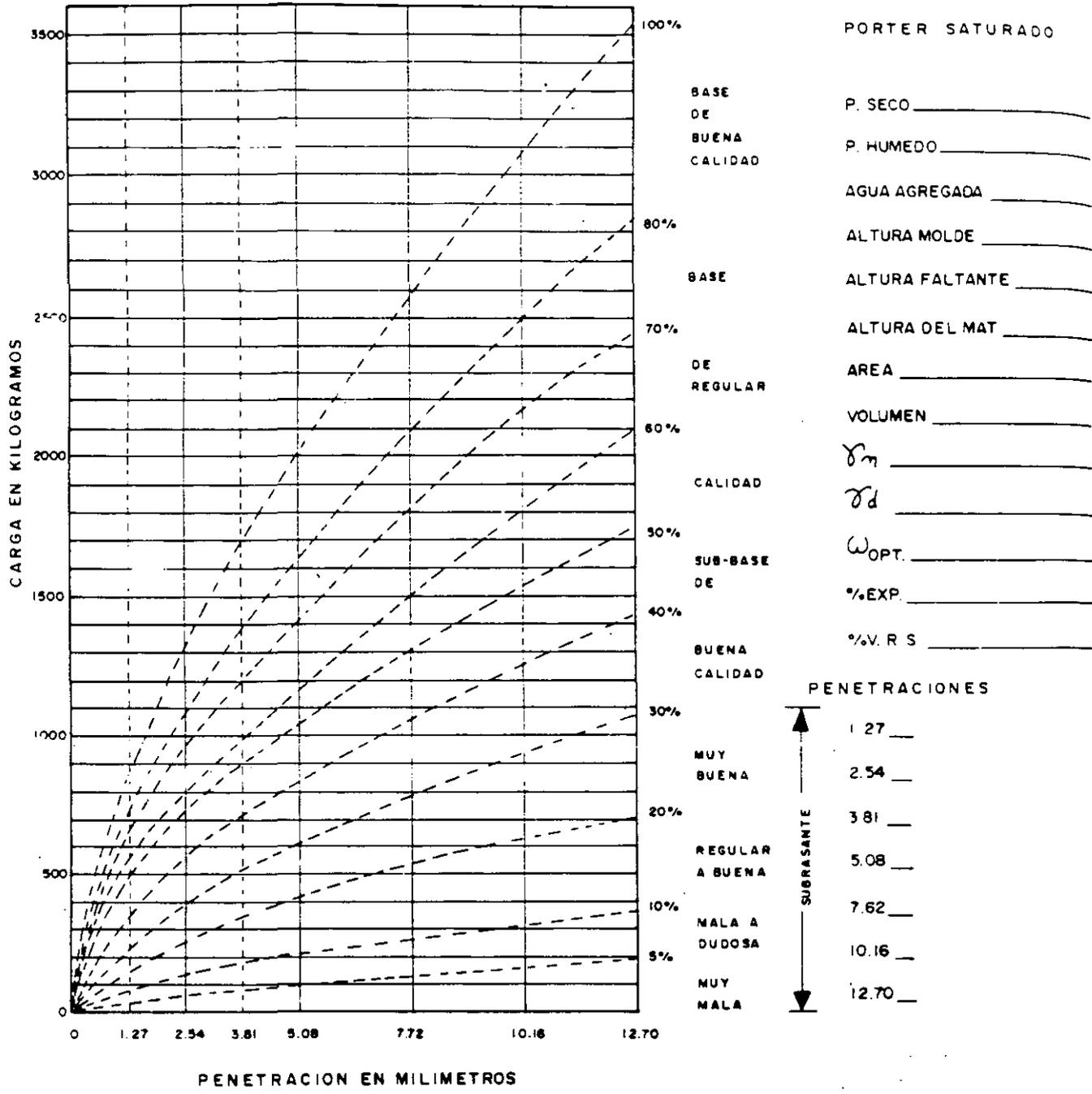
Otra clasificación que toma sólo una característica, es la que divide los materiales de acuerdo al valor relativo de soporte, por medio de la prueba de Porter estándar, de acuerdo a la cual (Fig. 5-28) los materiales que tengan entre 0 y 10% son terracerfas de mala calidad, de 10 a 20% son capas subrasantes regulares, de 20 a 50% corresponden a materiales de capa subrasante de buena calidad, con más de 50% pueden utilizarse como subbase y con más de 80% se consideran materiales de base.

Carta de plasticidad de Casagrande

Casagrande, tomando en cuenta las características plásticas de los materiales finos, los clasifica haciendo uso de un plano coordenado, en el que en las abscisas se marca el límite líquido y en las ordenadas el índice plástico. Se tiene en el plano la línea A cuya fórmula es: $I_p = 0.73 (L_L - 20)$; se tiene también una línea vertical de fórmula $L_L = 50$ (Fig. 5-29).

Los materiales cuyas coordenadas de L_L e I_p quedan debajo de la línea A se denominan limos; si quedan arriba de ella son arcillas.

Los materiales cuyo límite sea menor a 50 son de baja plasticidad y los que quedan hacia la derecha son de alta plasticidad. Los materiales con L_L mayor a 100 se consideran de tipo orgánico.



MOLDE NUM. _____
 EXTENSION NUM. _____
 LECTURA I = _____
 LECTURA F = _____

Fig. 5-28 Clasificación de suelos de acuerdo al VRS obtenido por medio de la prueba Porter estándar.

TEMA V. EXPLOTACION DE PRESTAMOS

V.a. TIPOS DE MATERIALES QUE SE VAN A
EXCAVAR

V.b. SELECCION DEL EQUIPO

V.c. VOLUMEN POR EXCAVAR

V.d. LONGITUD DEL ACARREO

V.e. TIPO DEL CAMINO DE ACCESO AL BANCO

V. EXPLOTACION DE PRESTAMOS.

LA EXPLOTACION O ATAQUE DE UN PRESTAMO DEBERA HACERSE CUMPLIENDO CON LAS SIGUIENTES INDICACIONES:

SE INICIARA CON EL DESPALME, DESALOJANDO LA CAPA SUPERFICIAL DEL TERRENO NATURAL CUANDO NO SEA ADECUADO PARA LA CONSTRUCCION DE TERRAPLENES; LOS DESPALMES SE EJECUTARAN EXCLUSIVAMENTE EN MATERIAL "A", DESPUES DE HABER SECCIONADO LA SUPERFICIE PROBABLE DE ATAQUE.

SE DEBERA TENER ESPECIAL CUIDADO EN QUE NO SE ALTEREN NI MODIFIQUEN LAS REFERENCIAS Y BANCOS DE NIVEL DEL SECCIONAMIENTO DURANTE LA EJECUCION DE LOS DESPALMES.

TERMINADO EL DESPALME, ANTES DE ATACAR LOS BANCOS SE SECCIONARAN NUEVAMENTE, DEJANDO LAS REFERENCIAS Y BANCOS DE NIVEL EN LUGARES FUERA DE LA ZONA DE ATAQUE PARA QUE NO SEAN DESTRUIDOS O ALTERADOS.

PARA SU FACIL MEDICION, SE EXCAVARAN EN SECO, EN LA FORMA MAS REGULAR POSIBLE Y HASTA LA PROFUNDIDAD FIJADA EN EL PROYECTO. EL CONTRATISTA SOLO PODRA INICIAR LA EXCAVACION DE LOS PRESTAMOS DESPUES DE QUE HAYAN SIDO TRAZADOS, SECCIONADOS Y AUTORIZADOS POR EL REPRESENTANTE.

EN LOS TRAMOS DE TERRACERIAS COMPENSADAS, SOLO SE HARAN PRESTAMOS DE AJUSTE CUANDO EL MATERIAL APROVECHABLE DE LOS CORTES HAYA SIDO TOTALMENTE UTILIZADO.

LAS EXCAVACIONES PARA LOS PRESTAMOS SERAN DEBIDAMENTE DRENADAS. EN LAS QUE ESTEN CERCANAS A LAS TERRACERIAS SE DEJARA,

ENTRE LAS LINEAS DE CEROS DEL TERRAPLEN Y LA ORILLA CONTIGUA DE LA EXCAVACION PARA EL PRESTAMO, UNA BERMA O BANQUETA CON ANCHO MAYOR DE 3.00 M.

V.a. TIPOS DE MATERIAL QUE SE VAN A EXCAVAR.

LOS MATERIALES QUE SE VAYAN A EXCAVAR DEBERAN CUMPLIR EN TODO CON LO ESPECIFICADO EN LAS NORMAS DE CONSTRUCCION DE LA SCT, TOMO VIII NORMAS DE MATERIALES.

CAPITULO 2. MATERIALES PARA TERRACERIAS

CAPITULO 3. MATERIALES PARA REVESTIMIENTO, SUB-BASES Y BASES DE PAVIMENTO.

V.b. SELECCION DEL EQUIPO.

EL EQUIPO MAS CONVENIENTE PARA LA EXPLOTACION DE UN BANCO SE SELECCIONA EN FUNCION DE LA LABOR QUE VA A DESARROLLAR. ESTE TRABAJO COMPRENDE CUATRO ETAPAS:

- a). ACONDICIONAMIENTO DEL AREA DE TRABAJO (DESMONTE Y DESPALME).
- b). PREPARACION DEL BANCO, LA CUAL PUEDE SER ESCARIFICACION, O DE SER NECESARIO BARRENACION Y TRONADO.
- c). EXCAVACION Y CARGA.
- d). TRANSPORTE.

EN LA SELECCION DEL EQUIPO JUEGA UN PAPEL MUY IMPORTANTE LAS MAQUINAS DISPONIBLES, EL TIPO DE MATERIAL QUE SE VAYA A EXTRAER Y LA DISTANCIA DE ACARREO.

LA MAQUINA MAS UTIL EN LAS ACTIVIDADES a), b) y c) ES EL

TRACTOR DE ORUGAS, YA SEA BULDOZER O ANGLEDOZER CON ESCARIFICADOR (RIPPER); PUEDE EN ALGUNOS CASOS EMPLEARSE UN TRAXCAVO PREFERENTEMENTE DE CADENAS, YA QUE, COMO EN EL CASO DEL TRACTOR, SE ADAPTA MAS A LA TOPOGRAFIA DEL TERRENO QUE UNO NEUMATICO.

LA SELECCION DEL EQUIPO DE BARRENACION DEPENDERA DE LA PROFUNDIDAD DE LOS BARRENOS. PROFUNDIDADES HASTA 5.00 M. PUEDEN ATACARSE FACILMENTE CON UN COMPRESOR DE AIRE Y PISTOLAS. MAYORES PROFUNDIDADES REQUERIRAN EL EMPLEO DE UN TRACKDRILL.

EN LOS DOS CUADROS SIGUIENTES SE DA UNA IDEA GENERAL DEL EQUIPO A EMPLEAR DE ACUERDO CON EL TIPO DE MATERIAL POR EXPLOTAR.

Equipo común para explotación de bancos y transporte de materiales

Tipo de material	Despalme y limpieza (Si se requiere)	Preparación del banco	Excavación y carga		Transporte	
			Tamaño máximo (m)	Equipo	Distancia (m)	Equipo
ROCAS						
Roca sana (Superficialmente alterada)	Tractor de orugas con cuchilla frontal, inclinable	Barrenación y tronado de acuerdo al tipo de roca y al tamaño máximo por obtener	$0.75 < x < 2.00$	Pala mecánica	Menos de 150	Volquete o camión
			$0.30 < x < 0.75$	Pala mecánica o cargador frontal	De 150 a 2,500	Vagoneta o camión
			$0.075 < x < 0.30$	Pala mecánica o cargador frontal	De 2,500 a 100,000	Camión o remolque
Roca alterada (Superficialmente muy alterada)	Tractor de orugas o neumáticos con cuchilla frontal inclinable	Barrenación y tronado, escarificación y monco o sólo escarificación	$0.30 < x < 0.75$	Pala mecánica o cargador frontal	Menos de 150	Volquete o camión
			$0.075 < x < 0.30$	Pala mecánica o cargador frontal	De 150 a 2,500	Vagoneta o camión
					Más de 2,500	Camión o remolque
Roca muy alterada (Suelo y fragmentos chicos superficiales)	Tractor de orugas o neumático, con cuchilla frontal inclinable o escropa halada con tractor de orugas	Escarificación y monco o sólo escarificación	$0.075 < x < 0.75$	Pala mecánica o Cargador frontal	Menos de 150	Volquete o camión
					De 150 a 2,500	Camión o vagoneta
					Más de 2,500	Camión o remolque
		Escarificación	$x < 0.075$	Escropa	Menos de 150	Escropa halada con tractor de orugas o motoescrepa
				De 150 a 2,500	Escropa halada con tractor neumático o motoescrepa	

V. 4

SUELOS

	Tractor de orugas o neumático con cuchilla frontal inclinable	Escarificación y monco	$0.30 < x < 0.75$	Pala mecánica o cargador frontal	Menos de 150	Volquete o camión
		Escarificación	$0.075 < x < 0.30$		De 150 a 2,500	Camión o vagoneta
	Draga	Ninguno	$x < 0.075$ Bajo el N. A. F.	Draga de almeja o de arrastre	Más de 2,500	Camión o remolque
Aluviones	Tractor de oruga o neumático con cuchilla frontal inclinable o escarpa halada con tractor de oruga	Escarificación	$x < 0.075$ Sobre N. A. F.	Escarpa	Menos de 150	Escarpa halada con tractor de orugas o motoesarpa
					De 150 a 2,500	Escarpa halada con tractor neumático o motoesarpa
V.S.	Tractor de orugas o neumático con cuchilla frontal inclinable	Escarificación cuando compacto, cementado o duro	$x < 0.005$	Pala mecánica Motoelevadora Cargador frontal	Menos de 150 De 150 a 2,500 Mas de 2,500	Camión o volquete Camión o vagoneta Camión o remolque
	Escarpa halada con tractor de oruga o motoesarpa tractor	Escarificación cuando compacto, cementado o duro	$x < 0.005$	Escarpa	Menos de 150	Escarpa halada con tractor de oruga o motoesarpa
					De 150 a 250	Escarpa halada con tractor neumático o motoesarpa
Arenas, limos y arcillas	Draga de arrastre o de almeja	Ninguno	$x < 0.005$ Bajo el N. A. F.	Draga de arrastre o almeja	Menos de 150 De 150 a 2,500	Camión Camión o vagoneta
	Draga marina	Ninguno		Draga marina	Conducción hidráulica al tanque de sedimentación	

TEMA VI

COMPACTACION

- VI.a. GENERALIDADES SOBRE LA COMPACTACION
- VI.b. CLASIFICACION DE LOS MATERIALES EN COMPACTABLES Y NO COMPACTABLES
- VI.c. PRUEBAS DE LABORATORIO PARA DETERMINAR EL GRADO DE COMPACTACION DE LOS SUELOS
- VI.d. SELECCION DEL EQUIPO DE COMPACTACION

COMPACTACION

I. INTRODUCCION

La palabra "compactación" resulta de sustantivar el Adjetivo "compacto", que deriva del latín "compactus", participio pasivo de "compingere" - que quiere decir unir, juntar.

Desde tiempos antiguos se ha reconocido la conveniencia de compactar los terraplenes de los caminos. Los métodos primitivos incluían llevar borregos de un lado para otro del terraplén y arrastrar con caballos --- aplanadoras pesadas de madera.

Hasta hace pocos años se podía contar con la compactación hecha por las unidades de transporte y por aplanadoras casuales, junto con los --- asentamientos naturales, para estabilizar los terraplenes, de modo que - retuvieran su forma y soportaran las cargas que se colocaran sobre ellos.

En los últimos quince años ha habido un gran progreso en la ciencia de la compactación de los suelos. Los estudios de laboratorio han resuelto muchos problemas del comportamiento del suelo, y los fabricantes han diseñado una amplia variedad de equipo para producir el máximo de compactación con el máximo de economía.

La compactación de los suelos debe ajustarse de la forma más adecuada, ya que, a excepción de unas correctas características de drenaje, es el factor que tiene mayor influencia en las condiciones funcionales de cualquier obra civil, como pueden ser terraplenes, sub-bases, bases y -- superficies de rodamiento.

Se desprende de lo anterior, que la vida útil de una obra, en la que interviene la compactación, dependerá en gran parte del grado de compactación especificado, el cual deberá ser estrictamente controlado.

La realización de proyectos cada vez más ambiciosos y de programas - más agresivos ha originado una intensa y constante evolución del equipo de compactación.

Se ha introducido mejoras, tales como: poderosos sistemas hidráulicos, sensores electrónicos confiables, diseños más funcionales, mayor -- versatilidad en su uso, transmisiones rápidas, potentes motores, --- etc., las cuales se han traducido en una mayor producción de los equipos.

Con el objeto de poder cumplir con plazos cada vez menores en la ejecución de obras cada vez mayores, se ha llegado a la necesidad de utilizar equipos de gran producción.

Los grandes equipos de carga, acarreo y tipo de material, han obligado a los fabricantes de equipo de compactación a diseñar máquinas compactadoras capaces de balancear al tiro con la compactación, para evitar interferencia de actividades y pérdida de tiempo, lo que da por resultado un proyecto antieconómico.

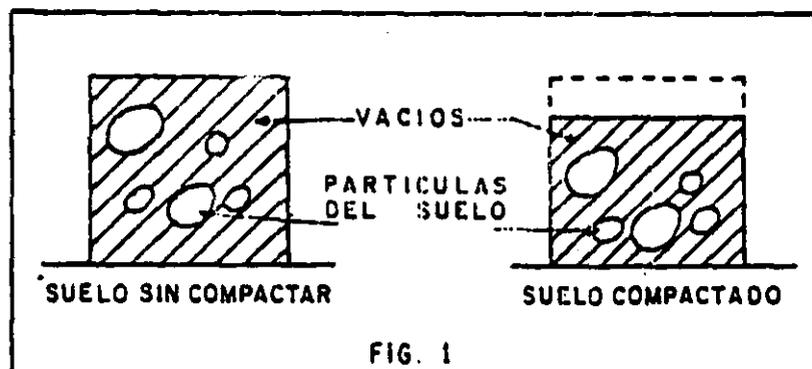
II. COMPACTACION

2.1. DEFINICION

En la terminología de Mecánica de Suelos, la reducción de los vacíos de un suelo recibe varios nombres: Consolidación, Compactación, Densificación, etc., existen ligeras diferencias en el significado de los dos primeros.

Consolidación, se usa para la reducción de vacíos, relativamente lenta, debida a la aplicación de una carga estática, usualmente acompañada de expulsión de agua del suelo, por ejemplo, la reducción de vacíos en el suelo bajo un edificio.

El término compactación se usa para la reducción de vacíos, más o menos rápida, producida por medios mecánicos durante el proceso de construcción. (Fig. 1).



Al reducirse los vacíos del suelo hay un incremento del peso volu-
métrico del material, de donde se puede dar la siguiente definición.

Compactación: Es el aumento artificial, por medios mecánicos, del
peso volumétrico de un suelo, esto se logra a costa de la reducción de
los vacíos del mismo al conseguir un mejor acomodo de las partículas -
que los forman mediante la expulsión de aire y/o agua del material.

2.2. PROPOSITO E IMPORTANCIA.

La compactación mejora las características de un suelo en lo que -
se refiere a:

- a) Resistencia mecánica
- b) Resistencia a los asentamientos bajo cargas futuras
- c) Impermeabilidad

Entre las obras que requieren compactación se pueden señalar, como
más importantes las carreteras, las aeropistas y las presas de tierra.

Estas estructuras deberán ser capaces de soportar su propio peso
y el peso de las cargas super-impuestas. Si falla, el costo de la re-
paración puede ser muy elevado.

Desde el punto de vista del constructor el problema es: obtener -
la densidad especificada por el diseñador. Obtenida esta densidad se
asegura que la resistencia a futuros asentamientos y la impermeabili-
dad sean las supuestas por el diseñador. Sin embargo, la obtención de
la densidad de diseño no necesariamente asegura la resistencia mecáni-
ca supuesta, ya que ésta depende, en muchos suelos, de la humedad a -
la cual fue compactado. Es necesario entonces que la compactación --
sea efectuada a la humedad especificada, especialmente para suelos --
cohesivos.

Se hace notar que compactar a mayores grados del especificado no
es conveniente, es decir, compactar más, puede resultar perjudicial -
al proyecto.

La falla de algunas obras han obligado a que las especificaciones
de compactación sean cada vez más estrictas: las tolerancias en más o
en menos, del grado de compactación especificado, son generalmente fi-
jadas desde el inicio de la obra

2.3. PRUEBAS DE COMPACTACION

En la construcción de terraplenes sería ideal poder medir la re-
sistencia del suelo para determinar cuando se ha alcanzado la resis-

propósito y punto

tencia necesaria, pero el equipo para medir esta resistencia (especialmente a esfuerzos de compactación y cortante) es difícil de manejar, es caro y no es aplicable a todos los suelos, por lo tanto se han preparado las siguientes pruebas de laboratorio.

- A) Proctor
- B) Proctor Modificada
- C) Porter

A). Proctor: R.R. Proctor estableció que hay una correspondencia entre el peso volumétrico seco de un suelo compactado y su resistencia. El equipo para hacer pruebas de compactación en la obra es un equipo económico y sencillo. Proctor desarrolló una prueba que consiste en:

- a) Se toma una muestra representativa del suelo a compactar, de humedad conocida.
- b) Se toma un cilindro de 4" de diámetro x 4 1/2" de altura, se llena en tres capas aproximadamente iguales con el material de la prueba.
- c) Cada capa se compacta con 25 golpes de un martillo de 2.5 kg -- con un área de contacto de 20 cm², el que se deja caer de 35 cm de altura (Fig. 2). Todo esto con el objeto de siempre dar al material la misma energía de compactación.

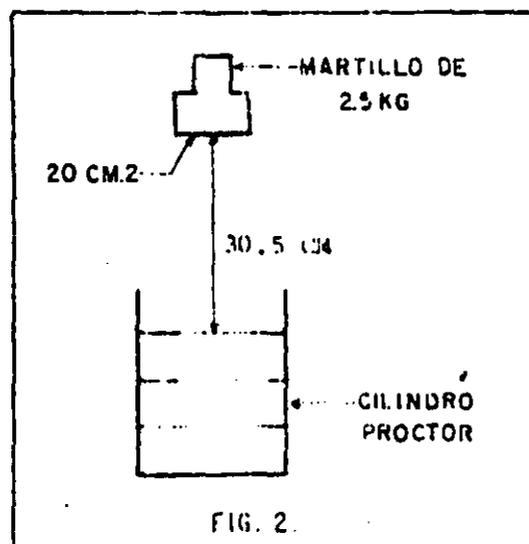
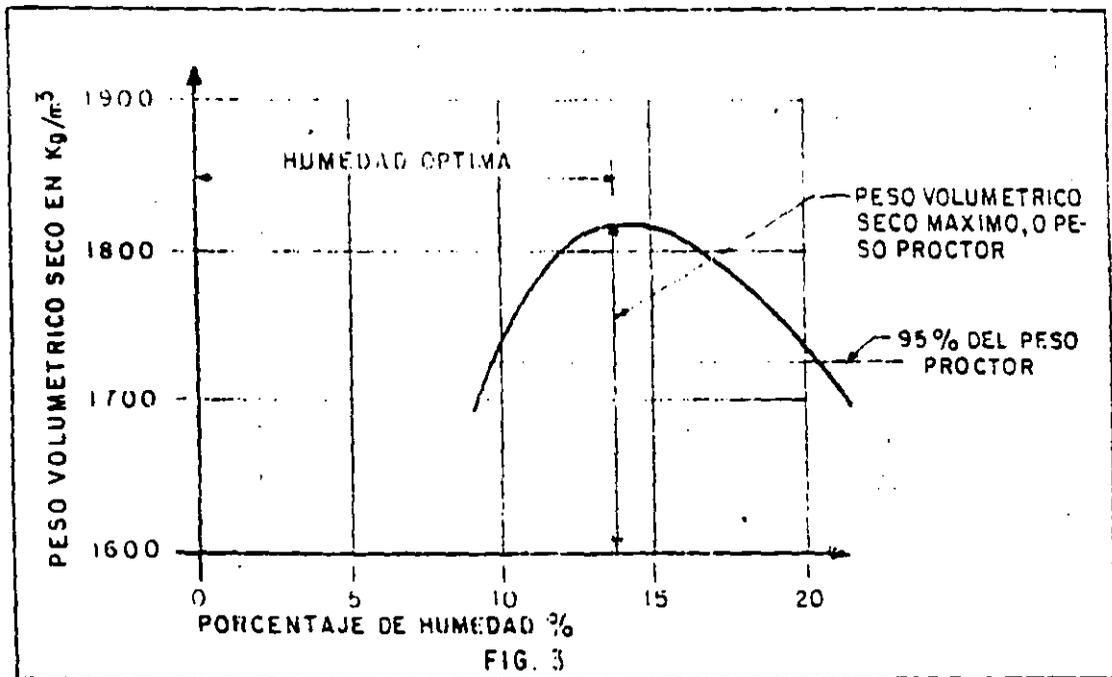


FIG. 2.

- d) Se pesa el material y como el volumen es conocido se calcula el peso volumétrico húmedo, simplemente dividiendo el peso del material entre su volumen. Como la humedad es conocida, se resta el peso del agua y se obtiene el peso volumétrico seco para esa humedad.
- e) Se repite la prueba varias veces, variando cada vez el grado de humedad, con lo que se obtienen pares de valores Humedad-Peso Volumétrico Seco.

Con estos pares de valores se dibuja la siguiente gráfica (Fig. 3).



Puede observarse que hay un cierto contenido de humedad para el cual el peso volumétrico es máximo, este peso se conoce como: "Peso Volumétrico Seco Máximo" (P.V.S.M.), o peso proctor, y el contenido de humedad como humedad óptima.

El diseñador entonces especifica el porcentaje del peso proctor que debe obtenerse en la construcción del terraplén y la humedad óptima.

Por ejemplo: Si el proyectista especifica 95% Proctor en el caso de la gráfica, tenemos: P.V.S.M. = 1820 kg/m³

$$95\% \text{ de P.V.S.M.} = 0.95 \times 1820 = 1729 \text{ kg/m}^3$$

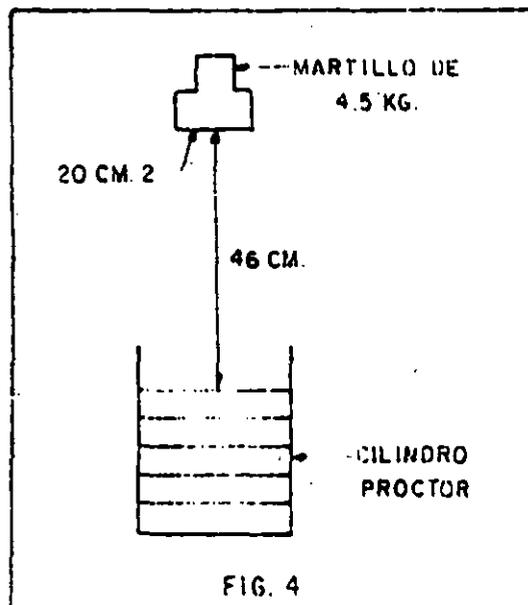
es decir el constructor debé obtener un peso volumétrico seco mínimo de 1729 kg/m³ en ese material.

La razón de la existencia de un peso volumétrico máximo es que a todos los suelos, al incrementarse su humedad, se les proporciona un medio lubricante entre sus partículas que permite un cierto acomodo de estas cuando se sujetan a un cierto trabajo de compactación. Si se sigue aumentando la humedad, con el mismo trabajo de compactación, se llega a obtener un mejor acomodo de sus partículas y en consecuencia un mayor peso volumétrico, si se aumenta más la humedad todavía, el agua empieza a ocupar el espacio que deberían ocupar las partículas del suelo y por lo tanto comienza a bajar el peso volumétrico del material, para el mismo trabajo de compactación.

Por lo tanto, si se aumenta o disminuye la humedad será necesario aumentar el trabajo del equipo de compactación, lo que, en general, no es económico.

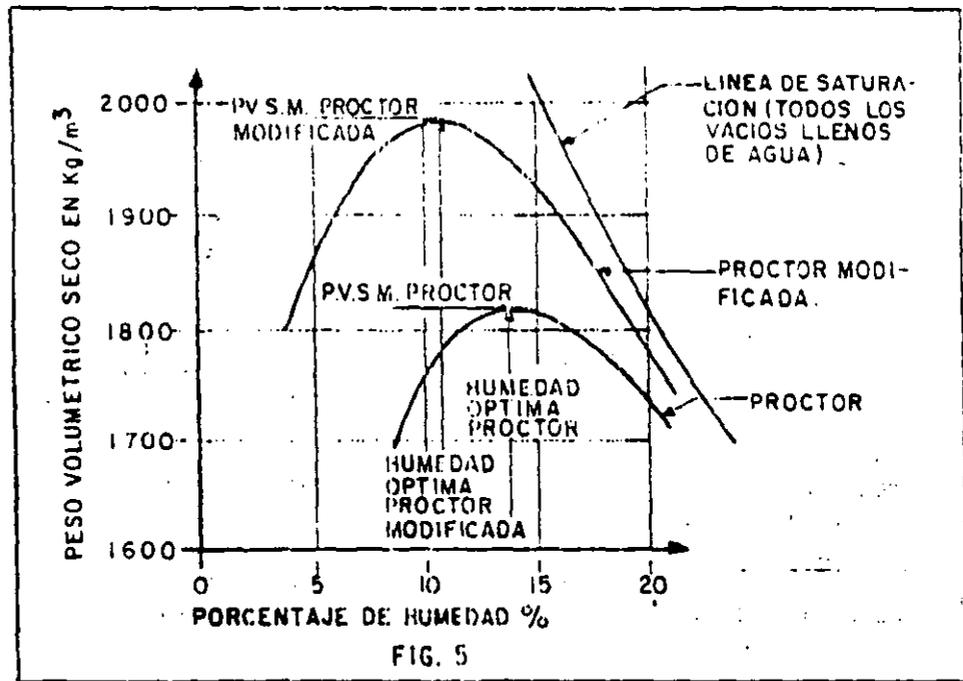
B) Proctor Modificada: Conforme fueron aumentando las cargas sobre las terracerías por el uso de camiones y aeroplanos cada vez más pesados, se vió la necesidad de desarrollar mayores densidades y resistencias en muchos materiales usando mayor trabajo de compactación. Por esta razón se desarrolló la prueba Proctor modificada.

Para esta prueba se usa el mismo proctor, pero el material se compacta en 5 capas con un martillo de 4.5 kg y cayendo de una altura de 46 cm, dando 25 golpes por capa (Fig. 4).



En todos los aspectos las dos pruebas son semejantes, únicamente el trabajo de compactación se ha incrementado aproximadamente 4.5 veces.

La gráfica siguiente es un ejemplo de la prueba proctor y la prueba proctor modificada efectuadas en el mismo material (Fig. 5).



Obsérvese en esta gráfica que aunque el trabajo de compactación se ha incrementado 4.5 veces, la densidad solamente se incrementó 9%, y que la humedad óptima disminuyó 3%. Esto último es invariablemente cierto.

C) Porter: Tanto la prueba Proctor como la Proctor modificada han dado muy buen resultado en suelos cuyos tamaños máximos son de 10 mm (3/8"), en suelos con partículas mayores el golpe del martillo no resulta uniforme y por lo tanto la prueba puede variar de resultados en un mismo material.

Para evitar esta dificultad se ideó la prueba Porter, que consiste en lo siguiente:

- a) Se toma una muestra del material a probar y se seca
- b) Se pasa por la malla de 25 mm (1") y se determina el porcentaje, en peso, retenido en la malla. Si el porcentaje es menor del 15%, se usará para la prueba el material que pasó la malla. Si el porcentaje retenido es mayor del 15% se prepara, del material original, una muestra que pase la malla de 1" y que sea retenida en la malla No. 4, de esta muestra se pesa un tanto igual al peso del retenido, el que se agrega al material que pasó la malla de 1". con este nuevo material se procede a la prueba.
- c) A 4 kg de la muestra así preparada se le incorpora una cantidad de agua conocida; y se homogeniza con el material.
- d) Con este material se llena, en tres capas, un molde metálico de 6" de diámetro por 3" de altura con el fondo perforado. Cada capa se pica 25 veces con una varilla de 5/8" (1.9 cm) de diámetro por 30 cm de longitud con punta de bala.
- e) Sobre la última capa se coloca una placa circular ligeramente menor que el diámetro interior del cilindro, y se mete el molde en una prensa de 30 Ton.
- f) Se aplica la carga gradualmente de tal manera que en cinco minutos se alcance una presión de 140.6 kg/cm², la cual debe mantenerse durante un minuto, e inmediatamente se descarga en forma gradual durante un minuto.

Si al llegar a la carga máxima no se humedece la base del molde, la humedad ensayada es inferior a la óptima.

- g) Se prosigue por tanteos hasta que la base del molde se humedezca al alcanzar la carga máxima. La humedad de esta prueba es la humedad óptima. Se determina entonces el peso volumétrico seco de la muestra dentro del cilindro, a este peso se le conoce como el "Peso Volumétrico Seco Máximo Porter", y que será el peso comparativo para el trabajo de campo.

Por ejemplo: si en la prueba Porter obtuvimos un "Peso Volumétrico Seco Máximo" de 2,000 kg/m³, y el diseñador ha pedido el 95% Porter, en la obra tendremos que alcanzar un peso volumétrico seco de: $0.95 \times 2,000 = 1,900 \text{ kg/m}^3$.

2.4. METODOS DE CONTROL

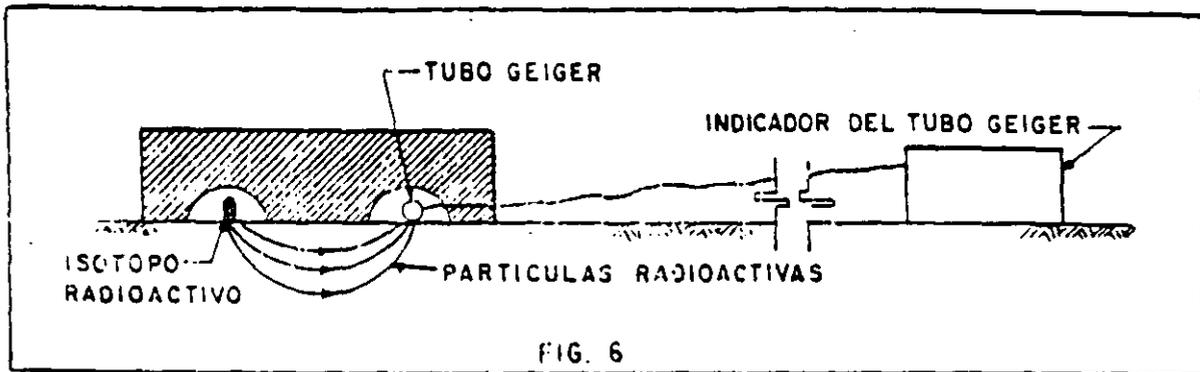
Para medir en la obra si se ha alcanzado el peso volumétrico especificado hay varios métodos:

- A) Medida física de peso y volumen
- B) Mediciones nucleares
- C) Otros

A) Medida Física de Peso y Volumen: En cualquiera de los métodos existentes el principal problema radica en la determinación de la humedad para poder calcular el peso volumétrico seco en función del peso volumétrico húmedo que es el que se obtiene en las pruebas de campo. Normalmente se calienta una parte del material hasta secarlo y por diferencia se obtiene la humedad, pero este método es lento y peligroso porque en algunos suelos se altera el peso con el calentamiento, debido a la evaporación de partes orgánicas principalmente. Nunca debe llegarse a la calcinación que también puede alterar el peso. Este método consiste en:

- a) Se excava un agujero de 10 a 15 cm de diámetro, o un cuadrado de 15 cm por lado, a la misma profundidad de la capa por probar.
- b) El material excavado es cuidadosamente recogido y pesado. Se seca para determinar la humedad y el peso volumétrico seco.
- c) El volumen del agujero es medido. El método usado generalmente es llenándolo con una arena de peso volumétrico constante.
- d) Conocidos el peso seco de la muestra y el volumen del agujero, se calcula el peso volumétrico seco de la muestra, que debe ser igual o mayor que el peso volumétrico seco especificado.

B) Prueba de medición Nuclear: Para evitar el tiempo y costo -- que significa la prueba anterior se han ideado varios métodos, uno de ellos es el Método Nuclear, que consiste en un bloque de plomo que contiene un isótopo y un tubo Geiger (Fig. 6).

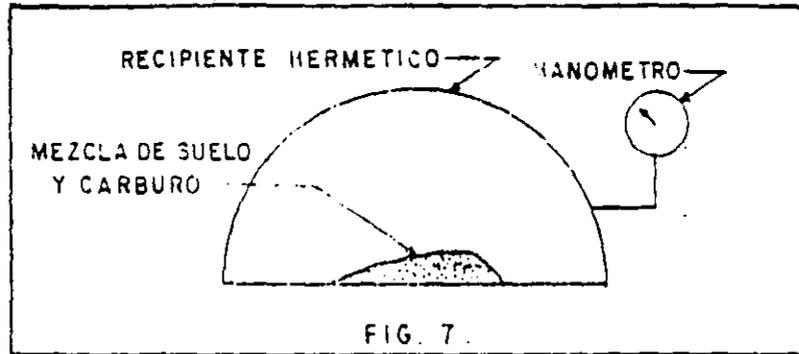


El bloque de plomo se coloca sobre la capa a probar, el número de partículas que llegan al tubo Geiger está en función de la masa del material que tienen que atravesar, es decir, es función del peso volumétrico, entonces la medida del indicador debe compararse con otra medida hecha en una capa que tenga el peso volumétrico especificado.

Estos aparatos necesitan frecuentemente calibración, no siempre hay una indicación clara cuando el aparato no funciona bien y su exactitud varía con el tipo de suelo.

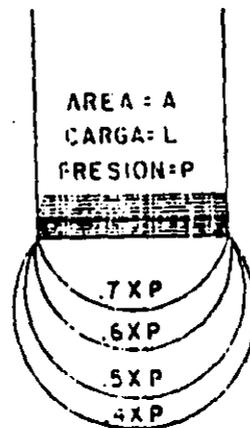
Estas desventajas, sin embargo son despreciables por los constructores en grandes trabajos de terracerías, pues el aparato le permite asegurar que una cierta capa ha sido compactada, con un alto grado de confiabilidad, prosiguiendo el trabajo de inmediato con la siguiente capa.

C) Otros: Como el problema principal es la determinación de la humedad se han desarrollado últimamente algunos métodos entre los que destaca principalmente el denominado "Speedy" (Fig. 7), que consiste en colocar un peso conocido de suelo mezclado con carburo de calcio dentro de un recipiente hermético provisto de un manómetro. El carburo reacciona con la humedad del suelo, produciendo gas acetileno y por lo tanto una presión que es registrada en el manómetro el que se puede inclusive graduar en gramos de agua, determinándose rápidamente de esta manera el porcentaje de humedad, y así poder calcular su peso volumétrico seco.



III. TRABAJO DEL EQUIPO DE COMPACTACION

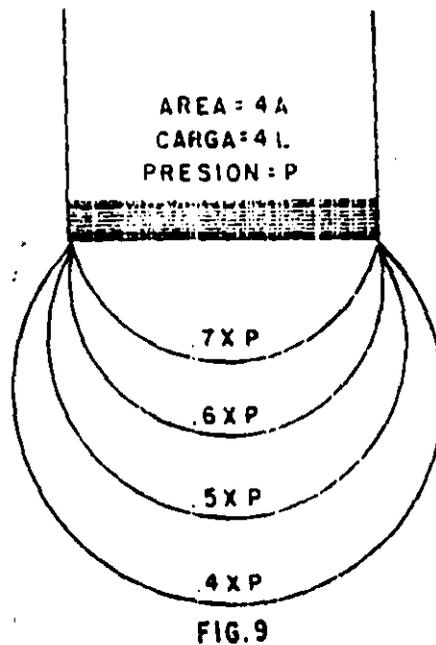
Para comprender mejor la transmisión de los esfuerzos de compresión en un suelo, consideremos una placa rígida, circular, de área "A", colocada sobre un suelo, a la que se aplica una carga "L", dando una presión de contacto "p" (Fig. 8).



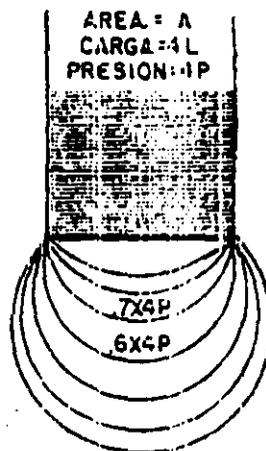
En el suelo se desarrollan presiones, si unimos los puntos de --
igual presión, obtendremos suficientes llamadas bulbos de presión.

Obsérvese lo siguiente:

- a) Si aumenta el tamaño de la placa pero la presión permanece --
constante, incrementando la carga: la profundidad del bulbo --
de presión aumenta (Fig. 9).



- b) Si aumenta la presión, y el área permanece constante (Fig.10) la profundidad del bulbo no aumenta significativamente, pero la presión, y por lo tanto la energía de compactación, si aumenta.



Si consideramos un cierto equipo de compactación, trabajando capas de un determinado espesor:

de (a) y (b) se deduce que es necesario controlar el espesor de las capas para tener suficiente presión en el suelo para obtener la compactación deseada.

De (b) se deduce que no podemos aumentar significativamente el espesor de la capa de compactación simplemente lastrando excesivamente el equipo.

De (a) se deduce que para aumentar el espesor de la capa, debemos cambiar el equipo por otro que tenga mayor superficie de contacto, aun que la presión permanezca constante.

La teoría de los bulbos de presión fue desarrollada por Boussinesq para un medio elástico. Para fines prácticos todos los suelos son elásticos y la teoría es razonablemente cierta aun para suelos granulares.

Los esfuerzos mecánicos empleados en la compactación, son una combinación de uno o más de los siguientes efectos:

- 3.1) PRESION ESTATICA: La aplicación de una fuerza por unidad de área.
- 3.2) IMPACTO: Golpeo con una carga de corta duración, alta amplitud y baja frecuencia.
- 3.3) VIBRACION: Golpeo con una carga de corta duración, alta frecuencia, baja amplitud.
- 3.4) AMASAMIENTO: Acción de amasado, reorientación de partículas próximas, causando una reducción de vacíos.
- 3.5) CON AYUDA DE ENZIMAS.

3.1. COMPACTACION POR PRESION ESTATICA.

Este principio se basa en la aplicación de pesos más o menos grandes sobre la superficie del suelo.

La acción de este principio de compactación es de arriba hacia abajo, es decir, las capas superiores alcanzan primero mayores densidades que las de abajo.

Este principio de compactación tiene dos inconvenientes en la obtención de una rápida densificación:

A) Su Acción de Arriba hacia Abajo: El inconveniente de que la parte superior se compacte primero que la de abajo, es que el esfuerzo compactivo debe atravesar la parte ya compactada, para poder compactar la inferior. Se consume por lo tanto mayor energía de compactación.

También suele suceder que las características granulométricas -- del material varíen, debido a la sobrecompactación de la porción superior de la capa; dicha sobrecompactación o exceso de energía compactiva produce una fragmentación de partículas.

B) Fomentar la resistencia de la fricción interna del material. Durante la compactación: definiendo como fricción interna a la resistencia de las partículas de un suelo para deslizarse dentro de la masa del mismo, se puede juzgar este segundo inconveniente.

Si llamamos (F) a la fuerza aplicada por el compactador y (n) al coeficiente de fricción interna del material, se puede deducir la reacción (R) de las partículas para deslizarse dentro de la masa de suelo.

$$R = nF$$

A mayor fuerza aplicada mayor la reacción de la fricción interna del material, aquí es donde el papel que juega el agua resulta muy importante, ya que, tendrá efectos lubricantes entre las partículas reduciendo (n) y por consecuencia a (R).

3.2. COMPACTACIÓN POR IMPACTO

La compactación por medio de impacto se logra aplicando repetidamente una fuerza sobre el suelo, con alta amplitud y baja frecuencia.

Cuando la unidad compactadora tiene una frecuencia baja y una amplitud grande, la unidad cae dentro de este tipo de compactación.

3.3. COMPACTACION POR VIBRACION

Este principio de compactación es el que últimamente ha tenido mayor desarrollo y prácticamente ha invadido todos los materiales por compactar.

En la mayoría de los tipos de material, la compactación dinámica o vibratoria, supera en eficiencia a los compactadores estáticos.

Como en la compactación por presión estática, en este tipo de compactación también se aplica una cierta presión, pero al mismo tiempo se somete al material a rápidas y fuertes vibraciones, entre 700 y 4,000, dependiendo del compactador.

Debido a las vibraciones producidas por el equipo sobre el material, la fricción interna de éste, desaparece momentáneamente, propiciando el acomodo de las partículas.

Esto se puede demostrar mediante el experimento de girar un palote de álabes dentro de un recipiente que contenga arena o grava, primero en estado estático y luego colocando el recipiente sobre una placa vibratoria. (Fig. 10 A).

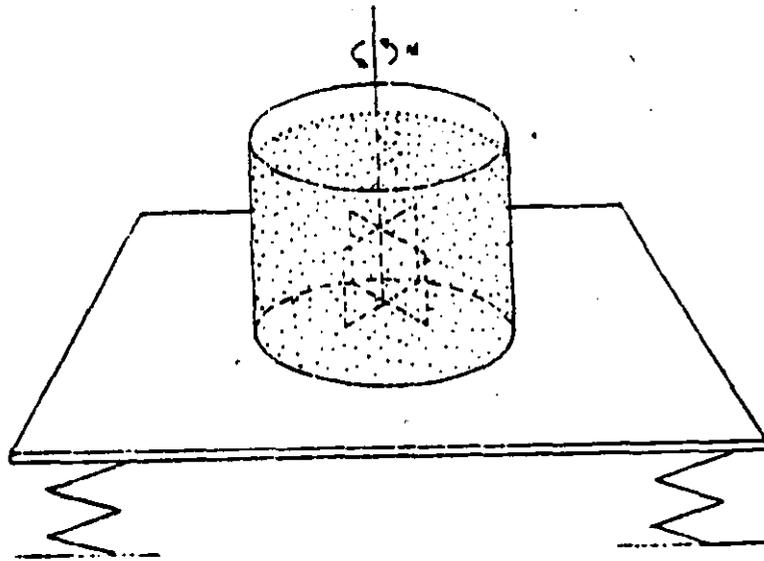


FIG. 10 - A DISPOSITIVO PARA MEDIR EL MOMENTO DE RESISTENCIA

La vibración multiplica la movilidad interna del material en forma contundente; en suelos de granulometría gruesa la movilidad -- dinámica es de 10 a 30 veces mayor que la movilidad estática.

La experiencia sueca nos proporciona la siguiente tabla:

Material	Contenido de agua %	Momento Resistivo (kg-cm)	
		En reposo	Con vibraciones
Grava	0	1700	40
Arena	10	600	45
Limo	12	150	25

La compactación por vibración tiene un efecto de penetración - como el sonido, el cual también es dinámico, pero tiene una frecuencia mayor y audible; este tipo de compactación evita los efectos de arco y disminuye la fricción interna del material permitiendo que -- las fuerzas compactivas trabajen a mayor profundidad y a mayor anchura.

Con este principio de compactación las partículas de material se ven sujetas a presión estática y a impulsos dinámicos de las fuerzas vibratorias, con lo cual se logra una compactación con menor esfuerzo.

La densificación de un material por medio de compactadores vibratorios es de abajo hacia arriba.

VENTAJAS DE LA COMPACTACION POR VIBRACION

- a) Es posible compactar a más altas densidades: facilita la obtención de los últimos porcentos del grado de compactación que son tan difíciles, y a veces imposibles, de obtener con compactadores estáticos.
- b) Permite el uso de compactadores más pequeños
- c) Se puede trabajar sobre capas de mayor espesor.
- d) Permite hacer más rápidos por el menor número de pasadas
- e) Por las razones anteriores los costos de compactación resultan menores.

3.4. COMPACTACION POR AMASAMIENTO

Amasar en este caso puede confundirse con exprimir, es decir - el efecto de una pata de cabra al penetrar en un material ejerce presión hacia todos lados, obligando al agua y/o al aire a salir por la superficie.

La compactación por este principio se lleva a cabo de abajo -- hacia arriba: es decir, las capas inferiores se densifican primero y las superiores posteriormente. Por esto se dice que un rodillo pata de cabra emerge o sale cuando el material se encuentra compactado -- debidamente.

Los rodillos pata de cabra se emplean fundamentalmente en materiales cohesivos; en cambio su efectividad es casi nula en materia - les granulares.

3.5. COMPACTACION CON AYUDA DE ENZIMAS

Mediante la adición de productos enzimáticos en el agua de compactación, se ha pretendido obtener, en combinación con algún otro - esfuerzo compactador mecánico, la densificación más rápida de los -- materiales.

Una enzima es: "Cierta substancia química-orgánica que está -- formada por plantas, animales y microorganismos, capaz de incrementar la velocidad de transformación química del medio donde se encuentra, sin que sea consumida por ello en este proceso, llegando a formar -- parte del conjunto".

Según los fabricantes de enzimas para compactación, esta se -- logra mediante una reacción química de ionización de los componentes orgánicos e inorgánicos del terreno, lo que trae por consecuencia -- que las partículas del suelo se agrupan y se transformen en una masa compacta y firme.

Se hace hincapié en que el agregar productos enzimáticos al -- agua de compactación no densificará al material tratado, sino que es necesario aplicar esfuerzo compactivo adicional, es decir, se usará algún equipo compactador y agua con enzimas, con lo cual puede reducirse el tiempo de compactación.

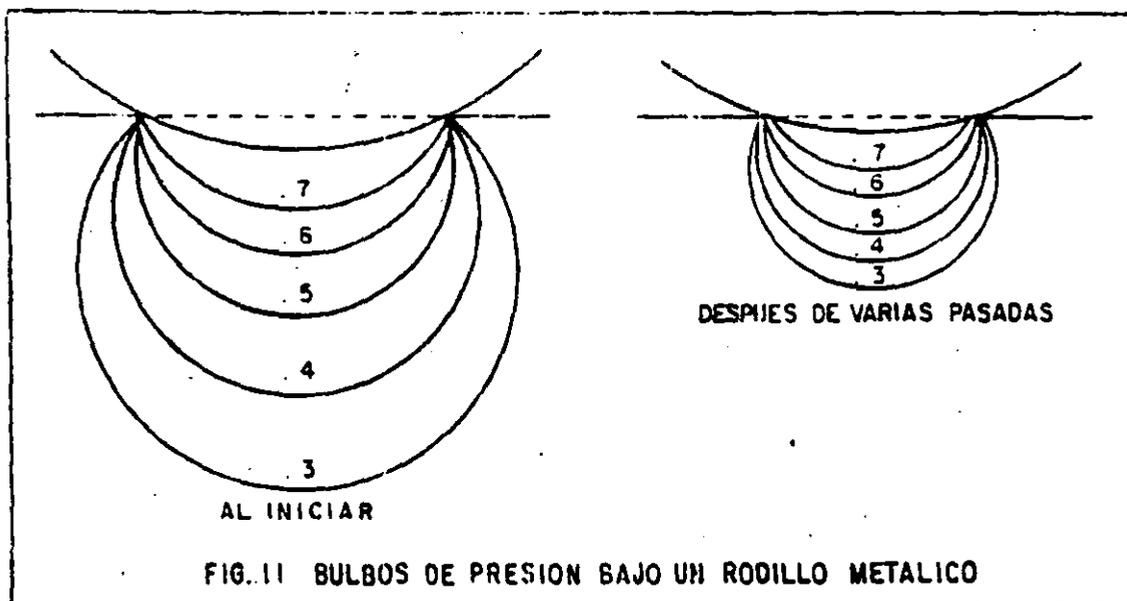
IV. EQUIPO DE COMPACTACION

Hay una gran variedad de equipos de compactación, se describirán sus características básicas:

4.1. RODILLOS METALICOS

Un rodillo metálico utiliza solamente presión con un mínimo de amasamiento en materiales plásticos.

Cuando estos rodillos inician la compactación de una capa el área de contacto es más o menos ancha y se forma un bulbo de presión de una cierta profundidad. Conforme avanza la compactación el ancho del área de contacto se reduce, y por lo tanto también se reduce la profundidad del bulbo de presión y aumentan los esfuerzos de compresión en la cercanía de la superficie (Fig. 11). Estos esfuerzos son con frecuencia suficientes para triturar los agregados en materiales granulares, e invariablemente causan la formación de una costra en la superficie de la capa (encarpetamiento).



Si a esto se agrega la costumbre de hacer riegos adicionales durante la compactación, para compensar la evaporación, en una capa en donde la penetración del agua es difícil por la misma compacidad del material, llegaremos a un estado de estratificación de la humedad, en este momento la formación de la costra es inevitable.

También es costumbre más o menos generalizada, el sobre lasstrar estos equipos cuando no se está obteniendo la compactación, para aumentar la penetración y la profundidad del bulbo de presión, esto generalmente tiene como consecuencia el sobre esforzar la superficie.

Un rodillo metálico, no compacta pequeñas áreas bajas o suaves, debido a que la rigidez de la rueda las puentea, estas áreas suaves se presentan con frecuencia en terracerías debido a la irregularidad de la capa.

Dentro de este grupo se puede hacer la división siguiente:

A) Planchas Tandem.- Son aquellas que tienen dos o tres rodillos metálicos paralelos. Los rodillos son generalmente huecos para ser lastrados con agua y/o arena. Tienen generalmente dos números por nomenclatura. El primero es el peso de la máquina sin lastre y el segundo es el peso de la máquina lastrada totalmente (Fig. 12).

B) Planchas de Tres Ruedas.- Son quizás de más antiguo diseño: estas planchas tienen dos ruedas traseras paralelas y una rueda de lantera; las ruedas pueden ser huecas para ser lastradas o formadas por placas de acero roladas con atiesadores (Fig. 13).

Las planchas tandem, a pesar de que son generalmente de menor peso que las de tres rodillos, suelen tener mayor compresión por centímetro lineal de generatriz que las de tres rodillos, por tener menor superficie de contacto con el material.

Tanto las planchas tandem como las de tres rodillos, tienen bajas velocidades de operación y poca seguridad al compactar las orillas de terraplenes altos.

Son efectivas en todos los suelos, pero, por los inconvenientes mencionados y su bajo rendimiento hacen que su uso se limite a trabajos pequeños o al armado de una capa al inicio de la compactación.

Resumiendo, puede decirse que estas máquinas por su lentitud y poca profundidad, han perdido terreno en la compactación de grandes movimientos de tierra; también en algunas aplicaciones específicas que tienen estos equipos como la compactación de carpetas asfálticas, van siendo desplazados por otras máquinas compactadoras.

4.2. RODILLOS NEUMATICOS

Los rodillos neumáticos son muy eficientes y a menudo esenciales para la compactación de sub-bases, bases y carpetas, sus bulbos de presión son semejantes a los de los rodillos metálicos, pero el área de contacto permanece constante por lo que no se produce el efecto de reducción del bulbo. Por otra parte, el efecto de puenteo del rodillo metálico, sobre zonas suaves, se elimina con llantas de suspensión independiente.

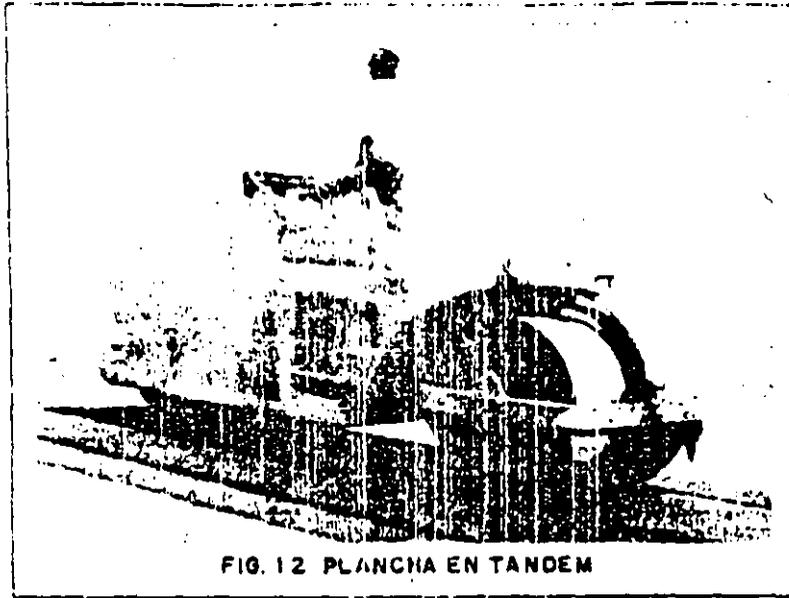


FIG. 12 PLANCHA EN TANDEM



FIG. 13 PLANCHA DE TRES RUEDAS

Estos compactadores pueden ser jalados o autopropulsados.

Se pueden dividir conforme al tamaño de sus llantas en:

- A) De llantas pequeñas
- B) De llantas grandes

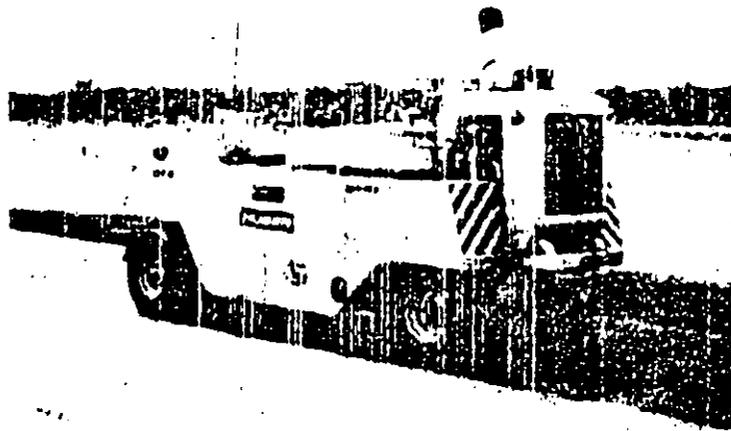


FIG. 14

A) DE LLANTAS PEQUEÑAS.- Generalmente tienen dos ejes en tandem y el número de llantas puede variar entre 7 y 13. El arreglo de las llantas es tal que las traseras traslapan con las delanteras - - (Fig. 14 A).

Algunos de estos compactadores tienen montadas sus ruedas en forma tal que oscilan o "bailan" al rodar, lo que aumenta su efecto de amasamiento.

Estos compactadores proporcionan una presión de contacto semejante a la proporcionada por equipos de mayor peso y llantas grandes, tienen mayor maniobrabilidad, no empujan mucho material adelante de ellos, tienen poca profundidad de acción y poca flotación en materiales sueltos. Tienen una buena acción de secado y cierran la textura del material de la capa.

B) DE LLANTAS GRANDES.- Son generalmente arrastrados por tractor y pesan de 15 a 50 ton. Tienen 4 ó 6 llantas en un mismo eje, -

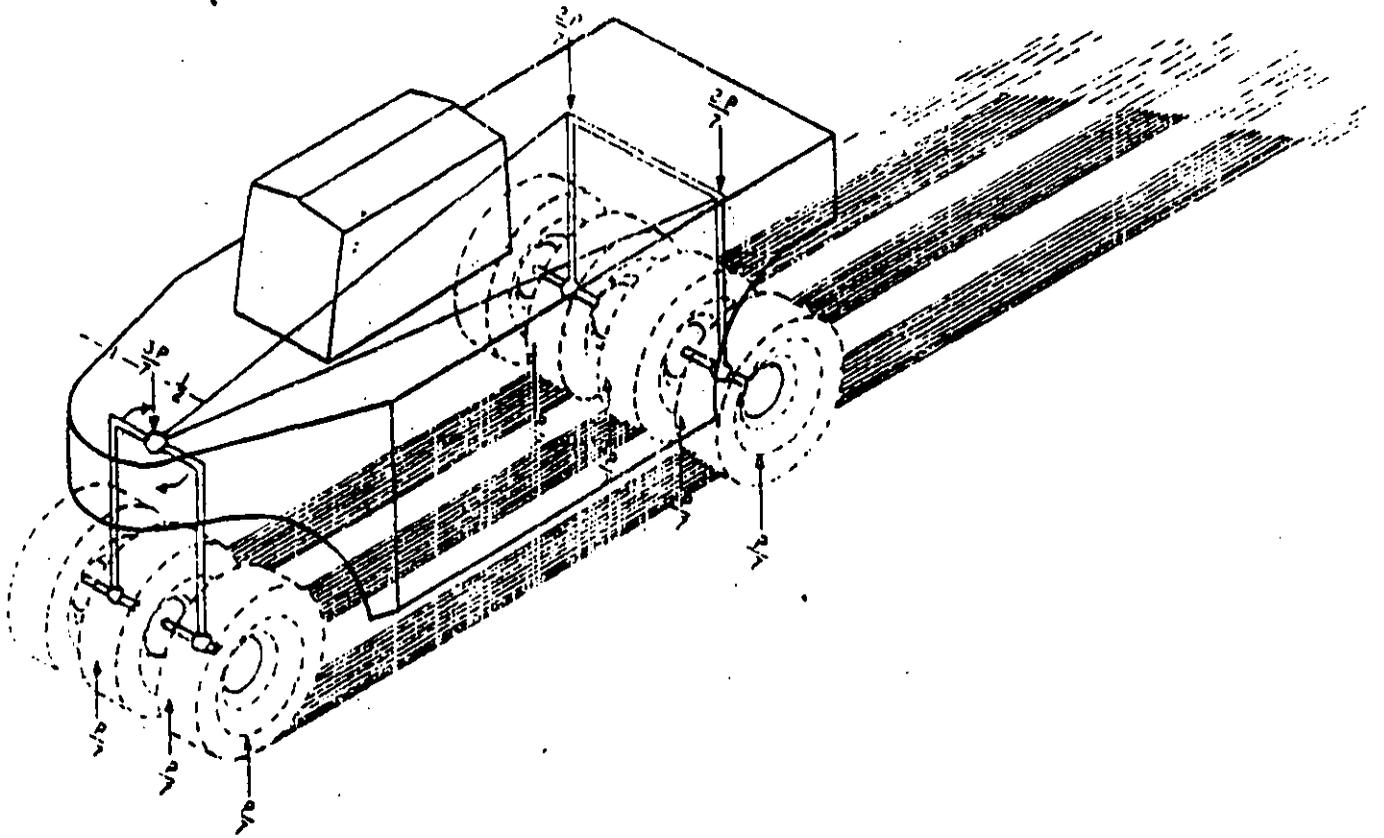


Fig. 14-A

además son difíciles de maniobrar y de transportar, por lo que están siendo desplazados por otros equipos más ligeros y versátiles.

Los factores más importantes que intervienen en este tipo de compactadores son:

a) Peso total.- Dependiendo del número total de llantas y del sistema de suspensión del compactador se puede conocer el peso o fuerza aplicada por llanta. A mayor peso total, mayor carga por llanta, en caso de tratarse de una suspensión isostática.

b) La presión de inflado es importante, pero está ligada íntimamente a la carga de la llanta. Si "W" es el peso del compactador, y "p" es la presión de contacto (Fig. 15):

Podemos observar que si aumentamos el peso sin aumentar la presión (Fig. 16), aumentamos la profundidad del bulbo, pero no aumentamos la presión, esto nos permitiría trabajar capas relativamente mayores, pero el aumento de eficiencia es casi nulo, y las llantas durarán menos pues estamos aumentando el trabajo de deformación de la llanta.

Si aumentamos la presión sin aumentar la carga (Fig. 17) disminuimos la profundidad del bulbo de presión, y podemos llegar a encarpetar la capa. Esto puede ser eficiente si la capa es delgada como suele serlo en bases y sub-bases y carpetas.

Si aumentamos el peso y la presión (Fig. 18), estamos aumentando la presión efectiva sobre la capa y por lo tanto el trabajo de compactación sobre la capa, sin embargo esto nos puede disminuir la vida útil de las llantas y del equipo, y aumentará la tendencia al rebote.

En el concepto moderno de un compactador neumático la carga sobre la llanta y la presión de inflado, deben ser las adecuadas para dar la presión de contacto suficiente para ejercer el esfuerzo requerido de compactación (es aconsejable no alejarse mucho de las recomendaciones de fabricante).

Por la razón anterior los fabricantes de equipo progresistas han provisto a sus máquinas, con implementos para variar rápidamente la presión de inflado de sus equipos.

Las presiones de inflado usuales son del orden de 50 psi, para compactadores pequeños (hasta 10 Ton) y pueden llegar hasta 80 psi en compactadores grandes (de 10 a 60 Ton).

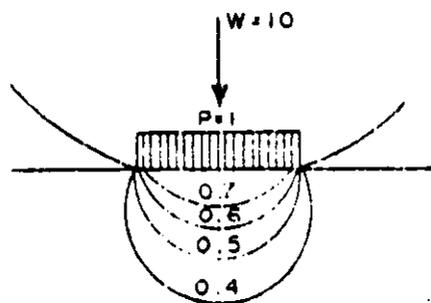


FIG. 15

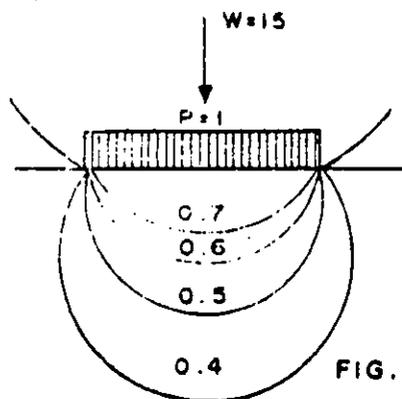


FIG. 16

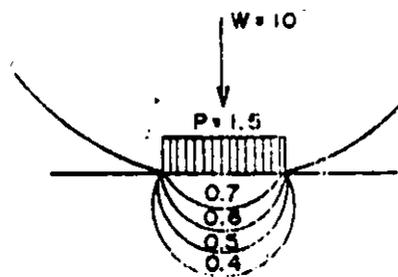


FIG. 17

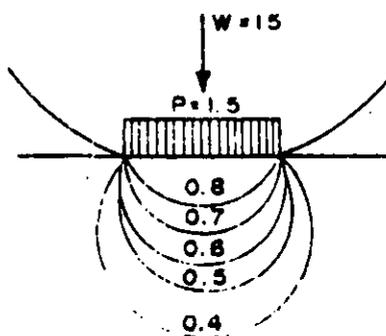


FIG. 18

La presión de inflado no es igual a la de contacto ya que interviene (en mucho) la rigidez de la llanta inflada.

Tienen aplicaciones especializadas como la compactación del terreno natural en aeropuertos (grandes extensiones, terreno plano, alto grado de compactación, fácil acceso, etc). tienen gran utilidad para sellar las capas superiores, con lo que se logra una buena impermeabilidad.



FIG. 19 COMBINACIÓN DE RODILLOS METALICO Y NEUMATICO (DUO-FACTOR)

4.3. RODILLOS PATA DE CABRA.

Son ahora raramente usados, excepto para amasamiento y compactación de arcillas donde la estratificación debe ser eliminada, - como en el corazón impermeable de una presa. Debido a la pequeña -- área de contacto de una pata y al alto peso de éstos equipos el bulbo de presión es intenso y poco profundo. La compactación se consigue por penetración y amasamiento más que por efecto del bulbo de -- presión (Fig. 20).



FIG. 20 BULBO DE PRESION BAJO UNA PATA DE CABRA

Los rodillos pata de cabra son lentos, tienen una gran resistencia al rodamiento, por lo que consumen mucha potencia. Este equipo es todavía pedido en especificaciones algunas veces, pero su uso está declinando debido a los altos costos que tienen, usualmente, por unidad de volumen compactado (Fig 21).

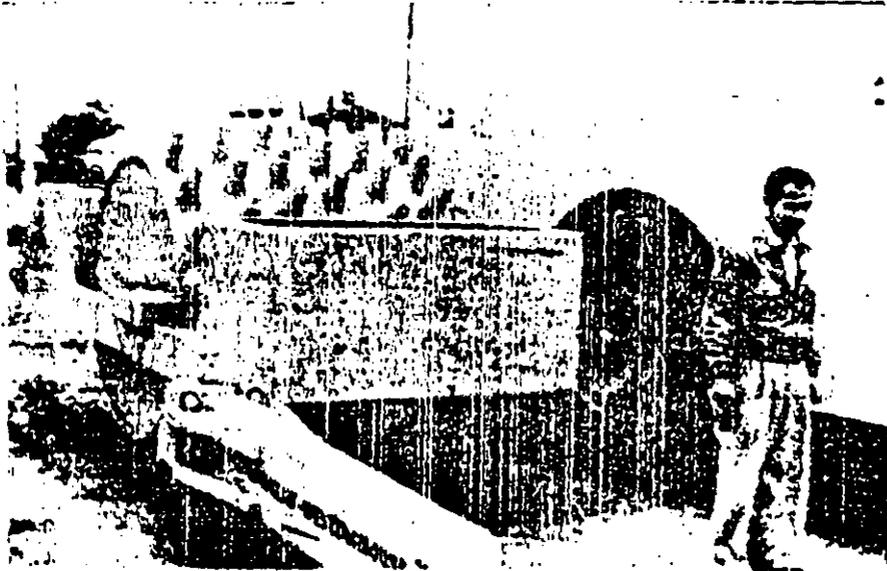
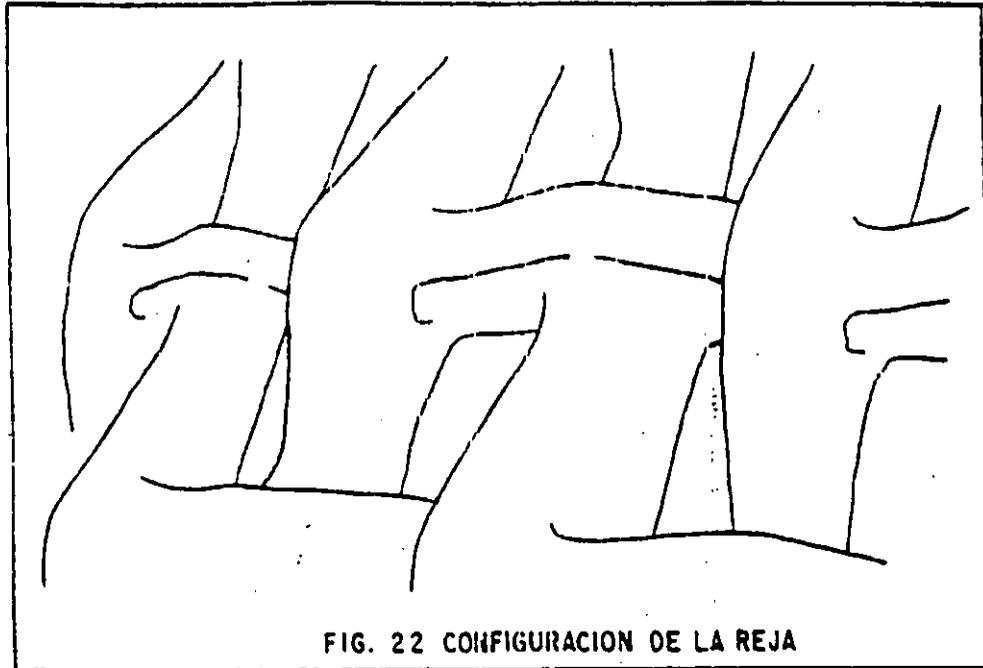


Fig. 21 RODILLO PATA DE CABRA

4.4. RODILLO DE REJA

Este compactador fue desarrollado originalmente para disgregar y compactar rocas poco resistentes a la compresión, como rocas sedimentarias y algunas metamórficas, para hacer caminos de penetración transitables todo el año, para esto el rodillo transita sobre la roca suelta en el camino, rompiéndola y produciendo finos que llenan los vacíos formando una superficie suelta y estable. Como una guía; la roca que se puede escarificar también se puede disgregar.

Al ser usado este equipo se encontró que era capaz de compactar a alta velocidad una gran variedad de suelos. Los puntos altos de la reja producen efecto de impacto, y cuando es remolcado a alta velocidad, produce efecto de vibración, efectivo en materiales granulares. El perfil alternado alto y bajo de la rejilla produce efecto de amasamiento por lo que este rodillo también es eficiente en materiales plásticos. Desafortunadamente, como los materiales plásticos suelen ser pegajosos, se atascan de material los huecos de la reja y se reduce la eficiencia (Fig. 22).



Estos rodillos, debido a su misma configuración no pueden dejar una superficie tersa como puede ser la base de una carretera.

4.5. RODILLO DE IMPACTO (TAMPING ROLLER).

A causa de los problemas de limpieza del rodillo de reja, se diseñó un nuevo rodillo usando los mismos principios: el rodillo de impacto. Este es un rodillo metálico, en el que se han fijado unas salientes en forma aproximada de una pirámide rectangular truncada. (Fig. 23).

Estas pirámides no son de la misma altura pues hay unas más altas que otras, siguiendo el modelo de puntos altos y bajos del rodillo de reja, esto dá las mismas ventajas, pudiéndose limpiar fácilmente por medio de dientes sujetos a un marco.

Estas salientes han sido diseñadas de tal manera que el área de contacto se incrementa con la penetración, ajustándose automáticamente la presión a la resistencia del suelo compactado (Fig. 24).

El diseño contempla también una fácil entrada y salida a la capa, lo que disminuye la resistencia al rodamiento.

Estos rodillos han probado ser muy eficientes y eliminan estratificación en los terraplenes. esto es importante en corazones impermeables de presas.

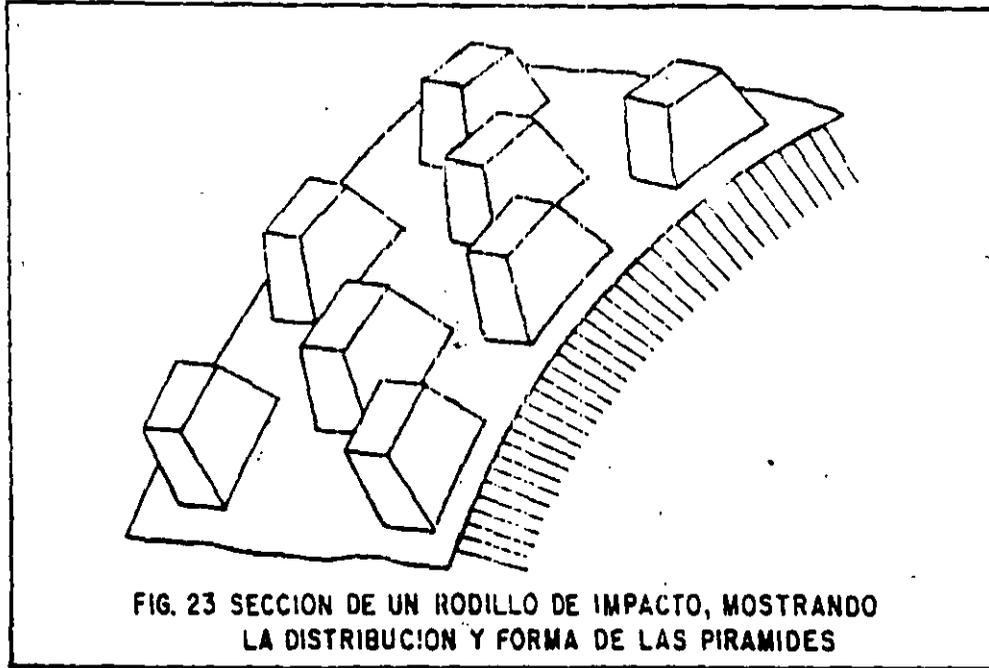


FIG. 23 SECCION DE UN RODILLO DE IMPACTO, MOSTRANDO LA DISTRIBUCION Y FORMA DE LAS PIRAMIDES

Cuando un rodillo de impacto empieza una nueva capa, que no sea mayor de 30 cm los bulbos de presión y las ondas de impacto proveen suficiente amasamiento con la capa inferior para eliminar la estratificación que ocurre con cualquier otro compactador excepto la pata de cabra.

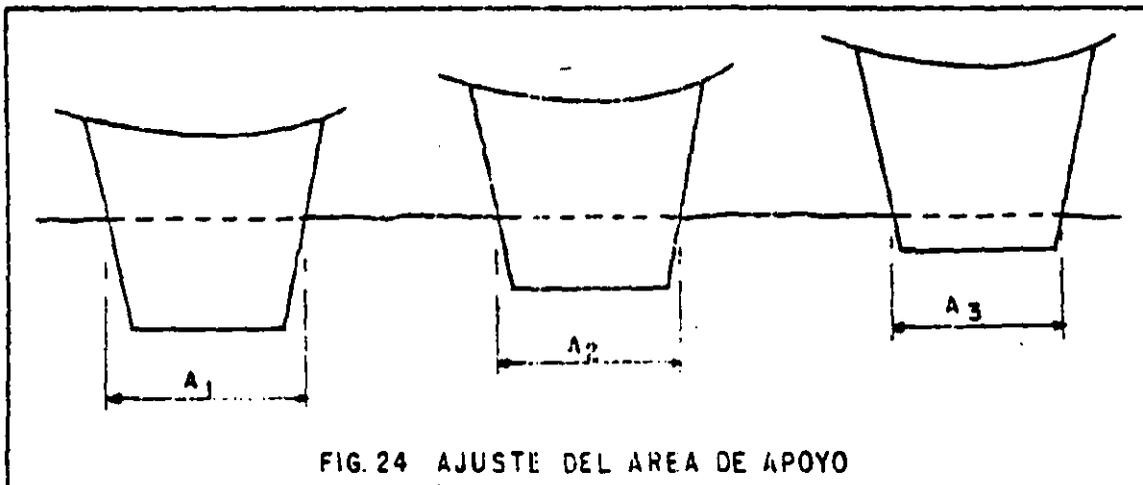


FIG. 24 AJUSTE DEL AREA DE APOYO

El rodillo de impacto ha probado ser uno de los más versátiles y económicos compactadores en terracerías, capaz de compactar eficientemente la mayor parte de los suelos (Fig. 25).

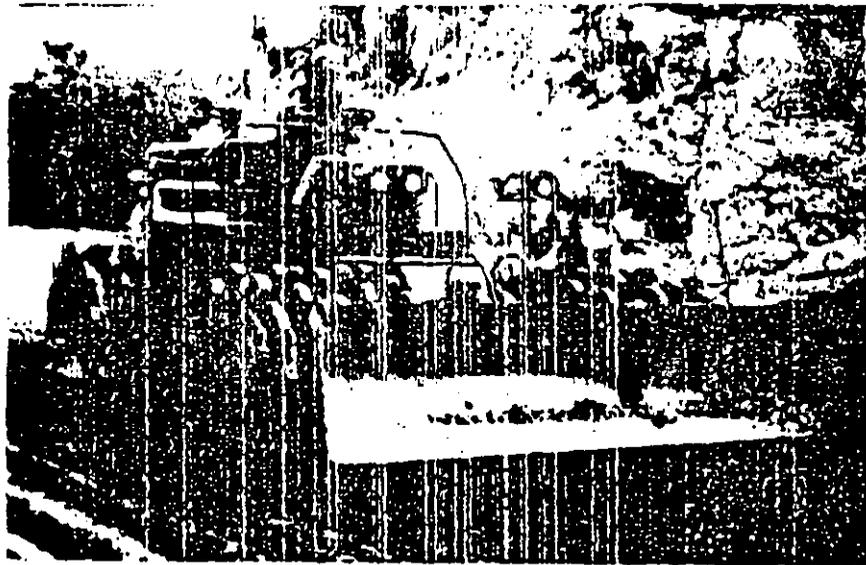


FIG. 25 RODILLO DE IMPACTO (TAMPING - ROLLER)

4.6. RODILLOS VIBRATORIOS

Estos rodillos funcionan disminuyendo temporalmente la fricción interna del suelo. Como en los suelos granulares (gravas y arenas) - su resistencia depende principalmente de la fricción interna (en los suelos plásticos depende de la cohesión), la eficiencia de estos rodillos está casi limitada a suelos granulares.

La vibración provoca un reacomodo de las partículas del suelo - que resulta en un incremento del peso volumétrico, pudiendo alcanzar espesores grandes de la capa (0.80 m).

Estos rodillos pueden producir un gran trabajo de compactación en relación a su peso estático ya que la principal fuente de trabajo es la fuerza dinámica de compactación (Fig. 26).

Buscando extender ventajas a suelos cohesivos se han desarrollado rodillos pata de cabra vibratorios, en los que la fuerza y la amplitud de la vibración se han aumentado, y se ha disminuido la frecuencia. Con el mismo objeto se han acoplado dos rodillos vibratorios, "fuera de fase", a un marco rígido para obtener efecto de amasamiento.

Estos rodillos se clasifican por su tamaño, pequeños hasta -- 9,000 kg de fuerza dinámica y grandes de más de 9,000, pudiendo llegar hasta 20,000 kg o más. Los grandes pueden llegar a sobreesforzar suelos débiles por lo que hay que manejarlos con cuidado.

Todos los vibradores deben de manejarse a velocidades de 2.5 a 5 km/h. Velocidades mayores no incrementan la producción, y con frecuencia no se obtiene la compactación.

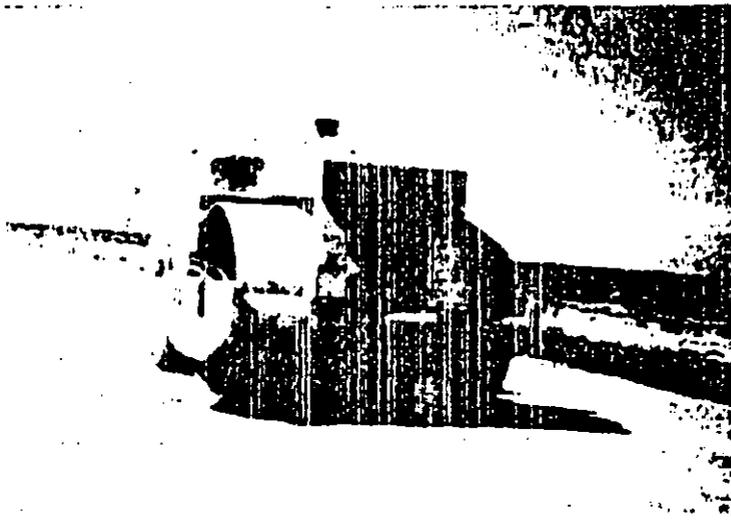


FIG. 26 RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOPROPULSADO

V. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA COMPACTACION

Los factores que primordialmente influyen en la obtención de una compactación económica son:

- 5.1) CONTENIDO DE HUMEDAD DEL MATERIAL
- 5.2) GRANULOMETRIA DEL MATERIAL
- 5.3) NUMERO DE PASADAS DEL EQUIPO
- 5.4) PESO DEL COMPACTADOR
- 5.5) PRESION DE CONTACTO
- 5.6) VELOCIDAD DEL EQUIPO COMPACTADOR
- 5.7) ESPESOR DE CAPA

5.1) CONTENIDO DE HUMEDAD. El agua tiene en el proceso de compactación, el papel de lubricante entre las partículas del material. Una falta de humedad exigirá mayor esfuerzo compactivo, así como también lo exigiría un exceso de la misma.

Debe recordarse que todo material tiene un contenido óptimo de humedad, para el cual se obtiene, bajo una cierta energía de compactación, una densidad máxima.

El agua, entonces, facilita el trabajo de compactación.

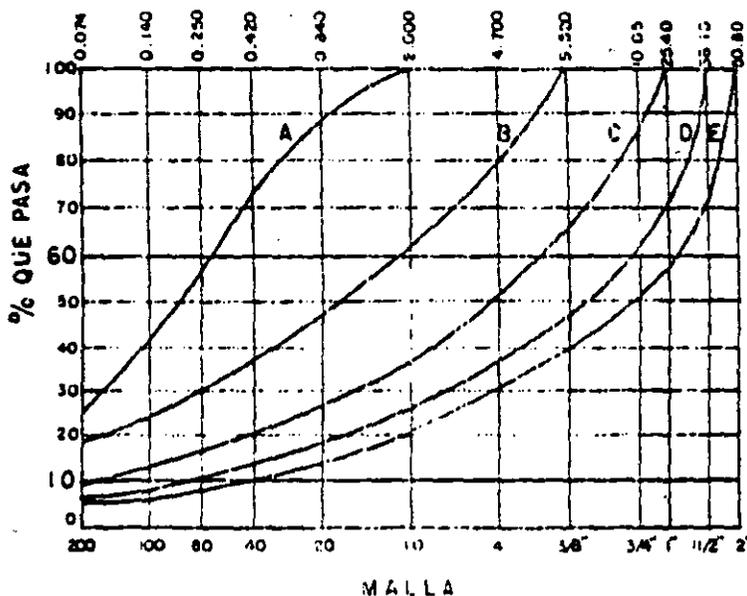
5.2) GRANULOMETRIA DEL MATERIAL. Para la obtención de una eficiente compactación es necesario, que haya partículas de varios tamaños en el material por compactar, ya que las partículas de menor tamaño ocuparán los espacios formados entre partículas de mayor tamaño.

Un suelo que contiene un tamaño muy uniforme de partículas -- (mal graduado), será difícilmente compactado. En cambio un suelo -- con amplia gama de tamaños (bien graduado), se compacta mejor ya -- que las partículas de menor tamaño ocuparán los espacios formados -- entre las partículas de mayor tamaño.

Por lo que es muy importante considerar el Coeficiente de Uniformidad de Lars Forssblad, que es la relación entre el D_{60} y el D_{10} .

COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD (Cu) DE LARS FORSSBLAD

GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA



$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

FIG. 27

En donde:

El D_{60} : Es el tamaño de la malla por el que pasa el 60% del material.

El D_{10} : Es el tamaño de la malla por el que pasa el 10% del material.

Si el $C_u > 7$, se tiene un excelente suelo (bien graduado) para compactar. Con amplio margen de tamaños de partículas y cantidades apreciables de cada tamaño intermedio.

Si el $7 > C_u > 3$, se tienen suelos, que presentan ciertos problemas para la compactación, los que podemos eliminar mejorando la granulometría y así obtener buenos resultados.

Si el $C_u < 3$, se tiene un pésimo suelo (mal graduado) para compactar.

Por ejemplo en la gráfica de composición granulométrica, podemos observar de la curva (C), el D_{60} corresponde al material que pasa la malla de $1 \frac{1}{2}$, tamaño igual a 19.05 mm y el D_{10} corresponde al material que pasa por la malla 80, tamaño igual a 0.250 mm. Si calculamos el coeficiente de uniformidad tenemos que:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{19.05 \text{ mm}}{0.250 \text{ mm}} = 76.2$$

lo que nos indica que es un excelente suelo para compactar, porque tiene una amplia gama de tamaños.

Es oportuno hacer notar aquí, que la forma de las partículas también tiene importancia en la compactación. Materiales con partículas de forma angulosa son generalmente más difícilmente compactados por sus acunamientos, que materiales con partículas redondeadas.

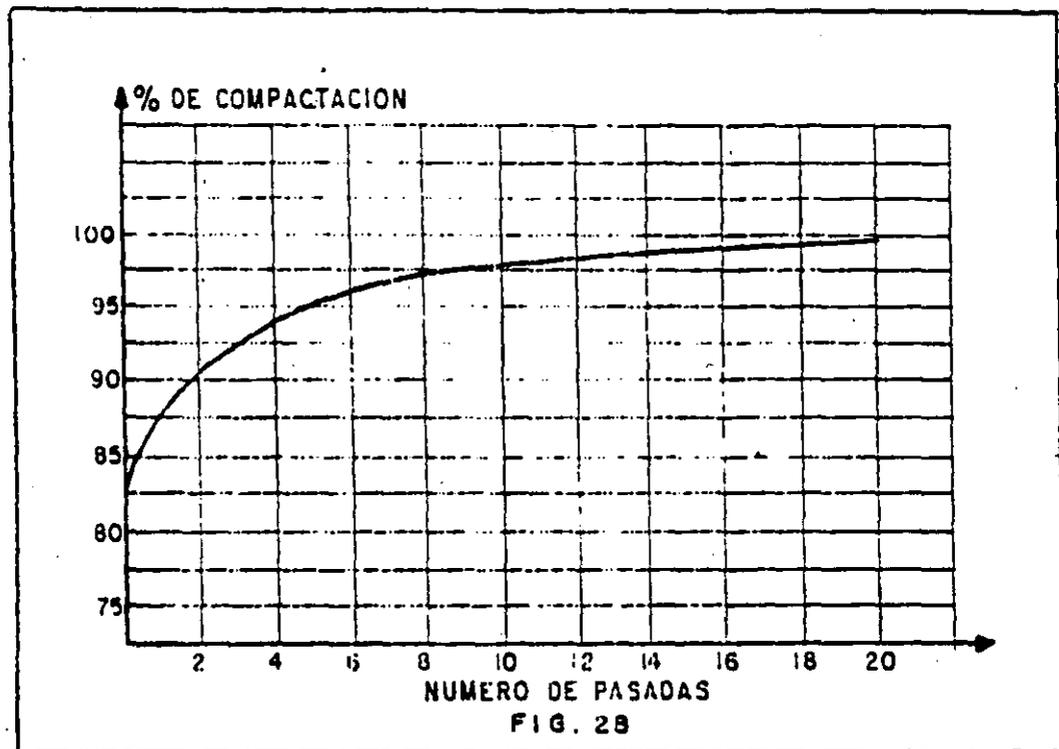
5.3) NUMERO DE PASADAS. El número de pasadas que un equipo deba dar sobre un material dependerá de (Fig. 28):

- A) Tipo de compactador
- B) Tipo de material

- C) Contenido de humedad
- D) Forma en que aplique la presión al material
- E) Maniobrabilidad del equipo

5.4) PESO DEL COMPACTADOR. La presión ejercida sobre el material dependerá, en parte, del peso del equipo de compactación.

5.5) PRESION DE CONTACTO. Más que el peso del compactador importa la presión de contacto; ésta depende de:



- A) Tipo de material
- B) Estado del material (Suelto o Semisuelto)
- C) Area expuesta por el compactador
- D) Presión de inflado en el caso de un equipo sobre neumáticos

- E) peso del compactador
- F) Temperatura del material tratándose de mezclas asfálticas.

Los fabricantes de equipo de compactación se han preocupado por que sus máquinas ejerzan presiones de contacto uniformes, lo cual han logrado mediante suspensiones isostáticas.

Es necesario hacer hincapié, que resulta de mayor importancia la presión de contacto de un compactador, que el peso mismo.

Por ejemplo un compactador muy pesado necesita de un mayor número de llantas o de llantas más grandes, con lo cual, el área de contacto entre el compactador y el material se incrementa, resultando la presión de contacto, similar a la de un compactador normal con menos llantas o llantas menores.

5.6) VELOCIDADES DE OPERACION

De la velocidad de translación del compactador y del número de pasadas dependerá, principalmente la producción. La velocidad estará entre los siguientes valores:

5.6.1. Rodillos Metálicos y Patas de Cabra

Son lentos por naturaleza, entre más rápido mejor, limitados sólo por la seguridad. 5 km por hora es un buen máximo.

5.6.2. Rodillos de Reja o de Impacto

Entre más rápido mejor, limitado sólo por la seguridad, normalmente de 10 a 20 km por hora.

5.6.3. Rodillos Neumáticos

Entre más rápido mejor, excepto que haya rebotes, lo que puede ocasionar ondulación de la capa, compactación dispareja y desgaste -- acelerado del equipo. Normal de 4 a 8 km por hora.

5.6.4. Rodillos Vibratorios.

La máxima eficiencia se obtiene entre 3 y 5 km por hora, a velocidades mayores la eficiencia baja rápidamente y se puede llegar a no obtener la compactación.

M. L. C.

VI. SELECCION DE COMPACTADORES EN CUANTO A SU FUNCION

La selección de compactadores más adecuado no siempre es sencilla, ya que depende de muchos factores: tipo de suelo, tipo de trabajo, método de movimiento de tierras, compatibilidad de trabajo, etc., en la selección final deben hacerse intervenir, cuando menos, los factores mencionados. Es frecuente y muy eficiente el uso de varios equipos que combinen los diferentes efectos de compactación.

Los factores más importantes que deben tomarse en cuenta para esta selección son:

- 6.1. Tipo de Material
- 6.2. Tamaño de la Obra
- 6.3. Requerimientos especiales

6.1. TIPO DE MATERIAL

En la figura 29 se muestra en los renglones 4 y 5 los diferentes materiales y su respectivo tamaño en mm. En el renglón 3 se clasifican en cohesivos, semicohesivos y no cohesivos, (los más finos son cohesivos y los granulares no cohesivos) en los renglones 1 y 2 se indica su uso más frecuente:

- 1) Sub-bases, bases y carpetas: siempre materiales no cohesivos (arenas y gravas).
- 2) Terracerías: normalmente materiales cohesivos y semicohesivos, a veces no cohesivos.

En el renglón 6: la compactación por presión estática (rodillos metálicos y neumáticos) es aplicable a todos los suelos. Limitación: bajo rendimiento, excepto en los compactadores neumáticos grandes.

En el renglón 7: la compactación por amasamiento (rodillo pata de cabra estática y pata de cabra vibratoria) es útil para suelos cohesivos y semicohesivos (arcillas, limos y algo en arenas limosas). Limitación: alto costo de pata de cabra estática.

En el renglón 8: la compactación por impacto (rodillo de impacto y rodillo de reja) aplicable a toda clase de suelos, pero el mal acabado que dan a la capa sólo permite aplicarlos en terracerías, normalmente arcillas y limos, a veces arenas. Limitación: el rodillo de reja se atasca con los materiales cohesivos y hay que parar frecuente

mente a limpiarlo, sin embargo es un excelente disgregador, por lo que el rodillo de reja es extraordinario en terracerías que necesi-
tan disgregado.

En el renglón 9: la compactación por vibración (rodillo liso vibratorio) es aplicable en suelos no cohesivos (arenas y gravas) y a veces algunos semicohesivos (arenas limosas).

Conclusiones: (Fig. 29)

- a) Para suelos cohesivos se debe preferir pata de cabra vibratoria o rodillo de impacto. (Línea A).
- b) Para suelos no cohesivos se debe preferir rodillo liso vibratorio. (Línea B).
- c) Para todos los suelos: rodillo neumático
- d) Las mejores combinaciones son:

Para suelos cohesivos: Todos los equipos, por si mismos, combinan diferentes esfuerzos de compactación, por lo que no hay que combinar equipos (Línea A).

Para suelos no cohesivos: Neumático y rodillo vibratorio (Línea B, Fig. 29).

6.2. TAMAÑO DE OBRA.

Dependiendo del tamaño de la obra y habiendo ya seleccionado el tipo de compactador adecuado para el material por compactar, se puede determinar el número de compactadores necesarios para cumplir con el plazo estipulado.

6.3. REQUERIMIENTOS ESPECIALES.

Existen casos en que por requerimientos especiales es necesario decidirse por un determinado tipo de compactador, como cuando las especificaciones solicitan un compactador que no estratifique el terraplén (corazones arcillosos), esto nos haría seleccionar una pata de cabra vibratoria o un rodillo de impacto.

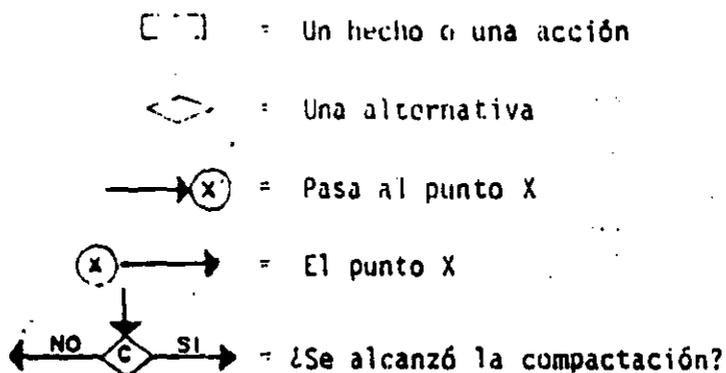
Debemos tener en mente que, en construcción pesada, la inversión en equipo es cuantiosa y que éste se adquiere usualmente fuera del país, por lo que es muy importante pesar cuidadosamente todas las posibilidades para poder escoger la máquina más eficiente; esto es: la menor inversión posible al más bajo costo unitario en el mínimo tiempo realizable.

VII. REGLAS A SEGUIR EN CASO DE TENER PROBLEMAS CON LA COMPACTACION

¿Qué hacer cuando el control nos indica una falla?

Esta pregunta la vamos a contestar por medio de diagramas lógicos, que siguen a continuación, en los que intenta, en forma general, mostrar un camino lógico para un análisis formal.

En estos diagramas se usan los siguientes símbolos:



VIII. SELECCION DEL EQUIPO DE COMPACTACION EN CUANTO AL RENDIMIENTO Y AL COSTO DE LA COMPACTACION

8.1. RENDIMIENTO

Para determinar la producción horaria de un equipo de compactación se debe tomar en cuenta los siguientes factores:

- A) Ancho compactado por la máquina = A
- B) Velocidad de operación = V
- C) Espesor de capa = E
- D) Número de pasadas para obtener la compactación especificada = N

Para calcular la producción se determina primero el área cubierta en una hora con una pasada; dividiendo la cifra así obtenida entre el número de pasadas requeridas para obtener la compactación estipulada, resulta el área compactada de suelo por hora. Multiplicando esta última área por el espesor compactado de capa se obtiene el volumen compactado por hora.

SELECCION DE EQUIPO

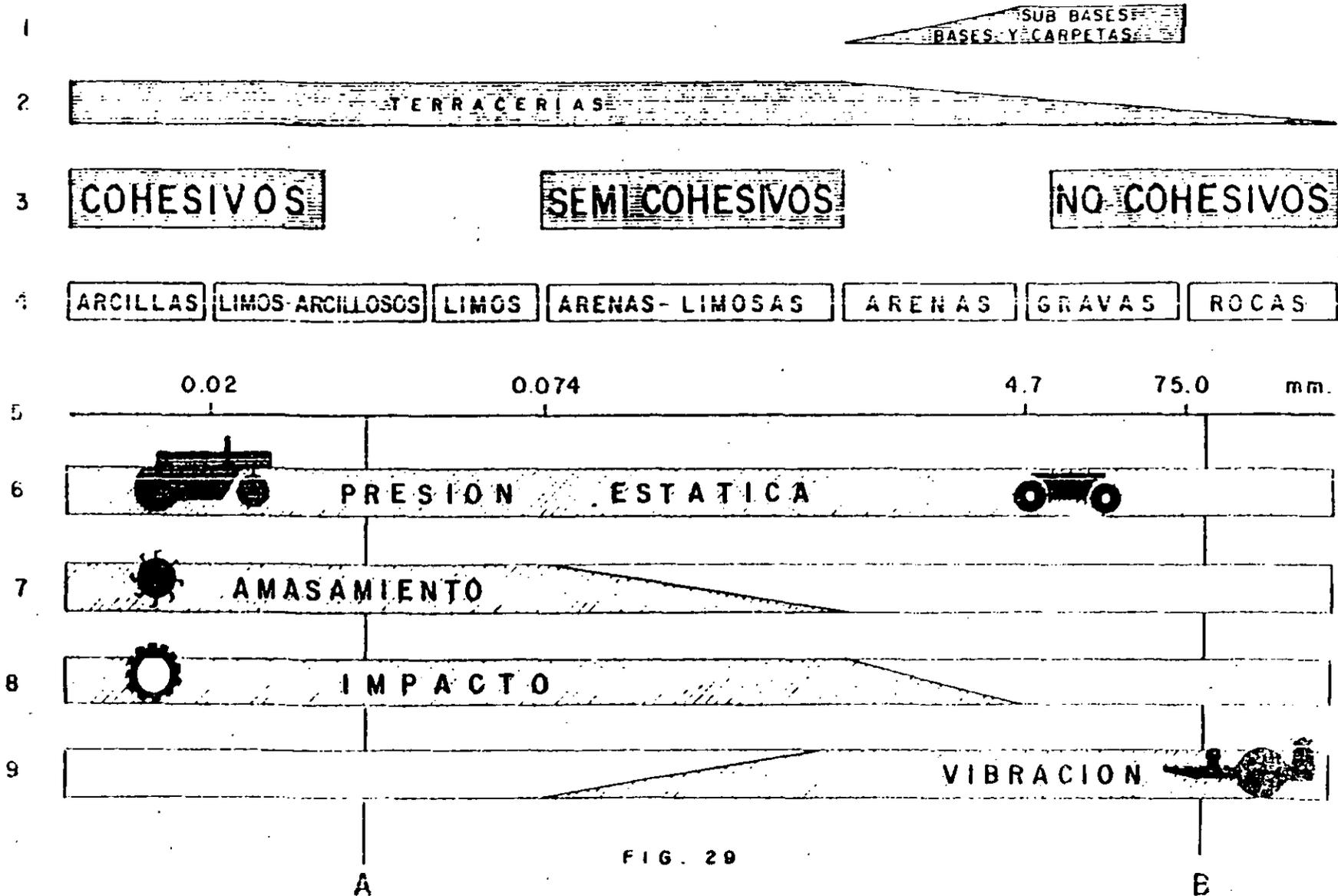
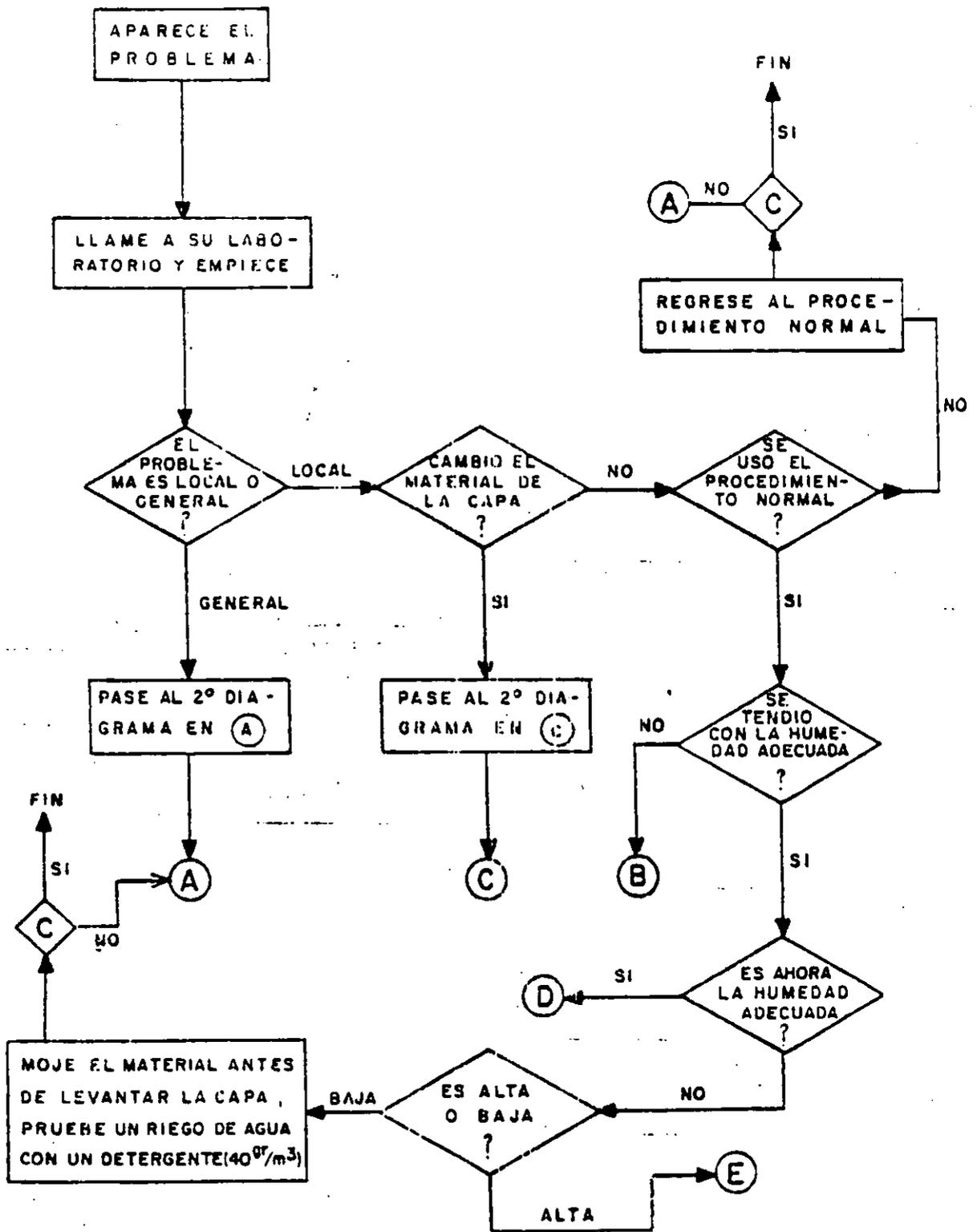


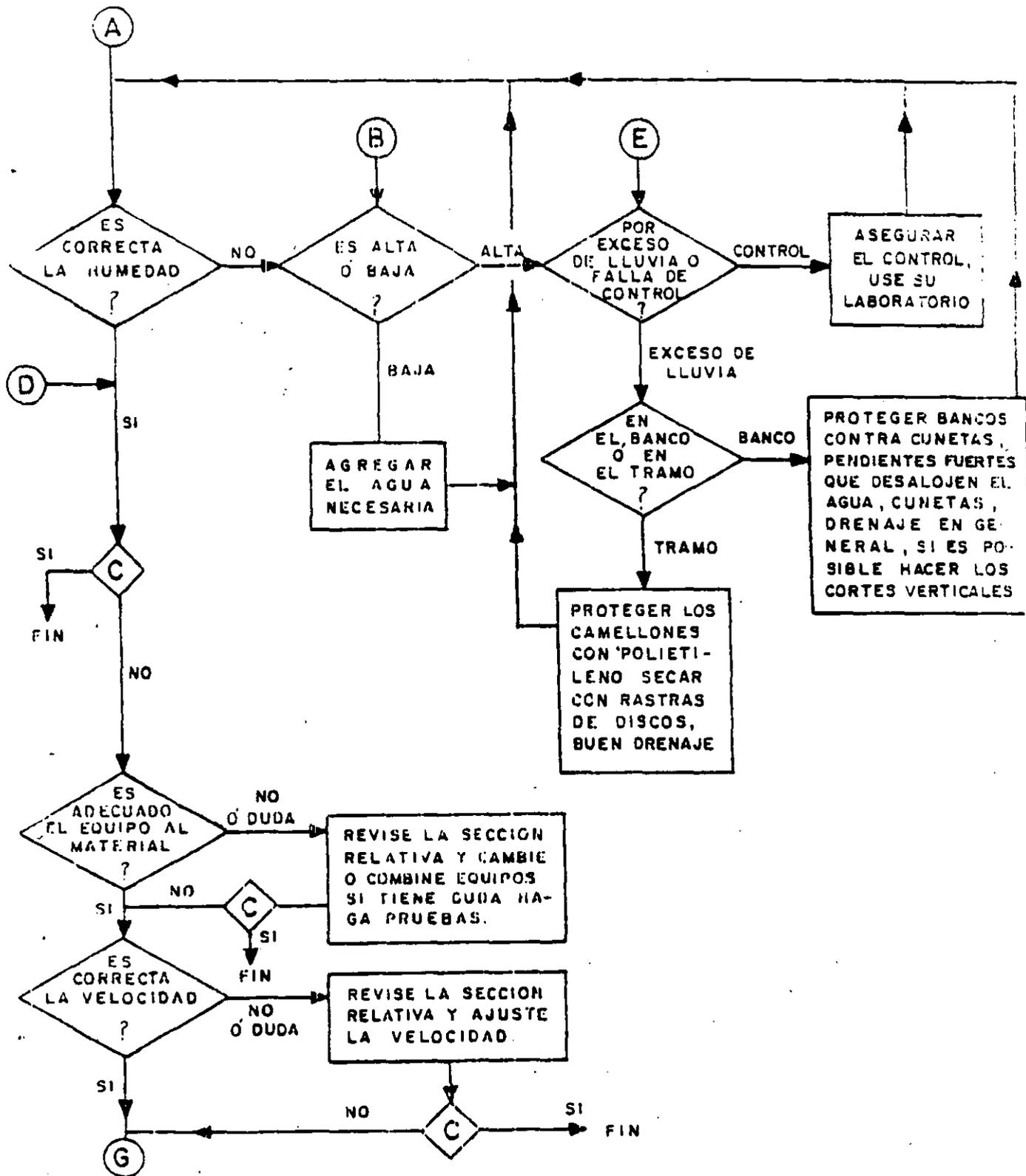
FIG. 29

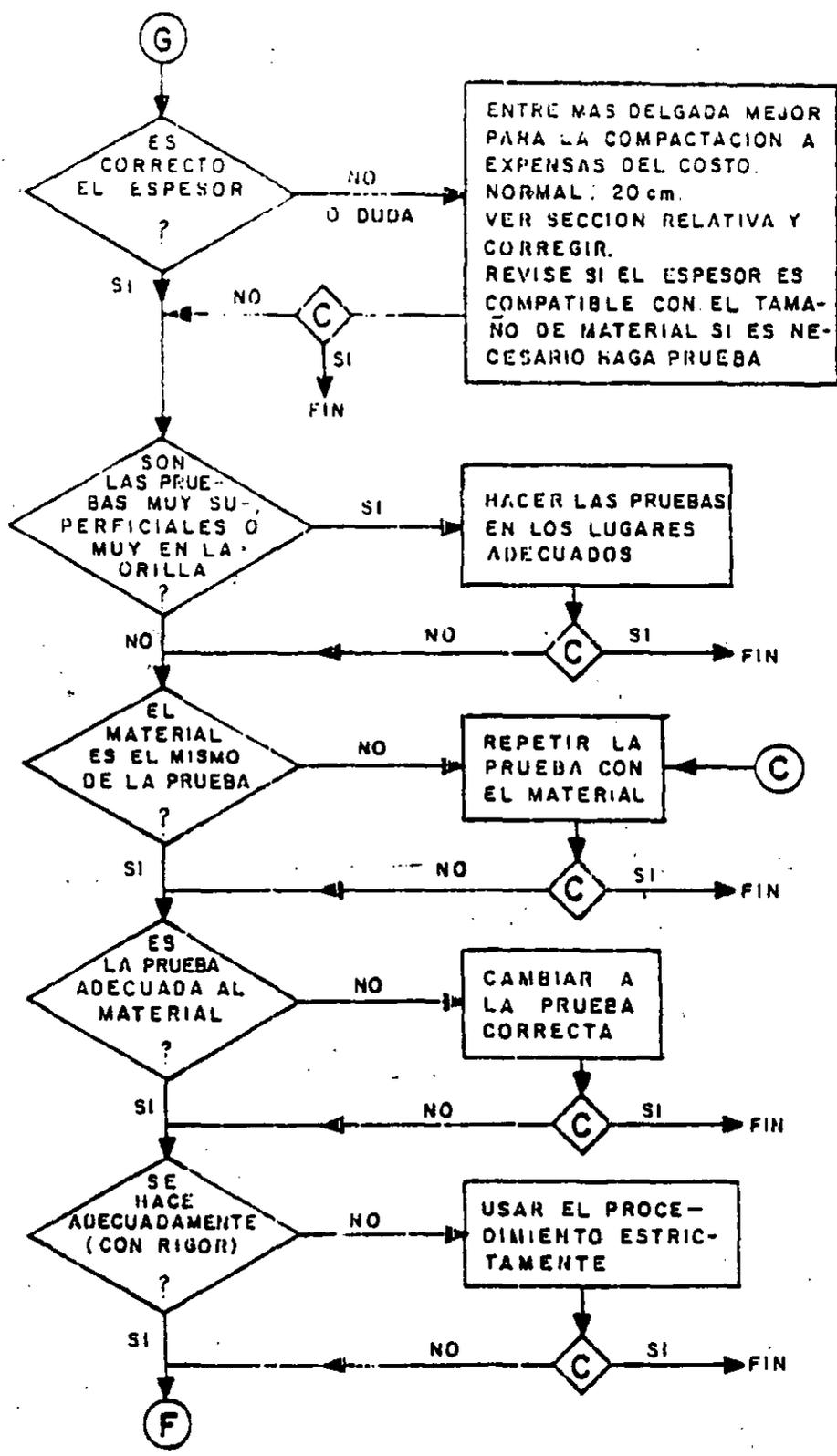
37

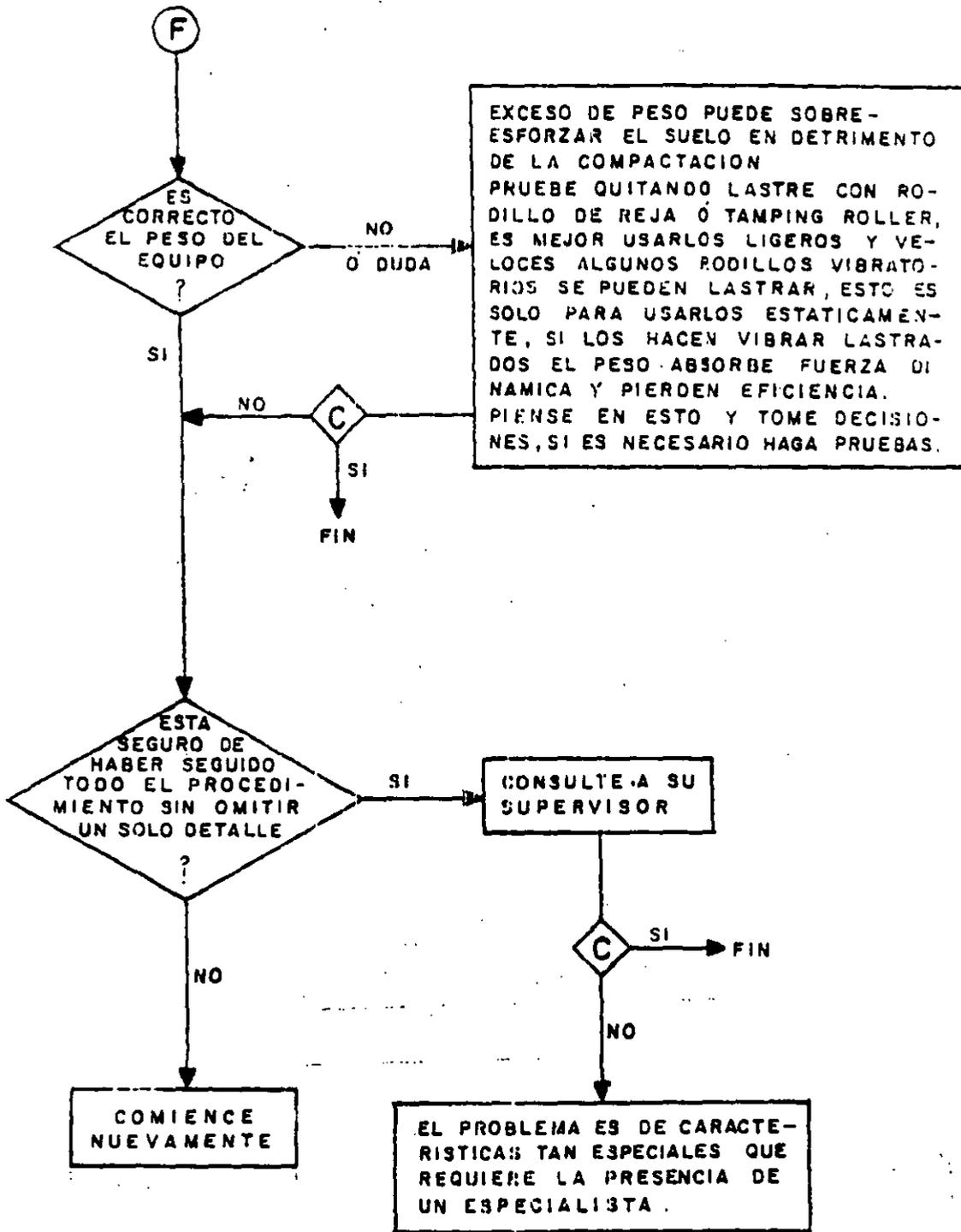
PRIMER DIAGRAMA



SEGUNDO DIAGRAMA







La fórmula puede escribirse:

$$P = \frac{A \times V \times E \times 10 \times C}{N}$$

P = Producción horaria (m³/h)

A = Ancho compactado por la máquina (m)

V = Velocidad (km/h)

E = Espesor de capa (cm)

N = Número de pasadas

10 = Factor de conversión

C = Eficiencia (0.6 a 0.8)

La eficiencia (C) afecta la capacidad teórica, reduciéndola - por traslapes de pasadas paralelas, por tiempo perdido para dar vuelta y otros factores propios del equipo.

El número de pasadas depende de la energía que el equipo puede proporcionar al suelo:

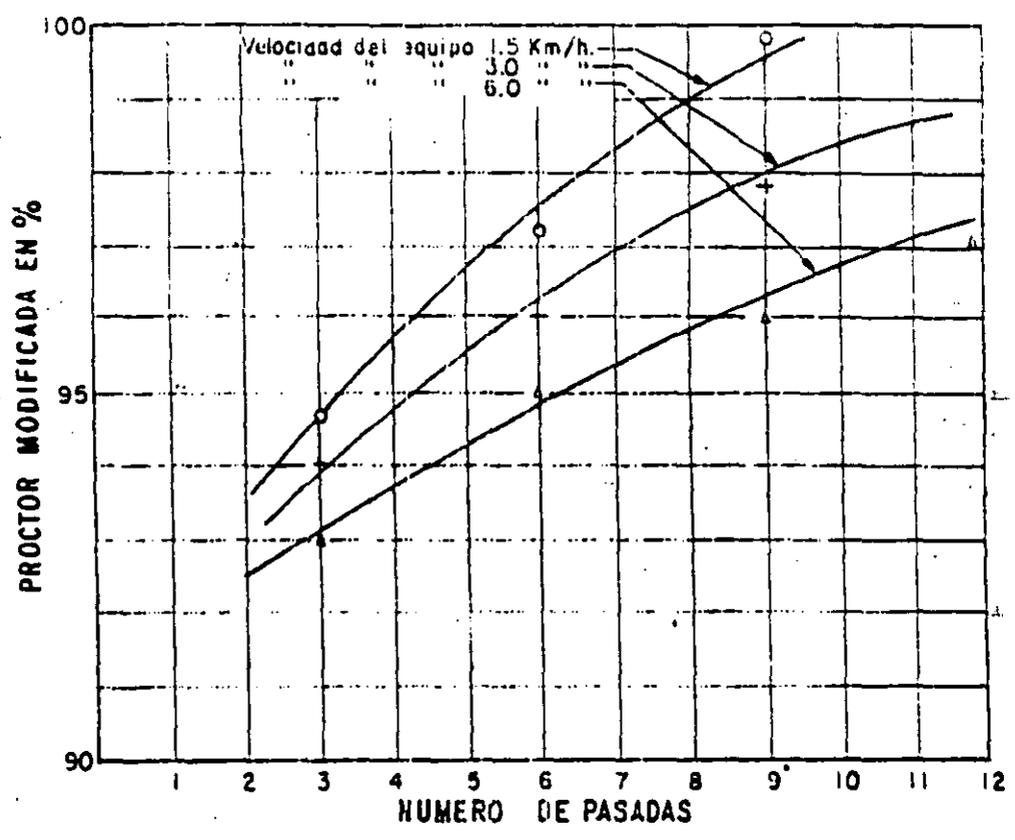
EJEMPLOS TÍPICOS:

EQUIPO	PROFUNDIDAD DE LA CAPA (CM)	No. DE PASADAS	
		PARA 90%	PARA 95%
RODILLO METALICO	10 A 20	7 A 9	10 A 12
NEUMATICO LIGERO	15 A 20	5 A 6	8 A 9
NEUMATICO PESADO	HASTA 70	4 A 5	6 A 8
RODILLO DE IMPACTO	20 A 30	5 A 6	6 A 8
RODILLO DE REJA	20 A 25	6 A 7	7 A 9
PATA DE CABRA VIBRATORIA	20 A 30	3 A 5	6 A 7
LISO VIBRATORIO	20 A 30	VER GRAFICA SIGUIENTE	

Conociendo la capacidad de producción de un compactador y para conocer el costo del (m³) compactado es necesario determinar el costo horario del equipo.

8.2. COSTOS

Para la determinación del costo horario del equipo de compactación se siguen los mismo pasos que se siguen para la determinación -



RELACION ENTRE EL GRADO DE COMPACTACION Y NUMERO DE PASADAS
Equipo liso-vibrotorio

de cualquier otro costo horario de equipo de construcción.

Es decir se deben obtener:

A) Cargos fijos.

Depreciación

Intereses

Seguros

Almacenaje

Mantenimiento

B) C o n s u m o s

Combustibles

Lubricantes

Llantas

C) O p e r a c i ó n

D) T r a n s p o r t e

Sumando.

A) Cargos fijos

B) Consumos

C) Operación

D) Transporte

COSTO HORARIO

Determinado el costo horario del equipo y conociendo la producción del mismo, para un cierto grado de compactación, se puede obtener el costo por (m) compactado:

$$\text{Costo por m} = \frac{\text{Costo Horario Equipo}}{\text{Producción Horaria Equipo}}$$

8.3. EJEMPLOS

Ejemplo (1)

Si tiene por ejemplo un material compuesto por un 30% limo y 70% arena. Consideramos que se trata de un material granular y por lo tanto un compactador vibratorio es el indicado.

Se analizarán las siguientes alternativas:

- 1.- Rodillo liso vibratorio arrastrado por tractor agrícola
 - 2.- Rodillo sencillo liso vibratorio autopropulsado
 - 3.- Rodillo doble (Tandem) vibratorio autopropulsado
- 1.- Determinación de costos horario

1. Rodillo liso arrastrado por tractor agrícola.

Precio de adquisición rodillo	\$ 1'100,000.00
Precio de adquisición del --- tractor	840,000.00

Se considera una vida útil del conjunto de 8000 horas y un valor de rescate de cero.

Cargos fijos	\$ 612.00
Consumos	36.00
Operación	72.00
	<hr/>
	\$ 720.00

2.- Rodillo sencillo vibratorio autopropulsado

Precio de adquisición \$ 2'400,000.00

Se considera también una vida útil de 8000 horas y un valor de rescate de cero:

Cargos fijos	\$ 672.00
Consumos	36.00
Operación	72.00
	<hr/>
	\$ 780.00/hora

3.- Rodillo Tandem vibratorio autopropulsado

Precio de adquisición \$ 4'300,000.00

Haremos la misma consideración por lo que respecta a vida útil y valor de rescate que las alternativas anteriores.

Cargos fijos	\$ 1,150.00
Consumos	52.00
Operación	72.00
	<hr/>
	\$ 1,274.00

II.- Determinación de producciones horarias

1. Rodillo arrastrado por tractor agrícola.

Ancho	= 1.50 m
Velocidad	= 4 km/h
Espesor	= 20 cm (suelos)
Número de pasadas	= 4 para 95%

Coefficiente de reducc. = 0.7

Eficiencia = 0.75

$$P = \frac{1.50 \times 4 \times 20 \times 0.7 \times 10}{4} \times 0.75$$

$$P = 157 \text{ m}^3/\text{hora}$$

2. Rodillo autopropulsado

Ancho = 2.14 m

Velocidad = 4.5 km/h

Espesor = 20 m (suelos)

Número de pasadas = 4 para 95%

Coefficiente de reducc. = 0.7

Eficiencia = 0.75

(Es de mayor maniobrabilidad y de mayor energía dinámica).

$$P = \frac{2.14 \times 4.5 \times 20 \times 10 \times 0.7}{4} \times 0.75$$

$$P = 253 \text{ m}^3/\text{hora}$$

3. Rodillo vibratorio Tandem autopropulsado

Ancho = 1.50

Velocidad = 4 km/h

Espesor = 20 cm (suelos)

Número de pasadas = 2 (por ser dos rodillos)

Coefficiente de reducc. = 0.7

Eficiencia = 0.75

$$P = \frac{1.50 \times 4 \times 20 \times 10 \times 0.8}{2} \times 0.75$$

$$P = 315 \text{ m}^3/\text{hora}$$

III. Determinación de costo de compactación.

	COSTO HORARIO	PRODUCCION	COSTO X m ³
Caso 1	\$ 720.00/h	157 m ³ /h	\$ 4.59/m ³
Caso 2	\$ 780.00/h	253 m ³ /h	\$ 3.08/m ³
Caso 3	\$ 1,274.00/h	315 m ³ /h	\$ 4.36/m ³

Se hace notar que a pesar de que la diferencia de valor de adquisición entre los casos (1) y (3) es de 280% aproximadamente, se obtiene un ahorro en el caso (3), del costo de compactación, cercano al 10%.

Suponiendo que se contara con un compactador de impacto auto-propulsado, con un costo horario de \$ 1,240.00 y se tratara de compactar el material granular del ejemplo, se obtiene:

Producción horaria:

$$\text{Ancho} = 1.94 \text{ m}$$

$$\text{Velocidad} = 9 \text{ km/hora}$$

$$\text{Espesor} = 20 \text{ cm (sueitos)}$$

$$\text{Número de pasadas} = 3 \text{ pasadas (contando sus cuatro rodillos)}$$

$$\text{Coeficientes de reduc} = 0.7$$

$$\text{PRODUCCION} = \frac{1.94 \times 9 \times 20 \times 10 \times 0.7}{8} \times 0.8$$

$$\text{PRODUCCION} = 244 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{COSTO POR COMPACTACION} = \frac{\$ 1,240.00/\text{h}}{244 \text{ m}^3/\text{h}} = \$ 5.08$$

El costo obtenido demuestra una mala selección del equipo, ya que resultó mayor que los obtenidos para rodillos vibratorios.

En caso contrario puede encontrarse cuando con un rodillo vibratorio liso traten de compactarse materiales altamente cohesivos - para los cuales el compactador de impacto resultara más ventajoso.

EJEMPLO (2)

Material por compactar: Arena bien graduada

Volumen por compactar: 300 m³ compactados/hora

Compactación al 95%

Eficiencia 70%

A) Plancha Tandem

Ancho rodillos = 1.20

Velocidad máxima de desplazamiento: 2 km/h

Número de pasadas para obtener el 95% de compactación = 11

Espesor compacto de capa = 12 cm.

Costo horario = \$ 400.00/h

B) Rodillo Vibratorio Autopropulsado

Ancho rodillo = 1.50

Velocidad máxima de desplazamiento = 4 km/h

Número de pasadas para obtener el 95% de compactación = 4

Espesor compacto de capa = 25 cm

Costo horario = \$ 1,000.00/hora

PREGUNTAS

- 1.- ¿Cuántas planchas tandem son necesarias para compactar 300 m³ compactos por hora?
- 2.- ¿Cuántos rodillos vibratorios son necesarios para compactar 300 m³ compactos por hora?
- 3.- ¿Cuál equipo proporcionará una compactación más económica?

Se determinan primero las producciones horarias de los equipos.

A) Plancha Tandem

$$P = \frac{1.20 \times 2 \times 12 \times 10}{11} \times 0.70$$

$$P = 13.3 \text{ m}^3/\text{h (compactos)}$$

B) Rodillo Vibratorio

$$P = \frac{1.50 \times 4 \times 25 \times 10}{4} \times 0.70$$

$$P = 262 \text{ m}^3/\text{h (compactos)}$$

RESPUESTAS:

- 1.- Se necesitan tantas planchas como:

$$\frac{300}{18.3} = 16 + = 17 \text{ planchas}$$

Se pueden utilizar 16 unidades, pero con utilización óptima -- que frecuentemente resulta difícil de obtener.

Se necesitan usar 17 unidades, lo cual es totalmente impráctico.

- 2.- Los rodillos vibratorios necesarios son:

$$\frac{300 \text{ m}^3/\text{h}}{262 \text{ m}^3/\text{h}} = 1.14 + = 2 \text{ rodillos}$$

- 3.- Determinación del costo de compactación:

A) Planchas Tandem (6 - 8 Tons)

$$\text{Costo} = \frac{\text{Costo Horario}}{\text{Producción}}$$

$$\text{Costo} = \frac{\$ 400.00/\text{h}}{18.3} = \$ 21.85/\text{m}^3$$

Costo que es muy elevado !!

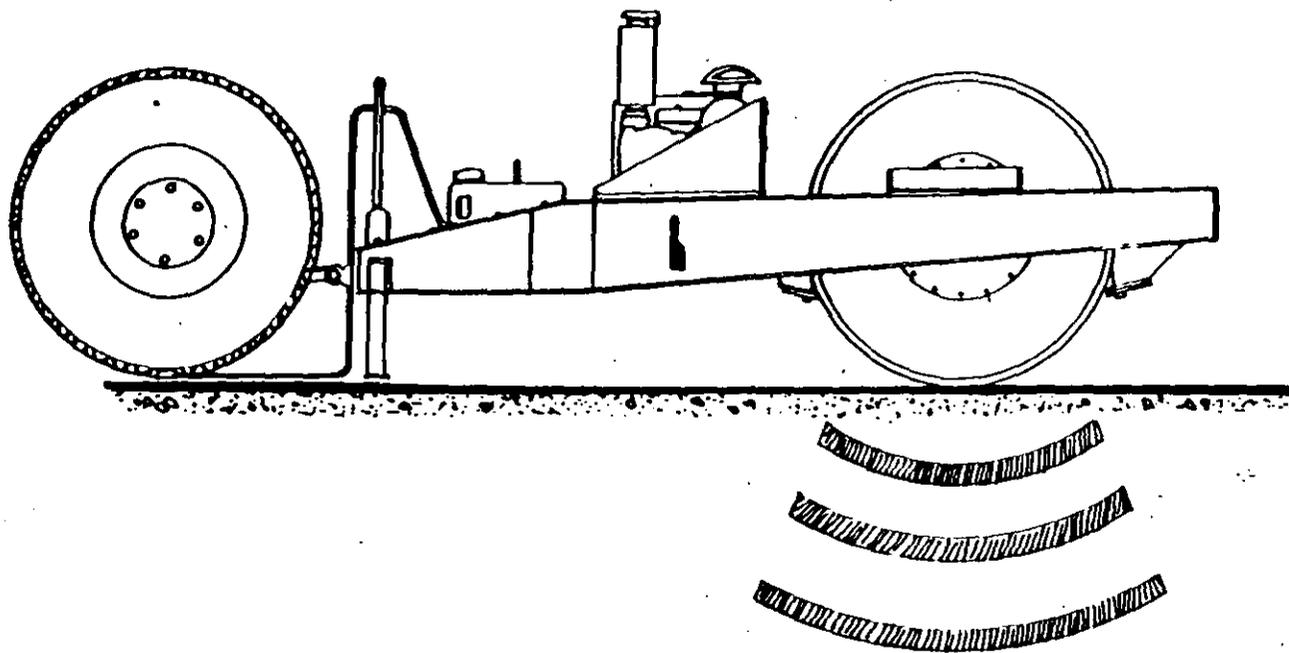
B) Rodillos Vibratorios

$$\text{Costo} = \frac{\$ 1,000.00/\text{h}}{262 \text{ m}^3/\text{h}} = \$ 3.82/\text{m}^3$$

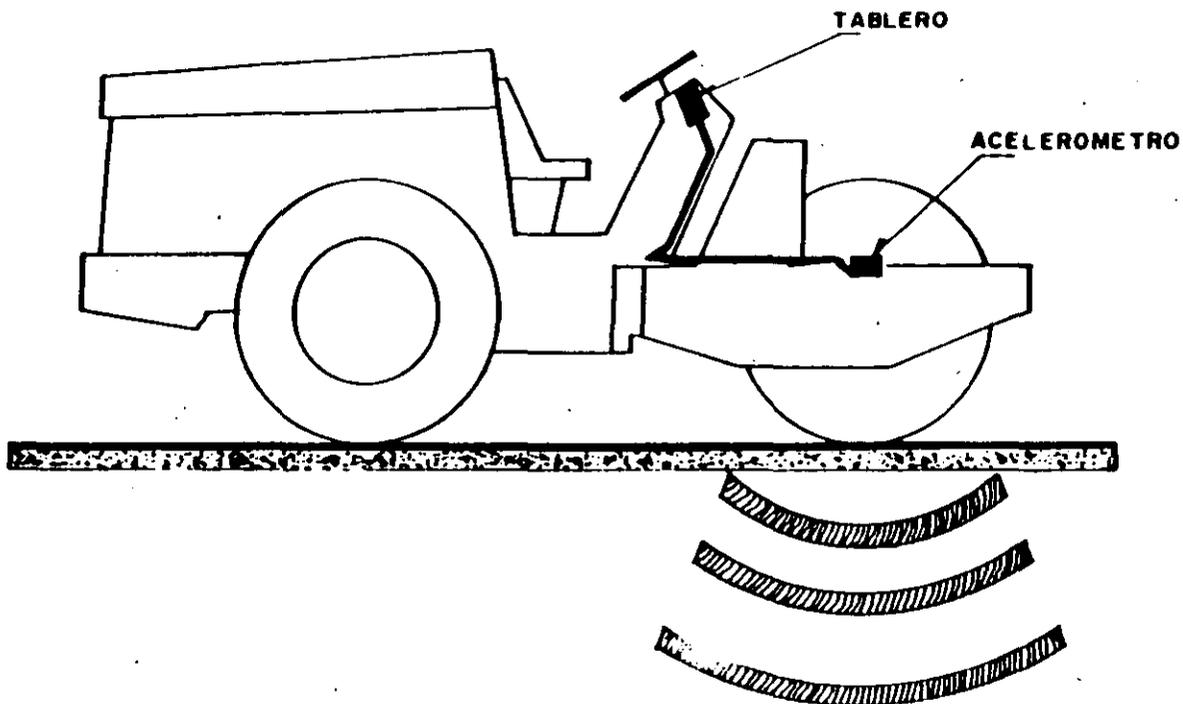
Que es un costo razonable.

IX. CONCLUSIONES

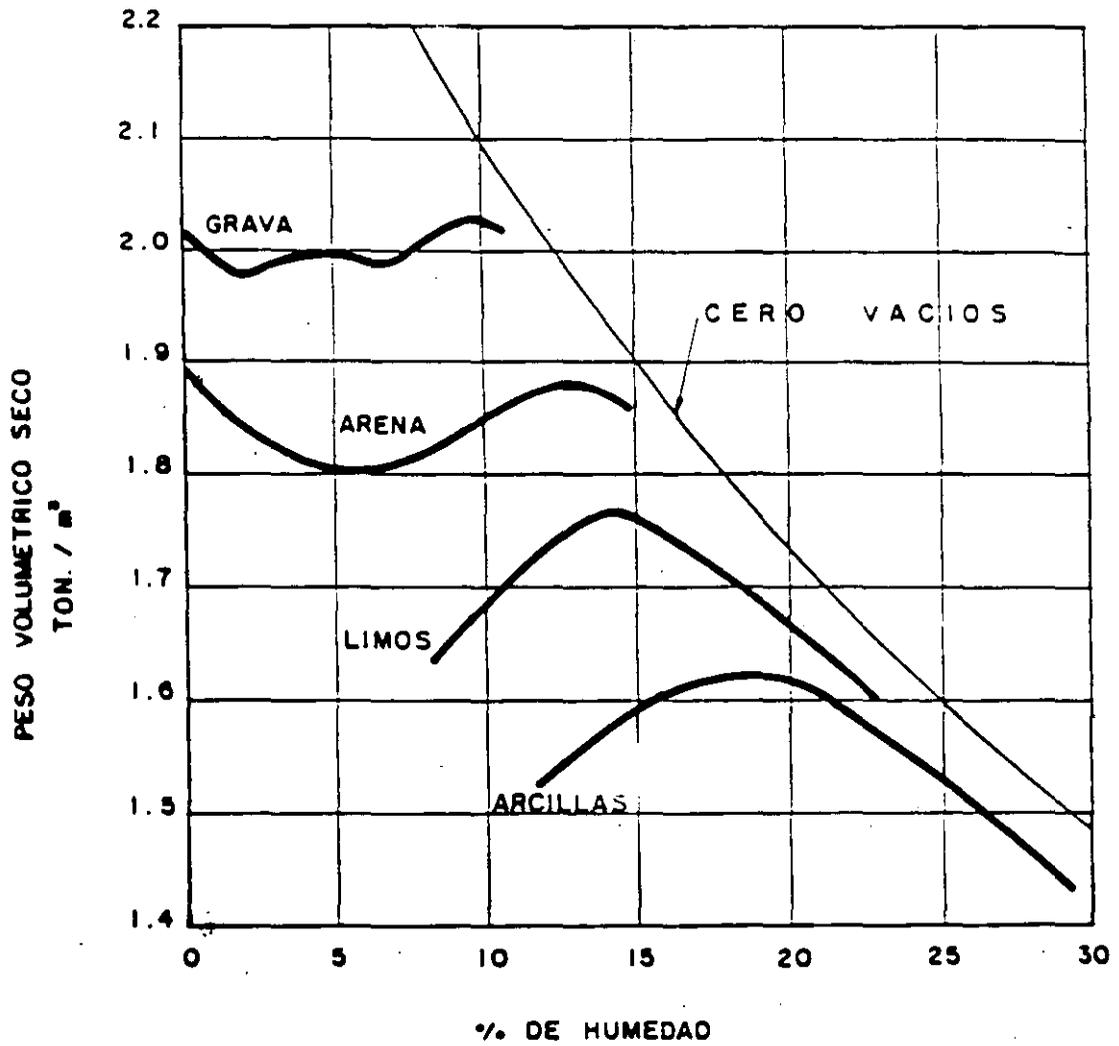
- 9.1. La forma de mejorar los elementos mecánicos en un suelo es la compactación.
- 9.2. Los efectos más importantes que produce una buena compactación en un suelo son: Resistencia mecánica, minimización de asentamientos y reducción de la permeabilidad.
- 9.3. El factor de mayor importancia para dar una compactación óptima en un suelo, es el contenido de humedad del material.
- 9.4. Los esfuerzos de compactación pueden transmitirse al suelo por la combinación de uno o más de los siguientes efectos: Presión estática, impacto, vibración y amasamiento.
- 9.5. El compactador que deba usarse dependerá básicamente del tipo de suelo que se quiera compactar (Fig. 29).
- 9.6. La selección de compactadores deberá hacerse con mucho cuidado y tratando de hacer intervenir las variables ya que de esto dependerá el éxito económico y funcional de la compactación.
- 9.7. De un buen control depende que la compactación se lleve a cabo correctamente.



RODILLO VIBRATORIO.



MEDIDA DE LA ACELERACION EN FUNCION DE LA ELASTICIDAD DEL SUELO .



CURVAS DE COMPACTACION PARA
DIFERENTES CLASES DE SUELO

TEMA VII

COSTO HORARIO DE LA MAQUINARIA

			FECHA: _____
CLAVE	ELABORO: _____	MAQUINA: _____	UNIDAD:
	REVISO: _____	MODELO: _____	
	APROBO: _____	DATOS ADICIONALES: _____	

DATOS GENERALES:

PRECIO DE ADQUISICION: _____ \$	FECHA COTIZACION _____
EQUIPO ADICIONAL _____ \$	VIDA ECONOMICA (ve) _____ AÑOS
VALOR INICIAL (va) = _____ \$	HORA POR AÑO (ha) _____ Hr/AÑO
VALOR RESCAJE (vr) = _____ % \$	MOTOR _____ DE _____ HP
TASA INTERES (i) = _____ % \$	FACTOR OPERACION _____
PRIMA SEGUROS (s) = _____ % \$	POTENCIAS OPERACION _____ HP OP
	COEFICIENTE ALMACENAJE (K) = _____
	FACTOR MANTENIMIENTO (Q) = _____

I. CARGOS FIJOS

a) DEPRECIACION	$D = (va-vr)/ve =$ _____	\$ _____
b) INVERSION	$I = (va+vr)/2ha i =$ _____	\$ _____
c) SEGUROS	$S = (va+vr)/2ha s =$ _____	\$ _____
d) ALMACENAJE	$A = KD$ _____	\$ _____
e) MANTENIMIENTO	$M = QD$ _____	\$ _____
SUMA CARGOS FIJOS / HORA		\$ _____

II. CONSUMOS

a) COMBUSTIBLE	$E = c^P c$	
DIESEL	$E = 0.20x$ _____	HP opx \$ _____ /lt.
GASOLINA	$E = 0.24x$ _____	HP opx \$ _____ /lt.
b) OTRAS FUENTES DE ENERGIA		
c) LUBRICANTES	$L = e^P c$	
CAPACIDAD CARTER C = _____	LITROS	
CAMBIOS ACEITE t = _____	HORAS	
$a=c/t+(0.0035 \delta$		
$0.0030 x$		
$\therefore L =$ _____	Lt/hrx	\$ _____ /lt.
d) LLANTAS = LL = VLL (VALOR LLANTAS)/Ha (VIDA ECONOMICA)		
VIDA ECONOMICA = Ha = _____	HORAS	
$\therefore LL =$ \$ _____ / _____	HORAS	\$ _____
SUMA CONSUMOS / HORA		

III. OPERACION

OPERADOR	SALARIOS : \$ _____	
	\$ _____	
	\$ _____	
SAL/TURNO-PROM.	\$ _____	
HORAS TURNO-PROM. (H)		
H = Hrs. x _____	FACTOR RENDIMIENTO = _____	HORAS
\therefore OPERACION = O = S / H = \$ _____ / _____		HORAS \$ _____
TOTAL H / M		\$ _____

CONTRATO N° _____
 RESPONSABLE _____

NOMBRE DEL CONCURSANTE _____

HORA _____
 DE _____

ANALISIS DE COSTO HORA MAQUINA

EQUIPO N°	Designación	Descripción de la máquina
DATOS GENERALES		
(Pm) PRECIO DE LA MAQUINA	\$ _____	(I) PRIMA DE SEGURO _____ % ANUAL
(VII) VALOR DE LAS LLANTAS	\$ _____	(Q) MANTENIMIENTO MAYOR Y MENOR _____ %
(Vpe) VALOR DE PIEZAS ESPECIALES	\$ _____	(Hn) POTENCIA NOMINAL _____ HP
(Va) VALOR DE ADQUISICION	\$ _____	(Hoe) POTENCIA DE OPERACION _____ HP
(Vr) VALOR DE RESCATE	\$ _____	(Ie) FACTOR DE OPERACION _____
(Vd) VALOR A DEPRECIAR	\$ _____	(HVL) VALOR DE LAS LLANTAS _____ HORAS
(Ve) VIDA ECONOMICA	_____ HORAS	(Hpe) VIDA DE LAS PIEZAS ESPECIALES _____ HORAS
(I) TASA DE INVERSION ANUAL	_____ %	(DILA) DIAS LABORALES AL AÑO _____ DIAS
(He) HORAS EFECTIVAS POR AÑO	_____ HORAS	(H) HORAS DE LA JORNADA _____ HORAS
CARGOS FIJOS		C O S T O
DEPRECIACION	$S = (Vd - Vr) / (Ve \cdot H)$	
INVERSION	$I = (Pm - Vr) / (I \cdot H)$	
SEGUROS	$S = (Va - Vm) / (2 \cdot H)$	
MANTENIMIENTO	T. C. D.	
S U M A		
CONSUMOS		
COMBUSTIBLES	UNIDAD	CANTIDAD
MASQUINA	_____	_____
DIESEL	_____	_____
ACEITE DE MOTOR	_____	_____
FORMULA	$C = (Vc \cdot H) / (Vd \cdot H)$	
OTRAS FUENTES ENERGIA		S U M A
LLANTAS		
MEDIDAS	CANTIDAD	IMPORTE
_____	_____	_____
_____	_____	_____
S U M A S		
CARGO POR LLANTAS \$ (HVL) / H		S U M A
OTROS ELEMENTOS (PIEZAS ESPECIALES)		
CARGO OTROS ELEMENTOS \$ / (Hpe)		S U M A
OPERACION		
C A T E G O R I A S	\$ NOMINAL	\$ REAL
a) _____	_____	_____
b) _____	_____	_____
c) _____	_____	_____
CARGOS		S U M A S
Si. He > 1600 Hrs \$: So (DILA) / He		
Si. He < 1600 Hrs \$: So / H		
S U M A		
COSTOS DIRECTOS POR HORA		T O T A L
% de Indirectos		

9

CONTRATO _____	FECHA: _____	AMERO HOJA 75
OBRA _____	CALCULO: _____	
LUGAR _____	REVISO: _____	

ANALISIS DEL COSTO DE HORA MAQUINA DIRECTO (H.M.D.)

MAQUINA TRACTOR 18-K C/R MODELO CATERPILLAR DR-K
 CAPACIDAD _____ DATOS ADICIONALES _____

DATOS GENERALES

5) Valor Rescate (Vr) $10\% = \$ 2'148,440$ 6) Coeficiente Almacenaje (Ka) 0.02
 1) Precio Adquisición $\$ 91'481,400$ 10) Vida económica (Ve) 8000 Horas 11) Factor de Mantenimiento (Q) 0.75
 2) Equipo Adicional $\$$ _____ 7) Tasa Interés anual (i) 0.55 12) Motor: DIESEL de 360 H.
 3) Llantas $\$$ _____ 8) Horas por año (Ha) 2000 hrs/año 13) Factor operación: 0.80
 4) Valor Inicial (Va) $\$ 91'481,400$ 9) Prima anual seguros (S) 0.05 14) Potencia Operación: 288 HJ

I.- CARGOS FIJOS

a) DEPRECIACION: $D = (Va + Vr) / Ve =$ _____ $\$ 10'292.00$
 b) INVERSION: $I = (Va + Vr) / 2 Ha =$ _____ $\$ 13'837.02$
 c) SEGUROS: $S = (Va + Vr) \cdot i / 2 Ha =$ _____ $\$ 754.75$
 d) ALMACENAJE: $A = Ka \cdot D =$ _____ $\$ 205.84$
 e) MANTENIMIENTO: $T = Q \cdot D =$ _____ $\$ 7'719.00$

SUMA CARGOS FIJOS POR HORA $\$$ _____

II.- CARGOS POR CONSUMO

a) COMBUSTIBLE $E = C \times Pc$ (c es la cantidad de combustible por hora, y P el precio del combustible) =
 DIESEL: $E = 0.1514 \times$ _____ HP. sp. $\times \$ 35.01$ /hora $\$ 1,526.55$
 GASOLINA: $E = 0.2271 \times$ _____ HP. sp. $\times \$$ _____ /hora $\$$ _____
 b) OTRAS FUENTES DE ENERGIA = $0.746 \times$ _____ H.P. $\times \$$ _____ Kw/hr. $\$$ _____
 c) LUBRICANTES $L = a \times Pl$ (a es la cantidad de aceite por hora y Pl el precio de los aceites)
 CAPACIDAD CARTER $C = 30.0$ lts. Cambios aceite: $t = 100$ horas
 $a = C \cdot \frac{0.0035}{0.0038} \times$ _____ HP. sp. $= 1.31$ lts/hora
 $L =$ _____ lts/hora $\times \$ 360.00$ /lts. $\$ 470.88$
 d) Llantas: $Lt = \frac{V}{H}$ (Valor Horas) $\$$ _____
 H. vida económica en horas)
 e) Mantenimiento menor _____ $\$$ _____
 f) Otros consumos 5% _____ $\$ 99.87$

SUMA CARGOS CONSUMO POR HORA $\$ 2,097.30$

III.- CARGO POR OPERACION

OPERADOR _____ $\$ 3,066.42$
 _____ $\$ 1,427.55$
 _____ $\$$ _____
 Salario/turno promedio = $Sc = \$$ _____ $\$$ _____
 Horas/Turno promedio = $H = 8$ horas $\times 0.83$ (factor rendimiento de operación) 0.64 horas
 Operación _____ $= O = Sc/H =$ _____ $\$ 676.80$

SUMA CARGOS OPERACION POR HORA $\$ 676.80$

COSTO HORA MAQUINA DIRECTO (H.M.D.)	$\$ 35,582.69$
% INDIRECTOS	$\$$ _____
% UTILIDAD	$\$$ _____
PRECIO UNITARIO HORA MAQUINA EFECTIVA	$\$$ _____

CAPACIDAD DEL CARTER

MOTOCONFORMADORA 120 B	21.0 LTS.
COMPACTADOR LISO VIBRATORIO DINA PAC CA-25	12.0 "
COMPRESOR SPK 325 GARDNER DENVER	6.0 "
CARGADOR FRONTAL 955 CAT	19.0 "
RETROEXCAVADORA Y-90 120 HP	15.0 "
BOMBA DE AGUA 2"	0.25 "
CAMION F600 PLATAFORMA CON GRUA HIAB	12.0 "
SOLDADORA SAE300 LINCOLN 300 AMPS.	3.0 "
CAMION REVOLVEDORA F600 6 M3	12.0
VIBRADOR DINA PACK K-8	0.75 "
REVOLVEDORA R-20 MIPS A 2 SACOS	6.0 "
RETROEXCAVADORA 90-CLB 1.26 M3	11.0 "
PLANTA ELECTRICA 125 KW	8.0 "
CAMION DE VOLTEO F600 6 TONS.	12.0 "

NOMBRE DE MAQUINARIA	(VE)	(IA)	(HP)	(HP.OP.)	(C.C.)	(C.A.)	MOTOR	(VE.LL.)	(F.OP.)	(F.M.)	(F.R.)
GRUA C/PILMA HIDRAULICA MCA. PETTIBONE MOD. 45-SCP CAP. 225 TON. S/LLANTAS	10,000 HR.	2,000 HR.	176	140 HR.	18 LT.	100 HR.	DIESEL	2000	0.80	0.80	0.83
GRUA C/PILMA HIDRAULICA MCA. GROVE MOD. TMS-250 CAP. 25 TON. S/LLANTAS	/	/	183	146.40	22	/	/	/	/	/	/
GRUA C/PILMA HIDRAULICA MCA. GROVE MOD. TMS-300 CAP. 35 TON. S/LLANTAS	/	/	203	164.40	28	/	/	/	/	/	/
GRUA C/PILMA HIDRAULICA MCA. GROVE MOD. 80-SCP CAP. 40 TON. S/LLANTAS	/	/	176	140.80	18	/	/	/	/	/	/
GRUA C/PILMA HIDRAULICA MCA. GROVE MOD. RT-755 CAP. 50 TON. S/LLANTAS	/	/	170	136	16	/	/	/	/	/	/
GRUA C/PILMA HIDRAULICA MCA. GROVE MOD. RT-980 CAP. 90 TON. S/LLANTAS	/	/	230	184	40	/	/	/	/	/	/
GRUA HIDRAULICA S/ORUGAS DE 15 TON.	/	/	120	96	14	/	/	-	/	/	/
GRUA HIDRAULICA S/ORUGAS DE 28 TON.	/	/	195	148	32	/	/	-	/	/	/
GRUA HIDRAULICA S/ORUGAS DE 45 TON.	/	/	112	89.60	13	/	/	-	/	/	/
GRUA HIDRAULICA S/ORUGAS DE 75 TON.	/	/	171	136.80	19	/	/	-	/	/	/
GRUA C/PILMA TIPO CELOSIA MCA. CLARK LIMA MOD. 770-IC CAP. 100 TON. S/ORUGAS	12,000	/	220	176	40	/	/	-	/	/	/
GRUA MCA. P & H C/PILMA TIPO CELOSIA DE 150 TON. S/ORUGAS	/	/	270	216	40	/	/	-	/	/	/
GRUA C/PILMA TIPO CELOSIA MCA. CLARK LIMA MOD. 1500-SC CAP. 175 TON. S/ORUGAS	/	/	335	268.00	45	/	/	-	/	/	/
GRUA MCA. AMERICAN C/PILMA TIPO CELOSIA DE 225 TON. S/ORUGAS	/	/	375	300	45	/	/	-	/	/	/
GRUA C/PILMA TIPO CELOSIA MCA. CLARK LIMA MOD. 7707 CAP. 300 TON	/	/	420	336	45	/	/	-	/	/	/

COMBUSTIBLE E = C x Pc

DIESEL A: (0.45 + (1.176)0 x PC

DIESEL ED = 0.200 x 336.00 HP. OP. x Pc

DIESEL A: (1.626) PC

LUBRICANTES L = P x Pc

CAPACIDAD DEL CARTER C: 45 LITROS CAMBIOS DE ACEITE T: 100 HR.

DIESEL A: (C/T + (0.0035 x 336.00 HP. OP.)) x PC

DIESEL A: (45/100 + (0.0035 x 336.00 HP. OP.)) x PC

NOMBRE DE LA MAQUINARIA	(VF)	(HA)	(HP)	(P.OP.)	(C.C.)	(C.A.)	MOTOR	(VE.LL.)	(F.OP.)	(F.M.)	(F.R.)	
PLANTA DOSIFICADORA P/CONCRETO MCA. ALBA MIXMOBIL C/BANDAS- TRANSPORTADORAS CAP. 15-M ³ /HR.	10,000	HR.	2,000	HR.	-	-	-	-	-	/	/	/
PLANTA DOSIFICADORA P/CONCRETO MCA. ELBA MIXMOBIL C/BANDAS- TRANSPORTADORAS CAP. 20-M ³ /HR.	/	/	-	-	-	-	/	-	/	/	/	
PLANTA DOSIFICADORA P/CONCRETO MCA. ELBA MIXMOBIL C/BANDAS- TRANSPORTADORAS CAP. #0-M ³ /HR.	/	/	-	-	-	-	/	-	/	/	/	
EVOLVEDORA PORTATIL MCA. MIPSAS MOD. R-5 CAP. 1/2 SACO	6,000	/	4	3.20	1	/	G	5000	/	/	/	
EVOLVEDORA PORTATIL MCA. MIPSAS MOD. R-10 CAP. 1 SACO	/	/	8	6.40	1	/	/	/	/	/	/	
EVOLVEDORA PORTATIL MCA. MIPSAS MOD. R-20C CAP. 2 SACOS	/	/	30	24.00	4	/	/	/	/	/	/	
EVOLVEDORA PORTATIL MCA. MIPSAS MOD. R-30C CAP. 3 SACOS	/	/	30	24	4	/	/	2000	/	/	/	
PLACA VIBRATORIA MCA. MECSA DYNAPAC MOD. BR-06	4,500	1,500	1.00	0.80	-	-	(ELECTRICA)	-	/	/	/	
PLACA VIBRATORIA MCA. MECSA DYNAPAC MOD. BR-62	/	/	1	0.80	-	-	G	-	/	/	/	
PLACA VIBRATORIA MCA. MECSA DYNAPAC MOD. BR-66	/	/	1	0.80	-	-	G	-	/	/	/	
PLACA VIBRATORIA MCA. MECSA DYNAPAC MOD. BM-61	/	/	2.00	1.60	1	100	/	-	/	/	/	
PLACA VIBRATORIA MCA. MECSA DYNAPAC MOD. BM-62	/	/	2.00	1.60	1	/	/	-	/	/	/	
VIBRADOR P/CONCRETO MCA. MECSA DYNAPAC MOD. N-1 (WISCONSIN S-8D)- INCLUYE CABEZAL DE 1 ⁵ /8 X 12".	/	/	8.00	6.40	1	/	/	-	/	/	/	
VIBRADOR P/CONCRETO MCA. MECSA DYNAPAC MOD. W-1 (WISCONSIN S-8D)- INCLUYE CABEZAL DE 1 ⁵ /8 X 12".	/	/	8	6.40	1	/	/	-	/	/	/	
VIBRADOR P/CONCRETO MCA. MECSA DYNAPAC MOD. K-8 C/MOTOR DE 8 H.P. (KOHLER 181-R) INCLUYE CABEZAL DE 1 ⁷ /8 X 12".	/	/	8.00	6.40	1	/	/	-	/	/	/	
VIBRADOR P/CONCRETO MCA. MECSA DYNAPAC MOD. K-4 (KOHLER K-91R) INCLUYE CABEZAL 1 ⁷ /8 X 12".	/	/	4	3.20	1	/	/	-	/	/	/	
GRUA MCA. HIAB MOD. 650 CAP. 3 TON. MONTADA S/CAMION PLATAFORMA 10,000	/	2,000	150	120	7	/	D	2000	/	/	/	
CAMION C/WINCHE 5 TON.	/	/	150	120	7	/	D	/	/	/	/	
GRUA MCA. HIAB MOD. 1870 CAP. 10 TON MONTADA S/CAMION PLATAFORMA	/	/	180	144.00	7	/	/	/	/	/	/	
GRUA C/PILMA HIDRAULICA MCA. PETTIBONE MOD. 25-MKP CAP R-5 S/LLAN.	/	/	118	94.40	14	/	/	/	/	/	/	
GRUA C/PILMA HIDRAULICA MCA. PETTIBONE MOD. 30-MKP CAP. 15 TON. S/LL./	/	/	118	94.40	14	/	/	/	/	/	/	
GRUA C/PILMA HIDRAULICA MCA. PETTIBONE MOD. 40-MKP CAP. 20 TON S/LL./	/	/	118	94.40	14	/	/	/	/	/	/	

VII.6

NOBRE DE LA MAQUINARIA	(VE)	(HA)	(HP)	(HP.OP.)	(C.C.)	(C.A.)	MOTOR	(VE.LL.)	(F.OP.)	(F.M.)	(F.R.)
IMPRESOR MCA. CHICAGO PNEUMATIC MOD. 600-RD-2 DE 600 PGM.	8,000 HR.	2,000 HR.	250	200 HP.	28 LTS.	100 HR.	DIESEL	5000	0.80	0.80	0.80
MBA CENTRIFUGA AUTOCEBANTE MCA. BARNES MOD. 5M-Kg1P CAP. 1 1/2" Ø	6,000	/	2	1.60	1	/	/	-	/	/	/
MBA CENTRIFUGA AUTOCEBANTE MCA. BARNES MOD. 8K-Kg1P CAP. 2" Ø	/	/	4	3.20	1	/	/	-	/	/	/
MBA CENTRIFUGA AUTOCEBANTE MCA. BARNES MOD. 8M-Kg81P CAP. 3" Ø	/	/	8	6.8	1	/	/	-	/	/	/
MBA CENTRIFUGA AUTOCEBANTE MCA. BARNES MOD. 35M-T11D CAP. 4" Ø	/	/	12	9.60	3	/	/	-	/	/	/
MBA CENTRIFUGA AUTOCEBANTE MCA. BARNES MOD. 70MD-HR2 CAP. 6" Ø	/	/	34	27.20	12	/	/	-	/	/	/
IMPACTADOR DE PLACA VIBRATORIA MCA. MECESA DYNAPAC MOD. D4-13	/	1,500	8	6.40	1	/	/	-	/	/	/
IMPACTADOR DE RODILLO LISO VIBRATORIO MANUAL MCA. MECESA DYNAPAC PR-8	/	/	8	6.40	1	/	/	-	/	/	/
IMPACTADOR DE RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOPROPULSADO C/RUELAS MCA. MECESA CA-15 CAP. DE 7.5 TON.	10,000	2,000	108	86.40	1	/	/	2000	/	/	/
IMPACTADOR DE RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOPROPULSADO CA-15 CAP. 7.50 TON. C/RUELAS	/	/	108	86.40	14	/	/	/	/	/	/
IMPACTADOR DE RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOPROPULSADOR C/RUELAS CA-15 9 TON.	/	/	125	100	16	/	/	/	/	/	/
IMPACTADOR DE RODILLO LISO VIBRATORIO C/RUELAS CA-255 8 A 10 TON.	/	/	125	100	16	/	/	/	/	/	/
IMPACTADOR REMOLCABLE DE RODILLO LISO MCA. MECESA DYNAPAC MOD. D4-44	6,000	1,500	60	48	8	/	/	-	/	/	/
IMPACTADOR REMOLCABLE DE RODILLO PATA DE CABRA MCA. MECESA DYNAPAC MOD. CP-44	/	/	60	48	8	/	/	-	/	/	/
IMPACTADOR AUTOPROPULSADO PATA DE CABRA MCA. CATIPILAR	10,000	2,000	43	34.40	14	/	/	-	/	/	/
IMPACTADOR AUTOPROPULSADO C/2 RODILLO LISOS (APLANADORA) MCA. RUBER MOD. T-810-H CAP. 8 A 10 TON.	12,000	/	73	58.40	14	/	/	-	/	/	/
IMPACTADOR AUTOPROPULSADO C/3 RODILLOS LISOS (APLANADORA) MCA. RULLER MOD. TR-14-H CAP. 10-14 TON.	/	/	(58)	(46.40)	14	/	/	-	/	/	/
IMPACTADOR AUTOPROPULSADO DE RODILLO LISO VIBRATORIO Y 9 PLANTAS (DUO PACTOR) CAP. 13 TON.	10,000	/	160	128	12	/	/	2000	/	/	/
ARTILLO PLOTTADOR C/MOTOR MACA 1250 Y 3120 Kg-H/GOIPE	5,000	/	60	48	5	/	/	-	/	/	/
ARTILLO PLOTTADOR C/RESBALADERA MCA. DELMAG 22	10,000	/	119	95.20	4	/	/	-	/	/	/
ARTILLO PLOTTADOR C/MOTOR MACA 2200 Y 5500 Kg-H/GOIPE	5,000	/	170	136	7	/	/	-	/	/	/

VII.7

NOMBRE DE LA MAQUINARIA	(VE)	(HA)	(HP)	(IP.OP.)	(C.C.)	(C.A.)	MOTOR	(VE.LL.)	(F.OP.)	(F.M.)	(F.R.)
ASA MCA. LINK-BELT SPEEDER MOD. LS-108 CAP. 1 1/2 YD ³ S/O	10,000 HR.	2,000 HR.	145	116 HP.	23 LTS.	100 HR.	DIESEL	-	0.80	0.80	0.80
ASA MCA. LINK-BELT SPEEDER MOD. 38-B DE ARRASTRE CAP. 2 1/2 YD ³ S/O	/	/	149	119.20	28	/	/	-	/	/	/
MTOCONFOMADORA MCA. CATERPILLAR MOD. 120-G	/	/	125	100	21	/	/	2000	/	/	/
MTOCONFOMADORA MCA. CATERPILLAR MOD. 130-G	/	/	135	108	21	/	/	/	/	/	/
MTOCONFOMADORA MCA. CATERPILLAR MOD. 140-G	/	/	150	120	29	/	/	/	/	/	/
MTOCONFOMADORA MCA. CATERPILLAR MOD. 14-G	/	/	130	144	29	/	/	/	/	/	/
MTOCONFOMADORA MCA. CATERPILLAR MOD. 16-G	/	/	250	200	30	/	/	/	/	/	/
MION PIPA MCA. FORD MOD. F-600 CAP. 9000 L	/	/	150	120	7	/	/	/	/	/	/
MION PIPA MCA. FORD MOD. F-600 CAP. 9000 L	/	/	150	120	7	/	/	/	/	/	/
MION PIPA MCA. FORD MOD. F-600 CAP. 10000 L	/	/	150	120	7	/	/	/	/	/	/
MTRILIZADORA MCA. SEAMAN GUNNISON CAP. 450 L	/	/	150	120	5	/	/	/	/	/	/
MTRILIZADORA MCA. SEAMAN GUNNISON CAP. 6000 L	/	/	150	120	5	/	/	/	/	/	/
MION DE VOLTEO MCA. FORD MOD. F-600 CAP. 6 M ³	/	/	150	120	5	/	/	/	/	/	/
MIONETA PICK-UP MCA. FORD MOD. F-100 CAP. 0.75 TON.	/	/	80	64	5	/	/	/	/	/	/
MIONETA PICK-UP MCA. FORD CAP. 1.00 TON.	/	/	90	64	5	/	/	/	/	/	/
MIONETA DE REDILAS MCA. FORD MOD. F-300 CAP. 3 TON.	/	/	108	82.40	7	/	/	/	/	/	/
MIONETA PLATAFORMA C/REDILAS MCA. FORD MOD. F-600 CAP. 5 TON.	/	/	150	120	7	/	/	/	/	/	/
MIONETA PLATAFORMA C/REDILAS MCA. FORD MOD. F-600 CAP. 5.8 TON.	/	/	150	120	7	/	/	/	/	/	/
MION VOLTEO MCA. TEREX MOD. R-22 CAP. 22 TON.	/	/	236	188.80	19	/	/	/	/	/	/
MOTOR REMOLQUE MCA. WHITE CAP. 25 TON.	/	/	250	200	34	/	/	/	/	/	/
MOTOR REMOLQUE MCA. WHITE CAP. 50 TON.	/	/	350	280	37	/	/	/	/	/	/
MION P/TRANSPORTE DE PERSONAL (40 PASAJEROS) MCA. FORD F-600	/	/	150	120	5	/	/	/	/	/	/
MMPRESOR MCA. INGERSOLL-RAND MOD. DR-120 DE 120 POM.	8,000	/	40	32	8	/	/	5000	/	/	/
MMPRESOR MCA. INGERSOLL-RAND MOD. DR-160 DE 160 POM.	/	/	68	54.40	11	/	/	/	/	/	/
MMPRESOR MCA. INGERSOLL-RAND MOD. DR-175 DE 175 POM.	/	/	75	60	15	/	/	/	/	/	/
MMPRESOR MCA. INGERSOLL-RAND MOD. DR-250 DE 250 POM.	/	/	77	61.60	/	/	/	/	/	/	/
MMPRESOR MCA. GARNER DENVER MOD. SP-325 DE 325 POM.	/	/	96	76.80	14	/	/	/	/	/	/
MMPRESOR MCA. SULLAIR MOD. 350-DP DE 350 POM.	/	/	111	88.80	10	/	/	/	/	/	/
MMPRESOR MCA. GARNER DENVER MOD. SP-450 DE 450 POM.	/	/	150	121.60	18	/	/	/	/	/	/

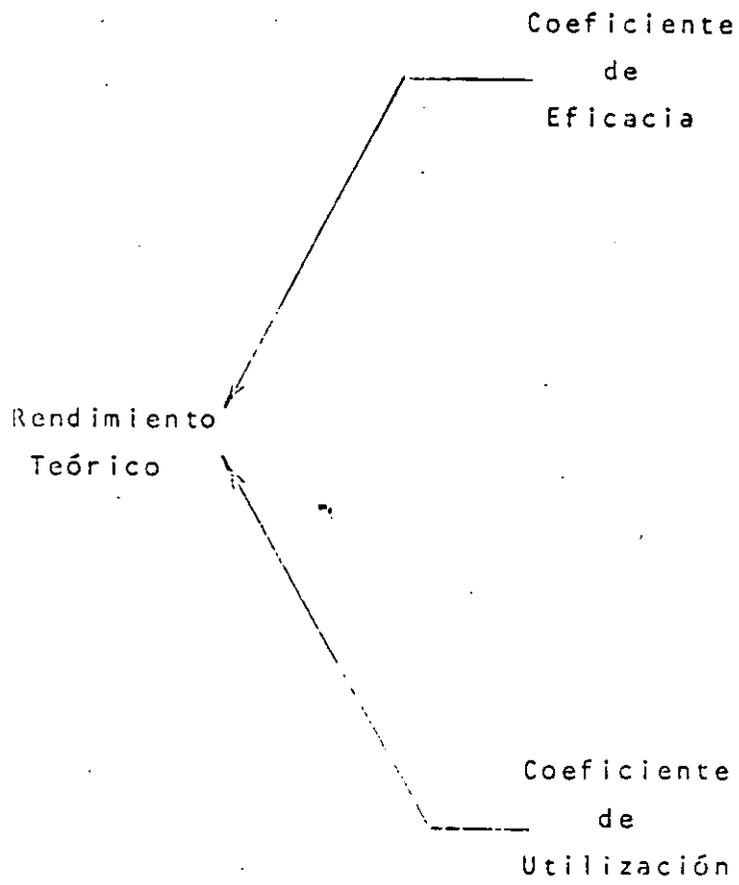
VII.8

NOMBRE DE LA MAQUINARIA	(VE)	(HA)	(HP)	(HP.OP.)	(C.C.)	(C.A.)	MOTOR	(VE.LL.)	(F.OP.)	(F.M.)	(F.R.)
CARGADOR FRONTAL MCA. CATERPILLAR MOD. 931-B CAP. 1 YD ³ S/O	10,000 HR.	2,000 HR.	65	52 HP.	12 LTS.	100 HR.	DIESEL		0.80	0.80	0.80
CARGADOR FRONTAL MCA. CATERPILLAR MOD. 943 CAP. 1 1/2 YD ³ S/O	/	/	80	64	15	/	/		/	/	/
CARGADOR FRONTAL MCA. CATERPILLAR MOD. 951-C CAP. 1 3/4 YD ³ S/O	/	/	95	76	19	/	/		/	/	/
CARGADOR FRONTAL MCA. CATERPILLAR MOD. 955-L CAP. 2 1/4 YD ³ S/O	/	/	130	104	19	/	/		/	/	/
CARGADOR FRONTAL MCA. CATERPILLAR MOD. 977-L CAP. 3 1/2 YD ³ S/O	/	/	190	152.00	28	/	/		/	/	/
CARGADOR FRONTAL MCA. CATERPILLAR MOD. 983-B CAP. 5 YD ³ S/O	/	/	275	220	34	/	/		/	/	/
CARGADOR FRONTAL MCA. CATERPILLAR MOD. 910 CAP. 1 1/4 YD ³ S/LLANTAS	/	/	65	52	11	/	/	2000	/	/	/
CARGADOR FRONTAL MCA. CATERPILLAR MOD. 920 CAP. 1 3/4 YD ³ S/LLANTAS	/	/	80	64	19	/	/	/	/	/	/
CARGADOR FRONTAL MCA. CATERPILLAR MOD. 930 CAP. 2 1/4 YD ³ S/LLANTAS	/	/	100	80	19	/	/	/	/	/	/
CARGADOR FRONTAL MCA. CATERPILLAR MOD. 950-B CAP. 3 YD ³ S/LLANTAS	/	/	155	124	22	/	/	/	/	/	/
CARGADOR FRONTAL MCA. CATERPILLAR MOD. 75-III-A CAP. 3 1/2 YD ³ S/LLANT.	/	/	165	133.60	30	/	/	/	/	/	/
CARGADOR FRONTAL MCA. CATERPILLAR MOD. 966-C CAP. 4 YD ³ S/LLANTAS	/	/	170	136	29	/	/	/	/	/	/
CARGADOR FRONTAL MCA. CATERPILLAR MOD. 980-C CAP. 5 1/4 YD ³ S/LLANT.	/	/	270	216	28	/	/	/	/	/	/
CARGADOR FRONTAL MCA. CATERPILLAR MOD. 988-B CAP. 7 YD ³ S/LLANT.	/	/	375	300	42	/	/	/	/	/	/
CARGADOR FRONTAL MCA. TERIX MOD. 72-71-B CAP. 7 1/2 YD ³ S/LLANTAS	/	/	338	310.40	23	/	/	/	/	/	/
RETROEXCAVADORA MCA. CATERPILLAR MOD. 225 CAP. 3/4 A 1 3/4 YD ³ S/O	/	/	135	108	13	/	/	-	/	/	/
RETROEXCAVADORA MCA. CATERPILLAR MOD. 235 CAP/ 1 1/2 A 2 3/4 YD ³ S/O	/	/	195	156	29	/	/	-	/	/	/
RETROEXCAVADORA MCA. CATERPILLAR MOD. 245 CAP. 2 A 2 1/2 YD ³ S/O	/	/	325	260	36	/	/	-	/	/	/
TRACTOR MCA. CATERPILLAR MOD. D-3 S/O C/BULLDOZER	/	/	62	49.60	12	/	/	-	/	/	/
TRACTOR MCA. CATERPILLAR MOD. D-3 S/O C/BULLDOZER Y RIPPER	/	/	62	49.60	12	/	/	-	/	/	/
TRACTOR MCA. CATERPILLAR MOD. D-4E S/O C/BULLDOZER Y C/RIPPER	/	/	75	60	19	/	/	-	/	/	/
TRACTOR MCA. CATERPILLAR MOD. D-5B S/O C/BULLDOZER Y C/RIPPER	/	/	105	84	28	/	/	-	/	/	/
TRACTOR MCA. CATERPILLAR MOD. D-6D S/O C/BULLDOZER Y C/RIPPER	/	/	140	112	28	/	/	-	/	/	/
TRACTOR MCA. CATERPILLAR MOD. D-7G S/O C/BULLDOZER Y C/RIPPER	/	/	200	160	27	/	/	-	/	/	/
TRACTOR MCA. CATERPILLAR MOD. D-8K S/O C/BULLDOZER Y C/RIPPER	/	/	300	240	33	/	/	-	/	/	/
TRACTOR MCA. CATERPILLAR MOD. D-9L S/O C/BULLDOZER Y C/RIPPER	/	/	460	368	57	/	/	-	/	/	/
TRACTOR MCA. CATERPILLAR MOD. D-10 S/O C/BULLDOZER Y C/RIPPER	/	/	700	560	84	/	/	-	/	/	/
DRAGA MCA. LINK-BELT SPEEDER MOD. LS-68 CAP. 3/4 YD ³ S/O	/	/	57	53.60	19	/	/	-	/	/	/
DRAGA MCA. LINK-BELT SPEEDER MOD. LS-98 CAP. 1 1/4 YD ³ S/O	/	/	117	93.60	15	/	/	-	/	/	/

VII.9

TEMA VIII

RENDIMIENTO DE LA MAQUINARIA



Coeficiente
de
Eficacia

- a) Imposibilidad de ser operada en forma -
continua y a velocidad máxima constante.
- b) Tiempos destinados a engrase y al abas-
tecimiento de combustible.
- c) Tiempos variables, según el equipo, em-
pleados en la revisión de partes peque-
ñas: tornillos, bandas, cables, etc.
- d) Fatiga del operador.

Valores:

$$\text{óptimo} = \frac{50 \text{ min}}{60 \text{ min}} = 0.83$$

$$\text{normal} = \frac{40 \text{ min}}{60 \text{ min}} = 0.66$$

Coeficiente
de
Utilización

Condiciones del Trabajo

- naturaleza del terreno
- condiciones del suelo y meteorológicas
- Topografía y volumen de la obra
- Ritmo de trabajo obligado por la fecha de terminación

Organización de la obra

- experiencia del personal y del manejo del trabajo
- Selección, cuidado y mantenimiento del equipo.
- Selección, dirección y coordinación de las actividades.

Valores del coeficiente de utilización.

Condiciones del Trabajo	Organización de la Obra			
	Excelente	Buena	Mediana	Mala
Excelentes	0.84	0.81	0.76	0.70
Buenas	0.78	0.75	0.71	0.65
Medianas	0.72	0.69	0.65	0.60
Malas	0.63	0.61	0.57	0.52

S.A.H.O.P.

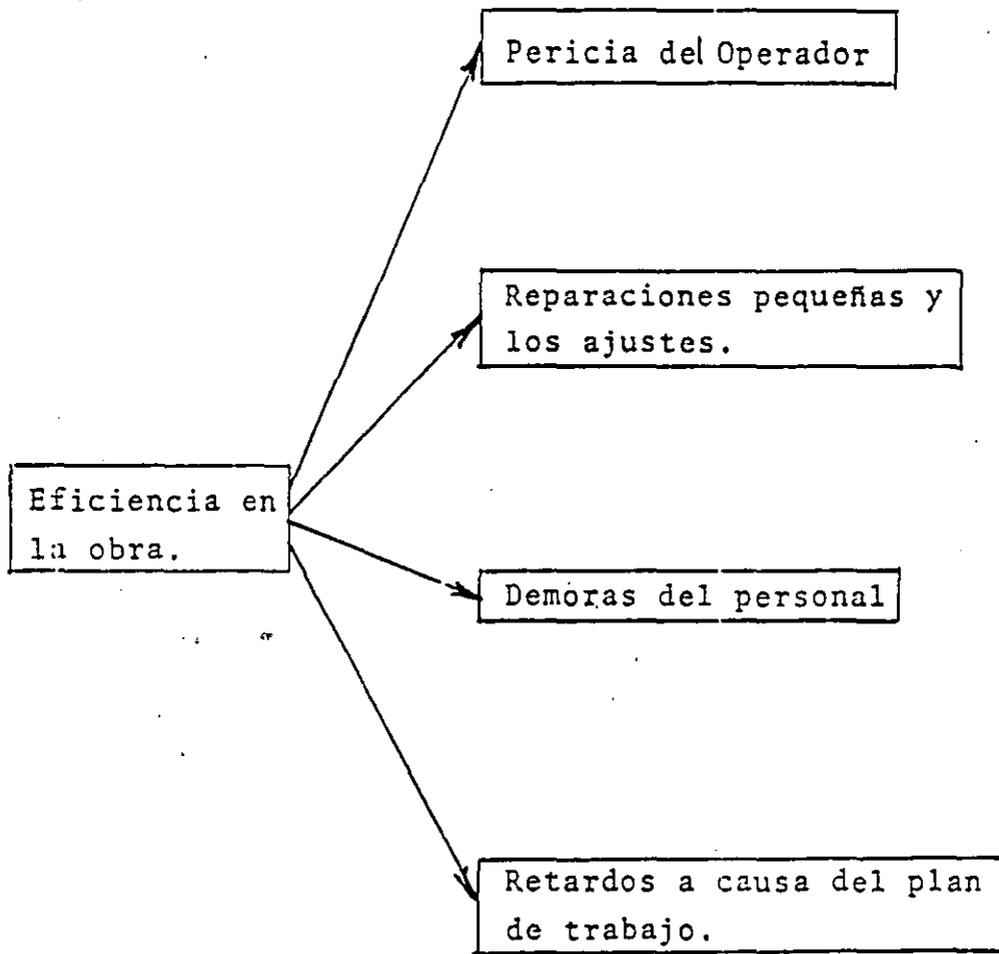
Lámina 4

Relación de los coeficientes de eficiencia y de utilización
en las máquinas.

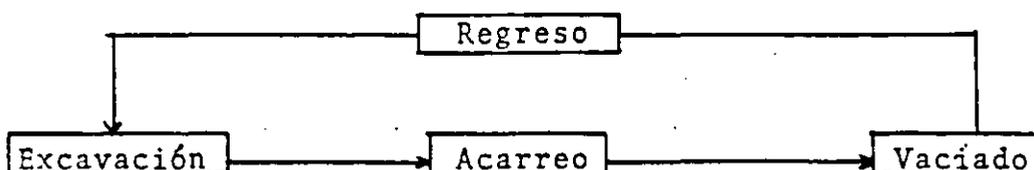
	Organización de la Obra							
	Excelente		Buena		Mediana		Mala	
Coefficiente de Utilización de la máquina	0.83	0.66	0.83	0.66	0.83	0.66	0.83	0.66
Condiciones de trabajo								
Excelentes	0.70	0.56	0.67	0.53	0.63	0.50	0.58	0.46
Buenas	0.65	0.52	0.62	0.50	0.59	0.47	0.54	0.43
Medianas	0.60	0.48	0.57	0.46	0.54	0.43	0.50	0.40
Malas	0.52	0.42	0.51	0.40	0.47	0.38	0.43	0.30

S.A.H.O.P.

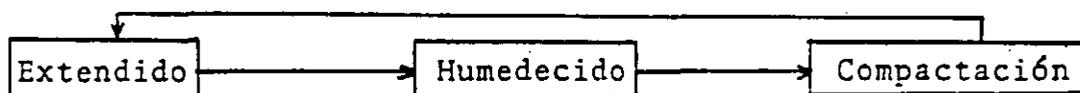
Lámina 5



Ciclo de trabajo se refiere a los pasos repetitivos - que el equipo seleccionado hace una y otra vez para ejecutar el trabajo.



Ciclo Primero de un trabajo de Terracerías



Ciclo secundario

$$TT = TC + TVC + TV + TVV$$

TT = Tiempo total del ciclo.

TC = Tiempo de carga (excavar y cargar).

TVC= " variable con carga (ida).

TV = Tiempo de vaciado.

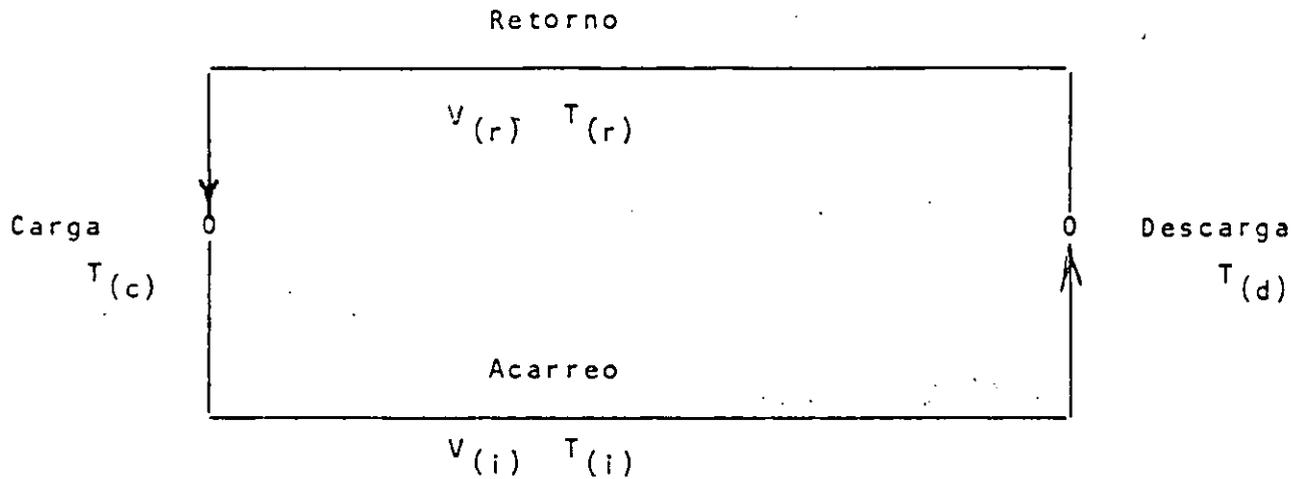
TVV= " " traslado del equipo vacío. (retorno)

Para estimar la producción de una máquina hay que determinar el número de viajes completos (ciclos) -- que hace una máquina por hora.

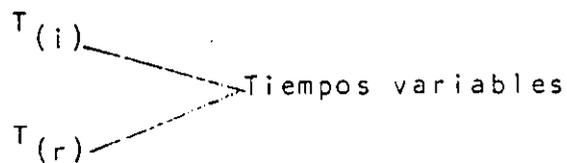
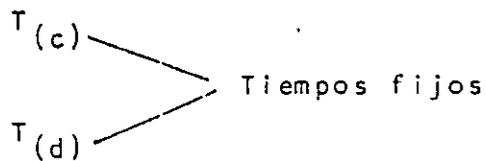
y

¿ Que tiempo invierte la máquina en cada ciclo ?
(minutos)

Ciclo de trabajo de un camión de volteo



$$\text{Tiempo del ciclo} = T(c) + T(i) + T(d) + T(r)$$



∴ Tiempo del ciclo = Tiempos fijos + Tiempos variables
(en minutos)

Tiempo del ciclo para tractores de orugas de empuje o de tiro, trabajando con motoescrepas de tractor neumático.

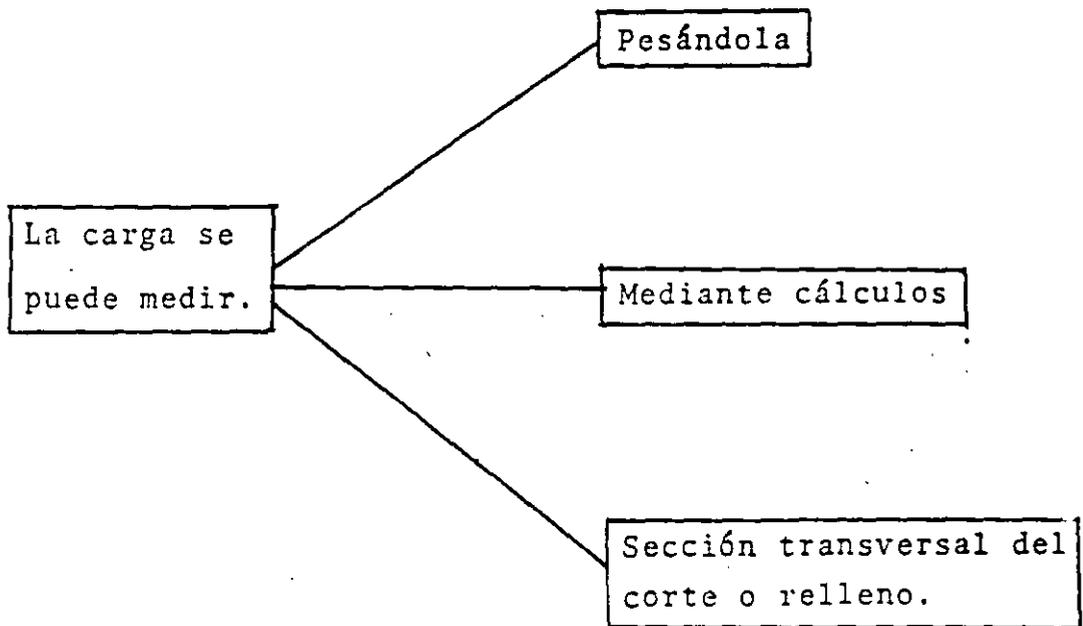
Operación	Tiempo, en minutos	
	Intervalo	Promedio
Ayuda a la carga de la motoescrepa	0.9 - 1.0	1.1
Maniobras: retroceso, giro y contacto con la motoescrepa	0.5 - 1.2	0.8
Espera por la motoescrepa siguiente	0.0 - 1.0	0.4
Retrasos menores	0.0 - 0.8	0.2
T o t a l del Ciclo	1.5 - 3.2	2.5

David A. Day

Lámina 7

VIII. 10

$$\text{Producción} = \text{Carga/ciclo} \times \text{Ciclos/hora}$$



Ejemplo:- Calcular el rendimiento de una mototrailla de rueda.

Tiempo medio de espera	=	0.28 min.
" " en demoras	=	0.25 "
" " de carga	=	0.65 "
" " " acarreo	=	4.26
" " " descarga	=	0.50
" " " retorno	=	2.09

Ciclo total (termino medio)	=	8.03
Menos esperas y demoras	=	0.53
Ciclo medio (100% de eficiencia)	=	7.50 min.

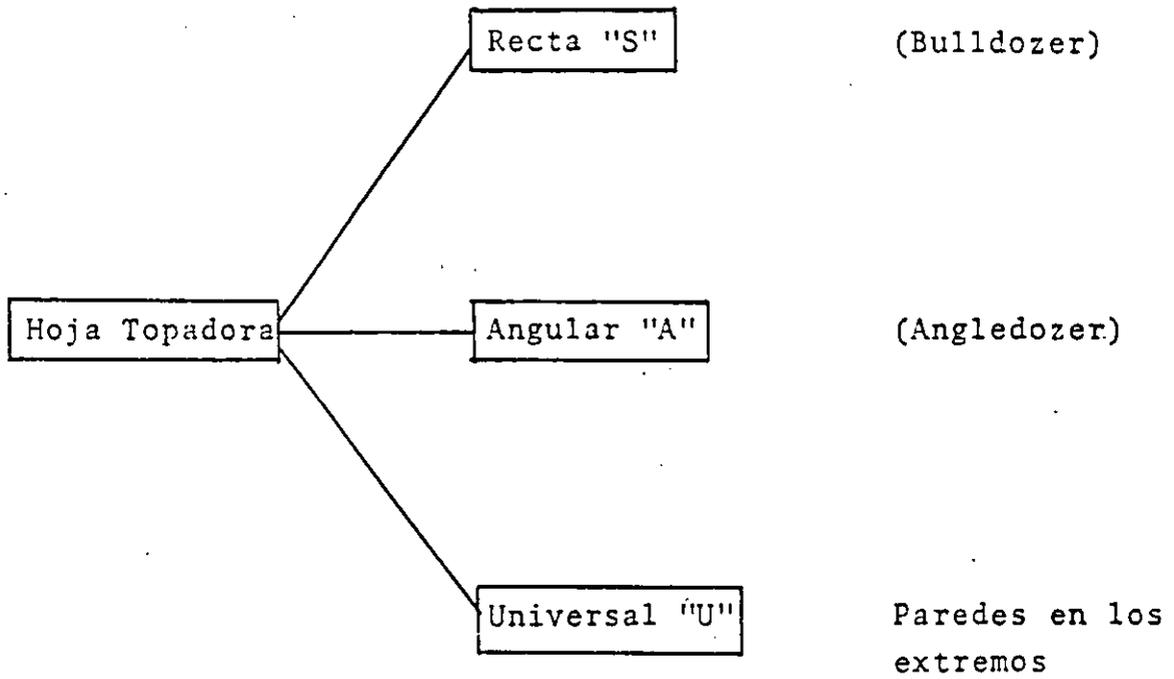
Peso de la unidad cargada - Peso de la unidad vacia
41 120 Kg. - 22070 = 19050 Kg. (peso de la carga).

de tablas: Densidad del material 1854 Kg./m³ en banco

Rendimiento por ciclo:- $\frac{19050 \text{ Kg.}}{1854 \text{ Kg./m}^3 \text{ b.}} = 10.3 \text{ m}^3 \text{ banco.}$

Ciclos/hora = $\frac{60 \text{ min.}}{\text{Tiempo del ciclo}} = \frac{60}{7.5 \text{ min.}} = 8$

Producción = 10.3 x 8 = 82 m³ en banco/hora.



CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LAS HOJAS EMPUJADORAS

MODELO	CAPACIDAD	PESO KG.		DIMENSIONES PRINCIPALES.	
		I.	S.II.	LARGO (M)	ALTURA (M)
7A	2.55	3,106	2,490	4.27	0.96
7S	4.2	3,476	2,952	3.66	1.27
7U	5.89	3,818	3,316	3.81	1.27
8A	4.1	5,257	4,539	4.62	1.12
8S	7.63	5,479	4,760	4.04	1.52
8U	9.24	6,037	5,318	4.24	1.52
9A	5.87	6,883	5,440	4.88	1.30
9S	11	7,852	6,317	4.39	1.80
9U	14.5	8,610	7,156	4.80	1.80
9C	-	5,745	4,337	3.07	1.24
10S	21.6	12,669	11,521	5.49	2.24
10U	28.7	13,073	11,925	6.05	2.24
10C	-	8,961	6,997	3.81	1.53

VIII. 14

1. Instalada pero sin controles hidráulicos. S.II. Sólo la Hoja.

TIPO	POTENCIA	PESO	VELOCIDAD		Dimensiones	Hoja	
			adelante	reverso			
D-7G	200 HP	20,090 kg.	3.7 km/h	4.5 km/h	4.27	0.96	CATERPILLAR
D-8K	300 HP	31,700	4.0	5.0	4.63 m.	1.12	
D-9H	410 HP	43,092	4.0	4.9	5.00	1.30	TRACTOR
D-80-12	180 HP	17,600	2.4	3.1	3.62	1.28	TRACTORES
D-150 A	300	33,200	2.5	3.6	4.13	1.59	KOMATSU
D-355-3	410	36,600	3.3	3.2	4.31	1.84	
D-9H	Penetración	1.35-1.90 m.	---	Un solo diente		6,180 kg.	RIPPER
D-8K		1.13-1.78	separación	" " "		4,717	
D-7G		0.74	0.99 m.	Paralelogramo		2,590 kg	UN DIEN TE
955L	130 HP 1.53 m3.	15,330 kg.	Tiempo carga: 0.088 min. Tiempo oprer. 0.220 Descarga : 0.055 Viaje ida y vuelta : 0.100 gráfica.		0.463 mín. ciclo.	2,948	TRES "
							TRAXCAVO CAT.

3.2 CALCULO DEL RENDIMIENTO

	RENDIMIENTO TEORICO
CARGADORES	$R = \frac{C \times K \times 60}{Ca \times T}$
COMPACTADORES	$R = \frac{E \times A \times V \times e \times 1000}{N}$
DRAGA PALAS RETROEXCAVADORAS	$R = \frac{C \times K \times E \times 3600}{T}$
ESCARIFICADOR	$R = \frac{E \times V \times a \times p}{N}$
MOTOCONFORMADORA	$R = \frac{N \times D}{V \times E}$
MTOESCREPA	$R = \frac{E \times C \times 60}{Ca \times T}$
TRACTOR Y/O BULDOZER ANGLEDOZER	$R = \frac{E \times C \times Cc \times 60}{Ca \times T}$ $C = \frac{L \times h^2}{2 \tan \phi}$
REVOLVEDORAS	$R = \frac{C \times E \times 60 \times 0.765}{T}$

LAS DEFINICIONES DE LAS VARIABLES SON LAS SIGUIENTES:

- R: Rendimiento teórico de la máquina, al ejecutar un trabajo -
unidad de tiempo.
- C: Capacidad nominal, ya sea, del cucharón, en el caso de car-
gadores, dragas, retroexcavadoras; de cajas, al tratar con
motoescrepas y camiones de volteo; o bien de la hoja de bul-
dozer y angledozer y de motoconformadora.
- K: Factor de llenado; también denominado factor de eficiencia
del cucharón.
- Ca: Es el coeficiente de abundamiento, de cada material.
- T: Es el tiempo total empleado en realizar un ciclo de trabajo,
está formado por la suma de tiempos fijos más tiempos varia-
bles; expresado ya sea en segundos, minutos o fracciones de
hora, de acuerdo a las unidades del numerador 3,600 seg. ---
60 min. ó 1 hr.
- E: Factor de eficiencia horaria durante el trabajo, 0.75 prome-
dio (45 minutos/hora).
- V: Velocidad de la máquina al realizar el trabajo, en porcentajes
se calcularía, utilizando los datos del fabricante, afecta-
dos por coeficientes de eficiencia (km/hr. m/hora).

c: Esposor de la capa por compactar.

N: Número de pasadas, necesarias en cada capa, ya sea para una compactación o para aflojar material, se determinan algunas veces por especificación y otras por experiencia.

Fc: Factor de contracción del material, referido al material suelto o al material en banco.

a: Ancho del surco labrado por el diente del arado, cuando el equipo de escarificación, esté formado por un arado con varios dientes, el valor de "a" será el ancho efectivo de la faja rotura por el arado, o bien, la medida del ancho, proporcionada por el fabricante multiplicado por 0.60

D: Distancia recorrida en cada pasada se expresa en km. Debe determinarse de acuerdo a la naturaleza del trabajo.

Cc: Coeficiente de carga, correspondiente al material arrastrado, y varia según la clasificación del material.

0.80 Para grava, arena y roca tronada

0.90 a 1.00 para arcilla y materiales suaves

P: Profundidad efectiva de penetración de los dientes del arado.

h: Altura de la hoja empujadora del tractor.

C: Angulo del talud natural del material arrastrado por la máquina.

Cálculo de la Producción de las Hojas
Empujadoras

Hay 3 métodos.

a).- Mediante gráficas

b).- Fórmulas Empíricas

c).- Por medición directa en la obra

a) - Mediante gráficas.

Las gráficas nos darán valores de la producción máxima no corregida.

Este valor deberá multiplicarse por factores de corrección que toman en cuenta:

- Eficiencia del operador
- Tipo de material
- Método de ataque
- Visibilidad
- Eficiencia del trabajo
- Tipo de transmisión de la máquina
- Tipo de hoja
- Pendiente del terreno

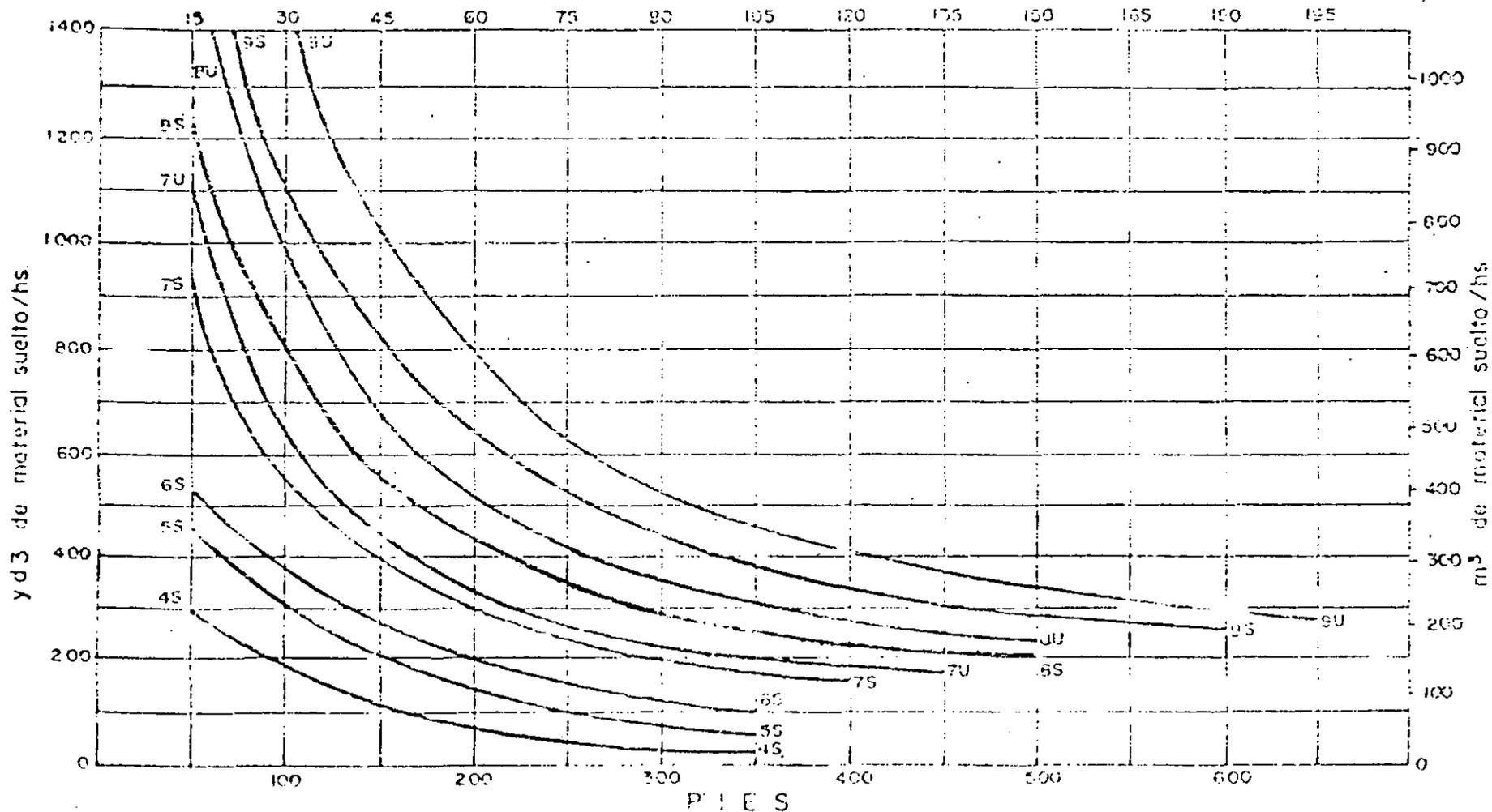
PRODUCCION ESTIMADA DE UN TRACTOR DE CARRILES CON
HOJAS TOPADORAS UNIVERSALES Y RECTAS

VIII.21

PROFESION

METROS

ERMS



DISTANCIA MEDIA DE RECORRIDO CON HOJA TOPADORA

m³ de material suelto /hs

PRODUCCION CON HOJAS TOPADORAS CALCULO SEGUN FORMULAS Y REGLAS

Se puede obtener la producción estimada de una hoja topadora utilizando las gráficas de producción de las siguientes páginas, como también los factores de corrección aplicables. Debe usarse la siguiente fórmula:

$$\frac{\text{Producción (m}^3 \text{ sueltos/hr)}}{\text{(yd}^3 \text{ sueltas/hr)}} = \frac{\text{Producción máxima}}{\text{Factores de corrección}}$$

Las curvas de producción de las hojas topadoras dan los rendimientos máximos no corregidos para hojas rectas y universales, y se basan en las siguientes condiciones:

1. 100% de eficiencia (60 minutos/hora).
2. Tiempos fijos de 0,05 minutos en máquinas con Servo-Transmisión.
3. La máquina excava por 50 pies (15 m), y luego empuja la carga para arrojarla desde el borde de una escarpa.
4. Densidad de la tierra: 2300 lb/yd³ mater. suelto (1370 kg/m³ mater. suelto), y 3000 lb/yd³ en banco (1790 kg/m³ en banco). El material se expande 30% (factor volumét. de conversión es 0,769).
5. Coeficiente de tracción:
 - a. Máquinas de carriles - 0,5 ó más.
 - b. Máquinas de ruedas - 0,4 ó más*
6. Se utilizan hojas de control hidráulico.

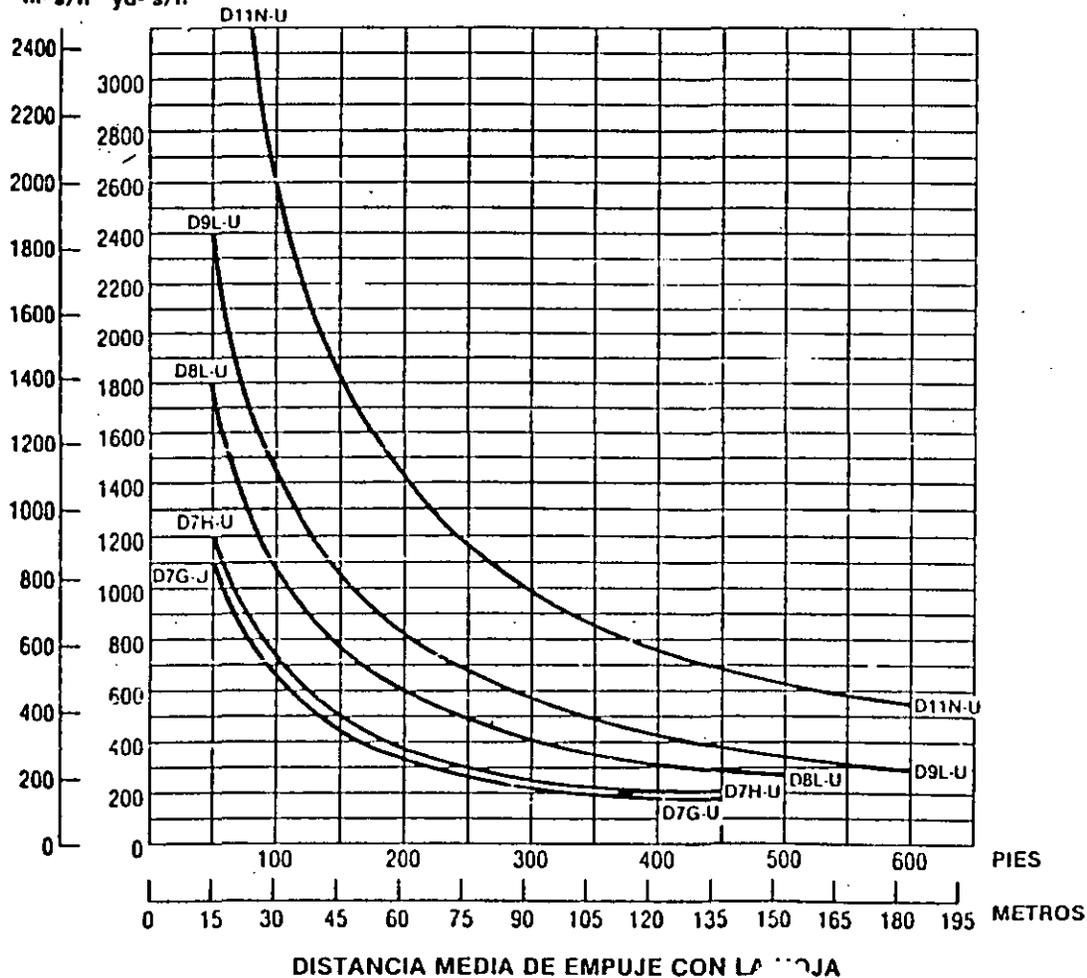
Para estimar la producción en yd³ en banco, debe aplicarse el adecuado factor volumétrico de conversión (sección de Tablas) a la producción corregida, la cual se obtiene como se ha indicado.

$$\frac{\text{Producción (m}^3 \text{ en banco/hr)}}{\text{(yd}^3 \text{ en banco/hr)}} = \frac{\text{(m}^3 \text{ sueltos/hr)}}{\text{(yd}^3 \text{ sueltas/hr)}} \times \text{Factor volumét.}$$

*Se supone que el coeficiente de tracción es por lo menos 0,4. Aunque las malas condiciones del suelo afectan tanto a los vehículos de carriles como a los de ruedas - lo cual obliga a empujar cargas más pequeñas a fin de compensar la pérdida de tracción en el suelo - los efectos en los de ruedas son mucho mayores, y su producción disminuye en mayor grado. Aunque no hay reglas exactas para anticipar dicha reducción, una regla empírica indica que los topadores de ruedas tienen 4% de pérdida por cada centésimo de disminución, cuando el coeficiente de tracción baja de 0,40. Por ejemplo, si éste es de 0,30, la diferencia es 10 centésimos (0,10), y la producción sería del 60% (10 X 4% = 40% de disminución).

PRODUCCION ESTIMADA • Con hoja universal y hoja recta • D7G al D11N

m³ s/h yd³ s/h



V III. 23

b) - Mediante fórmulas

$$\text{Rendimiento en material "A" (m}^3\text{/h) = 28.49 } \frac{h^2 L}{\text{Tiempo ciclo}}$$

$$\text{" " " "B" (m}^3\text{/h) = 26.30 } \frac{h^2 L}{\text{Tiempo ciclo}}$$

$$\text{" " " "C" (m}^3\text{/h) = 22.79 } \frac{h^2 L}{\text{Tiempo ciclo}}$$

h = altura de la hoja en metros

L = longitud " " " "

T = Tiempo del ciclo en minutos.

CATALOGO DE CLAVES DE TRABAJOS QUE DESARROLLA EL EQUIPO

A.R.R.

CLAVE	DESCRIPCION	UNIDAD	PRECIO
001	TRACTOR DESMONTANDO	M2	4,000.00 / HR.
002	TRACTOR D8 EXCAVANDO CORTE ACARREO 20 M	M3 BANCO	142.00
003	TRACTOR D8 EXCAVANDO CORTE ACARREO 40 M	M3 BANCO	101.00
004	TRACTOR D8 EXCAVANDO CORTE ACARREO 60 M	M3 BANCO	77.00
005	TRACTOR D9 EXCAVANDO CORTE ACARREO 20 M	M3 BANCO	222.00
006	TRACTOR D9 EXCAVANDO CORTE ACARREO 40 M	M3 BANCO	161.00
007	TRACTOR D9 EXCAVANDO CORTE ACARREO 60 M	M3 BANCO	125.00
008	TRACTOR D8 AFLOJANDO MATERIAL S	M3 BANCO	350.00
009	TRACTOR D9 AFLOJANDO MATERIAL S	M3 BANCO	525.00
010	TRACTOR D3 EMPUJANDO MOTOESCREPAS	M3 BANCO	160.00
011	TRACTOR D9 EMPUJANDO MOTOESCREPAS	M3 BANCO	240.00
012	CARGADOR ORUGAS 13/4Y3 CARGANDO CAMIONES	M3 SUELTO	85.00
013	CARGADOR ORUGAS 21/2Y3 CARGANDO CAMIONES	M3 SUELTO	110.00
014	CARGADOR ORUGAS 13/4Y3 CARGANDO ROCA CAM.	M3 SUELTO	67.00
015	CARGADOR ORUGAS 21/2Y3 CARGANDO ROCA CAM.	M3 SUELTO	100.00
016	CARGADOR NEUMAT. 2Y3 CARGANDO CAMIONES	M3 SUELTO	90.00
017	CARGADOR NEUMAT. 31/2Y3 CARGANDO CAMIONES	M3 SUELTO	130.00
018	CARGADOR NEUMAT. 2Y3 CARGANDO ROCA CAM.	M3 SUELTO	76.00
019	CARGADOR NEUMAT. 31/2Y3 CARGANDO ROCA CAM.	M3 SUELTO	100.00
020	MOTOESCREPA 14Y3 ACARREANDO A 20 M	M3 BANCO	176.00
021	MOTOESCREPA 14Y3 ACARREANDO A 40 M	M3 BANCO	167.00
022	MOTOESCREPA 14Y3 ACARREANDO A 60 M	M3 BANCO	150.00
023	MOTOESCREPA 14Y3 ACARREANDO A 80 M	M3 BANCO	152.00
024	MOTOESCREPA 14Y3 ACARREANDO A 100 M	M3 BANCO	140.00
025	MOTOESCREPA 14Y3 ACARREANDO A 200 M	M3 BANCO	120.00
026	MOTOESCREPA 14Y3 ACARREANDO A 300 M	M3 BANCO	102.00
027	MOTOESCREPA 14Y3 ACARREANDO A 400 M	M3 BANCO	89.00
028	MOTOESCREPA 14Y3 ACARREANDO A 500 M	M3 BANCO	79.00
029	MOTOESCREPA 14Y3 ACARREANDO A 1500 M	M3 BANCO	50.00
030	MOTOESCREPA 14Y3 ACARREANDO A 2000 M	M3 BANCO	29.00
031	AFINADORA RHACO 624	M3 BANCO	110.00
032	AFINADORA RHACO DE 30 SECCION COMPLETA	M3 BANCO	85.00
033	COLOCADORA CONC. RHACO CS-24 100 ML. ESPESOR	M3 COLOC.	30.00
034	COLOCADORA CONC. RHACO CS-24 150 ML. ESPESOR	M3 COLOC.	30.00
035	COLOCADORA CONC. RHACO CS-24 200 ML. ESPESOR	M3 COLOC.	30.00
036	COLOCADORA CONC. S-30-F SECC. COMP. 80 MESP.	M3 COLOC.	30.00

115	COLOC. CONC. RAHCO HS-43 C. ESP. 20 Y 25 CMS	M3 COLOC./HR	60.00
116	PLAN. CONC. H 10 ROSS UNIMIX 100 3.5 YD 3	M3 PROD./HR	40.00
117	COMPAC. VIBR. ALTU PROP. CA25 COMP. TERR. 90 %	M3 COMP./HR	125.00
118	DRAGA LS 98 YD 3 HINC	CM HINC./HR	4.50
119	DRAGA LS 98 YD 3 COLANDO CILINDROS	M3 COLOC./HR	5.00
120	RETROEXCAVADORA DE 1 Y 3 EXC. CEPAS	M3 COMP./HR.	50.00
121	GRUA HT-300 TON. COLOCANDO CONCRETO	M3 /HR	10.00
122	COLOC. CONC. RAHCO HS-48 EN ESP. 21 CM	M3 COLOC./HR	60.00
123	COMPAC. VIBR. AUTOP. CA-25A EN TERR. 35 %	M3 COMP./HR	100.00
124	AFINADORA HT-448 C. AFINADORA CALLES	M2 /HR	300.00
125	RETROEXCAVADORA DE 1 YD3 EXC. CUBETA	M3 /HR	40.00
126	RETROEXCAVADORA DE 1 YD3 AFIN. CUBETA	M3 /HR	15.00
127	COLOCADORA DE CONCRETO RAHCO TS-1 : 6 CM	M /HR	20.00
128	RETROEXCAVADORA LS-5000 DE 1.5 YD3 EXC. CUBETA	M3 /HR	60.00
129	DRAGA LS-108 DE 1 1/2 YD3 EXC. CUBETA	M3	60.00
130	DRAGA LS-98 DE 1.0 YD3 EXC. CUBETA	M3	40.00
131	RETROEXCAVADORA 3/4 1.0 YD3 EXCAVACION ESTRUCTURAS	M3	25.00
132	EXCAVACION Y RELLENO DE ESTRUCTURAS CON DB H	M3	20.00
133	DRAGA SUCCION 18 x 18 DRAGANDO ARENA	M3 DRAGADO	
134	CAMION EUCLID. B-35 CARGANDO ROCA HASTA 5 KHS.	TON /HR.	
135	GRUA LS 108 CARGANDO ROCA CORAZA A CHALAN	TON /HR	
	GRUA LS 108 COLOCANDO CORDAZA EN EXCAVACION	TON /HR	



076	ESPARCIDOR SELLO CON CAMION TENDIENDO	M3 SUI.LTO.	10 00
077	PLANCHA TANDEM COMPACTANDO SELLO	M3 SUI.LTO.	10 00
078	PETROLIZADORA EN RIEGO DE ASFALTO	LITRO	2,000 00
079	BARRIDORA EN BARRIDO PREVIO RIEGOS	M2	6,000 00
080	TRACTOR ESCARIFICANDO CARPETA ASFALT.	M3 COMP.	30 00
081	SYSTEM REJILLA Y D8 DISGREGANDO CARPETA	M3 COMP.	30 00
082	MOTOCONFORMADORA ESCARIFICANDO PAVIMENTO	M3 COMP.	60 00
083	PLANTA CONC. HIDR. ROSS	M3 COL OC.	30 00
084	PLANTA CONC. HIDR. ELBA EMM15	M3 COL OC.	30 00
085	PLANTA CONC. HIDR. ELBA EMM25	M3 COL OC.	30 00
086	CAMION REVOLVEDORA 5M3 ACARREO 1 Km.	M3 COL OC.	7 00
087	CAMION REVOLVEDORA 5M3 ACARREO 2 KM	M3 COL OC.	8 50
088	CAMION REVOLVEDORA 5M3 ACARREO 3 KM	M3 COL OC.	8 00
089	CAMION REVOLVEDORA 5M3 ACARREO 4 KM	M3 COL OC.	8 50
090	CAMION REVOLVEDORA 5M3 ACARREO 5 KM	M3 COL OC.	8 00
091	REVOLVEDORA 11-S FABRICACION CONC.	M3 COL OC.	8 00
092	REVOLVEDORA 16-S FABRICACION CONC.	M3 COL OC.	8 00
093	MOTOCONFORMADORA FORMACION TERRAPLEN	M3 COMP.	100 00
094	MOTOCONFORMADORA ESCARIFICANDO TERRAC.	M3 COMP.	100 00
095	HYSTER BBU.Y TRAC.D3 BRASAD. MAT. NO COMP.	M3 TERRAP.	100 00
096	TRACTOR D3 FORMANDO TERRAPLEN MAT. COMP.	M3 COMP.	100 00
097	TRACTOR D3 FORMANDO TERRAPLEN MAT. NO COMP.	M3 TERRAP.	100 00
098	TRACTOR D3 EN EXCAV. MAT. A	M3 COMP.	100 00
099	TRACTOR D3 DESPALMANDO	M3 BANCO	100 00
100	CARGADOR 85-III-A YD3 CARGAND. CAMIONES	M3 COMP.	100 00
101	CARGADOR 72-81M 9 YD3 CARG. Y ALIM. TRIT.	M3 SUI.LTO	80 00
102	MOTOESCRAPA 18 YD3 EXC. CUBETA MAT. A 300 Mts.	M3 BANCO	100 00
103	MOTOESC. 18 YD 3 EXC. EN TIRAD. MAT. A 300	M3 BANCO	100 00
104	MOTOESC. 18 YD 3 EXC. EN AGUAJES MAT. A 300 M.	M3 BANCO	100 00
105	MOTOESC. 18YD 3 EXC. Y ACARR. DESP. 300 MTS.	M3 COMP.	100 00
106	MOTOCUNFORM. HF 1700 EXTIENDIENDO MATERIALES	M3 COMP.	200 00
107	CONJ. TRIT. CCR-10,-3-S Y 48-FC./CONC. 3/4	M3 SUI.LTO	70 00
108	CONJ. TRIT. CRR-10, 48-S Y 43-FC./CONC. 11/2	M3 SUI.LTO	70 00
109	CONJ. TRIT. CRR-10, 48-S Y 48-FC./BASE 11/2	M3 SUI.LTO	100 00
110	CARGADOR 45 AMS 11/2 CARG. A PLAN. CONC.	M3 COMP.	30 00
111	DRAGA LS 108 11/2 YD3 HINC. CIL MAT A Y BC	M3 COL OC.	5 00
112	DRAGA LS 108 11/2 YD3 EN COLADO DE CIL.	M3 COL OC.	5 00
113	AFINADORA PT-448 C. AFINANDO CUBETA	M2	300 00

037	COLOCADORA CONC. S-30-F SECC. COMP. 100 MESP.	M3 COLOC.	30.00
038	DRAGA 11/2Y3 EXCAVANDO MAT. A Y B AFLOJ.	M3 BANCO	100.00
039	PALA 11/2Y3 EXCAVANDO ROCA TRONADA	M3 BANCO	70.00
040	DRAGA 21/2Y3 EXCAVANDO MAT. A Y B AFLOJ.	M3 BANCO	140.40
041	PALA 21/2Y3 EXCAVANDO ROCA TRONADA	M3 BANCO	110.10
042	RODILLO CF-44 TRACT. D4 COMPACT. 90 %	M3 COMP.	120.00
043	RODILLO CF-44 Y TRACT. D4 COMPACT. 95 %	M3 COMP.	77.00
044	RODILLO CF-44 Y TRACT. D4 COMPACT. 100 %	M3 COMP.	60.00
045	COMPACTADOR CL-23 MANUAL COMPACT. 90 %	M3 COMP.	12.00
046	COMPACTADOR CL-23 MANUAL COMPACT. 95 %	M3 COMP.	10.00
047	RODILLO CF-44 Y TRACT. AGR. COMP. 90 %	M3 COMP.	115.00
048	RODILLO CF-44 Y TRACT. AGR. COMP. 95 %	M3 COMP.	85.00
049	RODILLO CF-44 Y TRACT. AGR. COMP. 100 %	M3 COMP.	55.00
050	DUO PACTOR COMPACTANDO 90 %	M3 COMP.	60.00
051	DUO PACTOR COMPACTANDO 95 %	M3 COMP.	30.00
052	DUO PACTOR COMPACTANDO 100 %	M3 COMP.	30.00
053	MOTOCONFORMADORA MEZC. Y TEND. SUB-BASE	M3 COMP.	35.00
054	MOTOCONFORMADORA MEZC. Y TEND. BASE	M3 COMP.	30.00
055	MOTOCONFORMADORA MEZC. Y TEND MEZC. ASF.	M3 COMP.	10.00
056	PLANTA DE ASFALTO TM-20 ELABORANDO MEZC.	M3 COMP.	20.00
057	FINISHER SA-40 TENDIENDO MEZCLA ASFALT.	M3 COMP.	20.00
058	NEUMATICO AUTOPROP. Y PLANCHA COMP. MEZC.	M3 COMP.	40.00
059	PLANT. TRIT. 25 X 40 Y 2 SECC. 36 TRITOT 11/2	M3 SUELTO	78.00
060	PLANT. TRIT. 25 X 40 Y 2 SEC. 36 TRITOT 3/4	M3 SUELTO	56.00
061	PLANT. TRIT. 25 X 40 Y 2 SEC. 36 PARCIAL 11/2	M3 SUELTO	102.00
062	PLANT. TRIT. 25 X 40 Y 2 SEC. 36 PARCIAL 3/4	M3 SUELTO	90.00
063	PLANT. TRIT. CRR 8 Y SEC. 36 TRIT. TOT. 11/2	M3 SUELTO	53.00
064	PLANT. TRIT. CRR 8 Y SEC. 36 TRIT. TOT. 3/4	M3 SUELTO	26.00
065	PLANT. TRIT. CRR 8 Y SEC. 36 TRIT. TOT. 3-5	M3 SUELTO	8.00
066	PLANT. TRIT. CRR 8 Y SEC. 36 PARCIAL 11/2	M3 SUELTO	69.00
067	PLANT. TRIT. CRR 8 Y SEC. 36 PARCIAL 3/4	M3 SUELTO	34.00
068	PLANT. TRIT. CRR 10 SEC. 48 TERC. 48 FC 11/2	M3 SUELTO	147.00
069	PLANT. TRIT. CRR 10 SEC. 48 TERC. 48 FC 3/4	M3 SUELTO	120.00
070	PLANT. TRIT. 10 x 36 11/2 PUL	M3 SUELTO	27.00
071	PLANT. CRIBADO 5x12 PIES 3 PISOS	M3 SUELTO	68.00
072	PLANT. TRIT. A-500 TRIT.MAT 3-E	M3 SUELTO	5.00
073	FORMAS Y ACUL COLOC.CONC. 10 cm. ESP. 6 x 5 M	M3 COLOC.	4.00
074	COMPRESOR 600 Y TRACK DRILL PERF. 3 PUL.	ML PERFOR.	9.00
075	PISTOLA S-58 PERF. 7/8 PUL.	ML PERFOR	3.40

Desgarradores o Escarificadores (Ripper)

Configuraciones {
Corta (económica)
Intermedia (servicio moderado)
Larga (servicio severo)

Tipos {
Simétricas - material de altos impactos
Penetración - Material muy denso

Corta:- Usar en condiciones de altos impactos. La rotura -- de puntas es un problema. Cuanto más corta la punta, es mayor su resistencia a la rotura.

Intermedia:- Da mejor resultado en condiciones de impactos mo derados, donde la abrasión no es excesiva.

Larga:- Usar en materiales sueltos y abrasivos donde las ro turas no son un problema. Es la punta que por lo ge neral ofrece la mayor cantidad de material de uso.

Métodos para cuantificar el rendimiento de un tractor en Trabajo de desgarramiento.

- 1.- El más exacto.- Registro de las secciones transversales Topográficas original y final del área desgarrada. + el tiempo usado en el desgarramiento.
- 2.- Conteo de las cargas de material movidas por las mot escrepas o las unidades de acarreo. Hay que transfor mar vol.suelto a vol. compacto (medido en banco).
- 3.- Calcular el tiempo de cada ciclo a partir de la distan cia por recorrer, una velocidad supuesta + los tiempos fijos.

Se obtiene # de pasadas/ hora.

Volumen/hora.

{ Ancho entre pasadas
Prof. media de penetración
Longitud del área cubierta

Estimación de la producción de un desgarrador.

Método 1.- Mediante secciones transversales del terreno ántes de iniciar el trabajo y después de retirar el material fragmentado obtendremos con bastante exactitud el volumen extraído.

Se registra el tiempo en minutos empleado en la operación.

$$\text{Rend.} = \frac{\text{Volumen extraído (m3)}}{\text{Tiempo empleado (min.)}}$$

Método 2.- Contar las cargas de la trailla durante un tiempo determinado T (minutos).

Pesando o calculando la cantidad media de carga por trailla multiplicandola -- por el número de cargas y dividiendola entre el tiempo T obtenemos el rendimiento en

$$\frac{\text{m}^3}{\text{minuto}}$$

Método 3.- Es el menos exacto (10 a 20% más alto que el método 1) pero es el más rápido.

Se obtienen directamente en el campo los datos siguientes:

Longitud de la pasada

Espacio entre las pasadas

Tiempo del ciclo

Penetración del desgarrador.

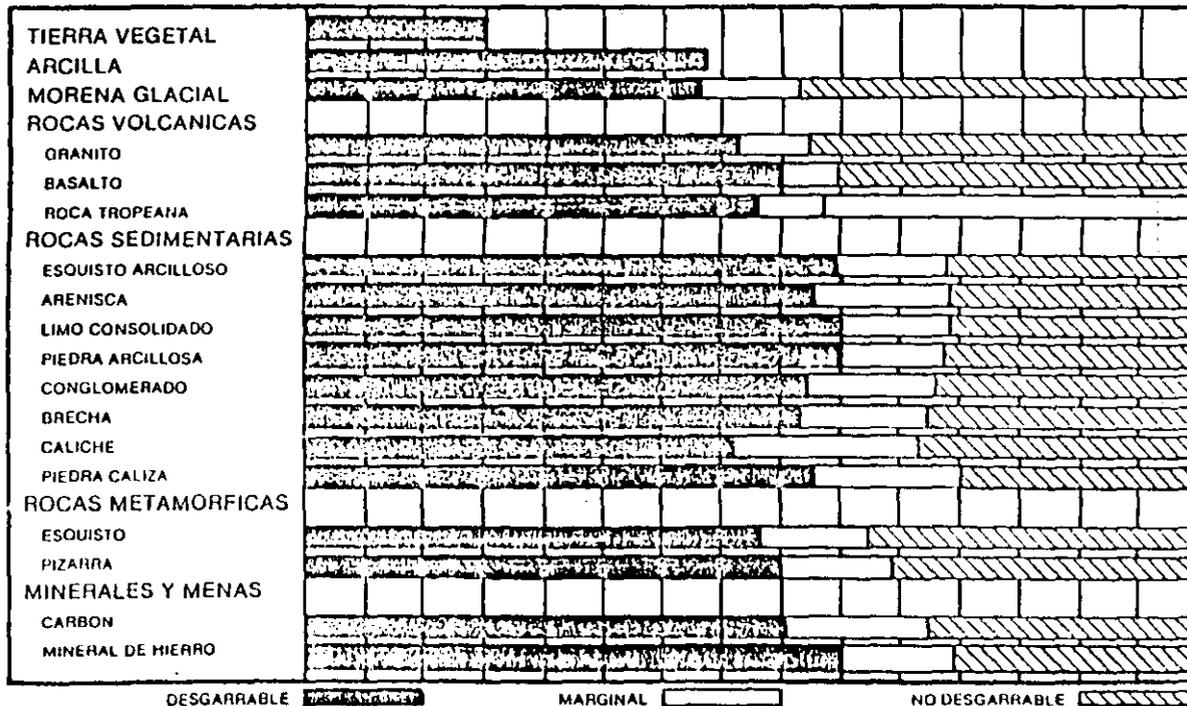
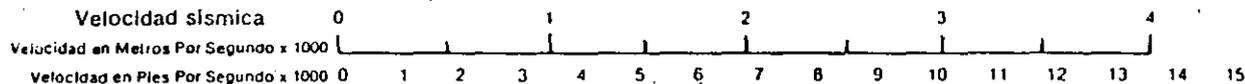
Con estos datos se obtiene el volumen desgarrado por pasada (o ciclo). Este dato multiplicado por el número de ciclos en una hora nos dará el rendimiento en

m³/hora

Rendimiento del Desgarrador D9L

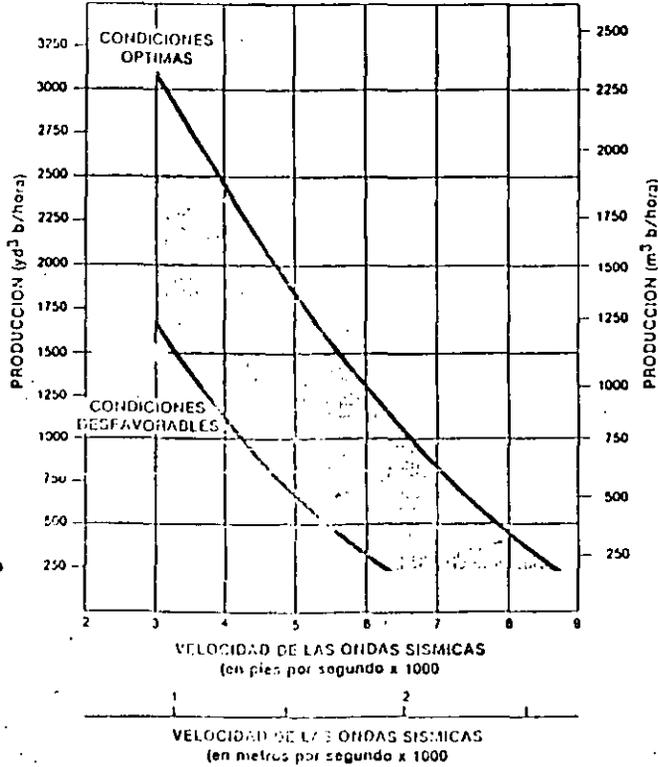
Desgarradores

- Desgarrador No. 9, Serie D, de uno o de varios vástagos
- Estimación según las velocidades de las ondas sísmicas

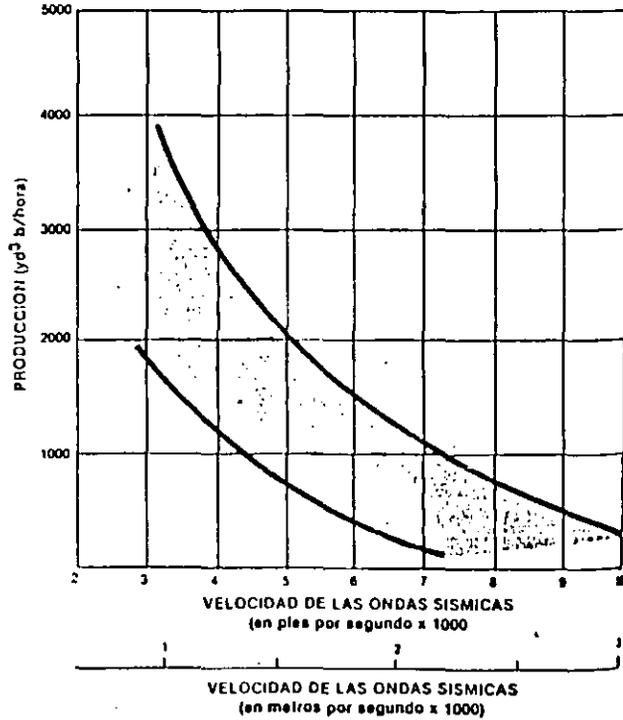


VIII. 36

D9L CON UN VASTAGO



D11N CON UN VASTAGO



TEMA IX
BASES Y NORMAS GENERALES PARA TRABAJOS DE MOVIMIENTO
DE TIERRAS

CAPITULO 5

PRESTAMOS

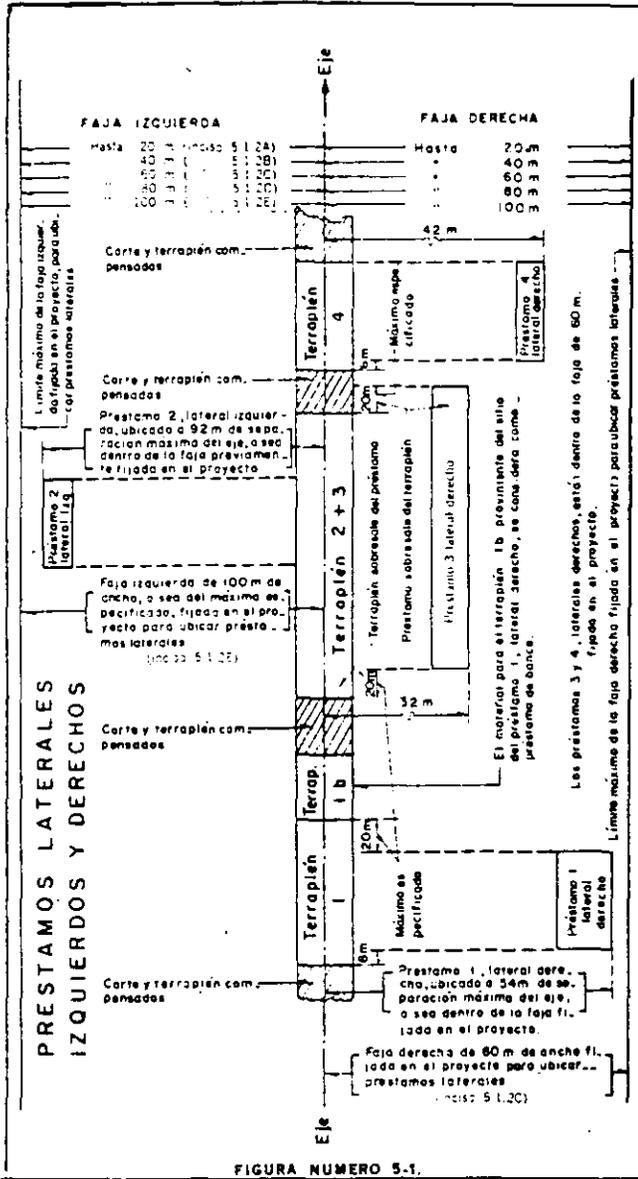
5-1 DESCRIPCION

5-1.1 Los préstamos son las excavaciones que se hacen en los lugares fijados en el proyecto y/o por el Representante, a fin de obtener los materiales para formar los terraplenes no compensados. Los préstamos pueden ser:

- A) Laterales
- B) De banco

5-1.2 Préstamos laterales son los que se efectúan dentro de fajas ubicadas fuera de los cerros, en uno o en ambos lados del eje de las terracerías, con anchos determinados en el proyecto, cuyos materiales se utilizan exclusivamente en la formación de los terraplenes situados a los lados de dichos préstamos, pudiendo sobresalir longitudinalmente los extremos de unos u otros, en cada caso, hasta veinte (20) metros. Los anchos de las fajas siempre se medirán a partir del eje de las terracerías. Para fines de medición de cada tramo, cada faja, con su ancho previamente fijado, no deberá dividirse en fajas de ancho menor. El acarreo es libre, por lo cual no se medirá. El ancho de cada faja, según se indica en la figura 5-1, podrá ser hasta de:

- A) Veinte (20) metros,
- B) Cuarenta (40) metros,



- C) Sesenta (60) metros,
- D) Ochenta (80) metros,
- E) Hasta cien (100) metros, como máximo.

5-1.3 Préstamos de banco son los ejecutados fuera de la faja de cien (100) metros de ancho, párrafo (E) del inciso 5-1.2 anterior, según se indica en la figura 5-2. También se considerarán como préstamos de banco las excavaciones ejecutadas dentro de las fajas fijadas para préstamos laterales, cuyos materiales se empleen en la construcción de terraplenes que no estén situados lateralmente a dichos préstamos, tomando en cuenta la tolerancia de veinte (20) metros fijada en el mismo inciso 5-1.2, según se indica en la misma figura 5-2.

5-2 REFERENCIAS

5-2.1 Existen algunos conceptos que intervienen o pueden intervenir en Préstamos y que son tratados en otros capítulos de estas Normas de Construcción, conceptos que deberán sujetarse, en lo que corresponda, a lo indicado en los apartados de materiales, ejecución, medición y base para el pago que se asientan en la siguiente tabla y de los cuales ya no se hará más referencia en el texto de este capítulo.

CONCEPTOS RELATIVOS A ESTE CAPITULO	TOMO	MATERIALES	EJECUCION	MEDICION	BASE PARA EL PAGO
Desmante previo a la excavación de préstamos.	II		2-4.	2-5.	2-6.
Clasificación de los despalmes.	II	3-3.			
Requisitos para materiales de préstamos.	VIII	2-3.			
Clasificación de los materiales de préstamos.	II	3-3.			

CONCEPTOS RELATIVOS A ESTE CAPITULO	TOMO	MATERIALES	EJECUCION	MEDICION	BASE PARA EL PAGO
Formación de terraplenes.	II		6-4.	6-5.	6-6
Formación de secciones de sobreebanco.	II		6-4.	6-5.	6-6.
Canales para drenar préstamos.	II	3-3.	8-4.	8-5.	8-6.
Acarreos de materiales producto de préstamos y de despalmes.	II		10-4.	10-5.	10-6.

5-4 EJECUCION

5-4.1 Cuando lo fije el proyecto o lo ordene el Representante, el sitio de los préstamos se despalmará desalojando la capa superficial del terreno natural que por sus características no sea adecuado para la construcción de los terraplenes. Los despalmes se ejecutarán exclusivamente en Material A; y en ellos, salvo cuando el pago se pacte por unidad de obra terminada, se observarán las siguientes indicaciones:

- A) Se iniciarán después de que el Representante haya efectuado el seccionamiento de la superficie probable de ataque.
- B) El Contratista será responsable y cuidará de que no se alteren ni modifiquen las referencias y bancos de nivel del seccionamiento durante la ejecución de los despalmes.
- C) Despalmados los bancos y antes de ser atacados se seccionarán nuevamente. Las referencias y los bancos de nivel se dejarán en lugares convenientes para que no puedan ser destruidos o alterados durante el proceso de ataque.

5-4.2 El material producto de los despalmes siem-

pre se desperdiciará y se deberá depositar en el lugar que indique el Representante.

5-4.3 El Representante debe autorizar previamente el equipo de construcción, cuando los préstamos se paguen por unidad de obra terminada no se requerirá dicha autorización.

5-4.4 La ubicación y las dimensiones de los préstamos serán fijadas en cada caso en el proyecto o por el Representante; o podrán ser propuestas por el Contratista, en cuyo caso han de ser aprobadas por el Representante.

5-4.5 Los préstamos, para su fácil medición, se excavarán en seco, en la forma más regular posible y hasta la profundidad fijada en el proyecto y/o definida por el Representante. El Contratista sólo podrá iniciar la excavación de los préstamos después de que éstos hayan sido trazados, seccionados y autorizados por el Representante. Cuando el pago se pacte por unidad de obra terminada, no será necesaria dicha autorización.

5-4.6 En los tramos de terracerías compensadas, marcados en el proyecto, sólo se harán préstamos de ajuste cuando el material aprovechable de los cortes haya sido totalmente utilizado. Cuando el caso lo requiera, el Representante podrá fijar préstamos de ajuste sin el requisito señalado en este inciso.

5-4.7 En los préstamos cercanos a las terracerías, se dejará, entre las líneas de ceros del terraplén y la orilla contigua de la excavación para el préstamo, una berma o banquetta cuyo ancho, que en general deba ser mayor que tres (3) metros, sea el fijado en el proyecto y/o señalado por el Representante.

5-4.8 Salvo que el Representante indique lo contrario, toda excavación para préstamo deberá ser debidamente drenada, según lo ordene el mismo Representante.

5-4.9 El Contratista será responsable de que, durante la excavación para obtener los materiales de

préstamo, no se destruyan o alteren las referencias y bancos de nivel del seccionamiento.

5-5 MEDICION

5-5.1 Los conceptos de obra a que se refiere este capítulo se medirán tomando como unidad el metro cúbico. En ningún caso se considerará abundamiento. El resultado se redondeará a la unidad más próxima, de acuerdo con lo indicado en el inciso 1-6.3.

5-5.2 Los volúmenes productq del despalme se medirán empleando el método del promedio de áreas extremas.

5-5.3 Los volúmenes de préstamo se medirán seccionando las excavaciones a cada veinte (20) metros, o menos si la configuración del terreno así lo requiere y el cálculo se hará por el método del promedio de áreas extremas. También se determinarán los volúmenes correspondientes a cada uno de los materiales A, B y C.

5-5.4 Cuando se excedan las tolerancias estipuladas para la construcción de los terraplenes formados con material proveniente de cortes, no se medirán los volúmenes de préstamos de ajuste que se necesiten para reponer el material faltante.

5-5.5 Por haberse sobrepasado las tolerancias estipuladas para la construcción de los terraplenes, no se medirán los volúmenes de préstamos que se hayan excavado en exceso.

5-5.6 Para los volúmenes de préstamos, por unidad de obra terminada, sin clasificar el material, o sea, comprendiendo uno, algunos o todos los tipos de material, independientemente de la proporción en que aparezcan, se considerará el volumen que indique el proyecto del terraplén, haciendo las modificaciones por cambios autorizados por el Representante. El resultado se redondeará a la unidad más próxima, de acuerdo con lo indicado en el inciso 1-6.3.

5-6 BASE PARA EL PAGO

5-6.1 El despalme de préstamos se pagará al pre-

cio fijado en el contrato para el metro cúbico de material A. Este precio unitario incluye lo que corresponda por: extracción, remoción y carga del material; acarreo libre; descarga y depósito del material en los sitios que fije el proyecto y/o que ordene el Representante; y los tiempos de los vehículos empleados en su transporte, durante las cargas y las descargas.

5-6.2 Los volúmenes de préstamos laterales, según sus ubicaciones dentro de las fajas fijadas en el proyecto, se pagarán a los precios establecidos en el contrato para cada faja y para el metro cúbico de los materiales A, B y C. Estos precios unitarios incluyen lo que corresponda por: extracción, remoción y carga del material; acarreo efectuado; descarga del material para la formación de terraplenes a cualquier altura; y los tiempos de los vehículos empleados en su transporte, durante las cargas y las descargas.

5-6.3 Los volúmenes de préstamos de banco se pagarán a los precios fijados en el contrato para el metro cúbico de los materiales A, B y C. Estos precios unitarios incluyen lo que corresponda por: extracción, remoción y carga del material; acarreo libre; descarga del material para la formación de terraplenes a cualquier altura; y los tiempos de los vehículos empleados en su transporte, durante las cargas y las descargas.

5-6.4 Los volúmenes de préstamos laterales, por unidad de obra terminada, sin clasificar el material, o sea, comprendiendo uno, algunos o todos los tipos de material, independientemente de la proporción en que aparezcan, según sus ubicaciones dentro de las fajas determinadas en el proyecto, se pagarán a los precios establecidos en el contrato para cada faja y para el metro cúbico. Estos precios unitarios incluyen lo que corresponda por: desmonte y despálme del sitio de préstamo; carga, acarreo fuera de la zona de trabajo o al sitio que, en su caso, fije el proyecto o el Representante; descarga y depósito del material de despálme; extracción, remoción y carga del material del préstamo; acarreo efectuado; descarga del material para la formación de terraplenes a cualquier al-

tura; y los tiempos de los vehículos empleados en su transporte, durante las cargas y las descargas.

5-6.5 Los volúmenes de préstamos de banco, por unidad de obra terminada, sin clasificar el material, o sea, comprendiendo uno, algunos o todos los tipos de material, independientemente de la proporción en que aparezcan, se pagarán a los precios fijados en el contrato para el metro cúbico. Estos precios unitarios incluyen lo que corresponda por: desmonte y despirme del sitio del préstamo, carga, acarreo fuera de la zona de trabajo o al sitio que, en su caso, fije el proyecto; descarga y depósito del material de despirme; extracción, remoción y carga del material del préstamo; acarreo libre, descarga del material para la formación de terraplenes a cualquier altura; y los tiempos de los vehículos empleados en su transporte, durante las cargas y las descargas.

CAPITULO 2

MATERIALES PARA TERRACERIAS

2-1 DESCRIPCION

2-1.1. Son los que provienen de la corteza terrestre, ya sea que se extraigan de cortes o préstamos y que se utilicen en la construcción de terraplanes o rellenos, los cuales se pueden emplear solos, mezclados o estabilizados con otros materiales naturales o elaborados, en tal forma que reúnan características adecuadas para su uso.

2-2 CLASIFICACION DE FRAGMENTOS DE ROCA Y SUELOS PARA FINES DE SU UTILIZACION EN TERRACERIAS

2-2.1 Los materiales para terracerias se clasifican de acuerdo con lo indicado en el cuadro anexo Núm. 2-2.

2-2.2 La carta de plasticidad que se utiliza como complemento en la clasificación de suelos es la que se indica en la figura Núm. 2-1.

2-3 CARACTERISTICAS Y RECOMENDACIONES PARA SU USO EN TERRACERIAS

2-3.1 Para obtener mejores resultados, al usar los materiales de terracerias se recomienda, de acuerdo con sus características, cumplir con lo indicado en el cuadro anexo Núm. 2-3.

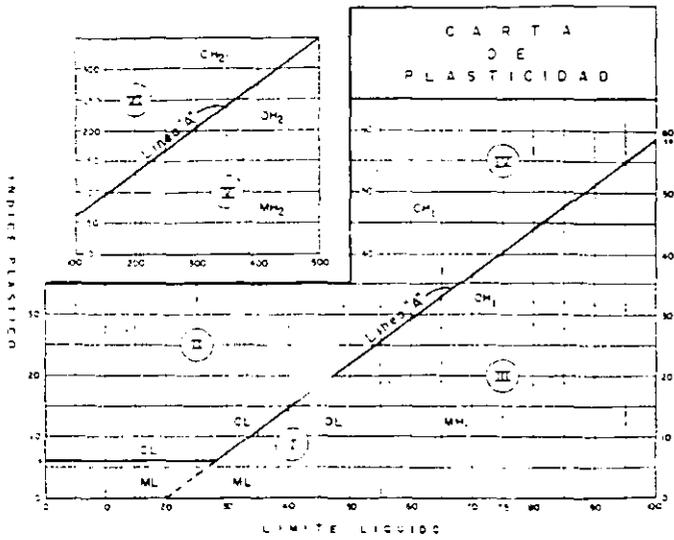


FIGURA NUMERO 2-1

2.3.2 En el caso de que por condiciones de extrema necesidad tengan que emplearse, en el cuerpo del terraplén, materiales que en el cuadro del inciso 2.3.1, se indica que no deben usarse, el Representante, con base en pruebas de laboratorio, podrán autorizar su empleo, fijando los porcentajes de compactación que juzgue adecuados, así como las pruebas para determinar los pesos volumétricos secos máximos a que deben referirse los citados porcentajes de compactación.

TIPO	SUB-TIPOS	IDENTIFICACION		SIMBOLO DE GRUPO	NOTAS					
F R A G M E N T O S TAMANOS MAYORES DE 75 CM (3") Y MENORES DE 2 CM	GRANDES MAYORES DE 75 cm Y MENORES DE 2 cm	Fragmentos grandes, con menos del 10% de otros fragmentos o de suelo.		Fg	<p>1.—Cuando los fragmentos de roca contengan más del 10% de su volumen el material se clasificará con símbolo "G", aplicando los símbolos del suelo correspondiente y el del fragmento respectivo.</p> <p>Si el volumen de suelo es mayor del 50%, el símbolo de este se antepone al del fragmento; si el volumen de suelo está comprendido entre 10 y 50%, el símbolo se colocará en seguida del símbolo de los fragmentos de roca.</p> <p>Ejemplo 1 Ejemplo 2</p> <p>Un material contiene: Un suelo contiene:</p> <p>60% de GC 40% de Fm 20% de Fg 30% de SM 15% de Fm 20% de Fe 5% de Fe 10% de Fg</p> <p>Su símbolo sería: Su símbolo sería:</p> <p>GC-Fgm Fm-GC-Fg</p> <p>Los porcentajes en volumen de los diferentes fragmentos de roca que contiene un material, se hará en forma estimativa.</p> <p>2.—La clasificación de suelos que aparece en este cuadro corresponde, en general, al Sistema Unificado S.U.C.S. y puede considerarse como la versión S.C.F. de dicho sistema.</p> <p>3.—Todos los tamaños de las mallas que aparecen en este cuadro son los de la U.S. Standard (abertura cuadrada).</p> <p>4.—Como los símbolos de los suelos proceden en general de nombres en el idioma inglés, a continuación se dan las equivalencias de las letras que aparecen en los mismos:</p> <p>G — Grava S — Arena M — Limo C — Arcilla W — Bien graduado P — Mal graduado L — Baja compresibilidad H — Alta compresibilidad O — Suelo orgánico Pt — Turba</p> <p>5.—Tratándose de suelos con partículas gruesas, en que el 75% en peso que pasa la malla Núm. 200 queda comprendido entre 5 y 12%, se tienen casos de frontera, que requieren el uso de símbolos dobles.</p> <p>Ejemplo: GW-GC corresponde a una mezcla de grava y arena bien graduada con cementante arcilloso; GW-SM, corresponde a un material bien graduado con menos de 5% pasando la malla número 200 y formada su fracción gruesa por iguales proporciones de grava y arena.</p> <p>6.—Los coeficientes de Uniformidad (Cu) y de Curvatura (Cc), que se utilizan para juzgar la graduación de los suelos GW, GP, SW y SP, están dados por las siguientes expresiones:</p> $Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}, \quad Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}, \quad \text{en que}$ <p>D_{10}, D_{30} y D_{60} son los diámetros o aberturas de las mallas correspondientes al 10, 30 y 60% en peso, respectivamente, del material que pasa, según la curva granulométrica.</p> <p>7.—La clasificación de los suelos de partículas finas se determina, principalmente, haciendo pruebas de límite de plasticidad, a la fracción que pasa la malla número 40 para ubicarlos en la carta de plasticidad a que se refiere el inciso 90-02.2, que aparece por separado.</p> <p>8.—Se ha observado que los suelos OL, OH₁ y OH₂ caen dentro de las mismas zonas de la carta de plasticidad que los suelos ML, MH₁ y MH₂, respectivamente. Sin embargo, casi siempre quedan más cerca de la línea "A" que estos últimos, en virtud de presentar mayores índices Plásticos.</p>					
		Fragmentos grandes mezclados con fragmentos chicos, predominando los grandes, con menos del 10% de fragmentos chicos o de suelo.		Fgm						
		Fragmentos grandes mezclados con fragmentos chicos, predominando los grandes, con menos del 10% de fragmentos medianos o de suelo.		Fgc						
		Fragmentos grandes mezclados con fragmentos medianos y chicos, predominando los grandes sobre los medianos y éstos sobre los chicos, con menos del 10% de suelo.		Fgmc						
	Fragmentos grandes mezclados con fragmentos chicos y medianos, predominando los grandes sobre los chicos y éstos sobre los medianos, con menos del 10% de suelo.		Fgcm							
	MEDIANOS MAYORES DE 20 cm Y MENORES DE 75 cm	Fragmentos medianos, con menos del 10% de otros fragmentos o de suelo.		Fm						
		Fragmentos medianos mezclados con fragmentos chicos, predominando los medianos sobre los chicos, con menos del 10% de fragmentos grandes o de suelo.		Fmc						
		Fragmentos medianos mezclados con fragmentos grandes, predominando los medianos sobre los grandes, con menos del 10% de fragmentos chicos o de suelo.		Fmg						
		Fragmentos medianos mezclados con fragmentos chicos y grandes, predominando los medianos sobre los chicos y éstos sobre los grandes, con menos del 10% de suelo.		Fmcc						
	Fragmentos medianos mezclados con fragmentos grandes y chicos, predominando los medianos sobre los grandes y éstos sobre los chicos, con menos del 10% de suelo.		Fmcc							
	CHICOS MAYORES DE 7.5 cm (3") Y MENORES DE 20 cm	Fragmentos chicos, con menos del 10% de otros fragmentos o de suelo.		Fc						
		Fragmentos chicos mezclados con fragmentos medianos, predominando los chicos, con menos del 10% de fragmentos grandes o de suelo.		Fcm						
Fragmentos chicos mezclados con fragmentos grandes, predominando los chicos, con menos del 10% de fragmentos medianos o de suelo.		Fcg								
Fragmentos chicos mezclados con fragmentos medianos y grandes, predominando los chicos sobre los medianos y éstos sobre los grandes, con menos del 10% de suelo.		Fcmg								
Fragmentos chicos mezclados con fragmentos grandes y medianos, predominando los chicos sobre los grandes y éstos sobre los medianos, con menos del 10% de suelo.		Fcgm								
R U E L I O S PARTICULAS MENORES DE 7.5 CM (3")	DE PARTICULAS FINAS MAS DE LA MITAD DEL MATERIAL PASA LA MALLA NUM. 200 Se estima que las partículas más pequeñas corresponden a un tamaño de 0.075 mm (malla Núm. 200).	DE PARTICULAS G R U E S A S MAS DE LA MITAD DEL MATERIAL SE RETIENE EN LA MALLA NUM. 200	A R E N A S MAS DE LA MITAD DE LA FRACCION GRUESA PASA LA MALLA NUM. 40	G R A V A S Y A R C I L L A S MAS DE LA MITAD DE LA FRACCION GRUESA SE RETIENE EN LA MALLA NUM. 40	(Para clasificación visual, púese considerar 5 mm como equivalente a la abertura de la malla Núm. 4)	GRAVAS LIMPAS (Poco o nada de partículas finas)	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena, poco o nada de finos. Deben tener un coeficiente de uniformidad (Cu) mayor de 4 y un coeficiente de curvatura (Cc) entre 1 y 3. (Ver nota Núm. 5.)	Menos de 5% en peso pasa la malla Núm. 200.	GW	
						GRAVAS CON FINOS (Cantidad apreciable de partículas finas)	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo, mal graduadas.	Más de 12% en peso pasa la malla Núm. 200 y las pruebas de límites, efectuadas en la fracción que pasa la malla Núm. 40, la clasifican como un suelo ML, abajo de la línea "A" de la carta de plasticidad, o $Ip < 6$. (Véase abajo, grupo ML.)	GM	
						GRAVAS ARCILLOSAS (Cantidad apreciable de partículas finas)	Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcillas, mal graduadas.	Más de 12% en peso pasa la malla Núm. 200 y las pruebas de límites, efectuadas en la fracción que pasa la malla Núm. 40, la clasifican como un suelo CL, arriba de la línea "A" de la carta de plasticidad, o $Ip > 6$. (Véase abajo, grupo CL.)	GC	
						ARENAS LIMPAS (Poco o nada de partículas finas)	Arenas bien graduadas, arenas con grava, poco o nada de fino. Deben tener un coeficiente de uniformidad (Cu) mayor de 6 y un coeficiente de curvatura (Cc) entre 1 y 3. (Ver nota Núm. 6.)	Menos de 5% en peso pasa la malla Núm. 200.	SW	
						ARENAS CON FINOS (Cantidad apreciable de partículas finas)	Arenas mal graduadas, arenas con grava, poco o nada de finos. No satisfacen los requisitos de graduación para SW.	Menos de 5% en peso pasa la malla Núm. 200.	SP	
						ARENAS ARCILLOSAS (Cantidad apreciable de partículas finas)	Arenas limosas, mezclas de arena y limo mal graduadas.	Más de 12% en peso pasa la malla Núm. 200 y las pruebas de límites, efectuadas en la fracción que pasa la malla Núm. 40, la clasifican como un suelo ML, abajo de la línea "A" de la carta de plasticidad, o $Ip < 6$. (Véase abajo, grupo ML.)	SM	
						ARENAS ARCILLOSAS (Cantidad apreciable de partículas finas)	Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcillas mal graduadas.	Más de 12% en peso pasa la malla Núm. 200 y las pruebas de límites, efectuadas en la fracción que pasa la malla Núm. 40, la clasifican como un suelo CL, arriba de la línea "A" de la carta de plasticidad, o $Ip > 6$. (Véase abajo, grupo CL.)	SC	
						LIMOS Y ARCILLAS LIMITES LIQUIDO	Menos de 50%	Limos inorgánicos y arenas muy finas, polvo de roca, arenas finas limosas o arcillosas ligeramente plásticas. (Dentro de la zona I de la carta de plasticidad.)		ML
								Arcillas inorgánicas de baja o mediana plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres. (Dentro de la zona II de la carta de plasticidad.)		CL
								Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad. (Dentro de la zona I de la carta de plasticidad.)		OL
							Entre 50 y 100%	Limos inorgánicos de baja o mediana plasticidad, arenas finas o limos micáceos o diatómicos. (Dentro de la zona III de la carta de plasticidad.)		MH ₁
								Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas. (Dentro de la zona IV de la carta de plasticidad.)		CH ₁
Limos y arcillas orgánicas de media o alta plasticidad. (Dentro de la zona III de la carta de plasticidad.)		OH ₁								
Mayor de 100%	Limos inorgánicos de alta plasticidad. (Dentro de la zona V de la carta de plasticidad.)		MH ₂							
	Arcillas inorgánicas de muy alta plasticidad. (Dentro de la zona VI de la carta de plasticidad.)		CH ₂							
	Limos y arcillas orgánicas de alta plasticidad. (Dentro de la zona V de la carta de plasticidad.)		OH ₂							
ALTAMENTE ORGANICOS	Fácilmente identificables por su color, olor, sensación esponjosa y frecuentemente por su textura fibrosa. Turba y otros suelos altamente orgánicos.		P _t							

CUADRO NUMERO 2-3

TIPO	SUB-TIPOS	SIMBOLO DE GRUPO	CARACTERISTICAS PARA SU ACOMODO	PRUEBAS ESPECIFICADAS PARA LA DETERMINACION DE LOS PESOS VOLUMETRICOS SECOS MAXIMOS	RECOMENDACIONES PARA SU USO	
					CUERPO DEL TERRAPLEN	CAPA DE SUB-RASANTE EN TERRAPLENES Y CORTES
FRAGMENTOS DE ROCA	GRANDES MAYORES DE 75 cm Y MENORES DE 2 m	Fg Fgm Fgc Fgmc Fgcm	Susceptibles de acomodarse con tractor y/o con el equipo de construcción.		Pueden utilizarse en todo el cuerpo del terraplén, acomodándolos en su posición más estable, entendiéndose que el simple volteo no constituye un acomodo adecuado.	NO DEBEN USARSE
	MEDIANOS MAYORES DE 20 cm Y MENORES DE 75 cm	Fm Fmc Fmg Fmrg Fmxc	Susceptibles de acomodarse por bandeo con tractor y/o con el equipo de construcción.		Pueden utilizarse en todo el cuerpo del terraplén, tendiéndolos en capas del espesor mínimo que permita el tamaño de los fragmentos mayores.	NO DEBEN USARSE
	CHICOS MAYORES DE 7.6 cm Y MENORES DE 20 cm	Fc Fcm Fcg Fcmg Fcgm	Susceptibles de acomodarse por bandeo con tractor y/o con el equipo de construcción.		Pueden utilizarse en todo el cuerpo del terraplén, tendiéndolos en capas del espesor mínimo que permita el tamaño de los fragmentos mayores.	NO DEBEN USARSE
SUELOS	GRUESOS	GRAVAS	GW GP GM GC	Susceptibles de compactarse con equipo especial.	90% de Compactación	95% de Compactación
		ARENAS	SW SP SM SC			
	FINOS	LIMITE LIQUIDO MENOR DE 50	ML CL OL			
		LIMITE LIQUIDO ENTRE 50 Y 100	MH ₁ CH ₁ OH ₁			
		LIMITE LIQUIDO MAYOR DE 100	MH ₂ CH ₂ OH ₂			
	ALTAMENTE ORGANICOS	TURBA	Pt			

El proyecto deberá especificar aquellos casos en que no sea posible mostrar por capas, todo o parte del terraplén. Las mezclas de fragmentos de roca y suelos, en que predominantemente, podrán, en algunas ocasiones, ser susceptibles de compactarse con equipo especial, aunque no pueda determinarse el grado de compactación. Esto sólo podrá hacerse en el cuerpo del terraplén y el proyecto fijará el procedimiento a seguir en estos casos.

AASHO ESTANDAR SIEMPRE QUE EL PROYECTO NO INDIQUE
 OTRA PRUEBA DINAMICA
 En casos especiales el proyecto deberá indicar el procedimiento a seguir en el control de la compactación.

No deberán usarse materiales con valor relativo de aporte estornado menor de 5% o expansión mayor de 5%.

Tipo	Subtipos	Identificación		Símbolo de grupo	
I R A G M E N T U S D E R O C A Tamaño mayor de 7.6 cm (3 plg) y menores de 2 m	Grandes Mayores de 75 cm y menores de 2 m	Fragmentos grandes, con menos del 10% de otros fragmentos o de suelo. Fragmentos grandes mezclados con fragmentos medianos, predominando los grandes, con menos del 10% de fragmentos chicos o de suelo. Fragmentos grandes mezclados con fragmentos chicos, predominando los grandes, con menos del 10% de fragmentos medianos o de suelo. Fragmentos grandes mezclados con fragmentos medianos y chicos, predominando los grandes sobre los medianos y estos sobre los chicos, con menos del 10% de suelo. Fragmentos grandes mezclados con fragmentos chicos y medianos, predominando los grandes sobre los chicos y estos sobre los medianos, con menos del 10% de suelo.		FG FGm FGc FGme FGcm	1. Cuando los fragmentos de roca contengan más del 10% de suelo, el material se clasificará con símbolo doble, utilizando los símbolos del suelo correspondiente y los del fragmento respectivo. Si el volumen de suelo es mayor del 50%, el símbolo de este se antepondrá al del fragmento, si el volumen del suelo está comprendido entre 10 y 50%, su símbolo se colocará en seguida del símbolo de los fragmentos de roca.
	Medianas Mayores de 20 cm y menores de 75 cm	Fragmentos medianos, con menos del 10% de otros fragmentos o de suelo. Fragmentos medianos mezclados con fragmentos chicos, predominando los medianos sobre los chicos, con menos del 13% de fragmentos o de suelo. Fragmentos medianos mezclados con fragmentos grandes, predominando los medianos sobre los grandes, con menos del 13% de fragmentos chicos o de suelo. Fragmentos medianos mezclados con fragmentos chicos y grandes, predominando los medianos sobre los chicos y estos sobre los grandes, con menos del 10% de suelo. Fragmentos medianos mezclados con fragmentos grandes y chicos, predominando los medianos sobre los grandes y estos sobre los chicos, con menos del 10% de suelo.		Fm Fmc Fmg Fmcg Fmfc	Ejemplo 1 Un material contiene: 60% de GC 20% de Fg 15% de Fm 5% de Fc Su símbolo sería: GC-Fgm Ejemplo 2 Un suelo contiene: 40% de Fm 30% de SM 20% de Fe 10% de Fg Su símbolo sería: Fmcg-SM
	Chicos Mayores de 7.6 cm (3 plg) y menores de 20 cm	Fragmentos chicos, con menos del 10% de otros fragmentos o de suelo. Fragmentos chicos mezclados con fragmentos medianos, predominando los chicos, con menos del 10% de fragmentos grandes o de suelo. Fragmentos chicos mezclados con fragmentos grandes, predominando los chicos, con menos del 10% de fragmentos medianos o de suelo. Fragmentos chicos mezclados con fragmentos medianos y grandes, predominando los chicos sobre los medianos y estos sobre los grandes, con menos del 10% de suelo. Fragmentos chicos mezclados con fragmentos grandes y medianos, predominando los chicos sobre los grandes y estos sobre los medianos, con menos del 10% de suelo.		Fc Fcm Fcg Fcmg Fcmf	2. La clasificación de suelos que aparece en este cuadro corresponde, en general, al Sistema Unificado (SUCS) y puede considerarse como a versión S O P de dicho sistema. 3. Todos los tamaños de los mallas que aparecen en este cuadro son los de la U.S. Standard (abertura cuadrada).
S U E L O S Partículas menores de 7.6 cm (3 plg) Más de la mitad del material se retiene en la malla Num. 200 De partículas gruesas en la malla Num. 200 Más de la mitad de la fracción gruesa se retiene en la malla Num. 4 Grava Más de la mitad de la fracción gruesa se retiene en la malla Num. 4 Arenas Más de la mitad de la fracción gruesa para la malla Num. 4 (Para clasificación visual puede considerarse 7.6 mm como equivalente a la abertura de la malla Num. 4) Más de la mitad de la fracción gruesa para la malla Num. 4 (Para clasificación visual puede considerarse 7.6 mm como equivalente a la abertura de la malla Num. 4) Menos de 50% Entre 50 y 100% Mayor de 100% Alimentos orgánicos	Gravas limpias Poca o nada de partículas finas	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena, poca o nada de finos. Deben tener un coeficiente de uniformidad (Cu) mayor de 4 y un coeficiente de curvatura (Cc) entre 1 y 3. (Ver nota Num. 6.) Gravas mal graduadas, mezclas de grava y arena, poca o nada de finos. No satisfacen los requisitos de gradación para GW.	Menos de 5% en peso para la malla Num. 200 Menos de 5% en peso para la malla Num. 200	GW GP	4. Como los símbolos de los suelos proceden en general de nombres en el idioma inglés, a continuación se dan los equivalentes de los letras que aparecen en los mismos. G - Grava S - Arena M - Limo C - Arcilla W - Bien graduado P - Mal graduado L - Baja compresibilidad H - Alta compresibilidad O - Suelo orgánico M - Turba
	Gravas con finos (Cantidad apreciable de partículas finas)	Gravas limpias, mezclas de grava, arena y limo, mal graduadas Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcillas, mal graduadas	Más de 12% en peso para la malla Num. 200 y los pruebas de límites, efectuadas en la fracción que pasa la malla Num. 40, la clasificación como un suelo ML, arriba de la línea "A" de la carta de plasticidad, o la <math>C_u < 4</math> o <math>C_c < 1</math> (Véase tabla, grupo ML). Más de 12% en peso para la malla Num. 200 y los pruebas de límites, efectuadas en la fracción que pasa la malla Num. 40, la clasificación como un suelo CL, arriba de la línea "A" de la carta de plasticidad, o la <math>C_u < 4</math> o <math>C_c < 1</math> (Véase tabla, grupo CL).	GM GC	5. Tratándose de suelos con partículas gruesas, en que el 4% en peso que pasa la malla Num. 200 queda comprendida entre 5 y 12%, se tienen casos de frontera, que requieren el uso de símbolos dobles.
	Arenas limpias (Poca o nada de partículas finas)	Arenas bien graduadas, arenas con grava, poca o nada de fino, deben tener un coeficiente de uniformidad (Cu) mayor de 6 y un coeficiente de curvatura (Cc) entre 1 y 3. (Ver nota Num. 6.) Arenas mal graduadas, arenas con grava, poca o nada finos. No satisfacen los requisitos de gradación para SW.	Menos de 5% en peso para la malla Num. 200 Menos de 5% en peso para la malla Num. 200	SW SP	Ejemplos: GW-GC corresponde a una mezcla de grava y arena bien graduada con cementación arcillosa. GW-SW, corresponde a un material bien graduado con menos de 5% pasando la malla número 200 y formada su fracción gruesa por iguales proporciones de grava y arena.
	Arenas con finos (Cantidad apreciable de partículas finas)	Arenas limpias, mezclas de arena y limo mal graduadas. Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcillas mal graduadas.	Más de 12% en peso para la malla Num. 200 y los pruebas de límites, efectuadas en la fracción que pasa la malla Num. 40, la clasificación como un suelo ML, arriba de la línea "A" de la carta de plasticidad, o la <math>C_u < 4</math> o <math>C_c < 1</math> (Véase tabla, grupo ML). Más de 12% en peso para la malla Num. 200 y los pruebas de límites, efectuadas en la fracción que pasa la malla Num. 40, la clasificación como un suelo CL, arriba de la línea "A" de la carta de plasticidad, o la <math>C_u < 4</math> o <math>C_c < 1</math> (Véase tabla, grupo CL).	SM SC	6. Los coeficientes de Uniformidad (Cu) y de Curvatura (Cc), que se utilizan para juzgar la gradación de los suelos GW, GP, SW y SP, están dados por las siguientes expresiones: $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}, C_c = \frac{D_{30}f}{D_{10} \times D_{60}}$ en que D ₆₀ , D ₃₀ y D ₁₀ son los diámetros o aberturas de las mallas correspondientes al 10, 30 y 60% en peso, respectivamente, del material que pasa, según la curva granulométrica.
	Limas inorgánicas y arenas muy finas, polvo de roca, arenas finas limosas o arcillosas ligeramente plásticas. (Dentro de la zona I de la carta de plasticidad.) Arcillas inorgánicas de baja o mediana plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas arcillosas pobres. (Dentro de la zona II de la carta de plasticidad.) Limas orgánicas y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad. (Dentro de la zona I de la carta de plasticidad.)	Limas inorgánicas de baja a mediana plasticidad, arenas finas o limas micáceas o diatomáceas, limas elásticas. (Dentro de la zona III de la carta de plasticidad.) Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas. (Dentro de la zona IV de la carta de plasticidad.) Limas y arcillas orgánicas de mediana y alta plasticidad. (Dentro de la zona III de la carta de plasticidad.)	Limas inorgánicas de alta plasticidad. (Dentro de la zona V de la carta de plasticidad.) Arcillas inorgánicas de muy alta plasticidad. (Dentro de la zona VI de la carta de plasticidad.) Limas y arcillas orgánicas de alta plasticidad. (Dentro de la zona V de la carta de plasticidad.)	ML CL OL MH CH OH MH CH OH	7. La clasificación de los suelos de partículas finas se determina, principalmente, haciendo pruebas de límite de plasticidad, a la fracción que pasa la malla número 40 para ubicarlos en la carta de plasticidad a que se refiere el inciso 90-02.2, que aparece por separado. 8. Si se ha observado que los suelos OL, OH, y CH, caen dentro de las mismas zonas de la carta de plasticidad que los suelos ML, MH, y MM, respectivamente. Sin embargo, casi siempre quedan más cerca de la línea "A" que estos últimos, en virtud de presentar mayores índices plásticos.

Fig. 5-30 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) (aumento con fragmentos de roca).

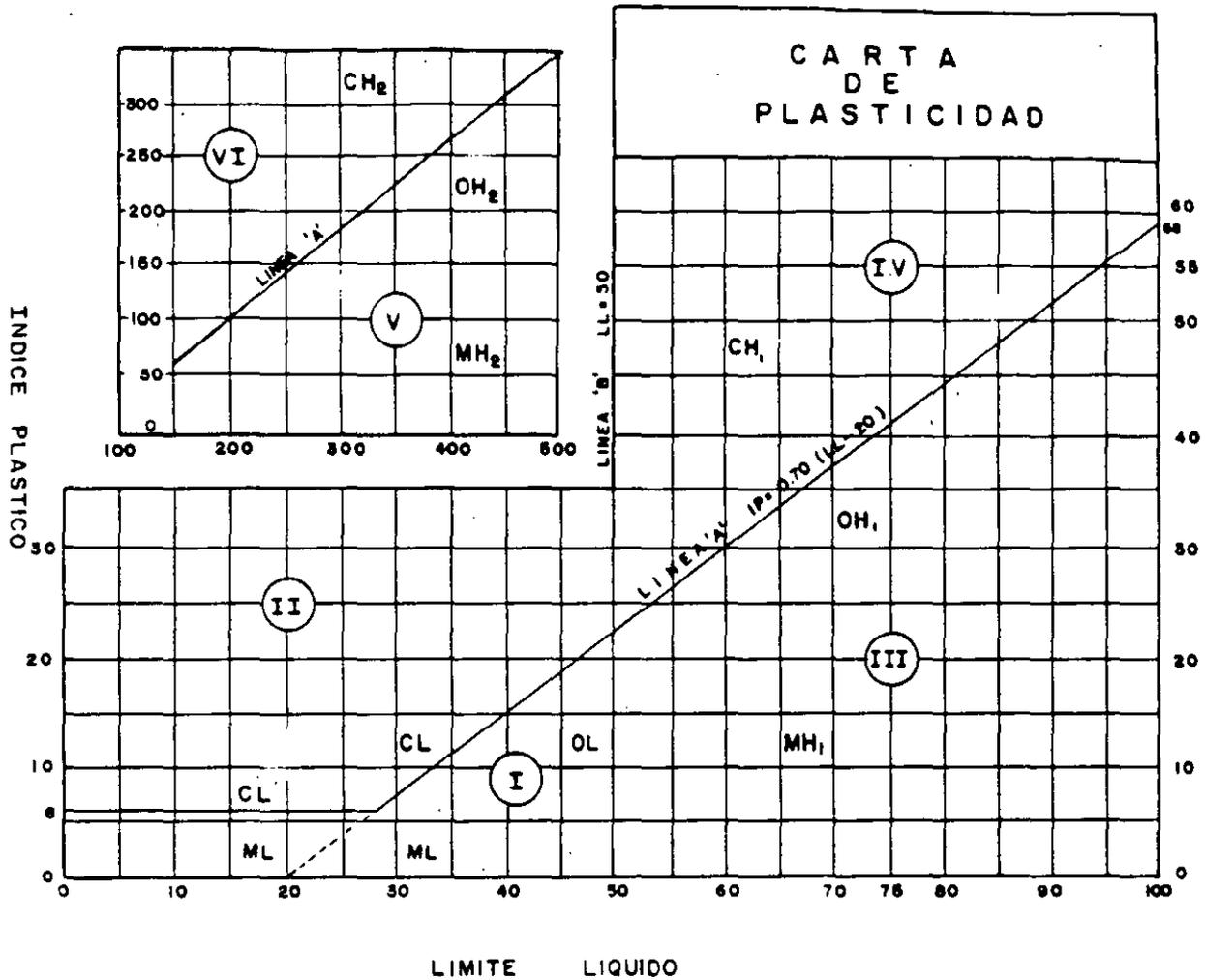


Fig. 5-29 Clasificación de acuerdo con la carta de plasticidad de Casagrande.

Sistema unificado de clasificación de suelos

El sistema unificado de clasificación divide a los materiales de acuerdo a su granulometría y plasticidad, haciendo una combinación de los sistemas correspondientes ya estudiados. Este sistema de clasificación se muestra en la (Fig. 5-30), es muy útil para saber el uso que se puede dar a los materiales en las terracerías de una vía terrestre; incluso, como complemento de esta clasificación se dan los posibles tratamientos y forma de controlarlos (Fig. 5-31).

Normas de pavimentos como sistemas de clasificación

Para decidir si un material se puede o no utilizar en alguna capa de pavimento, es necesario conocer varias de sus características como: granulometría, valor cementante, contracción lineal, valor relativo de soporte, obteniendo la prueba de Porter estándar; y se comparan con los re-

quisitos de las especificaciones, en caso de cumplir con ellas, se pueden utilizar en capas de: subbase, base o carpeta, así, las normas de materiales para pavimento se convierten en un sistema de clasificación; las especificaciones se presentan en los capítulos correspondientes a estas capas.

PRUEBAS DE CONTROL

Las pruebas de control como ya se indicó, son las que permiten verificar la calidad de las obras y de esta manera, las que se utilizan para clasificación también se usan para el control; es decir, en base a las pruebas de clasificación se realizan los proyectos y se formulan los procedimientos de construcción y para asegurar que se cumple con las condiciones marcadas, se vuelven a utilizar las mismas pruebas; sin embargo, se tienen pruebas específicas de control que son las que se utilizan para conocer el grado de compactación que se alcance en las diferentes capas de estructura de una obra vial; para ello se debe conocer el

2-3.3. Las pruebas necesarias para determinar el peso volumétrico seco máximo que hayan de efectuarse en cada caso, deberán apegarse a los procedimientos descritos en el capítulo 1 del Tomo IX de estas Normas de Construcción. Se recomienda adoptar las variantes A y C de las Pruebas Proctor (AASHO) estándar para el control rutinario de la compactación en el campo, aunque ocasionalmente puedan utilizarse las variantes B y D, sin más restricción que la disponibilidad de equipo y personal. Cuando el proyecto lo indique explícitamente, deberán utilizarse para los trabajos de control de compactación, pruebas de Proctor (AASHO) con niveles de energía específica más altas que la estándar u otras pruebas de tipo especial.

2-3.4. Los materiales constituidos por fragmentos de roca grandes, medianos o chicos, que aparecen en el cuadro del inciso 2-3.1, serán susceptibles de compactarse con equipo especial siempre y cuando después de tendidos en la obra, en una capa con el espesor que permita el tamaño máximo del material, de regarle agua en cantidad aproximada de cien (100) litros por metro cúbico de material y de aplicarle en cada lugar tres (3) pasadas con tractor de veinte (20) toneladas, cumpla con el requisito de tener como máximo el veinte por ciento (20%) en volumen, retenido en la malla de setenta y seis (76) milímetros (3"), aceptándose que este retenido no contenga más de cinco por ciento (5%) en volumen de fragmentos mayores de quince (15) centímetros (6"), determinados de acuerdo con los métodos de prueba indicados en el capítulo 1 del Tomo IX. Esta determinación se hará en los veinte (20) centímetros superiores de la capa tratada, mediante sondeos a ciclo abierto con volumen de medio (0.5) metro cúbico aproximadamente y el valor que se aplique será el que resulte del promedio de tres (3) pruebas verificadas en distintos lugares de la capa, fijados por el Representante.

2-3.5. Los materiales que se utilicen en la capa sub-rasante deberán cumplir con las normas de ca-

lidad que se indican en la última columna del cuadro correspondiente al inciso 2-3.1, en un espesor no menor de treinta (30) centímetros. Cuando se trate de una terracería ya existente y su capa sub-rasante no reúna las características adecuadas, deberá dársele el tratamiento que el Representante indique, para ponerla dentro de estas Normas de Construcción, o bien si esto no es posible, se construirá una nueva capa sub-rasante, ya sea sobre la anterior, o bien, después de rebajar ésta en el espesor necesario, si hay necesidad de respetar un determinado nivel de la sub-rasante.

2-3.6 En algunos casos y a juicio del Representante podrán emplearse en la construcción de la capa sub-rasante, materiales estabilizados con cal, cemento Portland, materiales puzolánicos, o materiales asfálticos, siendo necesario, para esto, hacer los estudios y proyectos correspondientes.

2-3.7 La clasificación, características y requisitos para el uso adecuado de los materiales empleados en la construcción de terracerías, tal como quedan definidos en los apartados 2-2, y 2-3, deberán verificarse haciendo las pruebas necesarias, de acuerdo con los procedimientos indicados en el capítulo 1 del Tomo IX.

CAPITULO 3

MATERIALES PARA REVESTIMIENTOS, SUB-BASES Y BASES DE PAVIMENTO

3-1 DESCRIPCION

3-1.1 Son los materiales seleccionados que se emplean en la construcción de revestimientos, sub-bases y bases de pavimento, ya sea que se establezcan o no, con algún producto natural o elaborado.

3-2 CLASIFICACION

3-2.1 Los materiales para revestimientos, sub-bases y bases de pavimento, se clasifican como sigue:

- A) Materiales pétreos que no requieran ningún tratamiento de disgregado, cribado o trituración.
- B) Materiales pétreos o de origen animal, que para su utilización requieren tratamientos de disgregado, cribado o trituración.
- C) Mezclas de dos o más materiales del grupo (A), del grupo (B) o de materiales provenientes de ambos grupos.
- D) Materiales de los grupos (A), (B) o (C), mezclados con un material asfáltico.
- E) Materiales de los grupos (A), (B) o (C), mezclados con cemento Portland o una

mezcla adecuada de cemento Portland y puzolana.

- F) Materiales de los grupos (A), (B) o (C), mezclados con cal hidratada, cal hidratada y puzolana, o cal hidratada y cemento Portland.

3-3 NORMAS DE MATERIALES

3-3.1 Los materiales que se mencionan en el inciso 3-2.1, cuando se emplean como revestimiento de caminos, deberán llenar los requisitos siguientes:

- A) De granulometría, de acuerdo con los métodos de prueba citados en el capítulo 2 del Tomo IX.

1) La curva granulométrica del material deberá quedar comprendida entre el límite inferior de la zona 1 y el superior de la zona 3, de la figura Núm. 3-1. De preferencia no deberán utilizarse materiales cuya curva se encuentre alojada en la zona 1.

2) La curva granulométrica deberá afectar una forma semejante a las de las curvas que limitan las zonas, sin presentar cambios bruscos de pendiente y la relación del porcentaje en peso que pase la malla Núm. 200 al que pase la malla Núm. 40, no deberá ser mayor de sesenta y cinco centésimos (0.65). Podrá aceptarse hasta un cinco por ciento (5%) en volumen, de partículas de tamaño mayor de setenta y seis (76) milímetros (3"), en el material transportado al camino en donde deberán eliminarse.

- B) De contracción lineal, valor cementante y valor relativo de soporte: los valores fijados en el siguiente cuadro, determinados con los métodos de prueba citados en el capítulo 2 del Tomo IX.

ZONAS DE ESPECIFICACIONES GRANULOMETRICAS

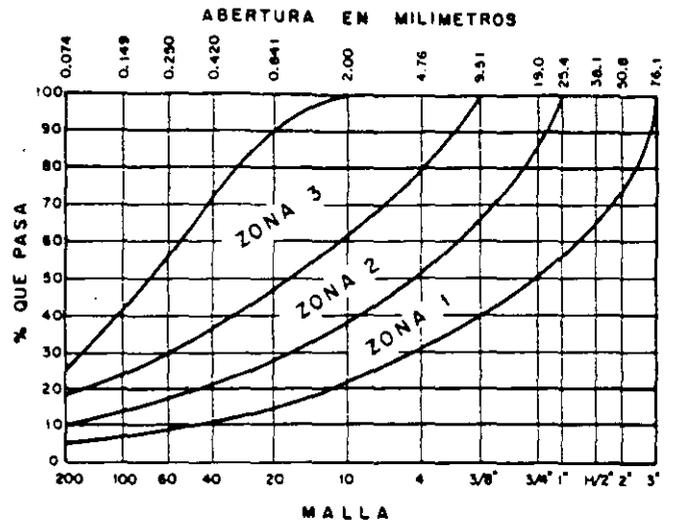


FIGURA NUMERO 3-1

Cuando la curva granulométrica de material se aloja en dos (2) o más zonas, en la parte correspondiente a las fracciones comprendidas entre las mallas Núms. 40 y 200, la contracción lineal deberá considerarse para la zona en la cual quede alojada la mayor longitud de dicha parte de la curva, excepto cuando la fracción que pase la malla Núm. 200 sea menor de quince por ciento (15%), en cuyo caso la zona considerada será aquella en la que se aloje la mayor longitud de la totalidad de la curva.

- C) De grado de compactación. Estos materiales, en cada caso, se compactarán al grado que fije el proyecto.

NORMAS DE CONSTRUCCION

CARACTERISTICAS	ZONAS EN QUE SE CLASIFICA EL MATERIAL DE ACUERDO CON SU GRANULOMETRIA		
	1	2	3
Contracción lineal, en por ciento.....	6.0 M ^á x.	4.5 M ^á x.	3.0 M ^á x.
Valor cementante para materiales angulosos, en kg/cm ³	5.5 M ^í n.	4.5 M ^í n.	3.5 M ^í n.
Valor cementante para materiales redondeados y lisos, en kg/cm ³	8.0 M ^í n.	6.5 M ^í n.	5.0 M ^í n.
Valor relativo de soporte estándar saturado, en por ciento.....	30 M ^í n.		

3-3.2 Los materiales que se mencionan en los párrafos (A), (B) y (C) del inciso 3-2.1, cuando se empleen para sub-base en pavimento flexible de caminos, patios o plataformas, deberán llenar los requisitos siguientes:

- A) De granulometría, de acuerdo con los métodos de prueba citados en el capítulo 2 del Tomo IX.
 - 1) La curva granulométrica del material deberá quedar comprendida entre el límite inferior de la zona 1 y el superior de la zona 3 de la figura Núm. 3-2., y deberá afectar una forma semejante a las de las curvas que limitan las zonas, sin presentar cambios bruscos de pendiente. La relación del porcentaje en peso que pase la malla Núm. 40, no deberá ser mayor de sesenta y cinco centésimos (0.65).
 - 2) El tamaño máximo de las partículas del

ZONAS DE ESPECIFICACIONES GRANULOMETRICAS

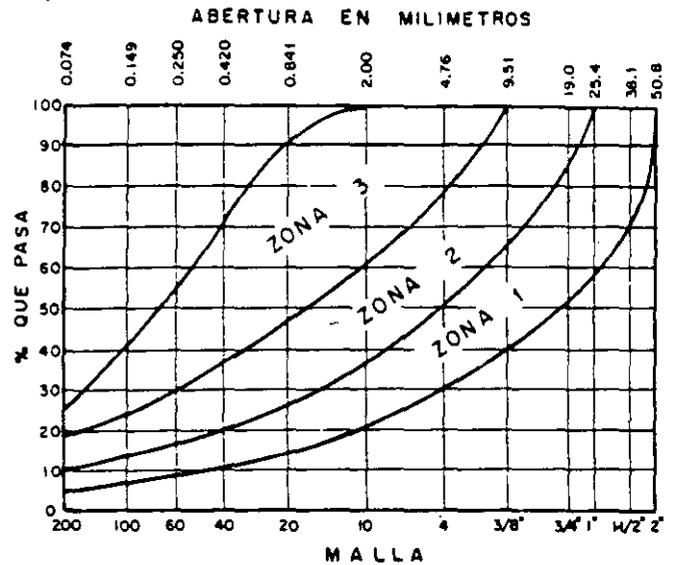


FIGURA NUMERO 3-2

material no deberá ser mayor de cincuenta y un (51) milímetros (2").

- B) De contracción lineal, valor cementante, valor relativo de soporte y equivalente de arena, los valores fijados en el siguiente cuadro, determinados con los métodos de prueba citados en el capítulo 2 del Tomo IX.

Cuando la curva granulométrica del material se aloje en dos (2) zonas, en la parte correspondiente a la fracción comprendida entre las mallas Núms. 40 y 200, la contracción lineal deberá considerarse para la zona en la cual quede alojada la mayor longitud de dicha parte de la curva, excepto cuando

NORMAS DE CONSTRUCCION

CARACTERISTICAS	ZONAS EN QUE SE CLASIFICA EL MATERIAL DE ACUERDO CON SU GRANULOMETRIA		
	1	2	3
Contracción lineal, en por ciento.....	6.0 Máj.	4.5 Máj.	3.0 Máj.
Valor cementante para materiales angulosos, en kg/cm ³	3.5 Mín.	3.0 Mín.	2.5 Mín.
Valor cementante para materiales redondeados y lisos, en kg/cm ³	5.5 Mín.	4.5 Mín.	3.5 Mín.
Valor relativo de soporte estándar saturado, en por ciento.....	50 Mín.		
Equivalente de arena, en por ciento.....	20 Mín. (Tentativo)		

la tracción que pase la malla Núm. 200 sea menor de quince por ciento (15%), en cuyo caso la zona considerada será aquella en la que se aloje la mayor longitud de la totalidad de la curva.

- C) De grado de compactación en el camino, patio o plataforma. El material deberá compactarse a noventa y cinco por ciento (95%) mínimo de su peso volumétrico seco máximo, salvo que el proyecto fije un grado diferente de compactación. La compactación será determinada mediante uno (1) de los métodos de prueba citados en el capítulo 2 del Tomo IX.

3-3.3 Los materiales clasificados en el grupo (D) del inciso 3.2.1, que predominantemente contengan partículas que pasen la malla Núm. 4 (más del 70%), para formar sub-bases de pavimento flexible, deberán llenar los siguientes requisitos:

A) Los materiales que acusen valores para la contracción lineal y el equivalente de arena fuera de los límites señalados en el inciso 3-3.2, pueden utilizarse como sub-bases de pavimento, si una vez estabilizados con algún material asfáltico, satisfacen los requisitos siguientes de valor de estabilidad, expansión y absorción, determinados según los métodos de prueba citados en el capítulo 2 del Tomo IX (Prueba Hubbard Field Modificada, para estabilizaciones):

- 1) Valor de estabilidad 180 Kg mínimo
(Tentativo)
- 2) Expansión..... 2% máximo
(Tentativo)
- 3) Absorción 5% máximo
(Tentativo)

B) Los materiales no plásticos, como las arenas, pueden emplearse como sub-bases de pavimento, si una vez estabilizados con un material asfáltico, satisfacen el requisito siguiente de valor soporte Florida modificado (para emplearse en obras localizadas en zonas de climas cálidos), determinado según el método de prueba citado en el capítulo 2 del Tomo IX..... 65 kg mínimo
(Tentativo)

C) De afinidad, de acuerdo con lo que fije en cada caso el proyecto.

D) Los materiales asfálticos que se empleen en estabilizaciones de suelos, deberán cumplir con las normas fijadas en el capítulo 5.

E) De grado de compactación en el camino, patio o plataforma. Los materiales indicados en los párrafos (A) y (B) de este inciso, deberán compactarse a noventa y cinco por ciento (95%) mínimo, de su peso volumétrico.

co máximo, obtenido de la mezcla asfáltica, salvo que el proyecto fije un grado diferente de compactación. La compactación será determinada mediante uno (1) de los métodos de prueba citados en el capítulo 2 del Tomo IX.

3-3.4 Los materiales clasificados en el grupo (E) del inciso 3-2.1, para formar sub-bases de pavimento, deberán satisfacer los siguientes requisitos:

- A) En las estabilizaciones de materiales para sub-bases de tipo flexible (suelo modificado), que son aquellas en las que se mezclan el material pétreo con pequeñas cantidades de cemento Portland o de cemento Portland mezclado con puzolana, cuyo objeto es disminuir la plasticidad del material por estabilizar:
 - 1) El material por estabilizar no deberá contener una cantidad de materia orgánica mayor de tres por ciento (3%) determinada por el método de prueba citado en el capítulo 2 del Tomo IX.
 - 2) Los materiales estabilizados, una vez analizados de acuerdo con los métodos de prueba descritos en el capítulo 2 del Tomo IX, deberán satisfacer las normas establecidas en el inciso 3-3.2.
 - 3) Los materiales ya estabilizados, deberán compactarse en el camino, patio o plataforma a noventa y cinco por ciento (95%) mínimo, de su peso volumétrico seco máximo, salvo que el proyecto fije un grado diferente de compactación será determinada mediante uno (1) de los métodos de prueba citados en el capítulo 2 del Tomo IX.
- B) En las estabilizaciones de material para sub-bases de tipo rígido (suelo-cemento), en cada caso particular el proyecto y/o el

Representante fijarán las normas de calidad que deberán cumplirse.

- C) El cemento Portland que se utilice para estabilizar estos materiales deberá satisfacer los requisitos indicados en los apartados 8-2, 8-3, u 8-4.
- D) Las puzolanas que se usen para la estabilización de estos materiales deberán satisfacer los requisitos indicados en el apartado 8-10, o los que, en cada caso, fije el proyecto.
- E) El agua que se use deberá satisfacer los requisitos indicados en el apartado 8-7, o los que, en cada caso, fije el proyecto y/o determine el Representante.

3-3.5 Los materiales clasificados en el grupo (F) del inciso 3-2.1, para formar sub-bases de pavimento, deberán llenar los siguientes requisitos:

- A) Para material antes de estabilizarse:
 - 1) Índice plástico, determinado según los métodos de prueba descritos en el capítulo 2 del Tomo IX... 45 máximo 10 mínimo
 - 2) Límite líquido, determinado según los métodos de prueba descritos en el capítulo 2 del Tomo IX... 45 máximo
 - 3) Contenido de materia orgánica, determinado por el método de prueba citado en el capítulo 2 del Tomo IX .. 3% máximo
- B) Para material estabilizado con cal hidratada, con una mezcla de cal hidratada y puzolana o con una mezcla de cemento Portland y cal hidratada, se deberán satisfacer los que correspondan de los requisitos indicados en el inciso 3-3.2, de acuerdo con los métodos de prueba citados en el capítulo 2 del Tomo IX.
- C) La cal hidratada que se emplee para estabi-

lizaciones deberá reunir los requisitos indicados en el apartado 7-4.

- D) Las puzolanas que se utilicen para la estabilización de estos materiales, deberán satisfacer los requisitos indicados en el apartado 8-10, o los que, en cada caso, fije el proyecto.
- E) El cemento Portland que se utilice para estabilizaciones deberá reunir los requisitos indicados en los apartados 8-2, 8-3, u 8-4.
- F) Los materiales una vez estabilizados, deberán compactarse en el camino, patio y plataforma a noventa y cinco por ciento (95%) mínimo de su peso volumétrico seco máximo, salvo que el proyecto fije un grado diferente de compactación. La compactación será determinada mediante uno (1) de los métodos de prueba citados en el capítulo 2 del Tomo IX.

3-3.6 Los materiales que se mencionan en los párrafos (A), (B) y (C) del inciso 3-2.1, cuando se empleen para bases en pavimentos flexibles en caminos, patios y plataformas y para sub-bases en pavimentos rígidos para patios y plataformas, deberán llenar los requisitos siguientes:

- A) De granulometría, de acuerdo con los métodos de prueba citados en el capítulo 2 del Tomo IX.
 - 1) La curva granulométrica del material deberá quedar comprendida entre el límite inferior de la zona 1 y el superior de la zona 3 de la figura Núm. 3-2. Preferentemente, deberán emplearse materiales cuya curva granulométrica se localice en las zonas 1 ó 2.
 - 2) La curva granulométrica deberá afectar una forma semejante a las de las curvas que limitan las zonas, sin presentar cambios bruscos de pendiente y la relación del porcentaje en peso que pase la malla

Núm. 200 al que pase la malla Núm. 40, no deberá ser mayor de sesenta y cinco centésimos (0.65).

3) El tamaño máximo de las partículas de material no deberá ser mayor de cincuenta (50) milímetros (2") para el material correspondiente al grupo (A) o de treinta y ocho (38) milímetros (1½") para el material correspondiente al grupo (B), ambos del inciso 3-2.1.

B) De límite líquido, contracción lineal y valor cementante, los fijados en el cuadro siguiente, determinados de acuerdo con los métodos de prueba citados en el capítulo 2 del Tomo IX:

CARACTERÍSTICAS	ZONAS EN QUE SE CLASIFICA EL MATERIAL DE ACUERDO CON SU GRANULOMETRÍA		
	1	2	3
Límite líquido, en por ciento.....	30 M ^á x.	30 M ^á x.	30 M ^á x.
Contracción lineal, en por ciento.....	4.5 M ^á x.	3.5 M ^á x.	2.0 M ^á x.
Valor cementante, para materiales angulosos, en kg/cm ²	3.5 M ^í n.	3.0 M ^í n.	2.5 M ^í n.
Valor cementante, para materiales redondeados y lisos, en kg/cm ²	5.5 M ^í n.	4.5 M ^í n.	3.5 M ^í n.

Cuando la curva granulométrica del material se aloje en dos o más zonas, en la parte correspondiente a las fracciones comprendidas entre las mallas Núms. 40 y 200, la construcción lineal deberá considerarse para la zona en la cual quede alojada la mayor

longitud de dicha parte de la curva, excepto cuando la fracción que pase la malla Núm. 200 sea menor de quince por ciento (15%), en cuyo caso la zona considerada será aquella en la que se aloje la mayor longitud de la totalidad de la curva.

- C) De valor relativo de soporte estándar, equivalente de arena e índice de durabilidad, los fijados en los cuadros que figuran a continuación, determinados de acuerdo con los métodos de prueba citados en el capítulo 2 del Tomo IX.

1) En caminos:

ESPECIFICACIONES GENERALES DE CONSTRUCCION

INTENSIDAD DE TRANSITO EN AMBOS SENTIDOS	VALOR RELATIVO DE SOPORTE ESTANDAR	EQUIVALENTE DE ARENA (Tentativo)	INDICE DE DURABILIDAD (Tentativo)
Hasta 1 000 vehículos pesados al día.....	80 Mín.	30 Mín.	35 Mín.
Más de 1 000 vehículos pesados al día.....	100 Mín.	50 Mín.	40 Mín.

2) En patios y plataformas:

PESO TOTAL DE CAMIONES	VALOR RELATIVO DE SOPORTE ESTANDAR	EQUIVALENTE DE ARENA (TENTATIVO)	INDICE DE DURABILIDAD (TENTATIVO)
Hasta 20 toneladas.....	80 Mín.	35 Mín.	35 Mín.
Más de 20 toneladas.....	100 Mín.	50 Mín.	40 Mín.

- D) De afinidad con el asfalto, de acuerdo con lo fijado en la tabla del inciso 4-3.5.
- E) De grado de compactación en el camino, patio o plataforma. El material deberá compactarse al noventa y cinco por ciento (95%) mínimo de su peso volumétrico seco máximo, salvo que el proyecto fije un grado diferente de compactación. La compactación será determinada mediante uno (1) de los métodos de prueba citados en el capítulo 2 del Tomo IX.

3-3.7 Los materiales clasificados en el grupo (D) del inciso 3-2.1, que contengan predominantemente partículas que pasen por la malla Núm. 4 (más del 70%), cuando se empleen para bases en caminos de tránsito menor de mil (1000) vehículos pesados diarios y para sub-bases en pavimentos rígidos para patios y plataformas, deberán llenar los requisitos siguientes:

- A) Los materiales que acusen un valor para la construcción lineal mayor de los límites señalados en el inciso 3-3.6, pueden utilizarse como base de pavimento, si una vez estabilizados con algún material asfáltico, satisfacen los requisitos siguientes de valor de estabilidad, expansión y absorción; determinados según los métodos de prueba citados en el capítulo 2 del Tomo IX (Prueba Hubbard Field Modificada, para estabilizaciones):

- 1) Valor de estabilidad 180 Kg mínimo
(Tentativo)
- 2) Expansión..... 2% máximo
(Tentativo)
- 3) Absorción 5% máximo
(Tentativo)

- B) Los materiales no plásticos, como las are-

nas, pueden emplearse como bases de pavimento, si una vez estabilizados con un material asfáltico, satisfacen el requisito siguiente de valor soporte Florida modificado (para emplearse en obras localizadas en zonas de climas cálidos), determinado según el método de prueba citado en el capítulo 2 del Tomo IX..... 65 kg mínimo (Tentativo)

- C) De grado de compactación en el camino, patio o plataforma. La mezcla asfáltica elaborada con los materiales indicados en los párrafos (A) y (B) de este inciso, deberá compactarse a noventa y cinco por ciento (95%) mínimo, de su peso volumétrico seco máximo, salvo que el proyecto fije un grado diferente de compactación. La compactación será determinada mediante uno (1) de los métodos de prueba citados en el capítulo 2 del Tomo IX.
- D) Los materiales asfálticos que se empleen en las mezclas para base indicadas en los párrafos (A) y (B) de este inciso, deberán cumplir con las normas fijadas en el capítulo 5 de este Tomo.

3-3.8 Los materiales clasificados en el grupo (E) del inciso 3-2.1, cuando se empleen para bases en pavimentos en caminos, patios y plataformas y para sub-bases de losas de concreto hidráulico en patios y plataformas, deberán satisfacer los requisitos siguientes:

- A) En las estabilizaciones de materiales para bases de tipo flexible (suelo modificado), que son aquellas en las que se mezcla el material pétreo con pequeñas cantidades de cemento Portland o de cemento Portland mezclado con puzolanas, cuyo objeto es disminuir la plasticidad del material por estabilizar:

- 1) El material por estabilizar no deberá contener una cantidad de materia orgánica mayor de tres por ciento (3%), determinada por el método de prueba citado en el capítulo 2 del Tomo IX.
 - 2) Los materiales estabilizados, una vez analizados de acuerdo con los métodos de prueba descritos en el capítulo 2 del Tomo IX, deberán satisfacer las normas establecidas en el inciso 3.3.6.
 - 3) Los materiales ya estabilizados, deberán compactarse en el camino, patio o plataforma a noventa y cinco por ciento (95%) mínimo, de su peso volumétrico seco máximo, salvo que el proyecto fije un grado diferente de compactación. La compactación será determinada mediante uno (1) de los métodos de prueba citados en el capítulo 2 del Tomo IX.
- B) En las estabilizaciones de materiales para bases de tipo rígido (suelo-cemento), en cada caso particular el proyecto y/o el Representante fijarán las normas de calidad que deberán cumplirse.
- C) El cemento Portland que se utilice para estabilizaciones, deberá satisfacer los requisitos indicados en los apartados 8-2, 8-3, u 8-4.
- D) Las puzolanas que se utilicen para la estabilización de estos materiales, deberán satisfacer los requisitos indicados en el apartado 8-10, o los que, en cada caso, indique el proyecto.
- E) El agua que se use deberá satisfacer los requisitos indicados en el apartado 8-7, o los que, en cada caso, indique el proyecto.
- 3-3.9** Los materiales clasificados en el grupo (F) del inciso 3-2.1, cuando se empleen para bases en pavimentos de caminos, patios y plataformas, y

para sub-bases de losas de concreto hidráulico en patios y plataformas, deberán llenar los requisitos siguientes:

- A) Para material antes de estabilizarse:
 - 1) Índice plástico, determinado según los métodos de prueba descritos en el capítulo 2 del Tomo IX 45 máximo
10 mínimo
 - 2) Límite líquido, determinado según los métodos de prueba descritos en el capítulo 2 del Tomo IX 45 máximo
 - 3) Contenido de materia orgánica, determinado por el método de prueba citado en el capítulo 2 del Tomo IX 3% máximo
- B) Para material estabilizado con cal hidratada, con una mezcla de cal hidratada y puzolana o con una mezcla de cemento Portland y cal hidratada, se deberán satisfacer los que correspondan de los indicados en el inciso 3-3.6, de acuerdo con los métodos de prueba citados en el capítulo 2 del Tomo IX.
- C) La cal hidratada que se emplee para estabilizaciones, deberá reunir lo indicado en el apartado 7-5.
- D) Las puzolanas que se utilicen para la estabilización de estos materiales, deberán satisfacer los requisitos indicados en el apartado 8-10, o los que, en cada caso, fije el proyecto.
- E) El cemento Portland que se utilice para estabilizaciones, deberá satisfacer los requisitos indicados en los apartados 8-2, 8-3, u 8-4.
- F) Los materiales una vez estabilizados, deberán compactarse en el camino, patio o plataforma a noventa y cinco por ciento (95%)

mínimo de su peso volumétrico seco máximo, salvo que el proyecto fije un grado diferente de compactación. La compactación será determinada mediante uno (1) de los métodos de prueba citados en el capítulo 2 del Tomo IX.

3-3.10 Los materiales clasificados en el grupo (D) del inciso 3-2.1, pueden emplearse para la construcción de bases asfálticas y/o capas de renivelación, ambas también llamadas bases negras; además, se pueden emplear para bacheos. En todos estos casos los materiales pétreos deberán reunir los requisitos siguientes:

A) De granulometría, de acuerdo con los métodos de prueba citados en el capítulo 2 del Tomo IX:

- 1) La curva granulométrica del material deberá quedar comprendida entre el límite inferior de la zona 1 y el superior de la zona 2, preferentemente dentro de la zona 1, de la figura Num. 3-3.
- 2) La curva granulométrica deberá afectar una forma semejante a la de las curvas que limitan las zonas, por lo menos en dos tercios ($\frac{2}{3}$) partes de su longitud, sin presentar cambios bruscos de pendiente.
- 3) El tamaño máximo de las partículas del material no deberá ser mayor de treinta y ocho (38) milímetros ($1\frac{1}{2}$ ") ni de dos tercios ($\frac{2}{3}$) del espesor compacto de la capa de base o de renivelación.

B) De contracción lineal, de acuerdo con los métodos de prueba citados en el capítulo 2 del Tomo IX..... 3% máximo

C) De afinidad con el asfalto, de acuerdo con lo fijado en la tabla del inciso 4-3.5.

ZONAS DE ESPECIFICACIONES GRANULOMETRICAS

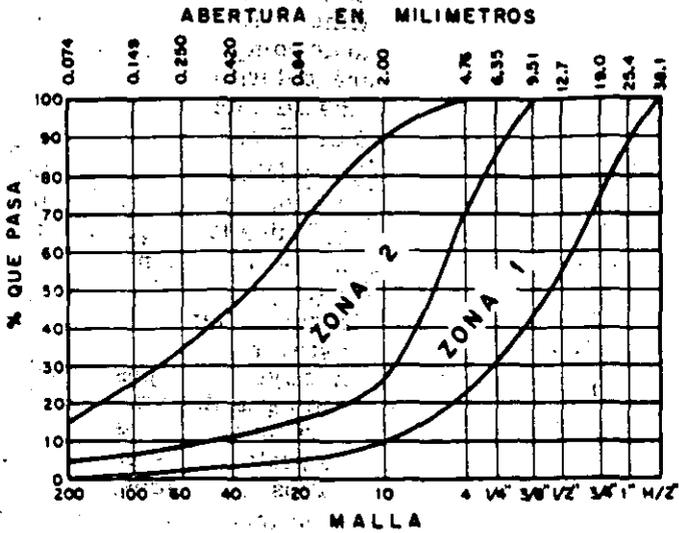


FIGURA NUMERO 3-3

- D) Desgaste Los Angeles, determinado de acuerdo con los métodos de prueba descritos en el capítulo 2 del Tomo IX..... 45% máximo
- E) La mezcla, cuando se elabore con cemento asfáltico, deberá cumplir con lo indicado en el párrafo (A) del inciso 5-4.3, y además con las normas siguientes:
- 1) Tolerancia del contenido de asfalto con respecto al porcentaje de proyecto, en peso. ± 5%
 - 2) Contenido de agua libre permitido, con respecto al peso de la mezcla, máximo 1%
 - 3) Deberá tenderse y compactarse a las temperaturas indicadas en los incisos 10-4.12, y 10-4.15, respectivamente, del Tomo X.

4) Deberá compactarse al noventa y cinco por ciento (95%) de su peso volumétrico seco máximo, salvo que el proyecto fije otro grado de compactación. La compactación será determinada mediante uno (1) de los métodos de prueba citados en el capítulo 5 del Tomo IX.

F) La mezcla, cuando se elabore con asfaltos rebajados o con emulsiones, deberá cumplir con lo indicado en los párrafos (B) o (C) del inciso 5-4.3, y además con las normas siguientes:

1) Tolerancia del contenido de cemento asfáltico con respecto al de proyecto, en peso $\pm 10\%$

2) Contenido de agua libre permitido con respecto al peso de la mezcla (sólo para el caso de asfaltos rebajados), máximo 1%

3) La relación de disolventes a cemento asfáltico, en peso (valor K), para asfaltos rebajados y emulsiones asfálticas con disolventes, estará comprendida entre cinco centésimos y ocho centésimos (0.05-0.08).

4) Deberán compactarse al noventa y cinco por ciento (95%) de su peso volumétrico seco máximo, salvo que el proyecto fije otro grado de compactación. La compactación será determinada mediante uno (1) de los métodos de prueba citados en el capítulo 5 del Tomo IX.