

31
reje.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Escuela Nacional de Estudios Profesionales
Aragón

**ASPECTOS FUNDAMENTALES DE LOS AGREGADOS PETREOS PARA:
CONCRETO, VIAS FERREAS Y TERRESTRES**

T E S I S
para obtener el Título de
INGENIERO CIVIL
P r e s e n t a n

FERNANDO MALVAEZ MONTESANO
SALOMON OVIEDO MEDRANO



ENEP
ARAGON

Asesor de Tesis: José Paulo Mejorada Mota

México, D. F. Noviembre 1994

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
ARAGON DE
MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ARAGON
DIRECCION

FERNANDO MALVAEZ MONTESANO
P R E S E N T E .

En contestación a la solicitud de fecha 13 de junio del año en curso, presentada por Salomón Oviedo Medrano y usted, relativa a la autorización que se le debe conceder para que el señor profesor, Ing. JOSE PAULO MEJORADA MOTA pueda dirigirle el trabajo de Tesis denominado " ASPECTOS FUNDAMENTALES DE LOS AGREGADOS PETREOS PARA: CONCRETOS, VIAS FERREAS Y VIAS TERRESTRES ", con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
San Juan de Aragón, Mex., 30 de julio de 1990
EL DIRECTOR

M en I CLAUDIO C. MERRIFIELD



H

- c c p Ing. Jorge F. Paniagua Ballinas, Jefe de la Unidad Académica.
- c c p Ing. Raúl Barrón Vera, Coordinador de Ingeniería (21).
- c c p Ing. Manuel Martínez Ortiz, Jefe del Departamento de Servicios Escolares.
- c c p Ing. José Paulo Mejorada Mota, Asesor de Tesis.

CCMC'JFPB'Ha.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ARAGON
DIRECCION

SALOMON OVIEDO MEDRANO
P R E S E N T E .

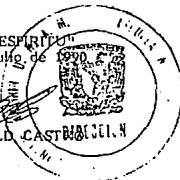
En contestación a la solicitud de fecha 13 de junio del año en curso, presentada por Fernando Malvaez Montesano y usted, relativa a la autorización que se le debe conceder para que el señor profesor, Ing. JOSE PAULO MEJORADA MOTA pueda dirigirle el trabajo de Tesis denominado " ASPECTOS FUNDAMENTALES DE LOS AGREGADOS PETREOS PARA: CONCRETOS, VIAS FERREAS Y VIAS TERRESTRES ", con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
San Juan de Aragón, Mex., 30 de julio de 1990
EL DIRECTOR

Claudio Z. Merrifield
MCCM CLAUDIO Z. MERRIFIELD CASTRO



A

- c c p Ing. Jorge F. Paniagua Ballinas, Jefe de la Unidad Académica.
- c c p Ing. Raúl Barrón Vera, Coordinador de Ingeniería (21).
- c c p Ing. Manuel Martínez Ortiz, Jefe del Departamento de Servicios Escolares.
- c c p Ing. José Paulo Mejorada Mota, Asesor de Tesis.

CCMC'JFPB'11a.

A Mi Universidad

A Mi Escuela

Por Brindarme La Oportunidad

*A Mis Maestros
Con Agradecimiento Y Respeto*

*A Mis Padres Y Hermanos
Con Profundo Amor Y Agradecimiento*

A Mi Esposa, A Mis Hijos

*Por El Apoyo E Impulso Que Me Motivo A Concluir Este
Trabajo*

A Mis Compañeros Y Amigos

*Que Sin Su Ayuda Habiera Sido Difícil Concluir Este
Trabajo.*

Gracias

ASPECTOS FUNDAMENTALES DE LOS AGREGADOS PETREOS PARA: CONCRETO, VIAS FERREAS Y TERRESTRES.

INDICE GENERAL

CAPITULO	C O N T E N I D O	PAGINA
I	INTRODUCCION	1
	I.1 OBJETIVOS	2
	I.2 ALCANCES	3
II	ANTECEDENTES GENERALES DE LOS AGREGADOS PETREOS	4
	II.1 ANTECEDENTES HISTORICOS	8
III	PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS DE AGREGADOS PETREOS	10
	III.1 COMPOSICION MINERALOGICA	17
IV	CLASIFICACION DE LOS AGREGADOS PETREOS	21
	IV.1 SEGUN SU UTILIZACION	31
	IV.2 DE ACUERDO A SUS PROPIEDADES MECANICAS	36
V	LOCALIZACION DE BANCOS DE EXPLOTACION	47
	V.1 MEDIOS DE EXPLOTACION	50
	V.2 CLASIFICACION DE LOS BANCOS	51
VI	EQUIPOS PARA LA OBTENCION DE BANCOS DE EXPLOTACION	54
	VI.1 MAQUINARIA	55
	VI.2 EXPLOSIVOS	57
	VI.3 ACARREOS	60
VII	EQUIPOS PARA TRITURACION	62
	VII.1 EQUIPOS DE TRITURACION PRIMARIA	67
	VII.2 EQUIPOS DE TRITURACION SECUNDARIA Y TERCERIA	70
VIII	ANALISIS DE COSTO HORARIO DE MAQUINARIA DE EQUIPO DE TRITURACION	77
IX	ANALISIS DE COSTO DE PRODUCCION DE AGREGADOS PETREOS DE: GRAVA, ARENA, BASE, SUB-BASE Y BALASTO	122

CAPITULO	C O N T E N I D O	PAGINA
X	AGREGADOS PETREOS PARA EL CONCRETO _____	145
	X.1 MATERIALES PESADOS _____	162
	X.2 MATERIALES LIGEROS _____	173
	X.3 ESPECIFICACIONES GENERALES DE LOS AGREGADOS PETREOS EN EL CONCRETO _____	178
	X.4 APLICACIONES Y EJEMPLOS _____	198
XI	AGREGADOS PETREOS PARA VIAS TERRESTRES _____	200
	XI.1 UTILIZACION DE AGREGADOS Y ZONAS EN QUE SE UTILIZAN _____	202
	XI.2 ESPECIFICACIONES GENERALES DE LOS AGREGADOS PETREOS _____	206
	XI.3 PRUEBAS PARA LOS AGREGADOS UTILIZADOS EN VIAS TERRESTRES.	223
	XI.4 APLICACIONES Y EJEMPLOS _____	263
XII	AGREGADOS PETREOS PARA VIAS FERREAS _____	268
	XII.1 AGREGADOS UTILIZADOS PARA SU CONSTRUCCION _____	274
	XII.2 ESPECIFICACIONES GENERALES DE LOS AGREGADOS PETREOS _____	278
	XII.3 PRUEBAS PARA LOS AGREGADOS UTILIZADOS EN VIAS FERREAS _____	287
	XII.4 APLICACIONES Y EJEMPLOS _____	291
XIII	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES _____	292
	BIBLIOGRAFIA _____	294

CAPITULO I

I.- INTRODUCCION.

La historia de los trabajos en rocas está escrita en los corazones de los hombres que combatiéron y vencieron los obstáculos de la naturaleza. Los tipos más antiguos de obras en rocas fueron los que hizo el hombre para protegerse a sí mismo excavando un refugio en la ladera de un acantilado. La historia escrita indica que los romanos aplicaron métodos "avanzados" para romper las formaciones rocosas, tanto para la construcción de caminos como para la explotación de canteras, los antiguos egipcios construyeron las pirámides disgregando densas disposiciones rocosas a la forma de bloques macizos para dar forma a las grandes pirámides.

Las primeras obras de cimentación se hicieron casi enteramente mediante fuerza bruta, que seguramente demandó grandes esfuerzos de los hombres que las realizaron.

El tema del presente trabajo, fue elegido en razón de que, conociendo la problemática que se tiene en el área de ingeniería civil, respecto a la falta de información teórica en lo relacionado a la extracción, utilización, aprovechamiento de los agregados pétricos y, de que los profesionistas que los emplean, necesitan una información detallada y práctica para sus fines, en la que deben incluir todos los datos referentes a las rocas.

Cabe destacar que dentro de esta rama de la Ingeniería, tiene participación importante el Ingeniero Geólogo que es el que determina donde hallar las rocas y es el Ingeniero Civil el que define como obtenerlas y emplearlas, es este último el que aprovecha primordialmente las rocas y suelos, adquiriendo los conocimientos a través de una dura experiencia. Es esencialmente por esta razón que con esta obra se pretende colaborar, proporcionando dicha información.

Finalmente, es importante señalar que durante los últimos cincuenta años, se dio origen a una nueva rama de la ciencia: La Mecánica de Suelos. La cual explica el principio de la resistencia de los suelos. Ya que anteriormente, las rocas eran consideradas el material duro encontrado en excavaciones, algunas veces se utilizaba como base sólida para cimentaciones de las construcciones. En otras ocasiones provocaba, molestias por lo difícil y caro de excavar o por su comportamiento imprevisible cuando se les encontraba en las excavaciones.

I.1.- OBJETIVOS.

En el pasado no se daba la importancia requerida a los problemas que se presentaban al trabajar con rocas, este reconocimiento se da a partir de numerosos fracasos y fallas de diversas obras de ingeniería, con pérdida de vidas y daños cuantiosos, esto hizo evidente entre los ingenieros civiles, la idea de que no es suficiente tener cuidado con el diseño de la estructura en sí misma para tener una garantía de seguridad.

Para el conocimiento del comportamiento de los productos pétreos (mecánica de rocas) y, debido a que las construcciones son cada vez más grandes y aumentan las dificultades para determinar el comportamiento de las mismas, es necesario llevar a cabo una serie de análisis de estos, en los que se determine su resistencia, calidad y propiedades para, de ésta manera, utilizarlas adecuadamente.

La generación del presente trabajo, surge a partir de una inquietud, dada la necesidad de información y estudios que engloben de manera conjunta lo referente a la producción de agregados pétreos, partiendo desde sus orígenes, características, obtención, explotación y usos.

Esta inquietud es derivada principalmente de la escasa información que en su momento se tuvo. En este sentido se pretende colaborar en parte resolviendo esta carencia y sirviendo de apoyo a los profesionistas dedicados al área de construcción.

I.2.- ALCANCES.

En la mayor parte de las áreas o ramas de la Ingeniería, se tiene relación directa con las rocas (mecánica de rocas, edificación, caminos, puentes, aeropuertos, ferrocarriles, túneles, ingeniería hidráulica, puertos, entre otros).

Con el presente trabajo, se pretende dar un conocimiento sistematizado de los materiales, su existencia o localización y sus propiedades. Para esto, la tesis consta de doce capítulos, en los cuales se abarca desde la introducción hasta las conclusiones. En el capítulo dos, se describen los antecedentes de los agregados pétreos, considerando desde el origen de la tierra y los materiales que la constituyen. De igual manera, en el capítulo tres, se señalan las propiedades físicas y químicas de los agregados pétreos, resaltando las que se consideran de primordial relevancia para el Ingeniero Civil así como una breve semblanza de la constitución mineralógica de estos materiales. En el capítulo cuatro, se menciona la forma en que se clasifican las rocas, de acuerdo a su uso en las áreas de la Ingeniería Civil. El capítulo cinco, describe lo que son los bancos de explotación de minerales pétreos, la forma más idónea de trabajarlos, los medios de explotación y su clasificación. En el capítulo seis, se da una breve descripción de la maquinaria que se emplea para la extracción de rocas de los bancos de explotación. De igual manera, en el capítulo siete se señalan los equipos más importantes que se requieren para la trituración de rocas de acuerdo a la utilización de las mismas. En los capítulos ocho y nueve, se realiza un análisis del costo horario de maquinaria y de producción de agregados pétreos más destacados en la industria de la construcción. Referente a los capítulos diez, once y doce, es en éstos donde se trata más a fondo el contenido del presente trabajo, describiendo a detalle, los componentes pétreos para la producción de los diferentes tipos de concretos así como los empleados para la construcción de vías terrestres y férreas, señalando en cada uno de los casos las especificaciones generales para su utilización, así como las pruebas empleadas para el control de calidad. Se dan ejemplos y aplicaciones de la utilización de los agregados pétreos. Por último, en el capítulo trece se dan recomendaciones de las experiencias obtenidas durante el desarrollo del presente trabajo.

CAPITULO II.

II. ANTECEDENTES GENERALES DE LOS AGREGADOS PETREOS.

La tierra no es un cuerpo rígido y estático, se encuentra en continuo estado de cambio, tanto en su interior como en la superficie. Fuerzas internas actúan creando rocas nuevas, mientras que en la superficie otras destruyen las formadas en el pasado.

En la actualidad, se calcula que la tierra tiene una edad de por lo menos cuatro mil quinientos millones de años. La edad de algunas rocas de la superficie terrestre es de cuando menos, tres mil quinientos millones de años, según se ha determinado usando los métodos basados en la desintegración radiactiva de los isótopos naturales encontrados en los minerales de las rocas.

Se considera que el interior de la tierra está compuesto de capas concéntricas de material rocoso, la corteza y el manto, que envuelven un núcleo central (Fig. II.1). Se cree que el movimiento de éste material, en el interior de la tierra, es la causa de algunos de los procesos que se observan en la superficie.

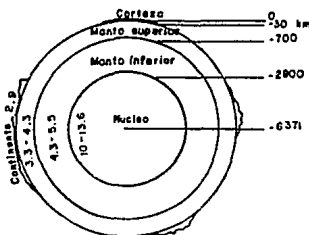


FIG. II.1.

El interior de la tierra. La corteza está dibujada con un espesor exagerado para mostrar su ensanchamiento bajo los continentes. Se indican las densidades relativas.

La historia de la tierra se remonta a tiempos lejanos que abarcan períodos del orden de millones de años, durante los cuales ocurrieron eventos que dejaron su huella en las estructuras de las capas superiores de la corteza terrestre. Estas huellas, aún pueden verse hoy en día y abarcan la actual distribución de los continentes y montañas que han sido desgastadas por la erosión, discordancias y el registro de la evolución y extinción de ciertas formas de vida animal y vegetal preservadas en las rocas como fósiles.

Todos los procesos de formación, movimiento y desintegración de las rocas hicieron que las que se encuentran en la superficie (afloramientos), sean de diferentes tipos y tengan propiedades físicas definidas. Las propiedades geotécnicas importantes son: densidad relativa, permeabilidad, resistencia y grado de intemperismo.

Los movimientos en la corteza terrestre, generan fuerzas de compresión y tensión dentro de las masas rocosas. El movimiento ascendente produce fracturas de tensión en las rocas duras y como la acción de las fuerzas es radial, dichas fracturas se forman desde la longitud del arco que es mayor, es decir, en la superficie y cerca de ella (Fig. II.2), las fracturas abiertas, por lo general, sólo se aprecian en los últimos diez metros de la roca pero, la roca que sirve de apoyo puede tener muchos planos débiles, que sólo se convierten en discontinuidades cuando la roca se encuentra cerca de la superficie y tiene la libertad de expandirse. La liberación de la fuerza de compresión provocada por el peso de las rocas de las capas superiores, también hace que se expanda en forma radial hacia afuera, cuando alcanza la cima de la superficie, formando más roturas con dirección predominantemente horizontal. Muchas de las rocas duras que están en la superficie, a menudo, se rompen con facilidad en fragmentos de formas geométricas regulares, rombos, cubos y romboedros, por efecto de las fuerzas que actúan sobre la roca. Algunas rocas, se rompen en fragmentos muy irregulares porque en varias épocas del pasado fueron sometidas a una fuerte presión aplicada en diferentes tiempos y direcciones que han dejado sus huellas sobre la roca.

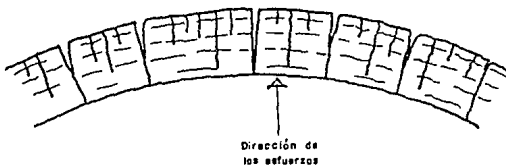


FIG. II.2.

Fracturas de tensión formadas en rocas que se elevan y expanden. El examen de las rocas observadas en una excavación profunda, muestra que la cantidad de discontinuidades por unidad de volumen, decrece con la profundidad y la roca profunda parece ser más sólida. La única excepción es la caliza, que puede ser disuelta fácilmente por el agua de la superficie y que, por lo común, contiene muchas fisuras.

La tendencia natural de las rocas a fragmentarse cerca de la superficie, es a causa de una mayor área por unidad de volumen expuesta a la intemperie y el agua puede penetrar en las discontinuidades. El intemperismo es, básicamente, un proceso químico en climas húmedos.

En climas fríos o de altas temperaturas y en las montañas, la alternancia del congelamiento y el deshielo, el agua rompe la roca debido a la expansión de ésta al congelarse.

La fuerza del viento, puede ser tan grande como para transportar partículas de roca producidas por otros procesos de intemperismo. Los mayores efectos de la erosión eólica, se observan en climas

donde el viento puede soplar tan fuerte como para transportar partículas finas de roca, granos de arena o polvo. Este transporte, denominado deflación, tiene un efecto abrasivo.

El resultado de todos estos procesos, es la creación de una masa rocosa suelta, que se deposita sobre la superficie de una roca sólida. El límite entre las dos diferentes masas, se llama cabecera de la roca (Fig. II.3). El material de la superficie, no siempre es originario del lugar donde se encuentra. Dicho material pudo ser transportado desde zonas por ríos, glaciares o el viento, formando depósitos fluviales, glaciales o eólicos, respectivamente. El material debajo de la cabecera de la roca sólida no es necesariamente roca pero tendrá propiedades mecánicas diferentes de las que tiene la roca intemperizada de la capa superior.

Esta descripción de los procesos terrestres, explica a grandes rasgos el origen del material rocosa y la estructura de las rocas que el Ingeniero Civil encontrará en el curso de su trabajo.

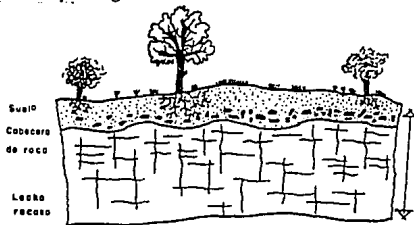


FIG. II.3.

Zona superficial intemperizada sobre la roca en la que se muestran diaclasas de expansión.

Las rocas que resultan a partir de los fenómenos volcánicos, dependen de dos factores: La viscosidad del magma en las zonas próximas a la superficie y el contenido de productos volátiles que están en disolución y se liberan en la superficie en forma de gases.

La lava sale del cráter a temperaturas que oscilan alrededor de los mil grados centígrados, en estas condiciones, su viscosidad, que es el factor principal que condiciona el mecanismo de erupción, de su composición química.

Los magmas ácidos o de carácter intermedio, relativamente ricos en sílice, son muy viscosos y tienden a solidificarse en las inmaduraciones del cráter o incluso en la misma "chimenea" volcánica, taponándola e impidiendo la salida de nuevas masas. En casos como éste, los gases que se desprenden del magma, se acumulan en el interior del volcán y adquieren presiones tan formidables, que llegan a provocar gigantescas explosiones.

En cambio, los magmas básicos son mucho más fluidos, sus lavas tienden a surgir libremente por los cráteres y se desparraman por las laderas del cono volcánico; a su vez, los gases se desprenden con facilidad, sin provocar explosiones de importancia.

El contenido de productos volátiles también influye en el mecanismo de la erupción; así, un magma poco viscoso y con poca proporción de gases origina, casi exclusivamente, coladas (1), mientras que si lleva abundantes gases disueltos al desprenderse, pulverizan la lava hacia el exterior, formando por su acumulación, mantos de productos piroclásticos.

Las rocas que se originan como consecuencia de la actividad volcánica, corresponden a dos grupos fundamentales:

- a) Rocas piroclásticas, de carácter fragmentario, formadas a expensas de los materiales sólidos arrojados por el volcán o por proyección en la atmósfera de lava líquida, que se consolida total o parcialmente antes de caer en el suelo. Se considera de igual manera las bombas volcánicas, las cenizas volcánicas, tobas volcánicas, brechas de expansión y conglomerados volcánicos.
- b) Rocas volcánicas propiamente dichas, formadas al solidificarse la lava expulsada por el volcán, que pueden ser compactas si los gases que existían en el magma, se expulsaron por completo antes del enfriamiento, pero en la mayoría de los casos parte de los gases que se desprenden quedan incluidos en forma de burbujas esféricas o alargadas, por deformación durante el desplazamiento de la colada.

Como el enfriamiento del magma, en la mayoría de los casos, es muy rápido en las rocas volcánicas, su grado de cristalización es menor que en las rocas plutónicas o filonianas; en muchos casos aunque no siempre parte del magma queda sin cristalizar, formando una sustancia llamada vidrio volcánico, por su aspecto externo, según la proporción de vidrio que existe en la roca, se distinguen las siguientes texturas.- vítrea, porfídico-vítrea, porfídico-hipocristalina, y texturas porfídico-holocristalinas.

"El magma fluido, sin los gases, cuando es capaz de fluir por la superficie terrestre, recibe el nombre de lava; la masa de lava que corre como un río incandescente siguiendo la pendiente general del terreno, se denomina colada, y puede alcanzar decenas de kilómetros" (1).

II.1. ANTECEDENTES HISTORICOS DE LA UTILIZACION DE LOS AGREGADOS PETREOS.

Desde hace aproximadamente dos y medio millones de años, los antecesores del hombre moderno, empezaron a utilizar las rocas como utensilios que le permitían ampliar las posibilidades de su propio cuerpo, las primeras herramientas las fabricó golpeando lascas de roca hasta afilarlas. Pero es el "homosápiens", hace aproximadamente doscientos cincuenta mil años, el que elabora armas más sofisticadas como son: puntas de flecha y lanzas afiladas, así como diversos utensilios, todos a partir de la roca. Durante este período evolutivo, el hombre se protegió de las inclemencias de la naturaleza en cuevas naturales. Posteriormente, labró cuevas en la roca, principalmente en zonas de acceso difícil, para tener mayor protección. De igual manera, tuvieron la habilidad para construir monumentos (tumbas y templos), a partir de bloques de gran peso, con los que formaban marcos de hasta sesenta y cinco toneladas.

Las primeras muestras de roca labrada en forma de bloques para edificar murallas, se tienen desde hace aproximadamente seis mil años.

Una de las civilizaciones de la antigüedad que más vestigios dejaron, fue la de los Egipcios, mismos que construyeron gigantescas obras de Ingeniería como las pirámides, los enormes templos y diques de regulación, para la edificación de estas obras tuvieron que cortar enormes bloques de roca mismos que labraban con gran precisión utilizando el ingenio y herramientas muy rudimentarias, desplazando estos elementos sobre rodillos, empleando solamente el esfuerzo de cientos de hombres. De igual forma, esta cultura desarrolló la habilidad de emplear el ladrillo para la construcción de viviendas, lo que les hacía más agradable el vivir en condiciones extremas.

En la cultura Griega, se dio impulso al desarrollo de carreteras y viaductos a base de rocas, con las cuales se hicieron más accesibles las comunicaciones entre las ciudades, esto fue entre los años 1950 a 1400 antes de Cristo. De igual manera emplearon bloques de roca para la construcción de grandes ciudades y templos elaborados a partir de rocas ornamentales (mármol).

Con la decadencia de la cultura Griega, surge el Imperio Romano del cual, a la fecha, se tienen obras civiles de gran importancia, dentro de las que destacan el Acueducto de Nimes, mismo que está construido de bloques de piedra y data del año catorce de nuestra era, el diseño del puente es de arquería y tiene una altura de hasta cincuenta y cuatro metros. De igual forma, edificaron grandes monumentos y ciudades en todos empleando la roca, como elemento principal, así como altas murallas de protección e importantes vías de comunicación que en la época actual son empleadas.

En la América precolombina, también se desarrolló la utilización de la roca para la edificación de viviendas, monumentos y utensilios de uso cotidiano. De lo anterior, tenemos grandes muestras de ingeniería como son las impresionantes pirámides Mayas y Aztecas y de las diversas culturas de Mesoamérica que construyeron enormes ciudades, empleando como elemento principal la roca labrada. De igual forma realizaron colosales monumentos como: Las Cabezas Olmecas o Los Atlantes de Tula, El Arco Maya, etc..

A partir de la edad media, se da un impulso gigantesco a la construcción de enormes ciudades, con todos los servicios, grandes carreteras hechas a base de lajas de piedra tipo adoquín; edificios construidos con rocas ligadas con aglomerante tipo argamas, etc..

Con el desarrollo del ferrocarril, se da inicio a la revolución industrial, utilizando como base de las vías los agregados pétreos, así como el balasto en el asiento de los rieles, para absorber las tensiones del mismo. Lo anterior, es a partir del año 1825. Es, en esta época, cuando se descubre el "clinker", elemento esencial para la elaboración de cemento, el cual permite la edificación de obras de gran envergadura en combinación con el acero. Asimismo, se realizaron los descubrimientos y diversos usos del petróleo, el cual ayuda al desarrollo de los caminos empleando asfaltos, en combinación con agregados pétreos.

CAPITULO III.

III.- PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS DE LOS AGREGADOS PETREOS.

La roca es una mezcla de ciertas especies minerales, formadas por la naturaleza. En una roca dura, estos minerales están firmemente unidos. Las formas, tamaños y orientación (determinada o irregular), establece la resistencia o consistencia de la roca. La roca fragmentada, no consolidada, está constituida también por distintos minerales, principalmente variedades de minerales arcillosos, hidróxidos de hierro y cantidades variables de minerales originales, parcialmente fragmentados. Algunos son muy resistentes a la desintegración en determinados climas; otros, se desintegran con relativa facilidad. La masa total rocosa, es una mezcla de minerales originales (primarios) no descompuestos y minerales secundarios producidos por los procesos químicos de descomposición o alteración.

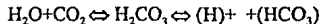
El análisis químico de las rocas que se encuentra en las capas superiores de la corteza terrestre, indica que casi todas se componen de los siguientes elementos y se presentan según su importancia: Oxígeno -silice - aluminio hierro - potasio - sodio - calcio - magnesio - titanio y fósforo. Los primeros cuatro constituyen, aproximadamente, el 80% de la composición media de las rocas. Los otros metales: Plomo, zinc, cobre, magnesio, estaño, oro, plata y platino son, en general, elementos raros.

Dentro de las rocas de precipitación química tenemos, principalmente, a las sedentarias que destacan por su abundancia y están constituidas, esencialmente, por carbonato de calcio (rocas carbonatadas) y el carbonato de calcio-magnesio denominadas, respectivamente, calcitas y dolomías.

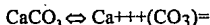
Estas rocas son extraordinariamente abundantes en las series sedimentarias y constituyen un porcentaje muy considerable de todos los sedimentos que hoy se encuentran en la superficie terrestre.

Las calizas, que son las más importantes, proceden en último término de la precipitación del calcio y el anhídrido carbónico que existe en la disolución de las aguas continentales u oceánicas; el calcio, a su vez, procede de la alteración de los minerales de las rocas plutónicas que tengan este elemento o la disolución de rocas calcáreas formadas en una época anterior; el anhídrido carbónico, del que existe en la atmósfera, producido fundamentalmente en la oxidación de los seres vivos o descomposición de sus residuos y de los gases expulsados por los volcanes.

Mecanismo de precipitación de los carbonatos.- La proporción de CO₂ que puede disolverse en las aguas, depende de varios factores externos, entre otros: La presión y las temperaturas. La presión atmosférica aumenta la solubilidad, mientras que la temperatura, la disminuye. El anhídrido carbónico contenido en el agua origina ácido carbónico y éste último, a su vez, se disocia en iones H⁺ y (CO₃H)⁻, de la siguiente forma.



Como consecuencia del aumento de los iones H^+ en el agua, ésta tiene carácter ácido y en estas condiciones, la proporción de iones Ca^{++} que puede existir en la solución, es considerable:



De la misma forma, si el agua está saturada en unas determinadas condiciones de iones Ca^{++} , y por cualquier causa disminuye la calidad inicial de CO_2 , la reacción primera se desplazará de derecha a izquierda; parte de los iones (HCO_3) y $(H)^+$, tendrán que formar ácido carbónico y éste, a su vez, se descompondrá para originar el CO_2 que se elimina; al descender la proporción de iones H^+ , las aguas pierden acidez y entonces parte del calcio se precipitará en forma de carbonato.

CLASIFICACION GENETICA DE LAS CALIZAS.

CALIZAS AUTOCTOMAS (endógenas : de precipitación bioquímica)...	{ MARINAS CONTINEN- TALES	Calizas pelágicas (propias de los geosinclinales). Crata (con Foraminíferos, Coccolitos, etc.). Calizas biohermales (Aigas calcáreas, Rudistas, etc.). Calizas biostromales (fósilíferas). Calizas margosas (hasta un 25 % de arcilla).
		Tobas o " toscas " (continentales: vegetales). Travertinos (continentales: costas compactas). Estalactitas y Estalactitas (en las cavernas). Caliche (suelos semiaridos).
CALIZAS ALOCTOMAS (exógenas: de sedimentación mecánica, detríticas)...		Calcirruditas (granos de $\phi > 2mm.$). con mas de 50 % de CO_2, Ca . Calcarenitas (granos de $\phi < 2mm.$). Coquinas, Juaqueles (fragmentos de conchas). Ecnirritas (latos de Crinoides). Calizas polísticas (con politos de CO_2, Ca). Calcilitulas (fangos y limos calcáreos). Calcitas litográficas (de grano muy fino, homogéneas).
CALIZAS METASOMÁTICAS (diagenéticas, epigenéticas).		Calizas cristalinas (mármoles no metamórficos). Calizas magnesianas (con menos del 50 % de CO_2). Dolomitas (con mas del 50 % de CO_2, Mg). Calizas fosfatadas (con fosfato de calcio).

T A B L A III.1

Dentro de este orden, también tenemos las rocas salinas las cuales comprenden los compuestos más solubles, sulfatos y cloruros alcalino-térreos, formados a partir de los iones presentes en el agua de mar en ciertas lagunas interiores originadas en regiones endorréicas. Se denominan también "evaporitas", porque el proceso de formación de esta roca tiene lugar al evaporarse el agua de la laguna que las contenía.

El agua de mar tiene, actualmente, una salinidad que puede evaluarse en treinta y cinco por mil, como valor medio, que contiene principalmente, los siguientes iones en disolución:

Cl-	19.00%	Na+	10.56%
SO4=	02.65%	Mg++	01.27%
CO3H-	04.14%	Ca++	00.40%
Br-	00.06%	K+	00.38%

Estos iones, exceptuando la Ca y el Mg, que también pueden precipitarse por otros mecanismos, formando las rocas carbonatadas, sólo se depositan cuando tiene lugar una intensa evaporación de agua y, su concentración sobrepasa los límites de solubilidad.

De las principales rocas salinas, tenemos las formaciones yesíferas que tienen relevancia industrial para la elaboración de yeso comercial y la escayola, que se obtiene calcinando el yeso natural a unos ciento setenta y cinco grados centígrados, con los que pierde la mayor parte del agua de constitución y, al agregar agua nuevamente tiene la propiedad de "fraguar" una masa resistente y compacta, muy utilizada en construcción.

El interés fundamental de las sales potásicas, estriba en la producción de abonos minerales pues, en general, la tierra de labor, tiene un déficit de potasa ya que el "K" es un elemento que se acumula espontáneamente en el agua de mar. Otras aplicaciones importantes son: La fabricación de explosivos, en pirotecnia; en fabricación de vidrio, cerámica; etc..

Con respecto a las rocas fosfatadas, tenemos que los fosfatos primarios, principalmente el apatito, se encuentran asociados a rocas eruptivas y son relativamente escasos en la naturaleza. En cambio, las formaciones de rocas mencionadas en primera instancia, generalmente calizas o arcénicas, de origen sedimentario, son frecuentes en determinadas regiones y constituyen los yacimientos de fosfatos.

El fosfato tricálcico (PO_4) $2 Ca_3$, que se encuentra asociado a las rocas sedimentarias, procede de la acumulación de restos esqueléticos y excrementos de los vertebrados.

En las rocas ferruginosas, el hierro es uno de los elementos metálicos más abundantes en la naturaleza y a la presencia de sus compuestos, principalmente óxidos, se deben las coloraciones amarillentas, rojizas, pardas o verdosas de la mayoría de las rocas sedimentarias.

En realidad, cualquier mineral de hierro, en presencia del agua y de oxígeno atmosférico, se oxida dando lugar a la formación de limonita - ocre, $Fe(OH)_3$ en ambientes o climas templados o fríos, húmedos o secos y de hematitas Fe_2 , en climas tropicales, con temperaturas elevadas y grandes aportes de agua.

Por este proceso, el hierro se incorpora a las rocas sedimentarias detríticas o a las calizas, dando origen a las "rocas ferruginosas" que en determinadas ocasiones pueden tener una riqueza tal en óxidos de hierro, superior a un cincuenta por ciento que llegan a ser menas de hierro muy apreciadas.

Dentro de las rocas de origen químico, se pueden considerar: Las diatomitas; que son con incorporación de esqueletos mineralizados. Las biohermicas; corales, arrecifes, etc. y, Los carbones minerales, que se pueden llamar, propiamente, rocas orgánicas; resaltando, por su importancia, el carbón de piedra que es el resultado de la transformación de restos vegetales acumulados en el fondo de los pantanos, lagunas o deltas fluviales, mediante la acción de bacterias anaeróbicas que han provocado la descomposición de los hidratos de carbono (componente esencial de los vegetales) enriqueciéndose en carbono, dando lugar a la formación de hulla.

De los aspectos primordiales de las propiedades químicas de las rocas, destacan el comportamiento químico de los minerales de una roca, que se utiliza en el concreto, esto debido a la existencia de una reacción química, destacando la reacción álcali - agregado, que daña al concreto, al formarse un nuevo mineral que ocupa un volumen mayor que el material de origen, provocando fisuras en el concreto.

Con lo que respecta a las propiedades físicas de las rocas, el reto más importante es el determinar los posibles efectos de las cargas sobre estos materiales, mismos que deberán ser conocidos por los proyectistas y encargados de la construcción.

Dentro de las propiedades físicas de las rocas, las más relevantes y que ayudan grandemente al Ingeniero son:

- a) **Peso específico.**- Algunas variedades de grabo, han mostrado densidades de 3.8 , hay especímenes de gneis con valor de 2.97 , la de los granitos oscila alrededor de 2.65 Las rocas sedimentarias poseen, por lo general, densidades más bajas, algunas areniscas tienen un valor promedio de 2.06.

Las rocas que contienen metales pesados, tienen densidades elevadas. De entre las rocas, se encuentran con más frecuencia en proyectos de obra de ingeniería civil por tener las densidades más altas corresponden a algunas rocas ígneas y metamórficas.

Al tratar de cualquier clase de material, incluidas las rocas, es necesario saber su peso unitario expresado en toneladas por metro cúbico. El peso unitario de una roca, dependen del peso específico (densidad) de sus elementos constituyentes, de su porosidad y de la cantidad de agua contenida en sus poros.

Es muy común, en los laboratorios, utilizar los pesos en gramos (gr.) y los volúmenes en centímetros (cm³). Un centímetro cúbico de agua, a la temperatura de cuatro grados centígrados, pesa un gramo. En los cálculos corrientes se admite, siempre, que el volumen de agua en centímetros cúbicos y el peso de este volumen en gramos numéricamente idénticos. Sin embargo, si se trata de cálculos que exigen gran precisión, deberían practicarse las correcciones necesarias que exigen los cambios de la densidad del agua correspondiente a las distintas temperaturas.

El peso específico, se determina en el laboratorio de la siguiente manera: La muestra de la roca, se somete a la desecación durante veinticuatro horas, en un horno a ciento cinco grados centígrados. Se deja enfriar la roca y se pesa obteniéndose el peso W_o . Posteriormente, se sumerge en agua durante cuarenta y ocho horas, después de este periodo se saca del agua y se seca superficialmente pesándola se obtiene W_w . Todavía saturada, se pesa mientras se mantiene en suspensión dentro del agua, obteniéndose el peso W_s . El peso específico o densidad es entonces:

$G =$ PESO ESPECIFICO O DENSIDAD
 $W_o =$ PESO DE LA MUESTRA SECA
 $W_w =$ PESO DE LA MUESTRA SATURADA
 $W_s =$ PESO DE LA MUESTRA EN SUSPENSION

$$G = \frac{W_o}{W_w - W_s}$$

Este valor que se denomina peso específico aparente, el de uso más frecuente en el estudio de la propiedades físicas de las rocas.

Para garantizar la saturación total de una muestra de roca durante el ensayo, se introduce agua en su interior haciéndola penetrar bajo presión o bien puede practicarse succión (mediante vacío). De todos modos, es preferible que la determinación se haga como promedio de tres o más medidas.

En el caso de medidas de precisión, el valor $W_w - W_o$ debería dividirse por la densidad del agua, a la temperatura del ensayo. No es preciso decir que la temperatura del agua usada en la prueba debería ser la del ambiente del local en que se practica. El mismo símbolo n , se emplea también para designar la porosidad de los suelos.

Algunos estudios han mostrado que existe una relación concreta entre la porosidad y la densidad de la roca y su origen. Así resulta que las rocas cristalinas, tales como el granito, que se han formado bajo grandes presiones, tienen porosidad reducida y pesos específicos altos, lo mismo puede decirse de algunas rocas metamórficas. Por otra parte, algunas rocas ígneas, tales como la piedra pómez, ofrecen una gran porosidad y una densidad reducida.

- b) La porosidad de una roca, es la relación que existe en el volumen de huecos (poros) y el volumen total de la muestra. Para determinarlas, se divide el volumen del agua que rellena los poros $W_w - W_o$ entre el volumen total de la muestra V , que se obtiene por medida directa. Introduciendo la roca saturada superficialmente seca, en un picnómetro lleno de agua que ha sido llevado al nivel de derrame, midiendo en una probeta graduada el agua desalojada por la roca.

Siendo W_w = Peso de la muestra saturada

y W_o = Peso de la muestra seca

$W_w - W_o$ = Peso del agua que llena los poros y como el peso volumétrico es igual a 1, el peso del agua será la medida del volumen de los poros.

El valor de la porosidad " n " expresada en tanto por ciento del volumen de la muestra es:

$$n = \frac{W_w - W_o (100)}{V}$$

- c) Absorción.- El agua que llena los poros de una muestra de roca sumergida puede quedar atraída por la roca o bien quedar libre, es decir, no sujeta a la tracción.

Cuando se sumerge en agua una muestra de roca, no absorbe tanta cantidad como lo permitiría su capacidad teórica ya que, durante la inmersión una parte del aire existente en la muestra es "aprisionado" por el agua y no puede encontrar salida, así que el agua, se ve imposibilitada para llenar determinado porcentaje de los poros. Si se sumerge una roca en agua durante determinado período de tiempo y a temperatura también determinada, la relación entre el volumen de la muestra y el del agua absorbida es la absorción porcentual en volumen de aquella roca, bajo las condiciones de la operación.

La absorción suele, generalmente, expresarse como un porcentaje:

$$\text{Abs.} = \frac{W_w - W_o (100)}{W_o}$$

En el caso de que la roca tenga superficialmente arcilla, al saturarse la roca, la arcilla contenida en el interior de los poros, se dilata y de este modo actúa como un tapón que impide el avance del agua.

Bajo circunstancias normales, el agua llena sólo cierta parte del volumen total de poros. Se llama grado de saturación, la relación que existe entre el volumen de los poros rellenos de agua y el volumen total de poros; es proporcionalmente menor que el 100% por ejemplo: El grado de saturación de un granito, cuyas muestras han estado sumergidas en agua durante un año, fue de 44% a 66%.

Existen otras propiedades físicas de las rocas, que es necesario determinar y que tienen un gran empleo en la construcción de caminos. Estas pruebas se realizan cuando se emplea material pétreo como superficie de rodamiento en un camino y cuando se construyen mamposterías, zampeados, etc..

Estas pruebas son las siguientes: Resistencia de roca al desgaste, Resistencia de roca al intemperismo y Tenacidad de la roca.

Resistencia de la roca al desgaste.- Esta prueba se denomina también como resistencia a la abrasión, este es uno de los primeros aspectos que se observan al seleccionar un banco o canteras. Existen dos tipos de pruebas que se pueden realizar con el mismo objeto, la de Deval y la mecánica de los Angeles. La primera es en esencia, una prueba de abrasión; mientras que la segunda, permite que los ejemplares de roca caigan, además de ser desgastados, al contacto con una pieza móvil de acero.

La Secretaría de Obras Públicas, en sus especificaciones generales de construcción (parte octava) admite para prueba de Los Angeles una pérdida de 40% en peso, como máximo y para la prueba Deval, una pérdida entre 6% a 20% de acuerdo con el tipo de material.

Resistencia de la roca al intemperismo. Esta prueba consiste en la ejecución de 5 ciclos de desecación y de impregnación de agua salina, además del lavado de las mismas, con el objeto de copiar las condiciones naturales a que se hallen expuestas las rocas en el terreno. La Secretaría de

Obras Públicas, en las mismas especificaciones mencionadas, admite como máximo 12% de pérdida de peso.

Tenacidad de las rocas. Esta prueba consiste en producir impactos de una muestra de 1 pulgada de diámetro y 1 pulgada de altura, con un martillo patrón de 2 Kgs., de peso; se deja caer el martillo a diversas alturas, con intervalos de 1 cms. La medida de la tenacidad, será la altura de caída del martillo.

En algunas ocasiones, se llega a determinar la dureza de una roca, mediante el rayado con un disco giratorio de acero u otros instrumentos inventados con este fin.

III.1.- COMPOSICION MINERALOGICA DE LAS ROCAS.

El término mineral se define como una sustancia de origen natural y composición química definida que se encuentra en la superficie o en la corteza terrestre. Las rocas están formadas por diversas clases de materiales, principalmente por compuestos de sílice (silicatos) y carbonatos.

Las rocas pueden estar compuestas por uno o varios tipos de material. Por lo general, aproximadamente el 95% de una roca lo constituyen tres o cuatro minerales y el 5% restante puede contener hasta 20. Se conocen miles de minerales, pero en la práctica, se requiere sólo el conocimiento de minerales exclusivamente formadores de rocas.

De entre los principales elementos formadores de rocas, tenemos al cuarzo (SiO_2) es un mineral formado de roca muy común, altamente resistente a la desintegración, excepto en clima tropical.

En la tabla dos, se muestran los principales tipos de minerales formadores de rocas. Los minerales tienen una estructura interna definida, compuesta por la combinación en grupos de átomos. El arreglo atómico de los átomos, dentro de los grupos, tiene un efecto importante sobre la resistencia mecánica de los minerales de las rocas. Cuando la estructura es laminar, el mineral se rompe con facilidad. Otros minerales, tienen una estructura interna que sólo les permite romperse en forma irregular. En los minerales carbonatados, la estructura molecular es de forma romboédrica y un fragmento del mineral, tenderá a romperse en forma similar. Como los principales formadores de roca son silicatos (exceptuando los carbonatos), su estructura molecular se explica en base a la estructura de los átomos de silicio y oxígeno (red cristalina o celda unitaria). Las cargas con exceso de iones se equilibran con cationes de otros elementos formadores de rocas.

MINERALES FORMADORES DE ROCAS

Olivinos	Grupos aislados de SiO_4	SiO_4
Piróxinos	Cadenas Simples	Si_2O_6
Anfibolas	Cadenas dobles	Si_4O_{11}
Micas	Láminas	Si_4O_{10}
Feldespatos	Reticulada	$(\text{Al}, \text{Si})_n\text{O}_{2n}$
Cuarzo	Reticulada	SiO_2
Arcillas	Capas	$\text{Si}_2\text{O}_5/\text{X}(\text{OH})_6$
Carbonatos	Romboédricos	XCO_3
	(X un posible elemento)	

TABLA III.2

La composición química de algunos minerales es variable, debido a, que determinados elementos pueden ser sustituidos por otros en estructura, por ejemplo; silicio y aluminio, magnesio e hierro. Esta sustitución se indica en la fórmula: (Si, Al) ; (Mg, Fe) .

OLIVINOS (Mg, Fe)₂ SiO₄

El magnesio y el hierro son intercambiables en la celda unitaria. Es de color verde claro, pero es más oscuro con mayor contenido de hierro. P. E. rel. 3.2 a -3.6.

Se encuentra en rocas básicas y ultra básicas, como el basalto de olivino y la peridotita. Se descompone con facilidad.

PIROXENOS

ORTOPIROXENOS; (Mg,Fe)₂ Si₂O₆. ENSTATITA; Mg₂ Si₂ O₆. HIPERSTENA; contiene aproximadamente iguales cantidades de magnesio y hierro; P. E. rel. 3.2. Piroxeno monoclinico (augita); (Ca, Mg, Fe, Al)₂ (Si₂, Al)₂ O₆. esta es la forma común del piroxeno que se encuentra en rocas ígneas básicas y ultra básicas. El color verde oscuro da a estas rocas un tono gris oscuro; P.E. rel. 3.3 a 3.5 DIOPSIDO; Ca Mg Si₂ O₆. verde claro.

ANFIBOLAS

La HORNBLENDA es el tipo común: (Ca, Mg, Fe, Na, Al) 3-4 (al, Si) 4OII (OH). Color verde; es común en rocas ígneas y metamórficas, con frecuencia, se observan alineados, como en el esquisto de hornblenda. El asbesto es una forma anfibola.

MICAS

MUSCOVITA: K Al₂ (Si₃Al) O₁₀ (OH)₂. P.E.rel. 2.9 Incolora. Mineral hexagonal, de forma plana. Refleja muy bien la luz y a menudo se ven sus destellos en las rocas, principalmente en las arenas, donde se le encuentra como mineral detrítico. Biotita: K(Mg, Fe)₃ (Si₃Al) O₁₀ (OH)₂: P.E. rel 2.8 a 3.1. Café oscuro a negro. Las rocas son comunes en granitos y esquistos de mica. La biotita es menos estable que la muscovita y no es un mineral de rocas sedimentaria.

FELDESPATOS

Son silicoaluminatos de potasio, sodio y calcio. Hay tres clases principales: ALBITA: Na Al Si₃ O₈; ORTOCLASA: K Al Si₃ O₈ y ANORTITA: Ca Al₂ Si₂ O₈. La albita y ortoclasa pueden formar mezclas, conocidas como feldespatos alcalinos o perititas. Son muy comunes en rocas ácidas y constituyen aproximadamente el 75% de la composición mineral del granito. Son de color blanco, pero pueden tener varias tonalidades. P.E. rel. 2.56 a 2.76. La mezcla de albita y anortita forman la plagioclasa, ésta se compone de una serie de minerales: albita-oligoclasa-andesina-labradorita-bitownita-anortita. La andesina se ubica en medio de la serie y se compone aproximadamente de 50% de albita y 50% de anortita. La plagioclasa constituye aproximadamente el 50% de la mayor parte de las rocas básicas como el basalto y la dolerita. Los cristales de feldespato se fraccionan con facilidad a lo largo de planos suaves y, en consecuencia se observan fácilmente en las rocas debido a que éstas superficies reflejan la luz. Los feldespatoides son minerales similares a los feldespatos, que cristalizan a partir de magmas con contenido relativamente bajo en silicio. Si no hay suficiente silicio para saturar las bases (magnesio, potasio, sodio, calcio, etc.), se formaran feldespatoides.

NEFELINA: Na (Al Si) O₄; LEUCITA: K (Al Si₂) O₆, P.E. aproximadamente 2.5. Estos dos feldspatoides se encuentran en lavas y son inestables.

CUARZO Si O₂

Es un mineral duro químicamente resistente. No se raya con una navaja, la prueba común para este tipo de minerales. Forman hermosos racimos de cristales en cavidades de rocas y se presentan en muy diversos colores: muchos de estos conjuntos son transparentes y forman las gemas. Es el principal constituyente de rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas. Durante los procesos de cristalización, los elementos se combinan con la sílice hasta ubicarse en la red cristalina; la sílice restante forma el cuarzo. Las rocas ricas en cuarzo se denominan silíceas. P.E. rel. 2.65. El cuarzo se observa con frecuencia en vetas de color blanco, contenido en las rocas como mineral detrítico, por ejemplo las areniscas. Como es relativamente duro, comparado con otros minerales y rocas, a menudo se le encuentra como grano de arena en las playas costeras. Nótese que el mineral blanco que forma vetas en calizas, por lo común es calcita. Una roca que esté compuesta casi por completo de cuarzo se llama cuarcita.

MINERALES ARCILLOSOS

Se forman en capas sobrepuestas:

- 1) Capas que son de tipo tetraédrico Si O₄ que se originan como múltiplos de Si O₂ ó Si₂ O₃ (OH)₂.
- 2) O que se presentan en forma de octaedro que constan de un ion metálico (aluminio o manganeso) dentro de un grupo de seis hidróxilos (OH) ; acomodados en las esquinas de un octaedro. Estas capas se pueden combinar de dos maneras: En unidades de dos capas, por ejemplo, montmorilino; o en unidades de tres capas, de octaedros se encuentran entre dos capas de tetraedros. P.E. rel. 2.6 a 2.9.

Los minerales arcillosos tienen propiedades que son de gran importancia para los ingenieros geotécnicos. Algunos se ensanchan cuando humedecen (arcillas ávidas de agua) y se contraen cuando están secos. Tales arcillas pueden causar problemas en los cimientos de la construcción. Otros minerales arcillosos pueden intercambiar cationes en su estructura (procesos básicos de intercambio) y se les puede utilizar para la extracción de la cal de los abastecimientos de agua. Los tipos de minerales de arcilla en una masa de arcilla determinan las propiedades mecánicas de éstas, las cuales pueden ser muy variables. Los tipos más importantes son : Caolinita, haloisita, illita, smectita. (grupo de montmorilonita), vermiculita y glauconita. CAOLINITA: Al₂ Si₂ O₅ (OH)₄. ILITA: K Al₂ (Al Si₃) O₁₀ (OH)₂.

CARBONATOS

La CALCITA (Ca CO₃) es el principal mineral en calizas en donde se muestra mezclado con arcilla. La calcita reacciona con el ácido clorhídrico diluidos produciendo burbujas de CO₂. La prueba del ácido se utiliza en general para la identificación de calizas. P.E. rel. 2.71. DOLOMITA

Ca CO₃. Mg CO₃. Este mineral se encuentra en calizas dolomíticas. P.E. rel. 2.8 a 2.9. Reacciona con ácido clorhídrico caliente. SIDERITA: (Fe CO₃); se le puede encontrar en combinación con arcilla y en éste caso se le conoce como arcilla ferruginosa P.E. rel. 3.7 a 3.9.

OTROS MINERALES COMUNES EN LAS ROCAS

CLORITA (Mg, Al, Fe) 12 (Si, Al)₈ O₂₀ (OH) 16. Es un mineral verde, laminar como las micas y relacionado con las mismas. P.E. rel. 2.65 a 3.0. La clorita es común en pizarras, esquistos, vetas hidrotermales y como mineral de descomposición de rocas ígneas básicas.

YESO. Ca SO₄. 2H₂O. Blanco y cristalino, abunda en depósitos de arcilla de clima árido y se encuentra disperso en arcilla o en finas capas dentro de la formación arcillosa. La anhidrita es CaSO₄ y no tiene agua en su estructura cristalina. Ambos tienen importancia económica y se extrae y procesan para su empleo en la industria de la construcción como material para enyesar y en el cartón enyesado.

MINERALES DE HIERRO

MAGNETITA Fe₃ O₄. Se encuentra pequeños cristales negros de éste material de roca ígnea básica constituyendo aproximadamente un 5% de la composición mineral cuando se descubren grandes volúmenes, se extraen por ser un mineral ferroso de alto valor.

HEMATITA. Fe₂ O₃. Es de color rojo brillante cuando se encuentra en forma de polvo en las rocas, dando a las mismas una tonalidad rosa o rojiza. En grandes masas de color casi negro, con lustre brillante, y, en este caso recibe el nombre de especularita.

LIMONITA. FeO. OH. nH₂O. Es el nombre genérico que se emplea para óxidos hidratados de hierro, muy comunes en las rocas a las cuáles, en muchos casos, imprimen su color. La limonita se forma como producto de la descomposición de minerales que contienen hierro particularmente el olivino, piroxeno y anfíbolos. Los colores son: café, café-amarillo, y cuando se observan rayas de material de estos colores en las rocas es indicio de que su descomposición se ha iniciado en consecuencia su examen visual requiere de alguien experimentado para que sea confiable. Las arcillas de color café contienen limonita.

PIRITA Fe S₂. Cuando se encuentra en forma de cristal es un mineral de color latón y se le conoce como el oro de los tontos, pero es negro cuando se presenta disperso en la roca en forma de polvo. La pirita a menudo, es causa del color negro en las rocas, particularmente de las arcillas. Se forma bajo condiciones químicas de reducción, como precipitado en ambientes con carencia de oxígeno. Cuando la pirita se expone en la atmósfera se oxida formando sulfato de hierro y expandiéndose. Esto puede conducir a la inestabilidad de las masas arcillosas.

CAPITULO IV.

IV. CLASIFICACION

Para facilitar el estudio de las rocas estas se han dividido en tres grandes grupos: ROCAS A). IGNEAS, B). SEDIMENTARIAS Y C). METAMORFICAS.

- A) Las rocas IGNEAS; están formadas por una masa fundida que en un tiempo estuvo caliente, conocida como magma o lava la cual se enfrió y cristalizó para formar una roca compuesta de una gran cantidad de agregados minerales de silicatos. Las erupciones de lava fundida que salen de los volcanes y se depositan sobre la superficie de la tierra, las corrientes de lava, dan origen a las rocas extrusivas. Pero hay otras clases de rocas ígneas, las masas de rocas ígneas, que se forman por cristalización lenta del magma a una cierta distancia abajo de la superficie, originando las rocas intrusivas; tales aparecen expuestas hoy solamente porque la erosión ha quitado las rocas que yacían encima de ellas que una vez las cubrieron durante su formación.

Dentro de este tipo de rocas destacan por su importancia el GRANITO, que se le considera una roca ígnea ácida, compuesta esencialmente por: cuarzo (10 a 25%), feldespatos (60 a 80%), mica (2 a 5%) y algunos otros componentes secundarios, presentándose con frecuencia el mineral de boro, turmalina. Los feldespastos son principalmente del tipo Na-K, ortoclasa y pirlita, pero por lo general hay cierta cantidad de plagioclasa, el feldespato de Na- Ca.

El granito se forma por la cristalización lenta del magma, debajo de las cadenas montañosas que se encuentran en proceso de elevación ocasionado por los intensos movimientos de la corteza terrestre y el manto superior. El magma que se escapa de la superficie y el arrojado en ella por los volcanes forma riolitas y tobas, que en realidad es granito, pero de grano fino. El proceso de formación del granito puede durar varios millones de años, tiempo en el cual el material rocoso permanece caliente; su lenta cristalización principia cuando se agota la fuente de calor existiendo el tiempo suficiente para el desarrollo de grandes cristales y, en consecuencia la formación de una roca de grano grueso.

Después de la elevación y erosión de las montañas, sus núcleos graníticos quedan expuestos en la superficie, los cuales pueden tener miles de kilómetros de longitud por cientos de ancho; son masas alargadas que siguen las líneas de antiguas cadenas montañosas. Estas masas graníticas se llaman batolitos, término derivado del griego que significa "Roca profunda". La roca que circunda al granito se le denomina, roca encajonante. Debido a las enormes fuerzas que acompañan a la intrusión, incluyendo las fuerzas cortantes, la roca encajonante se encuentra bastante deformada con excesivos pliegues, grandes y abundantes fracturas (fallas) y dióclidas y se pueden formar clivaje y pizarroso en algunas rocas de grano fino adyacentes a la intrusión. El calor liberado por el enfriamiento y cristalización del magma granítico, modifica las rocas contiguas mediante el proceso denominado metamorfismo térmico (o de

contacto). Se forman minerales nuevos y la roca encajonante se hace muy dura, debido a las altas temperaturas, recibiendo el nombre de corneanas. La zona de metamorfismo térmico puede tener un radio de varios miles de kilómetros a partir del margen granítico.

Los elementos metálicos como estaño, cobre, plomo y zinc, que pueden estar presentes en el magma granítico, no entran en la estructura cristalina de los minerales del granito (cuarzo, feldespato, etc.), sino que permanece en la solución hidrotérmica que escapa desde la masa en proceso de enfriamiento hacia la roca encajonante contigua. Cuando estas soluciones mineralizantes se enfrían, se precipitan los minerales metálicos formando vetas en la parte exterior del granito y en la roca encajonante.

En la profundidad de las montañas el granito se encuentra sometido a muy alta presión. Debido a los procesos de elevación y erosión, el granito que se ubique a una profundidad de diez metros, se libera de la presión, se expande y al hacerlo se fractura. Estas fisuras forman un patrón geométrico regular de discontinuidades dentro de la roca; un conjunto más o menos horizontal, como las rocas sedimentarias estratificadas; otros con tendencia vertical e intercepciones mutuamente perpendiculares, dando como resultado que el granito en la superficie tienda a romperse en bloques de forma rectangular.

Las características del granito que interesan al ingeniero son: el estado de caolinización y la distribución así como la frecuencia y orientación de fracturas. El grado de intemperismo del granito entre cinco y diez metros de profundidad puede ser elevado y, en consecuencia no se deben de levantar ahí cimientos para grandes construcciones o estructuras. Su parte superior intemperizada se compone de fragmentos residuales de roca en proceso de descomposición, mezclados con cuarzo y feldespato en forma de arena, así como arcilla que por lo general es de color café debido a la presencia del compuesto del hierro. En climas templados y húmedos, la roca madre puede estar a unos cuantos metros bajo la superficie, pero esta profundidad, puede ser variable; en climas tropicales el espesor del depósito superficial de laterita puede ser tan grueso que los cimientos para construcciones se deben diseñar como si estuvieran sobre una base de arcilla, pues el costo de excavación hasta alcanzar la roca madre sería muy alto.

La riolita es el correspondiente extrusivo, de grano fino, del magma granítico que escapó a la superficie a través de una erupción volcánica. La roca líquida puede emerger como flujo de lava, o puede explotar a causa de la fuerza expansiva de su contenedor de vapor sobre calentado y convertirse rápidamente en partículas de polvo que caen en la superficie y se acumulan en capas de tobas. Los fragmentos de mayor tamaño forman un tipo de roca denominado aglomerado. La lluvia de nubes de vapor formadas sobre un volcán en erupción se condensa y, al caer se mezcla con el polvo y se convierte en una corriente de lodo. Estas se conocen como rocas piroplásticas y son de composición muy variable debido a los violentos y múltiples fenómenos asociados con las erupciones volcánicas.

La diorita es una roca ígnea intermedia de grano grueso, compuesta principalmente de feldespato blanco, feldespato Na-K y plagioclasa, así como hornblenda que es un mineral ferromagnésico de color verde. El contenido de cuarzo puede llegar a alcanzar el diez por ciento, la roca tiene un color que varía del blanco verdoso, cuando consiste principalmente del feldespato, aún verde cuando tiene un contenido mayor de hornblenda. Es un tipo de roca de

transición entre el granito ácido y la dolerita básica; se convierte a dolerita cuando obtiene mayor cantidad de calcio magnesio o hierro; también se encuentra en forma de augita y hornblenda.

La andesita es una roca ígnea común, producto de vulcanismo y recibe su nombre de la cordillera de los Andes en América del Sur. Pero tiene básicamente la misma composición química que la diorita, pero es de grano fino y puede contener algunos cristales nítidos y rectangulares de plagioclasa.

La obsidiana y la retinita son rocas ígneas de grano muy fino, solidificadas inmediatamente después de su erupción; ambas son parecidas al vidrio de color oscuro u opaco, muy duras y quebradizas. La retinita es similar a la escoria que produce la fundición de metales.

El basalto se encuentra en cono volcánico; durante la erupción fluye como lava hacia los valles, se cristaliza y forma grandes depósitos. La lava también puede escapar a la superficie por extensas fracturas de la corteza terrestre, fenómeno que se conoce como erupciones de fisura; éste derrame cubre amplia zonas debido a su gran movilidad. El basalto de esta clase de erupción se deposita en forma de mantos y, en algunos lugares se le puede ver como una capa de roca muy oscura sobre la cima de los montes sirviendo como una cubierta protectora que disminuye la erosión. Debido a su gran resistencia esta roca se utiliza como agregado en la mezcla de concreto.

Las rocas ultra básicas tienen bajo contenido de sílice, menos de 45% y un mayor contenido de magnesio, hierro o calcio, los cuales se combinan con el silicio para formar los minerales ferromagnesianos de color verde oscuro: olivinos, piroxenos u hornblenda. que son una variedad común de este grupo de rocas. Los minerales oscuros constituyen más del 70% de ésta roca que tiene un color que va del verde oscuro hasta negrozco.

Estas rocas se forman en las profundidades de la corteza terrestre, mediante una lenta cristalización del material que procede desde el manto superior. Posteriormente puede emerger a la superficie, después de un movimiento que provoque la elevación de la corteza. Las rocas ultra básicas también se pueden originar en las grandes intrusiones ígneas, cuando los primeros cristales de los minerales ferromagnesianos, por su mayor densidad se hunden hasta el fondo de la masa que se encuentra en el proceso de enfriamiento y concentración.

Como las rocas ultra básicas están compuestas principalmente por minerales ferromagnesianos, cuya superficie no es estable bajo condiciones de intemperismo, todas originan problemas geotécnicos cuando se encuentran cerca de la superficie.

- B) Las rocas **SEDIMENTARIAS**; pueden clasificarse en dos grandes grupos, uno se compone de material que ha sido transportado por el agua, viento o hielo al área de deposición. Este material se denomina detritus y las rocas que forman reciben el nombre de rocas detríticas sedimentarias. El otro grupo se compone de material formado por la precipitación química de minerales formados por medio del agua, o por la acumulación de residuos orgánicos de plantas y animales. Como en los lagos y mares donde se formaron éstos depósitos pudo haber ríos que desembocaran ahí y transportaran material detrítico, en muchos de ellos se encuentra

una mezcla de detritus y diversos materiales formados químicamente que debieron haber actuado como cementantes del detritus transportado desde otros lugares, para convertirlo todo en una masa sólida. Por lo tanto, hay muchos tipos intermedios entre rocas sedimentarias detriticas y el grupo orgánico de origen químico.

Las rocas salinas se forman de sales disueltas que se precipitan en aguas que desembocan en lagos o mares interiores de climas áridos. La alta evaporación de agua, provoca que las condiciones químicas del agua estén cerca o sean superiores al nivel de saturación de las sales del agua. Entonces, la sal se precipita y forma un depósito en el fondo del lago. Cuando la entrada de agua que contiene las sales disueltas es igual al grado de evaporación, hay un proceso continuo de precipitación y, por lo tanto, se forman grandes depósitos salinos (evaporitas). La Halita es cloruro de sodio (NaCl), a la que comúnmente se le llama sal de roca o sal de cocina ya que se utiliza en los alimentos. La anhidrita (CaSO_4) y el yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) son sulfatos; se emplean en las industrias químicas y de la construcción. Hay muchas otras variedades de rocas salinas; todas se componen de minerales en forma de carbonatos, sulfatos, cloruros y boratos; todas tienen igualmente usos importantes en la industria química. Los depósitos salinos, por lo común se encuentran intercalados entre los sedimentos de grano fino como la arcilla, marga y fangolitas.

El sílex y el pedernal son variedades hidratadas de sílice (SiO_2), que se forman bajo el agua. El primero se presenta en capas delgadas que no alcanzan diez centímetros de espesor mientras que el segundo se presenta como nódulos de formas muy irregulares. El pedernal se encuentra en la creta una roca carbonatada de edad cretácica, pero el sílex se encuentra en todas las formaciones sedimentarias de todas las edades remontándose al precámbrico.

Ambas son rocas muy duras y no las raya el acero (es la prueba más fácil para su identificación). Son poco resistentes a las fuerzas de choque; el pedernal se astilla cuando se le golpea con un martillo, es de color gris a gris oscuro cuando está fresco pero bajo la acción del intemperismo se torna café claro o casi blanco (patina); el sílex es, con frecuencia de éste último color o café oscuro hasta casi alcanzar el negro.

Gracias a su dureza, estas rocas resisten el intemperismo y la erosión, y forman depósitos de grava y arena de grano grueso en valles fluviales y a lo largo de costas, de donde se les extrae y emplea como mezcla de concreto. En una zona donde exista sílex en capas delgadas y nódulos de pedernal se pueden extraer con facilidad, pero las capas gruesas de sílex requieren de usos de explosivos. Por ser una roca dura, frágil e inflexible, el sílex presenta por lo común muchas fracturas, especialmente cuando la formación de la roca a sido sometida a un plegamiento.

El carbón forma depósitos en capas que reciben el nombre de mantos, interestratificados con pizarras arcillosas y areniscas que se encuentran en formaciones del carbonífero superior. Este material se formó inicialmente en un gran depósito de turba, en una masa de restos de plantas preservadas de la descomposición, por haberse acumulado en cuencas en descenso de la corteza terrestre, en condiciones de estancamiento y ambiente químico reductor. Un depósito típico de carbón contiene una mezcla de sedimentos porque las condiciones de deposición fueron variables. Después que el depósito formó una gruesa capa de turba, el mar invadió la

zona y lo sepultó bajo una capa de lodo; entonces las condiciones cambiaron de nuevo y se depositó la arena. Cambios posteriores en el nivel del mar permitieron a la zona convertirse de nuevo en tierra, lo que facilitó una nueva formación de turba. Esta secuencia de proceso se repitió varias veces, dando como resultado la aparición del carbón.

El conglomerado y la brecha son dos variedades de roca sedimentarias de grano grueso. Se componen de guijarros cementados por material de grano fino como arcilla, lodo, arena, cuarzo, óxido de hierro (rojo) e hidróxido de hierro (café). El nombre de estas rocas depende de la forma de los guijarros: los redondeados se presentan en los conglomerados y los angulosos en las brechas. Muchas rocas contienen material tanto redondeado como anguloso; en éste caso se emplea el término conglomerado o el rudita, un término general que abarca ambos tipos. Estas rocas se forman por la acción de la erosión y la sedimentación. La roca fragmentada por intemperismo es transportada por el agua y, como las partículas se rozan unas con otras, el tamaño o diámetro del material disminuye, los bloques se reducen a fragmentos o guijarros, estos últimos se convierten en arena durante el proceso todas las partes filosas del material se redondean. el material que se depositó rápidamente en gruesas capas, sin pasar por periodos prolongados de trituración, permanecen angulosos y forman la brecha. Si hay un proceso largo de rodamiento y trituración, se forman capas de conglomerado los fragmentos se acumulan en mantos en los valles fluviales formando depósitos de grava. También se les encuentra en playas adyacentes a las costas de roca dura. Cuando los depósitos logran un espesor considerable, cualquier cantidad de agua que se filtre entre las partículas tiende a lavar el material de grano fino o precipitar minerales que actúan como cementante, y uniendo toda la masa para formar una roca dura. Entre los cementantes comunes se encuentran varios compuestos de hierro. Los espacios entre los guijarros finalmente se rellenan de material cementante y la roca se endurece a tal grado que parece concreto. Como los procesos naturales son de eficiencia variable, dependiendo del tiempo y condiciones locales, hay una secuencia continua desde grava sin consolidar hasta conglomerado duro. Este grado de consolidación es de importancia en ingeniería, pues determina el grado de resistencia de la roca, así como la permeabilidad, que es otro factor muy importante.

Estas rocas, a menudo, son bastante estables en cortes abruptos de carreteras por que tienen un buen drenaje. Lo cual evita que se acumulen la presión del agua y la desintegración.

La arenisca es una forma endurecida de la arena. Se compone de grano de cuarzo, mica y fragmentos de roca de grano fino, cuyo tamaño varía de sesenta micras de dos milímetros, cementados por otros minerales, con frecuencia con el cuarzo precipitado. El depósito se forma del material de rocas intemperizadas depositado por los ríos en los mares o lagos. A medida que las zonas de sedimentación se hundieron, los depósitos se acumulan y el peso de toda la masa extrae el agua y la hace desplazarse hacia capas superiores y comprime las capas más antiguas. Se procede gradualmente una deshidratación y endurecimiento del sedimento, inicialmente húmedo, y durante éste proceso los minerales se depositan entre los granos cementados en toda la masa hasta llenar todos los poros. La eficiencia del proceso cementante varía de una a otra parte de la roca, de tal manera que la porosidad de ésta no es igual en todas las partes. El material cementante es, por lo general cuarzo, calceta, óxidos e hidróxidos de hierro y arcilla. Los granos de detritus varían poco, a diferencia de los demás cuyo tamaño puede ser pequeño o grande, variando desde la arena, hasta el limo (4 a 60 micras) y arcilla (menos de 4 micras).

El resultado de esto es que las areniscas varían en sus propiedades mecánicas, porosidad y color, dependiendo de como se haya originado, y pueden existir desde areniscas sin consolidar hasta las areniscas sólidas, prácticamente sin espacios vacíos.

Debido a cambios ligeros en la composición química y tamaño del grano, las distintas capas que iban formando la roca (laminación) aparecen atravesadas por bandas de varios colores, lo cual indica que su origen es sedimentario. Las areniscas formadas en zonas desérticas, son de colores brillantes: rojo, anaranjado y amarillo. Con la disminución del tamaño del grano la roca se convierte en limolita, y si hay más del 15% de arcilla se denomina arenisca arcillosa. Si contiene material fino y grueso a la vez la roca se llama grauwaca. La arenisca compuesta casi de puro cuarzo se denomina cuarcita.

La pizarra arcillosa se forma de un sedimento de grano fino constituido por arcilla, a veces calcita y compuestos de hierro que le dan su color. La pizarra arcillosa se forma con el limo o lodo de los lagos y ríos, donde la ausencia de corrientes de agua permiten la espesa acumulación de los sedimentos de grano fino.

Todos los procesos de sedimentación están sujetos a cambios si el acarreo de arcilla al entorno del depósito disminuye debido a una menor precipitación fluvial en el sitio de origen de éstas; por lo tanto, habrá una mayor proporción de minerales precipitados en la roca que está formando. Si la calcita se precipita en sitio, el sedimento se convertirá en una caliza que pueden contener cantidades muy variables de arcilla en su composición. Las capas alternadas de pizarra arcillosa y calcita son conjuntos muy comunes de rocas sedimentarias; son de gran importancia y con frecuencia causan problemas en la roca. Por otro lado, si hay una mayor precipitación fluvial, las corrientes de agua se elevan hacia el mar con mayor rapidez arrastrando material de grano grueso; de ésta manera se formarán depósitos de limo o arena y finalmente se transformará en limolitas y areniscas. El resultado es una gran variación en los tipos de roca de una capa a otra.

La arcilla y las margas son rocas sedimentarias no consolidadas, de grano fino, que se encuentran originalmente en forma de lodo en el fondo de los lagos o el mar. Estos lodos pierden agua gradualmente a medida que el peso del sedimento se acumula en esta zona, se reduce su humedad y, al secarse, se compactan, pero no en el mismo grado que lo hacen las pizarras arcillosas y las fangolitas. Las margas son una mezcla de arcilla con una pequeña cantidad de carbonatos o sulfatos.

La caliza es una roca sedimentaria muy importante, tiene numerosos usos, especialmente en la industria de la construcción. Esta roca, por lo general, es dura, compacta, pero con frecuencia causa problema a los ingenieros civiles por las siguientes razones:

La caliza está compuesta principalmente por CaCO_3 y una cantidad menos de otros minerales como: arcilla, cuarzo, dolomita, sulfuros u óxidos de hierro, carbón, asfalto y, con mucha frecuencia, conchas de animales como: caracoles, almejas, estrellas de mar, etc.. muchos restos de organismos son tan pequeños, que para observarlos se requiere de potentes microscopios; a dichos restos de organismos se les denomina micro fósiles y son elemento clave para determinar la edad de algunas calizas. El precipitado de CaCO_3 se acumula en el fondo de los

mares o lagos de aguas cálidas, simultáneamente con el material detrítico como: arcilla, limo o arena, producto de la intemperización de las rocas en regiones cercanas. Para identificar las calizas, los geólogos pueden recurrir a una prueba de uso muy extendido que consiste en aplicar unas gotas de HCL diluido a la roca que si reacciona con carbonato de calcio, producirá CO₂ en forma de burbujas de gas. La presencia de asfalto u otro hidrocarburo puede ser detectada por el olor característico que desprende un trozo de caliza, segundos después de que se ha partido.

Debido a los diversos minerales que pueden estar presentes en las calizas, existen muchas variedades de éstas rocas: La caliza argílica (calcilitita) tienen un alto contenido de arcilla; la caliza arenácea (calcarenita) contiene detritus de cuarzo; la caliza de conchas (fosilifera), contiene abundantes conchas de animales marinos, la caliza dolomítica tiene cristales de dolomita encajados en la calcita; y la caliza oolítica u oolita, que tiene una consistencia parecida a la de la huevera del pescado.

Muchas calizas son blancas cuando no ha actuado en ellas el intemperismo y a ello se debe el aspecto característico en la arquitectura de la ciudad donde se utilizan las calizas como material de construcción. Las calizas oscuras deben su color a hidrocarburos o sulfuros de hierro existentes en su composición, pero intemperizadas son por lo común de color blanco debido al crecimiento de capas intemperizadas de sulfato de calcio (yeso) de color blanco, especialmente en zonas donde los ácidos de la atmósfera aceleran el proceso. La mayoría de las calizas se clasifican como rocas duras, pero la oolita es una variedad blanda que se puede cortar con sierra fácilmente y, por lo tanto, es un buen material para la construcción de paredes o muros.

- C) Referente a las rocas METAMORFICAS; estas se forman a partir de otra clase de rocas por la acción del calor y la presión. Por separado o actuando en forma simultánea. Presentan las características estructuras internas originadas por la alineación de los minerales, por efecto de las presiones anisotrópicas a las rocas, mientras estaban siendo sometidas durante la modificación de su estado original. La composición química de las rocas se altera durante el proceso de metamorfismo, pero los elementos se vuelven a combinar de manera distinta para formar nuevos minerales y, a menudo, al aplicar presiones muy altas a la roca, ésta reduce su volumen.

Existen dos grupos de rocas metamórficas: 1) las foliadas, que se caracterizan por que los minerales no se distribuyen al azar, sino que presentan determinada orientación y algunas veces se separan en grupos de diferentes clases, formando bandas contrastantes; un buen ejemplo es el gneiss donde se alternan bandas de cuarzo, con otras de feldespato de color claro y mica oscura; 2) las masivas o no foliadas, con una textura en donde los minerales están orientados al azar, a diferencia de las rocas conformadas por presiones cortantes por haber sido sometidas a campos de presión uniforme.

Las rocas metamórficas tienen una composición química y mineral similar a la de varias clases de rocas ígneas, pero los minerales están distribuidos según ciertos patrones que dan la clave para distinguir las rocas metamórficas de las ígneas. A menudo la roca tiene vetas bien marcadas que en cierta forma determinan las propiedades mecánicas de la masa rocosa; a

veces, la presencia de estas vetas es muy importante por ejemplo, el clivaje de las pizarras determina la presencia de esta roca.

El gneiss tiene una composición mineral similar a la del granito, por lo general se compone de cuarzo, feldespato, mica y hornblenda, pero estos minerales no están distribuidos al azar como en el granito, sino se agrupan en bandas de un solo tipo de minerales; en este caso la estructura es foliada. Así se forma la veta característica que puede influir en la resistencia de la masa de roca.

La migmatita se forma por metamorfismo a partir de la mezcla de rocas de diferentes tipos de composición química, por ejemplo: las rocas ricas en sílice o rocas ácidas que se combinan con las rocas básicas ricas en Mg y Fe. En la formación de estas dos rocas interviene el agente a temperaturas que no alcanzan a fundirlas completamente ni a formar una mezcla homogénea, pero sí provoca la recristalización de modo que forman bandas de minerales oscuros que provienen de los componentes básicos, hornblenda y biotita, alterando otras bandas que componen básicamente de cuarzo, feldespato y de la mica muscovita, que proviene de un componente ácido. Esta roca es una forma de gneiss, pero el bandeamiento es más grueso y los tamaños de masas de un solo tipo de mineral pueden ser del orden de metros o de centímetros, a diferencia del gneiss foliado. Por lo tanto, las diferentes zonas claras o oscuras, pueden apreciarse claramente a cierta distancia del frente de la roca.

El esquistoso es una roca metamórfica que se compone de cristales planos de mica o de clorita verde, hornblenda de hábito y de otros minerales, por lo común de cuarzo. El granate es un mineral común en algunas variedades de esquistoso se presenta en forma de pequeños cristales esféricos. Los cristales tubulares y los tubulados del granate se alinean de tal manera que las rocas se rompen con facilidad en fragmentos planos o tubulares. La alineación de los minerales se presenta a una temperatura de hasta setecientos grados centígrados en un campo de esfuerzos marcadamente anisotrópicos. Los minerales se ordenan con mayor facilidad en las direcciones de menor esfuerzo y la alineación resultante da lugar a la formación de planos de menor resistencia; por lo tanto esta roca es fisible, se parte dando formas definidas: planas, rectangulares o en forma de barra. A diferencia de la pizarra, que es una roca formada bajo condiciones similares, pero a temperaturas menores, las superficies de las fracturas del esquistoso son menos lisas por que los cristales que componen estas rocas son más grandes. Los esquistosos se forman a partir de rocas arcillosas, como: pizarras, de rocas ígneas graníticas y básicas. La arcilla pura se transforma en esquistoso de mica pero si hay impurezas como magnesio y hierro, en ésta arcilla se formará granate (esquistoso de granate y mica). El hecho de que el granate se presente en forma de trozos de cristales aislados indica que ocurrió algún desplazamiento de las impurezas que habían sido atraídas a las zonas de cristalización del granate, separadas unas de otras por una distancia de hasta un centímetro. Los cristales de mica son la causa de que la roca brille ante el reflejo de la luz. El esquistoso de hornblenda se forma a partir del metamorfismo de pequeños trozos de roca ígnea básica como la dolerita o el basalto. Como en el caso del gneiss, los minerales recién formados se pueden separar formando bandas de minerales de diferente composición química, dando a la roca un aspecto vetado.

La composición mineral y la alineación del esquistoso son las características significativas para la ingeniería. Puede variar en la resistencia de una masa de roca debido a las diferentes clases

de esquistos que se encuentre en su composición. Por lo tanto, la hornblenda se intemperiza con mayor rapidez que los agregados de cuarzo y mica

La filita y la pizarra son rocas similares, se componen principalmente de muscovita y clorita, con un poco de cuarzo. La clorita es un mineral de color verde, que tiene cristales laminares, similares a la mica, pero se forman a temperaturas menores (hasta cuatrocientos grados centígrados) en campos anisotrópicos de esfuerzo muy intenso. El material de la clorita también es rico en Mg y Fe, pero a diferencia de la mica, sus cristales se forman de arcilla pura. De hecho, las condiciones en que se forman los diferentes tipos de pizarra y esquistos son muy similares; pero las pizarras se formaron a temperaturas menores a las que estuvo sometido el esquisto. La existencia de cristales mas pequeños en estas rocas se debe a que se sometieron a temperaturas mas bajas y, posiblemente pasaron por un proceso metamórfico de más breve duración, originándose que éstas rocas sean de grano fino y puedan partirse fácilmente en fragmentos planos. Cuando la roca es muy dura y tiene muchos planos de clivaje, de tal manera que se pueden romper fácilmente con un cincel ancho para formar piezas planas, el material se puede utilizar para cubrir los techos de las construcciones. La filita o pizarra regular es una variedad de las rocas pizarrosas cuya textura se compone de cristales planos ovalados, como hojas de árbol, que dan a los planos de clivaje una textura característica. Los planos de clivaje paralelos de las pizarras se deben a la alta presión generada durante la compactación de las sucesivas capas de sedimento de grano fino. Estos planos están cruzados por fracturas que a menudo presentan un dibujo geométrico regular, ocasionando que la roca se rompa en formas romboédricas o rectangulares definidas. Si existe una gran cantidad de fracturas en el frente de la roca, los trozos de roca que se pueden extraer resultarán demasiado pequeños para construir techos de pizarra. En las canteras de pizarra, el material de desecho se puede triturar en fragmentos mas pequeños que se utilizan en la fabricación de láminas de asbesto para techos, dándoles "un acabado de pizarra".

También se pueden moler hasta convertirlo en polvo fino para rellenar numerosos productos de plástico.

La pizarra es una roca dura resistente al intemperismo por lo cual se destina para cubrir techos. La dirección de los patrones del crucero y del fracturamiento son los factores geotécnicos mas importantes, ya que estos factores determinarán la forma en que el macizo rocoso se resquebrajará, así como la estabilidad de los frentes de la roca durante los cortes y otras excavaciones. La estabilidad del frente de la roca depende básicamente del ángulo formado por el sistema de crucero y de fracturamiento. La pizarra arcillosa que se encuentra cerca de la superficie, se resquebraja fácilmente al liberarse de la presión a la que estaba sometida por una capa superior. Esta zona intemperizada se compone de una masa de pequeños fragmentos de pizarra en una matriz de arcilla, el material original a partir del cual se formó y en el cual se volverá a convertir durante su descomposición. Este proceso se caracteriza por la transición gradual de suelo arcilloso a lecho rocoso que se efectúa mediante una serie de cambios continuos que se evidencia por una cantidad mayor de los fragmentos de pizarra y cantidades cada vez menores de arcilla. La zona intemperizada, por lo general, tiene una profundidad variable debido a factores locales y, en muchos sitios de construcción, aquella tiene que determinarse durante los estudios preliminares mediante sondeos o zanjas. Habitualmente se utilizan herramientas mecánicas para la excavación de la pizarra, pero si la

excavación es profunda, será necesario el uso de explosivos. En la mayoría de los casos, las excavaciones para la cimentación de un edificio solo llegan hasta la roca madre, excepto cuando el nivel requiere de una profundidad. Como la pizarra es una roca de gran resistencia solo se necesita remover la sobrecarga intemperizada. Si las necesidades de la obra requieren que se exponga el frente rocoso, como en los cortes de carreteras, los estudios preliminares del terreno deberán incluir mediciones de la dirección y cantidades de discontinuidades causadas por el crucero.

La Milonita es un ejemplo de dinamometamorfismo extremo, la roca se encuentra a lo largo de grandes zonas ubicadas sobre una falla, debido a esta dislocación la roca fue finalmente triturada, sin que el calor generado por la fricción modifique la composición de la misma, como ocurre en la formación del esquistos y el gneiss en donde interviene el calor procedente de una fuente externa y mas profunda. La roca es de grano fino y no tiene estructura interna definida, pero puede tener betas debido a pequeñas diferencias en la composición de las rocas originales que han sido convertidas en fino polvo compacto. Cualquier clase de roca puede ser convertida en milonita, término que proviene de la palabra griega que significa molino. El proceso es similar a la molienda entre dos muclas de molino, pero dura millones de años, hasta que cesan los movimientos tectónicos, que se iniciaron a lo largo de la falla en cuestión.

IV.1.- CLASIFICACION DE ROCAS SEGUN SU UTILIZACION.

ROCAS IGNEAS INTRUSIVAS.- Los granitos tiene una absorción muy baja. Pruebas realizadas sobre 90 muestras de granito tomadas en las regiones de los Estados Unidos, mostraron una absorción media de 0.24% para una inmersión de un año. De las series estudiadas, ninguna mostró una absorción que llegase en ésta serie de muestras hasta alcanzar 10.4%, con un promedio del 1.29%. el grado de saturación obtenido durante otra serie de pruebas de absorción, en granito de las regiones de los Estados Unidos, dio como promedio de 0.66. La acción del Hielo parece ser despreciable en la intemperización de los granitos utilizados para fines estructurales. A causa de su composición mineral y de la cohesión de los cristales, el granito es duro y resistente al desgaste. Los granitos tienen una capacidad para soportar cualquier carga a que se les pueda someter en las construcciones ordinarias, con un factor de seguridad muy grande. La resistencia del granito es superior a la de la mayor parte de las piedras empleadas para la construcción. La tenacidad o resistencia al impacto, es algo variable y en general, algo inferior a la de las rocas de textura más fina, pero superior a la de las areniscas, caliza y mármol. El módulo de elasticidad de los granitos es mayor que el de cualquier otro tipo de roca. El granito tiene un peso específico medio de 2.788 kilogramos por metro cúbico.

Con frecuencia se presentan variedades de granito con diversos grados de alteración, e inclusive se encuentran granitos tan alterados que es fácil desintegrarlos por la simple presión de los dedos. Son rocas muy comunes en nuestro país principalmente en la Sierra Occidental y también se le encuentra en la Península de Baja California.

Constituyen materiales comúnmente empleados en la construcción de pavimentos. Puede decirse que son buenos materiales para formar la sub-base o la base de pavimentos y aún los granitos con cierto grado de alteración ya avanzada pueden utilizarse en la construcción de carpetas asfálticas. Las variedades de granito muy alterados reciben en nuestro país la denominación de "Tucuruguay".

Algunos defectos de los que comúnmente aminoran el valor del granito como piedra de construcción, son la presencia de nudos y vetas. Los nudos son manchas de color obscuro generalmente redondeadas y de textura más fina que el resto de la roca. Aunque no afecta a la resistencia de las rocas algunas personas los consideran como un demérito. Las vetas son bandas de distinto color, generalmente más claras o más oscuras que el resto de la roca. Además afectan al aspecto uniforme de las piedras lavadas. El granito contiene rara vez minerales que puedan perjudicarlo. La pirlita, en cristales muy pequeños, pueden ser susceptible de alteraciones por la formación de manchas de herrumbre. La biotita y la hornblenda pueden descomponerse parcialmente antes de la extracción del granito de la cantera, después, intemperizarse en los sillares. Si estos minerales no han sufrido ninguna alteración cuando la roca se extrae de la cantera, las alteraciones que pueden sufrir durante la vida prevista para la estructura será insignificante. El agua subterránea que pueda filtrarse a través de las juntas en la cantera suele causar una alteración en el borde, en general de distinto color a causa de la limonita formada. Desde luego hay que quitar ésta zona alterada antes de usar la piedra para fines de construcción. La presencia de numerosos diques en la roca natural hace que no sea utilizable para tales fines.

SIENITA.- Las propiedades generales de la sienita son semejantes a la de los granitos. La sienita a causa de su rareza tiene poca utilidad comercialmente como material de construcción y se disponen de pocos datos sobre sus propiedades físicas. La sienita tiene una absorción de 0.89 una porosidad de 3.84% y un peso específico de 3,634 kilogramos sobre metro cúbico.

DIORITA.- Es un tipo de roca más abundante que la sienita, pero menos que los granitos. Las dioritas se han usado mas para aplicaciones de piedra triturada, no se disponen de datos de sus propiedades físicas como para piedra de construcción y son más difíciles de explotar que los granitos por faltarles comúnmente sistemas de grietas adecuados.

GRABO.- Los grabos así como las dioritas, se han usado mucho mas como piedras ornamentales, que para fines de construcción. Se dispone de algunos datos que indican una absorción en un número limitado de muestras, fue menor de 0.3% en todos los casos, su peso específico de 3,020 a 3,187 kilogramos sobre metro cúbico.

DOLERITA.- Se presenta como frente en las construcciones como diques. Tiene una gran aplicación como piedra triturada, debido principalmente a su tenacidad y resistencia al desgaste las cuales la hacen adecuados para estos fines.

ROCAS EXTRUSIVAS; Pocas son las rocas volcánicas que se usan con fines constructivos. La diabasa se ha utilizado ocasionalmente para pavimentación de caminos y para monumentos, ya que tiene bastante resistencia y se pulimenta muy poco. Los basaltos, cuando no son celulares o escoriaiformes constituyen un excelente material como BALASTO en ferrocarriles y además se usa mucho en el campo de la construcción como piedra triturada para pavimentación.

Muchas felcitas son también útiles por su empleo como piedra triturada. Tanto las felcitas como los basaltos celulares son resistentes al desgaste y tenaces. La piedra pómez y los basaltos celulares se están usando cada vez mas para fabricar bloques de peso ligero con fines constructivos, a causa de su naturaleza celular estos bloques de peso ligero tienen excelentes propiedades aislantes para el calor, el frío o el sonido.

Un bloque de este tipo bien construido es resistente, a pruebas de fuego, humedad y por lo menos de un 40 a un 50% mas ligero que un bloque de concreto o arena.

Por lo que respecta a las rocas de origen volcánico y que son rocas extrusivas, es decir que se han formado en la superficie terrestre. Entre las mas características de éste grupo están las riolitas, que representan a las lavas formadas de un magma que a la profundidad hubiera formado un granito. Las riolitas son rocas muy comunes en nuestro país y se les encuentra con frecuencia en la Sierra Occidental, entre los estados de Sinaloa y Sonora. Son rocas muy comunes empleadas en la confección de pavimentos, si bien debe advertirse que antes de autorizar su empleo en la construcción de "carpetas" deberá efectuarse un estudio de afinidad con el asfalto, pues con frecuencia presentan características hidrófilas (mayor preferencia por el agua que por el asfalto).

Las rocas andesitas son también muy comunes en nuestro país. En las sierras que rodean la cuenca de México las encontramos en abundancia. Las andesitas constituyen materiales que se

utilizan en la construcción de bases y sub-bases de pavimentos en los caminos. Las andesitas son rocas que con facilidad se alteran y generalmente no se utilizan en la construcción de carpetas asfálticas, debido a éstas características.

Los basaltos son una de las rocas mas comunes en nuestro país, en el Pedregal de San Angel tenemos ejemplos típicos de estas lavas que constituyen un excelente material para la construcción de pavimentos. Normalmente los basaltos no presentan dificultades en cuanto a su adherencia con el asfalto. Se usa tanto para base de pavimentos y para carpeta asfáltica.

ROCAS SEDIMENTARIAS; Varias de las rocas sedimentarias se utilizan muy comúnmente en la pavimentación de caminos, según se indica a continuación: Conglomerados, constituyen un excelente material para pavimentación y generalmente el tratamiento a que debe sujetarse a este tipo de materiales consiste exclusivamente en eliminar sus tamaños de 50.8 mm. (2 pulgadas) ya sea por trituración o por simple cribado, con objeto de tener un material que reúna las características adecuadas para ser utilizado en la construcción de bases, o sub-bases de pavimento, si la cantidad de material de tamaño mayor al máximo permitido, es mas de 25% en volumen, debe procederse a triturar parcialmente el material. En ocasiones es necesario mezclar un suelo fino para modificar las características del material original, sea para proporcionar la debida cementación o bien para abatir la plasticidad de los finos hasta un límite conveniente. En ocasiones se utilizan también para mejorar la curva granulométrica del material grueso mal graduado

Los conglomerados son materiales muy comúnmente empleados en la construcción de las sub-bases de pavimentos y se les encuentra profusamente distribuidos en nuestra república, cuando los fragmentos son angulosos en vez de redondos, la roca recibe el nombre de "Brecha" sedimentaria.

ARENISCAS.- Esta es una roca en la cual el tamaño de los fragmentos que la forman es intermedio entre el de los conglomerados que ya mencionamos y el de lutitas, que son rocas constituidas por partículas de tamaño mucho menor.

Las areniscas son materiales que comúnmente se emplean en la construcción de sub-bases e inclusive en bases de pavimento. Debido principalmente a un alto grado de fricción interna y gran resistencia.

La resistencia a la compresión de muchas areniscas comerciales está comprendida entre 362 a 941 kilogramos sobre centimetro cuadrado. Esta propiedad depende de la naturaleza y cantidad del material de cementación. Las areniscas por ejemplo; dan resistencia a la compresión mucho mayor que las señaladas, en cambio una arenisca debilmente cementada puede tener una resistencia muy inferior a las indicadas.

Porosidad y permeabilidad de las areniscas.- Las areniscas figuran entre las mas porosas de las rocas consolidadas, aunque algunas areniscas pueden tener nienos del 1% de espacios vacios. Muchas areniscas de uso comercial tienen una porosidad comprendida entre 2 y 15%. De acuerdo con el tamaño y la disposición de los espacios vacios o poros, las areniscas muestran diversos grados de permeabilidad. Podemos decir en términos generales las areniscas son las mas permeables de las rocas consolidadas.

La absorción de las areniscas depende también del grado de cementación. El margen de la absorción es aproximadamente el mismo que el de porosidad.

LUTITAS.- Por lo que respecta a este tipo de rocas conviene decir que es muy peligroso su empleo, ya que están constituidas por arcilla consolidada. Aún cuando con contenidos bajos de humedad, las lutitas aparentan ser un material resistente, en presencia del agua se pone de manifiesto la actividad de la arcilla y por ese hecho debe evitarse su empleo en las bases y las sub-bases de pavimentación. Las lutitas después de un período de inmersión en agua se desintegran completamente.

CALIZAS.- Otra de las rocas muy comúnmente empleadas en la fabricación de los pavimentos es la caliza, material sumamente abundante en nuestro país y constituye un excelente material de pavimentación. La caliza produce bases de pavimento de una excelente cementación.

La caliza se emplea en la construcción de carpetas asfálticas y normalmente constituye un material con el cual no se tiene problemas por lo que se refiere a su adherencia con los asfaltos.

RESISTENCIA.- La resistencia de la mayoría de las calizas y calizas dolomíticas, usadas para fines de construcción, es suficiente para proporcionar un factor de seguridad razonable. Como en el caso de otras rocas la resistencia varía con el grado de consolidación. Como las rocas carbonatadas se cristalizan fácilmente, los cristales individuales de calcita y dolomita están firmemente unidos, y la cohesión de la mayor parte de las calizas, se debe en gran medida a la recristalización. La resistencia a la compresión varía entre 1,816 y 2,724 kilogramos por centímetro cuadrado, para muchas calizas de uso comercial. Se dispone de pocos datos sobre la resistencia a la flexión y al esfuerzo total.

POROSIDAD Y PERMEABILIDAD.- La porosidad intergranular de las calizas y rocas dolomíticas suele ser baja y, por tanto, la absorción es pequeña. Como las rocas carbonatadas son relativamente solubles, pueden abundar cavidades formadas por solución, y muchas grietas se agrandan por éste mismo fenómeno. En realidad, siempre debe sospecharse la presencia de cavidades formadas por soluciones y por tanto, una fácil permeabilidad, mientras no se compruebe lo contrario.

USOS.- Las rocas carbonatadas, en especial las calizas, tiene un amplio uso en la industria moderna. Ningún otro grupo de rocas consolidadas, con excepción de los carbones, la supera probablemente en diversidad de aplicaciones y volumen de demanda. La aplicación mas importante es como piedra triturada. Anualmente se trituran mas de 65 millones de toneladas de caliza. La aplicación que se le sigue es como piedra de fusión en las instalaciones metalúrgicas. La caliza es una de las piedras principales para la construcción, utilizándose para el exterior como para el interior de los edificios. El principal elemento para la fabricación del cemento es la caliza. La cal comercial se obtiene incinerando caliza, y la cal que se utiliza en la agricultura, es caliza natural pulverizada. La roca dolomítica también tiene numerosas aplicaciones, como piedra triturada en la producción de cal con magnesio para la agricultura.

El hornsteno y sus variantes, jaspe y pedernal, son densos, duros y algo quebradizos. El hornsteno de buena calidad es útil para grava o como agregados en el concreto. No obstante, la experiencia de los ingenieros en diversos lugares, ha demostrado que muchos de los fragmentos embebidos en la

parte superficial de los pavimentos de concretos tienden a desprenderse y saltar dejando oquedades en el pavimento. La explicación de esto parece ser que algunos hornstenos tienen estructura celular, cuando la calcita asociada a ellos se ha intemperizado, y son susceptibles a la acción de las heladas. Esto puede favorecerse también por la formación de grietas incipientes, causadas por la naturaleza.

IV.2.- CLASIFICACION DE LAS ROCAS DE ACUERDO A SUS PROPIEDADES MECANICAS.

Las principales propiedades mecánicas de las rocas son la resistencia y la elasticidad; respecto a la resistencia tenemos:

Esfuerzos en las rocas.- hay que considerar en general tres clases de esfuerzos; esfuerzo de compresión que tiende a disminuir el volumen del material; esfuerzos cortantes, que tienden a desplazar unas partes de la roca con respecto de las otras, y esfuerzos de tensión, que tiende a crear grietas y fisuras en el material. De acuerdo con ésta clasificación, la roca puede tener resistencia a la compresión y resistencia al esfuerzo cortante. La resistencia a la tensión, tanto de las rocas como de los suelos, puede despreciarse. En consecuencia, aquellas estructuras, o partes de estructuras, que han de experimentar tensiones no se construyen con material pétreo, sino de otros materiales para ello apropiados, tales como el concreto armado o el acero. Además de las tres clases de fuerzas mencionadas, las rocas, en su condición natural, están a veces sometidas a tensión.

Las fuerzas se miden en kilogramos por centímetro cuadrado. La resistencia a la compresión de un material tal como la roca, es la fuerza requerida para romper una muestra que este sometida a carga y no se halle contenida o sostenida por los lados. El caso más sencillo de ruptura de la muestra se designa por P. Si la sección transversal de la muestra es de 5 cm. por 5 cm.= 25 cm.2, y la resistencia a la compresión es de 1000 kg/cm2, una carga de 25000 kg. romperá la muestra.

En general, si la carga que se aplica es P. en kilos y la sección transversal de la muestra es A. en centímetros cuadrados, el esfuerzo de compresión p (en kilogramos por centímetro cuadrado) experimentado por la muestra es:

$$p = \frac{P}{A}$$

Las rocas ígneas, algunas cuarcitas y algunas areniscas, por lo general, ofrecen la resistencia más alta a la compresión. El basalto, sino está meteorizado, puede alcanzar una resistencia a la compresión, sin apoyo ni contención lateral de 3500 kg/cm2. La resistencia a la compresión de las rocas ígneas porfíricas depende de su porosidad: cuanto mas compacto es el pórfido tanto mayor es su resistencia a la compresión.

RESISTENCIA DE LAS ROCAS A LA COMPRESION (VALORES GENERALES)

RESISTENCIA A LA COMPRESION EN Kg/Cm²

RESISTENCIA	TIPO DE ROCA
Mas de 2,800	Algunos basaltos, la diabasa algunas cuarcitas.
1,750-2,800	Algunos granitos de grano fino, diorita, basalto, arenisca y caliza compactas bien cementadas, cuarcitas
700 - 1,750	Caliza y areniscas de tipo medio, granito basto y medio gneis.
350 - 700	Areniscas y calizas porosas.
y menos de 350	Tobas, greda, areniscas muy porosas, limonitas compactas.

Existe, probablemente, alguna analogía entre los factores que ejercen influencia en la resistencia de las rocas y que rigen la de los metales. Se ha observado por ejemplo, que un metal cuya superficie sea relativamente áspera tiene menos resistencia que otros cuya superficie sea prácticamente lisa. De igual manera, la resistencia a la compresión de las rocas esta influida por su textura, en especial por el grosor de los granos, por ejemplo: las areniscas de grano fino son mas resistentes que las de grano grueso. Las rocas ígneas y metamórficas examinadas en el microscopio muestran un entrelazado profundo entre sus cristales, resultarían mas fuertes que las que los tienen escasos. Este factor se conoce bajo la denominación de cristalinidad de la roca. En las rocas sedimentarias, sin embargo, la resistencia del material del ligazón intersticial o cemento puede ejercer, por lo menos, la misma influencia en la resistencia a la compresión particularmente cierto para las areniscas, conglomerados y brechas. Si el material cementante se compone entera o parcialmente de arcilla, la resistencia a la compresión será mas bien baja. Las juntas o grietas rellenas de arcilla son frecuentes en las calizas de aquí que no sean raras las que ofrecen reducida resistencia a la compresión.

La resistencia mayor se obtiene cuando es cuarzo el material cementante de una roca sedimentaria (sílice secundario), y en tal caso la roca se considera como silicato, o bien una combinación de sílice y micas hidricas de fina recristalización (illita, clorita, etc.). La presencia de fisuras, a menudo microscópicas y de juntas o venas (es decir, inclusiones dentro del material de roca, más o menos anchas, de materiales extraños) va en detrimento de su resistencia a la compresión, especialmente si la dirección de estas fisuras coinciden con los planos de fractura o fatiga de la roca.

La resistencia a la compresión de una roca depende de la inclinación de las fuerzas que sobre ella actúan con respecto a los planos de estratificación, o lechos, de modo que la mayor resistencia a la compresión corresponde a los esfuerzos normales a la estratificación.

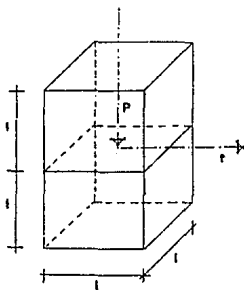
La saturación rebaja la resistencia de una roca a la compresión. En un estudio llevado a cabo, la disminución de resistencia a la compresión como consecuencia del estado húmedo fue de 12% para el granito; en otro de 4 a 8% para el granito y el mármol, y del 10 al 20% para las areniscas estratificadas, las calizas y las pizarras tegulinas. Cuanto más elevada la porosidad, y, por consiguiente, mayor sea la aptitud para la saturación, tanto más baja será la resistencia de la roca si

está saturada. Existe una relación definida entre la absorción porcentual y la resistencia a la compresión: Conforme aumenta la absorción porcentual, disminuye la resistencia a la compresión.

Se ha notado de acuerdo con algunos ensayos realizados, algunos fenómenos que acompañan a la compresión de las rocas. Antes de que logre observarse la primera fisura en la muestra sujeta a compresión, ya que hay un ligerísimo movimiento en el material de la misma a lo largo de eventuales superficies de fatiga. Este movimiento es semejante a un temblor en el interior de la roca y puede ser oído, mediante el empleo de un geófono especial. Los fines de estos ensayos consistían en determinar si se podía emplear este método en la predicción de caídas de rocas o desprendimiento del techo de túneles y minas; también para determinar el espaciamiento que debe tener las pilas ó soportes verticales.

Resistencia de las rocas a la tensión.- Las rocas que mayor resistencia presentan a la tensión, son los granitos sanos con un valor aproximado a 500 Kg/cm²; otras rocas tienen una resistencia aún menor. La del mármol varía de 425 a 300, la caliza es aproximadamente de 250 kg/cm². La forma más sencilla de producir tensión en una roca es, aplicar una carga lineal sobre una placa de piedra que esté apoyada en sus extremos, la placa se encorvara y presenta tensiones en la parte inferior y compresiones en la superior. Si se incrementa la carga, se llega a la ruptura por tensión. Como la mayoría de las rocas presentan una resistencia pequeña a la tensión, cuando alguna parte de la estructura ó algún miembro va estar sujeto a este tipo de esfuerzos, se utiliza de preferencia algún otro material como concreto armado o hierro. Los esfuerzos de tensión no solamente se producen con la aplicación de cargas, sino también por el asentamiento de las estructuras por temblores o por efectos de temperatura.

Esfuerzos cortantes en las rocas.- Se presenta, por ejemplo, en el caso de que se tengan dos cubos como muestra la (FIG.IV.1.).



ESFUERZO CORTANTE

Fig. IV.1

El cubo está presionado contra el inferior mediante una fuerza de compresión p y a la vez, se tiene a una fuerza empujando en el sentido horizontal con un esfuerzo tangencial t . Si

determináramos al coeficiente de fricción de roca con roca como f , el cubo superior estaría a punto de resbalar cuando:

$$t = (f)(p)$$

Este ejemplo de deslizamiento de un cubo con respecto a otro, es un fenómeno relativamente sencillo. Pero el desgarre tangencial a través de roca es un fenómeno mucho más complicado. En este caso el coeficiente de fricción interna " f ", cubre la fricción entre las superficies de desgarre, la ruptura de las ligazones entre partículas y otros trastornos.

Este coeficiente es muy común representarlo como la tangente del ángulo de resistencia cortante σ :

$$f = \text{Tang } \sigma \therefore t = p \text{ tang } \sigma$$

Sin embargo es muy sencilla esta fórmula para poderse emplear en la mayoría de las rocas (sobre todo en las de origen arcilloso). Es mejor utilizar las siguientes fórmulas empíricas, que dan mejores resultados:

En esta fórmula el término C designa el factor denominado cohesión. Los valores de t , p y c deben expresarse en términos de fuerzas, es decir, kilogramos por centímetro cuadrado.

Esfuerzos combinados de compresión y cortantes en las rocas.- Cuando ocurre la ruptura o falla de una roca sujeta a compresión es, por lo general, consecuencia de la acción combinada de tales esfuerzos. Estas fuerzas actúan simultáneamente en las rocas, o en cualquier otro material. Se pueden realizar ensayos, en los cuales se sujeta a una muestra a la acción combinada de dichos esfuerzos. Son los ensayos de compresión sin confinamiento lateral y de compresión triaxial. En el ensayo de compresión sin confinamiento lateral, se sujeta a la muestra por dos de sus lados opuestos, siendo el apoyo lateral nulo.

En ambos casos se puede determinar, no solo la resistencia a la compresión, sino también a los esfuerzos cortantes.

En el caso del ensayo triaxial la muestra se encierra en un cilindro que contiene fluido (agua, aceite mineral o keroseno) bajo presión. De este modo queda sometida a empuje vertical y a presión horizontal que suministra apoyo lateral.

La resistencia a la compresión es la unidad de carga axial en el momento de la ruptura, en ambos casos.

Ensayo de Compresión sin confinamiento.

Lateral.- Las muestras son pequeños prismas de 5 a 8 cm. de lado, ó cilindros de 5 cm. de diámetro. (FIG. IV.2).

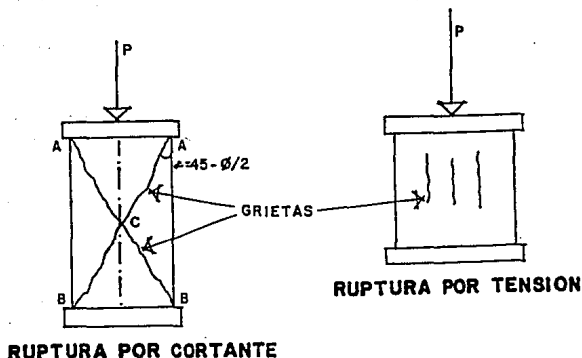


Fig. IV.2.

La falla se debe principalmente a esfuerzos cortantes que actúan a lo largo de las superficies de ruptura AB en la figura anterior. El ángulo de éstas superficies es aproximadamente $45^\circ - \phi/2$ con respecto a la vertical (siendo 0 el ángulo de resistencia al esfuerzo cortante). Si las superficies de ruptura AB son aproximadamente regulares, el valor del ángulo puede estimarse midiendo directamente $45^\circ - \phi/2$ en la muestra, ocasionalmente aparecen en la muestra grietas dispuestas verticalmente a lo largo de su plano axial apareciendo también otras grietas verticales de la misma naturaleza. Estas grietas verticales son manifestaciones de falla por tensión, causadas por esfuerzos de tensión horizontal.

Ensayo de compresión Triaxial.

El dispositivo que se utiliza para tales ensayos es el mostrado en la figura IV.3. El fluido se somete a presiones variables que reproducen las presiones de confinamiento reales a que están sujetas las masas pétreas en su estado natural.

Estas presiones se denominan presiones de sobre carga. Las mayores presiones laterales que se aplican son más ó menos, de 1/4 parte ó una 1/5 parte de la resistencia a la compresión. La presión vertical se aplica mediante un gato que empuja de abajo hacia arriba contra la pesada tapa del cilindro. Las muestras de roca que se emplean tienen de 4.3 a 15.25 cm. de diámetro, y su longitud es, aproximadamente el doble. Las líneas de ruptura son semejantes a las que se producen en la prueba de compresión no confinadas. El ángulo A C A es agudo para rocas quebradizas y obtuso para las rocas plásticas (en éste último caso la muestra tiende a dilatarse). En caso en que la muestra tenga más de 15% de humedad, es necesario medir la presión de los poros.

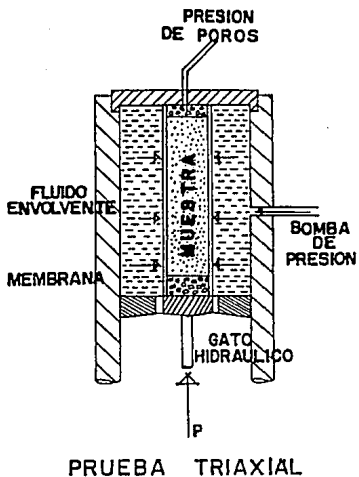


Fig. IV.3.

Diagrama de Mohr.- Cuando se emplea la ecuación debería tenerse en cuenta que los valores de θ y c no son características constantes de la roca (ó de los materiales ó de los suelos), sino que dependen del carácter del fenómeno que implica esfuerzos cortantes, en especial por lo que se refiere al ritmo de aplicación de los mismos. Esto es tan cierto para las rupturas por esfuerzos cortantes en el terreno mismo como lo es para las pruebas en ensayos de Laboratorio. Si en un ensayo triaxial de rocas (ó suelos) se aplican tanto la presión lateral como la axial o a un ritmo moderadamente lento, se obtendrá un valor razonablemente correcto para el ángulo de resistencia al esfuerzo cortante. La figura anterior muestra como en la práctica corriente se emplean los semicírculos, más bien que los círculos enteros. La tangente común a ambos corta el eje vertical en un punto D: la distancia OD es la cohesión unitaria c (en kilogramos por centímetro cuadrado) como en la ecuación. Esta tangente se denomina envolvente de Mohr y según todas las pruebas que se poseen, es una curva más bien que una línea recta. En la práctica se llevan a cabo varios ensayos sobre el mismo material; si consideramos la envolvente de Mohr como una línea recta, su posición final viene determinada como el promedio de las diferentes líneas rectas que han obtenido.

Si se trazan líneas perpendiculares al eje horizontal (líneas verticales de trazos de la figura anterior) a partir de los puntos T y T de tangencia de los círculos de Mohr, estas perpendiculares

miden, o representan los valores de los esfuerzos cortantes en los ensayos correspondientes. Los esfuerzos se miden a la misma escala a que se hayan acotado las presiones en el eje horizontal de coordenadas.

En los ensayos triaxiales de diversas muestras de granito ligeramente alterado, la resistencia media a la compresión fue de 695 Kg/cm², y el orden de magnitud del ángulo de resistencia al esfuerzo cortante θ fue de unos 55°. Cuando la presión lateral fue de 488, el esfuerzo crítico preciso para la ruptura de la muestra era de unos 8 200, pero aumentó a unos 10 800 cuando la presión lateral pasó a 800 Kg/cm².

Conclusiones que se deducen de las pruebas de compresión. La resistencia a la compresión aumenta cuando se incrementa la contención lateral. En el terreno esta contención está ejercida por la presión lateral con que las rocas contiguas actúan una sobre las otras. La causa principal en el terreno de las presiones laterales es el peso de las cargas sustentadas por una roca determinada. Cuanto más profunda la roca, tanto mayor es la presión lateral que se ejerce sobre ella, siempre, desde luego, que esté perfectamente confinada, es decir, que no pueda escapar o fluir lateralmente. En un ensayo triaxial de laboratorio la presión lateral la proporciona el fluido contenido bajo presión en el interior del cilindro. De todo ello se deduce que la resistencia a la compresión de una roca situada a profundidad es mayor que la que ofrece en la superficie del terreno, pero se reduce cuando es objeto de excavación y se elimina, por consiguiente, los factores coercitivos. También se deduce que para el proyecto de cimentaciones profundas, todos los valores de resistencia a la compresión expresados ofrecen suficiente margen de seguridad, ya que se han determinado como resultado de ensayos de compresión sin contención lateral (es decir, libres).

Factor de seguridad.- Para disponer de suficiente margen de seguridad las piedras o sillares que se hayan de colocar en una construcción o estructura, o la roca que la ha de soportar, se someten a cargas limitadas, que son solamente una fracción de la carga de ruptura final o del esfuerzo cortante límite, determinados sea en el laboratorio, sea en el campo. En otras palabras, cuando se proyectan tales cargas, se aplica un factor de seguridad, de la misma manera que se hace, en uso general, con los demás materiales de construcción. En el caso de piedras o sillares el factor de seguridad suele ser de 6 a 10; en el caso de rocas para cimentación se aplica por lo general, un factor mucho más alto. Un valor promedio de la resistencia a la compresión de los granitos es, por ejemplo, de unos 3000 Kg/cm², mientras que el código neoyorquino para la construcción establece un "valor de sustentación" para el granito de sólo 275 Kg/cm². Por lo general, sólo las grandes construcciones pueden justificar, desde el punto de vista económico, la realización de ensayos de laboratorio especiales de compresión, llevadas a cabo sobre muestras de piedra y roca. Lo corriente, es para construcciones de tipo mediano y pequeño, que la roca de soporte sólo sea objeto de inspección ocular y su valor de sustentación se establece mediante consulta del código local de construcciones.

El valor de sustentación o capacidad de sustentación, u otros términos semejantes, se usan sinónimamente para expresar la carga unitaria que puede aplicarse en la superficie de la roca (o suelo) con garantía de seguridad, es decir, sin deformación que suponga detrimentos para la integridad de la estructura o construcción. En ambos casos, de basamento de roca o suelo, el valor de la capacidad de sustentación depende, no solamente del tipo del material subyacente, sino también del de la estructura.

ELASTICIDAD DE LAS ROCAS

Módulo de elasticidad E de las rocas. Si nos referimos a la figura siguiente, veremos que determinada carga P , más pequeña que la de aplastamiento o ruptura, hace disminuir la altura L de la muestra prismática de sección cuadrada, en sentido vertical en cierta medida L y aumenta en cambio su anchura en sentido horizontal, que pasa de B a $B + \Delta B$. Si después de la remoción de la carga, la muestra tiende a recuperar su forma y tamaño originales se dice que la roca posee propiedades elásticas. Rara vez, sin embargo, recupera la muestra su forma y tamaño originales después de una operación de carga y descarga, sino que, por lo general, queda una parte residual de la deformación. Este tipo de deformación se designa como plástica, o irreversible. Después de una o más operaciones consecutivas de carga y descarga la muestra puede volverse elástica, es decir, que después de cada carga y descarga recupera exactamente la misma forma y tamaño que tenía antes de esta determinada operación de recepción de la carga. Si además, con cada carga de deformación L resulta proporcional al valor de la misma P que la originó se dice que el material obedece la ley de Hooke de la proporcionalidad entre el esfuerzo y la deformación (elasticidad perfecta): (FIG. IV.4.).

$$E = \frac{P/B \times B}{L/L} = \frac{\text{fuerza unitaria}}{\text{deformación unitaria}}$$

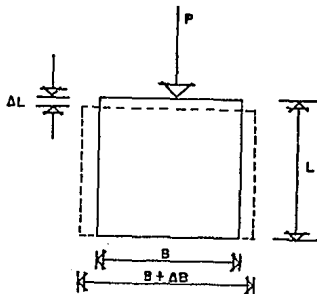


Fig. IV.4.

El símbolo E expresa el módulo de elasticidad para esa roca determinada cuando está sometida a compresión, y también se conoce con el nombre de módulo de Young. Se expresa en términos de fuerza, es decir, kilogramos por centímetro cuadrado o toneladas por metro cuadrado.

En sentido estricto la ecuación anterior se aplica a la roca isótropas, que son las que poseen las mismas propiedades elásticas en todas direcciones. En un material isótropo (en este caso la roca) el módulo de elasticidad es constante, es decir, es el mismo en todas direcciones. Las propiedades elásticas en las rocas son, en realidad, variables en distintas direcciones (material anisótropo), y el valor del módulo de elasticidad depende de la dirección de la medida. Por ejemplo, el valor más

reducido el módulo de elasticidad se presenta, corrientemente, cuando se mide E en sentido perpendicular (normal) a los lechos de estratificación de la roca. Esto quiere decir que las deformaciones máximas de una roca sometidas a carga sobrevienen cuando se coloca perpendicularmente con respecto a los lechos de estratificación. En general, las propiedades elásticas de una roca vienen afectadas desfavorablemente por diversas circunstancias geológicas, tales como zonas de fallas, fracturas, pequeñas intrusiones ígneas en rocas sedimentarias e índole lenticular de la estratificación, circunstancias todas las que permiten la interpolación de zonas blandas ocasionales en el cuerpo, por lo general, más duro, de las rocas. La mayor parte de esta circunstancias se describen a continuación.

Las variaciones en el tipo o grado de entrelazamiento de los granos constituyentes de los granitos son, en parte, responsables de la considerable amplitud que existe en los módulos de elasticidad y resistencia a la compresión que ofrecen las rocas graníticas. Cuando los granos ofrecen un entrelazado débil, incluso si los granitos están compuestos de cristales firmes y duros de cuarzo y feldespato, la roca puede resultar débil y relativamente poco elástica. Por otra parte, si sus granos aparecen bien entrelazados, algunos granitos, y en especial los gabros y las diabasas, muestran elevados valores para su resistencia elástica. Los datos compilados a partir de muchos ensayos arrojan un valor promedio para E de 875 000 Kg/cm² en el caso de 20 gabros y diabasas y de 450 000 Kg/cm², como promedio, para 23 granitos. Las resistencias a la compresión, promediadas, en los mismos ensayos, resultaron ser de 1 800 para 41 gabros y 1 500 Kg/cm² para 154 granitos. En general, cuanto más elevada es la resistencia a la compresión de una roca tanto más alto resulta el valor de E, aunque haya excepciones.

La posición del nivel freático ejerce influencia en el contenido de humedad de una roca.

Según la misma información, el valor de E tanto en el granito como en el mármol aumenta con un incremento ligero del contenido en humedad de la muestra. Sin embargo, en el caso de las calizas, la situación se invierte. Grandes contenidos de humedad pueden hacer disminuir el valor del módulo de elasticidad de una roca. Así es que los valores de E, en seco, es decir, obtenidos en el laboratorio, pueden inducir a error. Este hecho deberá ser objeto de seria consideración en el proyecto de presas y también en las cimentaciones de construcciones pesadas que puedan ser afectadas por la acción de las aguas.

Otros estudios han mostrado también que el valor de E para una roca aumenta, al parecer, después de que aquélla queda sometida a carga por largos períodos de tiempo. También se ha observado que muchas rocas si se han sometido a la acción de cargas pesadas en el laboratorio, y después se han descargado, vuelven, después de varios años, a recuperar casi por completo su forma y tamaño originales.

El grado de integridad de la muestra sometida a ensayo ejerce influencia sobre los resultados de éste. Si existen fracturas incipientes (de modo que sean numerosas las fisuras o los poros) los valores de E pueden resultar considerablemente más bajos que si el ensayo se hubiera practicado sobre la roca en el lugar. La sobrecarga de la roca en el lugar tiende a obligar a que tales fracturas incipientes queden apretadamente cerradas, de modo que resultan de escasa influencia sobre el valor del módulo de elasticidad mientras que en el laboratorio las fisuras quedan abiertas y ejercen influencia en el valor E.

Determinación sobre el terreno de los valores de E de una roca. Haciendo la excavación y ejerciendo presión sobre un muro, mediante un gato que se apoya en un bloque de concreto construido de antemano adyacente al muro opuesto de la excavación. La presión del gato (presión P) se aplica a la roca mediante un disco de caucho muy reforzado (de diámetro d). Se mide la flecha W en el centro del disco. Designando por E al módulo de elasticidad y u el coeficiente de Poisson. Se usa la fórmula siguiente que procede de la teoría de la elasticidad.

$$E = \frac{1.27 P}{W d}$$

Si se expresa P en Kg. y w en Cm. el valor de E calculado según la fórmula anterior, vendrá expresado en kilos por centímetro cuadrado.

Sin embargo con la excavación se destruye las circunstancias naturales existentes. Por consiguiente el módulo de elasticidad que se obtiene será diferente del real de la roca en su estado natural. Además el valor de E sólo se podrá aplicar, en el caso en que las presiones sean ejercidas en la misma dirección del experimento del gato.

Existe otro método para calcular el valor de E para la roca, según todas las direcciones, dando por lo tanto un valor promedio.

Consiste en cerrar por ambos extremos mediante muros de concreto, una porción de un túnel ó galería de conducción de aguas que esté revestido de concreto, y se somete a la acción de agua bajo presión. Teniendo como hipótesis que los módulos de elasticidad de la roca y del concreto son prácticamente idénticos. Aunque generalmente las propiedades elásticas de estos materiales esté lejos de cumplir tal hipótesis.

Existen otros métodos para la medida del módulo de elasticidad de una roca en excavaciones (galerías), tanto revestidas como sin revestir.

Otro método también que se aporta de los mencionados como el sísmico en el que se provoca un trastorno elástico en la roca haciendo denotar una pequeña carga de explosivos.

Coefficiente de Poisson. - El coeficiente de Poisson (cuyo símbolo es u) es la relación que existe entre la deformación lateral B/S y la deformación longitudinal L/L.

Se dispone de pocos valores para las diferentes rocas: 0.15 a 0.24 para el granito, 0.16 a 0.23 para la caliza, 0.25 a 0.38 para el mármol 0.08 a 0.20 para las pizarras, 0.17 para las areniscas y 0.11 para las tobas.

Tensiones residuales en las rocas. En las rocas llegan a presentarse tensiones adicionales como consecuencia de cargas excesivas, o de otros trastornos, bien sean de orden natural u originados por la acción humana, como, por ejemplo, explosiones, pueden subsistir en la roca durante periodos de

tiempo más bien prolongados después del cese del trastorno o de la remoción de la carga. Estas son las tensiones o esfuerzos residuales. No se tiene un concepto claro de su naturaleza ni de los posibles cambios que puedan experimentar con el tiempo; sin embargo, puede reconocerse su presencia. Por lo general, un esfuerzo residual no puede producir deformación del material que lo soporta si éste está tan confinado que resulta imposible el movimiento de las partículas que constituyen la roca.

Pero la remoción de algún material pétreo próximo al frente, de la cantera de la roca, produce un alivio o descarga.

Entonces el material pétreo empieza a desplazarse lentamente hacia la zona aligerada, y los esfuerzos residuales pueden ser objeto de medida. El orden de sus magnitudes pueden calcularse multiplicando los valores obtenidos de la deformación, por el módulo de elasticidad "E". El conocimiento de los esfuerzos residuales es especialmente necesario en la construcción de túneles, para la predicción y prevención de presiones perjudiciales que puedan surgir cuando el confinamiento de la roca se vea aliviado por la ejecución de la construcción.

CAPITULO V

V.- LOCALIZACION DE LOS BANCOS DE EXPLOTACION.

Los materiales pétreos que se emplean en la construcción constituyen uno de los aspectos para que las estructuras proporcionen con eficiencia el servicio y duración que se espera de ellas, dentro de las condiciones previstas en el proyecto.

Aunque la buena estructuración guarda también estrecha relación con otros factores no menos importantes, tanto como el empleo de aglutinantes, los procedimientos constructivos que se apliquen, etc., la consecución del éxito del objetivo citado al final del párrafo anterior, depende buena parte de que los materiales pétreos utilizados se seleccionen y procesen siempre, en forma congruente con el uso a que se le destine, a fin de lograr en ellos, al menor costo posible, la cantidad que se requiera en cada caso para resistir adecuadamente los efectos impuestos por el tránsito, cargas, medio ambiente, etc.

GENERALIDADES SOBRE LOCALIZACION DE BANCOS DE MATERIALES.

Con el objeto de llevar a cabo los trabajos preliminares para la localización de bancos de material, es necesario contar con un plano de la región por explorar, de preferencia que este plano sea fotográfico y de ser posible fotointerpretado; en el caso de no poder contarse con estos datos se necesitará un plano en el que se tenga ubicados los ríos existentes, los accidentes topográficos importantes, las poblaciones con sus vías de acceso, la existencia de minas o canteras en explotación o que hayan sido explotadas, etc. Además, deberá recabarse con los habitantes de la región, información sobre la obtención de los materiales de construcción empleados en la zona por explorar y vaciarla en el plano, en el, cuál también se deberá señalar el desarrollo del camino por pavimentar o la ubicación de la obra de que se trate.

Una vez que se cuente con un plano como el indicado anteriormente se procederá a efectuar la exploración de la región, para lo cual, si no se está familiarizado con ella, es conveniente hacerse acompañar por una persona conocedora de la zona; los recorridos de exploración se podrán efectuar en helicóptero, vehículo automotor (en ocasiones será necesario de doble tracción), lancha, caballo o a pie, según sea necesario; durante los recorridos se corregirá y completará el plano si fuera necesario, señalando tiempo de recorrido, distancias, ubicación de ríos o arroyos no consignados, así como la localización de probables bancos, indicando su posible empleo, desviación aproximada al camino u obra por pavimentar, tipo de material y volumen aproximado disponible.

Los aspectos básicos que deben considerarse para seleccionar, entre otros son los siguientes: calidad, accesibilidad, facilidad de explotación, volumen disponible, tratamiento y costos.

a) Calidad

La calidad de los materiales es uno de los requisitos más importantes que deberán tenerse en cuenta al seleccionar un banco de materiales pétreos para pavimentación, siendo necesario que de acuerdo con el destino que se pretenda dar a estos materiales, sea la calidad que deberán cumplir con un cierto margen de seguridad, de acuerdo con las normas establecidas para el tipo de obra que se vaya a ejecutar, ya que si no es así y se seleccionan bancos cuya calidad está en el límite tolerable por las especificaciones.

El riesgo que se corre es grave, debido a que durante la producción se pueden obtener materiales inaceptables para el fin propuesto.

Este aspecto es muy importante, principalmente en lo que se refiere a ciertas características de algunos materiales, las cuales en ocasiones tienen variaciones apreciables durante su explotación.

b) Accesibilidad.

Este es otro de los factores importantes que hay que tomar en cuenta, ya que de no considerarlo se pueden llegar a tener fracasos económicos de importancia si se fijan bancos inaccesibles o de muy difícil acceso, tales como los ubicados en las márgenes opuestas de ríos caudalosos, donde no hay puentes para cruzarlos y los materiales sólo se pueden transportar por medio de chalanes en ciertas épocas del año, lo que resulta oneroso; los bancos en cantiles o laderas escarpadas en donde para llegar a ellos es necesario construir caminos de acceso muy largos, caros y peligrosos de transitar o bien, cruzar zonas anegadas o pantanosas en donde es difícil y costoso construir y conservar el camino de acceso.

c) Bancos de explotación

Las ventajas que presenta un banco en relación con otros, en lo que se refiere a facilidad de explotación, deberá tomarse en cuenta al fijarlo, ya que tiene influencia directa tanto en el aspecto económico, como en el cumplimiento de los programas de la obra.

Por tal motivo, hasta donde sea posible, se evitará localizar bancos en zonas montañosas en las cuales no se tengan sitios apropiados para la instalación del equipo para su explotación, tratamiento, maniobras y almacenamientos de los materiales procesados, en sitios tan próximos a las obras por construir, que al efectuarse el ataque del banco se ocasionan obstrucciones en ellas, con el material producto de la explotación; en las cercanías de instalaciones que son costosas para mover, tales como líneas de transmisión de energía eléctrica, subestaciones eléctricas, canales, tuberías (gasoductos, oleoductos, etc.) o bien, en donde se ponen en peligro estructuras como cortinas de presas, torres de transmisión, edificios, etc. Otro caso que es conveniente evitar es el de extracción de materiales de playones de ríos, en donde los espesores aprovechables son pequeños y la calidad es variable o bien, cuando el material tiene que extraerse bajo agua con el consiguiente deterioro de equipo, disminución de rendimiento y consecuente aumento de costo; lo anterior se acentúa cuando es necesario usar chalanes o algún otro equipo adicional.

Con objeto de evitar en lo posible problemas como los citados anteriormente, es necesario tomar en cuenta la facilidad de explotación, estudiando la posibilidad de explotar bancos, que aunque estén más alejados de las obras, presenten menores dificultades para su ataque.

d) Volumen disponible.

Este es otro factor que deberán tomarse en cuenta al localizar un banco, ya que en los casos en donde el material requiere para su utilización cierto tratamiento por medio de máquinas e instalaciones costosas, el volumen por extraer debe justificar estos gastos a fin de que la explotación del banco resulte económica; en el caso de bancos de materiales con volúmenes reducidos en los cuales se requieren tratamientos como los indicados, no es recomendable su explotación a menos que no se encuentren otros bancos en la región.

e) Tratamiento.

El tratamiento a que deberán sujetarse los materiales de los bancos para su utilización es otro aspecto importante para tenerse en cuenta al seleccionarlo, ya que de preferencia es conveniente trabajar con materiales cuyos tratamientos sean sencillos, tales como el disgregado, el cribado, o cuando más, el triturado, a fin de evitar aquéllos que requieran procedimientos adicionales complicados como el lavado u otros más elaborados como es el caso de las estabilizaciones; estos últimos procedimientos resultan caros y en ocasiones, por no disponerse de todo el equipo especializado necesario, se recurre a adaptaciones que al final no producen el material con la calidad adecuada, que es factible obtener, por lo que se recomienda que en caso de ser necesarios los procedimientos señalados, se utilice el equipo apropiado.

f) Costos.

Es necesario antes de recomendar el empleo de cualquier banco de material, efectuar un análisis económico de los que se tengan disponibles, teniendo en cuenta los aspectos básicos anteriormente tratados, con lo cual se estará en posibilidad de eliminar aquéllos que no sean competitivos.

V.1.- MEDIOS DE EXPLOTACION .

El movimiento de tierras incluye el movimiento de una parte de la superficie de la tierra de un lugar a otro y, en su nueva posición, crear una forma y condición física deseada. En ocasiones, el material que se mueve se desecha como desperdicio. Debido a la gran variedad de suelos existentes y de trabajos que deben efectuarse en ellos, se ha desarrollado una gran variedad de equipo y métodos para este fin.

Tipo de excavación. Un método común para clasificar la excavación es relacionarla con el tipo de material excavado: capa vegetal, tierra, roca, fango y no clasificado.

Desmote o arranque de raíces. Se utiliza generalmente un tractor con buldozer o rastrillo para raíces. El buldozer puede derribar árboles y desarraigar restos de troncos. El rastrillo para raíces las apila para incinerarlas y produce una pila más limpia. Para maleza ligera, se puede necesitar cortadora de maleza.

Arranque de raíces. Utilice explosivos de baja potencia y velocidad lenta para detonación.

Desmote. Utilice una cadena o cadena con bola pesada arrastrada entre dos tractores. Son útiles para árboles que se rompen con facilidad. Los tractores equipados con cuchillas cortadoras pueden trabajar sobre cualquier apoyo y cortar cualquier árbol al nivel del suelo.

Despalmc. Los bulldozers están limitados por la distancia de empuje o acarreo, pero son útiles en terrenos pantanosos o inundados. Las escrepas están limitadas por el tipo de terreno y la capacidad de soporte del suelo; pueden ser del tipo arrastrados por tractor para distancias cortas. Las palas mecánicas están limitadas por la profundidad del despalmc, su capacidad para trabajar con vehículos para transporte y el espacio para maniobrar el cucharón. Se utilizan en terreno pantanoso inundados que impiden el uso de otro equipo.

Excavación en tierra. El equipo utilizado generalmente y dependiendo de las condiciones de trabajo, como son capacidad de soporte del suelo, es el siguiente:

- ESCREPAS ARRASTRADAS CON TRACTOR
- MOTO ESCREPAS
- CARGADOR FRONTAL SOBRE ORUGAS
- CARGADOR FRONTAL SOBRE NEUMATICOS
- RETROEXCAVADORAS SOBRE ORUGAS Y NEUMATICOS
- DRAGAS
- BULLDOZERS

V.2.- CLASIFICACION DE LOS BANCOS.

Según la topografía de la región, tipo de vegetación, extensión del área por explorar, vías de acceso existentes y demás características, será el procedimiento de exploración a efectuar, pudiendo llevarse a cabo a pie, a caballo, en vehículo automotor, lancha o helicóptero. Por cualquiera de los procedimientos citados se puede llevar a cabo la exploración y durante ella se toman todos los datos necesarios de los bancos probables que se encuentren, los que ya fueron mencionados anteriormente en el segundo párrafo del inciso 1.

Los estudios que generalmente se efectúan a los probables bancos de materiales, pueden ser preliminares, definitivos o para fines de inventario.

a) Estudios preliminares.

Después de levantar un croquis del área probable del banco, se señalarán sus dimensiones aproximadas, incluyéndose en el mismo un esquema con su ubicación en relación con el camino o la obra donde se empleará; a continuación se ejecutarán, según el área estimada del banco, algunos sondeos que por lo general se hacen a cielo abierto, distribuidos adecuadamente en toda el área, los que se señalarán en el croquis.

Los referidos sondeos que llevarán a cabo anotando en el registro de cada uno de ellos, el espesor de la capa de despalme y su tipo de material, la estratigrafía de los materiales aprovechables encontrados indicando con claridad sus características, dureza o dificultad en su ataque, humedad natural, nivel de aguas freáticas si se llega a encontrar, tipo del material subyacente al material aprovechable, tratamiento y uso probable del material aprovechable, época del año en que se efectuaron los sondeos y todas las observaciones de campo que se consideren necesarias como puede ser la existencia de estratos de arcilla, fisuras con o sin relleno, tipo de relleno o empaque, etc. Una vez efectuados los sondeos a cielo abierto, los cuales tratándose de un estudio preliminar podrán ser del orden de 4 a 6 por cada 50,000 m³ de probable material aprovechable se procederá a tomar una muestra representativa de cada sondeo, identificándola en forma adecuada a fin de evitar confusiones en el laboratorio.

A todas las muestras se les efectuará ensayos completos de calidad y de acuerdo con los resultados que se obtengan, se podrá juzgar si del estudio preliminar se pasa al definitivo o bien, por la calidad resultante de los materiales se elimina el banco o se amplía el estudio hacia alguna otra zona, que por el resultado de los ensayos y las observaciones de campo, resulte conveniente estudiar por considerar que posiblemente hacia ella se extienda el material de buena calidad. En algunas ocasiones se hacen estudios geofísicos, con objeto de detectar con mayor aproximación el área que conviene sondear y muestrear. En los casos en que los bancos se localicen en cortes naturales, se aprovecharán éstos para tomar en sus paredes muestras en canal, previa eliminación de la capa superficial que se encuentre alterada por acción del intemperismo; dicha muestra complementará las hechas en sondeos a cielo abierto. Lo anteriormente expuesto es aplicable a los materiales que son susceptibles de atacarse con pico y pala, ya que en caso de no ser así, el estudio preliminar se limitaría a efectuar algunas barrenaciones hasta una profundidad adecuada, considerando el tipo y características físicas del polvo que se extraiga, la dificultad en la barrenación y algunas otras

observaciones de campo hechas durante este trabajo (grietas, empaque, etc.), se podrá definir si se pasa al estudio definitivo o se concluye que no es conveniente efectuarlo.

b) Estudios definitivos.

Si el estudio preliminar a conducido al definitivo, el croquis del banco se deberá efectuar con mayor precisión midiendo con exactitud sus dimensiones y estacándolo para delimitar la zona de los materiales aprovechables; su ubicación con respecto al camino es necesario determinarla con mayor precisión y calcular su volumen teniendo en cuenta el área estudiada aprovechable y el espesor promedio resultante de la capa o capas de materiales aprovechables, deduciendo los volúmenes de los desperdicios que se prevean.

En el estudio definitivo es conveniente distribuir los sondeos a cielo abierto en forma de retícula de tal manera que la distancia entre vértices adyacentes sea de 20 a 100 metros, según la uniformidad, tipo de los materiales y espesor aprovechable, además, es aconsejable para su fácil identificación, poner una estaca a un lado del sondeo con su número correspondiente; también deberá llevarse un registro de cada sondeo en donde se señalen datos como los indicados para los sondeos preliminares y además los espesores de los diferentes materiales encontrados, clasificación estimativa, y todos los datos que se consideren de interés. Terminados los sondeos se tomará una muestra representativa en cantidad suficiente del material extraído de cada uno, identificándola correctamente para evitar errores en el laboratorio; a continuación se procederá a efectuar a todas las muestras individualmente los ensayos de calidad correspondientes y en el caso de que las características de ella resulten uniformes, se obtendrá por cuarteo una muestra representativa del material del banco o bien, si hay algunas zonas con características diferentes, se obtendrán muestras representativas de éstas por medio de los materiales extraídos de los sondeos de cada una de dichas zonas; a estas muestras representativas se les efectuarán todos los ensayos de calidad correspondientes y se les determinarán los porcentajes de las partículas retenidas en las mallas de 3", 2", 1 1/2", 3/4" 1/2", según sea el destino del material, así como el tamaño máximo de las mismas, con lo cual se podrá definir el tratamiento probable a que deberán sujetarse dichos materiales.

Lo anteriormente expuesto es aplicable al caso de bancos en los que los sondeos se pueden hacer con pico y pala, ya que en el caso de que éstos no sean posibles, se procederá a efectuar algunos sondeos a cielo abierto por medio de explosivos y a ejecutar algunas otras barrenaciones para determinar el área y espesor del material aprovechable y como consecuencia su volumen. De los sondeos a cielo abierto se tomarán muestras representativas, las cuales en el laboratorio se someterán a trituración por medio de una máquina o por marco, a fin de poder efectuar todos los ensayos de calidad.

Conociendo los resultados de los ensayos de calidad, el tratamiento aplicado en el laboratorio para obtener material trabajable (disgregado, cribado, triturado parcial o total, lavado, etc.), volumen de material disponible y ubicación, se estará en posibilidad de recomendar el banco y su utilización, según las especificaciones que cumpla.

c) Estudio para fines de inventario.

Los procedimientos de exploración y estudios que se efectúan para fines de inventario de bancos, normalmente son más sencillos que los estudios preliminares y definitivos ya descritos, por tratarse en general de bancos que ya fueron estudiados y empleados con anterioridad. Estos estudios es conveniente llevarlos a cabo para cada obra, ya sea carretera, aeropuertos, etc. para iniciarlos es necesario obtener toda la información que se tenga disponible de los bancos estudiados en forma definitiva.

Conocer cuales fueron empleados, sus volúmenes, características físicas de los materiales, tratamientos utilizados, empleo, problemas que se presentaron durante su explotación, comportamiento en la obra, etc.

Deberá efectuarse una inspección de los bancos a fin de verificar su existencia y condiciones que actualmente presentan, corrigiendo en caso de ser necesario su ubicación, y además se estimarán los volúmenes existentes. Si no se tienen ensayos de calidad recientes de los materiales o si toda la zona estudiada inicialmente fue explotada, se procederá a efectuar algunos sondeos para determinar si existe todavía material aprovechable, llevando un registro de estos sondeos, como se indicó en los estudios anteriores, procediéndose a la toma de muestras en la misma forma ya descrita, para que con la información de campo y los resultados de laboratorio se pueda decidir si los bancos se incluyen en el inventario o se eliminan por considerar que ya no son aprovechables.

En los casos de que algunas carreteras u obras, se encuentren agotados los bancos, o bien los necesarios para una determinada etapa, se procederá a efectuar la localización de nuevos bancos para sustituir a los originales en los trabajos de conservación que se lleven a cabo, ejecutando los estudios, preliminares y definitivos que sean necesarios, en la forma anteriormente descrita, al término de los cuales se podrán incluir en el inventario correspondiente.

CAPITULO VI

VI.- EQUIPO PARA LA OBTENCION DE BANCOS DE EXPLOTACION.

Una vez que se han realizado los estudios geológicos de la zona a explotar y, se determina el tipo de material a extraer se vera que equipo es el idóneo para esta actividad de extracción de materiales pétreos.

En primer lugar hay que retirar los terrenos constituidos de tierra vegetal, realizando las operaciones de despalme y desentraice con escrepas, tractores, arados, hasta dejar abierto el banco de material a explotar, esto se hará en forma de terrazas (esto para su mejor evacuación y permita la evolución de las maquinarias de perforación, del equipo de carga y del equipo de evacuación del material extraído). FIG. VI.1

La explotación de banco de roca o suelo se hace utilizando determinados equipos con característica y uso bien establecido por la experiencia previa de construcción. La selección de equipo adecuado para un caso particular será función de tres factores fundamentales:

- La disponibilidad de equipo.
- El tipo de material por atacar.
- Distancia de acarreo del material.

Establecida la clase de equipo, su tamaño, es en función sobre todo del volumen de la obra y/o banco por explotar, del tiempo en que deba trabajarse y del espacio disponible para las maniobras.

Existe maquinaria diversificada, cuya utilización conjunta y racionalmente programada permite explotaciones muy eficientes y económicas.

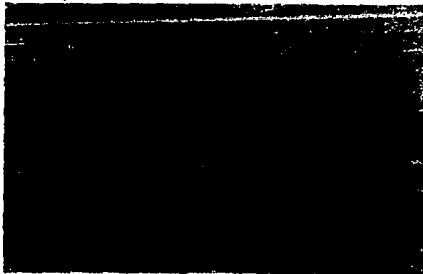


Fig. VI.1

VI.1.- MAQUINARIA.

Dependiendo del material a extraer se utilizan diferentes tipos de maquinarias.

Materiales suaves:	TRACTORES DE ARADO ESCREPAS. TRACTORES SOBRE ORUGAS. DRAGAS CON ALMEJA (Quijada o de dragado). RETROEXCAVADORAS. CARGADORES FRONTALES. NEUMATICOS O SOBRE ORUGA.
Materiales duros:	TRACTORES SOBRE ORUGA. RETROEXCAVADORAS SOBRE ORUGAS. EXPLOSIVOS.

EXPLOTACION DE UNA MINA A CIELO ABIERTO EN UN SOLO LUGAR.

Generalmente los bancos de materiales, están cubiertos de un material superficial, el cual se debe de retirar, el material de valor se excava y acarrea en camiones, y el material superficial se empuja o se vuelve a colocar.

Donde el depósito es poco profundo y el tajo angosto. Los bulldozers resultan buenas herramientas de despalme, particularmente cuando el terreno desciende a través del depósito, si las condiciones permanecen iguales.

Tales despalmes poco profundos, raramente requieren de voladuras, pero el uso de escarificadores puede acelerar la excavación.

Las escrepas o traillas se utilizan para tirar lateralmente, y para acarreo y despalme combinado. Su mejor aplicación es en los suelos que pueden excavar fácilmente con la potencia disponible, o que puede romperse en fragmentos finos, mediante escarificación o voladura; y que no son suficientemente profundos para justificar el uso de palas con el debido alcance para darle al tajo el ancho requerido.

La excavación con palas. Para el trabajo de tiro lateral, las palas están equipadas con plumas y brazos de ataque extra largos, para aumentar el alcance. Esto se compensa con contrapesos y potencia extra, o cucharones menores.

Las palas de despalme montadas sobre orugas, se construyen con tamaños de cucharón, cuya capacidad van de 3/8 a 125 yds. En el trabajo de despalme, generalmente éstas se utilizan para el tiro lateral, excepto en los tamaños más grandes; también pueden utilizarse, para cargar camiones o trenes que se estacionan en el tajo, o sobre los frentes comparativamente bajos.

Las palas pequeñas y medianas para despalme, son, generalmente, unidades más o menos normales que pueden fácilmente transportarse de un trabajo a otro. Las más grandes, probablemente, se hacen sobre pedido, se embarcan a la obra en partes, y se arman a un costo muy elevado. Su alto costo únicamente se justifica cuando existe suficiente trabajo en una área para cubrirlo.

En las unidades medianas y grandes, se utilizan potencias de diesel, diesel y electricidad, y electricidad de línea de transmisión. Para cada función de la pala, puede utilizarse motores eléctricos separados, o un motor puede impulsar dos o más trenes de engranes.

Para el tiro, el alcance deberá incrementarse con el espesor del despalme, ya que la pendiente del montón reduce progresivamente el área de trabajo, en proporción al ancho superior del corte. Para una excavación de material duro y grueso, y para mayor rendimiento, se requiere más potencia y un cucharón de mayor capacidad.

Una pala grande para despalme, puede excavar material más duro sin dinamitar, o roca más gruesa partida por voladura, que cualquier otra excavadora.

La pala puede hacer uno o más viajes para despegar un área de trabajo. Puede trabajar desde el carbón o estrato de valor, o desde el piso dejado después de una remoción.

VI.2.- EXPLOSIVOS.

En el proceso de obtención de agregados pétreos para la construcción, a veces no es posible extraerlos por medio de la maquinaria que enunciamos anteriormente, para lo cual debemos tener en cuenta, que la utilización de explosivos nos puede auxiliar en la obtención de los agregados pétreos.

Las excavaciones superficiales de las rocas se hacen principalmente con los siguientes propósitos:

1. Despalme, remoción y desperdicio de cualquier tipo de roca o tierra para descubrir extractos apreciados.
2. Corte. Primordialmente remoción para bajar la superficie. En la construcción de caminos y aeropuertos el material excavado se usa, generalmente, como relleno en otra parte de la obra. En las excavaciones de zanjas, se usa a menudo para rellenarlas después de la instalación de tuberías.
3. Explotación de canteras o minas. Excavación de la roca que tiene valor por si misma, ya sea antes o después de su proceso. Se puede hacer una distinción aproximada entre estas dos, ya que comúnmente en las canteras, lo que interesa son las características de la piedra, y en las minas, su composición química. Sin embargo, en esta discusión se usaran los términos indistintamente.

Una excavación puede comprender las tres clasificaciones, como por ejemplo, en un corte grande de un camino, de donde se desperdicia parte del material, parte se usa como relleno para camino, y la mejor roca se tritura y se usa como agregado.

La voladura se puede dividir en una operación primaria en la cual se afloja la masa original de la roca, y en un trabajo secundario que consiste en reducir los fragmentos de gran tamaño, y romper las aristas y las protuberancias. Esto último se hace del mismo modo que para cualquier otra voladura ligera como en la fracturación de boleo y lechos de rocas.

El trabajo con rocas también se puede clasificar en cuanto al tiempo y el tamaño requerido en los materiales triturados en la explotación de canteras de construcción o en piedras de ciertas dimensiones, incluyen el aflojar grandes pedazos sólidos de la roca maciza, mientras que la voladura para obtener roca para relleno o para triturar, requiere pedazos suficientemente pequeños para que quepan en el cucharón de la pala, en la capa del relleno o en la trituradora.

Propiedades generales. Los explosivos son sustancias químicas que pueden descomponerse rápida y violentamente. Las sustancias químicas originalmente sólidas o líquidas se transforman en su mayor parte en gases, incluyendo vapor que tienen un volumen mucho mayor. Con la transformación se genera calor, el cual sirve para dilatar considerablemente los gases. La explosión por combustión rápida se llama deflagración, y debido a una casi instantánea descomposición se llama detonación. Los explosivos de alto poder denotan.

Las propiedades que hay que considerar para seleccionar un explosivo incluyen sensibilidad, densidad, potencia, velocidad, resistencia al agua, gases que se forman, precio y disponibilidad.

La sensibilidad es una medida de la facilidad con la que se puede hacer explotar una sustancia, y su capacidad para mantener una explosión a lo largo de un barreno. También es una medida de seguridad entre mayor sea la sensibilidad, mayores serán los riesgos de su manejo.

La nitroglicerina es tan sensible que debe mezclarse con otras sustancias antes de poder usarse como explosivo comercial.

Combinaciones tales como el fulminato de mercurio y la azida de plomo que se usan en los detonadores, son tan sensibles que explotan con el golpe ligero de un martillo o con calor moderado. En el otro extremo, el nitrato de amonio es tan insensible que se requieren pocas precauciones y no necesitan permiso para embarcarlo o almacenarlo.

La densidad es el volumen de un explosivo en proporción de su peso. Se mide en libras por pie cúbico, o en número de cartuchos de 1 1/4 X 8 plg. dentro de una caja de 50 lb, para dinamitas envueltas. Dichos cartuchos contienen cerca de 9.78 plg³. Una cantidad de 100 cartuchos por caja es más o menos equivalente a una densidad de 77 lb/pie³ (libras por pie cúbico). un pie cúbico de agua pesa 62.4 lb.

La potencia es el contenido de energía de un explosivo en relación con su peso. En general se pueden obtener la máxima potencia explosiva de un barreno utilizando dentro de él, un explosivo de alta densidad y potencia.

La velocidad es una medida expresada en pies por segundos de la rapidez a la que viaja a través de un explosivo, la onda de combustión o de detonación. Varía desde 1000 hasta 3000 pies/seg. (pies por segundo) para las pólvoras, hasta 23,000 pies /seg. para la gelatina explosiva.

La explosión de poca velocidad tiene un efecto separador y de levantamiento, mientras que la de alta velocidad tritura y despedaza.

La resistencia al agua es un factor importante para las rocas en agua, y varía no sólo con la clase de explosivos, sino que también con la manera en que está retacado y envuelto. Los fabricantes están cada vez más capacitados para hacer más resistentes al agua al explosivo, que a la envoltura. Los gases que resultan de las explosiones varían en cualidades tóxicas e irritantes esto es muy importante para trabajos subterráneos, especialmente si hay poca ventilación. De acuerdo con los gases, los explosivos están catalogados por los fabricantes como excelentes, buenos regulares y malos.

Los explosivos varían ampliamente en cuanto al tiempo que pueden permanecer bajo diversas condiciones, antes de que el deterioro los haga peligrosos o inútiles. Anteriormente la dinamita se dañaba con la congelación, pero esta dificultad ya se a vencido completamente. El deterioro puede ser un factor serio si el uso está sujeto a retraso, especialmente en tiempo de calor y lluvias.

Las diferentes dinamitas varían ampliamente en precio, y el tipo más económico para cierto uso está a menudo dentro de la categoría más alta. En otras palabras, una dinamita debe seleccionarse sobre la base de resultados finales, en lugar de costo inicial.

Hay varios factores que contribuyen a la eficacia de una carga explosiva: confinamiento, densidad, diámetro más eficiente para la propagación uniforme y la masa crítica.

El confinamiento ayuda a que los productos en reacción contribuyan a la detonación de los productos que no han reaccionado. Si las proporciones reaccionadas pueden escaparse, cesará la reacción. Un espacio de aire puede ser muy eficaz para amortiguar una reacción.

Cuanto más densa sea la carga, más efectiva será, hasta cierto punto. Para cada explosivo hay una densidad óptima. Como la perforación cuesta más que los explosivos por yarda cubica de excavación, es deseable usar la mayor cantidad de explosivos por pie de agujero.

El diámetro más eficiente para la propagación uniforme es la anchura o longitud sobre las cuales la masa explosiva se auto propagará una vez que empiece la detonación. Esta longitud es desde muy pequeña hasta unas nueve pulgadas para el nitrato de amonio.

VI.3.- ACARREOS.

El acarreo de los materiales pétreos está en función del volumen a manejarse, ya que en minas donde el producto es muy voluminoso se utilizaran diferentes tipos de equipos o maquinaria.

MAQUINARIA UTILIZADA PARA ACARREOS:

- Cargadores frontales sobre orugas
- Cargadores frontales sobre neumáticos
- Moto escrepas
- Camiones fuera de carretera
- Camión de volco

Cargadores frontales sobre oruga.

Estos generalmente se ocupan cuando el recorrido de obra no es problema, la distancia para acarreo es corta y el tipo de fondo de excavación no es adecuado para rueda de llantas neumáticas.

La capacidad esta en función del peso unitario del material que va a manejar. Por ello, hay una gran variedad de cucharones para cada cargador. Son de tres tipos básicos: hidráulicos, descarga por gravedad y de inclinación de la parte superior. Los cargadores con controles hidráulicos son los preferidos para la mayoría de los trabajos. El tipo de inclinación en la parte superior es preferible cuando hay poco o ningún espacio para girar.

Cargadores frontales sobre neumático.

Generalmente se ocupan cuando los recorridos de obra son problemáticos, y además que el tipo de material a trabajar dentro del banco no afecte la vida útil de las llanta. Las características de estos cargadores frontales son las mismas que los anteriores sobre orugas.

Moto escrepas.

Las moto escrepas pueden tener dos o tres ejes y uno o dos motores de combustión. Con un solo motor, este impulsa las ruedas delanteras. Con dos motores, uno impulsa las ruedas delanteras y el segundo, las ruedas traseras. Las escrepas también pueden funcionar en tándem, es decir, con dos escrepas detrás de una unidad motriz o tractor.

En esencia, las escrepas funcionan como una cuchara. Un tazón colgado de bastidor se inclina hacia abajo para permitir que el borde corte o rasque una capa delgada de tierra. Cuando avanza la

escrepa, se llena el tazón. Cuando está lleno, se inclina hacia arriba y se baja un mandil sobre el extremo abierto para cerrar el tazón. Para descargar en capas delgadas, se inclina el tazón hacia abajo y un expulsor (eyector) empuja la tierra hacia fuera.

Camiones fuera de carretera.

Los camiones que se construyen para trabajar en minas o bancos, o en otros tipos de excavaciones en el que no se requiere el uso de camiones públicos, no están sujetos a ninguna restricción legales respecto al tamaño o al peso.

Los camiones para fuera del camino pueden ser de una anchura de 8 a 14 pies con la longitud y el peso aumentados en proporción. Las capacidades de los camiones de chasis rígidos varían de 40 o más yardas cúbicas y 60 ton, y los semi remolques pueden llevar 100 ton. Los tamaños van aumentando al disponerse de componentes mayores como llantas, motores y convertidores de torsión.

El peso muerto del chasis y de la caja es generalmente igual al de su capacidad de carga. Su construcción es mucho más pesada que la de los camiones que circulan por carreteras, para poder soportar las condiciones más duras de trabajo pesado y acarrees cortos.

Camión de volteo.

El camión de volteo es, probablemente, la más familiar de las maquinas que se ocupan para hacer excavaciones. Sin embargo, su estructura es mas bien complicada y es tan importante que se considera indispensable hacer una descripción detallada de ella.

Se compone de cuatro partes principales. El chasis, que incluye el bastidor, la defensa, los muelles, los ejes muertos, ruedas y llantas neumáticas. El tren de potencia que está separado del chasis, consta de motor, el embrague la transmisión, el eje de propulsión, el diferencial y los ejes vivos. la cabina es un compartimiento para el operador. El volteo, que incluye la caja, la puerta trasera, protector de la cabina, y el sistema hidráulico y controles, es una unidad completamente separada, generalmente construida por un fabricante diferente y que se puede adaptar a varios modelos de camiones.

CAPITULO VII

VII.- EQUIPOS DE TRITURACION.

GENERALIDADES.

La preparación de los agregados tiene por objeto transformar el "Material en Greña" proveniente de la pedrera o de un banco de agregados naturales, y compuestos de elementos de todas dimensiones, desde bloques grandes hasta elementos finos e impurezas de arcilla y limo materiales limpios, clasificados en las categorías granulométricas requeridas.

Para realizar dichas operaciones, se cuenta con equipo de trituración propiamente dicho y equipo complementario, o sea aquellas máquinas que sin participar directamente en las operaciones de trituración, son indispensables para realizar los procesos necesarios en la transformación del material en greña o natural, a material útil que reúna ciertas especificaciones.

Por lo que respecta al equipo de trituración, desgraciadamente hasta la fecha no se ha diseñado una máquina universal que en un solo paso o etapa, convierta el material natural en agregados útiles, sino que dicha transformación se deberá realizar en varios pasos o etapas de acuerdo con el material natural disponible y con especificaciones que deban cumplirse.

Se describirán someramente los siguientes tipos de equipos:

EQUIPOS DE TRITURACION	
1.-Trituración Primaria	1.1.- Quebradora de Quijadas
Greña a 10" - 4"	1.2.- Quebradoras Giratorias
2.- Trituración Secundaria	2.1.- Trituradoras de Cono
2" - 4" a 3" - 1"	"S"
	2.2.- Trituradoras de Rodillo Doble
	2.3.- Trituradoras de Impacto
3.- Trituración Terciaria	3.1.- Trituración de cono
3" - 1" a 3/4" - 1/4"	"FC"
	3.2.- Trituración de rodillo triple.
	3.3.- Trituración de martillo.
4.- Trituración cuaternaria	4.1.- Trituradora de cono
ó molienda.	"VFC"
3/4" a 1/4" a menor de - 1/4"	4.2.- Molinos de barra
	4.3.- Molinos de bolas
	4.4.- Pulverizadoras

EQUIPOS COMPLEMENTARIOS

5.-Cribas vibratorias (horizontales e inclinadas)
6.-Alimentadores (de delantal, de plano o reciprocantes, vibratorios)
7.-Gusanos lavadores, ciclones, tanques clasificadores y tambores desenlodadores (scrubbers).
8.-Bandas transportadoras
9.-Elevadores de cangilones
10.-Motores eléctricos y de combustión interna.

CONCEPTOS BASICOS.

Efectos Mecánicos.

Todas las máquinas de trituración tienen como común denominador la reducción del tamaño de un material pétreo; para ello se le aplican esfuerzos a la roca hasta provocar su ruptura o falla a través de efectos mecánicos como: impacto, desgaste, corte y compresión.

Las máquinas de trituración más utilizadas en las obras civiles, emplean los métodos mecánicos de reducción indicados en el cuadro. VII.I

QUEBRADORA	METODOS DE REDUCCION			
	IMPACTO	DESGASTE	CORTE	COMPRESION
IMPACTO	XXXXX			
PULVERIZADOR	XXXXX			
MARTILLOS	XXXXX	XXXXX	XXXXX	
RODILLOS			XXXXX	XXXXX
GIRATORIAS	XXXXX			XXXXX
QUIJADAS	XXXXX			XXXXX
CONO	XXXXX			XXXXX

CUADRO VII.I.

Para decidir cuál es el equipo de trituración apropiado para resolver un determinado problema de producción de agregados, es necesario tener en consideración tanto la naturaleza de la materia prima por procesar, como el trabajo idóneo para cada tipo de trituración, para poder hacer una selección de equipo técnica y económicamente válida.

Dos de los conceptos básicos que definen el comportamiento y campo de aplicación de los diferentes tipos de quebradoras son índice de reducción y coeficiente de forma.

Índice de reducción.

Se define el índice de reducción de una máquina de trituración, a la relación:

$$I_R = \frac{D}{d}$$

Entre el tamaño "D" del fragmento de roca a la entrada de la máquina y el tamaño "d" del producto de la trituración a la salida.

Dicho índice de reducción varía con cada tipo de trituradora, de acuerdo con la mecánica de su construcción y con los métodos de reducción por ella utilizados fig. VII.1

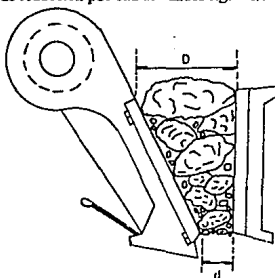


Fig. VII.1

Dicho índice varía según el tipo de la trituradora. Sus valores medidos son:

TIPO DE TRITURADORA	INDICE DE REDUCCION
Quijada	8 a 1
Giratoria	8 a 1
Cono secundario	10 a 1
Rodillo doble	3 a 1
Impacto	30 a 1
Cono FC terciario	10 a 1
Rodillo triple	6 a 1
Martillos	20 a 1
VFC (cono cuaternario)	6 a 1
Molino de barras	15 a 1
Molino de bolas	30 a 1

Coefficiente de forma.

Sea un fragmento de roca, cuya dimensión mayor sea representada por "L" y sea "V" el volumen de dicho fragmento y "v" el volumen de una esfera cuyo diámetro sea "L" FIG.VII.2

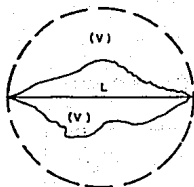


Fig. VII.2

Se define como "Coeficiente de Forma" de dicho fragmento a la relación:

$$C_f = \frac{v}{V} = \frac{v}{\frac{\pi L^3}{6}}$$

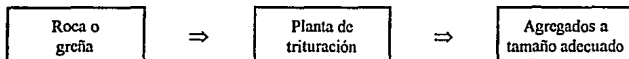
Obteniéndose de la aplicación de dicha fórmula los valores promedio siguientes, en los fragmentos más comunes:

Forma de fragmento	Valor del coeficiente de Forma
Esférico	1
Cúbico	$\frac{2}{\pi \sqrt{3}} = 0.37$
Tetraedro Regular	$\frac{1}{\pi \sqrt{2}} = 0.22$
Canto rodado	0.34
Grava triturada	0.22
Lajas	0.07
Agujas	0.01

Los dos últimos tipos de fragmentos (lajas y agujas), generalmente se prohíben por las normas de calidad de control de agregados pétreos admitiéndose como máximo de 5 a 8% en peso debido a que por su forma, son partículas débiles con mucha tendencia a fracturarse.

Procesos de producción de agregados.

El proceso para la producción de agregados es el siguiente:



Los objetivos centrales en la producción de agregados son:

- Cumplir las normas de tamaño y calidad.
- Producir el agregado al costo mínimo posible.

El equipo de trituración, básicamente sigue siendo el mismo que hace 50 años, lo que se ha ido modernizando es el equipo complementario, incrementando la eficiencia de las Plantas de Proceso de Agregados Pétreos.

Para poder realizar una buena selección es necesario conocer las características del equipo de trituración.

VII.1.- EQUIPOS DE TRITURACION PRIMARIA.

Es la primera etapa de reducción de los materiales pétreos; en ella se convierte el material producto de la explotación del banco de roca o "greña", a fragmentos entre 12" y 4". Existen varios tipos de máquina capaces de realizar esta reducción las más importantes son las quebradoras de quijadas y las giratorias.

A).-Quebradoras de quijadas.

Definitivamente es la quebradora de quijadas de simple Togle con excéntrico superior FIG.VII.3, la que se utiliza para realizar la primera etapa de reducción de los materiales pétreos, en las plantas móviles camineras, en prácticamente todos los casos, así como en la mayoría de las instalaciones fijas de producción de agregados para la industria de la construcción.

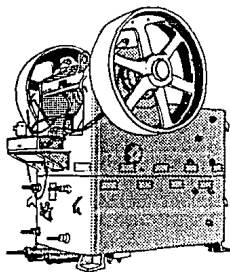


Fig. VII.3
Vista exterior Quebradora de quijada 44" x 48".

Las trituradoras de quijadas se designan en base al ancho y longitud expresado en pulgadas del rectángulo que constituye la boca de admisión, las más comunes son 10"x 16", 10"x 21", 10"x 30", 12"x 36", 15"x 24", 20"x 36", 25"x 40", 30"x 42", 36"x 46", 44"x 48", 50"x 60" y 66"x 84".

Equipo de mecánica simple. Se utiliza en las plantas pòrtatiles, en tamaño que van desde 12"x 48", con pesos de 5,300 kg hasta 48,000 y producciones desde 18t/hr hasta 840 t/hr, de acuerdo con el tamaño de la máquina, abertura de salida y naturaleza geológica del material, alcanzando índices de reducción promedio de 8 a 1.

El trabajo de estas trituradoras se basa principalmente en los efectos de impacto y de compresión.

La quebradora de quijadas FIG.VII.4, consta de un bastidor construido generalmente de placas de acero electrosoldadas y relevadas de esfuerzo (1), en el cual está apoyada una flecha (2) elaborada de acero de alta resistencia al impacto con aleaciones de níquel, cromo y molibdeno. De la flecha o árbol principal cuelgan la biela o pitman (3) unida a la flecha por rodamiento de alta resistencia, la biela se

fabrica de placas de acero electrosoldadas y constituyen la quijada móvil propiamente dicha. En la parte inferior está articulada a través de un elemento llamado tocle o trampilla de articulación (4) que es un elemento fabricado a base de un material estructuralmente débil como es el fierro fundido, con el objeto de cumplir una doble misión; además de articular la quijada móvil, sirve como fusible en el caso que por accidente se introduzca a la máquina un fragmento de material no triturable como puede ser la cabeza de un martillo o el diente de un cucharón. En ese momento, el tocle se rompe y permite el libre paso del fragmento sin ocasionar daños mayores a la máquina.

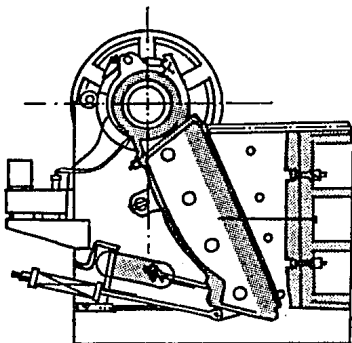


Fig. VII.4

Corte esquemático trituradora de quijadas

Tanto la quijada móvil como la fija que está en el bastidor, están revestidas por las muclas o quijadas (5) que son piezas de desgaste intercambiable fabricadas de acero con 12% a 14% de manganeso. En las partes laterales de la cámara de trituración existen placas del mismo material de forma trapezoidal y triangular que periódicamente se sustituyen de acuerdo a la abrasión del material.

En la parte inferior de la quijada móvil existe un tirante a base de varilla que en su parte de apoyo al bastidor tiene un resorte para asegurar el retroceso adecuado de la máquina.

En el apoyo del tocle se pueden quitar y poner libremente calzas o laines de placa metálica de diversos calibres, si se quiere aumentar o reducir la abertura de salida.

En la parte superior se encuentra la boca de entrada del material y la flecha o eje excéntrico que describe un movimiento de rotación, el cual provoca que el extremo superior de la Biela sufra un movimiento circular, mientras que el extremo inferior, describe también un arco de círculo, haciendo que la quijada tome de esta forma un movimiento complejo. El material es triturado por la compresión y el impacto que las quijadas le aplican hasta llegar al tamaño de salida.

La quebradora de quijadas, es una máquina que se diseñó a principios del siglo XX y que en realidad ha sufrido pocos cambios, pudiéndose señalar entre ellos la lubricación automática a base de aceites y la regulación hidráulica de la abertura de salida.

B).- Quebradoras Giratorias.

Este tipo de máquinas se utilizan generalmente en instalaciones y cementeras o en obras de ingeniería donde se necesiten producción de más de 1000 t/h.

En las trituradoras giratorias FIG.VII.5, la reducción del material se obtiene por la presión entre un bastidor anular fijo en forma de cono llamado anillo cóncavo y un piñón o cabeza también en forma troncocónica, pero en sentido inverso el cual esta apoyado en una flecha que cuelga de una araña localizada en la parte superior sostenida por un travesaño a través de la abertura de entrada. El apoyo inferior de la flecha está alojada en un mecanismo excéntrico, que al accionarse a través de la polea ranurada, flecha horizontal, piñón y corona dentada produce un movimiento de campanco que provoca a la roca alimentada por la parte superior los efectos de impacto y compresión, evacuándola por la parte inferior de acuerdo a un tamaño que dependerá de la abertura de salida.

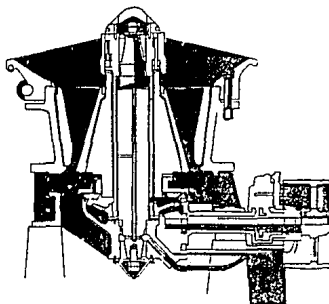


Fig.VII.5
Trituradora giratoria

Estas máquinas tienen una gran capacidad de producción, pero a su vez son muy pesadas, muy costosas y con dimensiones en su altura superior a los 5 metros, lo que las hace poco prácticas para instalarse en grupos móviles o plantas portátiles.

El tamaño de este tipo de trituradoras se designan por el diámetro de admisión en pulgadas, siendo las más comunes de 8, 10, 13, 16, 20, 25, 30, 36, 42, 48, 54 y 60 pulgadas.

VII.2.- EQUIPOS DE TRITURACION SECUNDARIA.

El material producto de una trituración primaria puede ya usarse en la elaboración de concretos hidráulicos (grava No.4), para ornamento, etc. Sin embargo para obras civiles es necesario reducirlo aún más de tamaño.

Si bien la etapa primaria de trituración desde hace ya muchos años se ha definido a la quebradora de quijadas como el equipo idóneo para las instalaciones de producción de agregados, en la etapa secundaria han existido en los últimos años cambios sensibles en la preferencia de los usuarios de dichos equipos.

En la etapa secundaria se reduce el material producto de la trituración primaria, es decir de 12" a 14" a fragmentos entre 3" a 1" que bien podría ser material útil como grava para concreto, material para sub-base, etc.

Las máquinas comúnmente utilizadas para realizar esta etapa son las trituradoras de cono, impacto y martillo y de rodillos.

A).- Trituradoras de rodillos.

Este tipo de trituradoras de mecánica simple utilizan los efectos de compresión y corte para efectuar la reducción de tamaño del agregado pétreo.

En el pasado éste era el equipo más popular, hoy en día, su utilización ha quedado reducida al tratamiento de materiales suaves poco abrasivos como son caliza, carbón y yeso debido a que con roca altamente abrasivas, el desgaste que se presenta en forma de surcos profundos en la superficie cilíndrica de los rodillos hace que se tengan altos costos de mantenimiento, presentándose también las siguientes limitaciones:

1. El diámetro de los rodillos debe ser de 20 a 30 veces mayor el tamaño de los fragmentos en la alimentación para que pueda aprisionarlos y triturarlos.
2. La producción es directamente proporcional al ancho de los rodillos FIG.VII.6, sin embargo un ancho demasiado grande, provoca desgaste irregular y rápido más fuerte en el centro que en los extremos.

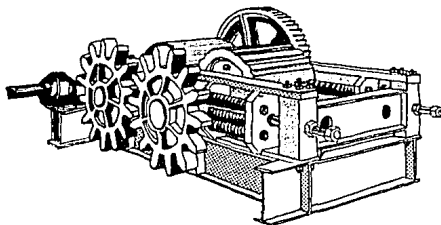


Fig.VII.6
Trituradoras de rodillo doble

El índice de reducción que se logra con esta máquina es relativamente bajo 3 a 1 como máximo debido fundamentalmente a las limitaciones que se tienen en los tamaños de los alimentadores. Se ha procurado disminuir un poco este inconveniente, introduciendo un tercer rodillo, obteniéndose así una máquina que puede trabajar con mayores índices de reducción, aún cuando más costosa en inversión inicial y en operación FIG. VII. 7.

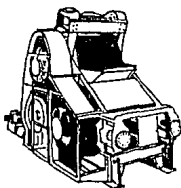


Fig.VII.7
Trituradora secundaria de rodillo triple

Para disminuir los problemas de alto costo de mantenimiento en dinero y tiempo, en el rectificado de los surcos de desgaste, se han diseñado máquinas de soldadura automática que mitigan un poco estos inconvenientes.

Los rodillos pueden ser lisos, para producir material fino y corrugados que no los producen tan finos pero admiten tamaños mayores .

El coeficiente de forma del material triturado en los rodillos es por regla general bajo, con una gran tendencia a formar muchas lajas en ciertos tipos de rocas.

Por los motivos anteriormente descritos en muchas instalaciones de producción de agregados, las trituradoras de rodillo han venido siendo sustituidas por otro tipo de máquinas, limitándose el uso de las mismas al proceso de cierto tipo de materiales suaves y poco abrasivos como se había mencionado anteriormente.

El tamaño de estas máquinas se designa por dos cifras diámetro del rodillo por ancho del mismo, generalmente en pulgadas. Los más usuales son 24 x 16, 30 x 26 en rodillo doble.

B).- Trituradora de impacto y de martillo.

Tanto las trituradoras de impacto FIG.VII.8, como las de martillo FIG.VII.9, utilizan básicamente el efecto de fuertes impactos de la roca contra las placas del bastidor, impulsadas por una o dos rotors que están girando a elevadas revoluciones por minuto. En los trituradores de martillo con rejillas que funciona como controlador del tamaño máximo del producto, existen también los efectos secundarios de corte y desgaste de las rocas entre el martillo y la rejilla. Con este tipo de máquinas se obtienen materiales cúbicos de elevado coeficiente de forma, con índices de reducción de 20 a 1 y en ocasiones de 30 a 1.

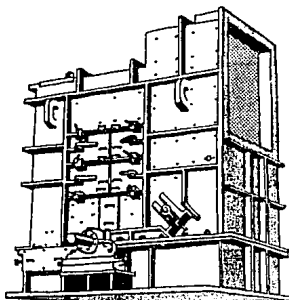


Fig.VII.8

Trituradora de impacto de simple rotor

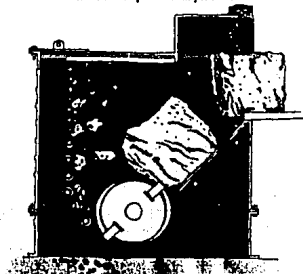


Fig.VII.9

Trituradora de martillos

Desgraciadamente estas máquinas no son adecuadas para procesar rocas con más del 6% del contenido de sílice (SiO_2), por el fuerte desgaste que sufren los martillos y barras de impacto con los materiales pétreos abrasivos siendo aconsejable su empleo para tratar calizas, dolomitas, yeso, asbestos y en general todo tipo de minerales no abrasivos, pues de lo contrario se elevan muy fuertemente sus costos de mantenimiento.

El tamaño de estas trituradoras se designa con el diámetro del rotor por el ancho del mismo en pulgadas generalmente, indicando si es de simple o doble rotor y si cuenta o no con rejilla de clasificación.

Generalmente las barras de impacto así como las cabezas de martillo se fabrican con aleaciones de acero resistentes a la abrasión ya que es necesario cambiarlas frecuentemente de acuerdo con el desgaste que les ocasiona el proceso de trituración.

C).- Trituradoras de Cono.

Las trituradoras de cono FIG.VII.10, son las más utilizadas en lo que respecta a trituración secundaria. Su fabricación y constitución de sus principales componentes son semejantes a las quebradoras giratorias ya descritas. La diferencia principal es que la flecha (1) en que se apoya el piñón o cabeza (2) no cuelga, sino está sostenida en la parte inferior, donde se localiza el mecanismo excéntrico (3) que se acciona a través de una flecha horizontal (4) que trae la energía del motor (5) y a base de un piñón (6) y corona dentada (7) produce un movimiento de campaneo para realizar los efectos de impacto y compresión.

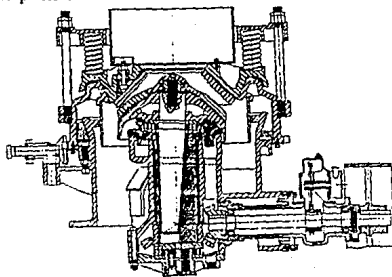


Fig.VII.10

Corte esquemático trituradora de conos

En estas máquinas se puede apreciar tanto el bastidor como el cono cabeza están contruidos de acero fundido aún cuando últimamente a habido diseños de placa soldada, tanto el tazón que es fijo (8) y la nuez o cono móvil están recubiertas por acero al manganeso (9). Son piezas de desgaste que deberán sustituirse periódicamente de acuerdo con la abrasividad del material. El dispositivo de seguridad contra los productos no triturables está constituido por una serie de resortes perimetrales FIG.VII.11.

Este tipo de máquinas son muy eficientes ya que tienen un alto índice de reducción que puede llegar hasta 10 a 1; sus dimensiones son compactas lo cual las hace prácticas para su instalación en grupos móviles de trituración y sus costos de mantenimiento muy bajos, por la elevada duración de sus piezas de desgaste.

La regulación del tamaño se logra subiendo o bajando el anillo cóncavo y generalmente puede procesar cualquier tipo de material por duro y abrasivo que sea.

La designación de este equipo es según el diámetro inferior del piñón expresado en pulgadas siendo las más comunes 24", 36", 48" y 66".

Las trituradoras de cono más utilizadas en México son la marca Telesmith donde se conocen como giro esferas, así como las marcas Symmons-Rexnord, Allis-Chalmers, etc.

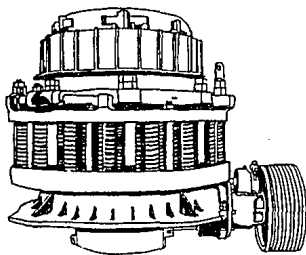


Fig.VII.11

Accionamientos de los resortes perimetrales de seguridad

Los constructores de caminos empezaron a utilizar, en unidades portátiles, el tamaño de 36", que es una máquina aproximadamente 11,000 kilogramos de peso con una producción de 80 toneladas a una abertura de salida de una (1") (para producir materiales de 1 1/2").

Posteriormente los grandes volúmenes de materiales requeridos en los nuevos proyectos de autopistas, obligaron a utilizar los tamaños de 48", máquinas 22,000 kilogramos de peso y producciones del orden 170 toneladas por hora de materiales de 1 1/2" y hoy en día ya los tamaños de 66" FIG.VII.12, máquinas con peso de 42 kilos y producción 275 toneladas por hora de material de base, tienen bastante demanda entre los grandes contratistas de caminos.

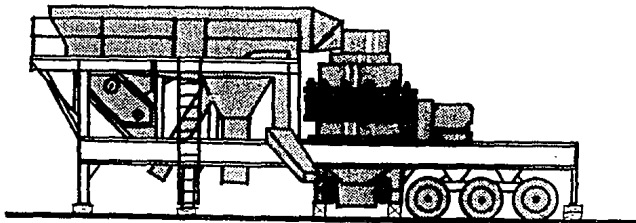


Fig.VII.12
Uso de las trituradoras de cono en la construcción de caminos.
(plantas portátiles o grupos móviles)

El material producto de la trituración secundaria puede ser utilizado como agregado para la producción de concretos hidráulicos y en la construcción de bases y sub-bases de caminos y aeropistas, sin embargo en muchas ocasiones, como en el caso de la producción de concreto asfáltico y material de sello para carpetas, es necesario la presencia de un material más fino para ello es necesario la trituración terciaria la cual hablaremos en el siguiente inciso.

La trituración terciaria que se encarga de reducir el material de $3/4"$ a $1\ 1/2"$ producto de la trituración secundaria a tamaños de $1/4"$ a $3/4"$, para esta etapa se usan las mismas máquinas descritas anteriormente en la secundaria, es decir las trituradoras de cono, de rodillos y de impacto.

Las trituradoras de cono se fabrican en modelos especiales para cumplir las etapas secundaria, terciaria y cuaternaria de reducción, modelos que bien desde el exterior presentan prácticamente el mismo aspecto, la geometría de sus cámaras de trituración tienen grandes diferencias, según se trate de una trituradora secundaria, terciaria o cuaternaria, siendo lógicamente las máquinas que se pueden cerrar a menor dimensión para producir material más pequeño, las que admiten menor tamaño de piedra a la entrada. Para la trituración terciaria estas máquinas se designan por TelSmith como FC (Fine Crushing) y en la Symmons como Short-head (cabeza corta).

En lo que respecta a las otras trituradoras generalmente se utiliza la de rodillo triple, las de impacto y de martillo conservan las mismas características que en la trituración secundaria pero con menores dimensiones tanto en la abertura de admisión así como del rotor.

En algunos casos de producción de arenas calibradas, tanto para la elaboración de concretos hidráulicos, como para corregir las curvas granulométricas de los materiales producto de las trituraciones secundarias y terciarias que acusan déficit de partículas de 0 a 2 mm para cumplir con las especificaciones de los materiales de base y carpeta asfáltica para la construcción de caminos, es necesario efectuar una cuarta etapa en la reducción de los materiales pétreos, para lo cual se utiliza básicamente la trituradora de conos VFC (very fine crushing) anteriormente descrita y los molinos de barras y de bolas.

Los molinos de barra están constituidos esencialmente por un tambor cilíndrico de placa de acero estructural, horizontal, y revestido con placas de acero al manganeso para su protección interior, estando accionado bien a través de neumáticos con ejes horizontales, o bien a través de un Mecanismo de Piñón y Corona Dentada. El cilindro está cargado con barras cilíndricas de acero duro de 2" y 3" de diámetro, de longitud ligeramente inferior a la del cilindro. Estas barras accionadas por la rotación del tubo, ruedan las unas sobre las otras, y su movimiento relativo genera una acción intensa de molienda. Los molinos pueden trabajar por vía húmeda o por vía seca, y según el grado de finura del producto por obtener, existen tres tipos de alimentación y descarga, los cuales se ilustran en la FIG.VII.13. Existen también los molinos de bolas que trabajan con el mismo principio que los anteriores, contando con los mismos elementos, pero en lugar de barras se utilizan esferas de diversos diámetros de acuerdo a la finura del material que se requiere.

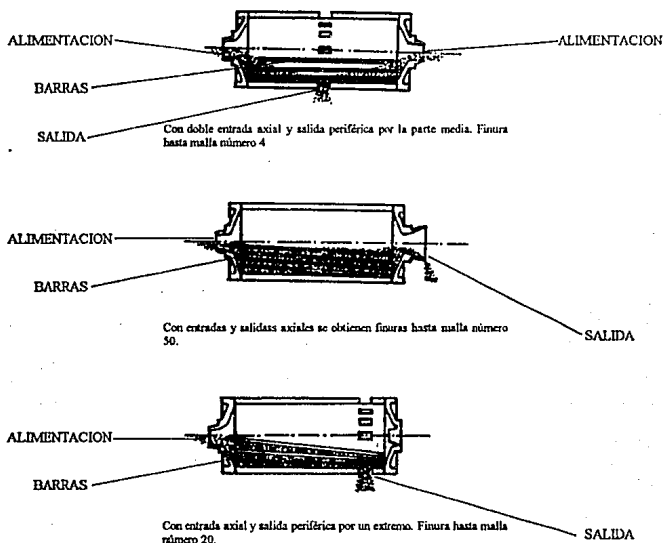


Fig.VII.13
Diferentes tipos de alimentación y descarga en molinos de barras.

CAPITULO VIII

VIII.- ANALISIS DE COSTO HORARIO DE EQUIPO DE TRITURACION.

COMPRA DE MAQUINARIA.

Para comprar una maquina ya sea nueva o usada, es necesario tomar en cuenta el tipo y cantidad de trabajo de que se dispone y el que se espera, el precio y disponibilidad de los modelos adecuados, así como la experiencia de los operadores, hábitos en el trabajo y preferencias personales.

Tamaño. Conviene repetir aquí los argumentos acerca de el tamaño de la máquina. Una excavadora grande es mas costosa para comprarse y para moverse, y requiere mayor espacio de trabajo. Excavará más material en un tiempo dado, manejará formaciones más duras y gruesas y dará un menor costo por yarda si tiene espacio para trabajar, y si se agrupa con otro equipo de tamaño apropiado. Es más difícil darle servicio y reparación, debido al consumo de combustible y lubricantes utilizados y al peso de las partes. Se atasca más fácil y seriamente en los lugares suaves, pero raramente queda colgado sobre terreno abrupto.

Cuando el espacio está reducido, el terreno es suave u otras condiciones son desfavorables para la unidad grande, una máquina pequeña podrá no solamente trabajar a un costo menor por metro, sino que también podrá manejar un mayor volumen.

Bajo condiciones de escasez de equipo, la unidad grande tiene a menudo un valor proporcional más alto de reventa que el de una pequeña.

Existe una tendencia continua hacia el uso de equipo cada vez más grande.

¿ Nueva o usada ? Algunos contratistas con éxito solamente compran equipo nuevo, mientras que otros solamente compran equipo usado. En general, pero no siempre, una máquina nueva tendrá menos problemas mecánicos y recibirá un mejor servicio del vendedor. Es más costosa en su precio de compra y en el porcentaje de pérdida cuando se vende. Tiene el valor de la propaganda o el prestigio. Puede ser difícil o imposible obtener la marca, el tamaño y el modelo deseable en un tiempo razonable.

Un comprador de equipo usado deberá tener un buen conocimiento de la condición mecánica y valores actuales y debe estar al pendiente de las liquidaciones y otras ventas forzadas, en donde pueden obtenerse buenos precios. Puede requerirse considerable tiempo para encontrar una marca o modelo particular a un buen precio, y la premura puede hacer necesario pagar demasiado. En promedio, las reparaciones serán más costosas y el servicio menos satisfactorio que en las unidades nuevas.

El comprador experto de maquinaria usada, a menudo es capaz de vender sus compras con ganancias, algunas veces habiéndolas trabajado primero bastante tiempo. Sin embargo, el comprador promedio raramente logrará esto y es posible que se quede de vez en cuando con maquinaria sin valor.

LLANTAS VS ORUGAS Los montajes sobre ruedas proporcionan usualmente más movilidad y menos tracción y flotación que las orugas. Ofrecen la ventaja de poder trabajar sobre pavimento y obstrucciones duras sin sufrir daños y pueden moverse sobre caminos públicos sin el uso de remolques. Con algunas excepciones no son tan maniobrables en espacios estrechos y disminuyen fácilmente su velocidad y quedan fuera de servicio por las bases suaves o resbalosas.

Las orugas son mejores en un corte o en un banco, pero las llantas son superiores para el movimiento o acarreo.

A las grandes llantas neumáticas se les reconoce que añaden comodidad al operador. Esto sería cierto a las velocidades de las orugas, pero el equipo de ruedas que se mueve rápidamente sobre terreno disparado puede ser muy incómodo para los operadores.

El constructor que trate de utilizar tales máquinas, debe de considerar dentro de sus costos un equipo de nivelación para mantener las rutas de acarreo conformadas.

Si se elige equipo de llantas neumáticas debido a su capacidad para transitar sobre caminos, sin plataforma de remolque, deberá investigarse el costo del permiso y del seguro.

Los tecnicismos incluidos en la obtención de los permisos para mover máquinas de anchura superior a la ordinaria pueden ser tan tediosos como para interferir su uso. Esto no sólo es un asunto de ley, sino de la actitud de las autoridades locales en cuanto a su observación.

COSTO. El constructor deberá calcular el costo del equipo que piensa comprar de dos maneras: considerando la cantidad total de efectivo y crédito necesario para la compra de la máquina y puesta de ésta a trabajar, y la relación entre su costo de posesión y operación y el dinero que puede devengar.

El gasto, particularmente el enganche en efectivo, es la cifra más importante para el contratista con capital limitado, pero puede ser simplemente un factor en la consideración de costos a largo plazo para el que opera en grande o bien financiando.

Deberá tenerse cuidado de incluir en el costo estimado todos los gastos comprendidos. Estos pueden incluir el precio de lista, impuestos, entrega a la estación de carga y luego a la obra o al patio; aditamentos extras u otras unidades que se adapten a la máquina para los diferentes tipos de trabajos; accesorios tales como cabinas, luces, llantas de repuesto, refacciones y herramientas especiales; reparaciones o alteraciones necesarias de inmediato; y equipo relacionado requerido para obtener un uso completo de la máquina.

Alguno de estos conceptos se explican por sí mismos. Las reparaciones se requieren únicamente en las máquinas usadas e incluyen conceptos tales como sustitución de llantas u orugas gastadas, reparaciones mecánicas, servicio del motor o una rehabilitación completa.

Las alteraciones pueden ser cambios que se hacen para adaptarse a sobrecargas o trabajo especial, o puede ser necesario corregir errores u omisiones del fabricante. Esto puede incluir placas de unión y otros tipos de refuerzos, de construcción de superficies de desgaste con acero duro y adición de protecciones de seguridad.

El equipo complementario puede ser una plataforma de remolque para transportar la maquinaria, rampas para cargarlas y excavadores o transportadores de diferentes tamaños que se adapten a su tamaño.

También es aconsejable añadir el interés o los cargos de financiamiento que se ocasionen al efectuar la compra. Ya que éstos no son realmente una parte del precio, deben añadirse después de que se determinen las cifras del costo original.

Por ejemplo si el constructor decide reemplazar una pala vieja con una máquina de 3/4 yd, ya sea nueva o usada, puede estudiar los costos comparativos anotando las cifras del modo que se hace en el siguiente ejemplo.

	Nuevo	Usado
Pala, completa con equipo estándar	32,400	12,000
Motor diesel	1,540	
Refacciones	160	300
Impuestos de ventas y tenencias,3%	1,023	369
Flete de ferrocarril	704	
Acarreo en plataforma de remolque	40	90
Instalación del pasador central, rehabilitación del motor		2,000
Revestimiento con un metal duro de los dientes y bordes del cucharón	45	70
PRECIO DE COMPRA	N\$ 35,912	N\$ 14,629
Valor de rescate de la pala vieja	6,000	
Precio de venta de la pala vieja		4,000
COSTO NETO DE COMPRA	N\$ 29,912	N\$ 10,629
Cargos de financiamiento, 18% de N\$ 2,200	3,960	
Cargos de financiamiento, 6% de N\$ 3,000		180
COSTO NETO MAS FINANCIAMIENTO	N\$ 33,872	N\$ 10,809

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

DEPRECIACION.

Cuando el constructor compra una unidad de equipo a un buen precio, no "gasta" la cantidad que paga la invierte. Cambia su dinero por algo de igual valor.

Pero el valor de la maquinaria comienza a disminuir tan pronto como ésta se entrega, debido al uso, al desgaste, al intemperismo y al transcurso del tiempo. Esta declinación en valor representa el verdadero gasto del dinero invertido, y se asienta en los libros y se deduce del ingreso gravable como un gasto, la depreciación.

Sería costoso e inconveniente mandar valuar una máquina cada año para determinar que tanto se ha depreciado.

También es necesario calcular de antemano el porcentaje de depreciación, ya que es un factor importante para establecer el precio que se cobra por el trabajo de la máquina.

Por lo tanto, la depreciación se calcula anticipadamente de acuerdo con diversas fórmulas. Cada una de éstas proporciona la base para las hojas de balance, para los estados de pérdidas y ganancias y para el impuesto sobre los ingresos. La depreciación anual se convierte en una cifra horaria para los registros de estimación y costos.

Más simplemente, la depreciación horaria es el costo de una máquina dividido entre el número de horas que se espera que trabaje.

Vida útil. Las tarifas de depreciación deberán estar basadas en el número de años que se supone que el equipo esté en servicio, la clase de trabajo que desarrollará, el cuidado que recibe, de las normas industriales y de las calificaciones de impuestos sobre los ingresos. En el mejor de los casos, el tiempo elegido representa únicamente una suposición.

En ausencia de una guía autorizada para que esté al día, el Departamento de Rentas Interiores aceptará cualquier período usual o razonable de depreciación, particularmente si el contratista puede mostrar registros que prueben que es razonable. Para el equipo con precio bajos, las consideraciones comunes son de cinco años para condiciones ordinarias y de tres años para condiciones duras.

Una investigación hecha por el Bureau of Public Roads (Departamento de Caminos Públicos) indicó que el equipo que se utilizó en los proyectos federales de caminos tuvo una vida promedio de nueve años, pero que hubo variaciones extremas entre los diferentes contratistas y las diversas localidades.

Como regla, un período más largo de deducciones anuales más pequeñas, puede sustituirse por el procedimiento estándar con poca o ninguna explicación, pero un período más corto y una proporción mayor, solamente es concedida por una buena razón.

Las tarifas que incluyen una depreciación más rápida que la que se permite bajo el método de cargo decreciente, es probable que no sean aprobados.

Al equipo usado se le puede dar el mismo período más corto que parezca razonable.

AMORTIZACION RAPIDA. Se considera un buen sistema depreciar el equipo en la proporción más rápida posible. Esto se llama amortización rápida. Permite cargar la proporción más grande de los costos contra la máquina cuando es nueva y más capaz de soportar el peso y cuando esta está haciendo el trabajo específico para el que se compró.

La amortización rápida también mantiene el valor del equipo, en los libros, más cerca de su valor real.

La ventaja más importante de una amortización rápida es la relacionada con el impuesto sobre el ingreso. Mientras más rápida sea la depreciación, mayor será la deducción que pueda hacerse ahora, y menos lo que se deje para el futuro incierto. Sin embargo, esta ventaja supuesta puede resultar mala, ya que el contratista podría depreciar la parte más considerable de la depreciación en los años no provechosos, y no tener las deducciones en los períodos posteriores provechosos.

GANANCIA DE CAPITAL. Si una máquina se vende por más de su valor depreciado, la utilidad es una ganancia de capital, gravada solamente con la mitad de la tasa del ingreso ordinario, mientras que la depreciación es deducible en su porcentaje total. Por lo tanto, puede resultar un ahorro considerable de impuesto debido a una amortización rápida que deprecie en exceso el equipo.

VALOR DE RESCATE O DE DESECHO. Es el valor de una máquina después de su depreciación total. Puede ser el precio de venta real, o el valor que podría suponerse que tiene para el contratista cuando teóricamente esté excedida de edad y de uso.

El valor de rescate varía mucho con el tipo de equipo, su condición, su escasez y la prosperidad local de la industria de la construcción. Algunas veces, solamente es de unos cuantos pesos por tonelada como chatarra, y otras veces, aunque más raramente, tanto como 60% de su costo cuando es nueva. Usualmente se estima como entre el 5 y el 20% de su precio de adquisición.

El método de depreciación de cargo decreciente automáticamente deja un pequeño valor de rescate. con los otros métodos, cualquier valor de rescate estimado se deduce del precio de compra antes de calcular la depreciación.

La cantidad permitida de rescate puede ajustarse para simplificación aritmética por ejemplo. Si una máquina con vida de cinco años cuesta N\$ 16340.98 y podría suponerse que produjera de N\$ 1000.00 a N\$1500 .00 de rescate, el valor del rescate podría considerarse como de N\$ 1346.86, dejando una cifra neta de N\$ 15,000.00 para ser depreciada.

SISTEMA PARA DETERMINAR LA DEPRECIACION.

Existen tres métodos para determinar la depreciación. Método de la línea recta. Método de cargo decreciente. Método de la suma de los dígitos de los años.

METODO DE LA LINEA RECTA. El costo de la máquina, menos cualquier valor de rescate, se divide entre el número de años que se espera que sea útil. La cantidad resultante es la depreciación anual. Es la misma cantidad cada año.

METODO DEL CARGO DECRECIENTE. Este método está basado en el costo total de la máquina. El porcentaje máximo de depreciación es el doble del que se permite por el método de la línea recta, pero únicamente se aplica al valor del comienzo del año, que es el costo original menos toda la depreciación que ha sido deducida.

Por ejemplo, un tractor de N\$ 20 000.00 con una vida útil de cinco años se depreciaría 20% o N\$ 4 000.00 cada año bajo el método de la línea recta. Con el de cargo decreciente, la depreciación del primer año sería 40% de N\$ 20 000.00 o sea N\$ 8 000.00 , el segundo año, 40% de 12 000.00 o sea N\$4 800.00; el tercer año, 40% de N\$ 7 200 o sea N\$2 880.00. Al finalizar el quinto año quedaría el valor de rescate de N\$ 1 555.20.

Si se espera que la vida de la máquina fuera de ocho años, la depreciación anual sería de 25% del valor al comienzo del año.

METODO DE LA SUMA DE LOS DIGITOS DE LOS AÑOS. Este método está basado en el costo menos el valor estimado de rescate.

El número de años de vida útil se toma como la primera cifra en una serie descendente, la cual para el período de cinco años sería de 5, 4, 3, 2, 1 y para 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1 . Las series se suman dando 15 para el período de cinco años, o 36 para el de ocho años.

Se obtiene una fracción mediante la división del número de años de vida desde el principio de año, entre el total obtenido de la suma de todos los números de la serie. Este se multiplica por el costo para dar la depreciación para el año.

En una máquina de N\$ 20,000 con una vida de cinco años la depreciación del primer año sería 5/15 (1/3) de N\$ 20,000 o N\$ 6,666.67. En el segundo año, la vida de la máquina desde el comienzo del año es de cuatro años, así que la fracción es de 4/15, o N\$ 5,333.33.

La serie total de deducciones sería 5/15, 4/15, 3/15, 2/15, y 1/15, totalizando 15/15, o el costo total.

Sobre la base de ocho años, la depreciación del primer año sería de 8/36 (2/9) del costo, o ----- \$ 4,444.44. El siguiente año sería de 7/36 y así sucesivamente.

ELECCION DEL METODO. Las fórmulas del método de cargo decreciente y el de la suma de los dígitos de los años están diseñadas para cargar la mayor parte de la depreciación al principio del período. Proporcionan la liquidación rápida que gusta a la industria y concuerda con mayor precisión con la pérdida real del valor del equipo de los mercados normales.

Sin embargo, ocasionan problemas al tener que convertir a la base de horas, para el uso en el cálculo de los costos de obra. El uso de una cantidad diferente cada año sería difícil. Si existieran varias máquinas del mismo modelo pero de diferentes años, tratar de cargar diferentes precios para ella sería confuso para el tenedor de libros y perjudicaría a los clientes, y haría casi imposible tener precios precisos para una obra.

El contratista deberá utilizar la depreciación del sistema de línea recta para el cálculo de su costo horario, sin importar qué método utilice para los impuestos sobre ingresos y reportes anuales.

HORAS DE USO. El contratista puede elegir para depreciar su maquinaria, la base de uso horario, sin considerar el tiempo del calendario. Puede comprar un bulldozer por \$25 000 y esperar usarlo 5 000 horas. Cargará \$ 5.00 por hora contra sus obras y al finalizar el año depreciarla en \$5.00 por el número de horas trabajadas. Si estuvo ocupada 600 horas, la depreciación sería \$3,000; si el tiempo de trabajo fue de 1,400, la depreciación anual sería de \$7,000.

COSTO DIRECTO DE MAQUINARIA.

El propósito de evaluar los costos de maquinaria se deriva de la necesidad de presupuestar un proyecto. En el análisis de un concepto de obra, se calculan los costos directos por mano de obra, materiales y maquinaria.

En cada análisis de precio unitario o bien en aquellos que se formula por el método de asignación de recursos.

CARGO DIRECTO POR MAQUINARIA.

Es el que se deriva del uso correcto de las máquinas consideradas como nuevas y que sean las adecuadas y necesarias para la ejecución del concepto de trabajo, de acuerdo con lo estipulado en las normas y especificaciones de construcción de "La Dependencia" o "Entidad" y conforme al programa establecido.

El cargo directo unitario por maquinaria "CM" se expresa como el cociente del costo horario directo de las máquinas, entre el rendimiento horario de dichas máquinas. Se obtendrá mediante la ecuación:

$$CM = \frac{HMD}{RM}$$

en el cual:

"HMD" representa al costo horario directo de la maquinaria. Este costo se integra con cargos fijos, los consumos y los salarios de operación calculados por hora de trabajo.

"RM" representa el rendimiento horario de la máquina nueva en las condiciones específicas del trabajo a ejecutar, en las correspondientes cantidades de medida.

La práctica de usar costos y rendimientos de maquinaria nueva, es un criterio universalmente aceptado.

GASTOS DE DEPRECIACION.

Es la declinación del valor de un equipo, debido a la edad, estado de conservación y obsolescencia. Es el monto requerido para reponer el costo de adquisición, durante la vida económica de la máquina.

Como se define aquí, la depreciación no es usada en el sentido fiscal. La depreciación continúa durante toda la propiedad y debe ser acumulada tanto en el tiempo de uso efectivo de la máquina como en sus tiempos de espera o paro.

El monto total depreciable, se determina restando el descuento, si lo hay, el valor de rescate estimado y los costos de las llantas, del precio original de compra. El costo de flete original, se incluye en el monto total depreciable.

$$V_a = \text{PRECIO} * (1 - \text{DESC} + \text{FLETE}).$$

(PRECIO = Precio de lista DESC = descuento, FLETE: entrega)

$$D = \frac{(V_a - V_r)}{V_e}$$

La vida económica en horas, es el período durante el cual los costos de depreciación son recuperados. Para el equipo nuevo, esos costos pueden ser distribuidos uniformemente sobre la vida económica entera.

Cuando el equipo comprado es usado, debe depreciarse sobre la vida económica remanente.

El porcentaje de rescate, quizá en apariencia, sea alto para el medio nacional, ya que él habría de descontarse el I.S.R. (Impuesto Sobre la Renta) y RUT (Reparto de Utilidades a Trabajadores), y las comisiones a vendedores que, en su caso, hubiesen de presentarse.

Por lo que se refiere a la vida económica, ésta consiste en el período de operación en horas efectivas, en las cuales la máquina es rentable y productiva, los valores de la AGC y los que recomiendan usar los fabricantes y contratistas internacionalmente, son sensiblemente parecidos.

Si bien muchas empresas usan sus equipos más allá de estas vidas económicas, es obvio, que los costos de mantenimiento mayor y menor se incrementa paulatinamente y los rendimientos se deterioran día con día. Por lo tanto, el cociente de ambos se dispara en detrimento de la rentabilidad.

CARGO POR INVERSION.

Es el cargo equivalente a los intereses del capital invertido en maquinaria.

Esta dado por:

$$I = \frac{(V_a + V_r) i}{2H_a}$$

en el que:

"V_a" representa el valor inicial de la máquina y,

"V_r" el valor de rescate.

"H_a" representa el número de horas efectivas que el equipo trabaja durante el año.

"i" representa la tasa de interés anual, expresado en decimales.

Las dependencias y entidades para sus estudios y análisis de precios unitarios considerarán, a su juicio, la tasa de interés "i".

Los contratistas en sus propuestas de concurso, propondrán la tasa de interés que más les convenga.

En los casos de ajuste por variación, del costo de los insumos que intervengan en los precios unitarios, cuando haya variaciones de las tasas de intereses, el ajuste de este se hará en base al relativo de los mismos, conforme a los que hubiese determinado el Banco de México en la fecha del concurso y el correspondiente a la fecha de la revisión.

CARGOS POR SEGUROS.

Es la que cubre los riesgos a que está sujeta la maquinaria de construcción durante su vida económica, por los accidentes que sufran. Este cargo forma parte del precio unitario, ya sea que la maquinaria se asegure por una compañía de seguros, o que la empresa constructora decida hacer frente, con sus propios recursos, a los posibles riesgos de la maquinaria.

Este cargo está dado por:

$$S = \frac{(V_a + V_r)}{2} \cdot \frac{s}{H_a}$$

en donde:

"Va" representa el valor inicial de la máquina, considerándose como tal, el precio comercial de adquisición de la máquina nueva en el mercado nacional descontando el precio de las llantas, en su caso.

"Vr" representa el valor de rescate de la máquina, es decir, el valor comercial que tiene la misma al final de su vida económica.

"S" representa la prima anual promedio, fijada como porcentaje del valor de la máquina y expresada en decimales.

"Ha" representa el número de horas efectivas que el equipo trabaja durante el año.

CARGOS POR MANTENIMIENTO.

CARGOS POR MANTENIMIENTO MAYOR O MENOR. Es el originado por todas las erogaciones necesarias para conservar la maquinaria en buenas condiciones durante la vida económica.

Cargos por mantenimiento mayor. Son las erogaciones correspondientes a las reparaciones de la maquinaria en talleres especializados, o aquellas que puedan realizarse en el campo, empleando personal especialista y que requieran retirar la maquinaria de los frentes de trabajo. Este cargo incluye la mano de obra, repuestos y renovaciones de partes de la maquinaria, y otros materiales necesarios.

Cargos por mantenimiento menor. Son las erogaciones necesarias para efectuar los ajustes necesarios, reparaciones y cambios de repuestos que se efectúan en las propias obras así como los cambios de líquidos para mandos hidráulicos, aceite de transmisión, filtros, grasas y estopas. Incluye el personal y el equipo auxiliar que realiza esta operación de mantenimiento, los repuestos y otros materiales que sean necesarios.

Este cargo está representado por:

$$T = Q * d$$

en la que :

"Q" es el coeficiente que considera tanto el mantenimiento mayor como el menor. Este coeficiente varía según el tipo de máquina y las características de trabajo, y se fija en base a la experiencia estadística.

"D" representa la depreciación de la máquina calculada de acuerdo a lo expuesto.

CARGOS POR CONSUMO DE COMBUSTIBLE.

CARGOS POR CONSUMOS.

Son los que se derivan de las erogaciones que resultan por el uso de combustible u otras fuentes de energía y en su caso lubricantes o llantas.

CARGOS POR COMBUSTIBLES

Es el derivado de todas las erogaciones originados por los consumos de gasolina y diesel para el funcionamiento de los motores. El cargo por combustible "E" se obtendrá, mediante la ecuación:

$$E = c * Pc$$

en el cual:

c: representa la cantidad de combustible necesario por hora efectiva de trabajo. Este coeficiente está en función de la potencia del motor, del factor de operación de la máquina y de un coeficiente determinado por la experiencia, que varía de acuerdo con el combustible que se utilice.

"Pc" representa el precio de combustible puesto en máquina.

CARGOS POR LUBRICANTES

Cubre el consumo, filtrado, mantenimiento de lubricantes y enfriadores, así como los filtros de aire y aceite. Los ítems no incluidos en la mano de obra y vehículos de suministro y carga (combustible y lubricantes), así como el almacenaje de estos líquidos.

$$\text{LUBE (equipo con combustible)} = E * \text{FLUB}$$

$$\text{LUBE (equipo sin combustible)} = \text{CANTLUB} * \text{PI}$$

En la cual "E" es el cargo por combustible, FLUB el factor por combustible y CANTLUB es el consumo horario de lubricantes y PI el precio del aceite.

CARGO POR LLANTAS

Es el correspondiente al consumo de desgaste de las llantas. Cuando se considere este cargo, al calcular la depreciación de la maquinaria deberá deducirse del valor inicial de la misma, el valor de las llantas.

El cargo por llantas "N" se obtendrá de la ecuación:

$$N = \frac{V_n}{H_v}$$

en la cual:

"Vn" representa el precio de adquisición de las llantas, considerando el precio en el mercado nacional de llantas nuevas de las características indicadas por el fabricante de la máquina.

"Hv" representa las horas de vida económica de las llantas, tomando en cuenta las condiciones de trabajo impuestas en las mismas. Se determinará de acuerdo con la experiencia, considerado entre otros, los factores siguientes: velocidad máxima de trabajo; condiciones relativas del camino que transite, tales como pendientes, curvaturas, superficie de rodamiento, posición de la maquinaria; carga que soporta, y clima en que operen.

CARGOS POR TRANSPORTE EXTRAORDINARIO

Corresponde a las erogaciones necesarias para el traslado extraordinario de maquinaria ordenado por la dependencia o entidad. Este cargo se analizará como un concepto de trabajo específico.

CARGOS POR SALARIO PARA LA OPERACION.

Es el que resulta por concepto de pago de los salarios del personal encargado de la operación de la máquina, por hora efectiva de trabajo de la misma.

Este cargo se obtendrá mediante la ecuación:

$$C_o = \frac{S_o}{H}$$

en la cual:

"So" representa los salarios por turnos del personal para operar la máquina.

"H" representa las horas efectivas de trabajo de la máquina dentro del turno.

ANALISIS DE PRECIO UNITARIO DE COSTO DE TRANSPORTE UTILIZANDO CAMION DE VOLTEO DE 8 M3 DE CAPACIDAD.

La operación de carga será con un cargador frontal de 1 3/4 yd³, marca caterpillar modelo 920.

a).- CICLO DE OPERACION DEL CARGADOR FRONTAL

Datos:

Capacidad del cucharón	=	1.75 yd ³
1 yd ³	=	0.764 m ³
Se considera un factor de llenado	=	1.10
Capacidad del cucharón	=	1.75 yd ³ x 0.764m ³ /yd ³ x 1.10
Capacidad del cucharón	=	1.4707 m ³
Capacidad del camión	=	8.00 m ³

Número de operaciones del cucharón para llenar el camión

$$\frac{8.0}{1.4707} = 5.5395$$

Tiempo de para cada operación del cucharón	=	0.55 min.
Tiempo para llenar un camión de 8.00 m ³	=	5.43395x0.55 min.
Tiempo para llenar un camión de 8.00 m ³	=	2.99 = 3 min.
Tiempo de acomodo del camión de 8 m ³	=	1.00 min.

✓ **NOTA:** Este tiempo del camión no se cuenta ya que es en el periodo en que el payloader hace la operación de autocargarse.

Por lo tanto:

Considerando un factor de eficiencia de 0.85, se tiene:

$$\begin{array}{l} \text{CICLO DE OPERACION} \\ \text{DEL CARGADOR FRONTAL} \end{array} = \frac{3.00 \text{ MIN.}}{0.85} = 3.529 = .53$$

b).- CICLO DE OPERACION DEL CAMION

Tiempo para llenar el camión de 8.00 m³ con un cargador frontal de 1 3/4 yd³ = 3.00 min. (implícito en (a)).

Si la velocidad a 20 KM/HR en viaje de ida, con carga, en el 1 1er. Kilometro, se tiene:

$$\begin{array}{l} \text{TIEMPO DE VIAJE DE IDA, CON} \\ \text{CARGA 1er. KILOMETRO.} \end{array} = \frac{1 \text{ Km.}}{20 \text{ Km/HR}} = \frac{1 \text{ Km.}}{20 \text{ Km/60 MIN.}} = 3.00 \text{ MIN.}$$

Tiempo de acomodo en descarga incluyendo la operación de descarga = 2.00 min.

Si la velocidad de 40.00Km/Hr en viaje de regreso, vacío, en el primer Kilómetro, se tiene:

$$\text{TIEMPO DE VIAJE DE REGRESO, VACIO, 1er. KILOMETRO.} = \frac{1 \text{ Km.}}{40 \text{ Km/Hr}} = \frac{1 \text{ Km.}}{40 \text{ Km/60 MIN.}} = 1.50 \text{ MIN.}$$

Por lo tanto:

$$\begin{array}{l} \text{Tiempo que emplea el camión} \\ \text{en realizar su operación para} \\ \text{el primer Km.} \end{array} = \frac{3.53+3.0+2.0+1.5}{0}$$

$$\begin{array}{l} \text{Tiempo que emplea el camión} \\ \text{en realizar su operación para} \\ \text{el primer Km.} \end{array} = 10.03 \text{ MIN.}$$

NOTA: No se considera un factor de eficiencia para el tiempo que se emplea el camión debido a que ello se cubre al utilizar mayor número de camiones.

c).- RENDIMIENTO HORARIO DEL CARGADOR FRONTAL

El cargador frontal realiza 5.4395 operaciones cada 3.53 min con una capacidad de cucharón de 1.4707 m³ para llenar un camión de 8.00 m³

Por lo tanto:

$$\begin{array}{l} \text{RENDIMIENTO HORARIO DEL} \\ \text{CARGADOR FRONTAL} \end{array} = \frac{5.4395 \times 1.4707 \text{ M}^3}{3.53 \text{ MIN.}} \times \frac{60 \text{ MIN.}}{\text{HORA}}$$

$$\begin{array}{l} \text{RENDIMIENTO HORARIO} \\ \text{DEL CARGADOR FRONTAL} \end{array} = 135.97 \text{ m}^3/\text{HORA}$$

d).- RENDIMIENTO HORARIO DEL CAMION

El camión de 8 M³ de capacidad realiza en 10.03 min. la operación de carga y descarga para el 1er Km.

$$\begin{array}{l} \text{RENDIMIENTO HORARIO DEL} \\ \text{CAMION 1er. KILOMETRO} \end{array} = \frac{8.00 \text{ M}^3}{10.03 \text{ MIN.}} \times \frac{60 \text{ MIN.}}{\text{HORA}} = 47.85 \text{ M}^3/\text{Hra.}$$

e).-COSTO DE CARGA Y ACARREO 1er. KILOMETRO.

	COSTO HORARIO DE CARGADOR FRONTAL	N\$ 102.81 M ³	
CARGADOR FRONTAL	=	$\frac{\text{RENDIMIENTOHORARIO}}{135.97}$	= N\$ 0.76 M ³
	COSTO HORARIO DEL CAMION	74.43	
CAMION	=	$\frac{\text{RENDIMIENTOHORARIO 1er. Km.}}{47.85}$	= N\$ 1.55 M ³
		SUMA	= N\$ 2.31 M ³

f).- COSTO DE ACARREOS KILOMETROS SUBSECUENTES

Se determina el ciclo de operación del camión por KILOMETRO SUBSECUENTE

Tiempo de viaje de ida, con carga, Kilometro subsecuente	=	$\frac{1 \text{ Km.}}{20 \text{ Km. /60 MIN.}}$	= 3.00 MIN.
Tiempo de viaje de regreso, vacío, kilometro subsecuente	=	$\frac{1 \text{ Km.}}{40 \text{ Km. /60 MIN.}}$	= 1.5 MIN.
		SUMA	= 4.5 MIN.

Considerando un factor de eficiencia = 0.85 se tiene:

Ciclo de operación del camión para kilometro subsecuentes	=	$\frac{4.5 \text{ MIN.}}{0.85}$	= 5.29 MIN.
Rendimiento horario del camión kilometro subsecuente	=	$\frac{8 \text{ M3 (60 MIN.)}}{5.29 \text{ MIN. (HORA)}}$	= 90.73 M3 / Hr.

Por tanto:

$$\text{Costo acarreo km.subsecuente} = \frac{\text{Costo horario de camion}}{\text{Rendim. horario km. subsecuente.}} = \frac{74.43}{90.73} = \text{NS } 0.82 \text{ M}^3$$

----- Formato Para el Analisis del Costo Directo : Hora-Maquina -----

MAQUINARIA : RETROEXCAVADORA MARCA: POCLAIN
 MODELO: LC-80 CAP. TANQUE: 120 CAP. CARTER : 17 H.P.: 72

----- Datos Generales -----

VALOR DE ADQUISICION :	391,231.00	VIDA ECONOMICA :	10,000
EQUIPO ADICIONAL :	0.00	HORAS POR AEO :	2,000
VALOR INICIAL :	391,231.00	FAC. OPERACION :	0.80
TASA DE INTERES :	0.1400	POT. OPERACION :	0.80
TASA DE SEGUROS :	0.05	FACTOR MANTTO. :	0.80
PRECIO DE GASOLINA :	0.00	PRECIO DIESEL :	1.10
PRECIO KW/HORA :	0.00	PRECIO ACEITE :	7.00
SALARIO OPERADOR :	142.91	SAL. AYUDANTE :	60.79
VIDA ECONOMICA EQ.A :	0	VIDA ECO. LLAN.:	1

----- Cargos Fijos -----

DEPRECIACION : $D = \frac{Va - Vr}{Va}$	\$	31.30	:	15	:	\$	4.69
INVERSION : $I = \frac{(Va + Vr)}{(2xHa)} \times i$	\$	16.43	:	100	:	\$	16.43
SEGUROS : $S = \frac{(Va + Vr)}{(2xHa)} \times s$	\$	5.87	:	100	:	\$	5.87
MANTENIMIENTO : $M = Q \times d$	\$	25.04	:	0	:	\$	0.00
TOTAL DE CARGOS FIJOS	\$	78.64				\$	26.99

----- Cargos por Consumo -----

COMBUSTIBLE	: $E = g \times Pc$		ACTIVOS	%	INACTIVOS	
EQ. DIESEL	: $E = 0.20 \times Po.HP. \times \L	\$	12.67	: 5 : \$	0.63	
EQ. GASOLINA	: $E = 0.24 \times Po.HP. \times \L	\$	0.00	: 5 : \$	0.00	
EQ. ELEC.	: $E = 0.65 \times Po.HP. \times \Kw	\$	0.00	: 5 : \$	0.00	
LUBRICANTES	: $L = a \times Pc$					
EQ. GASOLINA	: $Cc/Tc + 0.0075 \times HP.Op \times \L	\$	0.00	: 5 : \$	0.00	
EQ. DIESEL	: $Cc/Tc + 0.0096 \times HP.Op \times \L	\$	0.38	: 5 : \$	0.02	
LLANTAS	: $VLL/HVLL$	\$	0.00	: 5 : \$	0.00	
TOTAL DE CARGOS POR CONSUMO	\$	13.05			\$	0.65

----- Cargos por Operacion -----

OPERACION :			%	
OPERACION = δ Salarios/Horas Trabajo	\$	25.46	: 100 : \$	25.46

		ACTIVA		INACTIVA
COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA	\$	117.15		\$
				53.11

 =====

----- Formato Para el Analisis del Costo Directo : Hora-Maquina -----

MAQUINARIA : DRAGA DE ARRASTRE S/ MARCA: LINK-BELT
 MODELO: 1 1/4 D3 CAP. TANQUE: 270 CAP. CARTER : 16 H.P.: 112

----- Datos Generales -----

VALOR DE ADQUISICION :	240,000.00	VIDA ECONOMICA :	8,400
EQUIPO ADICIONAL :	0.00	HORAS POR AÑO :	1,400
VALOR INICIAL :	240,000.00	FAC. OPERACION :	0.80
TASA DE INTERES :	0.1400	POT. OPERACION :	0.80
TASA DE SEGUROS :	0.05	FACTOR MANTTO. :	0.80
PRECIO DE GASOLINA :	0.00	PRECIO DIESEL :	1.10
PRECIO KW/HORA :	0.00	PRECIO ACEITE :	7.00
SALARIO OPERADOR :	142.91	SAL. AYUDANTE :	60.79
VIDA ECONOMICA EQ.A :	0	VIDA ECO. LLAN.:	1

----- Cargos Fijos -----

DEPRECIACION : $D = \frac{V_a - V_r}{V_e}$	\$	22.86	:	15	:	\$	3.43
INVERSION : $I = \frac{(V_a + V_r)}{(2 \times H_a)} \times i$	\$	14.40	:	100	:	\$	14.40
SEGUROS : $S = \frac{(V_a + V_r)}{(2 \times H_a)} \times s$	\$	5.14	:	100	:	\$	5.14
MANTENIMIENTO : $M = Q \times d$	\$	18.29	:	0	:	\$	0.00
TOTAL DE CARGOS FIJOS	\$	60.69				\$	22.97

----- Cargos por Consumo -----

COMBUSTIBLE : $E = g \times P_c$		ACTIVOS	¢	INACTIVOS
EQ. DIESEL : $E = 0.20 \times P_o \times H.P. \times \L	\$	19.71	: 5 : \$	0.99
EQ. GASOLINA : $E = 0.24 \times P_o \times H.P. \times \L	\$	0.00	: 5 : \$	0.00
EQ. ELEC. : $E = 0.653 \times P_o \times H.P. \times \Kw	\$	0.00	: 5 : \$	0.00
LUBRICANTES : $L = a \times P_c$				
EQ. GASOLINA : $C_c / T_c + .0075 \times H.P. \times Op \times \L	\$	0.00	: 5 : \$	0.00
EQ. DIESEL : $C_c / T_c + .0096 \times H.P. \times Op \times \L	\$	0.47	: 5 : \$	0.02
LLANTAS : $VLL / HVLL$	\$	0.00	: 5 : \$	0.00
TOTAL DE CARGOS POR CONSUMO	\$	20.18		\$ 1.01

----- Cargos por Operacion -----

OPERACION :		¢	
OPERACION = ϕ Salarios/Horas Trabajo	\$	25.46	: 100 : \$ 25.46

		ACTIVA		INACTIVA
COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA	\$	106.33	\$	49.44

=====

----- Formato Para el Analisis del Costo Directo : Hora-Maquina -----

MAQUINARIA : PALA FRONTAL 1.8-2.3 MARCA: CATERPILLAR
 MODELO: 235 CAP. TANQUE: 200 CAP. CARTER : 28 H.P.: 195

----- Datos Generales -----

VALOR DE ADQUISICION :	1,455,929.42	VIDA ECONOMICA :	15,400
EQUIPO ADICIONAL :	0.00	HORAS POR AÑO :	1,400
VALOR INICIAL :	1,455,929.42	FAC. OPERACION :	0.80
TASA DE INTERES :	0.1400	POT. OPERACION :	0.80
TASA DE SEGUROS :	0.05	FACTOR MANTO. :	0.80
PRECIO DE GASOLINA :	0.00	PRECIO DIESEL :	1.10
PRECIO KW/HORA :	0.00	PRECIO ACEITE :	7.00
SALARIO OPERADOR :	142.91	SAL. AYUDANTE :	60.79
VIDA ECONOMICA EQ.A :	0	VIDA ECO. LLAN.:	1

----- Cargos Fijos -----

DEPRECIACION : $D = \frac{Va - Vr}{Ve}$	\$	75.63	:	15	:	\$	11.34
INVERSION : $I = \frac{(Va + Vr)}{(2xHa)} \times i$	\$	87.36	:	100	:	\$	87.36
SEGUROS : $S = \frac{(Va + Vr)}{(2xHa)} \times s$	\$	31.20	:	100	:	\$	31.20
MANTENIMIENTO : $M = Q \times D$	\$	60.51	:	0	:	\$	0.00
TOTAL DE CARGOS FIJOS	\$	254.69				\$	129.90

----- Cargos por Consumo -----

COMBUSTIBLE : $E = g \times Pc$		ACTIVOS	%	INACTIVOS
EQ. DIESEL : $E = 0.20 \times Po.HP.x\$L$	\$	34.32	: 5 : \$	1.72
EQ. GASOLINA : $E = 0.24 \times Po.HP.x\$L$	\$	0.00	: 5 : \$	0.00
EQ. ELEC. : $E = 0.653 \times Po.HP.x\Kw	\$	0.00	: 5 : \$	0.00
LUBRICANTES : $L = a \times Pc$				
EQ. GASOLINA : $Cc/Tc + .0075 \times HP.Op \times \L	\$	0.00	: 5 : \$	0.00
EQ. DIESEL : $Cc/Tc + .0096 \times HP.Op \times \L	\$	0.82	: 5 : \$	0.04
LLANTAS : $VLL/HVLL$	\$	0.00	: 5 : \$	0.00
TOTAL DE CARGOS POR CONSUMO	\$	35.14		\$ 1.76

----- Cargos por Operacion -----

OPERACION :			%	
OPERACION = δ Salarios/Horas Trabajo	\$	25.46	: 100 : \$	25.46

		ACTIVA		INACTIVA
COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA	\$	315.30		\$ 157.12

----- Formato Para el Analisis del Costo Directo : Hora-Maquina -----

MAQUINARIA : PALA FRONTAL 3.1-3.8 MARCA: CATERPILLAR
 MODELO: 245 CAP. TANQUE: 200 CAP. CARTER : 39 H.P.: 325

----- Datos Generales -----

VALOR DE ADQUISICION :	1,875,284.32	VIDA ECONOMICA :	15,400
EQUIPO ADICIONAL :	0.00	HORAS POR AÑO :	1,400
VALOR INICIAL :	1,875,284.32	FAC. OPERACION :	0.80
TASA DE INTERES :	0.1400	POT. OPERACION :	0.80
TASA DE SEGUROS :	0.05	FACTOR MANTTO. :	0.80
PRECIO DE GASOLINA :	0.00	PRECIO DIESEL :	1.10
PRECIO KW/HORA :	0.00	PRECIO ACEITE :	7.00
SALARIO OPERADOR :	153.13	SAL. AYUDANTE :	60.79
VIDA ECONOMICA EQ.A :	0	VIDA ECO. LLAN. :	1

----- Cargos Fijos -----

DEPRECIACION :	$D = Va - Vr / Ve$	\$	97.42	:	15 :	\$	14.61
INVERSION :	$I = (Va + Vr) / (2xHa) \times i$	\$	112.52	:	100 :	\$	112.52
SEGUROS :	$S = (Va + Vr) / (2xHa) \times s$	\$	40.18	:	100 :	\$	40.18
MANTENIMIENTO :	$M = Q \times D$	\$	77.93	:	0 :	\$	0.00
TOTAL DE CARGOS FIJOS		\$	328.05			\$	167.31

----- Cargos por Consumo -----

COMBUSTIBLE	: $E = g \times Pc$		ACTIVOS	%	INACTIVOS
EQ. DIESEL	: $E = 0.20 \times Po.HP. \times \L	\$	57.20	: 5 :	2.86
EQ. GASOLINA	: $E = 0.24 \times Po.HP. \times \L	\$	0.00	: 5 :	0.00
EQ. ELEC.	: $E = 0.653 \times Po.HP. \times \Kw	\$	0.00	: 5 :	0.00
LUBRICANTES : $L = a \times Pc$					
EQ. GASOLINA	: $Cc / Tc + .0075 \times HP.Op \times \L	\$	0.00	: 5 :	0.00
EQ. DIESEL	: $Cc / Tc + .0096 \times HP.Op \times \L	\$	1.29	: 5 :	0.06
LLANTAS	: $VLL / HVLL$	\$	0.00	: 5 :	0.00
TOTAL DE CARGOS POR CONSUMO		\$	58.49		2.92

----- Cargos por Operacion -----

OPERACION :		%		
OPERACION = Δ Salarios/Horas Trabajo	\$	26.74 : 100 :	\$	26.74

		ACTIVA		INACTIVA
COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA	\$	413.28	\$	196.98

=====

----- Formato Para el Analisis del Costo Directo : Hora-Maquina -----

MAQUINARIA : tractor cadena MARCA: caterpillar
 MODELO: d4h CAP. TANQUE: 200 CAP. CARTER : 19 H.P.: 95

----- Datos Generales -----

VALOR DE ADQUISICION :	309,635.00	VIDA ECONOMICA :	10,000
EQUIPO ADICIONAL :	0.00	HORAS POR AÑO :	2,000
VALOR INICIAL :	309,635.00	FAC. OPERACION :	0.80
TASA DE INTERES :	0.1400	POT. OPERACION :	0.80
TASA DE SEGUROS :	0.05	FACTOR MANTTO. :	0.80
PRECIO DE GASOLINA :	0.00	PRECIO DIESEL :	1.10
PRECIO KW/HORA :	0.00	PRECIO ACEITE :	7.00
SALARIO OPERADOR :	142.91	SAL. AYUDANTE :	60.79
VIDA ECONOMICA EQ.A :	0	VIDA ECO. LLAN. :	1

----- Cargos Fijos -----

DEPRECIACION : $D=Va-Vr/Ve$	\$	24.77	:	15	:	\$	3.72
INVERSION : $I=(Va+Vr)/(2xHa) \times i$	\$	13.00	:	100	:	\$	13.00
SEGUROS : $S=(Va+Vr)/(2xHa) \times s$	\$	4.64	:	100	:	\$	4.64
MANTENIMIENTO : $M=Q \times d$	\$	19.82	:	0	:	\$	0.00
TOTAL DE CARGOS FIJOS	\$	62.24				\$	21.36

----- Cargos por Consumo -----

COMBUSTIBLE : $E = g \times Pc$		ACTIVOS	%	INACTIVOS
EQ. DIESEL : $E = 0.20 \times Po.HP. \times \L	\$	16.72	: 5 : \$	0.84
EQ. GASOLINA : $E = 0.24 \times Po.HP. \times \L	\$	0.00	: 5 : \$	0.00
EQ. ELEC. : $E = 0.653 \times Po.HP. \times \KW	\$	0.00	: 5 : \$	0.00
LUBRICANTES : $L = a \times Pc$				
EQ. GASOLINA : $Cc/Tc + .0075 \times HP.Op \times \L	\$	0.00	: 5 : \$	0.00
EQ. DIESEL : $Cc/Tc + .0096 \times HP.Op \times \L	\$	0.46	: 5 : \$	0.02
LLANTAS : $VLL/HVLL$	\$	0.00	: 5 : \$	0.00
TOTAL DE CARGOS POR CONSUMO	\$	17.18		\$ 0.86

----- Cargos por Operacion -----

OPERACION :				
OPERACION = δ Salarios/Horas Trabajo	\$	25.46	: 100 : \$	25.46

	ACTIVA	INACTIVA
COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA	\$ 104.88	\$ 47.69

----- Formato Para el Analisis del Costo Directo : Hora-Maquina -----

MAQUINARIA : TRACTOR CAD. MARCA: CATERPILLAR
 MODELO: D-8-L CAP. TANQUE: 550 CAP. CARTER : 48 H.P.: 335

----- Datos Generales -----

VALOR DE ADQUISICION :	1,346,571.74	VIDA ECONOMICA :	15,400
EQUIPO ADICIONAL :	0.00	HORAS POR AÑO :	1,400
VALOR INICIAL :	1,346,571.74	FAC. OPERACION :	0.80
TASA DE INTERES :	0.1400	POT. OPERACION :	0.80
TASA DE SEGUROS :	0.05	FACTOR MANTTO. :	0.80
PRECIO DE GASOLINA :	0.00	PRECIO DIESEL :	1.10
PRECIO KW/HORA :	0.00	PRECIO ACEITE :	7.00
SALARIO OPERADOR :	142.91	SAL. AYUDANTE :	60.79
VIDA ECONOMICA EQ.A :	0	VIDA ECO. LLAN. :	1

----- Cargos Fijos -----

DEPRECIACION : $D = \frac{Va - Vr}{Ve}$	\$	69.95	:	15	:	\$	10.49
INVERSION : $I = \frac{(Va + Vr)}{(2 \times Ha)} \times i$	\$	80.79	:	100	:	\$	80.79
SEGUROS : $S = \frac{(Va + Vr)}{(2 \times Ha)} \times s$	\$	28.86	:	100	:	\$	28.86
MANTENIMIENTO : $M = Q \times d$	\$	55.96	:	0	:	\$	0.00
TOTAL DE CARGOS FIJOS	\$	235.56				\$	120.14

----- Cargos por Consumo -----

COMBUSTIBLE	:	$E = g \times Pc$		ACTIVOS		%		INACTIVOS
EQ. DIESEL	:	$E = 0.20 \times Po.HP. \times \L	\$	58.96	:	5	:	2.95
EQ. GASOLINA	:	$E = 0.24 \times Po.HP. \times \L	\$	0.00	:	5	:	0.00
EQ. ELEC.	:	$E = 0.653 \times Po.HP. \times \Kw	\$	0.00	:	5	:	0.00
LUBRICANTES	:	$L = a \times Pc$						
EQ. GASOLINA	:	$Cc/Tc + 0.0075 \times HP.Op \times \L	\$	0.00	:	5	:	0.00
EQ. DIESEL	:	$Cc/Tc + 0.0096 \times HP.Op \times \L	\$	1.41	:	5	:	0.07
LLANTAS	:	$VLL/HVLL$	\$	0.00	:	5	:	0.00
TOTAL DE CARGOS POR CONSUMO	\$			60.37				3.02

----- Cargos por Operacion -----

OPERACION :				%			
OPERACION = δ Salarios/Horas Trabajo	\$	25.46	:	100	:	\$	25.46

		ACTIVA		INACTIVA
COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA	\$	321.40		\$ 148.62

----- Formato Para el Analisis del Costo Directo : Hora-Maquina -----

MAQUINARIA : TRACTOR DE CADENA MARCA: CATERPILLAR
 MODELO: D9L CAP. TANQUE: 240 CAP. CARTER : 72 H.P.: 460

----- Datos Generales -----

VALOR DE ADQUISICION :	1,803,553.00	VIDA ECONOMICA :	10,000
EQUIPO ADICIONAL :	0.00	HORAS POR AÑO :	2,000
VALOR INICIAL :	1,803,553.00	FAC. OPERACION :	0.80
TASA DE INTERES :	0.1400	POT. OPERACION :	0.80
TASA DE SEGUROS :	0.05	FACTOR MANTTO. :	0.80
PRECIO DE GASOLINA :	0.00	PRECIO DIESEL :	1.10
PRECIO KW/HORA :	0.00	PRECIO ACEITE :	7.00
SALARIO OPERADOR :	153.13	SAL. AYUDANTE :	60.79
VIDA ECONOMICA EQ.A :	0	VIDA ECO. LLAN. :	1

----- Cargos Fijos -----

DEPRECIACION : $D = Va - Vr / Va$	\$	144.28	:	15	:	\$	21.64
INVERSION : $I = (Va + Vr) / (2 \times Ha) \times i$	\$	75.75	:	100	:	\$	75.75
SEGUROS : $S = (Va + Vr) / (2 \times Ha) \times s$	\$	27.05	:	100	:	\$	27.05
MANTENIMIENTO : $M = Q \times d$	\$	115.43	:	0	:	\$	0.00
TOTAL DE CARGOS FIJOS	\$	362.51				\$	124.45

----- Cargos por Consumo -----

COMBUSTIBLE : $E = g \times Pc$		ACTIVOS	%	INACTIVOS
EQ. DIESEL : $E = 0.20 \times Po \cdot HP \cdot x \L	\$	80.96	: 5	: \$ 4.05
EQ. GASOLINA : $E = 0.24 \times Po \cdot HP \cdot x \L	\$	0.00	: 5	: \$ 0.00
EQ. ELEC. : $E = 0.653 \times Po \cdot HP \cdot x \Kw	\$	0.00	: 5	: \$ 0.00
LUBRICANTES : $L = a \times Pc$				
EQ. GASOLINA : $Cc / Tc + .0075 \times HP \cdot Op \times \L	\$	0.00	: 5	: \$ 0.00
EQ. DIESEL : $Cc / Tc + .0096 \times HP \cdot Op \times \L	\$	2.01	: 5	: \$ 0.10
LLANTAS : $VLL / HVLL$	\$	0.00	: 5	: \$ 0.00
TOTAL DE CARGOS POR CONSUMO	\$	82.97		\$ 4.15

----- Cargos por Operacion -----

OPERACION :		%	
OPERACION = δ Salarios/Horas Trabajo	\$	26.74	: 100 : \$ 26.74

	ACTIVA	INACTIVA
COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA	\$ 472.22	\$ 155.33

----- Formato Para el Analisis del Costo Directo : Hora-Maquina -----

MAQUINARIA : TRACTOR DE CADENAS MARCA: FIAT-HITACHI
 MODELO: FD30C CAP. TANQUE: 700 CAP. CARTER : 30 H.P. : 349

----- Datos Generales -----

VALOR DE ADQUISICION :	1,151,179.59	VIDA ECONOMICA :	14,000
EQUIPO ADICIONAL :	0.00	HORAS POR AÑO :	20,000
VALOR INICIAL :	1,151,179.59	FAC. OPERACION :	0.80
TASA DE INTERES :	0.1400	POP. OPERACION :	0.80
TASA DE SEGUROS :	0.05	FACTOR MANTTO. :	0.80
PRECIO DE GASOLINA :	0.00	PRECIO DIESEL :	1.10
PRECIO KH/HORA :	0.00	PRECIO ACEITE :	7.00
SALARIO OPERADOR :	153.13	SAL. AYUDANTE :	60.79
VIDA ECONOMICA EQ.A :	0	VIDA ECO. LLAN. :	1

----- Cargos Fijos -----

DEPRECIACION :	$D = Va - Vr / Ve$	\$	65.78	:	15	:	\$	9.87
INVERSION :	$I = (Va + Vr) / (2xHa) x i$	\$	4.83	:	100	:	\$	4.83
SEGUROS :	$S = (Va + Vr) / (2xHa) x s$	\$	1.73	:	100	:	\$	1.73
MANTENIMIENTO :	$M = Q x D$	\$	52.63	:	0	:	\$	0.00
TOTAL DE CARGOS FIJOS		\$	124.97			\$		16.43

----- Cargos por Consumo -----

COMBUSTIBLE :	$E = g x Pc$		ACTIVOS	¢	INACTIVOS			
EQ. DIESEL :	$E = 0.20 x Po.HP.x\$L$	\$	61.42	:	5	:	\$	3.07
EQ. GASOLINA :	$E = 0.24 x Po.HP.x\$L$	\$	0.00	:	5	:	\$	0.00
EQ. ELEC. :	$E = 0.653 x Po.HP.x\$KW$	\$	0.00	:	5	:	\$	0.00
LUBRICANTES :	$L = a x Pc$							
EQ. GASOLINA :	$Cc / Tc + .0075 x HP.Op x \L	\$	0.00	:	5	:	\$	0.00
EQ. DIESEL :	$Cc / Tc + .0096 x HP.Op x \L	\$	1.25	:	5	:	\$	0.06
LLANTAS :	$VLL / HVLL$	\$	0.00	:	5	:	\$	0.00
TOTAL DE CARGOS POR CONSUMO		\$	62.68			\$		3.13

----- Cargos por Operacion -----

OPERACION :		\$:		:	\$	
OPERACION = 0 Salarios/Horas Trabajo		\$	26.74	:	100	:	\$	26.74

		ACTIVA		INACTIVA
COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA	\$	214.38	\$	46.30

----- Formato Para el Analisis del Costo Directo : Hora-Maquina -----

MAQUINARIA : CARGADOR FRONTAL NEU MARCA: CATERPILLAR
 MODELO: 920 CAP. TANQUE: 260 CAP. CARTER : 18 H.P.: 80

----- Datos Generales -----

VALOR DE ADQUISICION :	308,241.36	VIDA ECONOMICA :	9,800
EQUIPO ADICIONAL :	0.00	HORAS POR AÑO :	2,000
VALOR INICIAL :	308,241.36	FAC. OPERACION :	0.80
TASA DE INTERES :	0.1400	POT. OPERACION :	0.80
TASA DE SEGUROS :	0.05	FACTOR MANTTO. :	0.80
PRECIO DE GASOLINA :	0.00	PRECIO DIESEL :	1.10
PRECIO KW/HORA :	0.00	PRECIO ACEITE :	7.00
SALARIO OPERADOR :	142.91	SAL. AYUDANTE :	60.79
VIDA ECONOMICA EQ.A :	0	VIDA ECO. LLAN. :	1

----- Cargos Fijos -----

DEPRECIACION : $D=Va-Vr/Ve$	\$	25.16	:	15	:	\$	3.77
INVERSION : $I=(Va+Vr)/(2xHa) x i$	\$	12.95	:	100	:	\$	12.95
SEGUROS : $S=(Va+Vr)/(2xHa) x s$	\$	4.62	:	100	:	\$	4.62
MANTENIMIENTO : $M=QxD$	\$	20.13	:	0	:	\$	0.00
TOTAL DE CARGOS FIJOS	\$	62.86				\$	21.34

----- Cargos por Consumo -----

COMBUSTIBLE	: $E = g x Pc$		ACTIVOS	%	INACTIVOS
EQ. DIESEL	: $E = 0.20xPo.HP.x\$L$	\$	14.08	: 5 : \$	0.70
EQ. GASOLINA	: $E = 0.24xPo.HP.x\$L$	\$	0.00	: 5 : \$	0.00
EQ. ELEC.	: $E = 0.653xPo.HP.x\$Kw$	\$	0.00	: 5 : \$	0.00
LUBRICANTES	: $L = a x Pc$				
EQ. GASOLINA	: $Cc/Tc+.0075xHP.Op x \$L$	\$	0.00	: 5 : \$	0.00
EQ. DIESEL	: $Cc/Tc+.0096xHP.Op x \$L$	\$	0.41	: 5 : \$	0.02
LLANTAS	: $VLL/HVLL$	\$	0.00	: 5 : \$	0.00
TOTAL DE CARGOS POR CONSUMO	\$	14.49	\$	0.72	

----- Cargos por Operacion -----

OPERACION :			%	
OPERACION = 0 Salarios/Horas Trabajo	\$	25.46	: 100 : \$	25.46

	ACTIVA	INACTIVA
COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA	\$ 102.81	\$ 47.53

=====

----- Formato Para el Analisis del Costo Directo : Hora-Maquina -----

MAQUINARIA : CARGADOR FRONTAN NEU MARCA: VOLVO
 MODELO: L120B CAP. TANQUE: 255 CAP. CARTER : 22 H.P.: 190

----- Datos Generales -----

VALOR DE ADQUISICION :	743,525.31	VIDA ECONOMICA :	10,000
EQUIPO ADICIONAL :	6,000.00	HORAS POR AÑO :	2,000
VALOR INICIAL :	737,525.31	FAC. OPERACION :	0.80
TASA DE INTERES :	0.1400	POT. OPERACION :	0.80
TASA DE SEGUROS :	0.05	FACTOR MANTTO. :	0.80
PRECIO DE GASOLINA :	0.00	PRECIO DIESEL :	1.10
PRECIO KW/HORA :	0.00	PRECIO ACEITE :	7.00
SALARIO OPERADOR :	153.13	SAL. AYUDANTE :	60.79
VIDA ECONOMICA EQ.A :	0	VIDA ECO. LLAN.:	1,000

----- Cargos Fijos -----

DEPRECIACION :	$D = Va - Vr / Ve$	\$	59.00	:	15	:	\$	8.85
INVERSION :	$I = (Va + Vr) / (2xHa) x i$	\$	30.98	:	100	:	\$	30.98
SEGUROS :	$S = (Va + Vr) / (2xHa) x s$	\$	11.06	:	100	:	\$	11.06
MANTENIMIENTO :	$M = Q x D$	\$	47.20	:	0	:	\$	0.00
TOTAL DE CARGOS FIJOS		\$	148.24				\$	50.89

----- Cargos por Consumo -----

COMBUSTIBLE	: E = g x Pc		ACTIVOS	%	INACTIVOS
EQ. DIESEL	: E = 0.20xPo.HP.x\$L	\$	33.44	: 5	: \$ 1.67
EQ. GASOLINA	: E = 0.24xPo.HP.x\$L	\$	0.00	: 5	: \$ 0.00
EQ. ELEC.	: E = 0.653xPo.HP.x\$Kw	\$	0.00	: 5	: \$ 0.00
LUBRICANTES : L = a x Pc					
EQ. GASOLINA	: Cc/Tc+.0075xHP.Op x \$L	\$	0.00	: 5	: \$ 0.00
EQ. DIESEL	: Cc/Tc+.0096xHP.Op x \$L	\$	0.74	: 5	: \$ 0.04
LLANTAS	: VLL/HVLL	\$	6.00	: 5	: \$ 0.30
TOTAL DE CARGOS POR CONSUMO		\$	40.18		\$ 2.01

----- Cargos por Operacion -----

OPERACION :			%	
OPERACION = 0 Salarios/Horas Trabajo	\$	26.74	: 100	: \$ 26.74

		ACTIVA		INACTIVA
COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA	\$	215.17		\$ 79.64

=====

----- Formato Para el Analisis del Costo Directo : Hora-Maquina -----

MAQUINARIA : CARGADOR FRONTAL MARCA: CATERPILLAR
 MODELO: 963 CAP. TANQUE: 300 CAP. CARTER : 18 H.P.: 150

----- Datos Generales -----

VALOR DE ADQUISICION :	770,665.57	VIDA ECONOMICA :	10,000
EQUIPO ADICIONAL :	0.00	HORAS POR AÑO :	2,000
VALOR INICIAL :	770,665.57	FAC. OPERACION :	0.80
TASA DE INTERES :	0.1400	POT. OPERACION :	0.80
TASA DE SEGUROS :	0.05	FACTOR MANTTO. :	0.80
PRECIO DE GASOLINA :	0.00	PRECIO DIESEL :	1.10
PRECIO KW/HORA :	0.00	PRECIO ACEITE :	7.00
SALARIO OPERADOR :	142.91	SAL. AYUDANTE :	60.79
VIDA ECONOMICA EQ.A :	0	VIDA ECO. LLAN.:	1

----- Cargos Fijos -----

DEPRECIACION : $D=Va-Vr/Ve$	\$	61.65	:	15	:	\$	9.25
INVERSION : $I=(Va+Vr)/(2xHa)x i$	\$	12.37	:	100	:	\$	12.37
SEGUROS : $S=(Va+Vr)/(2xHa)x s$	\$	11.56	:	100	:	\$	11.56
MANTENIMIENTO : $M=QxD$	\$	49.32	:	0	:	\$	0.00
TOTAL DE CARGOS FIJOS	\$	154.90				\$	53.18

----- Cargos por Consumo -----

COMBUSTIBLE : $E = g \times Pc$		ACTIVOS	%	INACTIVOS
EQ. DIESEL : $E = 0.20xPo.HP.x\$L$	\$	26.40	: 5 :	\$ 1.32
EQ. GASOLINA : $E = 0.24xPo.HP.x\$L$	\$	0.00	: 5 :	\$ 0.00
EQ. ELEC. : $E = 0.653xPo.HP.x\$Kw$	\$	0.00	: 5 :	\$ 0.00
LUBRICANTES : $L = a \times Pc$				
EQ. GASOLINA : $Cc/Tc+.0075xHP.Op \times \L	\$	0.00	: 5 :	\$ 0.00
EQ. DIESEL : $Cc/Tc+.0096xHP.Op \times \L	\$	0.59	: 5 :	\$ 0.03
LLANTAS : $VLL/HVLL$	\$	0.00	: 5 :	\$ 0.00
TOTAL DE CARGOS POR CONSUMO	\$	26.99		\$ 1.35

----- Cargos por Operacion -----

OPERACION :		%
OPERACION = ϕ Salarios/Horas Trabajo	\$	25.46 : 100 : \$ 25.46

		ACTIVA		INACTIVA
COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA	\$	207.36	\$	79.99

=====

----- Formato Para el Analisis del Costo Directo : Hora-Maquina -----

MAQUINARIA : CARGADOR L70B MARCA: VOLVO
 MODELO: L70B/94 CAP. TANQUE: 255 CAP. CARTER : 22 H.P.: 190

----- Datos Generales -----

VALOR DE ADQUISICION :	434,391.00	VIDA ECONOMICA :	10,000
EQUIPO ADICIONAL :	2,500.00	HORAS POR AÑO :	2,000
VALOR INICIAL :	431,891.00	FAC. OPERACION :	0.80
TASA DE INTERES :	0.1400	POT. OPERACION :	0.80
TASA DE SEGUROS :	0.05	FACTOR MANTTO. :	0.80
PRECIO DE GASOLINA :	0.00	PRECIO DIESEL :	1.00
PRECIO KW/HORA :	0.00	PRECIO ACEITE :	6.00
SALARIO OPERADOR :	114.84	SAL. AYUDANTE :	42.29
VIDA ECONOMICA EQ.A :	100	VIDA ECO. LLAN. :	1

----- Cargos Fijos -----

DEPRECIACION :	$D = Va - Vr / Va$	\$	34.55	:	15	:	\$	5.18
INVERSION :	$I = (Va + Vr) / (2xHa) x i$	\$	18.14	:	100	:	\$	18.14
SEGUROS :	$S = (Va + Vr) / (2xHa) x s$	\$	6.48	:	100	:	\$	6.48
MANTENIMIENTO :	$M = QxD$	\$	27.64	:	0	:	\$	0.00
TOTAL DE CARGOS FIJOS		\$	86.81				\$	29.80

----- Cargos por Consumo -----

COMBUSTIBLE	: $E = g x Pc$		ACTIVOS	%	INACTIVOS
EQ. DIESEL	: $E = 0.20xPo.HP.x\$L$	\$	30.40	: 5 : \$	1.52
EQ. GASOLINA	: $E = 0.24xPo.HP.x\$L$	\$	0.00	: 5 : \$	0.00
EQ. ELEC.	: $E = 0.653xPo.HP.x\$Kw$	\$	0.00	: 5 : \$	0.00
LUBRICANTES : $L = a x Pc$					
EQ. GASOLINA	: $Cc/Tc + .0075xHP.Op x \$L$	\$	0.00	: 5 : \$	0.00
EQ. DIESEL	: $Cc/Tc + .0096xHP.Op x \$L$	\$	0.68	: 5 : \$	0.03
LLANTAS	: $VLL/HVLL$	\$	24.75	: 5 : \$	1.24
TOTAL DE CARGOS POR CONSUMO		\$	55.83		\$ 2.79

----- Cargos por Operacion -----

OPERACION :			%	
OPERACION = 6 Salarios/Horas Trabajo	\$	19.64	: 100 : \$	19.64

		ACTIVA		INACTIVA
COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA	\$	162.28	\$	52.23

----- Formato Para el Analisis del Costo Directo : Hora-Maquina -----

MAQUINARIA : PTA. TRITURADORA MARCA: TELSMITH
 MODELO: 36*46 CAP. TANQUE: 0 CAP. CARTER : 0 H.P.: 150

----- Datos Generales -----

VALOR DE ADQUISICION :	962,389.00	VIDA ECONOMICA :	10,000
EQUIPO ADICIONAL :	0.00	HORAS POR AÑO :	2,000
VALOR INICIAL :	962,389.00	FAC. OPERACION :	0.80
TASA DE INTERES :	0.1400	POT. OPERACION :	0.80
TASA DE SEGUROS :	0.05	FACTOR MANTTO. :	0.80
PRECIO DE GASOLINA :	0.00	PRECIO DIESEL :	0.00
PRECIO KW/HORA :	0.55	PRECIO ACEITE :	0.00
SALARIO OPERADOR :	142.91	SAL. AYUDANTE :	60.79
VIDA ECONOMICA EQ.A :	0	VIDA ECO. LLAN.:	1

----- Cargos Fijos -----

DEPRECIACION : $D = Va - Vr / Ve$	\$	76.99	:	15	:	\$	11.55
INVERSION : $I = (Va + Vr) / (2 \times Ha) \times i$	\$	40.42	:	100	:	\$	40.42
SEGUROS : $S = (Va + Vr) / (2 \times Ha) \times s$	\$	14.44	:	100	:	\$	14.44
MANTENIMIENTO : $M = Q \times d$	\$	61.59	:	0	:	\$	0.00
TOTAL DE CARGOS FIJOS	\$	193.44				\$	66.40

----- Cargos por Consumo -----

COMBUSTIBLE	:	$E = g \times Pc$		ACTIVOS		%		INACTIVOS
EQ. DIESEL	:	$E = 0.20 \times Po. HP. \times \L	\$	0.00	:	5	:	0.00
EQ. GASOLINA	:	$E = 0.24 \times Po. HP. \times \L	\$	0.00	:	5	:	0.00
EQ. ELEC.	:	$E = 0.653 \times Po. HP. \times \Kw	\$	43.10	:	5	:	2.15
LUBRICANTES	:	$L = a \times Pc$						
EQ. GASOLINA	:	$Cc / Tc + .0075 \times HP. Op \times \L	\$	0.00	:	5	:	0.00
EQ. DIESEL	:	$Cc / Tc + .0096 \times HP. Op \times \L	\$	0.00	:	5	:	0.00
LLANTAS	:	$VLL / HVLL$	\$	0.00	:	5	:	0.00
TOTAL DE CARGOS POR CONSUMO	\$			43.10				2.15

----- Cargos por Operacion -----

OPERACION :				%		
OPERACION = δ Salarios/Horas Trabajo	\$	25.46	:	100	:	\$ 25.46

		ACTIVA		INACTIVA
COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA	\$	262.00	\$	94.02

----- Formato Para el Analisis del Costo Directo : Hora-Maquina -----

MAQUINARIA : P. TRITURACION MARCA: NERBERG
 MODELO: 24*36 CAP. TANQUE: 0 CAP. CARTER : 0 H.P.: 100

----- Datos Generales -----

VALOR DE ADQUISICION :	939,181.00	VIDA ECONOMICA :	10,000
EQUIPO ADICIONAL :	0.00	HORAS POR AÑO :	2,000
VALOR INICIAL :	939,181.00	FAC. OPERACION :	0.80
TASA DE INTERES :	0.1400	POT. OPERACION :	0.80
TASA DE SEGUROS :	0.05	FACTOR MANTTO. :	0.80
PRECIO DE GASOLINA :	0.00	PRECIO DIESEL :	0.00
PRECIO KW/HORA :	0.55	PRECIO ACEITE :	0.00
SALARIO OPERADOR :	142.91	SAL. AYUDANTE :	60.79
VIDA ECONOMICA EQ.A :	0	VIDA ECO. LLAN.:	1

----- Cargos Fijos -----

DEPRECIACION : D=Va-Vr/Ve	\$	75.13	:	15	:	\$	11.27
INVERSION : I=(Va+Vr)/(2xHa)x i	\$	39.45	:	100	:	\$	39.45
SEGUROS : S=(Va+Vr)/(2xHa)x s	\$	14.09	:	100	:	\$	14.09
MANTENIMIENTO : M=QxD	\$	60.11	:	0	:	\$	0.00

TOTAL DE CARGOS FIJOS \$ 188.78 \$ 64.80

----- Cargos por Consumo -----

COMBUSTIBLE : E = g x Pc		ACTIVOS	%	INACTIVOS
EQ. DIESEL : E = 0.20xPo.HP.x\$L	\$	0.00	: 5 : \$	0.00
EQ. GASOLINA : E = 0.24xPo.HP.x\$L	\$	0.00	: 5 : \$	0.00
EQ. ELEC. : E = 0.653xPo.HP.x\$Kw	\$	28.73	: 5 : \$	1.44
LUBRICANTES : L = a x Pc				
EQ. GASOLINA : Cc/Tc+.0075xHP.Op x \$L	\$	0.00	: 5 : \$	0.00
EQ. DIESEL : Cc/Tc+.0096xHP.Op x \$L	\$	0.00	: 5 : \$	0.00
LLANTAS : VLL/HVLL	\$	0.00	: 5 : \$	0.00

TOTAL DE CARGOS POR CONSUMO \$ 28.73 \$ 1.44

----- Cargos por Operacion -----

OPERACION :		%	
OPERACION = ̢ Salarios/Horas Trabajo	\$	25.46	: 100 : \$ 25.46

	ACTIVA	INACTIVA
COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA	\$ 242.97	\$ 91.70

 =
 =
 =

----- Formato Para el Analisis del Costo Directo : Hora-Maquina -----

MAQUINARIA : TRITURADORA DE CONO MARCA: NORDBERG
 MODELO: 4" CAP. TANQUE: 0 CAP. CARTER : 0 H.P.: 75

----- Datos Generales -----

VALOR DE ADQUISICION :	1,051,390.00	VIDA ECONOMICA :	10,000
EQUIPO ADICIONAL :	0.00	HORAS POR AÑO :	2,000
VALOR INICIAL :	1,051,390.00	FAC. OPERACION :	0.80
TASA DE INTERES :	0.1400	POT. OPERACION :	0.80
TASA DE SEGUROS :	0.05	FACTOR MANTTO. :	0.80
PRECIO DE GASOLINA :	0.00	PRECIO DIESEL :	0.00
PRECIO KW/HORA :	142.91	PRECIO ACEITE :	0.00
SALARIO OPERADOR :	142.91	SAL. AYUDANTE :	60.79
VIDA ECONOMICA EQ.A :	0	VIDA ECO. LLAN. :	1

----- Cargos Fijos -----

DEPRECIACION :	$D = Va - Vr / Ve$	\$	84.11	:	15	:	\$	12.62
INVERSION :	$I = (Va + Vr) / (2xHa) x i$	\$	44.16	:	100	:	\$	44.16
SEGUROS :	$S = (Va + Vr) / (2xHa) x s$	\$	15.77	:	100	:	\$	15.77
MANTENIMIENTO :	$M = QxD$	\$	67.29	:	0	:	\$	0.00
TOTAL DE CARGOS FIJOS		\$	211.33				\$	72.55

----- Cargos por Consumo -----

COMBUSTIBLE	: $E = g \times Pc$		ACTIVOS	%	INACTIVOS
EQ. DIESEL	: $E = 0.20xPo.HP.x\$L$	\$	0.00	: 5 : \$	0.00
EQ. GASOLINA	: $E = 0.24xPo.HP.x\$L$	\$	0.00	: 5 : \$	0.00
EQ. ELEC.	: $E = 0.653xPo.HP.x\$KW$	\$	21.55	: 5 : \$	1.08
LUBRICANTES : $L = a \times Pc$					
EQ. GASOLINA	: $Cc/Tc+.0075xHP.Op \times \L	\$	0.00	: 5 : \$	0.00
EQ. DIESEL	: $Cc/Tc+.0096xHP.Op \times \L	\$	0.00	: 5 : \$	0.00
LLANTAS	: $VLL/HVLL$	\$	0.00	: 5 : \$	0.00
TOTAL DE CARGOS POR CONSUMO		\$	21.55		\$ 1.08

----- Cargos por Operacion -----

OPERACION :			%	
OPERACION = δ Salarios/Horas Trabajo	\$	25.46	: 100 : \$	25.46

		ACTIVA		INACTIVA
COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA	\$	258.34	\$	99.09

----- Formato Para el Analisis del Costo Directo : Hora-Maquina -----

MAQUINARIA : TRITURADORA MARCA: TELSMITH
 MODELO: 36S CAP. TANQUE: 0 CAP. CARTER : 0 H.P.: 35

----- Datos Generales -----

VALOR DE ADQUISICION :	290,000.00	VIDA ECONOMICA :	7,500
EQUIPO ADICIONAL :	0.00	HORAS POR AEO :	1,500
VALOR INICIAL :	290,000.00	FAC. OPERACION :	0.80
TASA DE INTERES :	0.1400	POT. OPERACION :	0.80
TASA DE SEGUROS :	0.05	FACTOR MANTTO. :	0.60
PRECIO DE GASOLINA :	0.00	PRECIO DIESEL :	0.00
PRECIO KW/HORA :	0.55	PRECIO ACEITE :	7.00
SALARIO OPERADOR :	142.91	SAL. AYUDANTE :	60.79
VIDA ECONOMICA EQ.A :	0	VIDA ECO. LLAN. :	1

----- Cargos Fijos -----

DEPRECIACION : $D = \frac{Va - Vr}{Va}$	\$	30.93	:	15	:	\$	4.64
INVERSION : $I = \frac{(Va + Vr)}{(2xHa)} \times i$	\$	16.24	:	100	:	\$	16.24
SEGUROS : $S = \frac{(Va + Vr)}{(2xHa)} \times s$	\$	5.80	:	100	:	\$	5.80
MANTENIMIENTO : $M = Q \times D$	\$	18.56	:	0	:	\$	0.00
TOTAL DE CARGOS FIJOS	\$	71.53				\$	26.68

----- Cargos por Consumo -----

COMBUSTIBLE	: $E = g \times Pc$		ACTIVOS	%	INACTIVOS
EQ. DIESEL	: $E = 0.20 \times Po.HP. \times \L	\$	0.00	: 5	: \$ 0.00
EQ. GASOLINA	: $E = 0.24 \times Po.HP. \times \L	\$	0.00	: 5	: \$ 0.00
EQ. ELEC.	: $E = 0.653 \times Po.HP. \times \Kw	\$	10.06	: 5	: \$ 0.50
LUBRICANTES	: $L = a \times Pc$				
EQ. GASOLINA	: $Cc/Tc + .0075 \times HP.Op \times \L	\$	0.00	: 5	: \$ 0.00
EQ. DIESEL	: $Cc/Tc + .0096 \times HP.Op \times \L	\$	0.00	: 5	: \$ 0.00
LLANTAS	: $VLL/HVLL$	\$	0.00	: 5	: \$ 0.00
TOTAL DE CARGOS POR CONSUMO		\$	10.06		\$ 0.50

----- Cargos por Operacion -----

OPERACION :			%	
OPERACION = δ Salarios/Horas Trabajo	\$	25.46	: 100	: \$ 25.46

		ACTIVA		INACTIVA
COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA	\$	107.05	\$	52.65

----- Formato Para el Analisis del Costo Directo : Hora-Maquina -----

MAQUINARIA : TRITURADORA DE RODIL MARCA: PIONER
 MODELO: 3030 CAP. TANQUE: 0 CAP. CARTER : 0 H.P. : 75

----- Datos Generales -----

VALOR DE ADQUISICION :	867,250.00	VIDA ECONOMICA :	10,000
EQUIPO ADICIONAL :	0.00	HORAS POR AÑO :	2,000
VALOR INICIAL :	867,250.00	FAC. OPERACION :	0.80
TASA DE INTERES :	0.1400	POT. OPERACION :	0.80
TASA DE SEGUROS :	0.05	FACTOR MANTTO :	0.80
PRECIO DE GASOLINA :	0.00	PRECIO DIESEL :	0.00
PRECIO KW/HORA :	0.55	PRECIO ACEITE :	0.00
SALARIO OPERADOR :	142.91	SAL. AYUDANTE :	60.79
VIDA ECONOMICA EQ.A :	0	VIDA ECO. LLAN.:	1

----- Cargos Fijos -----

DEPRECIACION : $D = \frac{Va - Vr}{Ve}$	\$	69.38	:	15	:	\$	10.41
INVERSION : $I = \frac{(Va + Vr)}{(2xHa)} \times i$	\$	36.42	:	100	:	\$	36.42
SEGUROS : $S = \frac{(Va + Vr)}{(2xHa)} \times s$	\$	13.01	:	100	:	\$	13.01
MANTENIMIENTO : $M = Q \times d$	\$	55.50	:	0	:	\$	0.00
TOTAL DE CARGOS FIJOS	\$	174.32				\$	59.84

----- Cargos por Consumo -----

		ACTIVOS	¢	INACTIVOS
COMBUSTIBLE : $E = g \times Pc$				
EQ. DIESEL : $E = 0.20 \times Po \cdot HP \cdot x \L	\$	0.00	: 5	: \$ 0.00
EQ. GASOLINA : $E = 0.24 \times Po \cdot HP \cdot x \L	\$	0.00	: 5	: \$ 0.00
EQ. ELEC. : $E = 0.653 \times Po \cdot HP \cdot x \Kw	\$	21.55	: 5	: \$ 1.08
LUBRICANTES : $L = a \times Pc$				
EQ. GASOLINA : $Cc/Tc + .0075 \times HP \cdot Op \times \L	\$	0.00	: 5	: \$ 0.00
EQ. DIESEL : $Cc/Tc + .0096 \times HP \cdot Op \times \L	\$	0.00	: 5	: \$ 0.00
LLANTAS : $VLL/HVLL$	\$	0.00	: 5	: \$ 0.00
TOTAL DE CARGOS POR CONSUMO	\$	21.55		\$ 1.08

----- Cargos por Operacion -----

OPERACION :		¢	
OPERACION = δ Salarios/Horas Trabajo	\$	25.46	: 100 : \$ 25.46

	ACTIVA	INACTIVA
COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA	\$ 221.33	\$ 86.38

 =
 =
 =

----- Formato Para el Analisis del Costo Directo : Hora-Maquina -----

MAQUINARIA : CRIBA VIBRATORIA MARCA: NORDBERG
 MODELO: 6*16" CAP. TANQUE: 0 CAP. CARTER : 0 H.P.: 75

----- Datos Generales -----

VALOR DE ADQUISICION :	153,370.00	VIDA ECONOMICA :	6,000
EQUIPO ADICIONAL :	0.00	HORAS POR AÑO :	2,000
VALOR INICIAL :	153,370.00	FAC. OPERACION :	0.80
TASA DE INTERES :	0.1400	POT. OPERACION :	0.80
TASA DE SEGUROS :	0.05	FACTOR MANTO. :	0.40
PRECIO DE GASOLINA :	0.00	PRECIO DIESEL :	0.00
PRECIO KW/HORA :	0.55	PRECIO ACEITE :	0.00
SALARIO OPERADOR :	60.79	SAL. AVUDANTE :	0.00
VIDA ECONOMICA EQ.A :	0	VIDA ECO. LLAN. :	1

----- Cargos Fijos -----

DEPRECIACION : $D=Va-Vr/Ve$	\$	20.45	:	15	:	\$	3.07
INVERSION : $I=(Va+Vr)/(2xHa) x i$	\$	6.44	:	100	:	\$	6.44
SEGUROS : $S=(Va+Vr)/(2xHa) x s$	\$	2.30	:	100	:	\$	2.30
MANTENIMIENTO : $M=QxD$	\$	8.18	:	0	:	\$	0.00
TOTAL DE CARGOS FIJOS	\$	37.37				\$	11.81

----- Cargos por Consumo -----

COMBUSTIBLE : $E = g x Pc$		ACTIVOS	%	INACTIVOS
EQ. DIESEL : $E = 0.20xPo.HP.x\$L$	\$	0.00	: 5 : \$	0.00
EQ. GASOLINA : $E = 0.24xPo.HP.x\$L$	\$	0.00	: 5 : \$	0.00
EQ. ELEC. : $E = 0.653xPo.HP.x\$Kw$	\$	21.55	: 5 : \$	1.08
LUBRICANTES : $L = a x Pc$				
EQ. GASOLINA : $Cc/Tc+.0075xHP.Op x \$L$	\$	0.00	: 5 : \$	0.00
EQ. DIESEL : $Cc/Tc+.0096xHP.Op x \$L$	\$	0.00	: 5 : \$	0.00
LLANTAS : $VLL/HVLL$	\$	0.00	: 5 : \$	0.00
TOTAL DE CARGOS POR CONSUMO	\$	21.55		\$ 1.08

----- Cargos por Operacion -----

OPERACION :		%
OPERACION = δ Salarios/Horas Trabajo	\$	7.60 : 100 : \$ 7.60

		ACTIVA		INACTIVA
COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA	\$	66.52	\$	20.49

=====

----- Formato Para el Analisis del Costo Directo : Hora-Maquina -----

MAQUINARIA : ALIMENTADOR VIBRATOR MARCA: GRIZZLY
 MODELO: 50*20" CAP. TANQUE: 0 CAP. CARTER : 0 H.P.: 40

----- Datos Generales -----

VALOR DE ADQUISICION :	446,187.54	VIDA ECONOMICA :	10,000
EQUIPO ADICIONAL :	0.00	HORAS POR AEO :	2,000
VALOR INICIAL :	446,187.54	FAC. OPERACION :	0.80
TASA DE INTERES :	0.1400	POT. OPERACION :	0.80
TASA DE SEGUROS :	0.05	FACTOR MANTTO. :	0.52
PRECIO DE GASOLINA :	0.00	PRECIO DIESEL :	0.00
PRECIO KW/HORA :	0.55	PRECIO ACEITE :	0.00
SALARIO OPERADOR :	60.79	SAL. AYUDANTE :	0.00
VIDA ECONOMICA EQ.A :	0	VIDA ECO. LLAN. :	1

----- Cargos Fijos -----

DEPRECIACION : $D=Va-Vr/Ve$	\$	35.70	:	15	:	\$	5.35
INVERSION : $I=(Va+Vr)/(2xHa) \times i$	\$	18.74	:	100	:	\$	18.74
SEGUROS : $S=(Va+Vr)/(2xHa) \times s$	\$	6.63	:	100	:	\$	6.69
MANTENIMIENTO : $M=Q \times D$	\$	18.56	:	0	:	\$	0.00
TOTAL DE CARGOS FIJOS	\$	79.69				\$	30.79

----- Cargos por Consumo -----

COMBUSTIBLE : $E = g \times Pc$		ACTIVOS	%	INACTIVOS
EQ. DIESEL : $E = 0.20 \times Po.HP. \times \L	\$	0.00	: 5 : \$	0.00
EQ. GASOLINA : $E = 0.24 \times Po.HP. \times \L	\$	0.00	: 5 : \$	0.00
EQ. ELEC. : $E = 0.653 \times Po.HP. \times \Kw	\$	11.49	: 5 : \$	0.57
LUBRICANTES : $L = a \times Pc$				
EQ. GASOLINA : $Cc/Tc + .0075 \times HP.Op \times \L	\$	0.00	: 5 : \$	0.00
EQ. DIESEL : $Cc/Tc + .0096 \times HP.Op \times \L	\$	0.00	: 5 : \$	0.00
LLANTAS : $VLL/HVLL$	\$	0.00	: 5 : \$	0.00
TOTAL DE CARGOS POR CONSUMO	\$	11.49		\$ 0.57

----- Cargos por Operacion -----

OPERACION :			%	
OPERACION = δ Salarios/Horas Trabajo	\$	7.60	: 100 : \$	7.60

	ACTIVA	INACTIVA
COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA	\$ 98.78	\$ 38.96

=====

----- Formato Para el Analisis del Costo Directo : Hora-Maquina -----

MAQUINARIA : BANDA TRANSPORTADORA MARCA: NORDBERG
 MODELO: 24*71" CAP. TANQUE: 0 CAP. CARTER : 0 H.P.: 20

----- Datos Generales -----

VALOR DE ADQUISICION :	84,080.00	VIDA ECONOMICA :	6,000
EQUIPO ADICIONAL :	0.00	HORAS POR AÑO :	2,000
VALOR INICIAL :	84,080.00	FAC. OPERACION :	0.80
TASA DE INTERES :	0.1400	POT. OPERACION :	0.80
TASA DE SEGUROS :	0.05	FACTOR MANTO. :	0.50
PRECIO DE GASOLINA :	0.00	PRECIO DIESEL :	0.00
PRECIO KW/HORA :	0.55	PRECIO ACEITE :	0.00
SALARIO OPERADOR :	60.79	SAL. AYUDANTE :	0.00
VIDA ECONOMICA EQ.A :	0	VIDA ECO. LLAN.:	1

----- Cargos Fijos -----

DEPRECIACION : $D = Va - Vr / Ve$	\$	11.21	:	15	:	\$	1.68
INVERSION : $I = (Va + Vr) / (2xHa) x i$	\$	3.5	:	100	:	\$	3.53
SEGUROS : $S = (Va + Vr) / (2xHa) x s$	\$	1.26	:	100	:	\$	1.26
MANTENIMIENTO : $M = Q x d$	\$	5.61	:	0	:	\$	0.00
TOTAL DE CARGOS FIJOS	\$	21.61				\$	6.47

----- Cargos por Consumo -----

COMBUSTIBLE : $E = g x Pc$		ACTIVOS	%	INACTIVOS
EQ. DIESEL : $E = 0.20xPo.HP.x\$L$	\$	0.00	: 5 : \$	0.00
EQ. GASOLINA : $E = 0.24xPo.HP.x\$L$	\$	0.00	: 5 : \$	0.00
EQ. ELEC. : $E = 0.653xPo.HP.x\$Kw$	\$	5.75	: 5 : \$	0.29
LUBRICANTES : $L = a x Pc$				
EQ. GASOLINA : $Cc/Tc + .0075xHP.Op x \$L$	\$	0.00	: 5 : \$	0.00
EQ. DIESEL : $Cc/Tc + .0096xHP.Op x \$L$	\$	0.00	: 5 : \$	0.00
LLANTAS : $VLL/HVLL$	\$	0.00	: 5 : \$	0.00
TOTAL DE CARGOS POR CONSUMO	\$	5.75		\$ 0.29

----- Cargos por Operacion -----

OPERACION :			%	
OPERACION = δ Salarios/Horas Trabajo	\$	7.60	: 100 : \$	7.60

	ACTIVA	INACTIVA
COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA	\$ 34.95	\$ 14.36

=====

----- Formato Para el Analisis del Costo Directo : Hora-Maquina -----

MAQUINARIA : camion de volteo MARCA: mercedes
 MODELO: 1994 CAP. TANQUE: 140 CAP. CARTER : 7 H.P.: 170

----- Datos Generales -----

VALOR DE ADQUISICION :	121,124.78	VIDA ECONOMICA :	10,000
EQUIPO ADICIONAL :	0.00	HORAS POR AÑO :	2,000
VALOR INICIAL :	121,124.78	FAC. OPERACION :	0.80
TASA DE INTERES :	0.1400	POT. OPERACION :	0.80
TASA DE SEGUROS :	0.05	FACTOR MANTTO. :	0.80
PRECIO DE GASOLINA :	0.00	PRECIO DIESEL :	1.10
PRECIO KW/HORA :	0.00	PRECIO ACEITE :	7.00
SALARIO OPERADOR :	114.84	SAL. AYUDANTE :	42.29
VIDA ECONOMICA EQ.A :	0	VIDA ECO. LLAN.:	1

----- Cargos Fijos -----

DEPRECIACION : $D = \frac{Va - Vr}{Ve}$	\$	9.69	:	15	:	\$	1.45
INVERSION : $I = \frac{(Va + Vr)}{(2xHa)} \times i$	\$	5.09	:	100	:	\$	5.09
SEGUROS : $S = \frac{(Va + Vr)}{(2xHa)} \times s$	\$	1.82	:	100	:	\$	1.82
MANTENIMIENTO : $M = Q \times D$	\$	7.75	:	0	:	\$	0.00
TOTAL DE CARGOS FIJOS	\$	24.35				\$	8.36

----- Cargos por Consumo -----

COMBUSTIBLE : $E = g \times Pc$		ACTIVOS	%	INACTIVOS
EQ. DIESEL : $E = 0.20 \times Po.HP. \times \L	\$	29.92	: 5 : \$	1.50
EQ. GASOLINA : $E = 0.24 \times Po.HP. \times \L	\$	0.00	: 5 : \$	0.00
EQ. ELEC. : $E = 0.653 \times Po.HP. \times \Kw	\$	0.00	: 5 : \$	0.00
LUBRICANTES : $L = a \times Pc$				
EQ. GASOLINA : $Cc/Tc + .0075 \times HP.Op \times \L	\$	0.00	: 5 : \$	0.00
EQ. DIESEL : $Cc/Tc + .0096 \times HP.Op \times \L	\$	0.53	: 5 : \$	0.01
LLANTAS : $VLL/HVLL$	\$	0.00	: 5 : \$	0.00
TOTAL DE CARGOS POR CONSUMO	\$	30.45		1.52

----- Cargos por Operacion -----

OPERACION :		%	
OPERACION = 0 Salarios/Horas Trabajo	\$	19.64	: 100 : \$ 19.64

		ACTIVA		INACTIVA
COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA	\$	74.43	\$	29.52

=====

----- Formato Para el Analisis del Costo Directo : Hora-Maquina -----

MAQUINARIA : CAMION FUERA CARRETE MARCA: EUCLID
 MODELO: R-35 CAP. TANQUE: 454 CAP. CARTER : 59 H.P. : 430

----- Datos Generales -----

VALOR DE ADQUISICION :	1,178,364.00	VIDA ECONOMICA :	14,000
EQUIPO ADICIONAL :	0.00	HORAS POR AÑO :	2,000
VALOR INICIAL :	1,178,364.00	FAC. OPERACION :	0.80
TASA DE INTERES :	0.1400	POT. OPERACION :	0.80
TASA DE SEGUROS :	0.05	FACTOR MANTTO. :	0.85
PRECIO DE GASOLINA :	0.00	PRECIO DIESEL :	1.10
PRECIO KW/HORA :	0.00	PRECIO ACEITE :	7.00
SALARIO OPERADOR :	143.00	SAL. AYUDANTE :	74.00
VIDA ECONOMICA EQ.A :	0	VIDA ECO. LLAN. :	1

----- Cargos Fijos -----

DEPRECIACION :	$D=Va-Vr/Ve$	\$	67.34	:	15	:	\$	10.10
INVERSION :	$I=(Va+Vr)/(2xHa) \times i$	\$	49.49	:	100	:	\$	49.49
SEGUROS :	$S=(Va+Vr)/(2xHa) \times s$	\$	17.68	:	100	:	\$	17.68
MANTENIMIENTO :	$M=Q \times D$	\$	57.23	:	0	:	\$	0.00
TOTAL DE CARGOS FIJOS		\$	191.74				\$	77.27

----- Cargos por Consumo -----

COMBUSTIBLE :	$E = g \times Pc$		ACTIVOS	%	INACTIVOS
EQ. DIESEL :	$E = 0.20 \times Po.HP. \times \L	\$	75.68	: 5 : \$	3.78
EQ. GASOLINA :	$E = 0.24 \times Po.HP. \times \L	\$	0.00	: 5 : \$	0.00
EQ. ELEC. :	$E = 0.653 \times Po.HP. \times \KW	\$	0.00	: 5 : \$	0.00
LUBRICANTES : $L = a \times Pc$					
EQ. GASOLINA :	$Cc/Tc + .0075 \times HP.Op \times \L	\$	0.00	: 5 : \$	0.00
EQ. DIESEL :	$Cc/Tc + .0096 \times HP.Op \times \L	\$	1.78	: 5 : \$	0.09
LLANTAS :	$VLL/HVLL$	\$	0.00	: 5 : \$	0.00
TOTAL DE CARGOS POR CONSUMO		\$	77.46		\$ 3.87

----- Cargos por Operacion -----

OPERACION :		\$				
OPERACION = δ Salarios/Horas Trabajo	\$	27.13	:	100	:	\$ 27.13

	ACTIVA	INACTIVA
COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA	\$ 296.33	\$ 108.27

=====

----- Formato Para el Analisis del Costo Directo : Hora-Maquina -----

MAQUINARIA : CAMION DE VOLTEO MARCA: FANSA
 MODELO: 1994 CAP. TANQUE: 130 CAP. CARTER : 7 H.P.: 140

----- Datos Generales -----

VALOR DE ADQUISICION :	185,732.00	VIDA ECONOMICA :	10,000
EQUIPO ADICIONAL :	4,800.00	HORAS POR AÑO :	2,000
VALOR INICIAL :	180,932.00	FAC. OPERACION :	0.80
TASA DE INTERES :	0.1400	POT. OPERACION :	0.80
TASA DE SEGUROS :	0.05	FACTOR MANTTO. :	0.80
PRECIO DE GASOLINA :	0.00	PRECIO DIESEL :	1.10
PRECIO KW/HORA :	0.00	PRECIO ACEITE :	7.00
SALARIO OPERADOR :	114.84	SAL. AYUDANTE :	42.29
VIDA ECONOMICA EQ.A :	0	VIDA ECO. LLAN. :	1,800

----- Cargos Fijos -----

DEPRECIACION :	$D = Va - Vr / Ve$	\$	14.47	:	15	:	\$	2.17
INVERSION :	$I = (Va + Vr) / (2 \times Ha) \times i$	\$	7.60	:	100	:	\$	7.60
SEGUROS :	$S = (Va + Vr) / (2 \times Ha) \times s$	\$	2.71	:	100	:	\$	2.71
MANTENIMIENTO :	$M = Q \times D$	\$	11.58	:	0	:	\$	0.00
TOTAL DE CARGOS FIJOS		\$	36.37				\$	12.48

----- Cargos por Consumo -----

COMBUSTIBLE	: $E = g \times Pc$		ACTIVOS	%	INACTIVOS
EQ. DIESEL	: $E = 0.20 \times Po \cdot HP \cdot x \L	\$	24.64	: 5 : \$	1.23
EQ. GASOLINA	: $E = 0.24 \times Po \cdot HP \cdot x \L	\$	0.00	: 5 : \$	0.00
EQ. ELEC.	: $E = 0.653 \times Po \cdot HP \cdot x \KW	\$	0.00	: 5 : \$	0.00
LUBRICANTES : $L = a \times Pc$					
EQ. GASOLINA	: $Cc / Tc + .0075 \times HP \cdot Op \times \L	\$	0.00	: 5 : \$	0.00
EQ. DIESEL	: $Cc / Tc + .0096 \times HP \cdot Op \times \L	\$	0.45	: 5 : \$	0.02
LLANTAS	: $VLL / HVLL$	\$	2.67	: 5 : \$	0.13
TOTAL DE CARGOS POR CONSUMO		\$	27.75		\$ 1.39

----- Cargos por Operacion -----

OPERACION :				%	
OPERACION = Δ Salarios/Horas Trabajo	\$	19.64	:	100	: \$ 19.64

		ACTIVA	INACTIVA
COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA	\$	83.76	\$ 33.51

----- Formato Para el Analisis del Costo Directo : Hora-Maquina -----

MAQUINARIA : CAMION PIPA 8000 LTS MARCA: FAMSA
 MODELO: 1993 CAP. TANQUE: 140 CAP. CARTER : 7 H.P.: 140

----- Datos Generales -----

VALOR DE ADQUISICION :	166,746.00	VIDA ECONOMICA :	8,400
EQUIPO ADICIONAL :	4,706.00	HORAS POR AEO :	1,400
VALOR INICIAL :	162,040.00	FAC. OPERACION :	0.80
TASA DE INTERES :	0.1400	POT. OPERACION :	0.80
TASA DE SEGUROS :	0.05	FACTOR MANTTO. :	0.80
PRECIO DE GASOLINA :	0.00	PRECIO DIESEL :	1.10
PRECIO KW/HORA :	0.00	PRECIO ACEITE :	7.00
SALARIO OPERADOR :	114.84	SAL. AYUDANTE :	42.29
VIDA ECONOMICA EQ.A :	0	VIDA ECO. LLAN.:	1,800

----- Cargos Fijos -----

DEPRECIACION	: $D = \frac{Va - Vr}{Ve}$	\$	15.43	:	15	:	\$	2.31
INVERSION	: $I = \frac{(Va + Vr)}{(2 \times Ha)} \times i$	\$	9.72	:	100	:	\$	9.72
SEGUROS	: $S = \frac{(Va + Vr)}{(2 \times Ha)} \times s$	\$	3.47	:	100	:	\$	3.47
MANTENIMIENTO	: $M = Q \times d$	\$	12.35	:	0	:	\$	0.00
TOTAL DE CARGOS FIJOS		\$	40.97				\$	15.51

----- Cargos por Consumo -----

COMBUSTIBLE	: $E = g \times Pc$		ACTIVOS	:		:	INACTIVOS	
EQ. DIESEL	: $E = 0.20 \times Po \cdot HP \cdot xSL$	\$	24.64	:	5	:	1.23	
EQ. GASOLINA	: $E = 0.24 \times Po \cdot HP \cdot xSL$	\$	0.00	:	5	:	0.00	
EQ. ELEC.	: $E = 0.653 \times Po \cdot HP \cdot xSKw$	\$	0.00	:	5	:	0.00	
LUBRICANTES : $L = a \times Pc$								
EQ. GASOLINA	: $Cc / Tc + .0075 \times HP \cdot Op \times SL$	\$	0.00	:	5	:	0.00	
EQ. DIESEL	: $Cc / Tc + .0096 \times HP \cdot Op \times SL$	\$	0.45	:	5	:	0.02	
LLANTAS	: $VLL / HVLL$	\$	2.61	:	5	:	0.13	
TOTAL DE CARGOS POR CONSUMO		\$	27.70				\$	1.39

----- Cargos por Operacion -----

OPERACION :				:			
OPERACION = 0 Salarios/Horas Trabajo	\$	19.64	:	100	:	\$	19.64

		ACTIVA		INACTIVA
COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA	\$	88.32	\$	36.54

=====

----- Formato Para el Analisis del Costo Directo : Hora-Maquina -----

MAQUINARIA : MOTOCONFORMADORA MARCA: CATERPILLAR
 MODELO: 120G CAP. TANQUE: 230 CAP. CARTER : 27 H.P.: 125

----- Datos Generales -----

VALOR DE ADQUISICION :	478,351.00	VIDA ECONOMICA :	10,000
EQUIPO ADICIONAL :	0.00	HORAS POR AEO :	2,000
VALOR INICIAL :	478,351.00	FAC. OPERACION :	0.80
TASA DE INTERES :	0.1400	POT. OPERACION :	0.80
TASA DE SEGUROS :	0.05	FACTOR MANTTO. :	0.80
PRECIO DE GASOLINA :	0.00	PRECIO DIESEL :	1.10
PRECIO KW/HORA :	0.00	PRECIO ACEITE :	7.00
SALARIO OPERADOR :	142.91	SAL. AYUDANTE :	60.79
VIDA ECONOMICA EQ.A :	0	VIDA ECO. LLAN. :	2

----- Cargos Fijos -----

DEPRECIACION : $D=Va-Vr/Ve$	\$	38.27	:	15	:	\$	5.74
INVERSION : $I=(Va+Vr)/(2xHa) \times i$	\$	20.09	:	100	:	\$	20.09
SEGUROS : $S=(Va+Vr)/(2xHa) \times s$	\$	7.18	:	100	:	\$	7.18
MANTENIMIENTO : $M=Q \times D$	\$	30.61	:	0	:	\$	0.00
TOTAL DE CARGOS FIJOS	\$	96.15				\$	33.01

----- Cargos por Consumo -----

COMBUSTIBLE : $E = g \times Pc$		ACTIVOS	%	INACTIVOS
EQ. DIESEL : $E = 0.20 \times Po.HP. \times \L	\$	22.00	: 5	: \$ 1.10
EQ. GASOLINA : $E = 0.24 \times Po.HP. \times \L	\$	0.00	: 5	: \$ 0.00
EQ. ELEC. : $E = 0.653 \times Po.HP. \times \Kw	\$	0.00	: 5	: \$ 0.00
LUBRICANTES : $L = a \times Pc$				
EQ. GASOLINA : $Cc/Tc + .0075 \times HP.Op \times \L	\$	0.00	: 5	: \$ 0.00
EQ. DIESEL : $Cc/Tc + .0096 \times HP.Op \times \L	\$	0.63	: 5	: \$ 0.03
LLANTAS : $VLL/HVLL$	\$	0.00	: 5	: \$ 0.00
TOTAL DE CARGOS POR CONSUMO	\$	22.63		\$ 1.13

----- Cargos por Operacion -----

OPERACION :		%	
OPERACION = 6 Salarios/Horas Trabajo	\$	25.46	: 100 : \$ 25.46

	ACTIVA	INACTIVA
COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA	\$ 144.24	\$ 59.60

----- Formato Para el Analisis del Costo Directo : Hora-Maquina -----

MAQUINARIA : COMPACTADOR MARCA: CATERPILLAR 20 TON.
 MODELO: 816B CAP. TANQUE: 250 CAP. CARTER : 29 H.P.: 210

----- Datos Generales -----

VALOR DE ADQUISICION :	932,938.05	VIDA ECONOMICA :	11,200
EQUIPO ADICIONAL :	0.00	HORAS POR AEO :	1,400
VALOR INICIAL :	932,938.05	FAC. OPERACION :	0.80
TASA DE INTERES :	0.1400	POT. OPERACION :	0.80
TASA DE SEGUROS :	0.05	FACTOR MANTTO. :	0.80
PRECIO DE GASOLINA :	0.00	PRECIO DIESEL :	1.10
PRECIO KW/HORA :	0.00	PRECIO ACEITE :	7.00
SALARIO OPERADOR :	142.91	SAL. AYUDANTE :	60.79
VIDA ECONOMICA EQ.A :	0	VIDA ECO. LLAN. :	1

----- Cargos Fijos -----

DEPRECIACION : $D=Va-Vr/Va$	\$	66.64	:	15	:	\$	10.00
INVERSION : $I=(Va+Vr)/(2xHa) \times i$	\$	55.98	:	100	:	\$	55.98
SEGUROS : $S=(Va+Vr)/(2xHa) \times s$	\$	19.99	:	100	:	\$	19.99
MANTENIMIENTO : $M=QxD$	\$	53.31	:	0	:	\$	0.00
TOTAL DE CARGOS FIJOS	\$	195.92				\$	85.96

----- Cargos por Consumo -----

COMBUSTIBLE : $E = g \times Pc$		ACTIVOS	%	INACTIVOS
EQ. DIESEL : $E = 0.20xPo.HP.x\$L$	\$	36.96	: 5 : \$	1.85
EQ. GASOLINA : $E = 0.24xPo.HP.x\$L$	\$	0.00	: 5 : \$	0.00
EQ. ELEC. : $E = 0.653xPo.HP.x\$Kw$	\$	0.00	: 5 : \$	0.00
LUBRICANTES : $L = a \times Pc$				
EQ. GASOLINA : $Cc/Tc+.0075xHP.Op \times \L	\$	0.00	: 5 : \$	0.00
EQ. DIESEL : $Cc/Tc+.0096xHP.Op \times \L	\$	0.87	: 5 : \$	0.04
LLANTAS : $VLL/HVLL$	\$	0.00	: 5 : \$	0.00
TOTAL DE CARGOS POR CONSUMO	\$	37.83		\$ 1.89

----- Cargos por Operacion -----

OPERACION :			%	
OPERACION = 0 Salarios/Horas Trabajo	\$	25.46	: 100 : \$	25.46

	ACTIVA	INACTIVA
COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA	\$ 259.21	\$ 113.32

----- Formato Para el Analisis del Costo Directo : Hora-Maquina -----

MAQUINARIA : COMPRESOR MARCA: INGERSOLL RAND
 MODELO: T 600 CAP. TANQUE: 250 CAP. CARTER : 29 H.P.: 210

----- Datos Generales -----

VALOR DE ADQUISICION :	245,549.96	VIDA ECONOMICA :	8,000
EQUIPO ADICIONAL :	0.00	HORAS POR AÑO :	1,600
VALOR INICIAL :	245,549.96	FAC. OPERACION :	0.80
TASA DE INTERES :	0.1400	POT. OPERACION :	0.80
TASA DE SEGUROS :	0.05	FACTOR MANTTO. :	0.80
PRECIO DE GASOLINA :	0.00	PRECIO DIESEL :	1.10
PRECIO KW/HORA :	0.00	PRECIO ACEITE :	7.00
SALARIO OPERADOR :	114.84	SAL. AYUDANTE :	42.29
VIDA ECONOMICA EQ.A :	0	VIDA ECO. LLAN. :	1

----- Cargos Fijos -----

DEPRECIACION : $D = Va - Vr / Ve$	\$	24.55	:	15	:	\$	3.68
INVERSION : $I = (Va + Vr) / (2 \times Ha) \times i$	\$	12.89	:	100	:	\$	12.89
SEGUROS : $S = (Va + Vr) / (2 \times Ha) \times s$	\$	4.60	:	100	:	\$	4.60
MANTENIMIENTO : $M = Q \times d$	\$	19.64	:	0	:	\$	0.00
TOTAL DE CARGOS FIJOS		\$	61.69		\$		21.18

----- Cargos por Consumo -----

COMBUSTIBLE	:	$E = g \times Pc$		ACTIVOS	%	INACTIVOS
EQ. DIESEL	:	$E = 0.20 \times Po.HP.x\$L$	\$	36.96	: 5 : \$	1.85
EQ. GASOLINA	:	$E = 0.24 \times Po.HP.x\$L$	\$	0.00	: 5 : \$	0.00
EQ. ELEC.	:	$E = 0.653 \times Po.HP.x\Kw	\$	0.00	: 5 : \$	0.00
LUBRICANTES	:	$L = a \times Pc$				
EQ. GASOLINA	:	$Cc / Tc + .0075 \times HP.Op \times \L	\$	0.00	: 5 : \$	0.00
EQ. DIESEL	:	$Cc / Tc + .0096 \times HP.Op \times \L	\$	0.87	: 5 : \$	0.04
LLANTAS	:	$VLL / HVLL$	\$	0.00	: 5 : \$	0.00
TOTAL DE CARGOS POR CONSUMO		\$	37.83		\$	1.89

----- Cargos por Operacion -----

OPERACION :			\$	
OPERACION = δ Salarios/Horas Trabajo	\$	19.64	:	100 : \$ 19.64

		ACTIVA		INACTIVA
COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA	\$	119.17	\$	42.71

----- Formato Para el Analisis del Costo Directo : Hora-Maquina -----

MAQUINARIA : PERFORADORA MARCA: INGERSOLL RAND
 MODELO: J-40 CAP. TANQUE: 110 CAP. CARTER : 12 H.P.: 40

----- Datos Generales -----

VALOR DE ADQUISICION :	7,323.00	VIDA ECONOMICA :	7,000
EQUIPO ADICIONAL :	0.00	HORAS POR AÑO :	1,400
VALOR INICIAL :	7,323.00	FAC. OPERACION :	0.80
TASA DE INTERES :	0.1400	POT. OPERACION :	0.80
TASA DE SEGUROS :	0.05	FACTOR MANTO. :	0.80
PRECIO DE GASOLINA :	0.00	PRECIO DIESEL :	1.10
PRECIO KW/HORA :	0.00	PRECIO ACEITE :	7.00
SALARIO OPERADOR :	114.84	SAL. AYUDANTE :	42.27
VIDA ECONOMICA EQ.A :	0	VIDA ECO. LLAN. :	1

----- Cargos Fijos -----

DEPRECIACION :	$D=Va-Vr/Ve$	\$	0.84	:	15	:	\$	0.13
INVERSION :	$I=(Va+Vr)/(2xHa)x i$	\$	0.44	:	100	:	\$	0.44
SEGUROS :	$S=(Va+Vr)/(2xHa)x s$	\$	0.16	:	100	:	\$	0.16
MANTENIMIENTO :	$M=QxD$	\$	0.67	:	0	:	\$	0.00
TOTAL DE CARGOS FIJOS		\$	2.10				\$	0.72

----- Cargos por Consumo -----

COMBUSTIBLE	: $E = g \times Pc$		ACTIVOS	%	INACTIVOS
EQ. DIESEL	: $E = 0.20xPo.HP.x\$L$	\$	7.04	: 5	: \$ 0.35
EQ. GASOLINA	: $E = 0.24xPo.HP.x\$L$	\$	0.00	: 5	: \$ 0.00
EQ. ELEC.	: $E = 0.653xPo.HP.x\$Kw$	\$	0.00	: 5	: \$ 0.00
LUBRICANTES : $L = a \times Pc$					
EQ. GASOLINA	: $Cc/Tc+.0075xHP.Op \times \L	\$	0.00	: 5	: \$ 0.00
EQ. DIESEL	: $Cc/Tc+.0096xHP.Op \times \L	\$	0.24	: 5	: \$ 0.01
LLANTAS	: $VLL/HVLL$	\$	0.00	: 5	: \$ 0.00
TOTAL DE CARGOS POR CONSUMO		\$	7.28		\$ 0.36

----- Cargos por Operacion -----

OPERACION :			%	
OPERACION = ϕ Salarios/Horas Trabajo	\$	19.64	: 100	: \$ 19.64

		ACTIVA		INACTIVA
COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA	\$	29.02	\$	20.72

----- Formato Para el Analisis del Costo Directo : Hora-Maquina -----

MAQUINARIA : BOMBA AUTOCEBANTE MARCA: MECSA C.M.C.
 MODELO: 12M K-91 CAP. TANQUE: 10 CAP. CARTER : 2 H.P.: 8

----- Datos Generales -----

VALOR DE ADQUISICION :	4,030.00	VIDA ECONOMICA :	4,800
EQUIPO ADICIONAL :	0.00	HORAS POR AÑO :	1,200
VALOR INICIAL :	4,030.00	FAC. OPERACION :	0.80
TASA DE INTERES :	0.1400	POT. OPERACION :	0.80
TASA DE SEGUROS :	0.05	FACTOR MANTTO. :	0.80
PRECIO DE GASOLINA :	1.20	PRECIO DIESEL :	0.00
PRECIO KW/HORA :	0.00	PRECIO ACEITE :	7.00
SALARIO OPERADOR :	64.83	SAL. AYUDANTE :	0.00
VIDA ECONOMICA EQ.A :	0	VIDA ECO. LLAN.:	1

----- Cargos Fijos -----

DEPRECIACION : $D = \frac{Va - Vr}{Ve}$	\$	0.67	:	15	:	\$	0.10
INVERSION : $I = \frac{(Va + Vr)}{(2 \times Ha)} \times i$	\$	0.28	:	100	:	\$	0.28
SEGUROS : $S = \frac{(Va + Vr)}{(2 \times Ha)} \times s$	\$	0.10	:	100	:	\$	0.10
MANTENIMIENTO : $M = Q \times D$	\$	0.54	:	0	:	\$	0.00
TOTAL DE CARGOS FIJOS	\$	1.59				\$	0.48

----- Cargos por Consumo -----

COMBUSTIBLE	$E = g \times Pc$		ACTIVOS	%		INACTIVOS
EQ. DIESEL	$E = 0.20 \times Po.HP. \times \L	\$	0.00	:	5	: \$ 0.00
EQ. GASOLINA	$E = 0.24 \times Po.HP. \times \L	\$	1.84	:	5	: \$ 0.09
EQ. ELEC.	$E = 0.653 \times Po.HP. \times \Kw	\$	0.00	:	5	: \$ 0.00
LUBRICANTES	$L = a \times Pc$					
EQ. GASOLINA	$Cc/Tc + .0075 \times HP.Op \times \L	\$	0.05	:	5	: \$ 0.00
EQ. DIESEL	$Cc/Tc + .0096 \times HP.Op \times \L	\$	0.00	:	5	: \$ 0.00
LLANTAS	$VLL/HVLL$	\$	0.00	:	5	: \$ 0.00
TOTAL DE CARGOS POR CONSUMO		\$	1.89			\$ 0.09

----- Cargos por Operacion -----

OPERACION :				%	
OPERACION = δ Salarios/Horas Trabajo	\$	8.10	:	100	: \$ 8.10

	ACTIVA		INACTIVA
COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA	\$ 11.59	\$	8.68

CAPITULO IX

IX.-COSTO DE PRODUCCION DE AGREGADOS PETREOS: GRAVA, ARENA, BALASTO, BASE Y SUBBASE.

PLANTAS DE TRITURACION

Son el resultado de la combinación de diferentes elementos o equipos que sirven para triturar y cribar, a tamaños convenientes fragmentos de roca. Las quebradoras, los medios de alimentación de transporte y de clasificación que la integran, están diseñados para recibir los fragmentos de roca en los tamaños, volúmenes y tiempos, según la exigencia de la operación, para entregar un producto o productos deseados, de acuerdo con la demanda.

En la actualidad no existe una máquina que de un solo paso convierta el material suministrado en agregados útiles por lo que es necesario efectuar la transformación a través de un sistema de varias etapas de acuerdo al resultado que dese obtener.

Los elementos principales de una planta de trituración son:

- Unidad de alimentación
- Unidad primaria de alimentación
- Unidad Intermedia o Secundaria
- Unidad para la producción de finos
- Medios de transporte y descarga

Asimismo, las de una planta de cribado:

- Unidad de alimentación
- Unidad de cribado
- Unidad de almacenamiento y descarga

Las máquinas trituradoras que, principalmente se utilizan en Obras Civiles emplean métodos mecánicos de reducción como son por impacto, por desgaste, por corte o compresión.

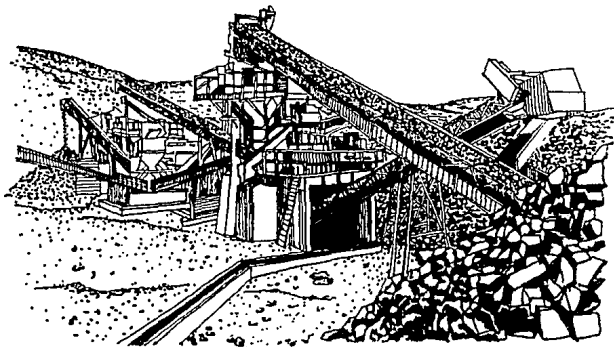


Fig.IX.1
Planta de trituración

EQUIPOS DE TRITURACION

- 1) Trituradoras primarias (Quijadas giratorias).
- 2) Trituradoras Secundarias. (de Cono, de rodillos e impacto).
- 3) Trituradoras Terciarias (de Cono de rodillo, de martillo).
- 4) Molinos (de Barras y bolas).

EQUIPO COMPLEMENTARIO

- 5) Cribas vibratorias (Horizontales e inclinadas).
- 6) Alimentadores (De delantal, de plato o reciprocantes, vibratorios).
- 7) Gusanos lavadores.
- 8) Bandas transportadoras
- 9) Elevadores de cangilones
- 10) Apiladoras.

PROBLEMA DE TRITURACION

Debemos producir 338 toneladas cortas por hora y se tiene un banco de piedra de tamaño máximo igual a 34" obtenido de explotación por explosivos y se debe obtener material de 0 a 1 1/2" sin una curva granulométrica especial, aunque se descan conocer los porcentajes entre 1 1/2" - 3/4" y 3/4"-0". De acuerdo a las condiciones geológicas del banco.

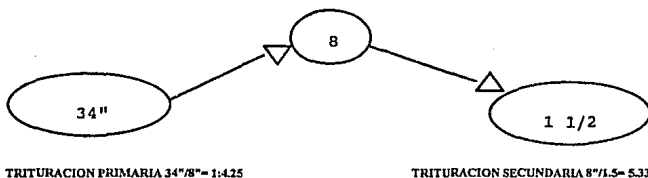
SOLUCION

Los expertos en explosivos nos proporcionan en la voladura la curva granulométrica del material que se obtiene dependiendo del tipo de roca y que será el que se introduzca al proceso de trituración. Este es importante ya que desde su origen el material tendrá algún porcentaje de los diámetros requeridos sin necesidad de trituración, que pueden obtenerse sólo por cribado.

A).- Pensar y definir el esquema de reducciones, de acuerdo a los que son capaces de hacer las máquinas. Este paso puede consistir de múltiples combinaciones, lo cual hace que un problema de trituración pueda tener diversas soluciones que dependerán de 3 factores:

- El poder utilizar máquinas disponibles en tamaños de admisión y abertura de salida adecuados al problema.
- Analizar el menor costo tanto de operación como de inversión.
- Analizar el costo de oportunidad, que dependerá del equipo que se tenga disponible, ya que no siempre será posible en la práctica para cada problema contar con el equipo óptimo.

Analizando la primera alternativa



Como se puede observar la reducción del material de efectuarse en un solo paso se tendría que reducir 23 veces de tamaño, lo cual es conveniente, si se utiliza trituradora de quijadas cuya reducción máxima recomendada es de 8:1 ya que se obtendría una muy baja producción; recomendándose realizar una trituración intermedia, con el fin de buscar el balance entre cada etapa. Cabe hacer notar que este problema no requiere de una trituración terciaria.

B).- Elaboración de la hoja de balance granulométrico.

De acuerdo a las condiciones geológicas del banco, los expertos en explosivos nos proporcionan en la voladura, la curva granulométrica del material que se obtiene, dependiendo del tipo de roca, y que será el que se introduzca al proceso de trituración; y es de esta curva de donde se obtienen los porcentajes de alimentación que se le darán a la planta.

Supongamos que el siguiente cuadro es el balance granulométrico del banco

TAMAÑO DE LOS MATERIALES	ALIMENTACION A LA PLANTA.	
	%	TON.
34" - 8"	85	287
8" - 1 1/2"	7	24*
1 1/2" - 3/4"	5	17*
3/4" - 0"	3	10*
SUMA	100	338

* Este material no debe pasar por la trituración primaria que reduce hasta 8" hacia abajo para no aumentar su capacidad de trituración, sino sacarlo mediante una criba y por una banda mandarlo directamente a la secundaria.

Luego entonces, la trituración primaria deberá tener capacidad de $388 - 51 = 287$ TON./hora.

Los materiales comprendidos entre 1 1/2" y 0" representan un porcentaje muy pequeño (27 TON) con respecto al volumen total (338 TON), por lo que no es conveniente modificar el sistema, añadiendo una criba y su banda transportadora, sino sacarlas directamente de depósito final.

C).- Selección de la trituradora primaria.

Variables: Tamaño mínimo de admisión 34"

Producción media: 287 Ton./hora.

Teniendo una abertura de 5" obtenemos tamaños de material de 8" según gráfica (Ver gráfica de análisis granulométrico del producto de quebradoras de quijadas).

Alternativas de tabla de producción No. 1

Analizando el tamaño y la capacidad de las quebradoras de quijada determinaremos el que mejor se apegue a nuestro problema.

Teniendo una abertura de 5"	Tamaño Máquina	Producción media
Alternativa 1	30 x 42	$(190 + 285) / 2 = 237.5$ Ton/Hr.
Alternativa 2	36x46	$(240 + 360) / 2 = 300$ Ton./Hr.

Observando A - 1 este tamaño de máquina no es el indicado y que el tamaño de nuestro material es de 34" el cual no cabría en la quebradora ($30" < 34"$), además de que no está dando producción deseada de 287 Ton./h.

Observando A - 2 se considera como la mejor alternativa debido a que cumple con el tamaño ($34" < 36"$) y la producción deseada.

En este problema, dadas las condiciones de reducir de 34" a 8" 287 Ton./hora, solo existe una solución, la máquina de 36 x 46 abierta a 5".

D).- Dadas las curvas granulométricas del fabricante, llenar la hoja de balance granulométrico.

TAMAÑO DE MATERIALES	BANCO ALIMENTACION A LA PLANTA		NOTA	TRITURADORA PRIMARIA	
	%	TON		%	TON
34" - 8"	85	287	Este material se va directo a la secundaria sin pasar por la primaria	-	-
8" - 1 1/2"	7	24		80	230
1 1/2" - 3/4"	5	17		12	34
3/4" - 0	3	10		08	23
SUMA	100	338		100	287

Resumen del proceso hasta primaria.

TAMAÑO DE MATERIALES	RESUMEN	
	%	TON.
34" - 8"	-	-
8" - 1 1/2"	75	24+230=254
1 1/2" - 3/4"	15	17+34=51
3/4" - 0	10	10+23=33
SUMA	100	338

NOTA: El resultado de cada resumen debe ser igual al volumen total = 338 Ton./hr.

E).- Selección de la trituradora secundaria.

Variable: Tamaño mínimo de admisión 8"

Abertura 1" para que nos dé material de 1 1/2".

Según las gráficas granulométricas de producción. Producción media = 254 Ton./hr. (Puesto que 51 + 33 Ton./hr obtenidas en la primaria en tamaños de 1 1/2" a 0" se eliminan mediante una criba y sólo debe reducirse de tamaño entre 8" y 1 1/2").

ALTERNATIVAS DE LA TABLA DE PRODUCCION. (Tabla No. IX.1)		
ABERTURA 1"	MAQUINA	PRODUCCION
Alternativa 1	498s	170 Ton./Hr. 254
Alternativa 2	66st	275 Ton./Hr. 254

Se debe usar la 66 st por adecuarse a la producción requerida.

TAMAÑO DE LOS MATERIALES	ALIMENTACION A LA PLANTA			TRITURACION PRIMARIA 36/48 A 5"		RESUMEN ALIMENTACION PRIMARIA		TRITURACION SECUNDARIA 60s A 1"		RESUMEN DE ALIMENTACION PRIMARIA- SECUNDARIA		TRITURACION TERCIARIA		RESUMEN FINAL	
	PULGADAS	%	TON	%	TON	%	TON	%	TON	%	TON	%	TON	%	TON
34 - 8	85	287	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8 - 1 1/2	7	24	80	230	75	254	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1 1/2 - 3/4	5	17	12	34	15	51	58	147	-	-	-	-	-	50	198
3/4 - 0	3	10	8	23	10	33	42	107	-	-	-	-	-	41	140
SUMA	100	338	100	287	100	338	100	254	-	-	-	-	-	100	338

TABLA IX.1
Hoja de balance granulométrico (voladura banco)

F).- Dadas las curvas granulométricas del fabricante, llenar la hoja de balance granulométrica.

TAMAÑO DE MATERIALES	TRITURADORA PRIMARIA	RESUMEN BANCO+PRIMARIA		TRITURADORA SECUNDARIA	
		%	TON	%	TON
34" - 8"	Idem datos anteriores	-	-	-	-
8" - 1 1/2"		80	254	-	-
1 1/2" - 3/4"		12	51	58	147
3/4" - 0		8	33	42	107
SUMA		100	338	100	254

Finalizar el balance granulométrico. El cuadro completo se muestra a continuación.

TAMAÑO DE MATERIALES	RESUMEN FINAL	
	%	TON.
34" - 8"	-	-
8" - 1 1/2"	-	-
1 1/2" - 3/4"	59	198
3/4" - 0	41	140
SUMA	100	338

$$\text{AREA} = \frac{\text{ALIMENTACION MENOS SOBRETAMAÑO (Pies cuadrados)}}{A \times B \times C \times D \times E \times F}$$

$$\text{Alimentación menos sobretamaño} = 592 - 254 = 338$$

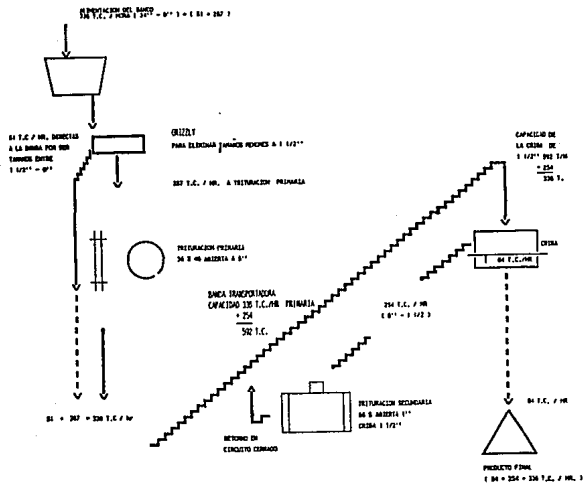


Fig: IX. 2.

Diagrama de flujo de proceso de trituración

FACTOR A Capacidad específica en toneladas cortas por hora que pasan a través de un pic cuadrado de malla.

(1 1/2" con piedra triturada) = 2.68

FACTOR B Función de sobretamaño.

$$254/592 = 0.43$$

$$0.94$$

FACTOR C Eficiencia deseada.

$$94 \% \text{ _____ } 1.00$$

FACTOR D Cantidad en la alimentación menor de la mitad de la malla de cribado.

Malla de cribado _____ 1 1/2"

$$1/2 = 3/4"$$

Cantidad 1 1/2" _____ 3/4" _____ 51 TON.

Cantidad 3/4" _____ 0" _____ 33 TON.

$$33/51 = 0.65 \text{ Por lo tanto } D = 1.60$$

FACTOR E Cribado por vía humedad _____ 1.10

FACTOR F Piso superior _____ 1.00

$$Ar = \frac{338}{2.68 \times 0.94 \times 1.00 \times 1.60 \times 1.10 \times 1.00} = \frac{338}{4.43}$$

Area = 76.30 pies cuadrados

Corresponde a una criba telsmith 5' x 16'

Como se puede observar en la tabla IX.2. se obtuvieron los siguientes porcentajes de material.

1 1/2" - 3/4" 59 %
 3/4" - 0" 41 %. Cumpliendo de esta manera con lo establecido en nuestro problema.

NOTA: Los factores se obtienen de las tablas derivadas de las especificaciones de la capacidad de las cribas vibratorias.

TAMAÑO DE LA TRITURADORA Y CABLE	TIPO DE TAZON	ABERTURA DE ADMISION		ABERTURA DE DESCARGA MINIMA RECOMENDADA	FACTORES												
		LADO ABIERTO 7"	LADO CERRADO 7"		1/4"	3/8"	1/2"	5/8"	3/4"	7/8"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"		
24 S (2 PIES) JACHT.	GRUESO, MEDIANO	3 - 1/4"	2 - 3/4"	3/1"	17	22	27	32	37	42	47	53					
245 S (2 PIES) JAK.	GRUESO	2 - 1/2"	1 - 3/8"	1/4"			27	32	37	42	47	53					
36 S (3 PIES) YAUD	EXTRA-GRUESO, GRUESO, MEDIANO	7 - 1/8" 5" 4 - 1/2"	6 - 1/4" 4" 3 - 3/4"	3/4" 1/2" 3/4"		36	41	50	71	77	83	89	105	110			
367 S (3 PIES) YAM	GRUESO	7 - 3/4"	6 - 3/4"	3/4"					71	77	83	89	105	110			
48 S (4 PIES) YAUPEN	EXTRA-GRUESO, GRUESO, MEDIANO	8 - 1/2" 7 - 1/2" 6 - 7/8"	7 - 1/2" 6 - 1/2" 4 - 3/4"	3/4" 3/4" 1/2"			85	110	135	155	170	185	200	215	230		
498 S (4 PIES) YALU	GRUESO	10"	9"	1"							170	185	200	215	230		
60 S (5 - 1/2" PIES) YARN	GRUESO, MEDIANO	11" 9"	10" 8"	1" 3/4"					200	235	275	320	365	410	455		
6014 S (5 - 1/2" PIES) YAP	GRUESO	15"	14"	1 - 1/2"									365	410	455		

TABLA IX.2.
Trituradoras secundarias tipo "S"

SELECCION DE LA PLANTA DE TRITURACION

Puesto que tenemos considerada una producción necesaria de concreto de 28 m³/hora y se requiere aproximadamente 2 ton. de agregados por m³; la producción de la planta de trituración deberá ser igual a :

$$28 \text{ m}^3/\text{hora} \times 2 \text{ ton./m}^3 = 56 \text{ ton./hora.}$$

Para un concreto de $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ se pide la siguiente granulometría :

MALLA DE:	AGREGADOS NATURALES	MATERIALES TRITURADOS
	% RETENIDO	% RETENIDO
3"	1	210
2"	2	218
1-1/2"	3	526
1"	44	34
3/4"	58	44
3/8"	64	54
No. 4	6	963
No. 30	9	590
No. 100	10	100

El material en greña del río de donde se va a obtener tiene la siguiente granulometría.

MATERIAL COMPREDIDO	PORCENTAJE	
	INDIVIDUAL	ACUMULADO
ENTRE :		
8" y 3"	9.3	9.3
3" y 1-1/2"	17.4	26.7
1-1/2" y 3/4"	21.6	48.3
3/4" y 3/8"	13.6	61.9
Area menos de 3/8"		

De un estudio entre ambas condiciones se obtuvo una planta que esta compuesta basicamente por una trituradora primaria de quijadas 15×24 misma que es manejada por un operador y un ayudante tiene un costo horario de N\$135.00

EQUIPO CONSIDERADO

Draga de arrastre de 2-1/2 yd ³	N\$	106.33/hra.
Cargador frontal de 1.4 m ³	N\$	162.28/hra
Planta de trituración equipada con cribas y lavado.	N\$	262.00/hra.
Camión volteo 7 m ³ operando	N\$	83.76/hra.
Camión volteo en reserva	N\$	33.51/hra.

ANALISIS DEL CONCEPTO

AGREGADOS PARA EL CONCRETO.

La extracción del material en gréña del lecho del río se hará con una draga de 2-1/2 yd³ de capacidad, cuyo rendimiento optimo con giro de 90 grados, 100 % de corte optimo excavando material constituido por arena y grava mezcladas que dan un factor de llenado de cucharón de 0.9 es de:

$$295 \text{ yd}^3/\text{h} \times 0.90 \times 0.765 = 203 \text{ m}^3/\text{hora (medido en banco)}$$

Como el material se encuentra saturado de agua, el rendimiento se reduce en proporción inversa a los pesos volumétricos del material seco y húmedo y suponiendo además una eficiencia de 75 % el rendimiento real será :

$$0.75 \times 203 \text{ M}^3/\text{Hr} \times \frac{1554 \text{ Kg/M}^3}{1900 \text{ Kg/M}^3} = 123.4 \text{ M}^3/\text{Hr (MEDIDO EN BANCO)}$$

Cargo por extracción con draga :

$$\frac{106.33}{123.46} = \text{N\$ } 0.86 \text{ M}^3$$

Acarreo a un kilometro de descarga :

Capacidad de los camiones :

$$6 \text{ m}^3 \times 1.9 = 11.4 \text{ ton.}$$

Capacidad por peso = 10 ton. = 10/1.9 = 5.26 m³ (limitación por peso)

Ciclo de camiones :

$$\text{CARGA} \frac{5.26 \text{ M}^3 \times 60 \text{ MIN/HORA}}{124 \text{ M}^3/\text{HORA}} = 2.56 \text{ MIN.}$$

Ida a 15 km/h, ya considerada como velocidad media con coeficiente de eficiencia.

$$\frac{1 \text{ km} \times 60 \text{ MIN/H}}{15 \text{ KM/H}} = 4.00 \text{ MIN}$$

Regreso a 30 km/h (Idem)

$$\frac{1 \text{ km} \times 60 \text{ MIN/H}}{30 \text{ KM/H}} = 2.00 \text{ MIN}$$

Viraje y descarga	=	1.00 min.
Acomodo en la carga	=	0.50 min.
SUMA	=	10.04 min.

No. de camiones para balancear :

$$\frac{10.04}{2.54} = 3.95 \text{ (EQUIVALENTE A 4 CAMIONES)}$$

Costo de los camiones.

4 camiones operando	x	N\$ 88.76	=	N\$ 355.04/hra.
1 camión en reserva	x	N\$ 33.51	=	N\$ 33.51/hra.
SUMA				N\$ 388.55/hra.

Cargo por acarreo a un kilometraje y descarga :

$$\frac{\text{N\$ } 388.55}{123.46 \text{ M}^3/\text{Hr.}} = 3.14 \text{ M}^3$$

Cargo unitario por extracción, carga y acarreo a un kilometraje

$$0.86 + 3.14 = \text{N\$ } 4.00/\text{m}^3$$

Como un metro cubico de material seco tiene un peso volumétrico de 1.54 ton/m³, y un metro cubico de concreto, requiere de 2 toneladas, el cargo por este concepto por metro cubico de concreto será igual a :

$$\frac{\text{N\$ } 4.00/\text{M}^3 \times 2 \text{ TON}/\text{M}^3}{1.54 \text{ TON}/\text{M}^3} = \text{N\$ } 5.19 \text{ M}^3/\text{CONCRETO}$$

Trituración, lavado y clasificación :

El rendimiento de la planta es de 56 ton/hora, por lo tanto con las mismas consideraciones anteriores :

$$\frac{\text{N}\$262.00 \text{ /HR.} \times 2 \text{ TON/M}^3}{56 \text{ TON/HORA}} = \text{N}\$ 9.35 \text{ M}^3/\text{CONCRETO}$$

Desperdicio en la trituración (5 %) = N\$ 0.46 m³/concreto

Se debe tener un cargador de 1.34 m³ permanentemente para cargarla :

$$\frac{\text{N}\$ 162.28 \text{ /HR.} \times 2 \text{ TON/M}^3}{56 \text{ TON/HORA}} = \text{N}\$ 5.79 \text{ M}^3/\text{CONCRETO}$$

Acarreo a planta dosificadora ubicada a 10 kilometros. Utilizando un cargador de 1.3 yardas³.

Cargo unitario del concepto

agregados = N\$ 11.84 M³ de concreto en planta trituradora

PROCEDIMIENTO PARA LA PRODUCCION DE GRAVA Y ARENA.

- 1 Extracción de material.
- 1.1 Tractor D-9 caterpillar.
- 1.2 Cargador frontal. 2 1/2 y d3.
- 1.3 Camión volteo 7 m³.
- 1.4 Criba vibratoria. (Planta Trituradora Primaria)
- 1.5 Secundaria y Cribas.
- 1.6 Trituradora 1o.

a) Extracción de material.

Tractor D-9 c/un rendimiento de 122 m³/hr medido en banco.

COSTO HORARIO

$$\frac{\text{N}\$ 472.22 \text{ M}^3}{122 \text{ M}^3/\text{HR}} = \text{N}\$ 3.87/\text{M}^3$$

b) Cargado de material con cargador de 2 1/2 y d3 con producción de 93 m³/hr. Medido suelto.

COSTO HORARIO

$$\frac{\text{N}\$ 207.36 \text{ M}^3}{93 \text{ M}^3/\text{HR}} = \text{N}\$ 2.23/\text{M}^3$$

c) Acarreo local a la planta de trituración localizada a 500 mts. Del banco de préstamo.

CALCULO DEL CICLO.

Se ha determinado que el cargador frontal en la carga. 2.96 min. Tiempo de recorrido del camión en la ida a 30 km/hrs.

$$\frac{60 \text{ MIN/HR} \times 0.50 \text{ KM}}{30 \text{ KM/HR} \times 0.67 \text{ EFICIENCIA}} = 1.49 \text{ MIN.}$$

Tiempo de recorrido del camión en el regreso a 50 km/hr.

$$\frac{60 \text{ MIN/HR} \times 0.50 \text{ KM}}{50 \text{ KM/HR} \times 0.67 \text{ EFICIENCIA}} = 0.89 \text{ MIN.}$$

Tiempo de viraje y acomodos 2 min.

Tiempo total del ciclo 7.34 min.

No. de camiones para abastecer con eficiencia al cargador frontal.

$$N = \frac{7.34}{2.96} = 2.47 = 3 \text{ CAMIONES}$$

El rendimiento de 3 camiones para el mismo que el del cargador, considerando camión de reserva.

Cargo por acarreo será :

3 camiones volteo operando.

$$3 \times \text{N\$ } 83.76/\text{h. efectivas} = 251.28$$

1 camión volteo reserva.

$$1 \times \text{N\$ } 33.55/\text{h. ociosa} = 33.55$$

SUMA 284.83

$$\frac{\text{N\$ } 284.83}{66.31 \text{ M}^3/\text{H}} = \text{N\$ } 4.29 \text{ M}^3$$

d) Trituración de Cribado.

La planta trituradora, incluye diferentes medidas de criba que permite obtener grava desde 1 1/2" hasta arena a un mismo costo.

$$\frac{\text{N\$ } 616.37}{66.31 \text{ M}^3/\text{H}} = \text{N\$ } 9.29 \text{ M}^3$$

Por lo anterior considerando todos los factores que intervienen en la obtención de grava y arena el costo actual del m³ es de :

$$\text{Total} = a + b + c + d =$$

- a = Extracción material
- b = Carga material
- c = Acarreo local a planta
- d = Trituración y cribado

$$3.87 + 2.23 + 4.29 + 9.29 = \text{N\$ } 19.55 \text{ M}^3$$

PROCEDIMIENTO PARA LA PRODUCCION DE BALASTO.

Se requiere explotar un banco de roca utilizando el siguiente equipo:

• PALA FRONTAL de 2 1/2 yd ³ de capacidad.	315.30
• TRACTOR D-9.	474.22
• PERFORADORA NEUMETICA DE MANO.	29.02
• COMPRESOR de 600 P.C.M.	119.17
• PLANTA TRITURADORA	262.00
• CRIBA VIBRATORIA.	66.92
• CAMION FUERA DE CARRETERA.	296.33
• BANDA TRANSPORTADORA.	34.95

1.- Aflojado de roca. Previo a la excavación, la roca deberá ser aflojada por medio de barrenación y empleo de explosivos.

a). La barrenación se realiza por medio de perforadora neumática, la cual funciona a través de un pistón de 2 1/2 pulgadas de diámetro, con un consumo de aire, barrenando en seco de 99 p.c.m.

El consumo real estimando siete pistolas alimentadas por un compresor.

$$99 \text{ p.c.m.} \times 1.05 (\text{uso}) \times 0.72 (\text{diversidad}) \times 1.05 (\text{lugar}) = 78 \text{ p.c.m.}$$

Considerando 7 pistolas. $7 \times 78 = 546 \text{ p.c.m.}$

Por lo tanto un compresor de 600 p.c.m. es suficiente para alimentar 7 pistolas.

b). Rendimiento de barrenación. El trabajo a realizar es en una cantera de riolita compacta y homogénea, superficialmente alterada y fracturada por intemperismo. Se acepta un rendimiento de perforación (barrenación de 4.5 m./hora), perforando con 1 1/4 de pulgada de diámetro.

c). Rendimiento por metro lineal de barrenación. considerando que la excavación se realizara disparando los explosivos con detonador eléctrico con intervalos de milisegundos, para obtener resultados óptimos, de acuerdo con los propósitos esperados.

Ahora bien en la zona de limpia, el espesor variará ampliamente de un sitio a otro, por lo que tentativamente considerando un trabajo de banqueo que en promedio tendrá 2 mts. de profundidad.

Perforación de 1 1/4 pulg. de diam.
 Profundidad media de barrenación 2.40 mts.
 Separación frontal 1.20 mts. (normal).
 Espaciamiento entre barrenos $1.20 \times 1.25 = 1.50$ mts.
 Carga específica de explosivos 0.30 Kg/m³.
 Por lo tanto:

$$\frac{\text{VOLUMEN TRONADO POR BARRENO}}{\text{MTS. BARRENADOS/BARRENO}} = \frac{2.00 \times 1.20 \times 1.50}{2.40 \text{ MTS.}} = 1.5 \text{ M}^3/\text{ML.}$$

Es decir 2.00 M³ por barreno.

d). Consumo de acero integral de barrenación 7/8 de pulg. con cincel de 1 1/4 de pulg. los cambios serán a incrementos de 0.80 m. por lo tanto tendrán los siguientes cambios de acero de barrenación:

$$\frac{2.40/0.80 = 3 \text{ K} = 3+1}{2} = 2$$

Por lo tanto la vida efectiva de acero sería del orden de :

$$\frac{1000 \text{ MTS.}}{2} = 500 \text{ MTS.}$$

e). consumo de brocas, queda incluido en el acero seccional, así como la afilación.

2.- costo directo de barrenación.

Por compresora: compresor 250 p.c.m.

$$\frac{\text{NS\$ } 119.17}{7 \times 4.5 \text{ M/H} \times 1.5 \text{ M}^3/\text{M}} = \text{NS\$ } 2.52/\text{M}^3$$

Por pistola: costo horario pistola

$$\frac{\text{N\$ } 29.02}{4.5 \text{ M/H} \times 1.5 \text{ M}^3/\text{M}} = \text{N\$ } 4.29/\text{M}^3$$

Por acero de barrenación:jgo. barras hasta 2.4m

$$\frac{\text{N\$ } 90.0}{500 \text{ M} \times 1.50 \text{ M}^3/\text{MTO. DE BARRENACION}} = \text{N\$ } 0.12/\text{M}^3$$

Costo directo de barrenación. N\$ 6.93 m3

3.- Costo directo por explosivos, artificiales y accesorios.

Considerando una mezcla de 30% de TOVEX 100-45% Y 70% de SUPERMEXAMON "G" con un consumo de 0.300 Kg./m3.

Cargo por dinamita TOVEX.

$$\text{N\$ } 5.00/\text{Kg.} \times 0.300 \text{ Kg./m}^3 \times 0.30 = \text{N\$}0.45 \text{ m}^3.$$

Cargo por SUPERMEXAMON "G"

$$\text{N\$ } 1.00/\text{Kg.} \times 0.30 \text{ Kg./m}^3 \times 0.70 = \text{N\$ } 0.21 \text{ m}^3$$

Considerando un estopin eléctrico por barreno:

$$\frac{4.00 \text{ Pza.} \times \text{N\$}0.5}{3.00 \text{ M}^3/\text{barreno}} = \text{N\$ } 0.66 \text{ M}^3$$

Accesorios.- estimamos 3.00 mts. de alambre de conexión:

$$\frac{3.00 \text{ M.} \times \text{N\$ } 0.30}{3.00 \text{ M}^3/\text{barreno}} = \text{N\$ } 0.30 \text{ M}^3$$

Alambre de conducción.

$$\frac{3.00 \text{ M.} \times \text{N\$ } 0.65}{3.00 \text{ M}^3/\text{barreno}} = \text{N\$ } 0.65 \text{ M}^3$$

Costo directo por explosivo artificial. N\$ 2.27 m3.

4.-Cargo unitario por carga, poblado y tronado:

una cuadrilla rinde 60.0 m³/hora.

Cuadrilla.	
Poblador	126.80
cargador	110.00
ayd. cargador	<u>47.20</u>
N\$	284.00 jornada

$$\text{CARGO UNITARIO} = \frac{\text{N\$ } 284.00 \text{ JOR.}}{8 \times 60 \text{ M}^3/\text{HRA.}} = \text{N\$ } 0.59 \text{ M}^3$$

Costo directo cargo, poblado y tronado N\$ 0.59 M³

Cargo por extracción de material.

Tractor D-9 con un rendimiento de 122 m³/hora. medido en banco.

Costo horario de N\$ 472.22

$$\frac{472.22}{122} = \text{N\$ } 3.87 \text{ M}^3$$

Retroexcavadora LC-80 poclain, con rendimiento de 200.00 m³/hora.

Costo horario de N\$ 117.15

$$\frac{200.00}{117.15} = \text{N\$ } 1.71 \text{ M}^3$$

Pala frontal caterpillar 235 con rendimiento de 235.80m³/hora.

Costo horario de N\$ 315.30

$$\frac{235.80}{315.30} = \text{N\$ } 0.75 \text{ M}^3$$

Camión fuera de carretera euclid R-35, con rendimiento de 143 Mm³/hora.

Costo horario de N\$ 296.33

$$\frac{143.00}{296.33} = \text{N\$ } 0.48 \text{ M}^3$$

Criba vibratoria, con rendimiento de 66m³/hora.

Costo horario de N\$ 66.52

$$\frac{66.00}{66.52} = \text{N\$ } 0.99 \text{ M}^3$$

Planta trituradora de rodillos, con rendimiento de 66m³/hora.
Costo horario de N\$ 221.33

$$\frac{66.00}{262.00} = \text{N\$ } 0.25 \text{ M}^3$$

Banda transportadora con un rendimiento de 66 m³/Jor

$$\frac{66.00}{34.95} = \text{N\$ } 1.88 \text{ M}^3$$

Derivado de lo anterior, considerando los diversos equipos, maquinaria y procedimientos para la obtención de balasto, el costo de producción es de N\$ 19.72 m³.

PROCEDIMIENTO PARA LA PRODUCCION DE SUB-BASE

Sub-base compactada al 100% de la prueba proctor con materiales obtenidos de banco de préstamo con una distancia de acarreo al centro de gravedad del tramo de 10 Km.

ESPECIFICACIONES. Las sub-bases son capas sucesivas de material seleccionado que se construye sobre la subrasante del camino y cuya función es soportar las cargas rodantes y transmitir las a la terracería.

En el concepto se incluye la extracción del material, trituración si es necesario, acarreo al tramo y acamellonamiento, incorporación de agua, mezclado, tendido y compactado a los niveles con las tolerancias que indique el proyecto.

EQUIPO NECESARIO:	COSTO HORARIO (N\$/M ³):
Tractor D-8 o similar.	321.40
Cargador frontal 2 1/2 Yds 3	215.17
Planta de trituración primaria	262.00
Planta de trituración secundaria	221.33
Criba vibratoria	66.52
Dianchas transportadoras	34.95
Motocombinadora operando	144.74
Motocombinadora inactivo	59.60
Compactador autropulsado liso operando	259.51
Compactador autropulsado liso inactivo	113.32
Carrón de volcos operando	74.43
Carrón de volcos inactivo	29.52
Carrón papa 8000 lbs. operando	68.52
Carrón papa 8000 lbs. inactivo	36.54
Bomba con/finca 2 pulg.	11.59

ANALISIS DEL CONCEPTO

a). Utilizando un tractor D-8 con rendimiento de 122 m³/hra. medido en banco.

$$\frac{\text{N\$ } 321.40}{122 \text{ M}^3/\text{HR}} = \text{N\$ } 2.63 \text{ M}^3$$

Si mediante pruebas de laboratorio se ha medido que un metro cubico en banco se convierte en 0.87 m³. compactado en terraplén, el cargo será:

$$\frac{\text{N\$ } 2.63}{\text{N\$ } 0.87} = \text{N\$ } 3.02 \text{ M}^3$$

b). Carga de material.- utilizando un cargador frontal de 2 1/2 Yds³. con rendimiento de 93 m³/hra. medido suelto.

Mediante prueba de laboratorio se ha determinado que el material en banco se abunda 22%. Debemos calcular la producción medida en el terraplén que será:

$$\frac{93.00}{1.22} = 76.22 \text{ M}^3/\text{HR.}$$

$$76.22 \times 0.87 = 66.31 \text{ M}^3/\text{HR. TERRAPLEN}$$

Luego entonces el cargo por la carga del material medido en terraplén será:

$$\frac{\text{N\$ } 215.17}{66.31 \text{ M}^3/\text{HR.}} = \text{N\$ } 3.24 \text{ M}^3$$

c). Acarreo local a la planta de trituración localizada a 500 mts. del banco de préstamo.

Calculo del ciclo:

Se ha determinado que el cargador frontal tarda en cargar 2.96 min. tiempo de recorrido de camión en la ida a 30 Km./hra.:

$$\frac{60 \text{ MIN}/\text{HR} \times 0.50 \text{ KM}}{30 \text{ KM}/\text{HR} \times 0.67 \text{ EFICIENCIA}} = 1.49 \text{ MIN.}$$

Tiempo de recorrido del camión en el regreso a 50 Km./hra.

$$\frac{60 \text{ MIN/HR} \times 0.50 \text{ KM}}{50 \text{ KM/HR} \times 0.67 \text{ EFICIENCIA}} = 0.89 \text{ MIN.}$$

Tiempo de viraje, descarga y acomodos 2 min.

El total del ciclo es de : 7.34 min.

El numero de camiones necesario para abastecer eficientemente el cargador frontal es:

$$N = \frac{7.34}{2.96} = 2.47 = 3 \text{ CAMIONES}$$

El rendimiento de los tres camiones será el mismo que el del cargador en los análisis de precios unitarios, puede considerarse un 25% ó 30% de camiones en reserva, especialmente cuando se analizan trabajos en el que el abastecimiento de material es actividad crítica. Si hacemos esta consideración el cargo por este acarreo será:

$$\begin{array}{r} 3 \text{ camiones de volteo operando} \quad 3 \times 74.43 = 223.29 \\ 1 \text{ camión de volteo de reserva} \quad 1 \times 29.52 = \underline{29.52} \\ \hline 252.81/\text{hora.} \end{array}$$

$$\frac{252.81}{66.31} = \text{N\$ } 3.81 \text{ M}^3$$

d) Trituración y cribado.

$$\frac{262.00 + 66.52 + 34.95 + 221.33 \text{) HR.}}{66.31 \text{ M}^3/\text{HR.}} = \frac{584.80}{66.31} = \text{N\$ } 8.82 \text{ M}^3$$

e) Carga y acarreo a 10 Km.

Análisis de ciclo 2.96 MIN.

Carga

Tiempo de recorrido en la ida

$$\frac{60 \text{ MIN/HR} \times 10 \text{ KM}}{30 \text{ KM/HR} \times 0.67 \text{ EFICIENCIA}} = 29.85 \text{ MIN.}$$

Tiempo de recorrido de regreso

$$\frac{60 \text{ MIN/HR} \times 0.50 \text{ KM}}{50 \text{ KM/HR} \times 0.67 \text{ EFICIENCIA}} = 17.91 \text{ MIN.}$$

Viaje, descarga y acomodo. 2.00 MIN.
 Tiempo total del ciclo 52.72 MIN.

$$\text{NUMERO DE CAMIONES} = \frac{52.72}{2.96} = 17.80 = 18 \text{ CAMIONES}$$

Costo de la carga y el acarreo

Cargador N\$ 215.17

18 Camiones operando	x	74.43	=	1,339.74
5 Camiones en reserva	x	29.52	=	<u>147.60</u>
				1,702.51

$$\frac{1,702.51}{66.31 \text{ M}^3/\text{HR.}} = \text{N\$ } 25.67 \text{ M}^3$$

f) Incorporación del agua. supongamos que la fuente de abastecimiento se encuentra a 15 Km del centro de gravedad del tramo que se esta construyendo y que se utilizan 150 litros de agua por metro cúbico del material compactado.

Gasto medio de una bomba de 2" 600 lts/min.
 Eficiencia 0.67 Gasto Real 402 lts/min.

Tiempo de llenado de una pipa :

$$\frac{8,000 \text{ LTS.}}{402.00 \text{ LTS./MIN.}} = 19.90 \text{ MIN.}$$

Calculo del ciclo de recorrido de pipa en viaje de ida.

$$\frac{60 \text{ MIN} \times 15 \text{ KM.}}{30 \text{ KM/HR} \times 0.67 \text{ EFICIENCIA}} = 47.77 \text{ MIN.}$$

Recorrido de la pipa en viaje de regreso.

$$\frac{60 \text{ MIN} \times 15 \text{ KM.}}{50 \text{ KM/HR} \times 0.67 \text{ EFICIENCIA}} = 26.86 \text{ MIN.}$$

Descarga de la pipa en tramo (500 lts./min.)

$$\frac{8,000 \text{ LTS.}}{500 \text{ LTS./MIN.}} = 16.00 \text{ MIN.}$$

$$\text{Tiempo total} = 90.63 \text{ min.}$$

Costo del inciso " metro cúbico de agua " o cargo por bomba

$$\frac{\text{N\$ } 12.73 \times 19.90 \text{ MIN.}}{60 \text{ MIN./HR.} \times 8.30 \text{ M}^3} = \text{N\$ } 0.53 \text{ M}^3$$

Cargo por pipa parada

$$\frac{\text{Costo pipa inactiva} \times 19.90}{60 \text{ MIN./HR} \times 8 \text{ M}^3} = \frac{88.32 \times 19.90}{480.00} = \text{N\$ } 3.67 \text{ M}^3$$

Cargo pipa trabajando

$$\frac{\text{Costo pipa inactiva} \times 90.63}{60 \text{ MIN./HR} \times 8 \text{ M}^3} = \frac{36.54 \times 90.63}{480.00} = \text{N\$ } 6.90 \text{ M}^3$$

$$\text{TOTAL} = \text{N\$ } 11.1 \text{ M}^3$$

Cargo al concepto:

$$\text{N\$ } 11.1 \times 0.15 \text{ M}^3 \text{ agua /M}^3 = \text{N\$ } 1.67$$

g) Mezclado y tendido de materiales.

Se utiliza una motoconformadora c/un rendimiento de 93 m³/hr. Medidos en terraplén.

Aquí se observa que : La producción necesaria no es compatible o múltiplo de la producción que obtenemos en el equipo de extracción, carga acarreo y trituración; la motoconformadora esta desbalanceada, entonces el análisis correcto seria considerarla una parte del equipo operando y otra en reserva.

$$\frac{66.31 \text{ M}^3/\text{HR}}{93 \text{ M}^3/\text{HR.}} = 0.71 = 71 \%$$

Cargo por el inciso.

Activa N\$ 144.24 /hr	x	0.71	=	102.41 /hr.
Inactiva N\$ 59.60 /hr	x	0.29	=	<u>17.28 /hr.</u>
			N\$	119.69 Hr

Cargo:

$$\frac{\text{N\$ 119.69 HR}}{66.31 \text{ M}^3/\text{HR.}} = \text{N\$ 1.81 M}^3$$

h) Compactación.

El compactador autopropulsado que se recomienda es de 164 m³/hr luego entonces

$$\frac{66.31 \text{ M}^3/\text{HR}}{164 \text{ M}^3/\text{HR.}} = 0.40 = 40 \%$$

Costo promedio del compactador.

activo precio compactado	N\$ 259.21	x	0.40	=	N\$ 103.69
.inactivo precio compactador	N\$ 113.32	x	0.60	=	<u>N\$ 67.99</u>
			TOTAL	=	N\$ 171.67

Total compactación.

$$\frac{\text{N\$ 171.67 HR}}{66.31 \text{ M}^3/\text{HR.}} = \text{N\$ 2.59 M}^3$$

Considerando los factores que intervienen en la elaboración de base y sub-base, el costo de producción es de N\$ 42.27 M³ es importante establecer que la diferencia en el importe entre la base y la sub-base para cálculo del costo es el espesor de la capa, que es variable entre uno y otro, ya que ambos en su estructuración emplean los mismos materiales.

CAPITULO X

X.- AGREGADOS PETREOS PARA EL CONCRETO.

El concreto hecho con cemento Portland tiene un uso extenso como material de construcción debido a sus diversas características favorables. Una de las más importantes es una alta relación resistencia-costo y múltiples aplicaciones. Otra es que el concreto, mientras está plástico, puede colocarse con facilidad dentro de formas o cimbras a temperaturas normales para producir casi cualquier forma. La cara expuesta puede trabajarse a una superficie dura, lisa o áspera, capaz de soportar el efecto del desgaste por el tráfico de camiones o aviones o puede tratarse para crear los efectos arquitectónicos deseados. Además, el concreto tiene una alta resistencia al fuego y penetración del agua.

Pero el concreto también tiene desventajas. Una importante es que, en ocasiones, el control de calidad no es tan bueno como para otros materiales de construcción, porque con frecuencia el concreto se prepara en el sitio en condiciones en donde no hay un responsable absoluto de su producción. Otra, es que el concreto es un material de relativa fragilidad. Su resistencia a la tensión es pequeña comparada con su resistencia a la compresión. No obstante, esta desventaja puede contrarrestarse reforzando o presforzando el concreto con acero. La combinación de los dos materiales, o sea, el concreto reforzado o armado posee muchas de las mejores propiedades de cada uno. Tiene aplicación en una gran variedad de construcciones, como estructura para edificios, pisos y entrepisos, techos y muros, puentes, pavimentos, pilotes, presas y tanques.

Propiedades importantes del concreto. Las características del concreto de cemento Portland pueden variarse en un grado considerable mediante el control de sus ingredientes. Por tanto, para una estructura específica, resulta económico utilizar un concreto que tenga las características exactas necesarias, aunque esté débil en otras. Por ejemplo, el concreto para una estructura de un edificio debe poseer alta resistencia a la compresión, mientras que el concreto para una cortina de presa debe ser durable y hermético y la resistencia relativa puede ser pequeña.

La trabajabilidad es una propiedad importante para muchas aplicaciones del concreto. Aunque la trabajabilidad resulta difícil de evaluar, en ausencia, es la facilidad con la cual puede mezclarse los ingredientes y la mezcla resultante pueden manejarse, transportarse y colocarse con poca pérdida de la homogeneidad. Una característica de la trabajabilidad que los ingenieros tratan a menudo de medir es la consistencia o fluidez. Para este fin, se suelen hacer pruebas de revenimiento.

El revenimiento de una mezcla dada puede aumentarse añadiendo agua o incrementando el porcentaje de finos (cemento o agregado), incluyendo aire o incorporado un aditivo que reduzca los requerimientos de agua. No obstante, estos cambios afectan otras propiedades del concreto, a veces en forma adversa. Por lo general el revenimiento especificado debe dar la consistencia deseada con la mínima cantidad de agua y cemento.

La durabilidad es otra importante propiedad del concreto. El concreto debe ser capaz de resistir la intemperie, acción de productos químicos y desgaste, a los cuales estará sometido en el servicio. Gran parte de los daños por intemperie sufridos por el concreto pueden atribuirse a los ciclos de congelación y descongelación. La resistencia del concreto a esos daños puede mejorarse aumentando la impermeabilidad, incluyendo de 2 a 6% de aire con un agente inclusor de aire, o aplicando un revestimiento protector a la superficie.

Los agentes químicos, como ácidos inorgánicos, como ácidos acéticos y carbónicos y los sulfatos de calcio, sodio, magnesio, potasio, aluminio y hierro, desintegran o dañan el concreto. La resistencia al desgaste, por lo general, se logra con un concreto denso, de alta resistencia, hecho con agregados duros.

La impermeabilidad es una importante propiedad del concreto que puede mejorarse, con frecuencia, reduciendo la cantidad de agua en la mezcla. El exceso de agua deja vacíos y cavidades después de la evaporación y, si están interconectados, el agua puede penetrar o atravesar el concreto. La inclusión de aire (burbujas diminutas) así como el curado cuidadoso por tiempo prolongado, suelen aumentar la impermeabilidad.

El cambio en volumen es otra característica del concreto que se debe tener en cuenta. La expansión debida a las reacciones químicas entre los ingredientes del concreto puede ocasionar pandeo y la contracción al secarse puede ocasionar grietas.

La expansión debida a la reacción álcali-agregados puede evitarse con agregados que no sean reactivos. Si se deben usar agregados reactivos, la expansión puede reducirse o eliminarse añadiendo a la mezcla materiales puzolánicos, como cenizas ligeras. La expansión debida al calor de hidratación del cemento puede reducirse manteniendo lo más bajo posible el contenido del cemento, y enfriando los agregados, agua y concreto en las formas. La expansión debida a aumentos en la temperatura ambiente puede reducirse con la producción de concreto de menor coeficiente de dilatación, por lo general con agregados gruesos de menor coeficiente de dilatación.

La contracción al secar puede producirse, casi siempre, disminuyendo agua en la mezcla. Ahora bien, con menor cantidad de cemento o con un curado cuidadoso en humedad, también se reduce la contracción. Por el contrario la adición de puzolanas, salvo que permita una reducción de agua, aumenta la contracción al secar.

El cambio autógeno en el volumen, como resultado de la reacción química y del envejecimiento dentro del concreto y, por lo general, la contracción más bien que la expansión, suelen ser un tanto independientes del contenido de agua. Este tipo de contracción puede disminuirse con menos cemento y a veces, con un cemento diferente.

El que un cambio en el volumen dañe el concreto con frecuencia depende de las sujeciones y restricciones presentes. Por ejemplo, una losa de pavimento que no puede deslizarse sobre la rasante mientras se contrae puede agrietarse; un entrepiso de un edificio que no puede contraerse porque está anclado en traveses rígidos, también puede agrietarse. Por tanto, siempre se debe tener en cuenta la eliminación de las restricciones o la resistencia a los esfuerzos que pueden causar.

La resistencia es una propiedad del concreto que, casi siempre, es motivo de preocupación. Por lo general, se determina por la resistencia final de una probeta en compresión; pero, en ocasiones por la capacidad de flexión o de tensión. Como el concreto suele aumentar su resistencia en un periodo largo la resistencia a la compresión a los 28 días es la medida más común de esta propiedad. Se acostumbra determinar la resistencia a la compresión del concreto mediante especímenes en forma de cilindros normales, hechos de acuerdo con las especificaciones ASTM C192 o C31. La C192 está destinada para investigaciones o para seleccionar una mezcla (especímenes de laboratorio). La C31 se aplica para trabajos en ejecución (especímenes de campo). Las pruebas se deben efectuar como se recomienda en ASTM C39. No obstante, en ocasiones es necesario determinar la resistencia del concreto con núcleos sacados por perforación; en ese caso se aplica ASTM C42.

La resistencia a la compresión del concreto a los 28 días puede calcularse a partir de la resistencia a los 7 días con la fórmula:

$$S_{28} = S_7 + 7.92 \sqrt{S_7}$$

en donde S_{28} = resistencia a la compresión a los 28 días, Kg./Cm².

S_7 = resistencia a los 7 días, Kg./Cm².

Para S_{28} , Kg./Cm ² .	S_7 debe ser, por lo menos, Kg./Cm ² .
281	176
246	149
211	123
176	98
141	73

La proporción agua-cemento es la que tiene mayor influencia en la resistencia del concreto; cuanto mayor sea esta proporción, menor será la resistencia.

La resistencia puede aumentarse disminuyendo la proporción agua-cemento, utilizando agregados para mayor resistencia graduando los agregados para producir menor porcentaje de huecos en el concreto, curando el concreto en húmedo después que ha fraguado, añadiendo una puzolana como ceniza ligera, vibrando el concreto en las formas o cimbras y succionando el exceso de agua, del concreto que está en las formas, con una bomba de vacío. La resistencia a corto tiempo o rápida puede aumentarse con cemento Portland tipo III (alta resistencia rápida) y de aditivos aceleradores, como el cloruro de calcio y también con el aumento de la temperatura de curado; pero no se afectarán las resistencias a largo tiempo los aditivos para aumento de la resistencia por lo general producen su función porque reducen los requisitos de agua para la trabajabilidad deseada.

El diagrama de esfuerzos-deformación del concreto de una resistencia específica a la compresión es una línea curva (fig.X.1). El esfuerzo máximo se alcanza cuando hay una deformación de 0.002, después de la cual desciende la curva.

MODULO DE ELASTICIDAD.- Para estimar deformaciones debidas a cargas de corta duración, donde se puede admitir un comportamiento elástico sin errores importantes, es necesario definir un valor del módulo de elasticidad. Del estudio de las curvas esfuerzo deformación mostradas, resulta obvio que el concepto convencional de modulo de elasticidad no tiene sentido en concreto. Por lo tanto, es necesario recurrir a definiciones arbitrarias, basadas en consideraciones empíricas. Así, se puede definir el módulo tangente inicial o tangente a un punto determinado de la curva esfuerzo deformación y el módulo secante entre dos puntos de la misma. Para tomar en cuenta los efectos de carga de larga duración en una forma simple, se utilizan a veces módulos elásticos menores que los correspondientes a las definiciones mencionadas anteriormente.

El módulo secante se usa en ensayos de laboratorio para definir la deformabilidad de un concreto dado. La ASTM recomienda la pendiente con la línea que une los puntos de curva correspondientes a una deformación de 0.005 y al 40% de la carga máxima.

Se ha observado que, después de varios ciclos de carga y descarga a esfuerzos relativamente pequeños, la relación esfuerzo deformación tiende a convertirse a una relación prácticamente lineal. Como es difícil determinar el módulo tangente inicial de una manera reproducible, se recurre a veces a aplicaciones previas de carga y descarga, con objeto de rectificar la curva esfuerzo deformación, y se considera la pendiente de la curva así obtenida como el módulo de elasticidad. El método de elasticidad es función principalmente de la resistencia del concreto y de su peso volumétrico. Se han propuesto varias expresiones para predecir el módulo de elasticidad a partir de estas variables. Por ejemplo, el reglamento ACI presenta la ecuación.

$$E_c = w^{1.5} \quad 15000 \sqrt{f_c'}$$

Donde E_c es el módulo de elasticidad en Kg./Cm².

w es el peso volumétrico del concreto en ton/M³

f_c' es la resistencia del concreto en Kg./Cm².

El reglamento del D.F. propone la ecuación:

$$E_c = 10000 \sqrt{f_c'}$$

Que es aplicable únicamente a concretos fabricados con agregados típicos de la ciudad de México. Estas ecuaciones dan únicamente valores aproximados, porque existen otras variables importantes, como el tipo de agregado. Las diferencias entre los valores reales y los calculados con estas ecuaciones pueden ser muy grandes. Cuando se requieren estimaciones de cierta precisión, conviene determinar el módulo elasticidad del concreto usado en particular.

En algunos análisis elásticos se suelen emplear G , el módulo de elasticidad al esfuerzo cortante, y ν , el coeficiente de Poisson. El primero se toma comúnmente como una fracción del módulo de elasticidad que se usa en compresión, del orden de 0.4. Expresamente, se ha determinado que el segundo varía entre 0.12 y 0.20. Con frecuencia se supone ν igual a 0.18.

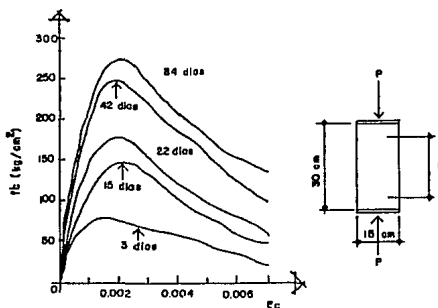


Fig. X.1
Curva de Esfuerzo Deformación para el concreto.

En relación a los agregados empleados para la elaboración de concretos cabe señalar que:

En la construcción de edificios los aglomerantes presentan diversas aplicaciones:

- 1) Para unir o pegar los elementos simples de la obra: piedras, ladrillos, bloques, etc.; formando los muros, pilares y demás unidades resistentes.
- 2) Para revestir superficies protegiendolas o decorandolas: aplanados exteriores, enlucidos o estucos interiores cornisas, etc.
- 3) Para la fabricación de piedras artificiales: tejas, ladrillos, placas, tubos, etc.
- 4) Constituyendo por si mismos materiales de construcción, formando elementos monolíticos estructurales, como el concreto en losas, trabes, columnas, cimientos, etc.

Por razones de carácter técnico y económico rara vez se utilizan los aglomerantes sin adición de materiales inertes. Estos se dividen en finos y gruesos y se designan con el nombre de agregados.

Tienen gran influencia en las mezclas en que intervienen, pues sus características físicas, químicas y mecánicas, dependen los resultados que se buscan.

AGREGADOS

Los agregados o materiales inertes se dividen en finos y gruesos, los primeros constituyen las arenas y los segundos, dependiendo del tamaño máximo de sus granos, comprenden; confitillo, grava y matatena, tabla XI.

CLASIFICACION DE AGREGADOS		
Denominación	TAMAÑO	
	DESDE	Hasta.
Arenas	0.02 mm	6 mm (1/4")
Confitillo	6 mm (1/4")	38 mm (1 1/2")
Grava	38 mm (1 1/2")	89 mm (3 1/2")
Matatena	89 mm (3 1/2")	152 mm (6")

TABLA. X.1

Arenas.

Las arenas están constituidas por granos sueltos, incoherentes y de estructura cristalina que provienen de la disgregación de las rocas naturales por procesos mecánicos o químicos y que, arrastrados por corrientes aéreas o fluviales, se acumulan en lugares determinados. Artificialmente se obtienen por trituración y molienda de las rocas duras.

De acuerdo con su origen, las arenas toman los nombres de: sílicas o cuarzosas, caliza, granítica y arcillosa. De acuerdo con su dureza y estabilidad química, las arenas silíceas son las mejores. Las arenas calizas, si provienen de calizas duras, son también buenas, debiendo rechazarse las blandas. Las graníticas, por su alterabilidad y su poca homogeneidad, no deben usarse, salvo en el caso de que contengan bastante cuarzo. Las arcillosas se pueden emplear si la cantidad de arcilla es inferior al 3%, pues altera el fraguado y la plasticidad de los morteros.

Las arenas, de acuerdo con su procedencia o localización, se denominan: de río, mina, playa o duna y artificiales.

La arena de río, generalmente de partículas redondas por el acarreo que han sufrido, pueden contener arcillas y otras impurezas, o bien, estar limpias, dependiendo de su localización.

Las arenas de mina, o sea las depositadas en el interior de la tierra, están generalmente formadas por granos más angulosos, y ordinariamente contienen arcilla y materias orgánicas. de acuerdo con la calidad y cantidad de las impurezas que contienen las arenas, se presentan de coloración azul, pardo o rosa. En el distrito Federal contamos con grandes mantos de arenas de distinta coloración siendo las azules las más puras, por provenir de la desintegración de las andesitas. Las arenas pardas contienen un porcentaje alto de polvo y las rosas contienen óxidos; ambas mediante un proceso de lavado, pueden usarse ventajosamente.

Los principales yacimientos que abastecen el mercado del Distrito Federal se localizan próximos al perímetro de la ciudad en los lugares llamados: Palacios, Molino del Rey, Santa Fe, Tecamachalco, etc. Dentro de las arenas de color rosa, existen las llamadas poma rosa de características puzolánicas y muy aptas para emplearse en la confección de los morteros a base de cal arena.

Las arenas de playa o dunas podrán emplearse en la construcción mediante un proceso previo de lavado con aguas dulces y siempre que sus granos tengan el tamaño adecuado; pues contienen sales alcalinas, que absorben y retienen la humedad, dando con el tiempo origen a eflorescencias que son dañinas para los acabados interiores. Si sus granos son muy pequeños, los morteros que con ella se formen resultarán antieconómicos y tendrán muy poca plasticidad.

Las arenas artificiales son de granos angulosos y superficies rugosas, están exentas de polvos por el proceso de cribado y selección a que se someten después de ser trituradas y molidas. Son aptas para los morteros y concretos, siempre que provengan de rocas duras y no tengan aristas muy vivas y ángulos muy agudos, pues hacen que disminuya la resistencia del conjunto.

Forma de los granos.

Como veremos más adelante los morteros se dosifican de acuerdo con el objetivo que se persigue. Cuando se requiere máxima resistencia e impermeabilidad, es necesario que el agregado presente la máxima compacidad o sea el mínimo por ciento de vacíos, y cuando solo se busca determinada resistencia, basta que una lechada (aglomerante-agua) sea la suficiente para cubrir la superficie de contacto de las partículas del agregado.

Ha quedado comprobado que la forma esférica de los granos, además de proporcionar morteros más manejables y resistentes proporcionan también mezclas más económicas, ya que los granos de forma alargada o aplastada, presentan con relación al volumen un área mucho mayor que es preciso recubrir con lechada, restando manejabilidad y plasticidad a la mezcla por la dificultad que tienen los granos de deslizarse entre sí. Las arenas de forma esférica, además de presentar una masa más compacta que otra de granos angulosos y aplastados, como ocurre con las partículas de mica, proporcionan menor superficie de contacto y menos superficie a recubrir con la lechada; por consiguiente, cuanto más se aproxime la forma de los granos a la esfera, tanto más compactos, resistentes y económicos resultarán los morteros.

Tamaño de los granos.

El tamaño de los granos juega un importantísimo papel en la dosificación de los morteros, y se determina pesando una muestra de arena seca que se hace pasar a través de una serie de tamices que tiene 16, 64, 144, 256, 400, 900, 1600 y 6400 mallas/Cm². La proporción en que se encuentran los granos de distintos tamaños, expresándose en tanto por ciento, constituye la composición granulométrica de la muestra.

Las arenas, de acuerdo con el tamaño de sus granos se clasifican en gruesas, medianas y finas. Según Ferret, son gruesas, aquéllas cuyos granos pasan por un tamiz de 5 mm de abertura y son

retenidos por otro de 2 mm, medianas, si pasa por el de 2 mm y son retenidas por el 0.5mm, y finas, las que pasan por el tamiz de 0.5mm y son retenidas por el de 0.02 mm.

La óptima composición granulométrica es aquella en que se combinan granos finos, medianos y gruesos para dar la máxima capacidad del conjunto; es decir, cuando los granos finos llenan los vacíos de los granos medianos y ambos llenan los vacíos de los granos gruesos.

Estudio de Feret.

El Ing. M. Feret hizo interesantes estudios sobre la composición granulométrica de las arenas sobre la dosificación de los morteros hidráulicos. A continuación describimos una síntesis de su estudio sobre la composición granulométrica de las arenas, características de las mismas y de los morteros.

Feret, basado en su clasificación, llama G, M y F a los granos gruesos, medianos y finos respectivamente y se vale de un diagrama triangular a cuyos vértices designa con la misma sigla (fig.X.2).

Los lados del triángulo equilátero se divide en diez partes iguales y traza las paralelas a las respectivas bases de dicho triángulo graduando estas divisiones del 0 al 1, correspondiendo los vértices el cero de las escalas y en el sentido de F a M, de M a G y de G a F. En esta forma cualquier punto localizado en el perímetro o en el interior del área triangular nos da el por ciento de granos gruesos, medianos y finos que miden o valorizan la composición granulométrica del arena.

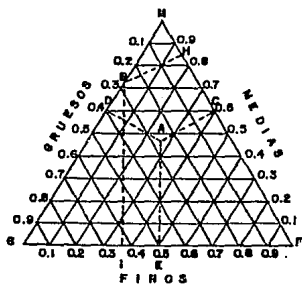


Fig. X.2

Las magnitudes proporcionales que se leen en cada lado del triángulo, corresponden a magnitudes reales medidas sobre las alturas que parten de los vértices correspondientes; por lo tanto, un punto cualquiera "A", tendrá las siguientes composiciones granulométricas; G=27%; M=46% y F=27%, medidos por los segmentos AC, AD y AE, normales respectivamente a las bases opuestas a los vértices respectivos, o bien, medidos sobre las escalas deformadas llevando paralelas a las bases

opuestas hasta cortar el lado de la escala correspondiente. El punto "B" localizado sobre la base MG tendrá la composición granulométrica siguiente: $G=27\%$, medido por el segmento BH; $M=73\%$, medido por el segmento BI y $F=0$, por no existir segmento que lo mida.

Generalizando su método, Feret representa las propiedades especiales de una arena, como peso, volumen y compacidad, a las propiedades de un mortero, en función de la composición granulométrica de la arena; para ello, enumera puntos como el "A", de composiciones granulométricas distintas, pero con los que se han obtenido mismos resultados y los localiza dentro de otro triángulo equilátero similar (Fig. X.3) y une con una línea continua todos los puntos de iguales características, lográndose curvas similares a las cotas de nivel de una superficie topográfica y que determinan las características de las arenas o morteros.

En la fig.X.3 , en la que se ha supuesto una cuarta coordenada, la compacidad, se explica lo asentado. En ella se han dibujado las curvas de nivel entre las cotas 0.575 y 0.725 que representan por sí mismas idénticas compacidades para composiciones granulométricas distintas; es decir se han unido por una línea continua todos los puntos de idénticas compacidades que corresponden a composiciones granulométricas distintas. Es de observarse cómo disminuye la compacidad con la ausencia de arenas finas y a la existencia exclusiva de éstas, y el máximo a una determinada proporción entre gruesos y finos con pequeñas cantidades de medianos.

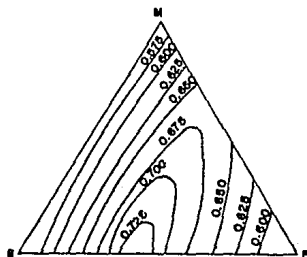


Fig. X.3.

Este diagrama puede aplicarse para el estudio de dosificación de morteros, sustituyendo el concepto de arena fina por el de aglomerante, ya que su tamaño cae dentro de la denominación, y entonces puede observarse cómo la máxima capacidad corresponde a una determinada proporción entre aglomerantes y arenas gruesas. Puede también aprovecharse el diagrama, seleccionando la arena de acuerdo con su compacidad y adicionando la cantidad de aglomerantes que corresponda al por ciento de vacíos; se tendrá así un mortero más compacto.

Siendo de importancia básica el conocimiento de la composición granulométrica de los agregados, al estudiar la dosificación de los concretos, hablaremos del módulo de finura, que es otra manera de

expresarla y fue dada por vez primera en el año de 1921 por el Dr. Abrams al exponer su teoría de dosificación.

Agregados gruesos.

Los buenos agregados gruesos que se utilizan en conjunto con las arenas para la dosificación de los concretos, deben satisfacer las condiciones de éstas; es decir, deben de estar limpios, de composición química estable, ser resistentes, etc.

Tamaño y forma.

El tamaño de estos agregados varia con la clase de obra, empleándose desde 50 a 100 mm., en las obras de concreto en masa o ciclópeo. En el concreto armado el tamaño está obligado por la separación del refuerzo y se exige que tengan un máximo inferior a 1/4" de la mínima separación entre refuerzos, o entre el molde y el refuerzo externo.

Experimentalmente se ha comprobado que la masa de agregados gruesos que presenta mayor compactidad, resistencia y plasticidad, es la que está constituida por partículas de forma aproximadamente esférica. Las razones que asisten para confirmar esto, son las mismas que se han expresado al hablar que se han expresado al hablar de las arenas.

Preparación de los agregados.

Los agregados se preparan para su empleo: a). Cribándolos, para obtener sus distintos gruesos de acuerdo con el agregado de que se trate. b). Lavándolos, para eliminar las sales, arcillas y demás sustancias extrañas. c). Secándolos, si fuera necesario.

En la dosificación de los morteros y concretos, principalmente de tipos hidráulicos, el constructor debe asegurarse de las condiciones de los agregados. Aunque de una manera general los agregados deben prepararse de acuerdo con lo asentado en el párrafo anterior y deben satisfacer las condiciones de dureza, estabilidad, resistencia, etc., conviene efectuar con ellos distintas determinaciones o pruebas que garanticen el perfecto conocimiento de ellos, de tal suerte, que de los resultados obtenidos, fijemos nuestro criterio en su utilización.

Estas determinaciones o pruebas se pueden resumir en:

- a) Peso Específico y Peso Volumétrico.
- b) Absorción.
- c) Humedad.
- d) Prueba de Polvos.
- e) Prueba Colorimétrica.
- f) Determinación de Sales.

- a) **Peso específico y peso volumétrico.** El peso específico de los agregados tiene importancia directa cuando las condiciones estructurales o propias de un proyecto exigen que el concreto tenga un peso mínimo o máximo. Cuando conviene la ligereza se emplean agregados naturales o preparados artificialmente con bajo peso específico.

El peso específico es un índice útil y rápido de la aptitud de un agregado, el valor bajo, indica que se trata de materiales porosos, débiles y absorbentes, y valores altos, indican calidad. Tales indicaciones son inseguras, si no se confirman por otros medios.

Conocer el peso específico y peso volumétrico de los agregados es estar en condición de valorizar la compacidad del conjunto que ha de utilizarse en la confección de morteros o concretos, pues a mayor peso volumétrico y peso específico constante se obtiene menor por ciento de vacíos y por consiguiente menor cantidad de aglomerante para un mortero o concreto de capacidad y resistencia dadas.

De lo expuesto se concluye que, la valorización del peso específico y peso volumétrico de los agregados es condición determinante para seleccionarlos de acuerdo con la ligereza, compacidad y resistencia de los morteros u hormigones que se quiera dosificar para un objeto determinado.

A continuación y con objeto de ilustrar lo asentado se incluye la siguiente tabla X.2, tomada del libro de "Materials of Construction" de Johnson, donde se han calculado los por cientos de vacío y las compacidades para agregados gruesos de distintos tamaños.

PORCIENTO DE VACIOS PARA AGREGADOS GRUESOS.						
Clase de agregado	Tamaños	Peso específico	Peso volumétrico	% de vacíos	Compacidad	Autoridad
De cuarzo	1/4"	2.67	1 490	0.44	0.56	M.O.Withey
De cuarzo	1 1/2"	2.67	1 380	0.48	0.52	"
De granito	1/4"	2.62	1 520	0.42	0.58	"
De Granito	1/4"	2.62	1 390	0.47	0.53	"
De granito	3/4" a 1/4"	2.62	1 420	0.46	0.54	"
De granito	2"-1/4"	2.62	1 560	0.40	0.60	"
De granito	1" a polvo	2.58	1 530	0.40	0.60	U.S.Geol S
De caliza	1" a polvo	2.49	1 540	0.38	0.62	"
Basáltico	1/4"	2.90	1 570	0.46	0.54	M.E.Mc.Cli
Basáltico	1 1/2"-1/2"	2.90	1 440	0.50	0.50	"
Basáltico	3"-1 1/2"	2.90	1 490	0.48	0.52	"

TABLA X.2

- b) **Absorción.** La absorción mide la cantidad de agua expresada en % del peso del material seco que es capaz de absorber un material, y depende directamente de la porosidad de los materiales y de la intercomunicación de sus poros.

La determinación de la absorción en los agregados es de importancia principal, pues fija la cantidad de agua en la dosificación de los morteros y hormigones hidráulicos, ya que, además del agua necesaria para la hidratación de los aglomerantes hay que adicionar la que absorberán los agregados, de lo contrario, faltaría agua para las reacciones de hidratación y fraguado.

Si P_a peso de la muestra seca

P_h peso de la muestra saturada y superficialmente seca,

el % de absorción estará valorizado por:

$$\% \text{ DE ABSORCION} = \frac{P_h - P_a}{P_a} 100$$

El % de absorción sirve además para orientar al constructor sobre la estabilidad futura de los morteros y concretos hidráulicos; pues el agua confinada en los agregados puede provocar variaciones en sus volúmenes y ocasionar con esto perjuicios serios en los elementos estructurales.

A menor % de absorción se garantiza mayor seguridad, mejor control del agua en la dosificación, menor ligereza y más resistencia en los morteros y hormigones.

c) **Humedad.** Como la cantidad fija del agua es condición determinante en la resistencia de los morteros y concretos hidráulicos, es importante conocer, además del poder absorbente, la cantidad de humedad superficial que contienen los agregados. En la práctica, el contenido de humedad superficial de los agregados gruesos es tan poca que no se toma en consideración.

Las arenas, de acuerdo con su contenido de humedad superficial, se clasifican en : seca, poco húmedas, húmedas y muy húmedas.

La arena seca es aquella que no contiene nada de humedad. Este tipo de arena que se desliza libremente, rara vez se encuentra en las obras y disponible para trabajos de concreto.

La arena poco húmeda es aquella que al contacto de la mano se siente ligeramente húmeda. Generalmente se considera como contenido un litro de agua por 30 litros de arena.

La arena húmeda, que con más regularidad nos llega a las obras, es aquella que al contacto con las manos se siente mojada y deja en ellas un poco de humedad después de haberla manejado. Se supone un contenido de 2 litros de agua por cada 30 litros de arena.

La arena muy húmeda es aquella que chorrea agua y se le supone un contenido de agua de 3 litros por cada 30 litros de arena.

Para familiarizarse con esta clasificación práctica de la humedad de las arenas, se recomienda secar por medio del aire y del sol de una porción cualquiera de arena. Tómense tres muestras

de 3 litros cada una e introdúzcanse en tres distintos recipientes; agréguese 100 cm³, 200 cm³ y 300 cm³ respectivamente a cada recipiente mezclada con 100 cm³ de agua es la que conocemos como arena poco húmeda; la que contiene 200 cm³ se considera como arena húmeda y la que contiene 300 cm³, es la muy húmeda.

En el laboratorio la prueba de humedad se determina de la manera siguiente: se pesan 500 gr. de la arena o 100 gr. del agregado grueso o grava y se secan superficialmente en un horno. La cantidad de humedad se calcula por la siguiente fórmula:

$$\% \text{ DE HUMEDAD SUPERFICIAL} = \frac{(S - B)}{B} 100$$

en donde S = peso del agregado húmedo y B = peso del agregado ensayado, saturado y superficialmente seco.

- d) **Pruebas de polvos.** El exceso de partículas finas o polvos en los agregados encarecen las mezclas y las hacen menos plásticas. El % de polvo (arcilla, limo, etc.) en una arena se determina en la forma siguiente: en un frasco graduado (32 onzas) de boca ancha, se introducen 14 onzas de arena y se añade agua hasta acompletar 28 onzas. Después se agita fuertemente y se deja reposar durante una hora. Una onza de sedimento por encima de la arena equivale aproximadamente a un 3% en peso de polvo (arcilla, limo, etc.). La arena que contenga más del 3% de sedimentación no es satisfactoria para trabajos de concreto a menos que el exceso de polvo se remueva por medio del lavado.
- e) **Prueba colorimétrica.** Esta prueba generalmente se usa cuando se tiene dificultad en obtener que los morteros y concretos endurezcan debidamente y determina la presencia de compuestos orgánicos en las arenas naturales. El principal valor de esta prueba es indicar si hay necesidad de ensayos posteriores para determinar la capacidad de duración y resistencia del concreto en el que se vaya a emplear la arena; pues un color oscuro, obtenido en el ensayo, no es prueba concluyente de que la arena es inservible, ya que ciertas substancias orgánicas y aún inorgánicas relativamente inocuas producen tal calor. Ejemplo de ello son algunos carbones y minerales de manganeso.

La secuela a seguir es la siguiente:

- e.1) Con la muestra representativa se llena una botella transparente de 12 onzas, hasta la señal de 4 1/2 onzas.
- e.2) Se añade una solución de hidróxido sódico al 3% hasta que el volumen de la arena y líquido después de sacudir sea 7 onzas. La solución de hidróxido de sodio se prepara disolviendo una onza de hidróxido de sodio en un litro de agua.
- e.3) Se tapa la botella, se sacude vigorosamente y se deja reposar durante 24 horas.

- c.4) Se prepara una solución de color patrón, añadiendo 2.5 cm. de una solución de ácido tánico al 2% a 97.5 cm3 de la solución de hidróxido de sodio al 3%. La solución de ácido tánico al 2% se hace añadiendo 3 cm3 de alcohol del 96; y dos gramos de ácido tánico en polvo a 90 cm3 de agua.
- c.5) Después que la solución a reposado durante 24 horas se compara el color del líquido claro que queda por encima de la arena con el de la solución patrón o con un vidrio de color semejante.
- c.6) Las soluciones más oscuras que el color del patrón indican la presencia de materiales orgánicos en las arenas. Un color paja en la solución es indicado de algo de materia orgánica, pero no en cantidad para afectar seriamente el trabajo. Si el color es oscuro, quiere decir que la arena contiene materia orgánica en cantidad peligrosa y no debe usarse, a menos que se lave; pero aún así, será necesario volver a probarla. Si el color es más claro que el patrón, la arena se considera adecuada, desde un punto de vista orgánico.

f).-Determinación de las sales. Los agregados pueden estar contaminados, además de limo, arcilla, carbón y sustancias orgánicas, por sales y otras materias. Todas estas sustancias perjudican a los morteros y hormigones de muy diversas formas; para rebajar su calidad, disminuir su resistencia y capacidad de duración y darles mal aspecto; su presencia complica las operaciones de mezcla y fabricación.

Los porcentajes admisibles de estas impurezas se estipulan en las normas relativas; pero afortunadamente, la mayoría de los excesos de materias perjudiciales pueden separarse por tratamientos sencillos; por ejemplo: el limo, arcilla, sales solubles y materiales ligeros, pueden separarse por el proceso de lavado.

La valorización del % de sales requiere la intervención directa del laboratorio y es indispensable su determinación, máxime cuando se trate de agregados expuestos a este tipo de contaminación o que por su localización y origen estemos seguros de que las contienen. Las sustancias que contaminan a los agregados producen efectos diversos en los concretos ya endurecidos tal y como se establece en las tablas X.3.

EFECTOS DE DIVERSAS SUSTANCIAS EN EL CONCRETO ENDURECIDO	
Substancias	Efectos en el concreto sin protección
Aceites petrolíferos pesados	
ligeros y volátiles	Ninguno
Destilados del alquitrán de hulla	Ninguno
Ácidos orgánicos	Desintegración

EFECTOS DE DIVERSAS SUBSTANCIAS EN EL CONCRETO ENDURECIDO	
Materiales orgánicos:	
Acido acético.	Desintegración lenta
Acido oxálico y carbónico seco.	Ninguno
Acido carbónico en agua.	Ataque lento
Aceites vegetales.	Ataque ligero o muy ligero
Sales inorgánicas:	
Sulfato de calcio sodio	
magnesio, potasio, aluminio y hierro	Ataque activo
Cloruro de sodio y potasio	Ninguno
Cloruro de magnesio y calcio	Ataque ligero

TABLA. X.3

Cribado y lavado.

El cribado y lavado de los agregados son operaciones que pueden considerarse como indispensables cuando se quiere obtener materiales inertes que garanticen la futura calidad de los morteros y hormigones. La industria de los agregados requiere verdaderas instalaciones para llevar a cabo estas operaciones.

De los mantos naturales y de la trituración de las rocas nunca se obtienen agregados con granulometría que satisfaga las normas, por lo tanto, es necesario el cribado, cuyo objeto es lograr una selección de acuerdo con los tamaños de los granos. La operación de cribados puede verificarse por medios manuales, llamados simples o de albañil, están constituidas por un bastidor (A) de madera (fig. X.4), y por una tela metálica (B) de abertura conveniente.

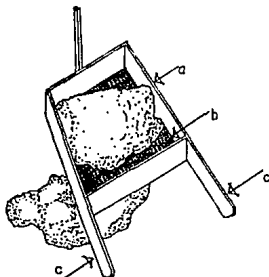


Fig. X.4

El bastidor (A) se suspende por un extremo, y por el otro, el operario sujeta los brazos (C) y le imprime un movimiento de vaivén. La tela metálica (B) y el bastidor interior que la contiene, son intercambiables para que pueda servir para separar granos de distintos tamaños.

Las cribas mecánicas se clasifican en cilíndricas o de tambor y en oscilantes o vibratorias. Las primeras son las más generalizadas en la industria de los agregados y se describirán esquemáticamente. La (Fig. X.5) representa el esquema de una criba cilíndrica o de tambor. Los cedazos de distintas aberturas se logran por perforaciones del mismo diámetro en la zona de longitud determinada (B, C, D, E, etc.).

El material recibido en la tolva (A) es obligado, por medio del giro del cilindro y por la ligera inclinación de su eje, a deslizarse hacia la zona del cedazo de mayor abertura. El material que se escapa a través de los distintos cedazos, se almacenan en las tolvas localizadas en la parte interior; de este modo se tienen perfectamente bien clasificados a los agregados de acuerdo con el tamaño de sus granos.

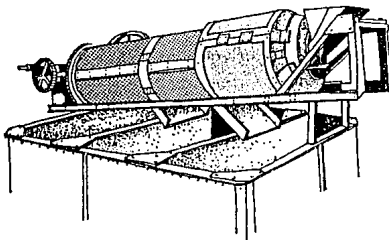


Fig.X.5

El proceso de lavado, que sirve para separar de los agregados las sustancias o materias extrañas y nocivas, se realiza de acuerdo con la necesidad a satisfacer. La (Fig. X.6) representa esquemáticamente un sencillo dispositivo que sirve para tal objetivo.

La industria utiliza dispositivos que combinan los procesos de lavado y cribado, con el objeto de simplificar las operaciones y obtener menor costo.

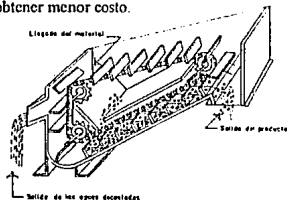


Fig. X.6

Agregados de trituración.

En las regiones donde no existen depósitos naturales de agregados, la industria de la construcción recurre a la trituración de rocas convenientes para obtenerlos. Los agregados así obtenidos tienen como única desventaja intrínseca su forma generalmente angulosa y de tipo laminar; mas, este inconveniente puede subsanarse en parte seleccionando la roca y el equipo para la trituración.

Los mejores molinos para este objeto son los de barra y los de martillo.

En general, los agregados gruesos obtenidos por trituración exigen más arena para compensar la forma angulosa aguda de las partículas, para obtener una mezcla comparable en docilidad a otra en la que se emplee agregados de depósito naturales en forma redondeada.

Este tipo de agregados deberá satisfacer las mismas condiciones de resistencia, estabilidad, dureza, etc., que los agregados de depósitos naturales y someterse a los mismos ensayos.

X.1.- ELABORACION DEL CONCRETO CON MATERIALES PESADOS.

I.- El procedimiento para la selección de las proporciones de mezcla incluido en esta sección es aplicable para el concreto de peso normal. Aunque puede utilizarse la misma información básica y procedimiento para obtener el proporcionamiento del concreto pesado:

- a).- La estimación de los pesos requeridos para las mezclas de concreto comprende una secuencia de pasos lógicos y directos que, en efecto, concuerda con las características de los materiales disponibles para obtener una mezcla apropiada para la obra. Frecuentemente el problema de la adaptación no se le deja al individuo que selecciona las proporciones. Las especificaciones de la obra pueden contener todos o algunos de los siguientes puntos:

- a.1).-Relación agua/cemento *máxima*
- a.2).-Contenido mínimo de cemento
- a.3).-Contenido de aire
- a.4).-Revenimiento
- a.5).-Tamaño *máximo* del agregado
- a.6).-Resistencia
- a.7).-Otros requerimientos que se relacionen con temas tales como resistencia de sobre diseño, aditivos y tipos especiales de cemento o agregado.

- b) Independientemente de las características del concreto que se señalen en las especificaciones o se dejen al individuo que seleccione las proporciones, el establecimiento de los pesos de la mezcla por metro cúbico de concreto puede obtenerse mediante las siguientes secuencias:

- b.1) Paso 1 Elección del revenimiento. Si el revenimiento no está especificado, se puede elegir un valor apropiado para la obra de acuerdo a la tabla X.4. Los valores del revenimiento mostrados son aplicables cuando se utiliza la vibración para compactar el concreto. Deben usarse mezclas de consistencia muy rígida, que puedan colocarse eficientemente.

Revenimientos recomendables para diversos tipos de construcción.		
Tipos de construcción	Revenimiento cm.	
	Máximo	Mínimo
Muros y zapatas de cimentación de concreto reforzado.	8	2
Zapatas simples, cajones y muros de la subestructura.	8	2
Vigas y muros de concreto reforzado.	10	2
Columnas.	10	2
Pavimentos y losas.	8	2
Concreto masivo.	5	2

TABLA. X.4

- b.2) Paso 2. Elección del tamaño *máximo* del agregado. Los agregados bien graduados de tamaño *máximo* tienen menos vacíos que los de tamaños menores. De aquí que los concretos con agregados de mayor tamaño requieran menos mortero por unidad de

volumen de concreto. Generalmente, el tamaño máximo del agregado debe ser el mayor que se encuentre disponible económicamente y el que resulte compatible con las dimensiones de la estructura. Bajo ninguna circunstancia el tamaño máximo debe exceder de una quinta parte de la menor dimensión entre los lados de las cimbras, de una tercera parte del peralte de las losas, ni de tres cuartas partes del espaciamiento mínimo libre entre las varillas individuales de refuerzo, haces de varilla o cables pretensados. En algunas ocasiones estas limitaciones se descartan si la trabajabilidad y los métodos de compactación son tales que el concreto puede ser colocado sin que formen cavidades o vacíos. Para lograr los mejores resultados cuando se desea obtener un concreto de alta resistencia, deben reducirse los tamaños máximos de los agregados de alta resistencia, ya que estos producen mayores resistencias con una relación agua/cemento dada.

- b.3) Paso 3. Estimación del agua de mezclado y del contenido de aire. La cantidad de agua por unidad de volumen de concreto requerida para producir un revenimiento dado depende del tamaño máximo, de la forma de la partícula y de la granulometría de los agregados, así como de la cantidad de aire incluido. La cantidad de cemento no la afecta en mayor grado. En la tabla X.5 se proporcionan estimaciones con respecto a la cantidad de agua de mezclado requerida para concretos elaborados con varios tamaños máximos de agregados, con y sin aire incluido. Dependiendo de la textura y de la forma del agregado, los requerimientos de agua de mezclado pueden estar un tanto por encima o por debajo de los valores tabulados, pero son suficientemente precisos para una primera estimación. Tales diferencias en los requerimientos de agua no se reflejan necesariamente en la resistencia, ya que existen otros factores compensatorios que pueden estar incluidos. Por ejemplo, con un agregado grueso redondo y uno angular, ambos graduados similarmente y de buena calidad, puede producirse concreto de aproximadamente igual resistencia a la compresión utilizando la misma cantidad de cemento, a pesar de las diferencias en la relación agua/cemento resultante de los distintos requerimientos de mezclado. La forma de la partícula en sí no constituye un indicio de que un agregado está por encima o por debajo del promedio en su capacidad de producción de resistencia.

Requerimientos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos del agregado.								
Agua en Kg/m ³ de concreto para los tamaños máximos del agregado indicados.								
Revenimiento, cm.	10 mm *	12.5 mm *	20 mm *	25 mm *	40 mm *	50 mm **	75 mm **	150 mm **
Concreto sin aire incluido								
3 a 3	205	200	185	180	160	155	145	125
8 a 10	225	215	200	195	175	170	160	140
15 a 18	240	230	210	205	185	180	170	-
Cantidad aproximada de aire atrapado en concreto sin aire incluido - %.	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
Concreto con aire incluido								
3 a 3	180	175	165	160	145	140	135	120
8 a 10	200	190	180	175	160	155	150	135
15 a 18	215	205	190	185	170	165	160	-
Proceso recomendable de contenido total de aire por ciento	8	7	6	5	4.5	4	3.3	3

TABLA X.5

* Estas cantidades de agua de mezclado deben utilizarse en los cálculos de los factores de cemento para mezclas de prueba. Son los máximos para agregados gruesos angulares razonablemente bien formados, graduados dentro de los límites de las especificaciones aceptadas.

** Los valores de revenimiento para un concreto que tenga un agregado mayor de 40 mm. están basados en la pruebas de revenimiento efectuadas después de remover las partículas mayores de 40 mm. por medio de cribado húmedo.

*** La tabla X.5.- indica la cantidad aproximada de aire atrapado que puede esperarse en un concreto sin aire incluido y también muestra los niveles recomendables de contenido de aire promedio para concreto en el que se ha incluido aire para efectos de durabilidad. El concreto con aire incluido debe usarse siempre en estructuras que estarán expuestas a los fenómenos de congelación y deshielo y generalmente en estructuras expuestas al agua de mar o al efecto del sulfato. Cuando no se prevé una exposición severa del concreto, la inclusión del aire puede atenuar efectos benéficos en la trabajabilidad y en la cohesión del concreto, con niveles de contenido de aire de aproximadamente la mitad de aquéllos indicados para el concreto con aire incluido.

Cuando se usan mezclas de prueba para establecer relaciones de resistencia o para verificar la capacidad de producción de resistencia de una mezcla, debe usarse la combinación menos favorable de agua de mezclado y contenido de aire. Esto es, el contenido de aire deberá ser el máximo permitido o el que probablemente ocurra, y el concreto debe calcularse hasta el revenimiento más alto permisible. Lo anterior evitará que se haga una estimación demasiado optimista de la resistencia, bajo la su posición de que las condiciones promedio más que las extremas serán las que prevalezcan en el campo. Para información sobre las recomendaciones relativas a contenido de aire, ver los reportes de los Comités ACI 201,301 y 302.

- b.4) Paso 4. Elección de la relación agua/cemento. Los requerimientos de la relación agua/cemento se determinan no sólo por los requerimientos de resistencia sino también por factores tales como la durabilidad y las propiedades del acabado. Ya que los diferentes agregados y cementos generalmente producen resistencias distintas con la misma relación agua/cemento, es altamente recomendable conocer o desarrollar la correspondencia entre la resistencia y la relación agua/cemento para los materiales a usarse. En ausencia de tal información, pueden tomarse los valores aproximados y relativamente conservadores para concreto conteniendo cemento Portland Tipo I que se indica en la tabla X.6 (a). Con materiales típicos, las relaciones agua/cemento tabuladas deben producir las resistencias mostradas, que están basadas en pruebas a los 28 días de muestras curadas bajo condiciones estándar de laboratorio. La resistencia promedio seleccionada debe, desde luego, exceder a la resistencia especificada por un margen suficiente, para mantener el número de pruebas de resistencia bajas dentro de los límites especificados.*

*Ver "Prácticas recomendadas para la evaluación de resultados de ensayos de compresión de concreto en el campo" (ACI-214-65, publicada por el Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, noviembre de 1968.

Correspondencia entre la relación agua/cemento y la resistencia a la compresión del concreto.		
Relación agua/cemento por peso		
Resistencia a la compresión a los 28 días, kg./Cm.2*	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
450	0.38	-
400	0.43	-
350	0.48	0.40
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.70	0.61
150	0.80	0.71

TABLA. X. 6. (a)

*Los valores indican las resistencias promedio estimadas para concreto conteniendo un porcentaje de aire no mayor que el indicado en la tabla b). 3. Para una relación agua/cemento constante, la resistencia del concreto se reduce conforme el contenido de aire aumenta. La resistencia está basada en cilindros de 15 x 30 cm., curados en húmedo por 28 días a 23° + 1.7 °C, de acuerdo con la Sección 9(b) de la Norma ASTM C 31, "Fabricación y Curado de Muestras de Concreto para Pruebas a Flexión y a Compresión en el Campo". La resistencia de cubos está aproximadamente 20% más alta. La correspondencia indicada asume un tamaño máximo del agregado de aproximadamente 20 a 30 mm.; para una relación agua/cemento dada aumentará conforme el tamaño máximo del agregado disminuya.

Relaciones agua/cemento máximas permisibles para concreto expuesto a condiciones severas*		
Tipo de estructuras	Estructuras continuas o frecuentemente húmeda y expuesta a congelación y deshielo**	Estructuras expuestas al agua de mar o sulfatos.
Sección delgada (rieles, bordillos durmientes, obras ornamentales) y secciones con menos de 3 cm. de recubrimientos sobre el acero.	0.45	0.40***
Todas las demás estructuras.	0.50	0.45***

TABLA X.6.(b)

*Basado en el reporte del Comité ACI 201 "Durabilidad del concreto en servicio", citado previamente.

**El concreto también debe ser del tipo de aire incluido.

***Si se utiliza cemento resistente a los sulfatos (Tipo II o Tipo V de la Norma ASTM C 150), la relación agua/cemento permisible podrá aumentarse en 0.05.

Para condiciones de exposición severas, la relación agua/cemento debe mantenerse baja, aun cuando los requerimientos de resistencia puedan cumplirse con un valor mayor. En la tabla X.6 (b) se proporcionan los valores límite.

- b.5) Paso 5. Cálculo del contenido del cemento. La cantidad de cemento por unidad de volumen de concreto se obtiene de las determinaciones efectuadas en los Pasos 3 y 4. El cemento requerido es igual al contenido estimado de agua de mezclado (Paso 3), dividido entre la relación agua/cemento (Paso 4). Si, no obstante, la especificación incluye por separado un límite mínimo de cemento además de los requerimientos de resistencia y durabilidad, la mezcla debe basarse en aquel criterio que conduzca a la mayor cantidad de cemento.

El uso de puzolanas o de aditivos químicos afectará las propiedades tanto del concreto fresco como del endurecido.*

- b.6) Paso 6. Estimación del contenido de agregado grueso. Los agregados esencialmente similares en granulometría y en tamaño máximo producirán un concreto de trabajabilidad satisfactoria cuando se emplee un volumen determinado de agregado grueso y seco, compactado con varilla, por volumen unitario de concreto. En la tabla X.7, se proporcionan los valores adecuados para este volumen de agregados. Se puede observar que, para obtener una trabajabilidad similar, el volumen de agregado grueso para un volumen unitario de concreto sólo depende de su tamaño máximo y del módulo de finura del agregado fino. Las diferencias en las cantidades de mortero necesarias para obtener la trabajabilidad con agregados distintos, debidas a la forma y granulometría de las partículas, quedan automáticamente compensadas con las diferencias en el contenido de vacíos en el agregado seco y compactado con varilla. El volumen del agregado, seco y compactado con varilla, por metro cúbico de concreto, se muestra en la tabla b.6. Este volumen se convierte al peso seco del agregado grueso requerido por metro cúbico de concreto multiplicándolo por el peso volumétrico del agregado grueso, seco y compactado con varilla.

Volumen de agregado grueso, seco y compactado con varilla * por volumen unitario de concreto para diferentes módulos de finura de la arena.**				
Tamaño máximo del agregado, mm.	2.40	2.60	2.80	3.00
10	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5	0.59	0.57	0.55	0.53
20	0.66	0.64	0.62	0.60
25	0.71	0.69	0.67	0.65
40	0.76	0.74	0.72	0.70
50	0.78	0.76	0.74	0.72
70	0.81	0.79	0.77	0.75
150	0.87	0.85	0.83	0.81

TABLA. X.7

*Los volúmenes están basados en agregados secos y compactados con varilla como se describe en la Norma ASTM C 29, "Peso unitario de los agregados". Estos volúmenes se han seleccionado de relaciones empíricas para producir un concreto con un grado de trabajabilidad apropiada para la construcción reforzada usual. Para obtener un concreto con menos trabajabilidad como el que se utiliza en la construcción de pavimentos de concreto, estos valores se pueden aumentar en un 10%. Para un concreto con más trabajabilidad como el que algunas veces se requiere cuando la colocación se efectúa por bombeo, estos valores se pueden reducir hasta un 10%.

**El módulo de finura de la arena es igual a la suma de las relaciones (acumulativas) retenidas en tamices de malla con abertura de 0.149, 0.297, 0.595, 1.19, 2.38 y 4.76 mm.

- b.6.1) Para obtener un concreto más manejable, como el que se requiere en algunas ocasiones cuando se usa una bomba para la colocación o cuando se coloca el concreto en zonas congestionadas con acero de refuerzo, sería recomendable reducir hasta en un 10% el contenido estimado de agregado grueso que se había determinado en la tabla X.7. Sin embargo, se debe tener cuidado en asegurar que el revenimiento resultante, la relación agua/cemento y las propiedades de resistencia de concreto sean compatibles con las recomendaciones proporcionadas en las Secciones b.1) y b.4), y que satisfagan los requerimientos aplicables de las especificaciones del proyecto.

Primera estimación del peso del concreto fresco.		
Primera estimación del peso del concreto kg./m ³ *		
Tamaño máximo del agregado, mm.	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido.
10	2285	2190
12.5	2315	2235
20	2355	2280
25	2375	2315
40	2420	2355
50	2445	2375
70	2446	2400
150	2505	2435

TABLA. X.8

*Valores calculados con la ec. (5.1) para concretos medianamente ricos (330 kg. de cemento por m³) y revenimiento medio, con un agregado cuyo peso específico es de 2.7. Los requerimientos de agua están basados en los valores de revenimiento de 8 a 10 cm. de la tabla b). 3. Si se desea, se puede precisar más la estimación del peso, como se indica a continuación, siempre que se posea la información necesaria: por cada 5 kg. de diferencia en el agua de mezclado de la tabla b). 3. para valores de 8 a 10 cm. de revenimiento, se corregirá el peso por m³ en 8 kg. en la dirección opuesta; por cada 20 kg. de diferencia en el contenido de cemento de 330 kg. se corregirá el peso por m³ en 3 kg. en la misma dirección; por cada 0.1 de desviación de 2.7 en el peso específico del agregado, se corregirá en 70 kg. el peso del concreto en la misma dirección.

- b.7) Paso 7. Estimación del contenido de agregado fino. Al concluir el Paso 6, se habrán calculado todos los ingredientes del concreto, a excepción del agregado fino. Su cantidad se determina por medio de las diferencias. Se puede emplear cualquiera de estos dos procedimientos: el método "por peso" (Sección b. 7.1.) o el método de "volumen absoluto" (Sección b. 7.2).

- b.7.1) Si el peso del volumen unitario de concreto se presupone o puede estimarse por experiencia, el peso requerido de agregado fino es simplemente la diferencia entre el peso del concreto fresco y el peso total de los otros ingredientes. Por lo general, en base a experiencias anteriores con los materiales, se conoce el peso unitario del concreto con una precisión razonable. Si no se cuenta con esta información, se puede utilizar la tabla X.8, para hacer una primera estimación. Aunque el peso estimado por metro cúbico de concreto sea aproximado, las proporciones de las mezclas serán lo suficientemente exactas para permitir ajustes fáciles basados en las mezclas de prueba, como se mostrará en los ejemplos siguientes. Si se desea obtener un cálculo teóricamente exacto del peso del concreto fresco por metro cúbico, se puede utilizar la siguiente fórmula:

$$U_m = 10 Ga (100-A) + C_m (1-Ga / G_c) - W_m (Ga - 1) \quad (X-1)$$

en donde:

U_m = peso volumétrico del concreto fresco, kg./m³

G_a = promedio obtenido de los pesos específicos de los agregados finos y gruesos combinados, a granel SSS*

G_c = peso específico del cemento (por lo general 3.15)

A = contenido de aire, por ciento

W_m = requerimiento de agua de mezclado, kg./m³

C_m = requerimiento de cemento, Kg./m³

(* SSS indica que se utilizó la condición saturada y superficialmente seca para considerar el desplazamiento de una parte del agregado. El peso específico del agregado utilizado en los cálculos debe ser compatible con la condición de humedad supuesta en los pesos básicos del agregado por mezcla, es decir, de la masa seca si se establecen los pesos del agregado de acuerdo a la base seca, y del peso específico a granel SSS si los pesos se establecen con agregados saturados y superficialmente secos.)

- b. 7.2) Un procedimiento más exacto para calcular la cantidad requerida de agregado fino se basa en el uso de los volúmenes de los ingredientes. En este caso, el volumen total de los ingredientes conocidos -agua, aire, cemento y agregado grueso- se resta del volumen unitario de concreto para obtener el volumen requerido de agregado fino. El volumen que cualquier ingrediente ocupa en el concreto es igual a su peso dividido entre el peso específico de ese material (siendo este último el producto del peso unitario del agua y la densidad del material).
- b. 8) Paso 8. Ajustes por el contenido de humedad del agregado. Debe considerarse la humedad de los agregados para pesarlos correctamente. Por lo general, los agregados están húmedos y a su peso en seco habrá que aumentarle el porcentaje de agua que

contengan, tanto la absorbida como la superficial. El agua de mezclado que se agrega a la mezcla debe reducirse en una cantidad igual a la de la humedad libre que contiene el agregado, esto es, humedad total menos absorción.

- b. 9) Paso 9. Ajustes en la mezcla de prueba. Se deben verificar las proporciones calculadas de la mezcla por medio de mezclas de prueba preparadas y probadas de acuerdo a la Norma ASTM C 192, "Fabricación y curado de muestras de concreto para pruebas a presión y a compresión en el laboratorio", o con mezclas de campo de tamaño completo. Sólo debe utilizarse el agua suficiente para producir el revenimiento requerido sin considerar la cantidad supuesta en las proporciones de prueba. Se debe verificar el peso unitario y el rendimiento del concreto (ASTM C 38) así como el contenido de aire (ASTM C 138, C 173 o C 231). También debe observarse cuidadosamente que el concreto posea la trabajabilidad y las propiedades de acabado adecuadas y que está libre de segregación. Se deberán hacer los ajustes pertinentes con las proporciones de las mezclas subsecuentes siguiendo el procedimiento indicado a continuación:
- b.9.1) Se estima de nuevo la cantidad de agua de mezclado necesaria por metro cúbico de concreto, dividiendo el contenido neto de agua de mezclado de la mezcla de prueba entre el rendimiento de la mezcla de prueba en metros cúbicos. Si el revenimiento de la mezcla de prueba no fue el correcto, se aumenta o se disminuye la cantidad reestimada de agua en 2 kg. por cada centímetro de aumento o disminución del revenimiento requerido.
- b.9.2) Si no se obtuvo el contenido deseado de aire (para concreto con aire incluido), se estima nuevamente el contenido de aditivo requerido para el contenido adecuado de aire, y se reduce o aumenta el contenido de agua de mezclado indicado en el Párrafo b. 9.1), en 3 kg/m³ por cada 1% de contenido de aire que debe aumentarse o reducirse de la mezcla de prueba previa.
- b.9.3) Si la base para la dosificación es el peso estimado por metro cúbico de concreto fresco, la reestimación de ese peso se obtiene reduciéndole o aumentándolo el porcentaje determinado por anticipado de aumento o disminución del contenido de aire de la mezcla, ajustado con respecto a la primera mezcla de prueba.
- b.9.4) Se calculan los nuevos pesos de la mezcla partiendo del Paso 4 (Párrafo b. 4.), modificando el volumen de agregado grueso que aparece en la tabla X.7, si es necesario, para obtener una trabajabilidad adecuada.

II.- El concreto normal puede dosificarse para pesos volumétricos tan altos como 5 600 kg/m³, usando agregados pesados tales como mineral de hierro, barita o fragmentos y recortes de hierro. Aunque cada uno de estos materiales tiene sus propias características, pueden procesarse para que cumplan con los requerimientos estándar de granulometría, sanidad, limpieza, etc. La aceptación de los agregados depende del uso que se les pretenda dar. En el caso de que se empleen en estructuras de protección contra la radiación, se deben analizar para determinar indicios de elementos que puedan volverse reactivos cuando se sometan a la radiación. En la selección de los materiales y la dosificación del concreto pesado, la información necesaria y los procedimientos a seguir son similares

a los que se requieren para el concreto de peso normal, a excepción de los siguientes puntos, que deben tomarse en consideración.

- a).-Al seleccionar un agregado para un peso volumétrico dado, debe tomar en cuenta que el peso específico del agregado fino debe ser comparable a la del agregado grueso, de manera de disminuir el asentamiento del agregado grueso a través del mortero. Algunos de los materiales típicos que se usan como agregados pesados son los que se proporcionan en la tabla X.9.

Material	Descripción	Peso específico	Peso unitario aproximado del concreto kg./m ³
Limonita Goethita	Minerales de hierro hidratados	3.4 - 3.8	2880 - 3125
Barita	Sulfato de Bario	4.0 - 4.4	3300 - 3600
Ilmenita Hematita Magnetita	Minerales de hierro	4.2 - 4.8	3450 - 3850
Hierro	Fragmentos recortes, etc.	6.5 - 7.5	4950 - 5600

TABLA. X.9

- a.1) Si el concreto va a estar expuesto a un ambiente cálido y seco, deberá dosificar de manera que el peso unitario en fresco sea por lo menos 160 Kg./m³ más alto que el peso unitario en seco.
- a.2) Cuando se requiera que el concreto contenga aire incluido para que resista las condiciones ambientales, se debe considerar la pérdida de peso debida al espacio ocupado por el aire. Para lograr una compactación adecuada usando vibradores de alta frecuencia e intervalos de inserción seguidos, sin que se presenten pérdidas excesivas de aire incluido, se debe diseñar el concreto en estado plástico de manera tal que su contenido de aire sea alto, para compensar estas pérdidas durante la colocación.
- a.3) El concreto pesado frecuentemente se usa como protección contra la radiación. En este caso, el tipo de agregado y el peso del concreto se deben seleccionar de acuerdo a la clase de radiación de que se trate. En términos generales, mientras mayor sea la masa, mejor será la protección contra los rayos gamma y beta; sin embargo, la atenuación de los neutrones depende más de los elementos específicos presentes en el concreto, como el hidrógeno, carbono, boro, etc.
- a.4) Los materiales ferrosfórficos y ferrosilicosos (escorias pesadas) deben usarse sólo después de exámenes cuidadosos. La evolución del hidrógeno en concreto pesado que contenga estos agregados ha dado lugar en algunos casos a una reacción autolimitante, produciendo más de 25 veces su propio volumen de hidrógeno antes que termine la reacción.

a.5) En la Sección b.7). (Paso 7) debe ponerse especial cuidado si se usa el método de peso (Párrafo b.7.1.) para estimar el peso de los agregados finos en una mezcla de prueba. Los valores que aparecen en la tabla X.8, se deben corregir en lo que respecta al peso específico total del agregado, ya que las cifras de la tabla están basadas en un peso específico promedio del agregado de 2.7. Por lo tanto se recomienda que la cantidad requerida de agregado fino se determine mediante el procedimiento basado en el volumen absoluto (Párrafo b.7.2.).

b) La técnica y el equipo necesario para producir concreto pesado son los mismos que se usan para producir concretos normales. Al seleccionar los materiales pesados y al combinarlos para dosificar concretos específicos, se debe poner particular atención a los efectos de los agregados sobre la facilidad de colocación, la resistencia y la durabilidad del concreto. Las pruebas y las medidas de control de calidad tienen mucha mayor importancia que en el caso de concretos de peso normal. Resulta esencial el control de la granulometría del agregado, debido al efecto que éste produce sobre las propiedades de colocación y de consolidación del concreto, lo mismo que sobre su peso unitario. Al establecer medidas de control de calidad estrictas se debe poner especial atención en lo siguiente:

- b. 1) Prevenir que los agregados pesados se contaminen con agregados de peso normal, especialmente al almacenarlos y al transportarlos.
- b. 2) Limpiar todo el equipo de manejo del agregado y el utilizado para efectuar las pruebas, así como las premezcladoras y los camiones-mezcladoras, antes de mezclar y probar el concreto pesado.
- b. 3) Revisar la exactitud y las condiciones del equipo de transporte y de medición, así como las de almacenamiento del agregado y de las tolvas de dosificación del concreto. Debido al mayor peso de los agregados pesados, el volumen permisible de carga de las tolvas es considerablemente menor que la capacidad de 100 toneladas, diseñada para un volumen de 60 m³ de agregado de peso normal, no se debe cargar con más de 20 a 40 m³ de material con los pesos específicos que se muestran en la sección a).
- b. 4) Observar el estado y las condiciones de carga del equipo de mezclado. Para un concreto cuyo peso varíe entre aproximadamente 2 850 y 5 650 kg./m³, la capacidad de un camión- mezcladora, sin exceso de carga, se reduce entre un 20 y un 60%.
- b. 5) Establecer la dosificación exacta del agregado para conservar la relación agua/cemento. La degradación de algunos agregados gruesos pesados, especialmente las escorias de hierro, es otro problema de producción que debe ser cuidadosamente controlado. Se pueden seguir cualquiera de los dos procedimientos siguientes: (a) cribar de nuevo el agregado grueso inmediatamente antes de su incorporación al concreto o (b) efectuar ajustes en las proporciones de la mezcla para compensar el mayor porcentaje de finos en el agregado grueso, los cuales se deben a las quebraduras que sufre el agregado durante su manejo. Por lo tanto, se recomienda efectuar lo anterior con precaución y examinar con frecuencia la granulometría de los agregados almacenados.

- b. 6) Revisar a menudo los pesos unitarios del concreto.
- b. 7) Diseñar y construir cimbras capaces de soportar el peso adicional del concreto.
- b. 8) Utilizar vibradores para compactar el concreto.

X.2.- ELABORACION DEL CONCRETO CON MATERIALES LIGEROS

Concreto ligero.

El concreto más ligero que el usual de grava y arena se utiliza sobre todo para reducir la carga muerta, para aislamiento térmico, para introducir clavos o para rellenos. Las desventajas del concreto estructural incluyen un costo más elevado, la necesidad de mayor cuidado al colarlo, más porosidad y mayor contracción al secarse. Para un porcentaje dado de cemento, cuanto más ligero sea el concreto, tanto menor será la resistencia.

El concreto ligero, por lo general, se prepara con agregados ligeros o con agentes formadores de gas o espumantes, como un polvo de aluminio, agregados en la mezcla. Los agregados ligeros se producen con arcilla expansiva, esquistos, pizarra, esquistos diatomáceos, perlita, obsidiana y vermiculita con calor y enfriamiento especial de la escoria de alto horno. También se obtienen en yacimientos naturales de piedra pómez, escoria, cenizas volcánicas, toba y diatomita, así como de cenizas industriales. En la tabla se presentan los intervalos usuales de pesos obtenidos con algunos agregados ligeros.

La producción de concreto con agregados ligeros es más difícil que la del concreto normal, porque los agregados varían en relación con la absorción de agua, densidad específica, contenido de humedad y granulometría de los tamaños pequeños. Suelen ser necesarias pruebas frecuentes de peso unitario y de revenimiento, a fin de poder ajustar el contenido del cemento y del agua de la mezcla, si se desean resultados uniformes. Además, estos concretos suelen ser poco manejables y difíciles de colar y acabar, debido a la porosidad y angularidad de los agregados. A veces, los agregados pueden flotar en la superficie. La trabajabilidad puede mejorarse aumentando el porcentaje de agregado fino o con un aditivo para inclusión de aire, para incluir de 4 a 6 % de aire.

Para mejorar la uniformidad del contenido de humedad del agregado y reducir la segregación mientras está apilado y durante el transporte, el agregado ligero se debe mojar 24 horas antes de usarlo. No se debe poner agregado seco en la mezcladora (revolvedora), porque el agregado seguirá absorbiendo humedad después que salga de la mezcladora y ocasionará que el concreto se segregue y se ponga duro antes de acabar de colarlo. El curado continuo con agua es de especial importancia para el concreto ligero.

Pueden hacerse otros tipos de concretos ligeros con agregados orgánicos, con la omisión de finos, graduación por tamiz o con el remplazo de todo o parte del agregado con aire o gas. El concreto para clavar se suele hacer con aserrín, aunque también son adecuadas la escoria expandida, piedra pómez, perlita y escoria volcánica. Un buen concreto para clavar puede hacerse con partes iguales, por volumen, de cemento Portland, arena, aserrín de pino y suficiente agua para producir un revenimiento de 1 a 2 pulg. El aserrín debe ser lo bastante fino para pasar por una malla de 1/4 pulg. y lo bastante grueso para retenerlo en una malla No. 16 (La corteza en el aserrín puede retardar el fraguado y debilitar el concreto.) El comportamiento de este tipo de concreto depende del tipo de árbol del cual provino el serrín. El nogal, roble (encino) o el abeto quizá no den buenos resultados. Algunos concretos ligeros aislantes llevan virutas de madera como agregado.

Para concretos sin finos, la arena se sustituye con 20 a 30% de aire incluido. La gravilla (confitillo) sirve como agregado grueso. Este tipo de concreto se utiliza cuando se desean pesos muertos reducidos y aislamiento y la resistencia no tiene importancia. El concreto sin finos puede pesar de 1682 a 1890 Kg./M³ y tener una resistencia a la compresión de 14 a 70 Kg./Cm².

Pesos aproximados de concretos ligeros	
Agregados	Peso del concreto, Kg./M ³
Cenizas	
Sin arena	136
Con arena	1762 - 1842
Esquistos o arcilla	1442 - 1762
Piedra pómez	1442 - 1602
Escoria	1442 - 1602
Perlita	801 - 1282
Vermiculita	561 - 1202

Un concreto poroso puede hacerse por graduación con malla o con un agregado de un solo tamaño. Se utiliza cuando se desean drenaje, peso ligero y baja conductividad. Por ejemplo, los tubos de albañal pueden hacerse con agregado No. 4 de 3/8 a 1/2 pulg y una baja proporción de agua-cemento, sólo el cemento necesario para aglutinar los agregados en una masa parecida a las "palomitas de maíz".

Los concretos gaseosos y espumados se suelen hacer con aditivo. Los agentes espumantes incluyen laurilsulfato de sodio, alquilarilsulfonato, ciertos jabones y resinas. En otro proceso, la espuma se produce con el tipo de agente espumante utilizado en los extinguidores de incendio, tal como proteína de desecho hidrolizada. Los concretos espumados tienen un peso de 320 a 1762 Kg./M³.

El polvo de aluminio, cuando se utiliza como aditivo, expande el concreto porque produce burbujas de hidrógeno. Por lo general, se agrega alrededor de 100 Gr. de polvo por saco de cemento, a veces con un álcali, como hidróxido de sodio o fosfato trisódico, para acelerar la reacción.

Los concretos celulares pesados tienen suficiente resistencia para usos estructurales, como losas de piso y de techo. Los más ligeros son débiles, pero son buenos aislantes térmicos y acústicos o son útiles para rellenos, por ejemplo, se cuele sobre losas estructurales de piso para enclavar ("ahogar") los conduits eléctricos.

Agregados Ligeros.

La creciente demanda en la industria de la construcción de concreto de bajo peso volumétrico, ha creado la necesidad de recurrir a los agregados de tipo ligero. Materiales de este tipo nos lo proporciona la naturaleza o bien se obtienen artificialmente mediante la expansión por medio del color de arcillas, pizarras, arcillosas, perlita, vermiculita, etc.; mediante la expansión de escorias de altos hornos y por procedimientos especiales de refrigeración.

Dentro de los agregados de tipo ligero que nos brinda la naturaleza se mencionan la piedra pómez, las escorias y cenizas volcánicas, las tobas volcánicas, la diatomita, etc., todo de suficiente resistencia y ligereza para ser empleadas en los hormigones debajo peso volumétrico, sin más elaboración que la trituración y cribado para obtener los distintos gruesos.

Piedra pómez.

La piedra pómez es un vidrio volcánico poroso y de contextura espumosa, cuyo color varía del blanco grisáceo al amarillo. Abunda en nuestro país, principalmente en las cercanías con el Distrito Federal, en Perote, Ver., y en los Estados de Jalisco, Querétaro, Coahuila, Colima, Guanajuato y en el territorio de Baja California.

Quando su estructura es débil y con elevado porciento de absorción, puede mejorarse por calcinación a temperatura próxima a su punto de fusión. Los concretos fabricados con agregados de piedra pómez alcanzan pesos volumétricos que varían desde 1 400 a 1 600 kg./m³.

Escorias y cenizas volcánicas.

Las escorias es una roca volcánica vítrea, muy semejante a las cenizas industriales. Su color varía del rojo al negro. Las cenizas son residuos de igual naturaleza que toman el lugar de los agregados finos o arenas en la fabricación de los concretos. En nuestro país, principalmente en las zonas volcánicas, existen grandes yacimientos o mantos superficiales, que con simple cribado podemos obtener la clasificación granulométrica deseada.

El tezontle, es un material de bajo costo, duro y resistente y de estructura porosa, por lo tanto, muy apto para confeccionar concretos económicos, ligeros (entre 1400 y 1700 kg./m³), y de resistencia satisfactoria para diversos usos. En realidad no hemos sabido prestar debida atención a este material y a otros similares que tan pródigamente nos proporciona nuestro suelo; sin embargo, otros países recurren a la industrialización para obtener artificialmente materiales de este tipo o de iguales características.

Tobas volcánicas.

Las tobas volcánicas son, como se asentó en el Cap. 4, polvos, cenizas o barros eruptivos que han sufrido un proceso de consolidación. Este material, además de ser, en unión de la piedra pómez, una magnífica puzolana, se emplea como la pómez para la dosificación de los hormigones o concretos ligeros. Abunda en nuestro suelo, principalmente, en el Distrito Federal, Estado de México, Guadalajara, Veracruz, etc. Su peso volumétrico varía entre 800 y 1100 kg./m³. Se les conoce con los nombres de tepetate, tepechil, y jal, de acuerdo con la región y con sus composiciones químicas.

Una adecuada dosificación, en la que el agregado fino fuera cualquiera de nuestras tobas volcánicas y el agregado grueso.

Nuestro tezontle nos proporciona un concreto de tipo ligero y de adecuada resistencia, pero desgraciadamente la falta de datos relativos, encomendados a los gobiernos de cada país, y la poca

preocupación de nuestros constructores, nos hace estar muy lejos para equipararnos con otros países en donde los concretos de tipo ligero ya han invadido con eficiencia los mercados de la construcción.

Perlita.

La perlita es un material de origen volcánico que requiere un proceso industrial, por medio del cual se le infla, adquiriendo una estructura cavernosa de celdas no intercomunicadas. Ha sido en verdad una magnífica y reciente adición en el campo de los agregados, pues su excepcional resistencia en relación con su peso la hace útil para muchas aplicaciones. Como se le prepara industrialmente, su peso volumétrico puede controlarse y varía desde 320 a 800 kg./m³.

Este material de grandes ventajas en la dosificación de concretos ligeros y aplicaciones diversas, tanto en la industria de la construcción, donde se aprovecha además como material de aislamiento acústico y térmico, como en la industria de la refrigeración, etc., se está beneficiando o fabricando en el Distrito Federal con el nombre de Carlita, partiéndose de la roca volcánica denominada Perlita, cuyos yacimientos principales se encuentran en el Estado de Hidalgo.

Vermiculita.

La vermiculita es un producto proveniente de la alteración de la biotita y otras clases de mica. Por calcinación se dilata normalmente a los planos de exfoliación, cuyo volumen se hace 30 veces mayor que el volumen que tenía el material antes de ser calentado. Su empleo principal está generalizado en los recubrimientos para aislamientos acústicos y térmicos. Su peso volumétrico varía de 460 a 1000 kg./m³. Los concretos donde se ha utilizado este material resultan con baja resistencia, que puede mejorarse a costa del peso volumétrico, adicionando material inerte pesado.

Diatomita.

La diatomita es una roca sedimentaria compuesta principalmente de esqueletos de diatomeas o infusorios, por lo que se le conoce también con los nombres de tierra diatomácea o tierra de infusorios. Aunque puede usarse en los concretos ligeros, previa calcinación como material inerte fino.

No es aconsejable por la mayor cantidad de agua que requiere la masa, en cambio, como material adicional y en un 8% con relación al peso del cemento, hace el papel de dispersor, más manejable las mezclas secas y proporciona impermeabilidad al concreto o mortero hidráulico donde interviene.

Arcilla y pizarras arcillosas expansionadas.

En los Estados Unidos de Norteamérica se producen agregados ligeros bajo los nombres de Haydite y Lytay, y en Suecia y Checoslovaquia con el nombre de Porag. se obtienen calentando las arcillas rápidamente y a temperatura tal que se produzca cierto grado de fusión en el cual se hacen blandas, se dilatan e hinchan considerablemente. Un agregado de tipo similar se produce mediante el calor sobre ciertas pizarras. Los desperdicios de las canteras de pizarra se trituran a tamaños convenientes y se les someten a calentamiento hasta un principio de fusión, lo que provoca un desprendimiento considerable de gases, y da origen a dilatación o hinchazón en sentido perpendicular

a la estratificación de la pizarra. Los productos obtenidos son estables e inertes, y dan hormigones con peso volumétrico que varían de 600 a 1 600 kg./m³, según la dilatación de los agregados.

Escorias granuladas.

Las escorias granuladas que se han de utilizar como agregados inertes y de bajo peso volumétrico, se preparan por medio del rápido enfriamiento de las escorias líquidas, según se explica en el párrafo (87d), más como en este caso no se pretende que el material satisfaga las propiedades puzolánicas, pueden utilizarse las escorias de bajo contenido de sal.

La cantidad de agua empleada y la rapidez con que se logre el enfriamiento tiene marcada influencia en el producto resultante, pues sus propiedades de resistencia y peso pueden variar dentro de amplios márgenes. El contenido de cal es también factor determinante en las propiedades del producto resultante, pues las escorias ácidas con un contenido máximo de 35% de cal, dan productos más duros y compactos, al ser granuladas, que las de dosificación más altas de cal. El peso volumétrico de los concretos fabricados con este tipo de agregado varían de 800 a 1 450 kg./m³, según la escoria y el método de granulación empleada.

Propiedades de los agregados ligeros.

Las propiedades de los agregados ligeros son muy variables, por ejemplo, la resistencia de los concretos con arcilla y pizarras expansionadas o perlita con alto peso volumétrico, es relativamente alta y comparable a la del concreto ordinario. La piedra pómez, las escorias volcánicas y algunas escorias expansionadas producen concretos de resistencia intermedia; la vermiculita y la diatomita producen un concreto de poca resistencia.

Las propiedades aislantes de los concretos de poca resistencia son, en cambio los mejores que las de los más pesados y resistentes. La contracción que sufren los concretos de tipo ligero son mayores que la de los concretos normales; sin embargo, los que se dosifican con pizarras, arcillas expansionadas o escorias volcánicas, sufren contracciones muy similares a la de los concretos normales.

Los agregados ligeros, al igual que los agregados para concreto normales, deben satisfacer la condición de estar limpios, de composición química estable, ser resistentes para el objetivo a que se destinan, etc., y satisfacer también todas las especificaciones relativas.

Es de esperarse que en un futuro próximo veamos en nuestro medio la utilización racional de los materiales inertes de tipo ligero para la dosificación de concreto de bajo peso volumétrico, que tanto reclama nuestro subsuelo.

X.3.- ESPECIFICACIONES GENERALES DE LOS AGREGADOS PETREOS PARA EL CONCRETO.

Los materiales pétreos que se usan en la elaboración de concreto se clasifican en agregados finos y agregados gruesos.

El agregado fino deberá cumplir con los siguientes requisitos:

A) De granulometría:

- 1) Estará comprendida entre las mallas No. 3/8 y 100, de conformidad a la tabla X.II.
- 2) Los porcentajes mínimos especificados en la tabla referida para el material que pasa las mallas Núms 50 y 100 pueden reducirse a cinco (5) y a cero (0) respectivamente, si el agregado va ser empleado en concretos con aire incluido con un contenido de más cemento doscientos cincuenta (250) kilogramos por metro cúbico, o en los concretos sin aire incluidos con un contenido de cemento mayor de trescientos (300) kilogramos por metro cúbico, o si se usa un aditivo mineral que supla las deficiencias en las cantidades de material que pasa dichas mallas. Se considera como concreto con aire incluido, el obtenido mediante el empleo de un agente inclusor de aire con un contenido de aire mayor de tres por ciento (3%).
- 3) El agregado fino no deberá tener más del cuarenta y cinco por ciento (45%) retenido entre dos (2) mallas consecutivas de las mencionadas en este inciso y su módulo de finura no deberá ser menor de dos punto treinta (2.30) ni mayor de tres punto diez (3.10).
- 4) Si el módulo de finura varía en más de veinte centésimos (0.20) del valor empleado en el cálculo de las proporciones del concreto, se harán los ajustes necesarios en dichas proporciones, para compensar las variaciones de composición granulométrica.

B) De contenido de sustancias perjudiciales:

- 1) Estará comprendido dentro de las tolerancias siguientes:

SUBSTANCIAS PERJUDICIALES	Porcentaje máximo en el peso de la muestra total.
Partículas deleznaibles que se rompen fácilmente.	1.0
Material que pasa la malla Núm. 200:	
Para concretos sujetos a desgaste.	3.0 (a)
Para concretos de cualquier otro tipo	5.0 (a)
Carbón y lignito:	
Para concretos aparentes.	0.5
Para concretos de cualquier otro tipo	1.0

En el caso de arenas obtenidas por trituración, si el material que pasa la malla Núm. 200 está formado por el polvo producto de la trituración exento de arcilla o pizarras, estos límites pueden aumentar hasta cinco por ciento (5%) y siete por ciento (7%), respectivamente.

- 2) No deberán tener impurezas orgánicas en cantidad tal, que produzcan una coloración más oscura que la estándar, determinada con el método de prueba indicado se podrá emplear si se demuestra que la coloración se debe principalmente a la presencia de pequeñas cantidades de carbón mineral, lignito o partículas similares; o bien, si al probarse para determinar el efecto de las impurezas orgánicas en la resistencia del mortero, su resistencia relativa a la compresión a siete (7) y veintiocho (28) días, es mayor del noventa y cinco por ciento (95%), calculada de acuerdo con el método de prueba.
- 3) El agregado fino que se emplee en concretos que vayan a estar sujetos a humedecimientos, exposición prolongada en atmósfera húmeda o en contacto con suelos húmedos, no deberá contener materiales que reaccionen perjudicialmente con los álcalis del cemento, causando expansión mayor de doscientos milésimos por ciento (0.200%) a la edad de un (1) año. En casos especiales en que los agregados finos contengan materiales que tengan reactividades, la Secretaría se reserva el derecho de hacer todos los estudios que considere necesarios, antes de aprobarlos o rechazarlos definitivamente.

C) De intemperismo acelerado:

- 1) Con excepción de lo previsto en los sub-párrafos 2) y 3) de este párrafo, el agregado fino sujeto a los cinco (5) ciclos de la prueba de intemperismo acelerado, no deberá tener una pérdida, en peso, mayor de diez por ciento (10%) cuando se emplee sulfato de sodio o de quince por ciento (15%) cuando se emplee sulfato de magnesio. La pérdida deberá calcularse en una muestra que cumpla los requisitos de granulometría, indicados en el párrafo A) de este inciso.
- 2) El que no satisfaga los requisitos del sub-párrafo 1) de este párrafo, puede aceptarse cuando un concreto de propiedades comparables, hecho con agregados similares del mismo origen, haya dado servicio satisfactorio, a juicio de la Secretaría, en condiciones similares de intemperismo.
- 3) Un agregado fino del cual no se tengan antecedentes y no satisfaga los requisitos del sub-párrafo 1) de este párrafo, puede aceptarse siempre y cuando se obtengan con _l_ buenos resultados en concreto sujetos a pruebas de congelación y deshielo.

El agregado grueso podrá ser grava natural, grava triturada o escorias de altos hornos enfriadas en aire o una combinación de dichos materiales, que satisfaga los requisitos que se fijan a continuación:

A) De granulometría, indicados en la tabla X.10.

TAMAJO NOMINAL	POR CIENTO EN PESO QUE PASA POR LAS MALLAS												
	4" 101.6 mm	3 1/2" 90.5 mm	3" 76.1 mm	2 1/2" 64.0 mm	2" 50.8 mm	1 1/2" 38.1 mm	1" 25.4 mm	3/4" 19.0 mm	1/2" 12.7 mm	3/8" 9.51 mm	NUM. 4 4.75 mm	NUM. 6 2.36 mm	NUM. 10 1.19 mm
85.0 mm A 38.1 mm 3 1/2" A 1 1/2"	100	90 A 100		25 A 60		0 A 15		0 A 5					
64.0 mm A 38.1 mm 2 1/2" A 1 1/2"			100	90 A 100	35 A 70	0 A 15		0 A 5					
50.8 mm A 4.75 mm 2" A NUM. 4				100	90 A 100		35 A 70		10 A 30		0 A 5		
38.1 mm A 4.75 mm 1 1/2" A NUM. 4					95 A 100		35 A 70		10 A 30		0 A 5		
25.4 mm A 4.75 mm 1" A NUM. 4						100	95 A 100		25 A 60		0 A 10	0 A 5	
19.0 mm A 4.75 mm 3/4" A NUM. 4							100	90 A 100		20 A 55	0 A 10	0 A 5	
12.7 mm A 4.75 mm 1/2" A NUM. 4								100	90 A 100	40 A 70	0 A 15	0 A 5	
9.51 mm A 2.36 mm 3/8" A NUM. 6									100	85 A 100	10 A 30	0 A 10	0 A 5
50.8 mm A 25.4 mm 2" A 1"					90 A 100	35 A 70	0 A 15		0 A 5				
38.1 mm A 19.0 mm 1 1/2" A 1"					100	90 A 100	20 A 55	0 A 15		0 A 5			

TABLA.X.10

B) De contenido de sustancias perjudiciales:

1) Estará comprendido dentro de las tolerancias siguientes:

SUBSTANCIAS PERJUDICIALES	Porcentaje máximo en el peso de la muestra total
Partículas deleznable.	0.25
Partículas suaves.	5.0
Federal como impureza (a) que se desintegre en los (5) ciclos de la prueba de sanidad o aquel que tenga una gravedad específica, saturado y superficialmente seco, menor de dos punto treinta y cinco (2.35):	
Para condiciones severas de exposición.	1.0
Para condiciones medias de exposición.	5.0
Material que pasa la malla Núm. 200.	1.0 (b)
Carbón mineral y lignito:	
Para concretos aparentes.	0.5
Para concretos de cualquier otro tipo.	1.0

- Las limitaciones de sanidad de estos agregados deberán estar basadas adicionalmente en la experiencia tenida por el comportamiento en el medio ambiente en que se emplee, todo ello a juicio de la Secretaría.
 - En el caso de agregados triturados, si el material que pasa la malla Núm. 200, constituidos por el polvo producto de trituración, está exento de arcillas o pizarras, el porcentaje puede ser uno punto cinco (1.5).
- 2) El agregado grueso que se use en concretos que vayan a estar sujetos a humedecimientos, exposición prolongada en atmósferas húmedas o en el contacto con suelos húmedos, no deberá contener material que reaccione perjudicialmente con los álcalis de cemento, causando expansión mayor de doscientos milésimos por ciento (0.200%) a la edad de un año (1).

En casos especiales en que los agregados gruesos contengan materiales que tengan reactividad, la Secretaría se reserva el derecho de hacer todos los estudios que considere necesarios, antes de aprobarlos o rechazarlos definitivamente.

C) De peso volumétrico. La escoria de altos hornos, que satisfaga los requisitos granulométricos para emplearse en la elaboración de concreto, deberá tener un peso volumétrico compacto no menor de mil ciento veinte (1,120) kilogramos por metro cúbico.

D) De intemperismo acelerado:

- 1) Con excepción de lo previsto en los sub-párrafos 2) y 3) de este párrafo, el agregado sujeto a los cinco (5) ciclos de la prueba de intemperismo acelerado deberá tener una pérdida, en peso, no mayor de doce por ciento (12%) cuando se emplee sulfato de sodio o de dieciocho por ciento (18%) cuando se use sulfato de magnesio. La pérdida calcularse en una muestra que cumpla los requisitos de granulometría indicada en el párrafo A) de este inciso.
- 2) El que no satisfaga los requisitos del sub-párrafo 1) de este párrafo puede aceptarse cuando un concreto de propiedades comparables, hecho con agregados similares del mismo origen, haya dado servicio satisfactorio, a juicio de la Secretaría en condiciones similares de intemperismo.
- 3) Un agregado grueso del cual no se tengan antecedentes y no satisfaga los requisitos del sub-párrafo 1) de este párrafo, puede aceptarse siempre y cuando se obtengan con él buenos resultados en concretos sujetos a prueba de congelación y deshielo y se obtengan concretos de resistencia adecuada.

E) De resistencia al desgaste:

- 1) Con excepción de lo prescrito en el sub-párrafo 2) de este párrafo, el agregado grueso ensayado al desgaste deberá tener una pérdida no mayor del cincuenta por ciento (50%), en peso. Esta pérdida deberá determinarse en el tamaño o tamaños de prueba más semejantes a los correspondientes en granulometrías los que se van a emplear en el concreto. Cuando se empleen varias granulometrías el límite de pérdida por desgaste deberá aplicarse en cada una.
- 2) A juicio de la Secretaría y cuando el concreto se utilice para la formación de un elemento estructural que no está sujeto a la abrasión, el agregado grueso que tenga una pérdida al desgaste mayor del cincuenta por ciento (50%), en peso, podrá usarse siempre y cuando con dichos agregados se obtenga una resistencia satisfactoria en el concreto.

El muestreo de los agregados para concreto y la determinación de sus propiedades de granulometría, cantidades de material que pasan la malla Núm. 200, impurezas orgánicas y efectos de las impurezas orgánicas en la resistencia, resistencia a la compresión, resistencia a la flexión, intemperismo acelerado, partículas delzables, partículas ligeras (carbón y lignito), peso de la escoria, desgaste del agregado grueso, módulo de finura, partículas suaves, agregados reactivos y congelamiento y deshielo, deberán efectuarse de acuerdo con los métodos que se describieron anteriormente.

DESCRIPCION DE ALGUNAS PRUEBAS DE LABORATORIO

En este capítulo solo describiremos algunas pruebas de Resistencia de Materiales y de Mecánica de suelos, con el objeto de tener idea de como se efectúan las pruebas en un laboratorio. Ya que por el número de pruebas, sería muy laborioso describirlas todas.

Si se quiere tener un conocimiento más extenso y detallado de las pruebas de laboratorio se recomienda consultar un tratado de laboratorio de materiales, o bien especificaciones o normas de calidad dictadas por Instituciones oficiales, Institutos de Investigación Científica o Laboratorios de ensaye de materiales de reconocido prestigio.

Concepto de prueba o ensaye de un material.- Se define como el proceso o serie de procesos que se realizan apeándose a ciertas normas o especificaciones, para determinar alguna o algunas de sus propiedades. Los fines principales que se persiguen al efectuar el ensaye de un material de construcción son:

- a) Conocer sus propiedades para tener una idea clara del comportamiento que tendrán en la vida práctica.
- b) Fijar las normas a que se debe sujetar para mantener su calidad uniforme.
- c) Investigar nuevas características obtenidas mediante el mejoramiento de la técnica empleada en su elaboración.

Las pruebas se efectúan en máquinas de ensaye cuyo funcionamiento es perfectamente conocido, y se ha construido apeándose a especificaciones o normas aceptadas.

Además estas pruebas o ensayos deberán cumplir con las siguientes condiciones:

- a) Deben ser significativas, o sea que los datos obtenidos sean resultados prácticos.
- b) Deben ser de precisión perfectamente conocida y calculada ; para lo cual se deben emplear aparatos calibrados y de funcionamiento correcto.
- c) Deben ser económicas, si una prueba no es económica dentro de ciertos límites, no es posible realizarla periódicamente y por lo tanto no se puede conocer con cierta seguridad el comportamiento del material, o los cambios que éste tenga al mejorar la técnica de fabricación.
- d) Deberá programarse con cierto criterio el número y tipo de pruebas que es necesario hacer a un cierto material.

RESISTENCIA DE MATERIALES

Pruebas de agregados pétreos para concreto:

Análisis granulométrico o granulometría.- El análisis granulométrico o granulometría de un agregado pétreo, es el procedimiento manual o mecánico que se realiza para cuantificar mediante su cribado por mallas o cedazos de diferente abertura, las cantidades en peso que de cada tamaño constituyen el total. Estas cantidades se acostumbra expresar como porcentos retenidos por cada malla del total del material cribado. Los porcentajes se calculan tanto parciales como acumulativos y con los valores obtenidos acumulativos, se traza una gráfica de valores límites granulométricos, y esta es la curva que adopta la granulometría del material.

Especificaciones que deben cumplir las arenas utilizadas en concreto.- El agregado fino o arena deberá cumplir con ciertos requisitos de tamaño de las diferentes partículas que lo constituyen.

Estos requisitos son fijados por especificaciones, y de acuerdo con los de American Society Testing Materials, son los siguientes:

Tamaño de Malla (nominal)	Porcentajes	
	Pasando	Retenidos
3/8" Unidades	100	0
No. 4 (4760 micras)	95 a 100	0 a 5
No. 8 (2380 micras)	80 a 100	0 a 20
No. 16 (1190 micras)	50 a 85	15 a 50
No. 30 (590 micras)	25 a 60	40 a 75
No. 50 (297 micras)	10 a 30	70 a 90
No.100 (149 micras)	2 a 10	90 a 98
No.200 (74 micras)		

TABLA X.11

Se acostumbra utilizar la malla No. 200 (74 micras) además de las anteriores, para cuantificar el contenido de polvo que pasa por esta malla, y que depositado en una charola, acoplada a todas las mallas en la parte inferior, se pesa al final de la operación de cribado.

Para tener una representación gráfica de la composición granulométrica de la arena, se traza una cuadrícula, en el cual el eje de las abscisas se refiere a las mallas usadas, y en el de las ordenadas los porcentajes retenidos acumulativos en cada una de las mallas. Con los valores que se tienen de la tabla X.11, se trazan dos curvas límites que servirán para definir si un cierto agregado fino está dentro o fuera de especificaciones.

El límite de la cuadrícula y la curva superior derecha, nos define una zona en donde quedarán alojadas las curvas representativas de arenas gruesas, porque los puntos que definen el lugar geométrico de su clasificación granulométrica, son ordenadas mayores a los puntos de la curva límite por tener mayores sus retenidos. El límite inferior izquierdo de la cuadrícula y la curva inferior izquierda, nos define la zona de las arenas finas por tener los puntos representativos de todas las curvas, ordenadas menores a la curva límite.

En la fig. X.7. se observa lo indicado.

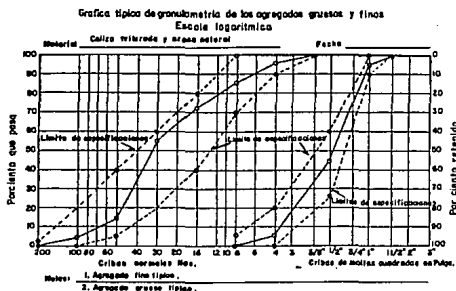


Fig. X.7

Método de ensaye para determinar la granulometría de las arenas (ASTM).

Los aparatos que se requieren para la prueba son los siguientes:

- 1) Balanza sensitiva en 0.01% del peso de la muestra.
- 2) Un juego de mallas para arena, que comprende la del No. 200, una tapa y una charola para recoger el polvo.
- 3) Un cepillo de cuerda para limpiar las mallas.

Procedimiento.- La muestra de arena se obtiene mediante cuarteos sucesivos del volumen total, se secará a peso constante y deberá cumplir con los pesos siguientes:

Material con por lo menos el 95% de partículas menores de la malla No. 10 (2000 micras) 100 gr.

Material con por lo menos el 90% del material más fino de la malla No. 4 (4760 micras) y más el 5% mayor de la malla No. 10 (2000 micras) 500 gr.

Para secar la muestra, se deberá emplear un horno a temperatura que no exceda de 110 °C.

Se hace pasar la muestra por todas las mallas especificadas, efectuando la operación de cribado, el cual será manual o mecánico con el aparato Ro-Tap. El cribado consiste en hacer pasar el material a través de cada una de las mallas, para que las partículas se vayan clasificando de acuerdo con sus tamaños.

Una vez que se termina el tiempo de cribado, se deposita el contenido de cada una de las mallas, sobre una hoja de papel, y se procede a su pesado en la balanza. Las pesadas se deberán iniciar con el material retenido en la malla No. 4, hasta llegar al material depositado en la charola que es el polvo.

Módulo de Finura.- El módulo de finura de un agregado pétreo es un índice que nos describe en forma rápida y breve, la proporción de finos o de gruesos que se tienen en las partículas que lo construyen.

El módulo de finura de la arena se calcula sumando los porcentajes retenidos en las mallas; No. 4, 8, 16, 30, 50 y 100 inclusive y dividiendo el total entre 100.

A continuación se presentará un ejemplo del análisis granulométrico de la arena incluyendo el cálculo del módulo de finura. La representación geométrica de la curva obtenida con los valores de los porcentajes retenidos acumulativos, se ilustra entre las curvas límites de la Fig. X.7.

Según múltiples experiencias se ha visto que conviene que el módulo de finura de la arena está comprendido entre 2.3 y 3.5 para ser utilizada como material fino, para la elaboración de concreto hidráulico.

Por lo que respecta al material que pasa la malla No. 200, que se clasifica como polvo normalmente está limitada a un 3% como máximo del total.

Ejemplo del análisis granulométrico de una arena

No. de la Malla	Peso retenido en gramos	Porcentaje del Total	Porcientos enteros	Porcientos enteros acumulados
4	46.0	9.3	9	9
8	76.5	15.3	15	24
16	82.0	16.5	17	41
30	76.0	15.2	15	56
50	58.0	11.6	12	68
100	56.0	11.2	11	79
200	42.0	8.4	3	87
Charola	63.5	12.7	13	100
Sumas :	500.0	100.2	100	464

$$MF = \frac{277}{100} = 2.77$$

La granulometría del material que se analizó, se encuentra dentro de las especificaciones usuales. Una arena con granulometría aceptable, generalmente adopta una curva que trata de seguir en su pendiente, a alguna de las dos curvas límites de las especificaciones.

Método de ensaye para determinar la granulometría del agregado grueso.- El procedimiento que se sigue para el ensaye granulométrico de la grava, es similar al que se describió para la arena, empleándose mallas de diferente abertura y diferente peso en las muestras necesarias para ensayar, que depende del tamaño máximo del agregado. Las muestras de agregado grueso para análisis granulométrico deberán pesar, ya secas, no menos de la cantidad que se indica.

Con los porcentajes acumulados, se traza la curva correspondiente al agregado ensayado en la gráfica del tamaño máximo que se obtuvo en la prueba. Existen curvas límites para cada tamaño máximo de agregado que se utiliza comúnmente en la elaboración de concreto.

Para poder juzgar si una grava es gruesa o fina basta observar si su curva granulométrica se encuentra adosada a la curva límite superior o a la inferior respectivamente.

Método de ensaye para determinar la sanidad y resistencia al intemperismo de los agregados pétreos mediante el empleo de soluciones concentradas de sulfato de sodio o de magnesio. El procedimiento que sigue este método nos proporciona información para juzgar la sanidad de los agregados expuestos a la acción de la intemperie, especialmente cuando no se dispone de información adecuada respecto al comportamiento de los materiales en condiciones reales de intemperismo. Los resultados de prueba obtenidos usando estas dos sales difieren considerablemente.

Es necesario el siguiente equipo para la prueba:

a) Mallas normalizadas con aberturas cuadradas de los siguientes tamaños:

SERIE FINA	SERIE GRUESA
No. 100 (149 micras)	0.95 cm. (3/8")
No. 50 (297 micras)	1.27 cm. (1/2")
No. 30 (590 micras)	1.91 cm. (3/4")
No. 16 (1190 micras)	2.54 cm. (1")
No. 8 (2380 micras)	3.81 cm. (1-1/2")
No. 4 (4760 micras)	5.08 cm. (2")
	6.35 cm. (2-1/2")

b) Recipientes.

c) Control de temperatura

d) Balanza

e) Horno para el secado del material.

Además se requiere las siguientes soluciones especiales: solución saturada de sulfato de sodio o solución saturada de sulfato de magnesio.

Procedimiento.- Las muestras de agregado grueso y fino se lavan cuidadosamente; se secan a peso constante a una temperatura de 105 a 110 °C y se separan por cribados en sus diferentes tamaños.

A continuación la cantidad apropiada de la muestra para cada fracción se pesara y colocara en recipientes separados para proceder a su ensaye.

Las muestras deberán sumergirse en la solución de sulfato de sodio por un tiempo no menor de 16 horas ni mayor de 18 horas, de manera que la solución las cubra. Los recipientes deberán taparse para evitar la evaporación y prevenir la contaminación con material extraño. Las muestras deberán mantenerse a una temperatura de 21 más menos 1 °C durante el período de inmersión.

En el caso de usar una solución de sulfato de magnesio se procede en forma semejante.

Después del período de inmersión, el agregado se extrae, y después de permitir su drenado se seca en el horno a una temperatura 105 a 110 °C. Se debe tener cuidado para evitar la pérdida de material.

Al terminar de secar las muestras a peso constante, se deja enfriar a la temperatura ambiente, y se vuelven a sumergir en la solución específica. Cada secado de inmersión constituye un ciclo de prueba; el número de ciclos que constituye la prueba es de cinco.

Examen Cuantitativo.- El examen cuantitativo se hace en la forma siguiente: después de terminar el ciclo final y de que la muestra se ha enfriado, se deberá lavar está hasta que quede libre de sulfato de sodio o magnesio, lo cuál se determinara por la reacción del agua del lavado con cloruro de bario. Una vez que se haya eliminado la solución se secara cada fracción hasta peso constante a una temperatura entre 105 y 110 °C se pesara y se cribara en la misma malla en que haya sido retenida antes de la prueba se deberán pesar las partículas retenidas en dicha malla y se anotara su peso.

Examen Cualitativo.- Las fracciones de muestras mayores de 1.91 cm. (3/4"), se deberán examinar cualitativamente después de cada inmersión y al finalizar la prueba. El examen cualitativo y su reporte deberá consistir en dos partes: observación del efecto de la acción de la solución de sulfato de sodio o de magnesio y la naturaleza de dicha acción y en segundo lugar, cálculo del número de partículas efectuadas.

Los diferentes tipos de acción se pueden clasificar como disgregación, ruptura, agrietamiento, desmoronamiento, escamación, etc. Aunque solo se hace este examen a las partículas mayores de 1.91 cm. (3/4"), se recomienda que se haga examen a tamaños menores, para determinar si hay evidencia de una ruptura excesiva.

El reporte incluye el peso de cada fracción de cada muestra antes de la prueba; el porcentaje de pérdida para cada fracción, basado en la granulometría de la muestra original y el promedio de porcentaje de estas pérdidas. Para el caso de material mayor de 1.91 cm. (3/4"), se reportara el

número de partículas de cada fracción en la muestra original, y el número de partículas afectada, ya sea por disgregación, ruptura, desmoronamiento, agrietamiento, escamación, etc. Finalmente se reportará el tipo de solución empleada.

Especificaciones para el agregado fino y agregado grueso. La pérdida en peso para el agregado fino no deberá ser mayor de 10% cuando se use sulfato de sodio y 15% cuando se use sulfato de magnesio. Para el agregado grueso la pérdida de peso no debe ser mayor de 18% cuando se usa sulfato de magnesio. Si el agregado no cumple estas especificaciones se puede utilizar solo con tal de que su comportamiento sea satisfactorio en concretos elaborados con anterioridad, expuestos a condiciones de intemperismo similares a las que se van a tener.

Método de prueba de abrasión del agregado grueso, por medio de la máquina Los Angeles.- Este método se refiere al procedimiento a seguir para determinar la resistencia a la abrasión de la roca, escorias trituradas y gravas sin triturar y trituradas por medio de la máquina Los Angeles y una carga abrasiva.

Se requieren los siguientes aparatos:

a) Máquina de Los Angeles para pruebas de abrasión. Consiste esencialmente en un cilindro hueco de acero, cerrado en ambos extremos, con un diámetro interior de 71.12 cm. (28") y una longitud interior de 50.80 cm. (20"). El cilindro deberá estar montado en pivotes de acople con los extremos del cilindro, pero que no penetren a él, de tal manera que pueda girar con su eje en posición horizontal. Este eje es movido por medio de un engrane conectado a un motor con capacidad no menor de 1hp. Se deberá dejar una abertura en el cilindro para introducir la muestra de prueba y además se usara una tapa a prueba de polvo para cubrir la abertura.(FIG.X.8).

b) Mallas Tyler estándar de abertura cuadrada cuyas denominaciones se dan a continuación. (TABLA 12)

c) Carga abrasiva, que consiste en esferas de acero, de aproximadamente 4.76 cm. (17/8") de diámetro y que pesan aproximada una entre 390 y 445 gramos. La carga abrasiva de acuerdo con la granulometría de la muestra deberá ser la siguiente:

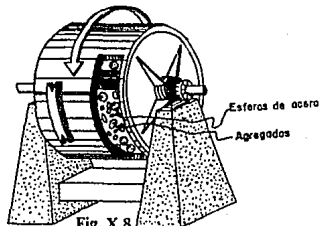


Fig. X.8
TAMBOR PARA PRUEBA "LOS ANGELES"

Granulometría	No. de Esferas	Peso de la Carga (gr.)
A	12	5000 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 20
D	6	2500 ± 15
E	12	5000 ± 25
F	12	5000 ± 25
G	12	5000 ± 25

Las muestras deberán cumplir los siguientes requisitos: El agregado deberá estar limpio y seco a temperatura entre 105 y 110 °C, hasta prácticamente peso constante, y deberá estar de acuerdo con alguna de las granulometrías de la siguiente tabla X.12. La granulometría usada deberá ser la que se aproxime más a la granulometría real del material que va a usarse.

TAMAÑO DE LAS MALLAS ABERTURA CUADRADA		PESO Y GRANULOMETRÍA DE LA MUESTRA DE PRUEBA EN GRAM						
PASANDO	RETENIDAS	A	B	C	D	E	F	G
7.62 cm. (3")	6.35 cm. (2 1/2")					2500 *		
6.35 cm. (2 1/2")	5.08 cm. (2")					2500 *		
5.08 cm. (2")	3.81 cm. (1 1/2")					2500 *	5000 *	
3.81 cm. (1 1/2")	2.54 cm. (1")	1250					5000 *	5000 *
2.54 cm. (1")	1.91 cm. (3/4")	1250						5000 *
1.91 cm. (3/4")	1.27 cm. (1/2")	1250	2500					
1.27 cm. (1/2")	0.95 cm. (3/8")	1250	2500					
0.95 cm. (3/8")	0.64 cm. (1/4")			2500				
No. 3	No. 4 (4760 micras)			2500				
No. 4	No. 8 (2380 micras)				5000			

(*) SE PERMITE UNA TOLERANCIA DE MAS O MENOS (2%).

TABLA X.12.

Procedimiento.- La muestra de prueba y carga abrasiva se coloca en la máquina Los Angeles haciendo girar esta a una velocidad entre 30 y 33 R.P.M. para las granulometrías A, B, C, y D, la máquina deberá mover y contrapesar de modo que mantenga una velocidad periférica uniforme. Al terminar la prueba deberá descargarse el material de la máquina y hacerse una separación preliminar en una malla más gruesa que la No. 12, la porción más fina se cribará por una malla No. 12, el material que se retenga en esta malla deberá lavarse y secarse en horno a una temperatura del peso original de la muestra. Este valor deberá reportarse como por ciento de desgaste.

Las propiedades de los agregados pétreos y del cemento tienen un efecto importante sobre la resistencia y durabilidad del concreto y sobre la cantidad de agua requerida para su colocación. Cuando permanecen constantes las fuentes de origen de los ingredientes, el tipo de cemento y la cantidad de aditivo, es posible variar dentro de un intervalo amplio la cantidad de cemento, la granulometría, el tamaño máximo de los agregados y la consistencia del concreto, sin afectar materialmente la resistencia, siempre que la calidad de la pasta de cemento, determinada por la relación agua cemento se mantenga constante.

Relaciones establecidas son necesarios algunos datos de laboratorio. Deben determinarse la granulometría, densidad y absorción de los agregados finos y gruesos, peso volumétrico del agregado

grueso compactado con varilla. Debe saberse si el cemento es un inclusor de aire o no, también debe conocerse su densidad, aunque generalmente se acepta el valor de 3.15. Además es necesario conocer el contenido total de humedad en cada uno de los agregados, por determinaciones de campo o cualquier otro método, para calcular los pasos que deben usarse en la obra.

El aire incluido intencionalmente mediante el uso de un cemento con inclusor de aire o de un aditivo, mejora bastante la trabajabilidad del concreto y su resistencia al intemperismo.

Al incluir aire en el concreto disminuye su resistencia a la compresión, pero esta disminución no es muy grande y solo se manifiesta en mezclas con más de 350 kg. de cemento por metro cúbico de concreto. En cambio para mezclas pobres con menos de 250 kg. de cemento por metro cúbico de concreto, las resistencias generalmente se incrementan con la inclusión de aire en cantidades adecuadas.

Selección del proporcionamiento.- El concreto debe colocarse con la cantidad mínima de agua de mezclado compatible con su manejo adecuado, ya que ello tendrá a mejorar ampliamente su resistencia, durabilidad y otras propiedades deseables. El proporcionamiento debe seleccionarse para producir un concreto.

- 1) Que de la consistencia más seca (menor revenimiento) que pueda colocarse eficientemente hasta obtener una masa homogénea.
- 2) Con el tamaño máximo de agregado, disponible económicamente y compatible con su colocación satisfactoria.
- 3) De durabilidad adecuada, para resistir satisfactoriamente el intemperismo y otros agentes destructores a que pueden estar expuestos.
- 4) Que dé resistencia requerida para resistir sin peligro de falla las cargas que le serán impuestas.

Revenimiento y tamaño máximo del agregado.- Tablas X.13. Y X.14., presentan limitaciones recomendadas para el revenimiento y el tamaño máximo del agregado.

Deben usarse mezclas con la consistencia más seca que pueda colocarse eficientemente, ya que si las mezclas tienen alto revenimiento, son difíciles de colocar sin segregación y casi siempre producen concreto débil y falto de durabilidad.

TIPO DE CONSTRUCCIÓN	Revenimiento, Cm	
	MAXIMO*	MINIMO
Muros y zapatas de cimentación de concreto reforzado	8	2
Zapatas simples, cajones y muros de la subestructura	8	2
Vigas y muros de concreto reforzado	10	2
Columnas	10	2
Pavimentos y losas	8	2
Concreto masivo	5	2

* Puede aumentar 2Cm. cuando se utilicen métodos de compactación diferentes al de vibración.

TABLA X.13.

Dentro de los límites de la economía debe usarse el máximo tamaño de agregado permisible, ya que su uso permite una reducción en las cantidades de agua y de cemento. Sin embargo, el tamaño máximo no debe ser mayor que la quinta parte de la dimensión estrecha entre los lados de las cimbras, ni mayor de las tres cuartas partes del espaciamiento mínimo entre las barras de refuerzo. Pueden usarse tamaños menores por razones económicas o cuando no se disponga de otros mayores.

VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO POR VOLUMEN UNITARIO DE CONCRETO				
Volumen de agregado grueso varillado en seco por volumen unitario de concreto para distintos módulos de finura de la arena *				
Tamaño máximo nominal del agregado mm.	2.40	2.60	2.80	3.00
9.5(3/8")	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5(1/2")	0.59	0.57	0.55	0.53
19(3/4")	0.66	0.64	0.62	0.60
25(1")	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5(1 1/2")	0.75	0.73	0.71	0.69
50(2")	0.78	0.76	0.74	0.72
75(3")	0.82	0.80	0.78	0.76
150(6")	0.87	0.85	0.83	0.81

TABLA X.14.

Estimación de la cantidad total de agua.- La cantidad de agua requerida por unidad de volumen de concreto para producir una mezcla de la consistencia deseada, depende del tamaño máximo, de la forma de la partícula, de la granulometría de los agregados y de la cantidad de aire incluido. Es relativamente independiente de la cantidad de cemento.

Las cantidades de agua presentadas en la tabla X.6.b., se aplican con suficiente aproximación para estimaciones preliminares de proporcionamientos. corresponde a las cantidades máximas que pueden esperarse para agregados de forma más o menos buena aunque angulares, y cuya graduación esta dentro de los límites aceptados por las especificaciones.

Selección de la relación agua/cemento.- Los requisitos de calidad del concreto pueden establecerse en términos de durabilidad y resistencia mínima o, frecuentemente de un mínimo consumo de cemento. Puesto que la durabilidad del concreto depende de muchas variables que incluyen el mezclado, colocación, curado, calidad de los ingredientes, etc., deben seleccionarse el proporcionamiento que permite obtener una pasta de cemento de calidad adecuada para resistir las condiciones de exposición previstas. El control adecuado de estos factores asegura un concreto durable.

La tabla X.6.a., sirve como guía para seleccionar las relaciones agua/cemento máximas permisibles para diferentes condiciones de exposición, cuando se hace uso adecuado del aire incluido para condiciones severas y se seleccionan cuidadosamente los materiales.

RELACION DE AGUA - CEMENTO MÁXIMAS PERMISIBLES (RELACION POR PESOS) Y PARA DIFERENTES TIPOS DE ESTRUCTURAS Y GRADOS DE EXPOSICION.

TIPO DE ESTRUCTURA	CONDICIONES DE EXPOSICION					
	INTERVALO AMPLIO DE CAMBIOS DE TEMPERATURA, O CICLOS FRECUENTES DE CONGELACION Y DESHIELO (SOLAMENTE CONCRETO CON AIRE INCLUIDO).			TEMPERATURA MEDIA RARA VEZ POR DEBAJO DE CERO GRADOS CENTIGRADOS, O LLUVIOSO, O ARIDO.		
	EN AIRE	EN LA SUPERFICIE DEL AGUA O DENTRO DEL INTERVALO DE FLUCTUACIONES DEL NIVEL DEL AGUA O EN ZONAS BANADAS POR AGUA.		EN AIRE	EN LA SUPERFICIE DEL AGUA O DENTRO DEL INTERVALO DE FLUCTUACIONES DEL NIVEL DEL AGUA O EN ZONAS BANADAS POR AGUA.	
		EN AGUA FRESCA	EN AGUA DE MAR O EN CONTACTO CON SULFATOS.		EN AGUA FRESCA	EN AGUA DE MAR O EN CONTACTO CON SULFATOS.
SECCIONES DELGADAS, TALES COMO BARRANDALES, ESCALONES, CONCRETO ORNAMENTAL O ARQUITECTONICO, PÍLOTES REFORZADOS, TUBOS Y CUALQUIER SECCION CON RECUBRIMIENTO PARA EL REFUERZO MENORES DE 2.5 CM.	0.49	0.44	0.40 ***	0.53	0.49	0.40 ***
SECCIONES MODERADAS TALES COMO MUROS DE REFENCION, CONTRAFUERTE, PÍLOTES, TRABES, VIGAS.	0.53	0.49	0.44 ***	****	0.53	0.44 ***
PORCIONES EXTERIORES DE SECCIONES PESADAS DE CONCRETO EN MASA.	0.50	0.49	0.44 ***	****	0.53	0.44 ***
CONCRETO DEPOSITADO BAJO EL AGUA POR PROCEDIMIENTO TREMIE.	—	0.44	0.44	—	0.44	0.44 ***
LOSAS DE CONCRETO EN CONTACTO CON EL SUELO.	0.53	—	—	****	—	—
CONCRETO PROTEGIDO DEL INTemperismo, INTERIORES DE EDIFICIOS, CONCRETO BAJO EL SUELO.	****	—	—	****	—	—
CONCRETO QUE SE PROTEJERA POSTERIORMENTE DENTRO DE ALGUNA CONSTRUCCION O RELLENO EXPUESTO A CONGELACION Y DESHIELO DURANTE VARIOS AÑOS ANTES DE COLOCAN TAL PROTECCION	0.53	—	—	****	—	—

* En todos los casos de exposición severa debe usarse concreto con aire incluido, y puede usarse bajo condiciones medias de exposición para mejorar la trabajabilidad de la mezcla.

** Suelo o agua subterránea que contenga concentraciones de sulfato mayores de 0.2 por ciento.

*** Cuando se use cemento resistente a los sulfatos, la relación máxima agua-cemento puede incrementarse en 0.04.

**** La relación agua-cemento se debe seleccionar basándose en requisitos de resistencia y trabajabilidad.

La relación agua-cemento máxima o el contenido de cemento mínimo para producir la resistencia requerida puede determinarse mejor con pruebas de laboratorio hechas con los mismos materiales,

inclusive el cemento, que se usarán en la obra. Si no es práctico realizar estas pruebas, las tablas X.6.b. y X.5., proporcionan una base para la estimación del agua-cemento. La tabla X.5. presenta la resistencia a la compresión mínima que debe esperarse con diferentes relaciones agua/cemento para concreto con aire o sin él.

Para la relación dada agua/cemento tabla X.5., las resistencias del concreto con aire incluido resultan un 20% menores que las del concreto sin aire incluido.

El consumo requerido de cemento puede calcularse usando la relación agua/cemento máxima permisible obtenida de la tabla X.6.a., y X.5., la cantidad de agua obtenida en la tabla X.6.b., dividiendo los litros de agua de mezclado requeridas por m³ de concreto entre la relación agua/cemento.

La selección del proporcionamiento del concreto debe basarse en aquella de las limitaciones específicas: durabilidad, resistencia y consumo de cemento que requiere la menor relación agua/cemento.

Estimación de la cantidad de agregado grueso.- La cantidad mínima de agua de mezclado y la resistencia máxima para unos agregados dados se obtienen cuando se usa la mayor cantidad de agregado grueso compatible con una adecuada manejabilidad. Esta cantidad puede determinarse más eficientemente con pruebas de los materiales en el laboratorio con ajustes posteriores en la obra. Sin embargo si no se tiene estos datos se puede hacer una buena estimación del mejor proporcionamiento por medio de las relaciones empíricas presentadas en la tabla X.7., para agregados graduados dentro de los límites convencionales. Los valores corresponden a volúmenes de agregado grueso compactados en seco con varilla, por unidad de volumen de concreto. Debe notarse que el volumen óptimo de agregado grueso por unidad de volumen de concreto depende de su tamaño y del módulo de finura de la arena como se indica en la tabla X.7.

Cálculo del proporcionamiento.- El cálculo del proporcionamiento se explicará con un ejemplo. Los criterios de diseño son los siguientes:

- 1.- Se usará cemento tipo 1 sin inclusor de aire, suponiendo una gravedad específica de 3.15.
- 2.- El agregado grueso y el fino son de calidad satisfactoria en todos los casos y están graduados dentro de los límites de las especificaciones.
- 3.- El agregado grueso tiene una gravedad específica de 2.68 en condición seca y una absorción de 0.5 por ciento.
- 4.- El agregado fino tiene una gravedad específica de 2.64 en condición seca y una absorción de 0.7 por ciento y su módulo de finura de 2.8.

Se requiere concreto para una porción de estructura que quedará bajo el nivel del terreno y que no estará expuesta a intemperismo o ataque de sulfatos. Por consideraciones estructurales se requiere una resistencia a la compresión de 250 kg./Cm.2 a los 28 días. Con base en la información de la tabla X.10. y X.11., así como de experiencia previa, se ha determinado que deben usarse un revenimiento de 7.5 a 10 cm., conforme a las condiciones de colocación por emplear, y que es adecuado un

agregado grueso entre 5mm. (No. 4) y 38mm. (1 1/2") disponible en la localidad. Se ha obtenido un peso volumétrico varillado en seco de 1600 kg./m³ para el agregado grueso.

El proporcionamiento se calculará como sigue:

1. Puesto que la estructura no estará expuesta a intemperismo severo se usará concreto sin aire incluido y la relación agua/cemento se establecerá únicamente con base a la resistencia requerida.
2. La relación agua/cemento necesaria para producir una resistencia de 250 kg./Cm.2 en un concreto sin aire incluido es igual a 0.58 en la tabla X.6.a.
3. La cantidad aproximada de agua de mezclado necesaria para producir un revenimiento de 7.5 a 10cm. en un cemento sin aire incluido con 38mm. de tamaño máximo de agregado es igual a 177 lt/m³ en la tabla X.5.
4. De la información recabada se obtiene el contenido requerido de cemento, es igual a $177/0.58=305$ kg./m³.
5. De la tabla X.7., se obtiene la cantidad de agregado grueso. Para un módulo de finura de 2.8 y tamaño máximo de agregado de 38 mm., se obtiene una tabla 0.72 m³ de agregado grueso, compactado en seco en cada m³ de concreto. como su peso volumétrico de 1600 kg./m³ el peso del agregado grueso seco será de 1150 kg. por m³ de concreto.
6. Con las cantidades establecidas de cemento, agua y agregado grueso, y el contenido aproximado de aire atrapado en forma casual tomado de la tabla X.5., puede calcularse el contenido de arena.

Volumen sólido de cemento	= 305/3.15	= 97 lt.
Volumen de agua		= 177 lt.
Volumen sólido de agregado grueso	= 1150/2.68	= 428 lt.
Volumen de aire atrapado	= 0.01x1000	= 10 lt.
Volumen total exceptuando la arena		712 lt.
Volumen sólido de arena requerida	= 1000-712	= 288 lt.
Peso requerido de arena seca.	= 288x2.64	= 760 kg.

7.- Las cantidades estimadas para una revoltura de 1 m³ de concreto son:

Cemento	= 305 Kg.
Agua	= 177 lt.
Arena (seca)	= 760 Kg.
Agregado grueso (seco)	= 1150 Kg.

Estos pesos por revoltura requieren ajustes en la obra para tomar en cuenta la humedad de los agregados. También puede resultar conveniente algún ajuste en las proporciones basándose en la experiencia que se haya obtenido en obras.

Este método para proporcionamiento de concreto está basado en las tablas recomendadas por el ACI (American Concrete Institute).

Prueba para determinar el revenimiento de una mezcla de concreto.- Esta prueba tiene por objeto saber si el concreto tiene las características apropiadas para ser transportado y colocado en las cimbras, sin que se pierda la cohesión entre los materiales que la constituyen.

Los aparatos para esta prueba son los siguientes:

Un molde de lámina en forma de cono truncado, con base de 20 cm., (8") de diámetro; 10 cm. (4") de diámetro superior, y 30.5 cm. (12") de altura. La base y la parte superior están abiertas, y deben ser paralelas entre sí y formar ángulos rectos con el eje del molde. Este deberá estar provisto de piezas para apoyar los pies y de asas.

Una varilla para compactar de acero de 60 cm. (24") de largo con un extremo o ambos en forma de bala, y un pequeño cucharón.

Procedimiento.- Con el cucharón se toma una muestra de concreto, que deberá ser representativa de la revoltura completa. El molde deberá humedecerse y colocarse sobre una superficie plana húmeda y no absorbente. A continuación se llena el molde de 3 capas de la misma altura, cada capa se deberá compactar con 25 golpes de la varilla, después que se haya compactado la capa superior, se enrasa la superficie del concreto con una llana. El molde deberá quitarse levantándolo cuidadosamente en dirección vertical. En seguida se mide el revenimiento determinando la diferencia entre la altura del molde y la altura del espécimen de su eje, el cual se reporta en cm. de asentamiento del espécimen.

Una vez que se termine de medir el revenimiento se deberá golpear suavemente el lado del cono de concreto con la varilla. El comportamiento del concreto bajo este tratamiento dará una indicación valiosa de la cohesión, trabajabilidad y colocabilidad de la mezcla. Una mezcla bien proporcionada y trabajable se reviene gradualmente, y retiene su forma original, mientras una mezcla mala desmorona, se segrega y disgrega.

Prueba de compresión simple del concreto.- Para la fabricación y curado de especímenes utilizando concreto muestreado en el sitio de construcción o laboratorio, las muestras para los especímenes de prueba, deberán ser de por lo menos 30 litros.

Los especímenes deberán ser cilíndricos y tener una longitud igual al doble del diámetro. Los especímenes normales son de 15 cm. (6") de diámetro, por 30 cm. (12") de altura, si el tamaño nominal del agregado no excede de 5 cm. (2"); cuando el agregado es mayor de 5 cm. (2"), los especímenes deberán tener un diámetro de por lo menos 3 veces el tamaño máximo nominal del agregado.

Los moldes que se utilizan para el colado de los especímenes o probetas deberán ser metálicos o de cartón grueso parafinado. La base o plataforma que se utilice de apoyo deberá engrasarse para facilitar el desmoldado del molde.

El llenado y compactación de los moldes será semejante al descrito para la prueba de revenimiento, o sea se usará una varilla de 1.58 cm. (5/8") de diámetro por 60 cm. de largo, con un extremo de forma de bala, para compactar el concreto en 3 capas de la misma altura dentro del molde, dando 25 golpes por capa sin picar en cada serie de capa inferior que ya se haya compactado. A continuación se enrasa y se alisa la superficie del molde, y se marca la clave de identificación del cilindro, la fecha de colado, y el revenimiento obtenido de la prueba que se haya hecho antes de su llenado.

Una vez coladas todas las probetas se procede a protegerlas de la intemperie, cubriéndolas con una placa de vidrio o de metal o con bolsas de papel humedecidas, para impedir la evaporación del agua del concreto. Las probetas deben permanecer 24 horas sin ser movidas, después se deberán transportar a un cuarto de curado en donde deberán permanecer hasta la fecha de su ensaye a la temperatura de 23° más menos 1.7 °C, y una humedad entre 90% y 110%.

Los extremos de los especímenes que no sean planos deberán ser cabeceados, lo cual consiste en colocarse en cada extremo una placa de material cuyo módulo de elasticidad sea igual o mayor al del concreto. El cabeceado se podrá hacer con una capa delgada de cemento portland simple, después que el concreto haya dejado de asentarse en los moldes. También se podrá dejar mezclas de azufre y materiales granulares que desarrollen una resistencia a la compresión igual o mayor a la resistencia del espécimen en el tiempo de la prueba.

El cabeceado se hace para que al colocarse la probeta para su ensaye, las cargas aplicadas sean axiales.

El procedimiento para esta prueba es el siguiente: La máquina de ensaye podrá ser de cualquier tipo que tenga capacidad suficiente y que permita aplicar las cargas con la rapidez que se estipula adelante. Además deberá estar provista de 2 bloques de apoyo de acero, de superficie de contacto endurecidas, uno de los cuales deberá ser de asiento esférico y se apoyará sobre la superficie superior del espécimen, y el otro deberá ser un bloque rígido sencillo sobre el cual descansará el espécimen.

El diámetro del espécimen de prueba se deberá, determinar con una aproximación de 0.1 cm. promediando 2 diámetros medidos de ángulos rectos entre sí, a la altura media del espécimen; este diámetro promedio se usará para calcular el área de la sección transversal. La carga se aplica en forma continua y sin impactos. En las máquinas de tipo hidráulico, la carga se deberá aplicar con una rapidez constante, entre 1.5 a 3.5 kilogramos sobre centímetros cuadrados por segundo. Se aumenta la carga hasta que el espécimen falle, y se anota la carga máxima, también se indica el tipo de falla y la apariencia del concreto. En seguida se calcula la resistencia del espécimen a compresión, dividiendo la carga máxima soportada, entre el área de la sección transversal promedio y expresando el resultado con una aproximación de 1 Kg./Cm.2. El informe deberá incluir los siguientes datos: Número de identificación; diámetro (y longitud cuando no es estándar) en centímetros; área de la sección transversal en centímetros cuadrados, carga máxima en kilogramos; resistencia a la compresión calculada con aproximación de 1 kilogramo sobre centímetro cuadrado; tipo de fractura

en caso de no ser la cónica usual; defectos, ya sea en los especímenes o en el cabeceado; edad del espécimen. (fig. X.9).

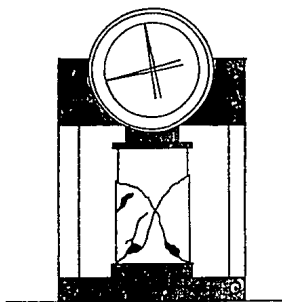


Fig. X.9.

Falla a compresión de un cilindro de concreto.

X.4.- APLICACIONES Y EJEMPLOS DE LA UTILIZACION DE AGREGADOS PETREOS EN EL CONCRETO.

a).- En relación a la aplicación de los agregados ligeros para el concreto es importante señalar que los producidos con arcilla, esquistos, pizarra y cenizas volantes tienen gran variedad de aplicaciones. Sus usos principales son como agregado en piezas de mampostería de concreto ligero y en concretos estructurales. También se han usado en pavimentos de pistas de carreras de caballos, en drenes de terrenos. También se usan en acondicionamientos de tierras, refractarios de baja temperatura, propagación hidropónica de plantas, y como aislante suelto, se han usado con éxito como antiderrapantes de vehículos en las orillas peligrosas de carreteras, y en las pistas de aterrizaje de aviones.

El concreto ligero se ha usado en gran diversidad de estructuras en muchos países. Este tipo de concreto se ha usado casi en todas las aplicaciones en las que se usa el concreto normal. La ventaja principal del concreto ligero es su menor densidad (de 20 al 30%). Normalmente es semiligero en cuanto a que todo o parte del agregado fino, de menos de 4.75 mm., es arena natural, y su uso puede dar como resultado menores costos de cimentación, reducción de secciones transversales de vigas y columnas, menores costos de acero de refuerzo y, en el caso de terrenos con capacidad portante limitada, posibilidad de construir mayor número de pisos.

Los concretos preparados con algunos agregados ligeros tienen propiedades más elevadas de fluencia a largo plazo, que los concretos normales. La mayoría de los concretos ligeros también tienen menor módulos de elasticidad. La aplicación de algunos concretos ligeros pueden estar restringida en los casos en que la fluencia y la flexión son importantes. Prácticamente todos los agregados ligeros pueden usarse en concreto para losas de pisos y es esta aplicación en la que encuentran su mayor uso. Un ejemplo de esta aplicación es la Lake Point Tower en Chicago, Illinois, construida en 1968, de 71 pisos (195 m de altura) y plantas de pisos en forma de Y. Las losas de los pisos del segundo al septuagésimo piso y las del área de estacionamiento, son de concreto ligero colado en obra, con densidad de 1730 kg./m³ y resistencia a la compresión a los 7 días, en cilindros de 15 x 30 cm., de 225 a 205 kg./Cm.2.

Algunos concretos ligeros pueden usarse en todos los elementos estructurales de un edificio, obteniéndose economías apreciables en comparación con las estructuras de concreto normal. La Australia Square en Sydney, Australia, es una torre circular de 50 pisos (184 m de altura) con diámetro de 42.5 m. Mediante el uso de 31 000 m³ de concreto ligero en vigas, columnas y pisos, arriba del séptimo nivel, se logró un ahorro de 13% en los costos de construcción. El concreto tenía una resistencia promedio a la compresión de 350 kg./Cm.2 y una densidad promedio de 1792 kg./m³ a 28 días.

En muchos lugares, la capacidad portante del terreno determina la altura de la estructura elevada. La One Shell Plaza, en Houston Texas (1969), es una estructura toda de concreto ligero de 52 pisos (218 m). La estructura tiene una plantilla de concreto ligero de 70 x 52 x 2.5 m, a 18 m por debajo del nivel del suelo. El concreto tiene una densidad de 1840 kg./m³. La resistencia a la compresión a 28 días, de cilindros de 15 x 30 cm., fue de 420 kg./Cm.2 para muros de cortante, columnas y

plantillas de cimentación y de 319 kg./Cm.2 para los pisos. Si se hubiera usado concreto normal, solamente se hubiera podido diseñar con seguridad una estructura de 35 pisos.

En relación a la aplicación de la escoria, para producir agregados ligeros podemos mencionar que los agregados ligeros de escoria expandida se usan ampliamente en todos los trabajos de mampostería de concreto; en el edificio de 56 pisos del Toronto- Dominion Bank Centre, en Toronto, se usaron 1.25 millones de piezas para la construcción del núcleo y para el recubrimiento contra el fuego, de las columnas de acero.

Este tipo de agregado también se ha usado en concreto estructural en muchos lugares, como en las losas de piso del edificio de 38 pisos de Peudential Insurance Company, en Chicago. Los pisos del edificio de 42 pisos de Century 21 en Hamilton, son de concreto estructural con una resistencia a la compresión de 247 kg./Cm.2.

b).- En cuanto a la utilización de los agregados pesados para el concreto estos se utilizan generalmente en la construcción de reactores nucleares, para esto se requiere de grandes cantidades de concreto pesado para el propósito de blindaje y estructurales. Los agregados gruesos se utilizan en los concretos para blindaje, porque la absorción de rayos gamma es proporcional a la densidad. El concreto pesado puede variar entre 2400 Kg./m3. del concreto común y corriente de arena y grava y los 6152 Kg./m3. cuando se utilizan municiones de acero como agregado fino y punzonados de acero como agregado grueso. Además de los agregados fabricados a partir de productos de hierro, se utilizan como agregados gruesos diversos productos de cantera y minerales como la barita, limonita y magnetita.

CAPITULO XI

XI.- AGREGADOS PETREOS PARA VIAS TERRESTRES

Son todos los materiales PETREOS que reúnan las siguientes características:

Proviencn de la corteza terrestre, ya sean que se extraigan de cortes o préstamos y que se utilizan en la construcción de terraplenes o rellenos, los cuáles se pueden emplear solos, mezclados o estabilizados con otros materiales naturales o elaborados en tal forma que reúnan las características adecuadas para su uso.

Los diferentes tipos de agregados pétreos que encontramos los localizamos generalmente en bancos de materiales siendo los más comunes:

a) Playones de ríos.

Los ríos desde sus partes altas arrastran materiales a través de su recorrido se van depositando los materiales arrastrados quedando los bolcos en las zonas de pendientes fuertes de cauce y por consiguiente donde las velocidades son elevadas, en otras donde las pendientes del canal es menos fuerte y la velocidad es menor se depositan gravas, arenas, limos y arcillas hasta llegar a sus desembocaduras y sus proximidades donde se depositan, materiales finos.

b) Depósitos

Los depósitos en general están formados por materiales que llenaron algunas depresiones del terreno natural, que llegaron ahí por medio de arrastre fluvial, glacial o por eyección de volcanes, etc. En ocasiones se encuentran prácticamente descubiertos y en otras cubiertos por otro material arrastrado. Los referidos depósitos pueden estar compuestos por fragmentos de rocas, grava, arena, limos, arcillas, cenizas volcánicas, o fragmentos de origen piroclástico.

c) Mantos de roca

En general, los mantos de roca presentan una capa intemperizada que puede tener varios metros de espesor, o bien cubiertos por material de arrastre (despalme), aunque en ocasiones la roca sana aflora debido a la erosión de la capa alterada o por fenómenos y formaciones geológicas que dan lugar a que se descubran dichos mantos. Las rocas que constituyen los referidos bancos pueden ser de origen ígneo, sedimentario o metamórfico.

Entre las rocas ígneas más comunes están el basalto, la riolita, la andesita, el granito, el gabro y las tobas; entre las sedimentarias están las calizas, las areniscas, los conglomerados, las brechas, entre las metamórficas el mármol, la cuarcita, la pizarra y el gneis. La forma en que

se presentan las rocas en los mantos puede ser en masas sólidas y duras, en forma estratificadas, en fragmentos y en alguna otra variante, caracterizadas en ocasiones por el origen de la roca.

d) Conglomerados.

Los conglomerados son formaciones de origen sedimentario y están constituidos por grava con o sin fragmentos de roca y cantidades apreciables de arena, que generalmente han sido depositados por corrientes fluviales, todo lo cual ha sido cementado posteriormente con materiales acarreados. En estos bancos las gravas y fragmentos son de forma redondeada y su cementación puede ser fuerte, como en los conglomerados calizos, o baja, dependiendo del tipo de los materiales cementante.

Los bancos de conglomerados se encuentran generalmente en las proximidades de corrientes fluviales, en cauces antiguos; en algunas ocasiones se presentan formando estratos más o menos gruesos y en otras formando lomas originadas probablemente por erosiones o por movimientos telúricos.

e) Aglomerados.

Los aglomerados son formaciones de mezcla heterogénea, poco o nada cementadas, de gravas, arenas, limos y arcillas, los cuales son de origen sedimentario. También hay materiales semejantes constituidos por fragmentos angulosos de origen igneo, a los que se les llama aglomerados.

f) Zonas de pepena.

En algunas regiones del país se presentan zonas donde sobre la superficie del suelo se encuentran fragmentos duros de roca, cuyo origen geológico puede ser variado. Se considera que dichas zonas a las que se les ha llamado de pepena, se formaron por erosión de la roca, o por erupciones volcánicas, quedando sobre el terreno los corazones o fragmentos más duros, de un tamaño tal que pueden ser cargados a mano, aunque a veces se puede necesitar, en algunos fragmentos grandes, el empleo de explosivos (moneo). Se hace notar que estos fragmentos se pueden encontrar limpios o cubiertos con una capa más o menos gruesa de arcilla, probablemente resultante de la desintegración de la roca original.

XI.1.- USO DE LOS AGREGADOS PETREOS EN VIAS TERRESTRES.

Probablemente los materiales que más usos tienen en sub-bases y bases hidráulicas son las gravas-arenas procedentes de ríos, las cuales generalmente deben ser sometidas a trituración parcial y cribado, y en mayor parte de los casos es necesario mezclarlas con otro material que posea ciertas características, para que complementen su granulometría, mejoren su cementación, abatan su plasticidad, etc. estos materiales se prefieren que otros, debido a lo económico que resultan tanto en su extracción, como en su tratamiento.

Otro de los materiales que frecuentemente se emplean son los conglomerados, y aunque su uso más común es en sub-bases, también se emplean en bases; en ambos casos después de su trituración parcial y cribado, lo más usual es que se les agregue un material fino inerte, para reducir principalmente sus características plásticas. Los aglomerados también son de uso probable y para su empleo, en general se someten a trituración parcial y cribado, mejorándose sus características en caso de ser necesario, con algún otro material en la forma señalada para las gravas arenas de río. Las areniscas es otro de los materiales que generalmente se emplean en sub-bases, dichos materiales normalmente sólo se someten a tratamiento de disgregado o trituración parcial; también se emplean como materiales de mejoramiento en los de base (15 a 25%), los cuales comúnmente son materiales triturados total o parcialmente y cribados.

Principalmente en las sub-bases se emplean algunos tipos de rocas alteradas, las que en la mayoría de las ocasiones se les da tratamiento de disgregado o trituración parcial, dependiendo éste de su grado de alteración. En ocasiones se utilizan en un porcentaje reducido (de 15 a 30%), como materiales de mejoramiento en las mismas sub-bases y/o bases. Cuando se encuentran muy alteradas se han empleado en la construcción de la capa subrasante.

Los materiales sometidos a trituración total y cribado, como las rocas procedentes de mantos, depósitos, pegna, etc., se emplean principalmente en bases hidráulicas, pero en ocasiones, debido a la escasez de otros materiales más económicos como las gravas-arenas, los conglomerados, etc., se emplean también en sub-bases; en ambos casos dichos materiales se usan solo cuando cumplen con los requisitos especificados, como sucede con las calizas, pero en ocasiones es necesario incorporarles algún otro material, con ciertas características que complementen o mejoren las que tiene el material triturado como es el caso por ejemplo del basalto. Los tipos de materiales antes señalados, son los que se emplean con mayor frecuencia, pero también se usan otros materiales de tipo especial, los cuales trataremos por separado.

MATERIALES DE USOS PROBABLE EN BASES ESTABILIZADAS.

Cuando por razones generales de índole económica se requiere emplear, en bases de pavimento, materiales de la localidad que por sí solos no reúnen características físicas satisfactorias para estos fines, se recurre a tratar dichos materiales adicionándoles algún producto elaborado para modificar sus propiedades originales, haciendo que alcancen los valores establecidos respecto a las normas vigentes.

Generalmente los materiales de uso probable en bases estabilizadas pueden ser los mismos que los de sub-bases o bases hidráulicas cuando dichos materiales no cumplen con las especificaciones de calidad correspondientes en este caso se procede a la estabilización, lo cual puede ser a base de productos ásfálticos, cemento Portland, mezclas de cemento Portland y puzolana, cal hidratada, mezclas de cal hidratada y puzolana, y mezclas de cal hidratada y cemento Portland.

Bases estabilizadas con cemento hidráulico, cal hidratada y/o puzolanas. En la estabilización con cemento hidráulico y/o cal hidratada y/o puzolanas, los casos más comunes los constituyen materiales que están excedidos de plasticidad y/o presentan bajo valor soporte, dentro de ciertos límites razonables. Mediante el empleo de pequeñas cantidades del producto estabilizante, que varían generalmente de 2 a 4% en peso del suelo seco, es posible neutralizar o reducir la actividad de la arcilla, por acciones físico-químicas, obteniéndose un descenso en el índice plástico y un aumento en la resistencia del suelo tratado. El empleo más efectivo de estos estabilizantes se tiene para las gravas arcillosas, gravas cementadas, caliches, rocas alteradas y suelos similares.

Como caso especial se cita el de los materiales que aún cumpliendo con las especificaciones correspondientes, conviene incrementar su calidad con el empleo de alguno de los estabilizantes antes señalados, por diversos requisitos de diseño; tal es el caso de los materiales utilizados en las bases hidráulicas del tramo El Torco-Satélite de la autopista México- Querétaro, donde por el elevado volumen de tránsito previsto, se le adicionó al material triturado el 3% en peso de cemento Portland con resultados satisfactorios.

BASES ESTABILIZADAS CON ASFALTO

Aunque las bases asfálticas resultan en general más caras que las bases estabilizadas con cemento hidráulico, cal hidratada o puzolanas, su empleo se ha difundido muchos en nuestros país, debido sin duda a las ventajas que presentan respecto a la citada en segundo término.

La función del asfalto en este caso, estriba fundamentalmente en aglomerar las partículas del suelo, proporcionando a éste suficiente cohesión y resistencia una vez compactado. tratándose de materiales con cierto contenido de arcilla, la función del asfalto debe consistir además, en impermeabilizar las partículas de arcilla, para contrarrestar su actividad en presencia de agua. Por lo tanto, en cualquier caso donde el asfalto se utilice como producto estabilizante de un suelo, la condición primordial para su buen funcionamiento, es que quede uniformemente distribuido y de lugar a la formación de una película que cubra y se adhiera firmemente a las partículas del suelo.

Por razones obvias, los materiales pétreos más indicados para la construcción de bases asfálticas, son las gravas arenosas, aglomerados, arenas limosas y arenas limpias, aunque también puede ser conveniente, por diversos requisitos de diseño, emplear material producto de la trituración de rocas. Por otra parte, no deben utilizarse materiales pétreos de baja sanidad, susceptibles de fraccionarse una vez cubiertos por el asfalto o bajo los efectos de tránsito, ni tampoco materiales con grumos o terrones que no puedan disgregarse antes de la incorporación del asfalto.

MATERIALES DE USO PROBABLE EN MEZCLAS ASFÁLTICAS Y TRATAMIENTOS SUPERFICIALES

Los materiales que se emplean con más frecuencia en mezclas asfálticas son las gravas-arenas, los aglomerados, conglomerados, rocas de manto, de depósito o de pepena, y algunos otros materiales que pueden considerarse como especiales.

En general, los materiales como la gravas-arenas, los aglomerados, para su empleo en mezclas asfálticas, es necesario someterlos a un tratamiento de trituración parcial y cribado, aunque con frecuencia, en el caso de los conglomerados y aglomerados, es necesario el lavado; las rocas procedentes de mantos, depósitos o pepena, se someten a trituración total y cribado, siendo también necesario en ciertos casos lavarlos, para eliminar las partículas arcillosas que se encuentren adheridas al pétreo. En algunas ocasiones, a los materiales señalados anteriormente, se les incorpora otro material pétreo, con el objeto de mejorar algunas características físicas del material principal, como granulometría, plasticidad, etc., pues cualesquiera de los materiales pétreos que se pretendan emplear en mezclas asfálticas, es necesario que cumplan con las normas de calidad establecidas en las Especificaciones Generales de Construcción.

Para emplearse en tratamientos superficiales, generalmente se utilizan gravas y rocas de mantos, de depósito y de pepena y solamente en casos muy especiales, se llegan a emplear aglomerados o conglomerados cuanto estos se presentan limpios de arcilla y con una fuerte proporción de fragmentos triturables. En ocasiones es necesario someter a lavado los materiales antes señalados, para eliminar las partículas arcillosas o bien, el polvo, el cual en este caso es muy perjudicial, pues dificulta la adherencia del asfalto con el pétreo, como sucede frecuentemente con materiales procedentes de mantos de roca caliza.

MATERIALES DE USO PROBABLE EN PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRAULICO.

Los materiales que tienen mayores probabilidades de emplearse en pavimentos de concreto hidráulico son las gravas-arenas procedentes de ríos, las cuales para su empleo generalmente se someten a tratamiento de cribado con el fin de eliminar los tamaños mayores al máximo que se necesitan en la grava, y separar esta de la arena.

En ocasiones debido a las características propias de la región no hay gravas-arenas, contándose solamente con bolcos que tienen cantidades inapreciables de grava y arena, o con arenas con cantidades insignificantes de grava, por lo cual en estos casos, para la obtención de los agregados, se recurre a un tratamiento de trituración total o cribados, según sea el caso.

Las rocas sanas también pueden emplearse como materiales de pavimento de concreto hidráulico, sobre todo cuando hay escasez o no se cuenta con grava-arena de río; para el objeto, dichas rocas se deben someter a tratamiento de trituración total y cribado con el fin de obtener la grava y la arena, y en ocasiones, es necesario llegar hasta la molienda para producir el último material indicado.

Cuando no se cuenta con los materiales antes señalados, pueden emplearse los aglomerados y conglomerados; en estos casos, el tratamiento que generalmente se requiere para su empleo es el de trituración parcial y cribado, y también por lo común, es necesario el lavado.

Para la construcción de pavimentos de concreto hidráulico, en general, será más económico utilizar agregados pétreos procedentes de gravas-arenas de río que los obtenidos por trituración de rocas, aglomerados y conglomerados, por lo que es recomendable su uso, cuando se dispone de ellas en la región.

Los materiales constituidos por fragmentos de roca grandes, medianos o chicos, que aparecen en el cuadro anexo núm. XI-2 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, al regarle agua en cantidad próxima de cien litros por metro cúbico (100 L/M³) de material y de aplicarle en cada lugar tres (3) pasadas con tractor de veinte (20) toneladas, cumpla con los requisitos de poner 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 retenga más de cinco por ciento (5%) en volumen de fragmentos mayores de quince (15) centímetros de acuerdo con los métodos de pruebas para este material, esta determinación se hará en los veinte (20) centímetros superiores de la capa tratada, mediante sondeos a cielo abierto con volumen de medio metro cúbico (0.50M³) aproximadamente y el valor que se aplique será el que resulte del promedio de tres (3) pruebas verificadas en distintos lugares de la capa, fijada por la Secretaría.

Los materiales que se utilicen en la capa sub-rasante deberán cumplir con las normas de calidad que se indican en la última columna del cuadro núm. XI-2 de este tema, 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, deberán dársele el tratamiento que la Secretaría indique, para proveerla dentro de las especificaciones, o bien si esto no es posible, se construirá una nueva capa sub-rasante ya sea sobre la anterior, o bien, después de rebajar esta en el espesor necesario, si hay necesidad de respetar un determinado nivel de la sub-rasante.

En algunos casos y a juicio de la Secretaría, 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.

MATERIALES PARA REVESTIMIENTO, SUB-BASE Y BASE DE PAVIMENTOS

XI.2-1 DEFINICION:

XI.2-1.1.- Son los materiales seleccionados que se emplean en la construcción de revestimiento, sub-base y base de pavimento, ya sea que se establezcan o no, con algún producto natural o elaborado.

XI.2-2 CLASIFICACION:

XI.2-2.1.- Los materiales para revestimiento, sub-base y base de pavimento, se clasifican como sigue:

- A) Materiales pétreos que no requieren ningún tratamiento de disgregado cribado o trituración.
- B) Materiales pétreos que para su utilización requieren tratamiento de disgregado, cribado o trituración.
- C) Mezclas de dos o más materiales del grupo A), del grupo B) ó de materiales provenientes de ambos grupos.

- D) Material 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, una mezcla adecuada de cemento portland y puzolana.
- F) Materiales de los grupos A), B), o C), mezcladas con cal hidratada y puzolana, o cal hidratada y cemento portland.

XI.2-3. NORMAS DE MATERIALES:

XI.2-3.1.- Los materiales que se mencionan en la tabla XI-1, cuando se emplean como revestimiento de carreteras, deberán llenar los requisitos siguientes:

A) Granulometría del material.

- 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.XI-2 De preferencia no deberán utilizarse materiales cuya curva se encuentre alojada en la zona 1.

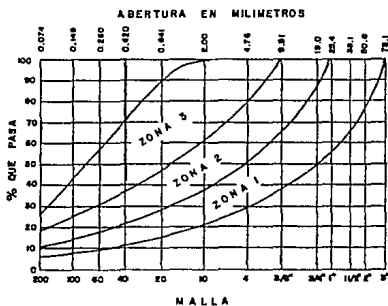


Fig. XI-2.
ZONAS DE ESPECIFICACIONES GRANULOMETRICAS

- 2) La curva granulométrica deberá efectuar una forma semejante a la de las curvas que limitan las zonas, sin presentar cambios bruscos dependiente 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 a la carretera, en donde deberán eliminarse.

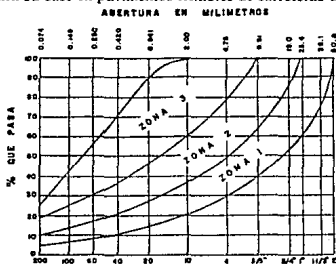
B) De contracción lineal, valor cementante y valor relativo de soporte, los valores fijados en el siguiente cuadro:

CARACTERISTICAS	ZONA EN QUE SE CLASIFICA EL MATERIAL DE ACUERDO CON SU GRANULOMETRIA.		
	1	2	3
Contracción lineal en por ciento.	6.0 máx.	4.5 máx.	3.0 máx.
Valor cementante para materiales angulosos en kg./Cm.2	5.5 máx.	4.5 máx.	3.5 máx.
Valor cementante para materiales redondeados y lisa en kg./Cm.2	8.00 mín.	6.5 mín.	5.0 mín.
Valor relativo de soporte estandar saturado en por ciento.		3.0 mín	

Cuando la curva granulométrica del material se aloje 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 queda 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.

XI.2-3.2.- Los materiales que se mencionan en los párrafos de la clasificación A), B), y C), cuando se empleen para su base en pavimentos flexibles de carreteras o aeropistas, deberán llenar los siguientes requisitos:



MALLA
 FIG. XI-3.
 ZONA DE ESPECIFICACIONES GRANULOMETRICAS

A) De granulometría de acuerdo con los métodos de prueba.

- 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 y deberá afectar una forma semejante a la de las curvas que limitan las zonas, sin presentar cambios bruscos de pendiente. 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).
- 2) El Tamaño Máximo de las partículas del 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, determinadas con el método de prueba.

CARACTERISTICAS	ZONA EN QUE SE CLASIFICA EL MATERIAL DE ACUERDO CON SU GRANULOMETRIA.		
	1	2	3
Contracción lineal, en por ciento.	6.0 máx.	4.5 máx.	3.0 máx.
Valor cementante para materiales angulosos en Kg/Cm.2	3.5 mín.	3.0 mín.	2.5 mín.
Valor cementante para materiales redondeados y lisos en kg./Cm.2	5.5 mín.	4.5 mín.	3.5 mín.
Valor relativo de soporte estandar saturado en por ciento.		50 mín.	
Equivalente de arenas en por ciento		20 mín. (Tentativo).	

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

C) De grado de compactación en la carretera o aeropista.

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 por uno de los métodos.

XI.2-3.3.- Los materiales clasificados en el grupo D) del inciso XI.2-2.1, que predominantemente contenga partículas que pase de la malla Núm. 4 (más del 70%), para formar sub-base 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 XI.2-3.2, puede utilizarse como sub-base de pavimentos, si una vez estabilizados con algún material asfáltico, satisfacen los requisitos siguientes de Valor de estabilidad, expansión y absorción, determinadas según los métodos de prueba (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-base de pavimentos, si una vez estabilizados con un material asfáltico, satisfacen el requisito siguiente de valor soporte Florida modificado (para emplearse en obras localizadas en zona de clima cálido), determinado según su método de prueba.....65 kg. Mínimo (tentativo).

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

D) De grado de compactación en la carretera o aeropista. 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 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.

XI.2-3.4.- Los materiales clasificados en el grupo E) del inciso XI.2-2.1, para formar sub-base de pavimentos, deberán satisfacer los siguientes requisitos:

A) En las estabilizaciones de materiales para sub-base de tipo flexibles (suelos modificados), que son aquellas en las que se mezclan el material pétreo son 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 su método de prueba.

2) Los materiales estabilizados, una vez analizados de acuerdo con los métodos de prueba, deberán satisfacer las normas del inciso XI.2-3.2.

3) Los materiales ya estabilizados, deberán compactarse en la carretera o aeropista 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.

B) En las estabilizaciones de material para sub-base de tipo rígido (suelo-cemento), en cada caso particular el proyecto y/o la Secretaría fijara las normas de calidad que deberán cumplirse.

XI.2-3.5.- Los materiales clasificados en los grupos F) del inciso XI.2-2.1, para formar sub-base de pavimento, deberán llenar los siguientes requisitos:

A) Para materiales antes de estabilizarse:

1) Índice plástico, determinado según los métodos de prueba.....45 Máximo, 10 mínimo.

2) Límite líquido determinado según los métodos de prueba.....45 Máximo.

3) Contenido de materia orgánica, determinado por el método de prueba.....3% Máximo.

B) Para materiales estabilizados 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 corresponden a los requisitos indicados en el inciso XI.2- 3.2 de acuerdo a sus métodos de prueba.

C) Los materiales una vez estabilizados, deberán compactarse en la carretera o aeropista 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 compactación.

XI.2-3.6.- Los materiales que se mencionan en los párrafos A), B), y C) del inciso XI.2-2.1, cuando se empleen para base en pavimentos flexibles en carreteras o aeropistas y para sub-base en pavimentos rígidos, para aeropistas deberán llenar los requisitos siguientes:

A) De granulometría, de acuerdo con los métodos de prueba.

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 Fig. Núm. XI-3. Preferentemente, deberán emplearse materiales cuya curva granulométrica se localiza en la zona 1 o 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 centésimas (0.65).

3) El tamaño máximo de las partículas del material no deberá ser mayor de cincuenta (50) milímetros (2") para el material correspondiente al grupo A) o de treinta y ocho (38) milímetros (1 1/2") para el material correspondiente al grupo B), ambos del inciso XI.2-2.1.

B) De límite líquido, contracción lineal y valor cementante, los fijados en el cuadro siguiente de acuerdo a su método de prueba.

CARACTERISTICAS	ZONA EN QUE SE CLASIFICAN EL MATERIAL DE ACUERDO CON SU GRANULOMETRIA		
	1	2	3
Límite líquido, en por ciento.			
Contracción lineal en por ciento.	30 Máx.	30 Máx.	30 Máx.
Valor cementante para materiales angulosos en kg./Cm.2	4.5 Máx.	3.5 Máx.	2.0 Máx.
Valor cementante para materiales redondeados y lisos. en kg./Cm.2	3.5 Mín.	3.0 Mín.	2.5 Mín.
	5.5 Mín.	4.5 Mín.	3.5 Mín.

Cuando la curva granulométrica del material se aloje en dos o más zonas en la parte correspondiente de las fracciones comprendidas entre las mallas núms. 40 y 200, la contracción lineal deberá considerarse par la zona en la cuál 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.

1) En Carreteras:

INTENSIDAD DE TRANSITO EN AMBOS SENTIDOS	VALOR RELATIVO DE SOPORTE ESTANDAR	EQUIVALENTE DE ARENA (TENTATIVO)	ÍNDICE DE DURABILIDAD (TENTATIVO)
Hasta 1000 vehículos pesados al día.	80 Mín.	30 Mín.	35 Mín.
Más de 1000 vehículos pesados al día.	100 Mín.	50 Mín.	40 Mín.

Los vehículos pesados incluyen los autobuses y los camiones en todos sus tipos.

2) En aeropistas:

PESO TOTAL DE AERONAVES	VALOR RELATIVO DE DE SOPORTE ESTANDAR	EQUIVALENTE DE ARENA (Tentativo)	ÍNDICE DE DURABILIDAD (Tentativo)
Hasta 30 toneladas.	80 Mín.	30 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 XI.2-3.5

E) De grado de compactación con la carretera o aeropista. 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.

XI.2-3.7.- Los materiales clasificados en el grupo D del inciso XI.2-2.1 (clasificación) que contengan predominantemente partículas que pasen por la malla núm. 4 (más del 70%), cuando se empleen para bases en pavimentos flexibles en carreteras de tránsito menor de mil (1 000) vehículos pesados diarios y para sub-bases en pavimentos rígidos para aeropistas deberán llenar los requisitos siguientes:

A) Los materiales que acusen un valor para la contracción lineal mayor de los límites señalados en el inciso XI-03.6, pueden utilizarse como base de pavimento, si una vez estabilizados con algún material asfáltico, satisface los requisitos siguientes de valor de estabilidad, expansión y absorción, determinados según los métodos de prueba.

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 bases de pavimentos, 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 prueba65 kg. mínimo. (Tentativo)

C) De grado de compactación en la carretera o aeropista. 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 máximo, salvo que el proyecto fije un grado diferente de compactación.

D) Los materiales asfálticos que se empleen en las mezclas para bases indicadas en los párrafos A) y B) de este inciso deberán cumplir con las normas fijadas para esos materiales

XI.2-3.8.- Los materiales clasificados en el grupo E) inciso XI.2-2.2; cuando se empleen para bases en pavimentos en carreteras o aeropistas y para sub-bases de losas de concreto hidráulico en aeropistas, deberán satisfacer los requisitos siguientes:

A) En las estabilizaciones de materiales para bases de tipo flexibles (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 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.
 - 2) Los materiales estabilizados, una vez analizados de acuerdo con los métodos de prueba, deberán satisfacer las normas establecidas en el inciso XI.2-3.6.
 - 3) Los materiales ya estabilizados, deberán compactarse en la carretera o aeropista 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.
- B) En las estabilizaciones de materiales para bases de tipo rígido (suelo-cemento), en cada caso particular el proyecto y/o la Secretaría fijará las normas de calidad que deberán cumplirse.

XI.2-3.9.- Los materiales clasificados en el grupo F), del inciso XI.2-2.1, cuando se empleen para bases de pavimentos de carreteras o aeropistas y para sub-bases de losas de concreto hidráulico en aeropistas, deberán llenar los requisitos siguientes:

A) Para material antes de estabilizarse:

- 1) Índice plástico, determinado según los métodos de prueba descritos en el Capítulo XI-3.
45 máximo.....10 mínimo.
- 2) Límite líquido, determinado según los métodos de prueba descritos en el Capítulo XI-3.
45 máximo.
- 3) Contenido de materia orgánica, determinado por el método de prueba citado en el Capítulo XI-3 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 XI.2-3.6, de acuerdo con los métodos de prueba citados en el Capítulo XI-3.

C) Los materiales una vez estabilizados, deberán compactarse en la carretera o aeropista 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.

XI.2-3.10.- Los materiales clasificados en el grupo D) del inciso XI.2-2.1, puede emplearse para la construcción de bases asfálticas y/o capas de renovación, 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.

- 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 núm. XI-4.

- 2) La curva granulométrica deberá afectar una forma semejante a la de las curvas que limitan las zonas, por lo menos en dos terceras (2/3) partes de su longitud, sin presentar cambios bruscos de pendiente.

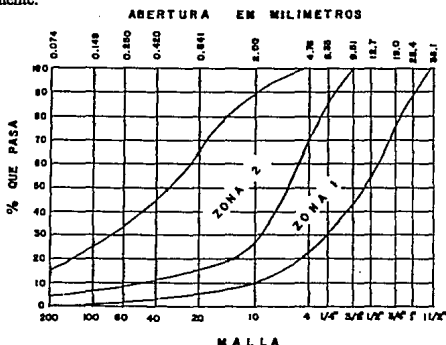


Fig. XI-4.
ZONAS DE ESPECIFICACIONES GRANULOMETRICAS
ABERTURA EN MILIMETROS

- 3) El tamaño máximo de las partículas del material no deberán ser mayor de treinta y ocho (38) milímetros (1 1/2") ni de dos tercios (2/3) del espesor compacto de la capa de base o de renovación.

- B) De contracción lineal, de acuerdo con los métodos de prueba.....3 % MAXIMO
- C) De afinidad con el asfalto, de acuerdo con lo fijado en la tabla del inciso XI.2-3.5.
- D) Desgaste Los Angeles, determinado de acuerdo con los métodos de prueba.....45 % MAXIMO

MATERIALES PETREOS PARA CARPETAS Y MEZCLAS ASFALTICAS.

XI.2-4 DEFINICION.

XI.2-4.1.- Son los materiales pétreos seleccionados que, aglutinados con un material asfáltico, se emplean para construir carpetas o mezclas asfálticas.

XI.2-5 CLASIFICACION.

XI.2-5.1.- Los materiales pétreos se clasifican en :

- A) Materiales naturales que requieran uno o varios de los tratamientos indicados a continuación: disgregación, cribado, trituración, y lavado.
- B) Mezclas de dos (2) o más materiales del grupo anterior.

XI.2-6 NORMAS DE MATERIALES.

XI .2-6.1.- Los materiales pétreos para carpetas asfálticas, elaboradas por el sistema de mezcla en el lugar y en planta estacionaria, deberán satisfacer las siguientes normas:

- A) De granulometría, de acuerdo con los métodos de prueba.
 - 1) La curva granulométrica del material pétreo para mezclas en el lugar, deberá cumplir con lo que indique el proyecto en cada caso y, en términos generales, deberá quedar comprendida entre el limite inferior de la zona 1 y el limite superior de la zona 2, de la Figura Núm.XI-5, La zona 1, corresponde a materiales pétreos de granulometría gruesa y la zona 2, a los materiales pétreos de granulometría fina. La curva granulométrica del material pétreo, deberá afectar una forma semejante a la de las curvas que limitan las zonas, por lo menos en las dos terceras (2/3) partes de su longitud, sin presentar cambios bruscos de pendiente.

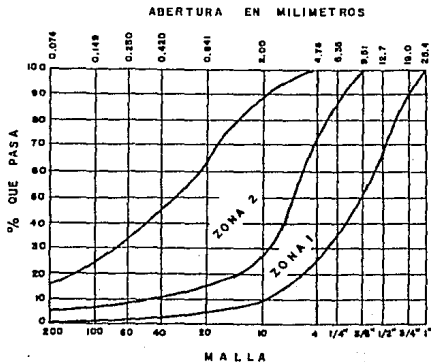


Fig. XI-5.
Abertura en milímetros.

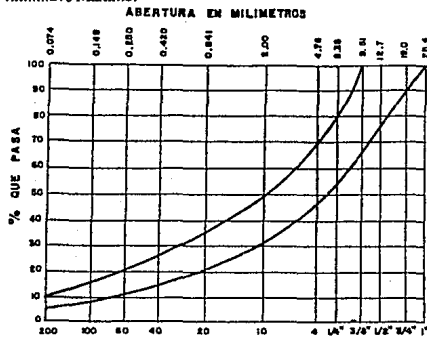
ZONAS DE ESPECIFICACIONES GRANULOMETRICAS PARA MATERIALES PETREOS QUE SE EMPLEEN EN MEZCLAS ASFALTICAS EN EL LUGAR.

2) La curva granulométrica del material pétreo para concreto asfáltico, en términos generales deberá quedar comprendida en la zona limitada por las dos curvas de la Figura Núm. XI- 6. En cada caso el proyecto señalará la granulometría correspondiente, de acuerdo con los requisitos fijados en el diseño de la mezcla. La granulometría del material cumple con los requisitos de proyecto, si está dentro de las siguientes tolerancias:

TAMAÑO DEL MATERIAL PETREO		TOLERANCIA POR CIENTO EN PESO DEL MATERIAL
Malla que pasa	Retenido en mallas	
Correspondiente al tamaño máximo	4.76 mm. (Núm. 4)	±5
4.76 mm. (Núm. 4)	2.00 mm. (Num.10)	±4
2.00 mm. (Núm. 10)	0.420 mm. (Núm.40)	±3
0.420 mm. (Núm. 40)	0.074 mm. (Núm.200)	±1
0.074 mm. (Núm.200)	±1

B) De contracción lineal, de acuerdo con los métodos de prueba.

- 1) Cuando la curva granulométrica del material pétreo quede ubicada en la zona 1, de la figura Núm. XI-4.....3% Máximo.
- 2) Cuando la curva granulométrica del material pétreo quede ubicada en la zona 2, de la figura Núm. XI-4.....2% Máximo.



MALLA
Fig. XI-6.
Abertura en milímetros.

**ZONA DE ESPECIFICACIONES GRANULOMETRICAS PARA MATERIALES
PETREOS QUE SE EMPLEEN EN CONCRETOS ASFALTICOS.**

- 3) Material pétreo para concreto asfáltico...2% Máximo.
- C) De desgaste Los Angeles para cualquier tipo de material pétreo, de acuerdo con los métodos de prueba40% Máximo.
- D) De forma de la partículas. Partículas alargadas y/o en forma de laja, determinada con los métodos de prueba35% Máximo.
- E) De afinidad con el asfalto, de acuerdo con lo fijado en la tabla del inciso XI.2-6.5.
- F) Equivalente de arena de acuerdo con los métodos de prueba55% Mínimo.

XI.2-6.2.- Los materiales pétreos para carpetas asfálticas por el sistema de riegos (tratamientos superficiales) y para riego de sello, deberán satisfacer los siguientes requisitos:

- A) De granulometría, determinada de acuerdo con los métodos de prueba, según cuadro siguiente.
- B) De desgaste de Los Angeles para cualquier tipo de material pétreos.....30% Máximo.
- C) De intemperismo acelerado de acuerdo a los métodos de prueba.....12% Máximo.
- D) De forma de las partículas alargadas, para partículas alargadas y/o en forma de laja, determinada con los métodos de prueba.....35% Máximo.
- E) De afinidad con el asfalto, de acuerdo con lo fijado en la tabla del inciso XI.2-6.5.

XI.2-6.3.- Los materiales pétreos empleados en la construcción de morteros asfálticos, deberán satisfacer los siguientes requisitos:

- A) De granulometría de acuerdo a los métodos de prueba. La curva granulométrica del material pétreo para morteros asfálticos deberá cumplir con lo que fije el proyecto en cada caso y, en términos generales, deberá quedar comprendida dentro de la zona limitada por las dos (2) curvas de la Figura núm. XI-7.

ESPECIFICACIONES GRANULOMETRICAS PARA MATERIALES PETREOS QUE SE EMPLEEN EN CARPETAS ASFALTICAS POR EL SISTEMA DE RIEGO O PARA RIEGO DE SELLO.

DENOMINACION DEL MATERIAL PETREO	POR CIENTO QUE PASA LA MALLA										
	50.80 MM.	38.1 MM.	32.0 MM.	25.4 MM.	19.0 MM.	12.7 MM.	9.51 MM.	6.35 MM.	4.76 MM.	2.38 MM.	0.42 MM.
1			100	95 (MIN)		5 (MAX)		0			
2					100	95 (MIN)		5 (MAX)		0	
3-A							95 (MIN)			5 (MAX)	
3-B								95 (MIN)		5 (MAX)	
3-E						100	95 (MAX)		5 (MAX)		

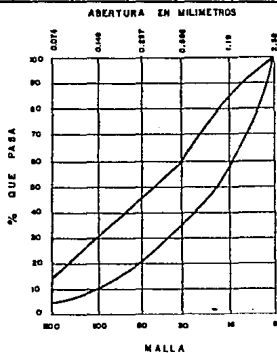


Fig. XI-7.
Abertura en milímetros.

ZONA DE ESPECIFICACIONES GRANULOMETRICAS PARA MATERIALES PETREOS QUE SE EMPLEEN EN MORTEROS ASFALTICOS.

B) De contracción lineal, de acuerdo al método de prueba.....2% Máximo.

C) De equivalente de arena, de acuerdo al método de prueba.....40% Mínimo (Tentativo)

D) De desgaste, determinado de acuerdo al método de prueba10% Máximo (Tentativo)

E) De afinidad con el asfalto, de acuerdo con lo fijado en la tabla del inciso XI-03.5.

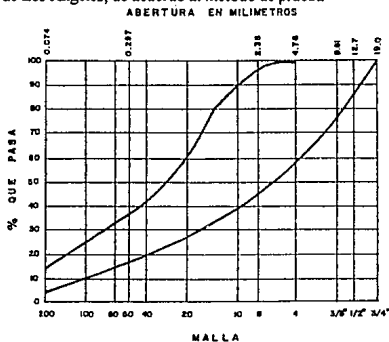
XI.2-6.4 Los materiales pétreos empleados en la construcción de guarniciones de concreto asfáltico, deberán reunir las siguientes norma:

A) De granulometría, de acuerdo con los métodos de prueba.

La curva granulométrica del material pétreo, para guarniciones asfálticas, deberán cumplir con lo que fije el proyecto. En términos generales, deberá quedar comprendida dentro de la zona limitada por las dos (2) curvas de la figura Núm. XI-8, y, además, será aproximadamente paralela a una (1) de las curvas que delimita la zona.

B) De contracción lineal de acuerdo con los métodos de prueba 2% Máximo.

C) De desgaste de Los Angeles, de acuerdo al método de prueba 40% Máximo.



Abertura en milímetros.

ZONA DE ESPECIFICACIONES GRANULOMETRICAS PARA MATERIALES PETREOS QUE SE EMPLEEN EN GUARNICIONES ASFALTICAS.

D) De afinidad con el asfalto.

E) De equivalente de arena, de acuerdo con el método de prueba. 40% Mínimo. (Tentativo)

XI.2-6.5.- La afinidad del material pétreo con el asfáltico deberá cumplir, en cada caso, con los valores que se fijan en la tabla XI.3., determinados con sus respectivos métodos de prueba.

PRUEBA	DESPRENDIMIENTO POR FACCIÓN	CUBRIMIENTO CON ASFALTO	DESPRENDIMIENTO DE LA PELÍCULA	PERDIDA DE ESTABILIDAD POR IMBIBICION EN AGUA	REQUISITOS DE ACEPTACION
CAPA DE PAVIMENTO	% (1)	% (2)	% (3)	% (4)	
Sub-base de pavimento rígido, no estabilizada o estabilizada con materiales no asfálticos.	-----	90 Min.	25 Max.	-----	Que cumpla cuando menos con una (1) de las pruebas marcadas.
Sub-base de pavimento rígido, estabilizada con materiales asfálticos.	25 Max.	90 Min.	25 Max.	25 Max.	Que cumpla cuando menos con una (1) de las pruebas marcadas.
Base de pavimento flexible, no estabilizada o estabilizada con materiales no asfálticos.	25 Max.	90 Min.	25 Max.	-----	Que cumpla cuando menos con dos (2) de las pruebas marcadas.
Base de pavimento flexible, estabilizada con materiales asfálticos.	25 Max.	90 Min.	25 Max.	25 Max.	Que cumpla cuando menos con dos (2) de las pruebas marcadas.
Carpetas y bases asfálticas (Mezcla en el lugar y plantas estacionarias).	25 Max.	90 Min.	-----	25 Max.	Que cumpla cuando menos con dos (2) de las pruebas marcadas.
Carpetas asfálticas por el sistema de riegos.	25 Max.	90 Min.	-----	-----	Que cumpla con las dos (2) pruebas marcadas.
Morteros asfálticos.	25 Max.	-----	-----	-----	Que cumpla con la prueba marcada.
Guarniciones asfálticas.	-----	-----	25 Max.	25 Max.	Que cumpla cuando menos con una (1) de las pruebas marcadas.

NOTA: Los valores anteriores son tentativos.

TABLA XI.3

XI.- 3 MATERIALES PARA SUB-BASES Y BASES DE PAVIMENTACION.

XI.3-1 CONCEPTOS.

XI.3-1.1.- En este Capítulo se trata todo lo referente a la obtención, envases, identificación y transporte de las muestras de materiales para sub-bases y bases de pavimentación cuyas normas de calidad se han dado en el Capítulo XI. 2. La preparación que debe dárseles a dichas muestras y los ensayos a que se deben someter con el objeto de conocer su calidad y anticipar su probable comportamiento o bien determinar las causas que hayan motivado su falla en la obra.

XI.3-2 OBTENCION, ENVASES, IDENTIFICACION Y TRANSPORTE DE LAS MUESTRAS.

XI.3-2.1.- Es condición indispensable que las muestras obtenidas en los bancos, almacenamientos, plantas de trituración o cribado, o en el camino o aeropuerto, sean fielmente representativas del material que se trate.

XI.3-2.2.- La obtención de la muestra se hará en los bancos de materiales, almacenamientos, en las plantas de trituración o cribado, en el material depositado en la obra o en la estructura misma del camino o aeropuerto ya construido, de acuerdo con las recomendaciones generales que se dan a continuación:

- a) Para el muestreo de bancos se seguirán las indicaciones establecidas para la obtención de muestras alteradas ya sea de corte ó préstamo, así como el espaciamiento de sondeos y número de muestras de acuerdo a las características del suelo de conformidad a las Especificaciones, modificando la superficie correspondiente a cada sondeo a cuatrocientos (400) metros cuadrados. Cuando se trate de bancos de roca, se tomarán muestras preliminares de los afloramientos, que servirán como orientación a cerca de la calidad del material. Para definir si es conveniente o no explotar el banco, deberán efectuarse exploraciones por medio de explosivos o con máquinas perforadoras del tipo rotatorio para obtener corazones de la roca a diferentes profundidades.
- b) El muestreo con materiales almacenados, si el almacenamiento es de sección transversal trapezoidal, deberán efectuarse tanto en los taludes del depósito que forma el material, como la parte superior. El muestreo de los taludes se hará tomando material con una pala de mano a diferentes alturas de manera de abarcar todo el talud en una zona angosta {de uno (1) a dos (2) metros de ancho}, y dando un espaciamiento entre zonas contiguas de muestreo de diez (10) metros, aproximadamente.

El material así obtenido de cada zona deberá ser mezclado, sin contaminarlo y cuarteado, para obtener muestras individuales con peso no menor de cincuenta (50) kilogramos. En la parte superior de depósito, las muestras deberán obtenerse del material extraído de excavaciones o sondeos hechos a la mayor profundidad posible, y a un espaciamiento no mayor de diez (10) metros. Si la cantidad de material así obtenida es considerablemente mayor de cincuenta (50)

kilogramos, se procederá por cuarteo a reducir la cantidad de muestra hasta la especificada. En el caso de almacenamiento de forma piramidal, como son los formados por descarga de una banda transportadora, el muestreo se hará en la forma indicada para los taludes en el caso anterior. Cuando el almacenamiento está en proceso de formación, el muestreo deberá hacerse de preferencia a la descarga de la planta trituradora o clasificadora, como se indica más adelante.

- c) El muestreo en la plantas de trituración o cribado deberá hacerse de preferencia en la descarga de la banda transportadora o elevador de cangilones a la tolva, interceptando toda la corriente de material con un recipiente adecuado para tal objeto, a intervalos regulares. Estas fracciones de muestra de unos diez (10) kilogramos, aproximadamente, deberán tomarse a cada quince (15) minutos y se combinarán para formar una muestra de cincuenta (50) kilogramos, que representará la producción durante el lapso en que se efectuó el muestreo. Es conveniente que siempre que la producción de la planta exceda de cuatrocientos (400) metros cúbicos por turno, se tomen dos (2) muestras de cada turno en la forma ya indicada. Igualmente, si el material alimentado a la planta y consecuentemente su producción, es irregular en sus características físicas, conviene aumentar el número de muestras de acuerdo con su heterogeneidad. Para muestrear el material de la descarga de la tolva, conviene seleccionar un (1) vehículo por cada cuarenta y cinco (45) metros cúbicos de material que se transporte de la planta al almacenamiento o a la obra y tomar una muestra directamente del montón descargado. Como generalmente se presenta en éste una clasificación del material, el muestreo deberá hacerse tomando de diferentes alturas tanto de la zona donde predomina el material fino, como de la zona donde predomina los tamaños mayores. La muestra así obtenida deberá reducirse por cuarteo a unos diez (10) kilogramos aproximadamente, y combinarse en las demás muestras que se obtengan para tener, finalmente una muestra de cincuenta (50) kilogramos, cuando la producción no exceda de cuatrocientos (400) metros cúbicos por turno. Si la producción excede a esta cantidad deberá obtenerse una muestra por cada medio (1/2) turno. Si se observan variaciones apreciables en las características físicas del material deberá tomarse un mayor número de muestras.
- d) En el muestreo en la obra se presentan dos (2) casos: cuando el material se encuentra acordonado o formando montones en el sitio en el que va a ser utilizado, y cuando el material se encuentra ya tendido y compactado. Este segundo caso se refiere a las bases o sub-bases antiguas y, excepcionalmente, al caso de control de materiales durante la etapa de construcción. En el primer caso deberán tomarse muestras a equidistancias tales que representen a un volumen aproximado de cuarenta y cinco (45) metros cúbicos del material, las cuales se reducirán por cuarteo a una cantidad aproximada de diez (10) kilogramos. Cada diez (10) muestras así obtenidas se combinarán para obtener finalmente por cuarteo una muestra de cincuenta (50) kilogramos. Si el material se encuentra formando montones se procederá a obtener la muestra en la forma ya indicada en el párrafo XI.3-2.2.) de esta cláusula. Si el material se encuentra acordonado, el muestreo deberá hacerse de preferencia una vez que haya sido mezclado, tomando paladas en ambos lados del camellón y a diferentes alturas, en la sección elegida. En el caso de sub-bases o bases ya tendidas y compactadas, el muestreo se hará por lo menos en dos (2) sondeos localizados en una sección transversal de la faja compactada, equidistantes entre sí de tres (3) a cinco (5) metros, de acuerdo con el ancho de la faja. Dichos sondeos deberán tener una profundidad igual al espesor de la capa del material que se va a muestrear, y a una sección de dimensiones adecuadas a la cantidad de muestra que se

requiera. Las muestras que se obtengan de cada sección podrán combinarse para formar una sola muestra representativa de la sección, o bien construir muestras individuales, de acuerdo con el tipo de estudio de que se trate. Asimismo, la distancia entre secciones muestreadas estará fijada por el tipo de estudio y las condiciones del tramo muestreado, pero es conveniente que se estudien no menos de tres (3) secciones y que la distancia entre estas en ningún caso sea mayor de quinientos (500) metros.

XI.3-2.3.- La identificación de las muestras deberá hacerse siempre con dos tarjetas, una sujeta al exterior del envase y otra en su interior, con los siguientes datos claramente escritos, de acuerdo con el tipo de muestreo efectuado:

a) En el muestreo de bancos o almacenamientos, los datos serán los siguientes:

OBRA.

- Ubicación del banco o almacenamiento.
- Número de la muestra.
- Profundidad a la que se tomó la muestra.
- Espesor del estrato o capa correspondiente.
- Fecha.
- Nombre del operador.

En una libreta de campo se llevará un registro de las muestras y además deberá dibujarse un croquis del banco o almacenamiento, en el que se indicarán los sitios en que fueron tomadas las muestras, haciendo las referencias que fuere necesario.

b) En el muestreo en las plantas de trituración o cribado, los datos serán los siguientes:

OBRA.

- Ubicación de la planta. Número de la muestra.
- Hora en que se inició el muestreo.
- Hora en que se terminó el muestreo.
- Turno y fecha.
- Nombre del operador.

c) En el muestreo del material amontonado o acordonado en la obra, los datos serán los siguientes:

OBRA.

- Ubicación de la sección muestreada.
- Número de la muestra.
- Fecha.
- Nombre del operador.

d) En el muestreo del material tendido y compactado en la obra, los datos serán los siguientes:

OBRA.

- Ubicación del sondeo o sección muestreados.
- Número de la muestra.
- Espesor de la capa muestreada
- Fecha.
- Nombre del operador.

XI.3-2.4.- El envase y el transporte de las muestras deberá hacerse siguiendo las indicaciones dadas en el inciso XI.3- 30 de estas Especificaciones.

XI.3-3 PREPARACION DE LAS MUESTRAS

XI.3-3.1.- La preparación de las muestras de materiales para sub-bases y bases de pavimentación deberá ajustarse a lo indicado en la cláusula 3 de estas especificaciones.

XI.3-4.- DETERMINACION DE LA HUMEDAD.

XI.3-4.1.- La humedad de los materiales para sub-bases o bases de pavimento, se determinará de acuerdo con los procedimientos indicadas en las especificaciones generales de construcción editada por la antes Secretaria de Comunicaciones y Obras Publicas. Cuando se trate de determinar la humedad para obtener el peso volumétrico seco de una base o sub-base compactada, es conveniente hacer dicha determinación secando toda la muestra extraída del sondeo.

XI.3-5 DETERMINACION DE LA ABSORCION DEL MATERIAL PETREO RETENIDO EN LA MALLA DE NUEVE PUNTO CINCUENTA Y DOS (9.52) MILIMETROS (3/8").

XI.3-5.1.- Esta prueba deberá verificarse de conformidad al procedimiento establecido.

XI.3-6 DETERMINACION DE LA DENSIDAD.

XI.3-6.1.- La densidad del material pétreo que se retiene en la malla de nueve punto cincuenta y dos 9.52 milímetros (3/8"), se determinara siguiendo el procedimiento descrito por especificaciones.

En casos especiales en que sea necesario conocer la densidad de la fracción que pasa por la malla Núm. 4, se debe seguir el procedimiento de prueba indicado en las Especificaciones.

XI.3-7 DETERMINACION DEL PESO VOLUMETRICO

XI.3-7.1.- En el caso de materiales para sub-bases y bases de pavimentos, únicamente se harán las determinaciones de peso volumétrico suelto y seco y del peso volumétrico seco en el lugar.

XI.3-8. DETERMINACION DE LA COMPOSICION GRANULOMETRICA.

XI.3-8.1.- Esta prueba es básica en el estudio de materiales que vayan a ser utilizados en sub-bases o bases de pavimentos, los cuales deberán satisfacer los requisitos fijados en las

Especificaciones. Además se utiliza la prueba para hacer el diseño de mezclas de materiales con objeto de corregir las deficiencias en granulometría de los mismos y consecuentemente en su plasticidad.

XI.3-8.2.- La composición granulométrica de los materiales de sub-bases y bases de pavimento se determina y representa de acuerdo a lo indicado en los incisos XI.3-34.2 y XI.3-34.3 de estas Especificaciones.

XI.3-9. DETERMINACION DE LOS LIMITES DE ATTERBERG Y PRUEBAS COMPLEMENTARIAS.

XI.3-9.1.- Las pruebas de Atterberg, conjuntamente con la determinación de la composición granulométrica, son básicas para juzgar la calidad de los materiales que se pretende utilizar en la construcción de sub-bases y bases de pavimento, los cuales deben satisfacer los requisitos fijados en las Especificaciones.

Estas pruebas deberán ejecutarse de acuerdo con los procedimientos establecidos.

XI.3-10. PRUEBA DE COMPACTACION DE SUELOS CON AGREGADOS GRUESOS HASTA EL VEINTICINCO PUNTO CUATRO (25.4) MILIMETROS (1").

XI.3-10.1.- Como la prueba está limitada a materiales cuyas partículas de mayor tamaño no excedan de veinticinco punto cuatro (25.4) milímetros (1") y, en el caso de sub-bases o bases de pavimento, con frecuencia se tienen tamaños mayores, el material retenido en dicha malla deberá eliminarse por cribado previamente a la ejecución de la prueba.

XI.3-II. PRUEBA ESTANDAR DE VALOR RELATIVO DE SOPORTE (PRUEBA DE PORTER).

XI.3-11.1.- Esta prueba es complementaria de las de granulometría y plasticidad para juzgar la calidad de los materiales de sub-bases y bases de pavimento.

XI.3-12 MODIFICACIONES A LA PRUEBA ESTANDAR DE VALOR RELATIVO DE SOPORTE.

XI.3-12.1.- Estas pruebas se aplicarán únicamente al caso de sub-bases, para determinar si el espesor de base y carpeta está de acuerdo con el espesor requerido por la sub-base, para las condiciones más desfavorables de humedad y al grado de compactación que se tenga en la obra.

XI.3-12.2.- Estas pruebas deberán ejecutarse de acuerdo con el procedimiento descrito en las Especificaciones cuando se trate de pruebas verificadas en el laboratorio, o con el procedimiento que se indica para determinaciones directas en la obra.

XI.3 -13 PRUEBAS DE VALOR CEMENTANTE.

XI.3-13.1.- Esta prueba es fundamental para juzgar la calidad de los materiales que se utilicen en la construcción de sub-bases o bases de pavimento, principalmente si se trata de materiales de baja plasticidad, debiendo satisfacer los valores mínimos señalados en las Especificaciones.

XI.3-14 PRUEBAS DE AFINIDAD DEL MATERIAL PETREO CON EL ASFALTO.

XI.3-14.1.- Estas pruebas deberán efectuarse en los materiales para base de pavimento, con el objeto de conocer si el material propuesto presenta características de buena adherencia con el asfalto que se utilizará para el riego de impregnación de la base. El desprendimiento de la película asfáltica por deficiencia en la adherencia del material pétreo con el asfalto, se agudiza considerablemente en los cortes, cuando el camino está localizado en zonas de alta precipitación pluvial. Si la adherencia no es satisfactoria, de acuerdo con lo indicado en estas Especificaciones deberán modificarse las características de la superficie de las partículas de material pétreo mediante el empleo de agentes químicos.

MATERIALES PETREOS PARA CARPETAS ASFALTICAS.

XI.3-15 CONCEPTOS.

XI.3-15.1.- Este Capítulo se refiere a la obtención, envase, identificación y transporte de las muestras de materiales pétreos cuyas normas de calidad se han dado en los incisos XI.2-4, XI.2-5, XI.2-6, de estas Especificaciones Generales de Construcción, a la preparación que deba darse a dichas muestras y a los ensayos que es necesario efectuar para determinar su calidad.

XI.3-16. OBTENCION, ENVASE, IDENTIFICACION Y TRANSPORTE DE LAS MUESTRAS.

XI.3-16.1.- Las muestras que se obtengan en los bancos, almacenamiento, plantas de trituración o cribado, o del material acarreado a la obra, deberán ser fielmente representativas del material de que se trate.

XI.3-16.2.- La obtención de las muestras de los materiales pétreos para carpeta asfáltica, deberá hacerse siguiendo las indicaciones que se dan a continuación:

- a) El muestreo de bancos se hará de acuerdo con lo indicado en el párrafo XI.3-2.2.a de estas Especificaciones.
- b) El muestreo de los materiales almacenados deberá hacerse siguiendo el procedimiento indicado en el párrafo XI.3-2.2.b de estas Especificaciones.
- c) Para el muestreo en las plantas de trituración o cribado, cuando la muestra se pueda obtener de la descarga a la tolva de la banda transportadora o elevador de cangilones, se procederá en la forma indicada en el párrafo XI.3-2.2.c de estas Especificaciones, debiendo obtener una muestra por turno, cuando la producción de la planta sea igual o inferior a ciento cincuenta (150) metros cúbicos. Si la producción es mayor de la indicada, deberá obtenerse una muestra de cada medio (1/2) turno. Cuando la muestra vaya a tomarse de la descarga de la tolva puede

tenerse dos (2) alternativas: en primer lugar el muestreo de los materiales que no hayan sido clasificados, en cuyo caso se recomienda seleccionar un (1) vehículo por cada treinta(30) metros cúbicos, como máximo, del material que se transporte de la planta al almacenamiento o a la obra, y tomar una muestra directamente del montón descargado. La forma en que deberá obtenerse dicha muestra es la misma que se indicó en el párrafo XI.3-2.2.c de estas Especificaciones, debiendo mezclarse cada cinco (5) de éstas para obtener, por cuarteo, una (1) muestra de veinticinco (25) kilogramos.

También pueden muestrearse los materiales clasificados en diferentes tamaños, en cuyo caso deberá formarse, siguiendo el procedimiento ya indicado, una (1) muestra de cada material por cada ciento cincuenta (150) metros cúbicos de producción total de la planta.

- d) Para el muestreo del material acordonado o formando montones en la obra, deberá procederse en la misma forma que se indicó en el párrafo XI.3-2.2.d de estas Especificaciones, con las siguientes modificaciones: se deberá tomar una (1) fracción de muestra por cada treinta (30) metros cúbicos de material acarreado a la obra y se combinarán cinco (5) de estas fracciones para obtener por cuarteo una muestra de veinticinco (25) kilogramos.

XI.3-16.3.- La identificación de las muestras de materiales pétreos para carpetas deberá hacerse en la forma indicada en el inciso XI.3-2.3. de estas Especificaciones, y el envase y transporte de las mismas se hará como se indicó en el inciso XI.3-2.4. de estas Especificaciones.

XI.3-17. PREPARACION DE LAS MUESTRAS.

XI.3-17.1.- La preparación de las muestras de material pétreo para carpetas asfálticas deberá hacerse en la forma indicada en la cláusula XI.3-31, de estas Especificaciones.

XI.3-18. DETERMINACION DE LA HUMEDAD.

XI.3-18.1.- Esta prueba es de importancia tratándose de materiales pétreos para carpetas asfálticas, ya que la presencia de un exceso de humedad dificulta o impide la adherencia de la película asfáltica.

XI.3-18.2.- La humedad de los materiales pétreos deberá determinarse de acuerdo con lo indicado en las Especificaciones.

XI.3-19. DETERMINACION DE LA ABSORCION DEL MATERIAL PETREO RETENIDO EN LA MALLA DE NUEVE PUNTO CINCUENTA Y DOS (9.52) MILIMETROS (3/8").

XI.3-19.1.- La absorción de los materiales pétreos se determinará siguiendo el procedimiento indicado en las Especificaciones.

XI.3-20. DETERMINACION DE LA DENSIDAD.

XI.3-20.1.- La determinación de la densidad del material pétreo se hará de acuerdo con lo indicado en las Especificaciones.

XI.3-21. DETERMINACION DEL PESO VOLUMETRICO.

XI.3-21.1.1.- En el caso de materiales pétreos para carpetas asfálticas, únicamente se hará la determinación del peso volumétrico suelto y seco, que tiene aplicación en la conversión de pesos de material a volúmenes.

XI.3-22. DETERMINACION DE LA COMPOSICION GRANULOMETRICA.

XI.3-22.1.- El análisis granulométrico se deberá efectuar en cualquiera de los siguientes casos:

- a) En el material original del banco propuesto; lo cual tiene por objeto, en el caso de materiales granulares de depósito (gravas y arenas, conglomerados, etc.), comparar su granulometría con la propuesta para la carpeta, para definir el tratamiento que deberá darse al material original. Cuando se trate de roca, se procurará triturar una muestra representativa utilizando de preferencia un equipo semejante al que se vaya a emplear en la construcción, para tener una idea de la composición granulométrica que se pueda esperar, así como de la forma en que se rompe el material.
- b) En los productos de la planta de cribado o de trituración, la determinación de la composición granulométrica puede hacerse con fines de control cuando se trate de mezclas asfálticas o tratamientos superficiales, o bien para hacer la dosificación en que deberán intervenir los diferentes tamaños en la composición de una mezcla asfáltica.
- c) En el producto de la planta de mezclado o en la carpeta ya construida, en cuyos casos se verificará la prueba con fines de comprobación. Deberá hacerse previamente la extracción del asfalto de acuerdo con las Especificaciones.

XI.3-22.2.- En el procedimiento de prueba, se presentan los dos (2) casos siguientes:

- a) El de los agregados graduados para mezclas asfálticas. Los conceptos expresados en inciso XI.3-34.1 respecto a la composición granulométrica de los suelos para terracerías, sub-bases, o bases, se aplican a los materiales empleados en la elaboración de mezclas asfálticas con agregados graduados. En estos últimos, se admite una menor proporción de finos, ya que va a reemplazarse con un cementante asfáltico, el cementante natural constituido precisamente por el material fino. La prueba de granulometría se hace en la misma forma que se especifico en las pruebas descritas en los incisos XI.3-34.2. y XI.3-34.3 de estas Especificaciones, utilizando las siguiente mallas Tyler estándar de abertura cuadrada.

Denominación						
1"	3/4"	1/2"	3/8"	1/4"	Núm. 4	

Abertura en mm.						
25.40	19.05	12.70	9.52	6.35	4.76	

Denominación					
Nº 10	Nº 20	Nº 40	Nº 60	Nº 100	Nº 200
Abertura en mm.					
2000	0.840	0.420	0.250	0.149	0.074

Los resultados se representarán en una gráfica en la cual se colocará en el eje de las ordenadas, a escala aritmética, el por ciento de material que pasa por la malla y en las abscisas, a escala logarítmica, las aberturas de mallas.

- b) El de los agregados clasificados para tratamientos superficiales y macadam. El cribado de los materiales se hará en seco hasta la malla de seis punto treinta y cinco (6.35) milímetros (1/4"), por el procedimiento indicado en el inciso XI.3-34.2 de estas Especificaciones, utilizando algunas de las siguientes mallas Tyler estándar de abertura cuadrada, de acuerdo con el tamaño del agregado y las normas respectivas:

Denominación								
3"	2 1/2"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	1/4"
Abertura en mm.								
76.2	63.5	50.8	38.1	25.4	19.05	12.70	9.52	6.35

En agregados de tamaño menor de seis punto treinta y cinco (6.35) milímetros (1/4") deberá hacerse el cribado en húmedo por la malla Núm. 40, para que el polvo adherido a las partículas se desprenda y pueda cuantificarse. Se emplearán únicamente las siguientes mallas.

Denominación			
Nº 4	Nº 8	Nº 10	Nº 40
Abertura en mm.			
4.76	2.38	2.00	0.42

XI.3-23.- LIMITES DE ATTERBERG Y PRUEBAS COMPLEMENTARIAS.

XI.3-23.1.- Estas pruebas se aplican a materiales pétreos para carpeta, a fin de conocer el grado de plasticidad de los finos, que sería un indicio de la presencia de arcilla. Esta arcilla puede ser perjudicial, principalmente en mezclas asfálticas, dependiendo de su actividad y de la cantidad y forma en que se presente en el material. Cuando la arcilla se encuentre dispersa en el material o adherida a sus partículas, ocasiona una deficiencia en la adherencia de la película asfáltica, y si se encuentra formando grumos aislados, cada uno de éstos constituyen un punto débil en la carpeta, en presencia de agua. Los materiales pétreos para mezclas asfálticas deberán cumplir con el requisito de plasticidad, medida indirectamente por la contracción lineal.

XI.3-23.2.- En cuanto a su ejecución, estas pruebas se deberán efectuar siguiendo los procedimientos que se indican en las Especificaciones.

XI.3-24.- PRUEBAS DE DESGASTE.

XI.3-24.1.- La prueba de desgaste tiene por objeto conocer la calidad del material pétreo y es una medida indirecta del grado de alteración alcanzado por éste, así como de la presencia de planos de debilitamiento o cristalización que provocan una desintegración de la partícula de material. Igualmente da una idea de la presencia de partículas con forma de laja, cuyas aristas vivas sufren una fuerte abrasión durante la prueba. Se verificará en muestras constituidas por trozos de roca, roca triturada y grava triturada o sin triturar, siguiendo alguno o algunos de los procedimientos establecidos. Cuando la muestra esté constituida por material heterogéneo y se tengan dudas de la calidad de algunos de estos materiales, deberán efectuarse pruebas por separado del material sano y del material alterado o de diferente origen, así como una prueba en la muestra constituida por ambos materiales, en la que están representados en la misma proporción en que se encuentren en el banco, o en la que vayan a ser utilizados. Los materiales pétreos que se utilicen en la construcción de carpetas deberán satisfacer los requisitos fijados en las Especificaciones.

XI.3-24.2.- En este inciso se describe la prueba de desgaste en la máquina Deval, para realizar en roca en trozos:

a) El equipo de prueba será el siguiente:

Una máquina Deval consiste en uno (1) o más cilindros huecos de hierro fundido, cerrados por un extremo y provistos de tapa con cierre hermético por otro lado, los cuales van montados formando un ángulo de 30° con el eje horizontal de rotación de la máquina. Las dimensiones interiores son: diámetro veinte (20) centímetros y altura treinta y cuatro (34) centímetros (Fig. XI-9). La máquina estará provista de un mecanismo que le permita girar a razón de treinta (30) a treinta y tres (33) revoluciones por minuto y llevará acoplado un contador de revoluciones. Un horno que mantenga una temperatura de cien a ciento diez grados centígrados ($100-110^\circ\text{C}$).

Charolas de lámina una balanza de veinte (20) kilogramos con capacidad de un (1) gramo. Marro y cinceles.

Una malla Tyler estándar de abertura cuadrada del Núm. 12.

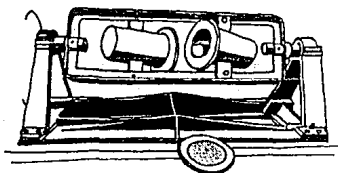


Fig. XI.9.

b) El procedimiento de prueba es el siguiente: Se romperá la roca por probar en trozos de forma más o menos cúbica, sin vértices agudos ni aristas salientes y en número aproximado de cincuenta (50), que den un peso total de cinco (5) kilogramos más o menos diez (10) gramos

(Fig. XI-10). La muestra se lavará y se secará en un horno. Nuevamente se pesará y se anotará este valor como peso inicial "Pi" es importante que la temperatura de secado no sea excesiva, pues podría afectar los resultados de la prueba. Cuando la densidad aparente del material sea menor de 2.2 deberá usarse cuatro (4) kilogramos de muestra para la prueba, conservando el mismo número de piezas. La muestra seca se colocará dentro de la máquina, haciéndola girar aproximadamente cinco y media (5 1/2) horas hasta completar diez mil (10 000) revoluciones. El material se sacará de la máquina Deval y se lavará sobre una malla No. 12. El retenido se colocará en el horno para secarlo hasta obtener peso constante que se anotará como peso final "Pf".



Fig. XI.10

c) El por ciento de desgaste se calculará en la forma siguiente:

$$\text{Porcentaje de desgaste} = \frac{P_i - P_f}{P_i} (100)$$

XI.3-24.3.- En este inciso se describe la prueba de desgaste en la máquina Deval para agregados graduados.

a) El equipo de prueba deberá estar constituido por:

Una máquina Deval.

Seis (6) esferas de hierro fundido de cuarenta y siete punto seis (47.6) milímetros de diámetro y peso de cuatrocientos treinta (430) gramos, cada una. Un juego de mallas Tyler estándar de abertura cuadrada de las siguientes denominaciones: cincuenta punto ocho (50.8) milímetros (2"), treinta y ocho punto uno (38.1) milímetros (1 1/2"), veinticinco punto cuatro (25.4) milímetros (1"), diecinueve punto cinco (19.05) milímetros (3/4"), doce punto siete (12.7) milímetros (1/2"), nueve punto cincuenta y dos (9.52) milímetros (3/8"), Núm. 4 y Núm. 12. Un horno con temperatura de cien a ciento diez grados centígrados (100-110 °C).

Charolas de lámina.

Una balanza de veinte (20) kilogramos de capacidad y sensibilidad de un (1) gramo.

b) El procedimiento de prueba es el siguiente:

La muestra de material graduado se lavará para eliminar el polvo que lleven adherido las partículas, y se secará. Se cribará a través de las mallas anotadas arriba para conocer su composición granulométrica anotadas en la tabla XI.4 de este inciso, seleccionando las que más se asemejen a la granulometría escogida para la carpeta, sea que esta se vaya a construir por el procedimiento de mezclas asfáltica o por el del tratamiento superficial. Es muy conveniente efectuar por separado determinaciones de la pérdida por desgaste en los tamaños gruesos y en los finos del material por ensayar, con objeto de obtener una información más completa de sus características. Cuando se cuenta con una grava que tenga hasta un veinticinco por ciento (25%) de partículas menores de doce punto siete (12.7) milímetros, deberá determinarse el desgaste usando las mezclas A, B ó C, pero será necesario efectuar una segunda (2ª) prueba empleando las mezclas D ó E, si se considera que son de distinta dureza las piezas mayores de doce punto siete (12.7) milímetros que las menores de este tamaño.

La muestra ya preparada se colocará junto con las seis (6) esferas de hierro en la máquina Deval, la cual se hará girar hasta completar diez mil (10 000) revoluciones. Se sacará la muestra de la máquina, se lavará a través de la malla núm. 12, el retenido se secará en el horno hasta peso constante y se anotará el peso "Pf".

- c) El por ciento de desgaste se calculará con la fórmula siguiente:

$$\text{Porcentaje de desgaste} = \frac{P_i - P_f}{P_i} \quad (100)$$

Siendo:

P_i = Peso origina de la muestra.

P_f = Peso final de la muestra después de sometida a la prueba de desgaste.

TIPO	TAMAÑO	cantidad en gramos	
		Si D es mayor de 2.2	Si D es menor de 2.2
A	De 50.8 mm a 38.1 mm	1 250	1 000
	De 38.1 mm a 25.4 mm	1 250	1 000
	De 25.4 mm a 19.05 mm	1 250	1 000
	De 19.05 mm a 12.7 mm	1 250	1 000
B	De 38.1 mm a 25.4 mm	2 500	2 000
	De 25.4 mm a 19.5 mm	1 250	1 000
	De 19.05 mm a 12.7 mm	1 250	1 000
C	De 25.4 mm a 19.05 mm	2 500	2 000
	De 19.05 mm a 12.7 mm	2 500	2 000
D	De 19.05 mm a 12.7 mm	2 500	2 000
	De 12.70 mm a Núm 4.	2 500	2 000
E	De 12.7 mm a 9.52 mm	2 500	2 000
	De 9.52 mm a Núm. 4.	2 500	2 000

TABLA XI.4

Las gravas que contengan más de diez (10) por ciento de partículas trituradas se consideran como grava triturada. En tales casos, la prueba de desgaste deberá hacerse con el material, incluyendo las piezas trituradas, en la forma antes descrita. Deberá determinarse el porcentaje en peso, de las partículas trituradas y se calculará el desgaste permitido por medio de la siguiente fórmula:

$$\text{Porcentaje de desgaste permitido} = \frac{A \times L + (100 - A) \times L'}{100}$$

En donde:

A = Porcentaje de partículas sin triturar.

100 A = Porcentaje de partículas sin triturar.

L' = Porcentaje de desgaste permisible para piedras o gravas sin partículas trituradas.

XI.3-24.4.- En este inciso se describe la prueba de desgaste en la máquina Los Angeles para agregados graduados.

a) El equipo de prueba será el siguiente:

Una máquina de abrasión de Los Angeles, constituida por un cilindro de acero, hueco, cerrado en ambos extremos, con un diámetro interior de setenta y uno punto uno (71.1) centímetros (28") y una longitud de cincuenta punto tres (50.3) centímetros (20"). El cilindro está montado sobre ejes fijos a las bases, pero que no se proyectan al interior, de manera que pueda girar sobre su eje con una posición horizontal con velocidad angular de treinta y treinta y tres (30-33) revoluciones por minuto. Está provisto de una abertura para la introducción del material, la cual podrá cerrarse herméticamente por medio de una cubierta provista de pernos y diseñada de manera de conservar el contorno de la superficie interior (Fig.X-8).

El cilindro llevará en su parte interior una placa de acero removible de dos punto cincuenta y cuatro (2.54) centímetros (1") de espesor, que se proyecta radialmente ocho punto nueve (8.9) centímetros (3 1/2") sobre el cilindro en toda su longitud. Esferas de hierro fundido o de acero de cuarenta y siete punto seis (47.6) milímetros (1 7/8") de diámetro y peso comprendido entre trescientos noventa y cuatrocientos cuarenta y cinco (390 y 445) gramos.

Mallas Tyler estándar de abertura cuadrada de las siguientes denominaciones: setenta y seis punto dos (76.2) milímetros (3"), sesenta y tres punto cinco (63.5) milímetros (2 1/2"), cincuenta punto ocho (50.8) milímetros (2"), treinta y ocho punto uno (38.1) milímetros (1 1/2"), veinticinco punto cuatro (25.4) milímetros (1"), diecinueve punto cinco (19.05) milímetros (3/4"), doce punto siete (12.7) milímetros (1/2"), Núm. 3, Núm. 4, Núm. 8 y Núm. 12.

Charolas de lámina.

Un horno a temperatura de cien a ciento diez grados centígrados (100-110 °C).

Una balanza de veinte (20) kilogramos de capacidad y un (1) gramo de sensibilidad.

- b) El procedimiento de prueba se describe a continuación: la muestra original de material deberá lavarse para eliminar el polvo que lleven adherido las partículas y secarse en el horno hasta peso constante. Después se cribará a través de las mallas anotadas arriba para conocer su graduación y se formará una granulometría de acuerdo con lo indicado en la tabla XI.5 de este inciso, seleccionando aquellas que más se asemejen a la graduación propuesta para la carpeta asfáltica. Es muy conveniente efectuar pruebas por separado de los tamaños gruesos y finos, para tener una mayor información de las características del material, si la muestra está formada por trozos de roca, éstos deberán triturarse y formar una de las graduaciones indicadas. La tabla XI.5 proporciona información de las cantidades de material y sus tamaños respectivos que deberán utilizarse para la prueba, así como de las cargas abrasivas y del número de revoluciones que deberá darse a la máquina.

La muestra seleccionada, que ha sido pesada previamente (Pi), se colocará junto con las esferas de la máquina, la cual se hará girar hasta completar el número de revoluciones especificado. Se sacará la muestra de la máquina y se lavará a través de la malla Núm. 12. El retenido en la malla se secará en el horno y se pesará (Pf).

$$\text{PORCENTAJE DE DESGASTE} = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100$$

TIPO	TAMAÑO	CANT. EN Gr. DE LA MUESTRA	CARGA ABRASIVA		Nº DE REVOLUCIONES
			Nº. DE ESFERA	PESO EN GRAMOS	
A	DE 38.1 A 25.4 MM	1250	12	5000 ± 25	500
	DE 25.4 A 19.05 MM	1250			
	DE 19.05 A 12.7 MM	1250			
	DE 12.7 A 9.52 MM	1250			
B	DE 19.05 A 12.7 MM	2500	11	4584 ± 25	500
	DE 12.7 A 9.52 MM	2500			
C	DE 9.52 A 12.7 MM	2500	8	3330 ± 20	500
	DE Nº 3 A Nº 4	2500			
D	DE Nº 4 A Nº 8	5000	6	3330 ± 20	5000
E	DE 76.2 A 63.5 MM	2500	12	5000 ± 25	1000
	DE 63.5 A 50.8 MM	2500			
	DE 50.8 A 38.1 MM	2500			
F	DE 50.8 A 38.1 MM	5000	12	5000 ± 25	1000
	DE 38.1 A 25.4 MM	5000			
G	DE 38.1 A 25.4 MM	5000	12	5000 ± 25	1000
	DE 25.4 A 19.05 MM	5000			

TABLA XI-5

XI.3-25. DETERMINACION DE LA PERDIDA POR INTEMPERISMO ACELERADO EN EL MATERIAL PETREO.

XI.3-25.1.- La prueba de intemperismo acelerado, al determinar la resistencia a la desintegración de los agregados pétreos, causada por los esfuerzos desarrollados al formarse cristales de sulfato de sodio o de magnesio en los huecos o fisuras del agregado, es un índice del grado de alteración que puede alcanzar éste por la acción de los agentes atmosféricos. Estos datos son muy valiosos, principalmente cuando no se cuenta con información adecuada del comportamiento del material expuesto a las condiciones de intemperismo existentes en la región. Deberá hacerse únicamente cuando se tengan dudas a cerca de la calidad del material que pretende emplearse en la elaboración de carpetas asfálticas.

XI.3-25.2.- El equipo necesario será:

Un juego de mallas Tyler estándar de abertura cuadrada de las denominaciones siguientes: treinta y ocho punto uno (38.1) milímetros (1 1/2"), veinticinco punto cuatro (25.4) milímetros (1"), diecinueve punto cinco (19.05) milímetros (3/4"), doce punto siete (12.7) milímetros (1/2") y Núm. 4.

Charola de Peltre.

Balanza de cinco (5) kilogramos de capacidad y un (1) gramo de sensibilidad.
Solución saturada de sulfato de sodio o magnesio.

Horno a temperatura de cien a ciento diez grados centígrados (100-110 °C).

XI.3-25.3.- El procedimiento de prueba se detalla a continuación; preparase una solución saturada de algunas de las sales en agua de manera de obtener no solamente una saturación, sino la presencia en exceso de cristales al momento de hacer la prueba. La disolución se hace a una temperatura de veinticinco a treinta grados centígrados (25-30 °C) y se mantiene a una temperatura de veintiún grados centígrados (21 °C) por lo menos cuarenta y ocho (48) horas antes de emplearla. Deberá agitarse perfectamente cuando va a iniciarse cada ciclo se recomienda emplear las siguientes cantidades de sal para asegurar la presencia de cristales en la solución :

Solución de sulfato de sodio, si es anhídrido (Na_2SO_4), trescientos cincuenta (350) gramos por litro; si posee agua de cristalización ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), setecientos cincuenta (750) gramos por litro. Solución de sulfato de magnesio, ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), (Sal de Epsom), mil cuatrocientos (1,400) gramos por litro.

Existen dos (2) procedimientos de prueba que se aplican de acuerdo en la forma en que se presenta el material.

- a) Si el material es graduado, la pérdida en material en la malla Núm. 4, se calculará como sigue: se determinará la composición granulométrica del material retenido en la malla Núm. 4, de acuerdo con lo especificado en el inciso XI.3-34.2 de estas Especificaciones. Se deberá

obtener, por separado, las cantidades de muestra indicadas, en cada uno de los diferentes tamaños, que deberán ser ensayados individualmente.

TAMAÑO		Cantidad de muestreo Gr.
De Núm. 4	a 12.7 mm.	300
De 12.7 mm	a 19.05 mm.	500
De 19.05 mm	a 25.4 mm.	1 000
De 25.4 mm	a 38.1 mm.	1 500
De 38.1 mm	a 50.8 mm.	1 500

Si en la muestra original el material que pasa la malla de veinticinco punto cuatro (25.4) milímetros (1") y se retiene en doce punto siete (12.7) milímetros (1/2"), es menor del cinco por ciento (5%) del total del material mayor de la malla Núm. 4, no deberá hacerse la prueba en dicho tamaño y se le considera una pérdida por intemperismo igual al promedio obtenido para el tamaño inmediato anterior y posterior. Una consideración semejante se hará para el material que pasa la malla de cincuenta punto ocho (50.8) milímetros (2") y se retiene en el veinticinco punto cuatro (25.4) milímetros (1"). Las muestras de material de cada tamaño constante, se colocarán por separado en charolas que contengan la solución saturada de sulfato de sodio o magnesio, de manera que queden perfectamente cubiertas y se mantendrán por espacio de dieciséis a dieciocho (16-18) horas a temperatura de veintinueve grados centígrados (21 °C). Finalizando el período de saturación, las muestras se sacarán de la charola, se escurrirán y se secarán hasta peso constante, a temperatura de cien a ciento diez grados centígrados (100-110 °C); se dejarán enfriar y se colocarán nuevamente en el recipiente con solución de sulfato de sodio o magnesio. El ciclo interior se repetirá cinco (5) veces y al terminar el último se lavarán las muestras hasta eliminar el sulfato de sodio o magnesio, después de lo cual se secarán, hasta peso constante. Cada muestra se cribará sobre la malla inferior y se anotará el peso del material retenido; la diferencia de este peso con el peso original, expresada como porcentaje de este último, representará la pérdida por intemperismo de cada tamaño ensayado. Se calculará la pérdida total por intemperismo acelerado del material grueso (retenido en la malla Núm. 4), multiplicado por los porcentajes de material de cada tamaño ensayado, por la pérdida determinada y dividiendo entre cien (100) estos productos. La suma de ellos, representará la pérdida total del material ensayado.

Para aclarar mejor el procedimiento de cálculo se da el siguiente ejemplo:

PERDIDA POR INTEMPERISMO ACELERADO DEL MATERIAL RETENIDO EN LA MALLA No. 4					
Granulometría de la muestra.		Peso de la frac. ensayada en grs.	Pérdida en 5 ciclos		Pérdida en 5 ciclos en función de la muestra total.
Mallas	% en peso		grs.	%	
Núm. 4 a 12.7mm	18	300	33.6	11.2	$(18 \times 11.2) / 100 = 2.02$
12.7mm a 19.05mm	33	500	48	9.6	$(33 \times 9.6) / 100 = 1.17$
19.05mm a 25.4mm	25	1000	80	8.0	$(25 \times 8) / 100 = 2.00$
25.4 mm a 38.1mm	20	1500	72	4.8	$(20 \times 4.8) / 100 = 0.96$
38.1 mm a 50.8mm	4			(*) 4.8	$(4 \times 4.8) / 100 = 0.19$
TOTALES		100			8.34

(*) Se toma el valor de la fracción anterior.

Se recomienda proporcionar una información detallada del examen visual practicado en los tamaños mayores de diecinueve punto cero cinco (19.05) milímetros ($3/4''$), anotando, al finalizar cada ciclo, el efecto causado por la solución de sulfato de sodio o magnesio (agrietamiento o desintegración de la partícula, formación de escamas, etc.), así como el número de las partículas afectadas y el de las que no muestran efecto alguno.

- b) Si la muestra está constituida por roca en trozos se utilizan para la prueba tres mil (3,000) gramos del material, en partículas de forma sensiblemente cúbica de dos punto cinco (2.5) a cuatro (4) centímetros de lado. La prueba se hará en la forma ya indicada y se calculará el porcentaje de pérdida por intemperismo acelerado por el siguiente procedimiento: se separarán y se pesarán todos los fragmentos que no hayan fracturado en tres (3) o más pedazos. Este peso, restado del peso original, dará el peso del material alterado, el cual expresado como porcentaje de la muestra ensayada dará el valor de la pérdida por intemperismo acelerado. Como en el caso anterior, se dará un reporte de la inspección visual practicada en todas las partículas de muestra.

XI.3-26 PRUEBAS DE AFINIDAD ENTRE EL MATERIAL PETREO Y EL ASFALTO.

XI.3-26.1.- Como su nombre lo indica estas pruebas tienen por objeto determinar el grado de afinidad que existe entre el agregado pétreo y la película asfáltica que lo cubre. Las fallas encontradas en los pavimentos asfálticos debidas a falta de adherencia entre el agregado pétreo y el asfalto obedecen, en la mayor parte de los casos, a la introducción de agua en la carpeta asfáltica. Si el agregado pétreo, o mejor dicho la superficie de la partícula de agregado, presenta mayor afinidad al agua que al asfalto, la primera es atraída hacia la superficie de la partícula, desalojando la película de asfalto, quedando destruida la adherencia existente entre ambos materiales, que es necesaria para darle estabilidad a la carpeta. Este tipo de agregados pétreos se denominan "hidrófilos", es decir, que presentan afinidad por el agua. A los materiales pétreos que presentan mayor afinidad por el asfalto que por el agua se le llama "hidrófobos". Salta al vista la necesidad imperiosa de determinar las características de la superficie de las partículas del material pétreo por lo que se refiere a su acción preferente por el agua, antes de utilizar el empleo del material en la elaboración de la carpeta asfáltica. Esta característica del agregado pétreo es debida a fenómenos de tensión superficial entre las fases agregado-asfalto-agua. La cual puede modificarse mediante el empleo de agentes químicos. Con el empleo de estos adiconantes se logra mejorar la adherencia de la película de asfalto con la partícula de material pétreo. La falta de adherencia entre asfalto y el agregado puede ser debida también a la presencia de una película de polvo o arena fina adherida a la partícula de material pétreo, que impide el contacto de esta con el asfalto; es el caso de algunos materiales depositados por corrientes fluviales, caliza triturada y algunos otros. Si en la práctica no puede lograrse el desprendimiento de esta película mediante lavados, o por algún otro procedimiento, la prueba deberá hacerse en una muestra del material tal como va a ser utilizado en la elaboración de la carpeta. En las rocas alteradas (en los granitos se presenta con frecuencia el caso), es común encontrar que las partículas de agregado tienen en su superficie un mayor grado de alteración y que esto pueda dar lugar a diferente adherencia con el asfalto. Deberá tomarse en cuenta lo anterior para no hacer las pruebas con material triturado, a menos que así vaya a ser utilizado en la obra. En general se recomienda que para hacer las pruebas se reproduzcan hasta donde sea posible las condiciones generales de trabajo, empleando los mismos agregados y el mismo tipo de producto asfáltico, calentando este a la temperatura y aplicación recomendada y calentando también el agregado pétreo a

la temperatura de elaboración de la mezcla asfáltica, ya sea que se trate de una mezcla en planta o en el lugar. Para la determinación de la afinidad del agregado pétreo con el asfalto se cuenta con las siguientes pruebas la de desprendimiento por fricción (descritas en los incisos XI.3-26.2 y XI.3-26.3 de estas Especificaciones) y la determinación de la pérdida de estabilidad por inmersión en agua (descrita en el inciso XI.3- 26.4 de esta Especificaciones). Se recomienda verificar ambos tipos de pruebas para tener una mejor conocimiento de las características del agregado y, siempre sea posible, hacer por duplicado la prueba del desprendimiento por fricción tomando como testigo un material que haya probado tener buena adherencia con el asfalto. En la prueba de desprendimiento por fricción los resultados se cuantifican por la inspección visual de las partículas de agregado cubiertas con una película asfáltica, que han sido sometidas a la acción del agua y agrietadas para provocar el desprendimiento de la película. En el caso de materiales que contengan partículas de diferentes clasificaciones como en las gravas de río, al observarse la muestra puede encontrarse que una fracción del total, presenta cierto grado de desprendimiento y que el resto es hidrófobo. Si el porcentaje de partículas hidrófilas es considerable, es preferible clasificar todo el material de acuerdo con la clasificación que le corresponde al material hidrófilo, según se indica en las pruebas respectivas. Si el desprendimiento de la película de asfalto no es de consideración, puede suponerse que el material pétreo se comportará satisfactoriamente si el procedimiento de construcción es el adecuado, y las condiciones climatológicas y de drenaje son favorables en este caso se clasifican el material como de "adherencia normal con el asfalto". La determinación de la pérdida de estabilidad por inmersión del espécimen en agua, se observa el efecto de esta última sobre la mezcla asfáltica. Este efecto es medido por la pérdida de estabilidad sufrida, con relación a la de un espécimen elaborado en las mismas condiciones, que se prueba a la compresión sin haber estado sujeto a la inmersión en agua. Presenta sobre las pruebas de desprendimiento por fricción, la ventaja de que la apreciación de sus resultados no esta sujeta al criterio del operador, aparte de que en dicha prueba la inspección visual de las partículas de tamaños menores se dificulta. Además las partículas finas pueden quedar aglutinadas unas con otras durante el período de agitación de la prueba mencionada, y el desprendimiento de la película de asfalto que las cubre se dificulta, obteniéndose resultados erróneos con respecto a la adherencia del asfalto sobre el material fino. Si los resultados de algunas de las pruebas mencionadas no son satisfactorios, deberá iniciarse una investigación para ver con cuál de los procedimientos que a continuación se indican pueden modificarse favorablemente las características de adherencia entre el agregado pétreo y el asfalto.

- a) El empleo de adicionantes. Mediante el empleo de estos agentes químicos se puede mejorar la adherencia de la película asfáltica cambiando la tensión superficial entre las fases agregado-agua- asfalto. Hay varios productos en el mercado que pueden servir para este fin y, en ocasiones, se obtienen resultados favorables aplicando cal hidratada o agua de cal al agregado pétreo. Deberá realizarse una serie de pruebas comparativas con estos productos para ver cuál da los mejores resultados, debiendo recomendarse el empleo de dicho producto en la elaboración de la carpeta asfáltica. La Secretaría deberá aprobar específicamente el adicionante a emplear.
- b) La trituración del agregado pétreo. En el caso de las gravas de río, si las partículas presentan una baja adherencia con asfalto, conviene investigar si las nuevas superficies que se producen al triturarlo, presentan mejor adherencia, en cuyo caso deberá estudiarse la posibilidad de recomendar una trituración al tamaño adecuado, para disminuir el porcentaje total de superficie de baja adherencia, de acuerdo con los resultados de las pruebas verificadas.

- c) El lavado del agregado pétreo. Si hay una película de material fino adherido a la superficie del agregado pétreo, deberá estudiarse la posibilidad de eliminarla mediante el lavado, siempre que este procedimiento sea factible de realizarse en la práctica. La prueba de adherencia deberá repetirse en el material lavado.
- d) El cambio de producto asfáltico. Se ha observado en algunos tipos de materiales que se modifica favorablemente la adherencia cambiando el tipo de producto asfáltico, por ejemplo, sustituyendo cemento asfáltico por un rebajado de fraguado rápido a uno de fraguado medio.
- e) La sustitución de materiales. Puede ser el caso que una fracción del material pétreo presenta baja adherencia con asfalto, debiendo entonces estudiarse la posibilidad de eliminar el material inadecuado y sustituirlo por uno que presente buena adherencia. Por ejemplo, en las gravas de los ríos la fracción que pasa la malla de seis punto treinta y cinco (6.35) milímetros (1/4"), puede estar constituida por un material hidrófilo que puede ser eliminado por cribado y sustituido por una arena de buena calidad.

XI.3-26.2.- En este inciso se describe la variante primera de las dos (2) aceptadas para la prueba de desprendimiento por fricción.

- a) El equipo para la prueba objeto de este inciso, será:

Un frasco de vidrio de quinientos (500) centímetros cúbicos de capacidad, con tapa hermética.

Charolas de lámina.

Una balanza con aproximación de un décimo (0.1) de gramo.

Una cuchara de albañil.

Una parrilla eléctrica o de gasolina.

Un termómetro con graduación de cero a ciento cincuenta grados centígrados (0-150 °C).

Mallas de abertura cuadrada de las siguientes denominaciones: doce punto siete (12.7) milímetros (1/2"), seis punto treinta y cinco (6.35) milímetros (1/4"), Núm. 10 y Núm. 40.

- b) El procedimiento de prueba comprende la verificación por duplicado de las pruebas de desprendimiento por fricción, tomando como testigo un material que haya probado tener buena afinidad con el asfalto. Para asegurar la misma graduación del agregado pétreo en todas las mezclas de prueba, deberá cribarse en seco una muestra del material a través de las mallas doce punto siete (12.7) milímetros (1/2"), seis punto treinta y cinco (6.35) milímetros (1/4"), Núm. 10 y Núm. 40, para obtener muestras de material de diferentes tamaños, de la cual se tomarán las cantidades correspondientes, de acuerdo con la granulometría proyectada del material pétreo, para cambiarlas y formar seis (6) mezclas con peso aproximado de quinientos (500) gramos cada una. En esta forma se disminuyen considerablemente las discrepancias en los resultados, ocasionadas por variaciones en la composición granulométrica, que afectan el espesor de la película asfáltica. Cuando se trate de un material heterogéneo será necesario

determinar en qué proporción se encuentran los materiales predominantes que constituyen la muestra, por si alguno de ellos presenta características de baja adherencia. Si la mezcla va a hacerse en planta, deberá calentarse el agregado pétreo hasta una temperatura de cien a ciento diez grados centígrados (100-110 °C) y el producto asfáltico a su temperatura de aplicación recomendada. Si se trata de mezcla en el lugar o de un tratamiento superficial, se calentará el producto asfáltico hasta la temperatura recomendada de aplicación, y el agregado pétreo hasta la temperatura que se estime llegará a tener en la obra. A cada una (1) de las seis (6) muestras de material pétreo deberá agregarse la cantidad de producto asfáltico que corresponde a los siguientes contenidos de cemento asfáltico, expresados como porcentaje del peso del material pétreo:

dos (2) muestra con el contenido calculado + 0.5%.

dos (2) muestra con el contenido calculado + 1.0%.

El contenido calculado de asfalto se determinará de acuerdo con lo indicado en las Especificaciones.

El producto asfáltico se agregará paulatinamente al material pétreo, y se manipulará con la cuchara de albañil para lograr una distribución uniforme del primero, de manera de obtener una película delgada.

Para compensar la pérdida de temperatura durante el proceso de incorporación del asfalto, será necesario colocar por breves instantes la charola con la mezcla asfáltica sobre la parrilla eléctrica, o cualquier otra fuente de calor adecuada, procurando evitar un sobre calentamiento que pueda modificar las características del asfalto. No deberá excederse la temperatura recomendada de aplicación del producto. En el caso de los asfalto rebajados, es necesario conocer la acción de los solventes en la adherencia entre el asfalto y el agregado pétreo, para lo cual una mezcla se probará con la cantidad de solventes necesaria para la compactación, y la otra, se ensayará después de haber eliminado la mayor parte de los solventes, según se indica a continuación:

Aplicando la fórmula: $(P_s - K P_e) \dots\dots\dots (1)$

Se obtiene la cantidad, en peso, de solventes que es necesario eliminar para obtener las consistencias para verificar las pruebas de desprendimiento por fricción.

En esta fórmula:

P_s = Peso del solvente que contiene el producto original, en gramos.

P_e = Peso del cemento asfáltico que contiene el producto original, en gramos.

K = Coeficiente que, multiplicado por el peso del cemento asfáltico, da la cantidad de solventes que deben quedar en la mezcla.

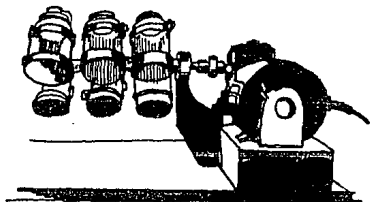
Para la primera condición, o sea la que corresponde a la consistencia adecuada para la compactación de la mezcla, deberá utilizarse un valor de K igual a diez centésimos (0.10) para asfaltos rebajados de fraguado rápido y K igual a catorce centésimos (0.14) para rebajados de fraguado medio. Para las mezclas que van a probar con menor cantidad de solventes, se calcula el peso de los solventes, que deberán eliminarse, empleando un valor de K igual a cuatro centésimos (0.04) para los asfaltos rebajados de fraguado rápido, y K igual a ocho centésimos (0.08) para los fraguados de medio. La eliminación de los solventes, para ambas condiciones, se hará colocando la charola con mezcla en un horno a temperatura comprendida entre cuarenta y cincuenta grados centígrados (40-50 °C), removiendo la mezcla con la cuchara de albañil y haciendo pesadas con frecuencia, con objeto de suspender la operación de curado cuando se haya eliminado la cantidad calculada de solventes. Al ocurrir ésto, las charolas se dejarán a la temperatura ambiente el tiempo necesario para que la mezcla se enfríe. En caso de emplearse cemento asfáltico, las mezclas recién elaboradas deberán permanecer a la temperatura ambiente el tiempo necesario para que se enfrien. De cada una (1) de las mezclas ya frías y aireadas se seleccionarán dos (2) muestras de cincuenta (50) gramos, aproximadamente, de material de tamaño comprendido entre las mallas de doce punto siete (12.7) milímetros (1/2") y de seis punto treinta y cinco (6.35) milímetros (1/4") las cuales se colocarán en los frascos de vidrio. Se añadirán doscientos (200) centímetros cúbicos de agua pura, de preferencia destilada, y se tapanán herméticamente los frascos que se dejarán en reposo durante veinticuatro (24) horas. Si el desprendimiento de asfalto es de consideración, el material puede clasificarse como altamente hidrófilo. Si no ha ocurrido un desprendimiento apreciable de la película de asfalto, los frascos con su contenido deberán agitarse vigorosamente por tres (3) períodos de cinco (5) minutos cada uno, debiendo ser examinadas las muestras después de cada período. La forma de agitar los frascos deberá ser con los brazos en alto con movimiento alternativo sobre la cabeza del observador. Si no se nota un desprendimiento de asfalto al terminar el tercer (3er.) período de agitación, o que haya habido un desprendimiento ligero comparable al testigo, puede considerarse que el material trabajará satisfactoriamente en las condiciones ordinarias de uso, y se clasificará como de " adherencia normal con el asfalto". En caso contrario, se considerará al material pétreo una adherencia " regular" o " baja ", de acuerdo con el desprendimiento ocurrido y será necesario aumentar la adherencia por algunos de los procedimientos indicados en el inciso XI.3-26.1 de estas Especificaciones, para que puedan emplearse el material ensayado en la elaboración de carpeta asfálticas.

XI.3-26.3.- En este inciso se describe la variante dos(2) de la prueba de desprendimiento por fricción.

a) El equipo para la prueba objeto de este inciso es:

- Un dispositivo mecánico para hacer la agitación de las mezclas de prueba.
- Frascos de vidrio de quinientos (500) centímetros cúbicos de capacidad, con tapa hermética.
- Charola de lámina.
- Una balanza con aproximación de acero punto un (0.1) gramo.
- Una cuchara de albañil.

- Una parrilla eléctrica o de gasolina.
 - Un termómetro con graduación de acero a ciento cincuenta grados centígrados (0 - 150 °C).
 - Mallas de abertura cuadrada de las siguientes denominaciones: doce punto siete (12.7) milímetros (1/2"), seis punto treinta y cinco (6.35) milímetros (1/4"), Núm. 10 y Núm. 40.
- b) El procedimiento de prueba a seguir es el mismo indicado en la variante de esta misma prueba descrita en el inciso XI.3-26.2 de estas Especificaciones, excepto en lo concerniente a la agitación, que en este caso se efectuará en un aparato como el mostrado en la Fig.XI-11 que gire a una velocidad de cuarenta y cinco a cincuenta (45-50) revoluciones por minuto. La muestra se sujetará a un período de quince (15) minutos, después del cual se examinarán y por inspección visual se determinará aproximadamente el porcentaje del área cubierta en que ha habido desprendimiento. Si éste no es consideración se repetirá el proceso tres (3) veces más hasta completar un total de tiempo de agitación de una (1) hora, haciendo las inspecciones correspondientes al final de cada período. Al finalizar el último período de agitación se observará la cantidad de asfalto desprendido y se calificará en forma aproximada, por inspección visual, el porcentaje de la superficie total del agregado en que ha ocurrido desprendimiento de la película de asfalto se comparará el desprendimiento habido con el material testigo, para fines de clasificación del agregado pétreo, por lo que a su adherencia con el asfalto se refiere. Si el comportamiento del agregado es semejante al del testigo o el desprendimiento no excede de diez por ciento (10%) de la superficie, se reportará una "adherencia normal con asfalto". (Fig.XI-12). Si la superficie en que ocurrió el desprendimiento sobre pasa a un veinticinco por ciento (25%) de la superficie total del agregado, éste se clasificará como de "baja adherencia con asfalto", y en la condición intermedia entre las enunciadas anteriormente se considerará al material pétreo una "adherencia regular con asfalto". (Fig. XI-13, XI-14) En estos dos (2) últimos pasos deberán mejorarse las características de adherencia de cualquiera de los procedimientos señalados en el inciso XI.3- 26.1 de estas especificaciones, para que pueda emplearse el material ensayado en la elaboración de carpetas asfálticas.



Aparato para la prueba de desprendimiento por fricción
Fig. XI.11



Material con buena adherencia con el asfalto
Fig. XI.12



Mat. heterogéneo con regular adherencia.

FIG. XI-13



Gravas cuarzosas sin adherencia

FIG. XI-14.

XI.3-26.4.- En la determinación de la pérdida de estabilidad por inmersión del espécimen en agua, deberán tenerse en cuenta los conceptos siguientes:

a) El equipo de prueba será:

Un molde de diez punto dos (10.2) centímetros (4") de diámetro interior y diecisiete punto siete (17.7) centímetros (7") de altura, provisto de una base metálica removible, y una placa circular para compactar, de diámetro ligeramente menor al diámetro interior del cilindro, que pueda sujetarse a la cabeza de aplicación de la carga.

Un molde metálico de doce punto siete (12.7) centímetros (5") de diámetro interior y veintiuno punto cinco (21.5) centímetros (8.5") de altura, provisto de una base metálica removible y una placa circular para la compactación, con diámetro ligeramente menor del diámetro interior del cilindro, que se pueda sujetar a la cabeza de aplicación de la carga.

Una máquina de compresión con dispositivos para hacer lecturas cada diez (10) kilogramos.

Una varilla metálica de uno punto nueve (1.9) centímetros (3/4") de diámetro y treinta (30) centímetros de longitud, con punta de bala, para el picado de material en molde.

Una cuchara de albañil.

Charolas de lánina.

Una balanza de diez (10) kilogramos de capacidad con sensibilidad de un (1) gramo.

Una balanza con sensibilidad de un (1) centésimo (0.10) de gramo.

Un horno con temperatura controlable.

Un termómetro con graduación de diez a ciento cincuenta grados centígrados (10-150 °C).

Vaso de precipitado.

Un tanque de saturación.

- b) El procedimiento de prueba será como sigue: se elaboran seis (6) especímenes siguiendo el procedimiento completo indicado en las especificaciones, utilizando la cantidad de producto asfáltico que corresponde a los siguientes contenidos de cemento asfáltico, expresado como porcentajes del peso del material pétreo:

dos (2) muestras con el contenido calculado +0.5%.

dos (2) muestras con el contenido calculado +1.0%.

El contenido calculado de asfalto se determinará de acuerdo con lo indicado en las Especificaciones. De los especímenes elaborados, cuando han alcanzado todos ellos la temperatura ambiente, se seleccionará un (1) espécimen de cada contenido de asfalto empleado, para ser probado a la compresión sin confinar, aplicando la carga uniforme y lentamente hasta alcanzar la ruptura. Los especímenes restantes serán colocados en el tanque de saturación y se mantendrán sumergidos en agua durante un período de cuatro (4) días; transcurridos dicho tiempo se sacará del tanque de saturación y se probará a la compresión sin confinar en las mismas condiciones que los especímenes que no fueron saturados. Es importante que la temperatura de los especímenes al momento de hacer la prueba sea la misma en ambos casos. Se calculará la resistencia unitaria de cada espécimen, la cual se expresará como porcentaje de las resistencias obtenidas en los especímenes que se probaron sin saturar, para cada uno de los contenidos de asfalto respectivos. La diferencia a cien (100) de este valor, expresará el porcentaje de pérdida de estabilidad sufrida por el efecto de saturación. Si la pérdida de estabilidad es menor de veinticinco (25) por ciento, puede considerarse que el comportamiento de la mezcla asfáltica en el camino va ha ser satisfactorio. Si la pérdida de estabilidad es mayor de veinticinco (25) por ciento, deberá iniciarse una investigación para ver por cuál de los procedimientos que se describen en el inciso XI.3-26.1 de estas Especificaciones, puede llegarse a resultados satisfactorios. Cuando se haga la determinación del contenido óptimo de asfalto con la prueba indicada en las Especificaciones convendrá elaborar por duplicado los especímenes para ejecutar simultáneamente la prueba aquí descrita.

XI.3-27.- Las muestras alteradas pueden obtenerse de una excavación o de un frente, ya sea de corte o banco de préstamo o bien, pueden obtenerse de perforaciones hechas con herramientas especiales, tales como posteadores, brocas, tubos muestreadores, etc., y deberán ser representativas de cada capa que se atraviese, hasta llegar a una profundidad que corresponda al nivel más bajo de explotación o aquél al cual sea necesario extender el estudio, en el caso de terracerías ya construidas. La cantidad mínima de muestras necesarias para realizar los ensayos completos de materiales de terracerías es de cuarenta (40) kilogramos. Si la muestra excediera de ese valor se procederá a un cuarteo según se indica en el inciso XI.3-31, de este Capítulo. Las muestras alteradas pueden ser:

- a) Superficiales, cuando se toman a una profundidad menor de un (1) metro, en cuyo caso la muestra estará constituida por todo el material extraído de la excavación. Este es el tipo de muestreo indicado para los préstamos laterales, en que el material va a ser extraído con escepas.
- b) Tomadas a profundidad, cuando se exceda el valor indicado en el párrafo anterior de este inciso. Para obtener la muestra será necesario excavar un pozo a cielo abierto y muestrear cada estrato en una de las paredes del pozo en la forma que se indica en el párrafo c) de este mismo inciso o bien, obtener la muestra o muestras del material que se extraiga al hacer una perforación con las herramientas especiales a que ya se hizo referencia. Este tipo de muestreo es el que comúnmente se emplea para definir el perfil de suelos o en el estudio de los bancos de préstamo, en el proyecto de una obra vial.
- c) Tomadas de la pared de la excavación o del frente de explotación, como es el caso de los cortes o bancos explotados con pala mecánica, en los que deberá hacerse un canal vertical de sección transversal uniforme, que abarque todas las capas o estratos y todo el material extraído del canal, que deberá recogerse en una lona, será el que constituya la muestra. En ocasiones, puede ser necesario tomar muestras individuales de cada estrato que atraviesa el canal, si se tuvieran dudas de si la calidad del material de alguno de los estratos no fuera la adecuada para ser empleada en la construcción de terracerías. Para completar el estudio del banco o corte, el muestreo de su frente de ataque deberá complementarse con sondeos de la parte no explotada, que servirán para definir tanto la capacidad, como las zonas aprovechables del mismo.

XI.3-28.- El espaciamiento de los sondeos y el número de muestras que se tomen deberán estar de acuerdo con la homogeneidad del suelo y el tipo de estudio de que se trate. En suelos que presenten pocas variaciones en sus características, el espaciamiento de los sondeos será mayor que en los suelos heterogéneos. Igualmente, en los estudios preliminares el espaciamiento será mayor en los estudios definitivos. Se recomienda que en préstamos laterales continuos y en materiales homogéneos, los sondeos no se hagan a distancias mayores de cien (100) metros y a una profundidad suficiente para poder definir el piso de explotación: en el caso de bancos de préstamo en material homogéneo, conviene hacer un sondeo por cada mil seiscientos (1 600) metros cuadrados de superficie, preferentemente formando una cuadrícula y una profundidad no menor de la que se considera que pueda fijar el piso de explotación; en el caso de cortes que no han sido atacados, se recomienda hacer tres (3) pares de sondeos, en el sentido del cadenamiento, que abarquen el ancho de la terracería. Si se observa heterogeneidad del material o discordancia en los estratos, deberán hacerse sondeos intermedios, en el sentido del cadenamiento, procurando profundizarlos hasta la sub-rasante.

XI.3-29.- Las muestras deberán identificarse siempre con dos (2) tarjetas, una sujeta al exterior del envase y otra en su interior, con los siguientes datos claramente escritos:

OBRA.

Ubicación del pozo o sondeo.

Número de la muestra.

Profundidad a la que se toma la muestra.

Espesor del estrato correspondiente.

Fecha.

Nombre del operador.

En una libreta de campo se llevará un registro de las muestras y además deberá dibujarse un croquis del banco, corte o préstamo lateral, en el que se indicarán los sitios en que fueron tomadas las muestras, haciendo las referencias que fueren necesarias. Se anotarán, para cada sondeo, las capas o estratos atravesados por éste, así como la clasificación que corresponda al material de la muestra.

XI.3-30.- Para un transporte al laboratorio, las muestras inalteradas, debidamente protegidas como se indico en el inciso XI.3-27, deberán colocarse en un cajón de madera de dimensiones mayores, rellendo los espacios libres con aserrín, papel o paja, a fin de amortiguar el efecto de los golpes que pudieran sufrir durante dicho transporte. Las muestras alteradas deberán envasarse en costales de lona de un tejido lo suficientemente cerrado, para que impida la pérdida de material fino, amarrando la boca del costal firmemente con un cordel. Durante su transporte al laboratorio, deberán tomarse las precauciones necesarias para que las muestras, principalmente las inalteradas, no sufran perjuicio alguno.

XI.3-31.- PREPARACION DE LAS MUESTRAS.

XI.3-31.1.- La preparación de una muestra llevada al laboratorio comprende las operaciones siguientes:

- a) Secado.
- b) Disgregación.
- c) Cuarteo.

XI.3-31.2.- Debe secarse la muestra para eliminar el agua que contiene a un grado tal que permita su fácil disgregación y manejo, exponiéndola al sol, extendiendo todo el material sobre una superficie limpia y tersa o bien en charola de lámina, en un horno a temperatura baja, cuarenta (40) a sesenta (60) grados centígrados. En ambos casos, es conveniente revolver periódicamente el material para lograr un secado más rápido y uniforme, hasta bajar su humedad a un grado tal que permita la fácil disgregación y manejo de la muestra. Cuando la muestra llegue al laboratorio con una humedad que

permita su disgregación, no será necesario someterla al proceso de secado que anteriormente se indicó. Debe ponerse especial atención en que el secado de la muestra no se haga a temperatura elevada, porque podría dar lugar a una alteración de ciertas características del material, como son la cohesión, la plasticidad, etc., lo cual conducirá a la obtención de resultados erróneos en las pruebas a que se vaya a sujetar el material posteriormente. En el caso de materiales finos de elevada plasticidad, el secado total provoca la formación de grumos muy difíciles de disgregar, que dificultan el lavado de la muestra a través de la malla Núm 200 y que inclusive, pueden originar resultados erróneos respecto al material que sea retenido en dicha malla.

XI.3-31.3.- Con respecto a la operación de disgregación se considerarán tres (3) aspectos:

- a) La disgregación de la muestra tiene por objeto hacer la separación de las diferentes partículas de material que constituyen la muestra, para que ésta pueda ser mezclada y cuarteada posteriormente, para obtener porciones representativas de la misma y efectuar en ellas las diferentes pruebas a que vaya a ser sometido el material. En materiales no cohesivos esta separación es fácil de hacer, no así en el caso de materiales granulares cementados o en el caso de rocas alteradas, en donde el material va reduciéndose de tamaño a medida que avanza el proceso de disgregación, hasta quedar frecuentemente reducido a polvo. La disgregación de la muestra deberá llevarse hasta un grado tal, que se acerque lo más posible al grado mínimo de disgregación que deba exigirse durante la construcción de la estructura de que se trate, para lograr un empleo correcto del material propuesto.
- b) Para efectuar la disgregación de la muestra, se utilizará un mazo de madera de forma prismática cuadrangular, con las siguientes dimensiones: altura quince (15) centímetros y base nueve punto cinco (9.5) centímetros por lado, debiendo tener el mango en la cara opuesta a la base. El peso del mazo será de un (1) kilogramo, aproximadamente. Deberá estar forrado en su base con cuero o baqueta, sujeta a los lados del mazo por medio de clavos y cinchos metálicos. La disgregación se hará en una charola de lámina.
- c) La disgregación del material deberá hacerse en la charola de lámina, la cual será colocada sobre una mesa con cubierta de madera y el mazo deberá golpear verticalmente sobre el material, desde una altura no mayor de veinte (20) centímetros. Primeramente deberá cribarse todo el material a través de la malla Núm. 4. El material retenido se cribará nuevamente por la malla cincuenta punto ocho (50.8) milímetros de abertura (2") y la fracción retenida en dicha malla deberá golpearse con el mazo, hasta obtener partículas que ya sean disgregables. El material así tratado se cribará nuevamente por la malla de cincuenta punto ocho (50.8) milímetros (2"), juntándose el material que pasa la malla con el obtenido en la primera operación de cribado a través de la misma. Se repetirá esta misma operación cribando a través de la malla de veinticinco punto cuatro (25.4) milímetros (1"), disgregando el retenido y procediendo como en el caso anterior. Se repetirá el procedimiento empleando la malla de nueve punto cincuenta y dos (9.52) milímetros (3/8") y la malla Núm. 4. Se combinarán finalmente todos los productos obtenidos en estas operaciones para constituir la muestra que va a ser mezclada y cuarteada en la siguiente etapa de preparación de la muestra. El cuadro que se da en la Fig. XI.15 muestra esquemáticamente la secuela de operaciones.

REPRESENTACION ESQUEMATICA DEL PROCEDIMIENTO
DE CUARTED UTILIZANDO EL PARTIDOR DE MUESTRAS

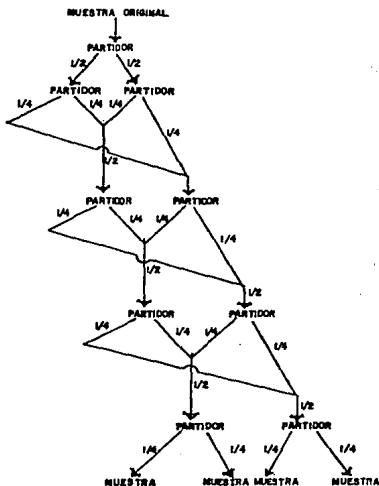
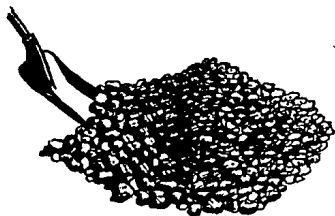


Fig.XI.15.

XI.3-31.4.- De la muestra ya disgregada conforme a lo indicado en el inciso XI.3-31.3 de esta cláusula, deberán cortarse las diferentes porciones necesarias para verificar las pruebas, dichas porciones deberán ser todas ellas representativas de la muestra original. Es conveniente hacer hincapié en la importancia tan grande que tiene el hecho de que las porciones de la muestra sean verdaderamente representativas de ella, ya que de otra manera se obtendrían resultados erróneos que conducirían a un falso conocimiento del material que va a ser ensayado. Se seguirán los siguientes procedimientos generales de cuarteo, de acuerdo con la cantidad de muestra disponible.

- En muestras de veinte (20) kilogramos o mayores, la muestra total deberá revolverse con una pala, traspalcando de un lugar a otro unas cuatro (4) veces todo el material, hasta conseguir que presente un aspecto homogéneo. Se procederá después de formar un cono, colocando con la pala el material en el vértice de éste y permitiéndole que, por sí mismo, busque su acomodo, procurando a la vez que la distribución se haga uniformemente (Fig. XI-16). Con la pala, que deberá ser de las de forma rectangular, se formará un cono truncado, encajando la pala en forma radial y haciéndola girar con centro en el eje del cono a fin de ir desalojando el material hacia la periferia (Fig. XI-17). Una vez obtenido un cono truncado de quince (15) a veinte (20) centímetros de altura, se procederá a dividirlo en cuadrantes usando una regla de longitud conveniente (Fig.XI-18). Se combinará el material de dos (2) cuadrantes opuestos y se repetirá el proceso anterior, en caso necesario, para obtener una muestra con peso de diez (10) kilogramos, aproximadamente.



Operación de formar con la pala el cono de material.
Fig.XI.16.



Operación de formar el cono truncado.
Fig.XI.17



Fig.XI.18

Operación de dividir en cuadrantes la muestra de suelo

- b) En muestras de veinte (20) kilogramos o menores, podrá emplearse un hule de forma cuadrada, de uno punto veinte (1.20) metros por lado o bien, un partidor de muestra. El material se mezclará tomando los extremos opuestos del hule y haciéndolo rodar sin que resbale. Se repetirá la misma operación con el otro par de extremos opuestos del hule y se continuará la operación de mezclado, hasta obtener una muestra de aspecto homogéneo, la cual se cuarteará formando un cono truncado, dividiéndolo en cuadrantes, etc., en forma semejante a la indicada en el párrafo a) de este inciso. Para cuartear la muestra con el partidor se utilizan recipientes de lámina que tenga la misma longitud que el partidor. El material se hará pasar por éste, en forma tal que cubra todas sus divisiones, para ser separado en dos (2) porciones que se recogerán en los recipientes, repitiéndose la misma operación según se indica en este esquema de la Figura XI- 15.
- c) Cuando se trate de muestras pequeñas, que generalmente se envasan en bolsas de papel, deberán vaciarse éstas sobre una superficie limpia. no debe tomarse el material vaciando directamente de la bolsa pues ello conducirá a una clasificación del mismo.

XI.3-32 DETERMINACION DE LA COMPOSICION GRANULOMETRICA.

XI.3-32.1.- Esta es una prueba definitiva para juzgar de la calidad de un material, de acuerdo con el fin a que se le destina y se verifica mediante la determinación de los tamaños de las partículas que forman el suelo, por el procedimiento de cribado o por el de sedimentación. El primero de ellos consiste en separar las partículas de suelo, tamizándolo a través de una sucesión de mallas de abertura cuadrada y en pesar las proporciones que se retienen en cada una de ellas, a fin de relacionar dichos retenidos, como porcentajes de la muestra total, para obtener la composición granulométrica. Con este procedimiento se clasifican las partículas de suelo hasta un tamaño mínimo de setenta y cuatro milésimos (0.074) de milímetro que corresponde a la malla Núm. 200. El procedimiento de sedimentación se basa en siguiente principio: en un líquido menos denso que el suelo, las partículas del suelo de la misma densidad a través del líquido con velocidades proporcionales a sus tamaños. Este principio está expresado por la ley de Stokes, que da la velocidad de caída de una pequeña esfera en un líquido viscoso. El procedimiento de prueba más usual es el del hidrómetro, el cual consiste en determinar la variación de la densidad de la suspensión suelo- agua, para diferentes tiempos, por medio de un hidrómetro y en medir la altura de caída de los granos de tamaño más grande correspondientes a la densidad medida. La lectura hecha con el hidrómetro mide la densidad media de la suspensión a la altura del bulbo de éste y con ella se puede determinar directamente el porcentaje en peso de las partículas de suelo, con relación a la concentración original a este nivel. Otro procedimiento también muy ampliamente usado, es el llamado de decantación separada, que se describe en el inciso XI.3-34.5 de esta cláusula y que consiste en determinar el porcentaje de sólidos que permanecen en suspensión en agua, después de que ha transcurrido un período previamente calculado, suficiente para permitir la sedimentación de las partículas mayores de un determinado tamaño. Los resultados se reportan como porcentajes de arena, fimo y arcilla contenidos en la muestra original o en el material que pasa la malla Núm. 40, que es con el que se hace la prueba. Se considera arena el material cuyo tamaño está comprendido entre dos (2) milímetros y cincuenta milésimos (0.050) y cinco milésimos (0.005) de milímetro y arcilla el material menor de este último tamaño.

La composición granulométrica representa, gráfica o numéricamente, la distribución de los diferentes tamaños de las partículas que componen el suelo. Se acostumbra trazar la curva que representa la composición granulométrica en una gráfica que tenga por abscisas, a escala logarítmica, las aberturas de las mallas y por ordenadas los porcentajes de material, a escala aritmética. En términos generales puede decirse que la mayor estabilidad de un material se alcanza cuando se reduce al mínimo la cantidad de vacíos y para que esto pueda lograrse, se requiere una sucesión adecuada de tamaños que permita que los huecos dejados por las partículas mayores sean ocupados por partículas de menor tamaño y que, a la vez, en los huecos que dejen estas últimas se acomoden partículas más finas y así sucesivamente. en la Fig. XI-19, se muestra cuatro (4) curvas granulométricas que corresponden a materiales bien graduados, que al ser compactados darán un mínimo de vacíos. Estas curvas deben emplearse como una guía para conocer si la composición granulométrica del suelo que se está estudiando corresponde a una sucesión adecuada de tamaños para lograr el mínimo de vacíos y encuentran su mayor aplicación en el estudio de los materiales que se utilizan en la construcción de sub-bases y bases de pavimentación. En el caso de materiales de terracerías generalmente no se acostumbra la representación gráfica de la sucesión granulométrica e inclusive su determinación se hace en forma simplificada como se explica en el inciso XI.3-32.4 de esta cláusula. No debe perderse de vista que la determinación de tamaños hecha por medio de

cribas, da idea de éstos en sólo dos (2) dimensiones y que las curvas de la Fig. XI-19, corresponden a materiales bien graduados cuando sus partículas no afectan las formas de placas o de agujas.

Un material cuyas partículas afecten una de las formas antes mencionadas puede presentar una gran cantidad de vacíos a pesar de que su curva granulométrica indique una sucesión adecuada de tamaño. De manera semejante, cuando se presenten variaciones de consideración en la densidad de las partículas de diferentes tamaños, la curva granulométrica no dará una idea correcta de la sucesión de tamaños, por lo que sería indispensable hacer la corrección necesaria para reducir los porcentajes expresados en función del peso a porcentajes expresados en función del volumen.

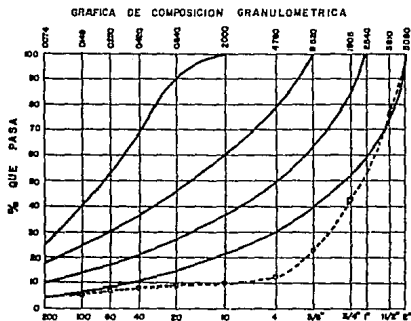


Fig. XI.19
GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA.

XI.3-32.2.-En la determinación de la composición granulométrica del material retenido en la malla Núm. 4 por cribado en seco y siguiendo los procedimientos indicados en la cláusula XI.3-31 de este Capítulo, para el secado, disgregación y cuarteo de las muestras, deberá obtenerse una porción representativa de unos diez (10) decímetros cúbicos aproximadamente (Generalmente se utiliza el mismo material que sirvió para la determinación del peso volumétrico suelto. Para la aproximación requerida en los ensayos granulométricos de los materiales usados en la construcción de terracerías, bases o sub-bases de pavimento, el error que se introduce al hacer un secado incompleto del material y considerar que la humedad presente se encuentra igualmente repartida en los diferentes tamaños, no es de consideración. Si por algún motivo se requiera conocer con mayor exactitud la composición granulométrica, la muestra total deberá ser secada en un horno que mantenga una temperatura comprendida entre cien y ciento diez grados centígrados (100 y 110 °C), hasta alcanzar peso constante, siempre y cuando de la muestra así secada no vaya a tomarse material para efectuar otra prueba.

a) El equipo necesario será:

Una balanza de veinte (20) kilogramos de capacidad y sensibilidad de un (1) gramo.

Un juego de cribas Tyler estándar de abertura cuadrada cuya denominación se indica a continuación:

Denominación					
2"	1-1/2"	1"	3/4"	3/8"	Núm. 4
Abertura en mm.					
50.8	38.1	25.4	19.1	9.52	4.76

Charola de lámina.

- b) Se pesará la muestra, anotándose dicho peso "Pt", y se tamizará a través de las cribas indicadas, comenzando por la de mayor abertura y siguiendo el orden en que aparecen anotadas. Para facilitar esta operación se imprimirá a las cribas un movimiento lateral y vertical que produzca una vibración para mantener el material en constante movimiento. Las porciones retenidas en cada una de las cribas mencionadas, así como la porción que pasa la malla Núm. 4, se pesarán en la balanza, anotándose los resultados obtenidos. Los pesos de las proporciones retenidas en cada criba deberán expresarse como porcentajes del peso de la muestra tomada "Pt".
- c) Para cada criba considerada, se calculará el por ciento de retenido acumulativo, sumando los porcentajes de retenidos en las cribas de abertura mayor con el retenido de dicha criba. Cada uno (1) de los porcentajes de retenidos acumulativos deberán restarse de cien (100) para obtener, para cada una de las cribas, el porcentaje en peso de partículas que pasan por la misma.

El cálculo anterior se ilustra con el siguiente ejemplo:

MALLA	PESO RETENIDO GRS	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA LA MALLA
50.8mm	665	$(665/13540) \times 100 = 4.9$	= 4.9	$100.0 - 4.9 = 95.1$
38.1mm	3060	$(3060/13540) \times 100 = 22.6$	$4.9 + 22.6 = 27.5$	$100 - 27.5 = 72.5$
25.4mm	2853	$(2853/13540) \times 100 = 21.0$	$27.5 + 21.0 = 48.5$	$100 - 48.5 = 51.5$
19.05mm	1352	= 10.0	= 58.5	= 41.5
9.52mm	2575	= 19.0	= 77.5	= 22.5
Nº. 4	1490	= 11.0	= 88.5	= 11.5
PASA Nº. 4	1545	= 11.5		
SUMA	13540	= 100		

XI.3-32.3.-En la determinación de la composición granulométrica del material que pasa la malla Núm. 4, siguiendo el procedimiento de lavado del material que pasa la malla Núm. 4 en la prueba de cribado en seco, descrito en el inciso XI.3-32.2 de esta cláusula o en su defecto, en una muestra preparada de acuerdo con lo especificado en la cláusula XI.3-31 de esta Capítulo, se cortará por

cuarto una muestra de quinientos a seiscientos (500 a 600) gramos, que se pondrá a secar en horno a temperatura de cien a ciento diez grados centígrados (100-110 °C) hasta peso constante.

En caso de suelos finos de elevada plasticidad, en que el secado total de la muestra pueda dar lugar a la formación de grumos difíciles de disgregar, la prueba deberá hacerse en la muestra parcialmente seca, tomando previamente una muestra para hacer la determinación de humedad y poder hacer la corrección correspondiente en el peso.

- a) El equipo necesario para realizar la prueba será:

Una balanza de un décimo (0.1) gramo de aproximación y capacidad de un (1) kilogramo.

Un horno que mantenga una temperatura de cien a ciento diez grados centígrados (100-110 °C).

Un vaso de aluminio de quinientos (500) centímetros cúbicos de capacidad.

Un agitador de varilla metálica de seis punto dos (6.2) milímetros ($1/4''$) de diámetro y veinte (20) centímetros de longitud.

Un juego de mallas Tyler estándar de abertura cuadrada de las siguientes denominaciones:

M A L L A						
Núm.	10	20	40	60	100	200
A B E R T U R A						
en mm.	2.00	0.84	0.42	0.25	0.149	0.074

- b) De la muestra preparada como se indica en este inciso se tomarán por cuarto doscientos (200) gramos, en el caso de tratarse de muestras secas o una cantidad mayor, de acuerdo con la humedad que contenga la muestra, si se trata de muestras que sólo se secaron parcialmente. Esta muestra se colocará en el vaso metálico de quinientos (500) centímetros cúbicos y se le añadirán doscientos (200) centímetros cúbicos de agua, dejándose en reposo durante doce (12) horas. Después de este tiempo, se procederá a lavar la muestra a través de la malla Núm 200, agitando el contenido del vaso con una varilla durante quince (15) segundos, en forma de 8 y dejando reposar durante treinta (30) segundos dicho contenido. Se decantará sobre la malla todo el material fino en suspensión y se repetirá el proceso todas las veces que sea necesario, hasta que el agua quede limpia. A continuación, se devolverá el vaso de metal el material fino que se haya retenido en la malla, utilizando un poco de agua, que se decantará del vaso al final de la operación. Se secará en el mismo vaso todo el material que se retuvo en la malla número 200 hasta peso constante y se tamizará a través de las mallas antes anotadas.

- c) Para el cálculo de la composición granulométrica se tendrá en cuenta lo siguiente:

1) Cuando la muestra origina no contiene partículas retenidas en la malla Núm. 4, el cálculo de la composición granulométrica se hará en la forma indicada en el párrafo XI.3-32.2.c de este Capítulo.

2) Cuando la muestra original contiene partículas que se retienen en la malla Núm. 4, los retenidos parciales en cada malla deberán expresarse como porcentajes de la muestra total, para lo cual se procederá a calcularlos de la siguiente manera: se dividirá el peso, en gramos, retenido en cada malla, entre el peso seco de la muestra usada para la prueba de lavado [doscientos (200) gramos, generalmente] y se multiplicará este cociente por el por ciento que pasa la malla Núm. 4, determinando en la forma indicada en el inciso XI.3-32.2 de esta cláusula. El retenido acumulativo en la malla Núm. 10 se calculará sumando el retenido parcial en dicha malla, al retenido acumulativo en la malla Núm. 4 obtenido de acuerdo con el inciso XI.3-32.2 de esta cláusula. El retenido acumulativo en la malla Núm. 20. En esta misma forma se calcularán los demás retenidos acumulativos hasta la malla Núm. 200 y, restando estos valores de cien (100), se obtendrán los porcentajes de material que pasa por las mallas respectivas. Se acostumbra trazar la curva que representa la composición granulométrica en una gráfica que tenga por abscisa, a escala logarítmica, las aberturas de las mallas y por ordenadas, los porcentajes de material que pasa dichas mallas, a escala aritmética. La Fig. XI-19 corresponde a la gráfica resultante del material analizado en el ejemplo.

XI.3-32.4.- La prueba simplificada de granulometría tiene como objeto obtener una idea aproximada de la composición granulométrica de los suelos empleados en la construcción de terracerías y poder juzgar la calidad del suelo, relacionando la cantidad presente de finos con su plasticidad.

a) El equipo necesario para realizar la prueba es:

Una malla que fije el tamaño máximo del agregado.

Una malla Tyler estándar Núm. 4, de abertura cuadrada, de cuatro punto setenta y seis (4.76) milímetros.

Una malla Tyler estándar Núm. 40, de abertura de cuatrocientos veinte milésimos (0.420) de milímetro.

Una malla Tyler estándar Núm. 200, de abertura de setenta y cuatro milésimos (0.074) de milímetro.

Una balanza de un (1) kilogramo de capacidad y un décimo (0.1) de gramo de aproximación.

Un vaso de aluminio de quinientos (500) centímetros cúbicos de capacidad.

Un agitador de varilla metálica de seis punto treinta y cinco (6.35) milímetros (1/4") de diámetro y veinte (20) centímetros de longitud.

Un horno que mantenga temperatura de cien a ciento diez grados centígrados (100-110 °C).

b) El procedimiento a seguir es el mismo que se indicó en los incisos XI.3-32.2 y XI.3-32.3 de esta cláusula, con la única diferencia de reducir el número de mallas empleadas a las

especificadas arriba. Deberá usarse, para fijar el tamaño máximo del agregado, la malla de mínima abertura, por la cual pase totalmente el material.

XI.3-32.5.- La determinación de los porcentajes de arena, limo y arcilla, por el método de la decantación separada tiene por objeto obtener una idea aproximada de la composición granulométrica de las partículas de suelo menores a doscientos milésimos (0.200) de milímetro. El procedimiento está basado en la ley de Stokes, que da la velocidad de sedimentación de partículas sólidas esféricas en un líquido.

La velocidad de sedimentación está dada por la fórmula:

$$V = \frac{2}{9} g r^2 \times \frac{D_s - D_f}{N} = \frac{H}{t} \dots\dots\dots(1)$$

En donde:

V = Velocidad de caída de las partículas, en centímetros sobre segundo.

r = Radio de la esfera, en centímetros.

N = Viscosidad del fluido, en gramos sobre centímetros por segundo (poises).

Df = Densidad absoluta del fluido, en gramos sobre centímetro cúbico.

Ds = Densidad absoluta del material, en gramos sobre centímetro cúbico.

g = Aceleración del campo gravitatorio terrestre, en centímetros sobre segundo cuadrado.

H = Altura de caída, en centímetros.

t = Tiempo transcurrido, en segundos.

Para la aplicación práctica de la determinación de los diámetros de las partículas menores de doscientos milésimos (0.200) de milímetro, la sedimentación del material se hace en agua y se determina el porcentaje en peso de sólidos en las muestras que se extraen de una suspensión, inicialmente uniforme, a tiempos previamente calculados y a un punto cuya distancia a la superficie de la suspensión sea conocida. Se anota la temperatura de prueba para hacer las correcciones correspondientes. Como la sedimentación se efectúa en agua, a una altura de caída de veinte (20) centímetros y los diámetros que nos interesan de cincuenta milésimos (0.050) de milímetro, a cinco milésimos (0.005) de milímetro, la fórmula se transforma en la siguiente:

$$T = 0.612 \frac{N}{d^2 (D_s - D_f)} \dots\dots\dots(2)$$

En donde:

T = Tiempo necesario para que sólo queden en suspensión partículas con un diámetro menor de "d", expresado en minutos.

d = Diámetro de las partículas en milímetros N, D_s y D_f en las mismas unidades ya indicadas para la fórmula (1).

Basadas en la fórmula (2) se elaboraron las gráficas que aparecen en las figuras XI-20 y XI-21 que dan el tiempo necesario para que queden en suspensión las partículas menores de cincuenta milésimos (0,050) de milímetro, y cinco milésimos (0,005) de milímetro respectivamente.

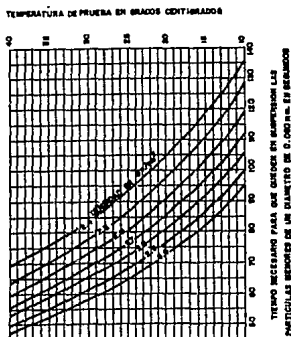


Fig.XI.20.

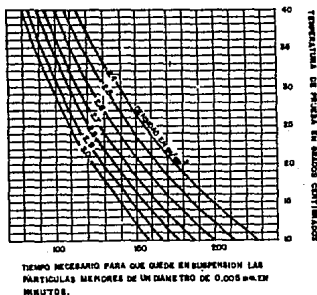


Fig.XI 21

- a) El equipo necesario para realizar la prueba será:

Un cilindro metálico de sedimentación de las siguientes características: altura cincuenta y cinco (55) centímetros, diámetro cinco punto cero ocho (5.08) centímetros (2"), marca del aforo interior a los mil (1000) centímetros cúbicos, orificio de dos punto cuatro (2.4) milímetros (3/32") de diámetro, veinte (20) centímetros abajo de la marca de aforo; tapón de dos punto treinta y ocho (2.38) milímetros, de madera para el orificio.

Una probeta graduada de cien (100) centímetros cúbicos.

Un cronómetro.

Una balanza con aproximación de un centésimo (0.01) de gramo.

Un horno con temperatura controlable.

Una malla Núm. 100.

Cápsulas para determinación de humedad.

Bote de veinticinco (25) litros.

Estufa.

Espátulas.

Defloculante (bicarbonato o silicato de sodio).

- b) Siguiendo los procedimientos indicados en la cláusula XI.3-3, se tomarán quinientos (500) gramos del suelo cribado por la malla Núm. 4 y se dejará remojar el material en una charola con agua durante veinticuatro (24) horas. Se vaciará su contenido en una malla Núm. 100, colocada sobre el bote de veinticinco (25) litros, para recoger todo el material que pasa la malla mencionada. Se dejará reposar la suspensión contenida en el bote durante veinticuatro (24) horas, por lo menos para que se asienten los sólidos y después se extraerá el agua por medio de un sifón, debiéndose proceder con mucho cuidado al operar el sifón, para evitar arrastres del material sedimentado. El material asentado en el bote se recogerá en una cápsula y se secará al horno a una temperatura comprendida entre cien y ciento diez grados centígrados (100-110 °C). Se dejará enfriar en desecador y se pesarán cien (100) gramos, para hacer el análisis, si el material es arenoso, y cincuenta (50) gramos, si es arcilloso. Se colocará el material pesado en una cápsula de porcelana y se le deberá agregar el agua necesaria para cubrir los sólidos de la cápsula de veinte (20) centímetros cúbicos del defloculante (3%) [solución de bicarbonato de sodio o silicato de sodio al tres por ciento (3%)]. Se dejará saturar durante un período comprendido entre dos (2) y doce (12) horas, de acuerdo con la plasticidad del material, y se transvasará al cilindro de sedimentación, lavando la cápsula para recoger todos los finos. Después de añadir agua hasta la marca de mil (1000) centímetros cúbicos. Se deberá agitar vigorosamente el cilindro de un (1) minuto, tapándolo con la mano y se colocará sobre una base firme, en un sitio donde quede protegido de cambios de temperatura,

anotándose la temperatura de la suspensión. Después de transcurrido el tiempo calculado con la gráfica figura XI.20 para que queden en suspensión partículas menores de cinco centésimos (0.05) de milímetro, se quitará el tapón del orificio y se recogerán cien (100) centímetros cúbicos de la suspensión de la probeta graduada. Deberán transvasarse los cien (100) centímetros cúbicos de suspensión a una cápsula, se dejará evaporar el agua en el horno y, después de enfriarse, se pesará el sedimento, con una aproximación de un centésimo (0.01) gramo, anotándose el peso seco. Se agregará agua hasta alcanzar la marca de mil (1000) centímetros cúbicos en el cilindro y se repetirá el proceso dicho. Después de transcurrido el tiempo necesario para que queden en suspensión partículas menores de cinco milésimos (0.005) de milímetro, el cual se determinará en la figura XI.21 se quitará el tapón del orificio y se recogerán otros cien (100) centímetros cúbicos de la suspensión en una probeta graduada debiendo determinarse el peso de los sólidos siguiendo el procedimiento ya indicado.

c) Los diferentes porcentajes de los materiales objeto de este inciso, se calcularán a partir de los datos y en la forma que se indica a continuación:

A. Por ciento de material que pasa la malla Núm. 100, determinado según se indico en los incisos XI.3-32.2 y XI.3-32.3 de este Capítulo.

B. Por ciento de material que pasa la malla Núm. 10, determinando según se indica en los inciso mencionados.

P1 - Peso seco, en gramos, del primer sedimento.

P2 - Peso seco, en gramos, del segundo sedimento.

El por ciento de material de un diámetro menor de cinco centésimos (0.05) de milímetro se calculará con la fórmula :

$$C = \frac{A \times P1 \times 364}{10000} \quad \text{si la prueba se hizo con cien (100) gramos ó}$$

$$C = \frac{A \times P1 \times 364}{5000} \quad \text{si la prueba se hizo con cincuenta gramos.}$$

El por ciento de material de un diámetro menor de cinco milésimos (0.005) de milímetro, se calculará con la fórmula:

$$D = \frac{A \times P2 \times 364}{100 (100-P1)} \quad \text{si se hizo la prueba con cien (100) gramos}$$

$$D = \frac{A \times P2 \times 364}{50 (50-P1)} \quad \text{si se hizo la prueba con cincuenta (50) gramos.}$$

Los porcentajes de arena limo y arcilla se calcularán con las fórmulas:

$$\% \text{ de arena} = B - C$$

$$\% \text{ de limo} = C - D$$

$$\% \text{ de arcilla} = D$$

d) El siguiente ejemplo aclara la secuencia de cálculo:

Determinar los porcentajes de arena, limo y arcilla en un material de las siguientes características:

Por ciento de material que pasa la malla 100:

$$A = 88$$

Por ciento de material que pasa la malla 10:

$$B = 91$$

Densidad del material:

$$D_s = 2.7 \text{ gr./cm}^3.$$

Considerando que la prueba va a hacerse a la temperatura de veinte grados centígrados (20 °C), de la figura XI.20 se deduce que para estas condiciones de temperatura y densidad, el tiempo necesario para que queden en suspensión partículas con diámetro menor de cincuenta milésimos (0.050) de milímetro, es de ochenta y seis (86) segundos, o sea, un (1) minuto veintiséis (26) segundos. Para esos mismos valores en la figura XI.21 se encuentra el tiempo necesario para que queden en suspensión partículas con diámetro menor de cinco milésimos (0.005) de milímetro, que en este caso es de ciento cuarenta y cuatro (144) minutos o sea dos (2) horas veinticuatro (24) minutos. Siguiendo el procedimiento de prueba indicado se encuentra P1 y P2, que vamos a suponer que para cien (100) gramos de muestra tengan los siguientes valores:

$$P1 = 9.0 \text{ gr.}$$

$$P2 = 2.0 \text{ gr.}$$

Por ciento de material de tamaño menor de cincuenta milésimos (0.050) de milímetro (limo y arcilla):

$$C = \frac{88 \times 9.0 \times 364}{10000} = 28.84$$

Por ciento de material de un diámetro menor de cinco milésimos (0.005) de milímetro (arcilla):

$$C = \frac{88 \times 2.0 \times 364}{100(100 - 9)} = 7.04$$

Por ciento de arena : $91.0 - 28.82 = 62.18$
Por ciento de limo : $28.82 - 7.04 = 21.78$
Por ciento de arcilla: 7.04

XI.4 APLICACIONES Y EJEMPLOS.

LOS AGREGADOS PETREOS en la construcción de vías terrestres, se utiliza en todos los procesos que integra la estructura de estos elementos ver Fig. XI.22. Los cuales consisten principalmente en:

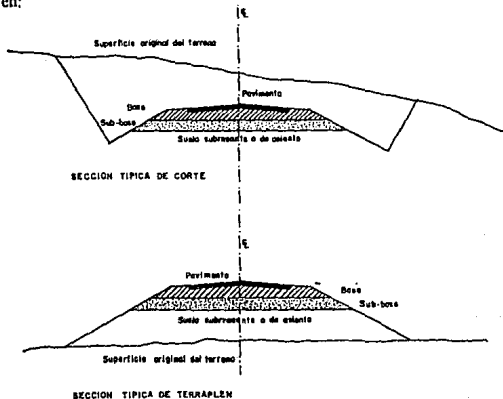


Fig. XI.22.

TERRAPLEN

Esta integrado con materiales que pueden tener tamaños máximos hasta de 75 cm.; se construyen tanto como sea practico a partir del material excavado en la obra. Aunque mucho material inadecuado tiene que acomodarse para deshacerse de él. Cuando el material excavado no es suficiente para los terraplenes, el material procedente de fosas de préstamo se debe traer hasta el sitio. El relleno para excavaciones húmedas y para las porciones superiores de los terraplenes se hace preferentemente de material de préstamo seleccionado, graduado para confinar suelos de grano muy fino de esas zonas.

CAPA SUBRASANTE

Cuando los materiales que se encuentran en la zona cercana de la obra no cumplan con las características marcadas en las normas, se requiere estabilizarlos en forma adecuada, ya sea mecánica ó químicamente.

Las características principales de esta capa son:

ESPESOR DE LA CAPA:	30 cm. MINIMO
TAMAÑO MAXIMO:	7.5 cm. (3 PULGADAS)
GRADO DE COMPACTACION:	95%

Así mismo las funciones de esta capa son:

- a) Recibir y resistir las cargas del tránsito, que le son transmitidas por el pavimento.
- b) Transmitir y distribuir adecuadamente las cargas del tránsito al cuerpo del terraplén.
- c) Evitar que cuando el cuerpo terraplén está formado de materiales finos plásticos, éstos contaminen el pavimento, el tamaño de los agregados deberá estar entre los finos correspondientes al cuerpo del terraplén, y los granulares del pavimento.
- d) Evitar que el pavimento sea absorbido por las terracerías éstas están formadas principalmente por pavimentos de rocas (Pedraplenes). En este caso, la granulometría del material debe ser intermedia entre los fragmentos de roca del cuerpo del terraplén, y los granulares del pavimento (base ó sub-base).
- e) Evitar que las imperfecciones de la cama de los cortes se reflejen en la superficie de rodamiento.
- f) Uniformar los espesores de pavimento, principalmente cuando se tiene mucha variación de los materiales de terracería, a lo largo del camino.
- g) Economizar espesores del pavimento, en especial cuando los materiales de las terracerías requieren un espesor grande.

BASE Y SUB-BASE

Los materiales que se pueden utilizar para la construcción de estos elementos de pavimento varían desde gravas, arena de río o depósitos (aglomerados) o materiales ligeros o fuertemente cementados (conglomerados) o roca masiva. Si los materiales utilizados no cumplen con los requerimientos establecidos en las normas es factible mejorar la granulometría con una estabilización mecánica mezclando los materiales de baja plasticidad o sea con materiales con límite líquido menos al 18 % ó contracción lineal menor a 6.5 %, teniendo cuidado que al cementarse un material (base cementada) en la forma indicada, no disminuya su resistencia ni aumente la plasticidad más allá de lo que establecen las normas.

Las bases sobre las cuales se construyen carpetas de concreto asfáltico, deben tener un módulo de elasticidad semejante al de está última, por lo que conviene estabilizarlas mezclándoles cal hidratada ó cemento portland, pues de lo contrario sus pequeñas deformaciones de la base, tenderán a agrietar la carpeta en forma prematura.

Las bases y sub-bases tienen finalidades y características semejantes, sin embargo las últimas pueden ser de menor calidad.

Las funciones de estas capas :

- a) Recibir y resistir las cargas del tránsito a través de la capa que constituye la superficie de rodamiento (carpeta asfáltica o loza).
- b) Transmitir adecuadamente distribuidas estas cargas a las terracerías.
- c) Impedir que la humedad de las terracerías ascienda por capilaridad.
- d) En caso de que haya alguna introducción de agua por la parte superior, permitir que ésta descienda hasta la capa subrasante en la que por el efecto del bombeo, o sobre elevación, se desaloja hacia el exterior.

CARPETAS ASFALTICAS

La carpeta asfáltica es la capa superior de un pavimento flexible y proporciona la superficie de rodamiento para los vehículos. Se elabora con materiales pétreos y productos asfálticos.

Los materiales pétreos por la construcción de carpetas son suelos inertes provenientes de playones de ríos o arroyos de depósitos naturales denominados minas o de rocas los cuales por lo general, requieren de cribado, triturado a ambos para poder utilizarse.

Las características más importantes que deben satisfacer los materiales pétreos deben cubrirse en su totalidad con el asfalto, si la granulometría cambia, también cambiará la superficie por cubrir. Ya que al aumentar o disminuir los finos, se afecta más la superficie por cubrir, que cuando hay un cambio en las partículas gruesas, las especificaciones toleran más los cambios de éstas que en aquéllos.

Debido a las particularidades del cemento asfáltico, este tipo de carpetas tiene características de tipo elástico, con ruptura de tipo frágil y de poca resistencia, principalmente a bajas temperaturas por lo que, este tipo de carpetas no debe construirse sobre bases naturales, con módulos de elasticidad bajos que pueden tener deformaciones bajo la acción del tránsito, sino que deben construirse sobre bases rigidizadas o cemento Portland o sobre bases asfálticas.

El material pétreo que se utiliza en este caso, en general es roca triturada de tipo de basalto, andesita o reolita sanos, aunque también pueden ser bancos de grava-arena, de minas, playones de río o arroyo; conviene que estos dos últimos tipos tengan bastante desperdicio de triturar, ya que, como muchas veces son materiales redondeados puede ser que la mezcla no pase las normas de resistencia pero al triturarse se producen superficies rugosas que mejoren su calidad.

El procedimiento de construcción para este tipo de carpetas es como sigue:

1. Se eligen los bancos de material pétreo que en general serán de roca maciza como basalto, andesita, calizas o bien, bancos de conglomerados o aglomerados; pero conviene que éstos tengan suficiente desperdicio para ser triturados; si el tipo de material que se va a utilizar por no haber otro tiene un fuerte porcentaje de partículas lisas, es conveniente que se les produzca una superficie rugosa pasando el material por una trituradora aunque no sea necesario reducir los tamaños.
2. Se hace el proyecto de granulometría en el laboratorio y se encuentra el contenido óptimo de asfalto (cemento). Con base en la granulometría se calibra el abastecimiento de la planta mezcladora.

CARPETAS DE CONCRETO HIDRAULICO

La parte superior de los pavimentos rígidos, son las losas de concreto hidráulico que se construye sobre la sub-base y proporciona la superficie de rodamiento.

El concreto hidráulico es un material pétreo artificial, que se elabora mezclando parte de agua y cemento portland, con arena y grava en proporciones tales que se produzcan la resistencia y la densidad deseadas.

Las principales propiedades que se deben observar en las gravas y arenas son : dureza, plasticidad, sanidad, forma de la partícula y la granulometría.

En cuanto a la plasticidad, la grava y la arena deben ser materiales inertes, es decir, deben tener un índice plástico y una contracción lineal de 0; deben cumplir las normas de desgaste y de intemperismo acelerado, con lo cual se asegura su dureza y durabilidad, aunque también es necesario conocer si los agregados tienen álcalis y si éstos le son perjudiciales al concreto a través del tiempo.

En cuanto a la forma de las partículas conviene que sean lo más rugosas posibles, es decir, que tengan un alto valor de fricción, ya que así se alcanza un buen valor de adherencia con la pasta aguatamiento, lo cual no sucede con las partículas redondeadas, como pueden ser los materiales de arroyos o de ríos.

Es necesario la granulometría para garantizar la resistencia y la densidad del concreto endurecido; sin embargo, no es un elemento determinante para aceptar o rechazar los materiales; así, si un determinado concreto no satisface la densidad o la dureza de un concreto endurecido o los vacíos del concreto fresco, se pueden variar las proporciones de los agregados o de la lechada en relación a aquéllos, para obtener los resultados necesarios.

El procedimiento de construcción para una franja de losas de pavimento rígido es como se indica enseguida; por lo general se requieren más de tres franjas, por lo que el procedimiento se repetirá las veces que se necesite.

1. Se eligen los bancos de los materiales pétreos (arena y grava), por lo cual es necesario realizar una exploración de la zona en donde se construirá la obra; los probables bancos, que pueden ser playones de río o arroyo, depósitos de materiales aglomerados o conglomerados o roca, se muestran y se llevan al laboratorio para que se realicen las pruebas de clasificación necesarias, con lo cual, previo estudio económico, se decide cuales de los bancos se va a utilizar y se recomiendan los tratamientos que se requieren.
2. Se elige el tipo y marca de cemento Portland, así como los aditivos que se usarán y se encuentran las proporciones en que intervendrán: cemento, agua, arena, grava, y la cantidad y tipo de aditivo que se usará por unidad de peso o volumen.
3. Se extrae el material de los bancos : si se trata de conglomerados o roca se deben utilizar explosivos y para cualquier material, dependiendo de los tamaños máximos, para cargarlos en los transportes se utilizan desde palas manuales, palas frontales hasta palas mecánicas.
4. Se realizan los tratamientos previos necesarios, como cribado, triturado, lavado.
5. Se acarrean los materiales al lugar de mezclado, que puede ser al pie de la obra si se utilizan mezcladoras de 1 a 3 sacos, o las plantas de mezclado.

TIPO	SUB-TIPOS	SIMBOLO DE GRUPO	CARACTERISTICAS PARA SU ACOMODO	PRUEBAS ESPECIFICAS PARA LA DETERMINACION DE LOS PESOS VOLUMETRICOS SECCS NATIVOS	RECOMENDACIONES PARA SU USO		
					GRUPO DEL TERRAPLEN	CAPA DE SUB-PAGANTE EN TERRAPLENES Y CERRES	
FRAGRODORRECTOR	GRANDES MAYORES DE 75 cm MENORES DE 2 m	Pa Pm Pmp Pmc	DESCRIPIONES DE ALZANTARIAS CON TRACTOR V/O CON EL EQUIPO DE CONSTRUCCION.		MAYOR UTILIZABLE EN TODO EL CEMENTO DEL TERRAPLEN, RECOMENDADOS EN SU APLICACION MAS ESTABLE, ENTENDIENDO QUE EL SIMPLE VOTADO NO CONSTITUYE UN MATERIAL ADECUADO.	NO DEBE USARSE	
	MAQUINAS MAYORES DE 24 cm MENORES DE 75 cm	Pa Pm Pmp Pmc	DESCRIPIONES DE ALZANTARIAS POR BARRIDO CON TRACTOR V/O CON EL EQUIPO DE CONSTRUCCION.		MAYOR UTILIZABLE EN TODO EL CEMENTO DEL TERRAPLEN, RECOMENDADOS EN SU APLICACION MAS ESTABLE, ENTENDIENDO QUE EL SIMPLE VOTADO NO CONSTITUYE UN MATERIAL ADECUADO.	NO DEBE USARSE	
	CHICOS MAYORES DE 7.4 cm MENORES DE 24 cm	Pc Pm Pmp Pmc	DESCRIPIONES DE ALZANTARIAS POR BARRIDO CON TRACTOR V/O CON EL EQUIPO DE CONSTRUCCION.		MAYOR UTILIZABLE EN TODO EL CEMENTO DEL TERRAPLEN, RECOMENDADOS EN SU APLICACION MAS ESTABLE, ENTENDIENDO QUE EL SIMPLE VOTADO NO CONSTITUYE UN MATERIAL ADECUADO.	NO DEBE USARSE	
SUELOS	GRUESO	OPAVS OP OH OC	DESCRIPIONES DE COMPACTACION CON EQUIPO ESPECIAL.	HAZO ESTANDAR SIEMPRE QUE EL PROYECTO NO INDIQUE OTRA PRUEBA DINAMICA	EN CASOS ESPECIALES EL PROYECTO DEBERA INDICAR EL PROCEDIMIENTO A USAR EN EL MOMENTO DE COMPACTACION.	NO SE DE COMPACTACION	NO DEBE USARSE
	FINES LIMITE EQUIPO MAYOR DE 50 CL OL	NO DEBE USARSE					
	ALTAMENTE GRANIZOS	TIPIA					

TABLE XI.2

CAPITULO XII

XII.- VIAS FERREAS

En el transporte terrestre, el ferrocarril ocupó el indiscutible primer lugar entre todos los porteadores, durante un siglo comprendido entre 1825 y 1925.

A partir de la última fecha, el auto privado, el autobús y el autocamión (gradualmente), desde un modesto principio de carácter complementario, han avanzado su crecimiento hasta igualar y con frecuencia superar el tráfico y transporte ferroviario.

A partir de 1975, nos iniciamos ante una nueva era caracterizada por crisis mundial de recursos energéticos, acero, etc., etc., que no sólo afecta al transporte, sino a la economía en general y ello señala el principio de un reajuste de procedimientos y cambios en la mentalidad social y económica que influirá en la planeación general tendiéndose hacia un nuevo equilibrio temporal, que podría llamarse de responsabilidad colectiva que en países de escaso desarrollo como el nuestro, demanda austeridad nacional.

En la infraestructura, el ferrocarril remonta su origen al igual que el camino, por donde transitaban mayas, incas, guerreros y comerciantes a pie y a caballo, en carreteras y diligencias desde hace 3000 años hasta el de 1808, en que nace la locomotora de vapor.

El ferrocarril usa en la superestructura, rieles en vez de la superficie asfaltada de rodamiento y ruedas de acero en lugar de los neumáticos de los auto transportes.

El ferrocarril, emplea locomotoras para remolcar trenes hasta de cien carros con una longitud total de un kilómetro y medio; por los caminos y calles no pueden circular trenes pero la transitan camiones casi tan grandes como un carro de ferrocarril, en que cada uno necesita su propia fuerza tractiva y tripulación, con la ventaja de poder usar las vías asfaltadas de casi todos los caminos y calles.

Por su parte el ferrocarril necesita vencer una resistencia de rodamiento, 5 veces menor que la carretera y el personal empleado para un ferrocarril también es 5 veces menor que el necesario para igualar transporte, el ferrocarril y el camino se complementan y se compiten y gracias a ello, la humanidad ha logrado el enorme desarrollo que el automóvil y el camión han demostrado desde el viejo Ford modelo "T" de 1920, hasta un autobús moderno o un tractor de 350 HP con remolque de 25 toneladas.

Se inicia el ferrocarril mexicano a Veracruz en 1850 y se termina en 1866, después de la guerra contra la intervención de Maximiliano. En 1864 se termina la vía del central entre México y ciudad Juárez; para 1905, la red asciende a 16,630 kilómetros, operados por empresas concesionarias extranjeras.

En 1910, la Revolución interrumpe la terminación de la red básica, que lentamente crece en 1926 hasta 18,450 kilómetros, y en 1964 hasta 23,500 kilómetros, que es la extensión actual.

Se supone que para el año 2000 la red férrea básica estará terminada y su longitud total será de 27,000 kilómetros, o sea que ha la fecha falta construir 3,500 Km. de vías arteriales y conexiones básicas para completar la red, además de la gran labor de modernizar lo existente, que en su totalidad es de propiedad nacional.

ESTRUCTURACION DE LA SECCION TRANSVERSAL DE UNA VIA PARA FERROCARRILES.

La sección estructural de una vía de ferrocarril, difiere de la de caminos y aeropuertos, ya que éstas se usan materiales pétreos y térreos en toda su formación y sólo se usan materiales de otros tipos en elementos auxiliares, como el alumbrado en las defensas metálicas en caminos o en los puentes; sin embargo, en ferrocarriles se tienen materiales como el acero, la madera o el concreto hidráulico, que se utilizan a lo largo de toda la estructura y son parte esencial de ella en elementos, como son rieles y los durmientes que forman lo que se puede denominar la superestructura de la obra (Fig.XII.1), que transmiten la carga que reciben del equipo rodante hacia la parte inferior, que en general está integrada por el balasto, sub-balasto, capa subrasante y el cuerpo de terraplén, que forman lo que puede llamarse la superestructura, la cual descansa sobre el terreno natural o cimentación.

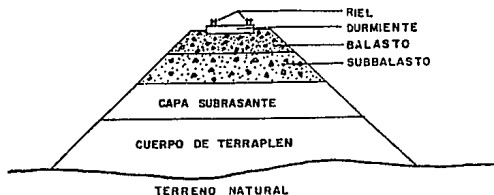


Fig. XII.1
Sección típica en terraplén de una vía para ferrocarril.

TERRACERIAS.

Las terracerías (es decir, el cuerpo del terraplén y la capa subrasante) son las partes de una vía para ferrocarril que más semejanza tiene con la de los caminos y aeropuertos y de hecho se proyectan y construyen de la misma manera; es decir, la altura de los terraplenes y la profundidad de los cortes o sea la posición de la subrasante, están regidas principalmente por la pendiente longitudinal de la obra, que en ferrocarriles es mucho menor que la de los caminos, sobre todo en terrenos de lomerío y

montañoso, lo que da lugar al proyecto de viaductos, túneles y en ocasiones terraplenes altos, la longitud de los cuales se determina en base a estudios económicos y se obtiene moviendo la línea subrasante en forma horizontal, ya que no se tiene oportunidad de moverla en forma vertical, por tener especificaciones muy rígidas en cuanto a la pendiente longitudinal.

Para la construcción del cuerpo de terraplén en general, se utilizan los materiales provenientes de los cortes y de los túneles, cuya calidad debe ser la misma que para los caminos, lo mismo puede decirse de la capa subrasante, que para estas obras se construye de material proveniente de banco, a menos que en los cortes adyacentes se tenga la calidad requerida; a las capas intermedias (sub-balasto y balasto), la superestructura les impone características especiales, principalmente, en cuanto a granulometría, como se verá más adelante, una vez que se haya revisado de manera breve, la forma en que se distribuyen los esfuerzos de los elementos, de la parte superior hacia la inferior.

SUPERESTRUCTURA

Rieles.— Son dos secciones de acero colocados en forma paralela a una distancia entre sus costados interiores denominada escantillón, que constituyen el elemento para el rodamiento del equipo móvil, requieren de máxima precisión en su alineamiento horizontal y vertical. Las velocidades del equipo someten a los rieles a grandes esfuerzos, por lo que requieren estar perfectamente sujetos para evitar, en lo posible, movimientos y para amortiguar la vibración de los impactos.

La sección del riel es de una viga I (Fig. XII.2) fabricada de una sola pieza, cuyo patín superior denominado hongo o cabeza es el apoyo directo al equipo y está sujeto a un desgaste muy fuerte.

Cuenta con el alma y placa inferior, con la cuál se le sujeta al durmiente por medio de los accesorios correspondientes.

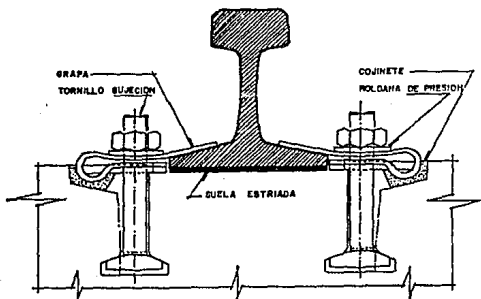


Fig. XII.2
Sección transversal de un riel para vía de ferrocarril.

Los rieles se clasifican de acuerdo a su peso por unidad de longitud, ya sean libras por yardas o kilogramos por metro. En la Tabla XII.1, se muestran los rieles más usados en el país.

	Calibre en libras por yarda				
	90 ARA.A	100 RE	110 RE	115 RE	132 RE
Peso Kg/m	44.644	49.605	54.566	57.045	65.478
(C2)arena	20.3	2424.5	26.1	25.2	25.5
(C3)Módulo S	238	291	329	360	452
(C4)Mom.					
inercia	1554	2040	2372	2730	3671
Alto plg.	5 5/8	6	6 1/4	6 5/8	7 1/8
Base plg.	5 1/8	5 3/8	5 1/2	5 1/2	6
Hongo plg.	2 9/16	2 11/16	2 25/32	2 23/32	3

TABLA XII.1

Características de algunos rieles para vías de ferrocarril.

Los esfuerzos a que están sujetos el riel y, por tanto, su vida útil, dependen de las cargas y velocidades del equipo rodante, de su calibre (peso por longitud), el área de apoyo y espaciamiento de los durmientes, de la calidad del balasto y de la deficiencia de la sujeción del riel al durmiente y el de éste en el balasto. El riel en sí es una viga continua que se supone apoyada en 5 durmientes con 4 claros; aunque en ocasiones algunos apoyos fallan produciéndose claros reales hasta triples espaciamientos entre durmientes, con deflexiones fuertes que deben ser resistentes por el riel sin tener deformaciones permanentes, ni romper los accesorios de sujeción con el durmiente.

DURMIENTES

Los durmientes son los apoyos transversales de la vía, a los que se sujetan los rieles por medio de accesorios y se colocan a una determinada distancia, de la cual depende la carga a que están sujetos; pueden ser de madera dura o blanda, creosotada o de concreto pretensado o de bloques de concreto en los extremos, unidos con acero estructural y articulación con pretensados.

La sección tipo de los durmientes de maderas de 18x20 Cm. x 240 m; aunque en Europa se usa de 15x25x260Cm. utilizándose de 1700a 2050 por kilometro. (Fig.XII.3).

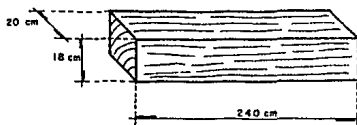


Fig. XII.3

Otro tipo de durmiente es el de acero denominado concha, que son huecos, y requieren de colocación cuidadosa para introducirlos y calzarlos con el balasto, pero proporcionan un excelente anclaje muy útil en zonas sinuosas o donde se tiene un riel soldado; tienen una vida útil mínima de 60 años, se daña en forma mínima por descarrilamiento, tienen la posibilidad de rehabilitación y un alto valor de recuperación (Fig. XII.4)

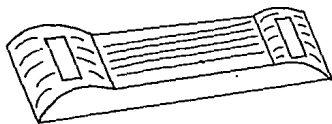


Fig. XII.4

Los durmientes de concreto pueden ser de una sola pieza pretensada (Fig.XII.5), o de dos piezas de concreto unidas por una barra de acero, que también es pretensada; si no hay percalces, la duración de este tipo de durmientes es se semejante a los de acero.

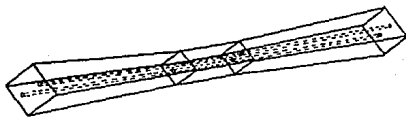


Fig. XII.5

Balasto.- El balasto es una capa de material granular que sirve de apoyo y anclaje al durmiente, evitando que tenga desplazamientos, lo cual puede suceder con mayor frecuencia en curvas y en tramos de riel soldado, mantiene drenada la parte superior de la estructura y sirve de elemento nivelador en la conservación.

Los objetivos del balasto, como parte constitutiva de la superestructura de la vía férrea, son muy diversos y todos ellos de gran importancia:

1. Confinan los durmientes, oponiéndose a sus desplazamientos longitudinales y transversales, originados por el frenaje o la tracción del equipo, por el cabeceo, por las fuerzas centrífugas o por sobre elevación excesiva en las curvas y en las vías soldadas, por los considerables que se desarrollan con los cambios de temperatura.
2. Transmite las presiones a la subestructura.
3. Drena las vías.
4. Sirve de elemento nivelador para la conservación de la rasante.

Resulta obvio que las funciones del balasto y las del sub-balasto, son lo bastante diferentes como para no pensar en sustituir, ni aun parcialmente una capa por otra.

Las dimensiones del material que forma el balasto, pueden variar desde 2 hasta 7.5 centímetros, aunque generalmente se exige que no pasen de 4 ó 5 centímetros. Esta limitación se debe a las dificultades que presenta el material grande, para la precisión con que deben ser niveladas las vías. Las partículas menores de 2 centímetros también deben excluirse, por constituir un dren poco eficiente. Esto no es obstáculo, sin embargo, para que en los patios y vías secundarias se emplee un material de 0.65 ó 2 centímetros.

Estos materiales se obtienen de la trituración de rocas o de la escoria de fundición y en algunas ocasiones por la trituración parcial de conglomerados extraídos de depósitos naturales. También pueden utilizarse gravas de minas o de río, cribadas únicamente y algunas veces lavadas, siendo conveniente combinarlas con materiales triturados. El caso más frecuente y también el más complicado, es el de la trituración de la roca.

XII.1.- AGREGADOS UTILIZADOS PARA SU CONSTRUCCION.

Las capas superiores de la subestructura de una vía férrea, deben reunir diversas características de resistencia e impermeabilidad, que les permitan cumplir sus funciones drenantes y estructurales. El drenaje superficial se realiza por el escurrimiento del agua pluvial sobre las pendientes transversales de la corona de la formación, impidiendo su filtración a las terracerías. Como elementos estructurales, estas capas distribuyen las presiones transmitidas por la carga viva, a través de los rieles, durmientes y balasto. Para lograr esas cualidades, se emplean dos procesos diferentes, que dan lugar a dos tipos de capas: la capa subrasante o capa de mejoramiento de las terracerías y la capa de sub-balasto.

CAPA SUBRASANTE

La capa subrasante se forma con el mismo material de las terracerías, al cual se le da un tratamiento especial que las mejora, este mejoramiento se obtiene, en algunos casos, agregando antes de compactar algunos materiales que modifiquen favorablemente la granulometría; en otros casos, dándole únicamente un mayor grado de compactación que al resto de las terracerías. El espesor de la capa subrasante varía de 30 a 50 centímetros y se construye generalmente como apoyo del sub-balasto.

SUB-BALASTO

La capa de sub-balasto está constituida por materiales procedentes de suelos, depósitos naturales o rocas alteradas, generalmente sin ningún tratamiento previo a su utilización. Además de una buena granulometría, contracción lineal reducida y alto valor cementante, se exige de los materiales que van a formar esta capa un valor relativo de soporte estándar mínimo de 30%. Si se considera que las funciones estructurales y de drenaje que mencionamos antes, hemos de agregar debe impedir la incrustación del balasto, al que sirve de apoyo, resulta de particular importancia este requisito, ya que el valor relativo de soporte puede considerarse como una medida de la resistencia a la penetración de un material saturado, cuando previamente ha sido compactado a la humedad óptima.

Si tomamos en consideración que el sub-balasto, sirve también para afinar las terracerías, resulta aconsejable construirlo en forma continua en toda la línea(aunque en muchos casos el material sea el mismo de las terracerías). En estas condiciones, el sub-balasto constituye la superficie que limita la sub-estructura, y su perfil, que será una línea paralela a la rasante, puede adoptar el nombre de línea sub-balasto. Esta línea debe ser la base para el proyecto de las terracerías, pero en los datos de construcción se deberán tomar en cuenta la línea subrasante y la subcorona, es decir el nivel bajo del sub-balasto y el ancho de la terracería en ese nivel.

Aunque siempre se recomienda construir el sub-balasto solo un poco antes del tendido de la vía, para evitar el deterioro con el tránsito de equipo de construcción; no es posible impedir que sirva de superficie de rodamiento a los vehículos de aprovisionamiento y de supervisión y en muchas regiones como camino provisional.

MATERIAL DE LA CAPA SUBRASANTE		Espesor del sub-balasto requerido.
Símbolo del suelo (*)	Valor relativo de soporte estandar más frecuentes	
GW, GP, GM, SW	MAYOR DEL 40%	NO SE REQUIERE
GC, SP, SM, SC	DE 20 A 40%	NO SE REQUIERE
CL, ML	DE 8 A 20%	30 Cm.
OL, MH, CH	MENOR DE 8%	40 Cm.

(*) Ver tabla XI.1.

Tomando como base para la elección de los espesores del sub-balasto, su función distribuidora de los esfuerzos que recibe de la superestructura; dichos espesores deberán incrementarse mientras menor sea la resistencia de las capas subyacentes. A reserva de que se obtengan resultados más precisos de una investigación acorde a las características de nuestras vías en construcción.

Se observa que, cuando la capa subrasante está formada por gravas o arenas más o menos bien graduadas o mezcladas con arcillas y limos, no se necesita el sub-balasto (atendiendo únicamente a razones estructurales). No ocurre lo mismo con subrasantes de suelos limosos o arcillosos. En estos casos, cuando la plasticidad de los suelos es baja (CL y ML), requerir un espesor de sub-balasto mayor. cuando los suelos no alcancen un VRS mínimo de 5%, serán rechazados para formar la subrasante.

BALASTO

Espesor de la capa de balasto. En cuanto al espesor de la capa de balasto, se pueden hacer algunas consideraciones teóricas de distribución de esfuerzos, pero en general este espesor se coloca de acuerdo a la práctica regional.

En primer lugar, se puede encontrar la presión que los durmientes van a transmitir al balasto; se tienen varias fórmulas empíricas como es la de la Asociación Americana de Ingenieros de Ferrocarriles (AREA) y la llamada Europea que son respectivamente:

$$h = (17 Po/P)^{1/1.25} \text{ y } h = \frac{(Po - P)b}{2P}$$

En la que:

h = Espesor del balasto.

Po = Presión en base del durmiente.

P = Esfuerzo permisible en la capa subrasante.

b = ancho del durmiente.

El AREA supone que la presión se distribuye según el ángulo de 45°, en cambio para la segunda fórmula el ángulo es de 30°.

Ejemplo: Se tiene un eje de 36 toneladas que es soportado por tres durmientes con base de 20 x 240 cm., pero sin calzar en el tercio medio.

$$P = \frac{36\ 000}{2/3 \times 20 \times 240} = 3.75 \text{ Kg./Cm}^2$$

Aplicando las fórmulas encontramos:

$$h.5 = (3.75/5)^{1/1.25} = 48 \text{ Cm. y}$$

$$h.5 = (3.75 - .5)20/2 \times 0.5 = 65 \text{ Cm}$$

La presión admisible en la subrasante (P) es de 0.5 Kg./Cm², para un suelo cohesivo de mala calidad; 1 Kg./Cm² para suelo arcilloso con regular calidad, 4.5 Kg./Cm² para suelo bien graduado y 2Kg/Cm² para material selecto.

En el ejemplo anterior, si se tienen suelos con capacidad de 1 y 1.5 Kg./Cm² se tendrían los siguientes espesores con la fórmula del AREA:

$$h1 = 28 \text{ Cm.} \quad h 1.5 = 20 \text{ Cm.}$$

En la práctica, los espesores del balasto varían entre 30 y 50 Cm. En México, el balasto se coloca sobre una capa de sub-balasto que se construye con material granular con VRS mínimo de 30% y con características de plasticidad y valor cementante iguales a los de una sub-base de pavimentos flexibles, su capacidad de carga puede aceptarse de 1.5 Kg./Cm². El sub-balasto se coloca en un espesor de 15 Cm. sobre la capa subrasante, que cuando menos debe ser una arena arcillosa con valor soporte de 15% (en general, por especificaciones su espesor es de 30 Cm.); su capacidad de carga mínima puede decirse que es de 1Kg/Cm². Esta capa subrasante, como ya se dijo antes, constituye la parte superior de las terracerías, es decir, se construye sobre el cuerpo del terraplén; como mínimo la capacidad de carga de este último es de 0.5 Kg./Cm².

Por ciento en peso que pasa por la malla de										
Denomi- nacion	76.10 mm 3pg	64.00 mm 2.5pg	50.80 mm 2pg	38.10 mm 1.5pg	25.40 mm 1pg	19.00 mm .75pg	12.70 mm .5pg	9.51mm.	4.76 mm M # 4	2.38 mm M # 8
1	100	90-100	-	25-60	-	0-10	0-5	-	-	-
2		100	95-100	35-70	0-15	-	0-5	-	-	-
3			100	90-100	20-55	0-15	-	0-5	-	-
4				100	90-100	40-75	15-7	0-15	0-5	-
5				100	95-100	-	25-60	-	0-10	0-5

ESPECIFICACIONES GRANULOMETRICAS PARA EL BALASTO

Con los datos anteriores y los espesores calculados con la formula del AREA se tendría:

Capa en estudio	Po	P	Espesor sobre la capa.	
			Proyecto	Práctica
cuerpo del terraplén		0.5	48	75
subrasante	3.75	1.0	28	45
sub-balasto		1.5	20	30

Espesor en la práctica nacional (en condiciones medias de calidad):

Capa subrasante 30 Cm. mín (siempre se coloca).

Capa sub-balasto 15Cm.

Capa de balasto 30Cm. mín.

Total: 75 Cm.

El espesor que se calcula con las fórmulas es a partir de la base del durmiente y si éste tiene un espesor de 20 Cm. el balasto debe quedar cuando menos 5 Cm. abajo de la parte superior de aquél, o sea que el espesor total calculado con la fórmula europea daría $65 + 15 = 80$ Cm. que es semejante a lo que se usa en México. El espesor calculado con la fórmula del AREA es menor que los anteriores.

En el país se han colocado espesores de 30 Cm. de balasto en líneas con tránsito ligero y de 45 Cm. en líneas principales.

XII.2.-ESPECIFICACIONES GENERALES DE LOS AGREGADOS PETREOS.

Los suelos gruesos o granulares, son ideales para formar terraplén, cuando además de estar bien graduados (SW), tienen buenos valores relativos a las siguientes características:

- (origen) petrográfico de roca dura y densa.
- (forma) con aristas vivas adecuadas a elevados ángulos de fricción interna.
- (superficie) rugosa en sus caras.
- (cementación) químicamente favorable al reaccionar con el agua y con la consolidación, drenaje, humedad propia, etc.

Se comprende que los suelos, provienen de la desintegración o descomposición de las rocas durante largos períodos geológicos de erosión o metamorfosis (por agua, hielo, viento, reacciones químicas) o los que pueden fabricarse artificialmente, triturado rocas relativamente grandes entre las quijadas de una quebradora.

Los cantos rodados y la grava de un río deben ser duros por haber resistido siglos de erosión, a pesar de su remediable inconveniente de forma redondeada de escasa fricción interna o trabazón entre las partículas.

Anexamos (gráficamente) el equipo usual de las cribas empleadas para definir la granulometría por tamaños tipo, según el número de cuadros por pulgadas cuadrada Vgr. Maya No. 10 = 2.5 mm, de lado, lo cual permite el paso a granos de 2 milímetros de diámetro (si descontamos el grueso del alambre de la criba), así como una curva ideal para obtener el porcentaje (en peso) de cada diámetro (d) cuando se conoce el tamaño mayor (D) y se desea cero por ciento de vacíos, así como los coeficientes denominados de uniformidad (Cu) y de curvatura CC para juzgar (acorde a la estadística) los resultados de distribución de la muestra de ensayo.

Diferencias entre los procedimientos y finalidades de Mecánica del Suelo, aplicados a ferrocarriles y carreteras. Los ingenieros de carreteras calculan el espesor de base y pavimento por el valor de soporte relativo y por el tráfico, su peso y frecuencia; el grado de compactación de bases de camino puede permanecer casi constante, mientras la carpeta asfáltica pueda impedir al agua penetrar en demasía hacia el interior del terraplén.

En el camino se sella con el riecho asfáltico a la carpeta al igual que en el enladrillado de los techos azotea se impermeabilizan con materiales asfálticos.

El ferrocarril en cambio, necesita ser permeable en todo el espesor de su base la que se golpea de continuo, tanto con el paso de trenes como las herramientas para calzar y nivelar la vía. En ferrocarriles se debe sellar la subrasante para evitar el agua de lluvia y para impedir que los suelos cohesivos puedan subir por capilaridad, agua de inundación o freática (hasta 2 o más metros) siendo necesario según el caso, el procedimiento de aplicar una o varias capas de sello, intercaladas en capas

aisladas de terraplén y hasta puede resultar necesario asfaltar sobre los durmientes y el contorno exterior del balasto.

El empleo de capa de arena (sub-balasto) sirve para detener el lodo mientras se sature esa capa y a su vez principie a lanzar arcilla hacia el balasto superior.

Una vía férrea como el ferrocarril del Sureste, y muchos otros casos similares de terracerías en suelos muy arcillosos, puede ser construido compactando por capas sus terraplenes, intercalado riesgos asfálticos o capas de arena, hasta rematar en sub-balasto arenoso y un espesor adecuado de balasto según el valor de soporte o la reacción admisible por la subrasante y el tipo de tráfico. El problema estriba en que el valor de soporte es harto variable con la humedad y esta va en continuo aumento hasta que el balasto rompe el nivel de subrasante y penetra en las bolsas de agua del interior.

Los ingenieros de mantenimiento de vía, entonces deciden meter más balasto limpio sobre el sucio, o inyectar cemento, morteros de cal, etc., o romper los huecos del interior con pequeñas explosiones de dinamita durante el tiempo de secas.

El problema varía desde Métodos para construir hacia Sistemas de Conservación.

El espesor del balasto ha sido calculado (AREA) según la presión conocida en la base del durmiente (P_0) y la presión (P) casi ignorada permisible por la subrasante, a través de hipótesis más o menos imprecisas sobre el ángulo de transmisión de presiones a través de un balasto que empieza limpio y termina enlodado en pocos meses.

Las condiciones del valor de soporte de la subrasante, son muy variables (humedad, compactación etc.) a través del tráfico que varía en sus velocidades y cargas de tal modo que en los últimos 10 años, en numerosos ferrocarriles incluyendo a México, se han ensayado no sólo el construirse las terracerías con normas similares las de una buena carretera, sino emplearse BASE compactada y SELLADA con riego asfáltico o forrado con tela ahulada de neopreno además de perfilar la sección con "bombeo" para el escurrimiento transversal del agua.

Estas providencias (para lograr una subrasante capaz de garantizar una relativa permanencia del valor del soporte necesario para cada tipo del suelo disponible) son la base práctica para calcular el espesor del balasto, usando las fórmulas " racionales" donde la presión en la base del durmiente, se transmite a través del BALASTO según aproximados diagramas cónicos (piramidales), cuyos taludes inclinan de 30 a 45 grados y con espesores suficientes para que los "bulbos de presión" de los durmientes colindantes, produzcan una presión uniforme, admisible por la subrasante.

El tráfico pulveriza al balasto y lo contamina y cada 3 años podría efectuarse su criba, limpieza y la adición de nuevo balasto "fresco"; a la vez que en tramos aislados y no determinados, las aguas freáticas aparecen o se abaten y en ocasiones, el calzado mecánico rompe la subrasante y se incrusta algún balasto en la terracería, iniciando con ello una "bolsa de agua" y su golpe de vía acusador.

Esto sucede en tramos variables de corte a terraplén; de planicie a ladera escarpada; y al paso de cada estructura.

Se dice que los "golpes dinámicos" del tráfico varían con la raíz cuadrada de la RIGIDEZ del balasto y ello demanda el empleo del espesor mínimo necesario, lo cual implica el uso casi exclusivo de terracerías con gran valor de soporte, tesis que produce COSTOS en ocasiones elevados y en otras prohibitivos al construirse vías en grandes regiones de suelo cohesivo.

Debido a las rígidas especificaciones exigidas para el sub-balasto y para la capa subrasante donde falta el primero podemos aceptar que estas capas soporten esfuerzos diferenciales, lo cual nos aleja de los más altos espesores del criterio americano. Considerando además como factor muy importante a la intensidad del tráfico, que se traduce en la frecuencia de aplicación de la carga viva, creemos que la recomendación más aceptable por el momento para el espesor del balasto, es la propuesta por la comisión de la Secretaría de Obras Públicas, mencionadas en el párrafo relativo al sub-balasto, lo cual hace variar dicho espesor entre 15 y 30 centímetros bajo el durmiente, de acuerdo con el tonelaje anual que va a soportar la vía.

ORIGEN Y CONSTITUCION DE LOS MATERIALES

El balasto proviene de la trituración de rocas extraídas de las canteras de piedras duras. (granito, microgranito, diorita, pórfido, cuarcita, basalto, etc.).

Las rocas se extraen de bancos sanos de la cantera, excluyendo todo banco poco consistente y eliminando todas las rocas estériles, costras de cantera, polvaredas, residuos terrosos, arenas y demás materias ajenas.

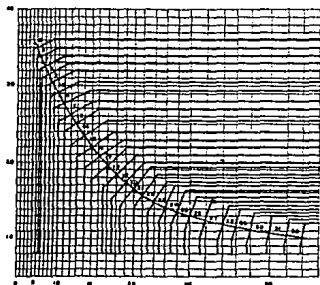
Dureza del balasto queda definida, tomando en cuenta:

La resistencia al desgaste. Ensayo " DEVAL ".

La resistencia al fraccionamiento. Ensayo " LOS ANGELES ".

Los ábacos Fig. XII.6 y XII.7 de la presente especificación permiten la determinación del coeficiente de dureza instantánea - D R I - de cada muestreo extraído, con los valores obtenidos del ensayo " DEVAL " seco y húmedo y del ensayo " LOS ANGELES ". Se toma en cuenta el más pequeño de los valores leídos en cada uno de los tableros de las figuras.

DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE DUREZA INSTANTANEA CON RESPECTO A LOS COEFICIENTES "LOS ANGELES" Y "DEVAL" SECO



LA: COEFICIENTE "LOS ANGELES"
D2: COEFICIENTE "DEVAL" SECO

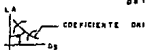
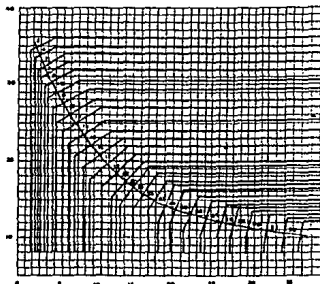


Fig. XII.6

DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE DUREZA INSTANTANEA CON RESPECTO A LOS COEFICIENTES "LOS ANGELES" Y "DEVAL" HUMEDO



LA: COEFICIENTE "LOS ANGELES"
D4: COEFICIENTE "DEVAL" HUMEDO

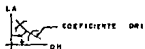


FIG. XII.7

Los ensayos se llevan a cabo en el balasto:

Ya sea tal como esta elaborado en la cantera, teniendo en cuenta las propias instalaciones de trituración.

El ensayo " DEVAL " se efectúa conforme a las prescripciones de la Norma AFNOR P-18577. El ensayo " LOS ANGELES " se efectúa según las indicaciones de la Norma ASTM-C535 o AFNOR P-18573.

Además de la dureza instantánea D R I, la cantera se caracteriza por un coeficiente de dureza global D R G, el cual se calcula por un estudio estadístico del coeficiente de dureza D R I según las modalidades expuestas en determinación de dureza global de una cantera.

El cuadro siguiente define los distintos valores de las durezas D R I - D R G según las condiciones de empleo del balasto, este último pudiendo provenir de diferentes canteras :

CONDICIONES DE EMPLEO DEL BALASTO	DURMIENTES DE MADERA		DURMIENTES DE CONCRETO	
	DRI MIN.	DRG. MIN	DRI MIN.	DRG MIN
CAPA SUPERIOR	15	17	15	17
CAPA INFERIOR	13	14	13	14

Los valores mínimos indicados se consideran como los límites de rechazo.

El D R I no deberá aminorar el valor del D R G de manera tal que llegue a ser inferior al valor pedido.

DIMENSIONES - GRANULOMETRIA

DIMENSIONES NOMINALES

El balasto se define por sus dimensiones nominales :

Mínima: d = 25 mm.
Máxima: D = 50 mm.

La granulometría d/D corresponde a 25/50 mm.

GRANULOMETRIA

En la practica, teniendo en cuenta las condiciones de trituración y de cribado, se autoriza una cierta dispersión de las dimensiones en el interior de un uso granulométrico cuyos puntos singulares se definen a continuación, utilizando tamices de mallas cuadradas con las dimensiones siguientes: 80-63-50-40-25-16 mm. (valores en conformidad con las recomendaciones de la norma ISO/TC 24).

PUNTOS SINGULARES DE LOS USOS.	DIMENSIONES DE LAS MALLAS CUADRADAS (1)	TOLERANCIAS NOMALES	LIMITES INACEPTABLES (LIMITES DE RECHAZO)
$D_{max} : 1.25 D$	63	MASA DETENIDA 0 %	MASA RETENIDA $\geq 3 \%$
D	50	MASA DETENIDA $\leq 5 \%$	MASA RETENIDA $\geq 20 \%$
TAMIZ INTERMEDIARIO	40	MASA DETENIDA ENTRE EL 26 Y 60 %	MASA RETENIDA $\leq 21 \%$ MASA RETENIDA $\geq 65 \%$
d	25	MASA DETENIDA $\geq 95 \%$	MASA RETENIDA $\leq 90 \%$
$D_{min} 0.63 d$	16	MASA DETENIDA $\geq 99 \%$	MASA RETENIDA $\leq 98 \%$

NOTA (1) :En el caso de disponer únicamente de tamices con mallas circulares, los resultados se consideran equivalentes para los diámetros iguales a $1.5 \times L$; L midiendo el lado de las mallas cuadradas.

FORMA DEL MATERIAL

Los elementos de balasto y de grava son de forma poliédrica con aristas vivas. referentes a su longitud y espesor, deben cumplir con los requisitos siguientes :

" AGUJAS " (Lajas)

El límite normal de los elementos en forma de aguja con una longitud superior a 92 mm. es de 7 % en peso. El límite de rechazo corresponde al 10 %.

" LACIOS "

Se determina un coeficiente de achatamiento global. El ensayo permitiendo el cálculo de este coeficiente se lleva a cabo en el muestreo del ensayo granulométrico.

El cribado en rejas con una separación S entre las barras se efectúa en las clases granulares definidas a continuación :

CLASE GRANULAR d/D EN mm.	SEPARACION S EN mm.
50 - 63	31.5
40 - 50	25
31.5 - 40	20
25 - 31.5	16

El límite normal de este coeficiente es de 12 %. El límite de rechazo se fija en 14 %.

HOMOGENEIDAD

El límite normal de elementos quebradizos o alterados es de 3%. El límite de rechazo queda en 6%.

LIMPIEZA

Los materiales deben estar exentos de arena, de polvos, de residuos terrosos y de cualquier otras materias ajenas. El límite normal es de 0.5 % con la malla de 1.6 mm. El límite de rechazo corresponde al 0.8 % .

OBTENCION DE MUESTRAS

El escantillón, aquel más representativo del producto, se saca :

Ya sea en la transportadora, parada, antes del cargado en las plataformas o en el sitio de almacenamiento.

Sea, directamente del acopio.

O ya bien en la plataforma antes de su despacho, en tres puntos espaciados el uno del otro y ubicados a más de 0.50 m. de la pared, tan pronto sea posible después de la carga para evitar la segregación o el lavado del material por la lluvia.

Estos distintos modos de muestreo pueden, eventualmente, combinándose entre sí.

La masa de la muestra sacada debe ser al menos igual a 30 kg.

Los mismos modos de elección de las muestras deberán utilizarse en el marco de los controles a cargo del proveedor.

DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE DUREZA GLOBAL DE UNA CANTERA.

Se consideran dos casos :

1. La cantera no esta aprobada aun.
2. La cantera tiene ya la aprobación.
 - 1.- LA CANTERA NO ESTA APROBADA AUN.

La obtención de muestras se efectúan en cada banco previsto por explotar conforme a las disposiciones previstas, en la obtención de las muestras.

En cada muestra se efectúa los ensayos " DEVAL " y " LOS ANGELES ". Los ábacos de las Fig. XII.6 y XII.7 permiten asociar a cada par de valores " DEVAL " y " LOS ANGELES " un coeficiente de dureza instantánea D R I.

La cantidad total del muestreo queda igual a :

$$a p = \sum n$$

El coeficiente de dureza global D R G de la cantera se obtiene por :

$$D R G = \overline{D R I} - 0.50 \sigma$$

Donde $\overline{D R I}$ significa el promedio de los "p" valores D R I o sea.

$$\overline{D R I} = 1/p \sum_{i=1}^p D R I$$

σ representa la desviación típica de los valores de D R I o sea :

$$= \sqrt{1/p-1 \sum_{i=1}^p (D R I - \overline{D R I})^2}$$

2.- LA CANTERA TIENE LA APROBACION

NUMERO MINIMO DE MUESTRAS Y DE ENSAYOS.

El seguimiento de la calidad dan lugar al sacado de muestras y a los ensayos correspondientes, los cuales se reparten de la siguiente manera.

Proveedor: 6 muestrarios anuales.

Comprador: 4 muestrarios anuales.

El cálculo del coeficiente de dureza global D R G se realiza en 12 meses calendarios.

CALCULO DEL COEFICIENTE DE DUREZA GLOBAL D R G.

PRINCIPIO

El D R G oficial se calcula a partir de la totalidad de los ensayos D R I después de la verificación que los D R G calculados respectivamente con solo los resultados no difieren de mas de 1 unidad.

CALCULO DEL D R G

Para cada ensayo, los ábacos de las Fig. XII.6 y XII.7 permiten asociar a cada par i de valores " DEVAL " y " LOS ANGELES " un coeficiente de dureza instantánea D R I.

Si en una misma muestra, se hubiesen realizado los ensayos " DEVAL " seco y húmedo, resulta posible mediante los ábacos mencionados, determinar dos coeficientes de dureza instantánea: se tomará en cuenta el valor más endeble de los dos obtenidos.

Se tiene n resultados de ensayos efectuados en 12 meses. Un primer coeficiente de dureza global D R G₁ se obtiene por:

$$D R G_1 = \overline{D R I} - 0.5 \sigma$$

donde \overline{DRI} representa el promedio de los n valores DRI \overline{VRI} representa el promedio de los n valores DRI o sea :

$$\overline{DRI} = 1/n \sum_1^n VRI$$

σ representa la desviación típica de los valores DRI o sea :

$$\sigma = \sqrt{1/n-1 \sum_1^n (VRI - \overline{VRI})^2}$$

Por otra parte, sea DRI_{min} el valor mínimo de los coeficientes DRI obtenidos durante los 12 últimos meses. Un segundo coeficiente de dureza global DRG_2 se calcula como sigue :

$$DRG_2 = DRI_{min} + 2$$

El coeficiente de dureza global DRG de la cantera corresponde al valor más pequeño de los dos valores DRG_1 y DRG_2 .

XII3.- PRUEBAS PARA LOS AGREGADOS UTILIZADOS EN VIAS FERREAS

BALASTO

Descripción

El balasto es el producto de la selección y trituración de rocas sanas obtenidas de bancos de material, que se colocarán en las vías; las funciones principales del balasto son las siguientes:

1. Asegurar la repartición de las cargas que transmiten los durmientes, hacia la plataforma que constituya la cimentación del sistema de vía.
2. Impedir el desplazamiento de los elementos de la vía.
3. Asegurar el fácil drenaje de las aguas infiltradas.
4. Amortiguar las vibraciones producidas por el paso de los trenes.
5. Permitir la rápida renivelación de la vía.

El balasto como material de construcción de las vías se utiliza, debido al proceso de consolidación de los materiales del subsuelo, que origina la necesidad de realizar nivelaciones periódicas de la vía.

Referencias.

CONCEPTO	REFERENCIA
Muestreo de agregados	NOM C-30
Selección de muestras (cuarteo)	NOM C-170
Método de prueba para determinar terrones de arcilla en agregados naturales.	NOM C-71
Método de prueba para determinación de partículas ligeras en los agregados.	NOM C-72
Método de prueba para análisis granulométrico de agregados finos y gruesos.	NOM C-77
Método de prueba para determinar por medio de lavado de materiales que pasan la malla de 0.075mm (NOM F0.075; ASTM No. 200)	NOM C-84
Determinación del peso específico y absorción del agregado grueso.	NOM C-164
Resistencia a la abrasión de agregado grueso usando la máquina de los Angeles.	NOM C-196
Sanidad.	NOM C-75

REQUISITOS DE CALIDAD.

El balasto deberá cumplir con los requisitos físicos establecidos en las tablas: XII.2 y XII.3.

Las partículas resultantes de la trituración deberán ser angulosas y tener superficies rugosas para proporcionar una mayor trabazón.

MUESTREO.

1. Obtención de las muestras en el banco.

- 1.1. Para la aprobación se tomará una muestra representativa del material, formado por muestras tomadas de varios sitios del material al cual se quiera certificar, hasta tener un total una muestra compuesta de 150 Kg. como mínimo.
- 1.2. Las tomas se harán sobre apilados, o si el cargamento se efectúa directamente a la salida de la trituradora, debajo de la tolva de cargamento o sobre el camión o vagón.

Las tomas de muestras selectivas, se efectuarán en presencia del representante y del contratista.

- 1.3. Las muestras tomadas serán guardadas y selladas en paquetes impermeables y se enviarán para su estudio al laboratorio; llevarán las siguientes indicaciones:

Fecha de muestreo.

Tipo de material.

Procedencia y localización del banco.

Nombre del empresario.

Nombre y firma del representante.

2. Obtención de muestras por medios mecánicos del balasto colocado en vía.

- 2.1. En cada sitio de muestreo se coleccionarán no menos de 20 Kg. de balasto, tomados del espesor total de la capa o capas por analizar y cubriendo el área que resulte necesaria par colocar la cantidad antes señalada.
- 2.2. Cada muestra será guardada en un paquete sellado y hermético para ser enviado al laboratorio y deberá llevar las siguientes indicaciones:

Fecha de muestreo.

Línea.

Vía.

Cadenamiento.

Distancia al muro lateral o gálibo.

Capa a que corresponda: primera o total.

Espesor de la capa muestreada.

Nombre y firma del responsable del muestreo.

En ningún caso deberá muestrearse en forma aislada la segunda capa.

PRUEBAS.

Los métodos de prueba se llevarán a cabo de acuerdo con los procedimientos de las normas de referencia citadas.

BASES DE ACEPTACION.

La aceptación del material seleccionado como balasto para vías, deberá cumplir los requisitos de calidad marcados en esta especificación, durante todo el tiempo que dure el suministro y colocación.

Requisitos físicos		
Características	En banco	Colocado
Abrasión del material mediante la prueba "Los Angeles" Porcentaje máximo	28.0	28.0
Pérdida por lavado en malla No. 200, porcentaje máximo	1.5	3.0
Elementos arcillosos, porcentajes máximos	0.5	0.5
Partículas ligeras, porcentaje máximo	5.0	5.0
Densidad, valor mínimo	2.5	2.5
Absorción de agua, porcentaje máximo	1.5	1.5
Sanidad sulfato de sodio, máximo	12.0	12.0
Sulfato de magnesio, máximo	18.0	18.0

TABLA XII.2

Granulometría					
REQUISITO	Dimensiones de las mallas con Aberturas cuadradas				
	ASTM	2 3/4 "	2 1/4 "	1 "	1/2 "
	NOM	70mm	57mm	25mm	13mm
		Porcentaje retenido acumulado			
Granulometría del balasto en banco	-	0	0.5	93-100	98-100
Granulometría del balasto colocado	-	0	0.5	80-100	89-100

TABLA XII.3

Frecuencia de verificación para el control de producción del balasto.	
PROPIEDADES A DETERMINAR	FRECUENCIA
Abrasión del material mediante la prueba "los Angeles"	Cada 5000 m ³
Pérdida por lavado en malla No 200	Cada 350 m ³
Elementos arcillosos	Cada 5000 m ³
Partículas ligeras	Cada 5000 m ³
Densidad	Cada 5000 m ³
Absorción de agua	Cada 5000 m ³
Sanidad (intemperismo acelerado)	Cada 5000 m ³
Granulometría y Contenido de Polvos	Cada 350 m ³

TABLA XII.4

Nota: para la aprobación de un banco se requiere realizar todas las pruebas especificadas.

XII.4.- APLICACIONES Y EJEMPLOS

Las experiencias que se tienen en este concepto en las vías férreas nacionales, nos muestran líneas cuyo tráfico no es muy intenso, en las que un espesor de balasto de 15 a 20 cms. han dado un excelente resultado. Se han encontrado tramos también en los que el balasto se va incrustando en las terracerías y muy pronto se pierde. Este caso se observa en líneas con mucho tránsito y terracerías sin tratamiento superficial alguno.

Debido a las rígidas especificaciones exigidas para el sub-balasto y para la capa subrasante, donde falta el primero, podemos aceptar que estas capas soporten esfuerzos diferenciales, lo que nos aleja de los más altos espesores del criterio americano. Considerando además como factor muy importante a la intensidad del tráfico, que se traduce en la frecuencia de aplicación de la carga viva, se cree que la recomendación más aceptable por el momento para el espesor del balasto es la propuesta por la comisión de la Secretaría de Obras Públicas, ya mencionada relativa al sub-balasto, lo cual hace variar dicho espesor entre 15 y 30 cms. bajo el durmiente, de acuerdo con el tonelaje anual que vaya a soportar la vía.

Los estudios, están de acuerdo en que la capacidad de carga del balasto aumenta, a medida que éste se eleva alrededor del durmiente. Este incremento es efectivo, principalmente en las resistencias a los esfuerzos horizontales. Existe una limitación para la altura del balasto, sobre todo en vías electrificadas, o simplemente señalizadas, en las que el contacto del riel con el balasto ocasionan pérdidas en la corriente. Por este motivo, se aconseja que el balasto llegue hasta 5 cms. abajo del patín del riel.

En la vía elástica que se construye en nuestro país empleando durmientes tipo RS o SL, el balasto se eleva, en los hombros, hasta 10 cms. abajo del punto más alto de los blocks de concreto, y en el centro, 2 cms. abajo de la barra de unión.

CAPITULO XIII

XIII.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

México en los albores del siglo XXI, ha iniciado las acciones tendientes a incorporarlo en el grupo de países desarrollados, para tal fin se integro junto con ESTADOS UNIDOS, y CANADA, en el TRATADO DE LIBRE COMERCIO DE NORTEAMERICA.

Esta política tiende de alguna manera a desarrollar la libre competencia, lo que a corto plazo implica tener en el país compañías extranjeras con tecnología de vanguardia, empleando controles y producción con alto índice de calidad.

Por lo anterior es de vital importancia que los técnicos Mexicanos se capaciten, y desarrollen tecnologías que permitan hacer frente a la competencia que el mencionado acuerdo traerá consigo.

Actualmente en México la ejecución de obra se maneja a través de dos sectores, el privado y el publico, ambos a partir de estrategias de inversión deberán de buscar las mejores condiciones de mercado, garantizando en el primero de los casos un recuperación con mayores utilidades. En lo que respecta al sector publico, se abatirán los costos en la creación de infraestructura y obras como son; presas, vías de comunicación, drenaje suministro de agua potable, electrificación entre otras, sin descuidar los beneficios sociales, la seguridad, la economía, la funcionalidad, los periodos establecidos para su ejecución. Estos últimos factores sin lugar a duda tienen repercusiones en los materiales empleados en la construcción, es precisamente en este rubro donde entra la producción de agregados pétreos, los cuales para su empleo deben partir de un estudio que comprenda desde las características mismas del terreno, hasta el análisis de factibilidad para su empleo.

El presente trabajo nos lleva a considerar que las obras de ingeniería invariablemente emplean en alguna de sus etapas agregados pétreos, y que estos pueden ser utilizados tal y como se obtienen en los bancos de materiales, o bien someterlos a tratamientos para obtener productos mas refinados. Asimismo es importante que los materiales estén cerca del lugar en que se realizan las obras, ya que esto permitirá tener economías al minimizar las distancias de acarreo que es uno de los conceptos mas caros de cualquier obra.

De igual forma se determino que para localizar los bancos de materiales es recomendable que esta actividad la realice personal experimentado ya que de esto depende en buen porcentaje el éxito de la obra. La localización de bancos de materiales no es fácil para los constructores porque rara vez cuentan con la información necesaria de los bancos que se encuentran en las proximidades de las obras a realizar, o bien se dan casos en que se tiene información acerca de los bancos, sin embargo éstos no cuentan con el volumen suficiente o no cumplen con los requisitos de calidad establecidos, por lo que se tiene que efectuar los análisis y pruebas que permitan tener criterios de evaluación que permita tomar decisiones para la explotación de los bancos.

Los preceptos vertidos en el presente trabajo , en lo relativo a los factores físicos, químicos, mineralógicos y estructurales de las rocas, son aplicables a toda clase de productos pétreos, con los cuales se determina el comportamiento mecánico de las grandes masas de roca útil para el Ingeniero Civil.

El Ingeniero Geólogo dispone debido a su formación profesional de los conocimientos y esta habituado a la terminología técnica para describir en detalle todas las propiedades de las rocas y para el Ingeniero Civil al no estar familiarizado, por no ser de consulta continua, le resulta difícil entender tales preceptos, sin embargo debe conocer y comprender al menos las propiedades mecánicas de las rocas las cuales nos dan su resistencia a la compresión y tensión, estas a su vez determinan el comportamiento de estos materiales en las construcciones que realiza.

Al decidir la explotación de un banco de materiales, con objeto de obtener agregados pétreos para la construcción, llámese grava, arena, balasto así como sus derivados base y sub-bases, es necesario conocer detalladamente las características mineralógicas, determinando sus posibles reacciones químicas de acuerdo a su empleo, así como sus propiedades. Estos datos es necesario obtenerlos a partir de estudios de laboratorios efectuados por técnicos capacitados en la materia.

En este trabajo se trata someramente ambos aspectos los cuales se deberán tomar como guía, más no como factores determinantes para su empleo.

Una vez conocidos los procedimientos de obtención y características así como los bancos de explotación, es de vital importancia ver con que tipo de equipo se cuenta para su producción, así como los más recomendables de acuerdo con el objetivo que se tenga trazado . Se trato de dar opciones a efecto de tomar como parámetro diversas maquinarias en la obtención de un costo de producción de agregados pétreos. Procurando resaltar en el área de Ingeniería Civil donde es más común la utilización de agregados pétreos, analizándolos en la elaboración de concretos y construcción de vías terrestres y férreas.

BIBLIOGRAFIA

TITULO	AUTOR
ATLAS DE GEOLOGIA	M. FONT-ATABA A. SAN MIGUEL ARRIBAS
CARTILLA DEL CONCRETO	INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO
COSTO Y TIEMPO DE EDIFICACION	CARLOS SUAREZ SALAZAR
ESPECIFICACIONES GENERALES DE CONSTRUCCION PARTE OCTAVA Y NOVENA	SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y OBRAS PUBLICAS
ESTRUCTURACION DE VIAS TERRESTRES	FERNANDO OLIVERA BUSTAMANTE
FERROCARRILES	FRANCISCO M. TOGO
GEOLOGIA PARA ESTUDIANTES DE INGENIERIA	JACINTO MARITANO ARENAS
GEOLOGIA PARA INGENIEROS GEOTECNICOS	J. C. HARVEY
GEOLOGIA PRINCIPIOS Y PROCESOS	WILLIAM H. EMMONS
INGENIERIA DE CARRETERAS	CLARKSON H. O. GLESBY LAURENCE I. HEWES
INGENIERIA DE SUELOS EN LAS VIAS TERRESTRES, CARRETERAS, FERROCARRILES Y AEROPISTAS	ALFONSO RICO HERMILO DEL CASTILLO
INSTRUCTIVO DEL CONCRETO	DIRECCION DE PROYECTOS, DEPARTAMENTO DE INGENIERIA EXPERIMENTAL, SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICOS.
LAS CARRETERAS MODERNAS	NEWMANN ERWIN
MAQUINARIA PARA CONSTRUCCION	RAFAEL ABURTO VALDES
MANUAL DEL INGENIERO CIVIL	FREDERIK S. MERRITT
MECANICA DE SUELOS. TOMO 1Y2.	JUAREZ BADILLO RICO RODRIGUEZ
MOVIMIENTO DE TIERRAS. TOMO 1	RAFAEL ABURTO VALDES CARLOS M. CHAVARRI MALDONADO
NORMAS DE MATERIALES. TOMO VIII	SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y OBRAS PUBLICAS
NORMAS PARA MUESTREO Y PRUEBAS DE MATERIALES, EQUIPOS Y SISTEMAS. LIBRO 6.	SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES.
PETROLOGIA	WALTER HUANG T.
PRACTICAS RECOMENDABLES PARA DOSIFICAR CONCRETO NORMAL Y CONCRETO PESADO	INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO A. C.
PRINCIPIOS DE PETROLOGIA	G. W. TYRRELL
PROCEDIMIENTO PARA LA DOSIFICACION DE CONCRETO NORMAL	INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO A. C.
PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS CONCRETO NORMAL, PESADO Y MASIVO.	INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO A. C.
TRATADO DE CONSTRUCCION	ANTONIO MIGUEL SAAD
TECNICAS MODERNAS EN LA PRODUCCION DE AGREGADOS PETREOS.	PEDRO LUIS BENITEZ ESPARZA.
TECNOLOGIA PARA EL PROYECTO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES	FERNANDO OLIVERA BUSTAMANTE
TECNOLOGIA DEL CONCRETO	INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO A. C.
TRATADO DE GEOLOGIA	PIERRE BRILLAR CHARLES POMEROL
YACIMIENTOS MINERALES DE RENDIMIENTOS ECONOMICOS	BATEMAN ALAN
NORMA OFICIAL: "MUESTREO DE AGREGADOS" D.G.N. C-30 - 1977	SECRETARIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO
NORMA OFICIAL: "DETERMINACION DEL PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS" D. G. N. C-73 - 1972	SECRETARIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO
NORMA OFICIAL: "DETERMINACION DEL PESO ESPECIFICO DE LA ABSORCION DEL AGREGADO GRUESO" D. G. N. C- 164- 1986	SECRETARIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO

TITULO	AUTOR
NORMA OFICIAL: "REDUCCION DE LAS MUESTRAS DE AGREGADOS OBTENIDOS EN EL CAMPO, AL TAMAÑO REQUERIDO PARA LAS PRUEBAS". D.G.N. C-179.-1979	SECRETARIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO
CLAUSULA 4.02.0.001.A BALASTO. NORMA DE CONSTRUCCION.	COMISION DE VALIDAD Y TRANSPORTE URBANO D.D.F.
REVISTA VOL. 19 NUM. 128/DIC/1981	INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO. A. C.
XI. REUNION NACIONAL DE ANALISTAS DE COSTOS	SOCIEDAD MEXICANA DE INGENIERIA ECONOMICA FINANCIERA Y DE COSTOS, A. C.