

29/152



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

PROCEDIMIENTOS PARA LA EXPLOTACION, TRITURACION Y ELABORACION DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE, EN LA PLANTA DE ASFALTO DEL DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A

RAFAEL JESUS RODRIGUEZ ROMERO



MEXICO, D. F.

1969



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.

INDICE

| CAPITULO | TITULO | PAGINA |
|----------|--|--------|
| I | INTRODUCCION. | 1 |
| II | EXPLOTACION. | 3 |
| II.1. | PROCESO DE EXPLOTACION DE ROCA. | 3 |
| II.1.1. | BARRENACION. | 5 |
| II.1.2. | POBLACION Y EXPLOSION. | 7 |
| II.1.3. | CARGA Y REZAGA. | 13 |
| II.1.4. | TRITURACION PREVIA O MONEO. | 14 |
| II.1.5. | ACARREO. | 15 |
| III | TRITURACION. | 22 |
| III.1. | PROCESO DE TRITURACION EN LA PLANTA. | 22 |
| III.2. | EQUIPO DE TRITURACION MAS USUAL. | 28 |
| III.2.1. | QUEBRADORAS DE QUIJADAS. | 30 |
| | a) TRITURACION PRIMARIA. | 30 |
| | b) TRITURACION SECUNDARIA Y TERCIARIA. | 31 |
| III.2.2. | TRITURADORAS DE RODILLOS. | 32 |
| III.2.3. | TRITURADORAS DE IMPACTO O DE MARTILLOS. | 34 |
| III.2.4. | TRITURADORAS DE CONO. | 37 |
| III.2.5. | MOLINOS DE BARRAS. | 41 |
| III.3. | EQUIPO COMPLEMENTARIO. | 42 |
| III.3.1. | CRIBAS VIBRATORIAS. | 42 |
| III.3.2. | ALIMENTADORES. | 46 |
| III.3.3. | TRANSPORTADORES DE BANDAS. | 48 |
| III.3.4. | ELEVADORES DE CANGILONES. | 49 |
| IV | PRODUCCION. | 52 |
| IV.1. | DISEÑO DE MEZCLAS. | 52 |
| IV.2. | PROCEDIMIENTOS DE DISEÑO DE LAS MEZCLAS. | 52 |
| IV.3. | INSPECCION DE LA PLANTA. | 53 |

| | | | |
|-------------|----|---|----|
| IV.4. | -- | "ALIMENTACION FRIA". | 53 |
| IV.5. | -- | SECADOR. | 53 |
| IV.5.1. | -- | DETERMINACION DE LA HUMEDAD. | 55 |
| IV.5.2. | -- | APARATOS INDICADORES DEL CALOR. | 55 |
| IV.6. | -- | COLECTOR DE POLVOS. | 56 |
| IV.7. | -- | CRIBAS. | 58 |
| IV.8. | -- | TOLVAS. | 59 |
| IV.9. | -- | PLANTAS DE ASFALTO. | 60 |
| IV.9.1. | -- | PROPORCIONAMIENTO. | 60 |
| IV.9.1.1..- | | PROPORCIONAMIENTO DE PLANTAS DE BACHAS. | 62 |
| IV.9.1.2..- | | PRODUCCION DE LA BACHA. | 62 |
| IV.9.1.3..- | | PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLADO CONTINUO. | 64 |
| IV.9.1.4..- | | CALIBRACION DE LAS COMPUERTAS DE LOS -- ALIMENTADORES DEL AGREGADO. | 65 |
| IV.9.1.5..- | | CALIBRACION DE LA BOMBA PARA EL ASFALTO. | 66 |
| IV.9.2. | -- | TANQUE PARA EL ASFALTO. | 67 |
| IV.9.2.1..- | | SISTEMA CIRCULATORIO Y EL CALENTAMIENTO. | 67 |
| IV.9.2.2..- | | CONSUMOS DE ASFALTO. | 67 |
| IV.9.3. | -- | MEZCLADORES. | 68 |
| IV.9.3.1..- | | MEZCLADORES DE PLANTAS DISCONTINUAS. | 68 |
| IV.9.3.2..- | | MEZCLADORES DE PLANTAS CONTINUAS. | 69 |
| IV.9.4. | -- | TOLVAS DE ALMACENAMIENTO DE LA MEZCLA - TERMINADA. | 70 |
| IV.9.5. | -- | MUESTREO. | 70 |
| IV.9.5.1..- | | PRUEBAS INICIALES. | 71 |
| IV.9.5.2..- | | PRUEBAS RUTINARIAS. | 71 |
| IV.9.5.3..- | | LISTA DE COMPROBACIONES-OPERACION DE LA PLANTA. | 72 |
| IV.10. | -- | PRODUCCION DE LA MEZCLA ASFALTICA EN LA PLANTA DE ASFALTO DEL D.D.F. | 73 |
| IV.10.1. | -- | GENERALIDADES. | 73 |

| | | |
|-------------|--|----|
| IV.10.2. .- | PLANTA No. 5. | 73 |
| IV.10.2.1.- | DESCRIPCION DEL PROCESO. | 73 |
| IV.10.3. .- | PLANTA No. 6. | 74 |
| IV.10.3.1.- | DESCRIPCION DEL PROCESO. | 74 |
| IV.10.4. .- | PLANTA No. 7. | 75 |
| IV.10.4.1.- | DESCRIPCION DEL PROCESO. | 75 |
| IV.11. .- | DATOS TECNICOS DE LOS PRODUCTOS ELABO-- | |
| | RADOS POR LA PLANTA DE ASFALTO. | 80 |
| IV.11.1. .- | MEZCLA ASFALTICA DE 3/4" CON CEMENTO -- | |
| | ASFALTICO No. 6. | 80 |
| IV.11.1.1.- | GRANULOMETRIA. | 80 |
| IV.11.1.2.- | REQUERIMIENTOS DEL MATERIAL PETREO USA- | |
| | DO COMO AGREGADO. | 80 |
| IV.11.1.3.- | ESPECIFICACIONES DEL CEMENTO ASFALTICO | |
| | No. 6. | 81 |
| IV.11.1.4.- | ESPECIFICACIONES DE LA MEZCLA ELABORADA. | 82 |
| IV.11.2. .- | MEZCLA ASFALTICA DE 3/4" CON ASFALTO -- | |
| | PA-5. | 82 |
| IV.11.2.1.- | GRANULOMETRIA. | 83 |
| IV.11.2.2.- | TIPO Y CONTENIDO DE ASFALTO. | 83 |
| IV.11.2.3.- | CONTENIDO DE SOLVENTES Y ADICIONANTES. | 84 |
| IV.11.2.4.- | CARACTERISTICAS. | 85 |
| IV.11.2.5.- | ESTABILIDAD Y FLUENCIA. | 85 |
| IV.11.2.6.- | TEMPERATURAS. | 85 |
| IV.11.2.7.- | PESOS VOLUMETRICOS PROMEDIO. | 85 |
| IV.11.2.8.- | TIEMPO DE REPOSO. | 85 |
| IV.11.3. .- | CONCRETO ASFALTICO DE 1/2" CON CEMENTO | |
| | ASFALTICO No. 6. | 86 |
| IV.11.4. .- | MEZCLA ASFALTICA DE 1/2" CON ASFALTO -- | |
| | PA-5. | 86 |
| IV.11.4.1.- | GRANULOMETRIA. | 86 |

| | | |
|-------------|---|-----|
| IV.11.4.2.- | TIPO Y CONTENIDO DE ASFALTO. | 87 |
| IV.11.4.3.- | CONTENIDO DE SOLVENTES Y ADICIONANTES. | 88 |
| IV.11.4.4.- | ESTABILIDAD Y FLUENCIA. | 88 |
| IV.11.4.5.- | TEMPERATURAS. | 88 |
| IV.11.4.6.- | PESOS VOLUMETRICOS PROMEDIO. | 88 |
| IV.11.4.7.- | TIEMPO DE REPOSO. | 89 |
| IV.11.5. -- | MEZCLA ASFALTICA DE 1 1/2" CON ASFALTO PA-5 (BASE NEGRA). | 89 |
| IV.11.5.1.- | GRANULOMETRIA. | 89 |
| IV.11.5.2.- | TIPO Y CONTENIDO DE ASFALTO. | 89 |
| IV.11.5.3.- | CONTENIDO DE SOLVENTES Y ADICIONANTES. | 89 |
| IV.11.5.4.- | ESTABILIDAD Y FLUENCIA. | 90 |
| IV.11.5.5.- | TEMPERATURAS. | 90 |
| IV.11.5.6.- | PESOS VOLUMETRICOS PROMEDIO. | 90 |
| IV.11.5.7.- | TIEMPO DE REPOSO. | 91 |
| IV.11.6. -- | MEZCLA ASFALTICA DE 1 1/2" CON CEMENTO ASFALTICO No. 6. | 91 |
| V -- | DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIEN- TE POR EL METODO MARSHALL. | 94 |
| V.1. -- | INTRODUCCION. | 94 |
| V.2. -- | APLICACION DEL METODO MARSHALL. | 95 |
| V.3. -- | FACTORES Y PROPIEDADES FUNDAMENTALES. | 96 |
| V.3.1. -- | COMPACTACION DEL ESPECIMEN DE PRUEBA. | 96 |
| V.3.2. -- | VACIOS EN EL AGREGADO MINERAL COMPACTA- DO (VAM) Y SUS FUNCIONES. | 98 |
| V.3.2.1. -- | VAM EN FUNCION DEL CONTENIDO DE ASFALTO. | 99 |
| V.3.2.2. -- | VAM EN FUNCION DE LA GRANULOMETRIA DE - LA ARENA. | 99 |
| V.3.2.3. -- | VAM EN FUNCION DEL MATERIAL QUE PASA LA MALLA No: 200. | 100 |

| | | | |
|----------|----|--|-----|
| V.3.2.4. | .- | VAM EN FUNCION DEL PORCIENTO DEL AGREGADO GRUESO. | 101 |
| V.3.3. | .- | DENSIDAD. | 103 |
| V.3.4. | .- | EL PRINCIPIO DE LAS MEDIDAS DE ESTABILIDAD. | 104 |
| V.3.5. | .- | EL VALOR DEL FLUJO COMO MEDIDA DE CALIDAD. | 105 |
| V.4. | .- | LOS APARATOS MARSHALL. | 106 |
| V.5.- | .- | PROCEDIMIENTOS PARA EL DISEÑO Y PRUEBAS. | 108 |
| V.5.1. | .- | CONSIDERACIONES PRELIMINARES. | 108 |
| V.5.2. | .- | PREPARACION DE LAS MEZCLAS. | 109 |
| V.5.3. | .- | PREPARACION DEL ESPECIMEN DE PRUEBA. | 110 |
| V.5.4. | .- | COMPACTACION DEL ESPECIMEN. | 111 |
| V.5.4.1. | .- | COMO REMOVER EL ESPECIMEN DEL MOLDE. | 111 |
| V.5.5. | .- | PRUEBA DEL PESO ESPECIFICO. | 112 |
| V.5.5.1. | .- | DETERMINACION DEL PESO VOLUMETRICO. | 112 |
| V.5.5.2. | .- | VOLUMEN DE SOLIDOS O DENSIDAD TEORICA. | 113 |
| V.5.5.3. | .- | PORCIENTO DE LA DENSIDAD DEL VOLUMEN DE SOLIDOS. | 113 |
| V.5.6. | .- | PREPARACION PARA LAS PRUEBAS DE ESTABILIDAD Y FLUJO. | 114 |
| V.5.6.1. | .- | PRUEBA DE ESTABILIDAD. | 115 |
| V.5.6.2. | .- | PRUEBA PARA DETERMINAR EL VALOR DEL FLUJO. | 115 |
| V.6. | .- | SUMARIO. | 115 |
| V.6.1. | .- | RECOMENDACIONES. | 116 |
| V.6.1.1. | .- | VALORES MINIMOS DE LA ESTABILIDAD. | 117 |
| V.6.1.2. | .- | LIMITES DE LA DENSIDAD. | 117 |
| V.6.1.3. | .- | VALOR MAXIMO DEL FLUJO. | 117 |
| V.7. | .- | DATOS DE DISEÑO Y DE CONTROL. | 117 |

| | | | |
|-------------|----|--|------------|
| VI | .- | COSTOS. | 127 |
| VII | .- | CONCLUSIONES. | 151 |
| ANEXO No. 1 | .- | GRANULOMETRIAS USADAS POR LA PLANTA DE ASFALTO DEL D.D.F. | 153 |
| ANEXO No. 2 | .- | CARACTERISTICAS DEL AGLUTINANTE PA-5. BIBLIOGRAFIA. | 158 166 |

CAPITULO I.- INTRODUCCION.

El constante y rápido crecimiento presentado por la Ciudad de México, en las últimas décadas, ha traído consigo el aumento de la demanda de productos para el acondicionamiento y mantenimiento de las calles, avenidas, vías rápidas, etc., ya -- que se debe considerar que debido al aumento tanto en cantida-- dad como en peso de los vehículos, estos ocasionan que se pre-- senten en la estructura mayores esfuerzos, que en muchos ca-- sos ocasionan la falla de la misma.

La demanda también ha crecido debido al crecimiento hori-- zontal que presenta la Ciudad, ya que ha sido necesario el -- tener que diseñar y construir nuevas vialidades, y en algunos casos acondicionar las ya existentes, como por ejemplo la --- construcción de los ejes viales a principio de la década de - los ochentas.

Esta demanda es atendida en un 70% aproximadamente por la Planta de Asfalto del Departamento del Distrito Federal y el 30% restante por plantas particulares.

En base a los datos anteriores, esta es una buena oportuni-- dad para analizar cuales son los procedimientos empleados por la Planta de Asfalto del Departamento, para la producción de mezclas asfálticas elaboradas en caliente, chequeando así, si -- son convenientes o si es necesario modificarlos para poder -- aumentar la producción, cuidando ante todo la calidad que de-- be tener cualquier mezcla elaborada en planta.

Este trabajo contempla todos los procesos involucrados pa-- ra la elaboración de mezclas asfálticas como son la explota-- ción de bancos de material para el aprovisionamiento de mate-- riales pétreos; la trituración, para obtener los tamaños nec-- sarios para combinarlos y así tener una granulometría que es--

te dentro de los requerimientos de las especificaciones; y el proceso de producción tanto en planta de mezclado continuo -- como de mezclado discontinuo (de bachas). También se trata el tema de Diseño de Mezclas Asfálticas en caliente por el Método Marshall ya que es necesario hablar de este método porque con él se puede ver si una mezcla esta bien diseñada o si se tienen que hacer ajustes para obtener un buen diseño de la -- misma.

A su vez con este trabajo se busca dar información a las - personas que deseen conocer cuales son los procedimientos necesarios para la producción de mezclas asfálticas, así como - el diseño de las mismas. Cabe hacer mención que el presente - trabajo no debe tomarse como regla general ya que las condiciones varían de un lugar a otro.

CAPITULO II.- EXPLOTACION.

Explotación de Canteras.

II.1.- PROCESO DE EXPLOTACION DE ROCA.

El proceso de extracción de roca se lleva a cabo en la cantera del Departamento del Distrito Federal, ubicada en la Calzada liga Tlalpan-Insurgentes, en el sur de la Ciudad de México.

La cantera tiene una superficie de 180,000 m² y el espesor del banco - en este sitio es de 23 m en promedio.

De acuerdo a las condiciones anteriores la explotación del banco puede durar 25 años como mínimo, de los cuales tiene actualmente 20, aunque sin llegar al suelo propiamente dicho, ya que faltan 3 m para llegar a él.

El espesor del banco no es uniforme, ya que en el lugar donde está actualmente el estadio Azteca, y que dista unos tres kilómetros de este lugar, había 12 m de profundidad.

El tipo de roca que hay en la cantera, es basáltica, ignea, extrusiva y básica (no contiene sílice). Gran parte del material es poroso; aunque - este tipo de material apenas cumple con las especificaciones de calidad de bido a que tiene mayor índice de desgaste y menor resistencia, su misma porosidad lo hace más apropiado para la elaboración de concreto asfáltico, - compensando con esto las dos desventajas mencionadas.

Cuando se explota un frente que no es compacto se presentan muchos problemas, ya que, existen varios estratos, y un frente así presenta muchas grietas. Grietas que perjudican en varias formas, en primer lugar hacen -- que se fugue el explosivo por ellas, el cual se desperdicia y esto ocasiona que a la hora de la explosión haya menor cantidad de dinamita que la necesaria, produciéndose por ello tronadas deficientes. Por otro lado sí las grietas son grandes, se anula una de las condiciones más importantes para el logro de una explosión efectiva, que es la compacidad, o sea que el material sea lo suficientemente compacto para que la onda explosiva tenga un mejor efecto.

Más aún, los tres efectos anteriores sumados, nos afectan posteriormente a la tronada, ya que además que no se sacó el material que estaba calcuado, quedó bastante material aflojado únicamente, y al comenzar a perforar nuevamente, con las vibraciones naturales que produce esta operación, el material se puede correr, tapando o estrechando los barrenos ya perforados, con lo que se pierde tiempo y dinero, ya que al estar detenida la operación primaria o básica, se detienen todos los procesos en general.

La producción del material pétreo en este proceso, esta en función del material necesario para los procesos posteriores, por lo que no se puede dar una cifra exacta en una cantidad de tiempo determinada, ya que generalmente los meses de noviembre, diciembre y enero, la demanda de concreto agfáltico disminuye, aumentando paulatinamente en los meses siguientes, para alcanzar en junio y julio una gran demanda. .

El proceso de extracción comprende una serie de operaciones que se hacen con el fin de colocar el material pétreo en las tolvas de alimentación de los conjuntos de trituración, estas operaciones van ligadas entre sí, - ya que por ejemplo, la barrenación está en función del material que se necesita; la cantidad de explosivos que se ponga en los barrenos, está en -- función de la cantidad de material que se va a sacar, y así sucesivamente con las operaciones que les siguen, estas operaciones son:

- 1.- Barrenación.
- 2.- Población.
- 3.- Explosión.
- 4.- Carga.
- 5.- Moneo.
- 6.- Acarreo.

Todas las operaciones mencionadas, a excepción de la población y la -- explosión, son rutinarias, es decir que se hacen a diario.

Antes de empezar a barrenar deben tomarse algunas consideraciones previas como son: Determinación del frente que se va a explotar de manera que

el personal de barrenación esté en un frente y la carga se realice en ---- otro, con fines tanto de seguridad como de trabajo, es decir para que no se estorben mutuamente.

También se deberá fijar la cantidad de material que se va a extraer, - teniendo este dato, se determina la cantidad de barrenos que se harán y su profundidad, ya que los bordos y los espaciamientos son constantes.

Teniendo los datos anteriores se procede a calcular la cantidad de explosivo que se necesitará para cada barreno, auxiliándonos con las tablas de la Du Pont que se anexan, Tablas Nos. 1, 2 y 3, aunque no se debe basar uno solamente en ellas, ya que también se debe usar el criterio formado -- por las experiencias anteriores, ya que el comportamiento del terreno generalmente no es igual.

Para el cálculo de la cantidad de explosivo, en primer lugar se busca su densidad, el explosivo aquí usado son salchichas de Dinamita Tovex 700 (Godyne) de 2" de diámetro, debido a que este explosivo en particular, no altera sus propiedades explosivas en presencia de humedad.

Conocida la densidad y sabiendo que el diámetro del barreno es de 3", - se pasa a la Tabla No. 3, donde se verá la cantidad de explosivo que se -- necesita, para cada barreno.

Teniendo la cantidad necesaria, se multiplicará por el número de barrenos y se conocerá la cantidad total. Multiplicando el dato anterior por el precio de la mezcla, se puede conocer el costo de la tronada.

II.1.1.- BARRENACION.

La barrenación es la operación que se efectúa con el fin de perforar - los barrenos donde irán los explosivos que desintegrarán el banco de material.

Para lograr lo anterior, se utilizan tres barrenadoras marca Krupp, -- que funcionan a base de aire comprimido, este equipo de barrenación cuenta con un sistema antiruido y de colección de polvos, además se cuenta tam-- bién con cuatro track drill que se utilizan solamente en terrenos donde no

pueda entrar el equipo antes mencionado, el equipo anterior es accionado - por medio de cinco compresoras de aire, tres compresoras Worthington y dos compresores Chicago Pneumatic.

Todos los compresores tienen una capacidad de 600 pies cúbicos.

Para empezar a perforar, en primer lugar el ayudante del operador coloca el barrenador en el lugar donde se perforará el barreno, siguiendo -- las instrucciones del mismo. Una vez que la máquina está en posición, el - ayudante acopla la primera barra, con broca en el barrenador, hecho lo anterior el perforista dá principio a la operación. Cuando la primera barra ha penetrado totalmente se coloca la siguiente por medio de un cople, continuándose así hasta llegar a la profundidad deseada.

La longitud de cada barra es de tres metros con un diámetro de 2" y de sección circular; las brocas tienen punta de diamante, la longitud de ---- ellas es de 0.20 metros y su diámetro es de 3". Con estas herramientas, y en este tipo de terreno, el avance en promedio es a razón de tres metros - cada cinco minutos. La duración tanto de los coples como de las barras es de un mes, esto siempre y cuando no tengan ningún defecto de fabricación.

En los barrenadores en general, las partes que más desgaste sufren --- son: las hojas del automático, la cadena, los strocks, los centralizadores por lo que el cambio de estas piezas es de cada dos o tres meses; las mangueras duran en promedio seis meses; por otro lado, el conjunto de tránsito no sufre desgaste excesivo.

Los tres barrenadores son de nueva adquisición, se escogió este tipo - de equipo por tener una velocidad de avance mayor que los track drill ---- existentes y a su vez porque protegen a los operadores del ruido y disminuyen la contaminación que se produce al operarlos. En este equipo ya no es necesario que el ayudante acople las barras manualmente ya que este equipo lo hace automáticamente.

RECOMENDACIONES PRACTICAS.

La precisión de la barrenación es sumamente importante para el éxito - de la voladura.

Para el emboquillado del barreno se puede permitir una diferencia de 5 cm máximo del punto marcado.

La dirección del barreno puede tener un error máximo del 3%.

No es suficiente que la inclinación sea correcta, el barreno tiene también que ser vertical en un sentido perpendicular a las hileras de barrenación.

Para el control de la barrenación, se recomienda el uso de una escuadra, ver Figura No. 1.

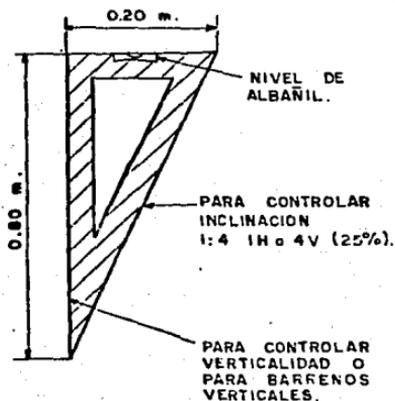


Figura No. 1.

El uso de una plomada es un método muy inexacto y además muy tardado. Es necesario calcular bien la profundidad del barreno, tomando en cuenta el nivel en el banco arriba, el piso abajo, la sub-barrenación y el aumento del 3% por la inclinación de 1:4 (25%).

II.1.2.- POBLACION Y EXPLOSION.

Una vez que se ha terminado de perforar los barrenos se procede a car-

garlos.

La carga tiene dos partes, la carga de fondo y la carga de columna. -- Además hay una parte arriba sin carga, el taco, que normalmente se retaca con gravilla, ver Figura No. 2.

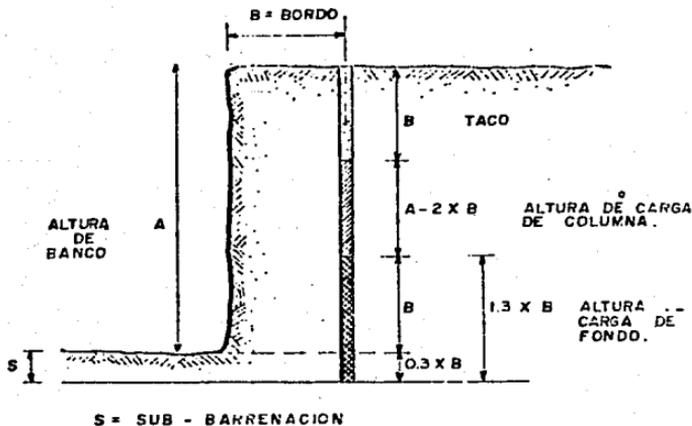


Figura No. 2.

La carga de fondo tiene que romper no solamente las paredes laterales, sino también el fondo del bordo. La detonación abre grietas radiales a lo largo del barreno, pero no puede formar grietas perpendiculares al barreno, entonces la resistencia en el fondo es mucho más grande. Es necesario primero cortar la roca y después superar la fricción entre el piso y la roca arrancada. Por eso la carga de fondo debe ser concentrada al fondo del barreno.

Sin embargo, como no es posible concentrar la carga en un solo punto, hay que dar cierta extensión para poder poner la cantidad necesaria.

Se ha mostrado que se puede utilizar el explosivo al máximo si la car-

ga de fondo tiene una extensión igual al bordo, B, arriba del piso del banco y 0.3B, abajo de este piso.

Entonces la carga de fondo tiene una longitud de 1.3B.

Es importante para la economía de las voladuras, que esta carga tenga una concentración máxima, porque el bordo es una función de esta carga. -- Es también muy importante que el explosivo llene el barreno completamente.

Normalmente una voladura a cielo abierto tiene dos caras libres, la su perficie arriba y el frente. Pero como la carga de fondo tiene capacidad - de arrancar esta parte, se puede considerar que la columna también tiene - cara libre en el fondo. Entonces el trabajo para la carga de columna es -- muy leve. Según Langefors la carga de columna es el 40% de la carga de fondo, calculada por metro lineal. En la práctica esta cifra varía entre 40 a 70% por los requerimientos de fragmentación.

También se ha calculado que la carga de columna puede desplazar el bordo arriba sin carga en una longitud que puede ser igual al bordo.

CONSTANTE DE ROCA.

Para hacer un cálculo correcto de la carga, se necesita saber la resistencia de la roca. Esta resistencia normalmente se expresa como la constante de roca, r, y corresponde a la carga específica en kg/m³ de un explosivo normalizado. La constante r tiene un margen práctico para una rotura satisfactoria y segura.

Langefors ha mostrado que a pesar de que las propiedades de la roca -- pueden variar bastante, es posible usar una constante de roca $r = 0.4$ ---- kg/m³. Esto es válido para casi todas las voladuras y entonces muchas veces no es necesario hacer pruebas para determinar la constante de roca. Es to no implica que no se necesite hacer pruebas de voladura si hay especificaciones especiales, como por ejemplo de fragmentación.

La fórmula básica de Langefors se puede escribir:

$$B = d \times 30 \sqrt{\frac{p \cdot s}{\bar{c} \times r \cdot (E/B)}}$$

Donde:

B = Bordo en mm.

d = Diámetro de barrenación en mm.

p = Potencia por peso (con relación a Gelatina Extra 40%).

s = Densidad práctica en el barreno.

$\bar{c} = c + 0.5$ donde (c) = constante de roca en kg/m^3 , normalmente $c = 0.40 \text{ kg/m}^3$.

f = Grado de fijación en el fondo.

f = 1, para la inclinación de 33% (1H a 3V).

f = 1.02, para la inclinación de 25% (1H a 4V).

E = Espaciamientos.

E/B=1.25 para todos los calculos.

Después se mantiene E X B = constante.

En México se ha acostumbrado dar un viaje de 25% de los barrenos. Por razones prácticas se escoge esta inclinación para la fórmula básica.

Las características del Tovex 700 (también aplicables a Godyne en salchichas de 2" de diámetro) son:

s = 1.1 kg/l (densidad práctica en el barreno).

p = 0.9 (comparado con Gelatina Extra 40%).

f = 1.02 Para inclinación de 25% (1H a 4V).

E/B=1.25

Con estos datos se obtiene:

$$B = d \times 30 \sqrt{\frac{1.1 \times 0.9}{0.45 \times 1.02 \times 1.25}} = 40 \times d$$

Por tanto:

$$B = 40 \times d$$

El Tovex 700 (o Godyne) en salchichas de 2" X 16" es adecuado para cargar barrenos entre 2 1/2" y 4".

RECOMENDACIONES PRACTICAS PARA LA CARGA.

CARGA DE FONDO.

Es importante que siempre se cargue en el fondo con Tovex 700 (Godyne) de 2" X 16" u otro explosivo con las mismas dimensiones de empaque.

Se carga de la siguiente forma:

- Se hacen dos cortaduras longitudinales en una salchicha de Tovex y se mete en el fondo del barreno.
- En la siguiente salchicha se mete el estopín (abajo) y se mete en el barreno. En esta salchicha no se hacen las cortaduras.
- Finalmente se completa la carga de fondo con el número de salchichas requerido. Todas estas salchichas se abren con cortaduras.

Se debe checar de vez en cuando la densidad de la carga de fondo como sigue:

- Se mide la profundidad exacta del barreno.
- Se calcula la altura de carga de fondo y el volúmen que ocupa (un -- barreno de 3" tiene un volúmen de 4.5 lt/m).
- Se divide el peso puesto con el volúmen ocupado para obtener la densidad de la carga de fondo en kg/lt.

Con Tovex 700 (Godyne) una densidad en el barreno de 1.1 kg/lt es aceptable.

CARGA DE COLUMNA.

Se tiene que controlar que la carga de Anfo no exceda demasiado la cap tidad teórica.

Si hay muchos huecos en el barreno es necesario usar bolsas de plástico delgado para contener el explosivo.

Otro método de confinar la carga de columna es amarrar las salchichas de Tovex a un cordón detonante, distribuidas para dar la misma densidad de carga como el Anfo.

Este método es muy caro y debe usarse en casos especiales. En roca cavernosa es mejor bajar la altura del banco y usar solamente una carga de fondo.

La velocidad de detonación y consecuentemente la potencia del Anfo baja mucho en barrenos de 3" y columnas largas. Por eso se recomienda poner media salchicha de Tovex en el medio de la carga de columna en bancos de 12 a 15 metros.

TACO (STEMMING).

Hay que controlar que el taco tenga la altura adecuada (con barrena---ción de 3" normalmente 2.50 m).

Es un gasto inútil de cargar Anfo hasta la superficie y además aumenta el riesgo de lanzamientos fuertes.

El taco debe ser de gravilla seca y no del lodo de barrenación, que es demasiado fino y no confina los gases de la explosión.

Todos los cartuchos de cada barreno irán conectados al mantecoidr o mecha, del cual se dejará la punta fuera, cuando todos los barrenos estén --cargados, se empalmarán sus cables, procurando que todos ellos queden perfectamente apretados, hecho lo anterior se conectarán a la línea princi---pal. Uno de los polos del cable principal se conectará al explosor, conectándose el otro polo momentos antes de producirse la explosión, esto para evitar algún accidente.

Hay ocasiones, cuando la cantidad de material pétreo que se va a sacar es bastante, que además de los barrenos verticales se perforan barrenos horizontales al pie del banco, con el fin de que se produzca mejor la tronada, estos barrenos horizontales se perforan y se cargan de la misma manera que los barrenos verticales. En caso de que se tenga esta clase de barre--nos, también se empalmarán con el cable principal, para que la tronada de los barrenos horizontales y verticales, sea simultánea.

Ya que se encuentren empalmados totalmente, el jefe de cantera da una última revisión, para cerciorarse que todo esté en orden, al terminar lo - anterior, se da aviso por medio de sirenas que se va a efectuar la explo--sión. Las sirenas sonarán durante tres o cuatro minutos, cuando se tenga - certeza de que ya no hay nadie en el campo, se conecta el otro polo del cable principal al explosor y se accionará éste para producir la explosión.

Las tronadas se hacen generalmente al efectuarse el cambio de turno -- con el fin de que no haya gente en el campo, que por estar junto a alguna máquina que produzca ruido muy fuerte, evite éste que escuchen el sonido -- de la sirena, además para evitar que se pare el trabajo más tiempo del necesario.

El personal de cantera para población está en función de los barrenos que haya por cargar aunque generalmente están presentes:

El Jefe de cantera.

El Ayudante.

El Checador de barrenos.

El Cargador de barrenos.

El jefe de cantera es la persona directamente responsable del buen o -- mal resultado de las tronadas, por lo que su trabajo consiste en supervi-- sar tanto la barrenación como la población (carga).

El ayudante vigila la población cuando hay dos frentes que se están -- cargando simultáneamente, además debe ver que todos los cables estén per-- fectamente empalmados.

El checador de barrenos vigila y anota la cantidad de explosivo que se utiliza, para llevar un estricto control del mismo.

Los cargadores de barrenos son los peones de cantera que se ocupan de la población, para cargar cada barreno se emplean dos cargadores, uno que introduce los explosivos en el barreno y otro que los retaca con el fahi-- nero para que la mezcla explosiva quede lo más compacta posible.

II.1.3.- CARGA Y REZAGA.

Quando se ha producido la explosión, vuelven a trabajar las palas, --- con el fin de no interrumpir el ritmo general del trabajo, las palas utili-- zadas para realizar esta labor son cuatro, marca Poclain 220.

Esta operación se realiza de la siguiente manera:

El operador del camión fuera de carretera de capacidad de 32 toneladas ve cual de las palas está desocupada o por desocuparse y lleva su camión a

ella, al llegar a donde esta la pala, el camión es acomodado por el peón - encargado de ello, ya que el camión está en su sitio, la pala empieza a -- cargarlo, poniendo en él solo piedras de regular tamaño y apartando las -- más grandes, una vez que ha terminado de cargarlo, sale el camión, dándose por terminado este ciclo de carga y empezando el siguiente, continuándose así por el resto de la jornada.

II.1.4.- TRITURACION PREVIA O MONEO.

El moneo o trituración previa, es la operación que se efectúa con el - fin de disgregar las rocas demasiado grandes, rocas que atascarían la que- bradora debido a su tamaño.

Como se dijo antes, las palas al estar cargando los camiones apartan - las piedras grandes (mayores de 60 centímetros), una vez que el material - pétreo por cargar ha sido agotado, la pala se mueve a otro lado, ocupando su lugar la grúa Lorain.

Esta grúa empieza a golpear las piedras con su pilón o pera, rompiéndo- las. El pilón es un bloque rectangular de acero y con la parte inferior en forma de punta, lleva plomo interiormente para darle peso y por lo consi- guiente la disgregación sea más efectiva.

Actualmente se emplea un equipo neumático en lugar de usar la grúa con su pilón.

En el caso de que las piedras sean demasiado grandes y el pilón no pue- da romperlas, o que haya una cantidad bastante alta de este tipo de rocas, se efectúa la operación denominada moneo.

El moneo consiste, en perforar las rocas con una pistola neumática, -- una vez que se ha perforado el barreno de todas las rocas, se procede a -- poblarlas (cargarlas) con cartuchos de dinamita gelatina extra de 40%, jun- to con un estopín y con mecha de tiempo controlado.

Ya que todos los barrenos se encuentran poblados, se prenden, en caso de que las rocas sean muchas el encendido de las mechas se realiza en dos o tres partes, según se considere prudente.

Generalmente para la perforación de los barrenos de las rocas, se utilizan seis pistolas neumáticas, accionadas por un compresor Le Roi o por un Gardner Denver.

II.1.5.- ACARREO.

Ya que se encuentra lleno el camión, lleva el material pétreo hasta -- los conjuntos de trituración situados a una distancia de aproximadamente 800 metros.

Para el acarreo del material se tienen seis camiones fuera de carretera, marca Mack.

El ciclo completo de acarreo se complementa con ocho camiones marca -- Dina, que se utilizan para llevar los agregados pétreos de las tolvas de los conjuntos a los silos de almacenamiento.

METROS CUBICOS DE ROCA POR METRO LINEAL DE BARRENO

BORDOS (Anchos entre línea y línea de barrenos).

(Para determinar el total de m³/barreno, multiplicar los valores de la --- tabla por la altura total de la cara del banco, frente al barreno).

| | | | | | | | | | | |
|---|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| ESPACIAMIENTOS (Largos entre barreno y barreno). | 0.75 | 0.75 | 1.00 | 1.25 | 1.50 | 1.75 | 2.00 | 2.25 | 2.50 | 2.75 |
| | 1.00 | 0.56 | 0.75 | 0.94 | 1.13 | 1.31 | 1.50 | 1.69 | 1.88 | 2.06 |
| | 1.25 | 0.75 | 1.00 | 1.25 | 1.50 | 1.75 | 2.00 | 2.25 | 2.50 | 2.75 |
| | 1.50 | 0.94 | 1.25 | 1.56 | 1.88 | 2.19 | 2.50 | 2.81 | 3.13 | 3.44 |
| | 1.75 | 1.13 | 1.50 | 1.88 | 2.25 | 2.63 | 3.00 | 3.38 | 3.75 | 4.13 |
| | 2.00 | 1.31 | 1.75 | 2.19 | 2.63 | 3.06 | 3.50 | 3.94 | 4.38 | 4.81 |
| | 2.25 | 1.50 | 2.00 | 2.50 | 3.00 | 3.50 | 4.00 | 4.50 | 5.00 | 5.50 |
| | 2.50 | 1.69 | 2.25 | 2.81 | 3.38 | 3.94 | 4.50 | 5.06 | 5.63 | 6.19 |
| | 2.75 | 1.88 | 2.50 | 3.13 | 3.75 | 4.38 | 5.00 | 5.63 | 6.25 | 6.88 |
| | 3.00 | 2.06 | 2.75 | 3.44 | 4.13 | 4.81 | 5.50 | 6.19 | 6.88 | 7.56 |
| | 3.25 | 2.25 | 3.00 | 3.75 | 4.50 | 5.25 | 6.00 | 6.75 | 7.50 | 8.25 |
| | 3.50 | 2.44 | 3.25 | 4.06 | 4.88 | 5.69 | 6.50 | 7.31 | 8.13 | 8.94 |
| | 3.75 | 2.63 | 3.50 | 4.38 | 5.25 | 6.13 | 7.00 | 7.88 | 8.75 | 9.63 |
| | 4.00 | 2.81 | 3.75 | 4.69 | 5.63 | 6.56 | 7.50 | 8.44 | 9.38 | 10.31 |
| | 4.25 | 3.00 | 4.00 | 5.00 | 6.00 | 7.00 | 8.00 | 9.00 | 10.00 | 11.00 |
| | 4.50 | 3.19 | 4.25 | 5.31 | 6.38 | 7.44 | 8.50 | 9.56 | 10.63 | 11.69 |
| | 4.75 | 3.38 | 4.50 | 5.63 | 6.75 | 7.88 | 9.00 | 10.13 | 11.25 | 12.38 |
| | 5.00 | 3.56 | 4.75 | 5.94 | 7.13 | 8.31 | 9.50 | 10.69 | 11.88 | 13.06 |
| | 5.25 | 3.75 | 5.00 | 6.25 | 7.50 | 8.75 | 10.00 | 11.25 | 12.50 | 13.75 |
| | 5.50 | 3.94 | 5.25 | 6.56 | 7.88 | 9.19 | 10.50 | 11.81 | 13.13 | 14.44 |
| 5.75 | 4.13 | 5.50 | 6.88 | 8.25 | 9.63 | 11.00 | 12.38 | 13.75 | 15.13 | |
| 6.00 | 4.31 | 5.75 | 7.19 | 8.63 | 10.06 | 11.50 | 12.94 | 14.38 | 15.81 | |
| 6.25 | 4.50 | 6.00 | 7.50 | 9.00 | 10.50 | 12.00 | 13.50 | 15.00 | 16.50 | |
| 6.50 | 4.69 | 6.25 | 7.81 | 9.38 | 10.94 | 12.50 | 14.06 | 15.63 | 17.19 | |
| 6.75 | 4.88 | 6.50 | 8.13 | 9.75 | 11.38 | 13.00 | 14.63 | 16.25 | 17.88 | |
| 7.00 | 5.06 | 6.75 | 8.44 | 10.13 | 11.81 | 13.50 | 15.19 | 16.88 | 18.56 | |
| 7.50 | 5.25 | 7.00 | 8.75 | 10.50 | 12.25 | 14.00 | 15.75 | 17.50 | 19.25 | |
| 8.00 | 5.63 | 7.50 | 9.38 | 11.25 | 13.13 | 15.00 | 16.88 | 18.75 | 20.63 | |
| 8.50 | 6.00 | 8.00 | 10.00 | 12.00 | 14.00 | 16.00 | 18.00 | 20.00 | 22.00 | |
| 9.00 | 6.38 | 8.50 | 10.63 | 12.75 | 14.88 | 17.00 | 19.13 | 21.25 | 23.38 | |
| 9.50 | 6.75 | 9.00 | 11.25 | 13.50 | 15.75 | 18.00 | 20.25 | 22.50 | 24.75 | |
| 10.00 | 7.13 | 9.50 | 11.88 | 14.25 | 16.63 | 19.00 | 21.38 | 23.75 | 26.13 | |
| | 7.50 | 10.00 | 12.50 | 15.00 | 17.50 | 20.00 | 22.50 | 25.00 | 27.50 | |

TABLA No. 1

Continúa...

METROS CUBICOS DE ROCA POR METRO LINEAL DE BARRENO

BORDOS (Anchos entre línea y línea de barrenos).

(Para determinar el total de m³/barreno, multiplicar los valores de la --- tabla por la altura total de la cara del banco, frente al barreno).

| | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 3.00 | 3.25 | 3.50 | 3.75 | 4.00 | 4.25 | 4.50 | 4.75 | 5.00 | 5.25 |
| 2.25 | 2.44 | 2.63 | 2.81 | 3.00 | 3.19 | 3.38 | 3.56 | 3.75 | 3.94 |
| 3.00 | 3.25 | 3.50 | 3.75 | 4.00 | 4.25 | 4.50 | 4.75 | 5.00 | 5.25 |
| 3.75 | 4.06 | 4.38 | 4.69 | 5.00 | 5.31 | 5.63 | 5.94 | 6.25 | 6.56 |
| 4.50 | 4.88 | 5.25 | 5.63 | 6.00 | 6.38 | 6.75 | 7.13 | 7.50 | 7.88 |
| 5.25 | 5.69 | 6.13 | 6.56 | 7.00 | 7.44 | 7.88 | 8.31 | 8.75 | 9.19 |
| 6.00 | 6.50 | 7.00 | 7.50 | 8.00 | 8.50 | 9.00 | 9.50 | 10.00 | 10.50 |
| 6.75 | 7.31 | 7.88 | 8.44 | 9.00 | 9.56 | 10.13 | 10.69 | 11.25 | 11.81 |
| 7.50 | 8.13 | 8.75 | 9.38 | 10.00 | 10.63 | 11.25 | 11.88 | 12.50 | 13.13 |
| 8.25 | 8.94 | 9.63 | 10.31 | 11.00 | 11.69 | 12.38 | 13.06 | 13.75 | 14.44 |
| 9.00 | 9.15 | 10.50 | 11.25 | 12.00 | 12.75 | 13.50 | 14.25 | 15.00 | 15.75 |
| 9.75 | 10.56 | 11.38 | 12.19 | 13.00 | 13.81 | 14.63 | 15.44 | 16.25 | 17.06 |
| 10.50 | 11.38 | 12.25 | 13.13 | 14.00 | 14.88 | 15.75 | 16.63 | 17.50 | 18.38 |
| 11.25 | 12.19 | 13.13 | 14.06 | 15.00 | 15.94 | 16.88 | 17.81 | 18.75 | 19.69 |
| 12.00 | 13.00 | 14.00 | 15.00 | 16.00 | 17.00 | 18.00 | 19.00 | 20.00 | 21.00 |
| 12.75 | 13.81 | 14.88 | 15.94 | 17.00 | 18.06 | 19.13 | 20.19 | 21.25 | 22.31 |
| 13.50 | 14.63 | 15.75 | 16.88 | 18.00 | 19.13 | 20.25 | 21.38 | 22.50 | 23.63 |
| 14.25 | 15.44 | 16.63 | 17.81 | 19.00 | 20.19 | 21.38 | 22.56 | 23.75 | 24.94 |
| 15.00 | 16.25 | 17.50 | 18.75 | 20.00 | 21.25 | 22.50 | 23.75 | 25.00 | 26.25 |
| 15.75 | 17.06 | 18.38 | 19.69 | 21.00 | 22.31 | 23.63 | 24.94 | 26.25 | 27.56 |
| 16.50 | 17.88 | 19.25 | 20.63 | 22.00 | 23.38 | 24.75 | 26.13 | 27.50 | 28.88 |
| 17.25 | 18.69 | 20.13 | 21.56 | 23.00 | 24.44 | 25.88 | 27.31 | 28.75 | 30.19 |
| 18.00 | 19.50 | 21.00 | 22.50 | 24.00 | 25.50 | 27.00 | 28.50 | 30.00 | 31.50 |
| 18.75 | 20.31 | 21.88 | 23.44 | 25.00 | 26.56 | 28.13 | 29.69 | 31.25 | 32.81 |
| 19.50 | 21.13 | 22.75 | 24.38 | 26.00 | 27.63 | 29.25 | 30.88 | 32.50 | 34.13 |
| 20.25 | 21.94 | 23.63 | 25.31 | 27.00 | 28.69 | 30.38 | 32.06 | 33.75 | 35.44 |
| 21.00 | 22.75 | 24.50 | 26.25 | 28.00 | 29.75 | 31.50 | 33.25 | 35.00 | 36.75 |
| 22.50 | 24.38 | 26.25 | 28.13 | 30.00 | 31.88 | 33.75 | 35.63 | 37.50 | 39.38 |
| 24.00 | 26.00 | 28.00 | 30.00 | 32.00 | 34.00 | 36.00 | 38.00 | 40.00 | 42.00 |
| 25.50 | 27.63 | 29.75 | 31.88 | 34.00 | 36.13 | 38.25 | 40.38 | 42.50 | 44.63 |
| 27.00 | 29.25 | 31.50 | 33.75 | 36.00 | 38.25 | 40.50 | 42.75 | 45.00 | 47.25 |
| 28.50 | 30.88 | 33.25 | 35.63 | 38.00 | 40.38 | 42.75 | 45.13 | 47.50 | 49.88 |
| 30.00 | 32.50 | 35.00 | 37.50 | 40.00 | 42.50 | 45.00 | 47.50 | 50.00 | 52.50 |

TABLA No. 1

Continúa...

METROS CUBICOS DE ROCA POR METRO LINEAL DE BARRENO

BORDOS (Anchos entre línea y línea de barrenos).

(Para determinar el total de m³/barreno, multiplicar los valores de la --- tabla por la altura total de la cara del banco, frente al barreno).

| | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 5.50 | 5.75 | 6.00 | 6.25 | 6.50 | 6.75 | 7.00 | 7.50 | 8.00 | 8.50 | 9.00 |
| 4.13 | 4.31 | 4.50 | 4.69 | 4.88 | 5.06 | 5.25 | 5.63 | 6.00 | 6.38 | 6.75 |
| 5.50 | 5.75 | 6.00 | 6.25 | 6.50 | 6.75 | 7.00 | 7.50 | 8.00 | 8.50 | 9.00 |
| 6.88 | 7.19 | 7.50 | 7.81 | 8.13 | 8.44 | 8.75 | 9.38 | 10.00 | 10.63 | 11.25 |
| 8.25 | 8.63 | 9.00 | 9.38 | 9.75 | 10.13 | 10.50 | 11.25 | 12.00 | 12.75 | 13.50 |
| 9.63 | 10.06 | 10.50 | 10.94 | 11.38 | 11.81 | 12.25 | 13.13 | 14.00 | 14.88 | 15.75 |
| 11.00 | 11.50 | 12.00 | 12.50 | 13.00 | 13.50 | 14.00 | 15.00 | 16.00 | 17.00 | 18.00 |
| 12.38 | 12.94 | 13.50 | 14.06 | 14.63 | 15.19 | 15.75 | 16.88 | 18.00 | 19.13 | 20.25 |
| 13.75 | 14.38 | 15.00 | 15.63 | 16.25 | 16.88 | 17.50 | 18.75 | 20.00 | 21.25 | 22.50 |
| 15.13 | 15.81 | 16.50 | 17.19 | 17.88 | 18.56 | 19.25 | 20.63 | 22.00 | 23.38 | 24.75 |
| 16.50 | 17.25 | 18.00 | 18.75 | 19.50 | 20.25 | 21.00 | 22.50 | 24.00 | 25.50 | 27.00 |
| 17.88 | 18.69 | 19.50 | 20.31 | 21.13 | 21.94 | 22.75 | 24.38 | 26.00 | 27.63 | 29.25 |
| 19.25 | 20.13 | 21.00 | 21.88 | 22.75 | 23.63 | 24.50 | 26.25 | 28.00 | 29.75 | 31.50 |
| 20.63 | 21.56 | 22.50 | 23.44 | 24.38 | 25.31 | 26.25 | 28.13 | 30.00 | 31.88 | 33.75 |
| 22.00 | 23.00 | 24.00 | 25.00 | 26.00 | 27.00 | 28.00 | 30.00 | 32.00 | 34.00 | 36.00 |
| 23.38 | 24.44 | 25.50 | 26.56 | 27.63 | 28.69 | 29.75 | 31.88 | 34.00 | 36.13 | 38.25 |
| 24.75 | 25.88 | 27.00 | 28.13 | 29.25 | 30.38 | 31.50 | 33.75 | 36.00 | 38.25 | 40.50 |
| 26.13 | 27.31 | 28.50 | 29.69 | 30.88 | 32.06 | 33.25 | 36.63 | 38.00 | 40.38 | 42.75 |
| 27.50 | 28.75 | 30.00 | 31.25 | 32.50 | 33.75 | 35.00 | 37.50 | 40.00 | 42.50 | 45.00 |
| 28.88 | 30.19 | 31.50 | 32.81 | 34.13 | 35.44 | 36.75 | 39.38 | 42.00 | 44.63 | 47.25 |
| 30.25 | 31.63 | 33.00 | 34.38 | 35.75 | 37.13 | 38.50 | 41.25 | 44.00 | 46.75 | 49.50 |
| 31.63 | 33.06 | 34.50 | 35.94 | 37.38 | 38.81 | 40.25 | 43.13 | 46.00 | 48.88 | 51.75 |
| 33.00 | 34.50 | 36.00 | 37.50 | 39.00 | 40.50 | 42.00 | 45.00 | 48.00 | 51.00 | 54.00 |
| 34.38 | 35.94 | 37.50 | 39.06 | 40.63 | 42.19 | 43.75 | 46.88 | 50.00 | 53.13 | 56.25 |
| 35.75 | 37.38 | 39.00 | 40.63 | 42.25 | 43.88 | 45.50 | 48.75 | 52.00 | 55.25 | 58.50 |
| 37.13 | 38.81 | 40.50 | 42.19 | 43.88 | 45.56 | 47.25 | 50.63 | 54.00 | 57.38 | 60.75 |
| 38.50 | 40.25 | 42.00 | 43.75 | 45.50 | 47.25 | 49.00 | 52.50 | 56.00 | 59.50 | 63.00 |
| 41.25 | 43.13 | 45.00 | 46.88 | 48.75 | 50.63 | 52.50 | 56.25 | 60.00 | 63.75 | 67.50 |
| 44.00 | 46.00 | 48.00 | 50.00 | 52.00 | 54.00 | 56.00 | 60.00 | 64.00 | 68.00 | 72.00 |
| 46.75 | 48.88 | 51.00 | 53.13 | 55.25 | 57.38 | 59.50 | 63.75 | 68.00 | 72.25 | 76.50 |
| 49.50 | 51.75 | 54.00 | 56.25 | 58.50 | 60.75 | 63.00 | 67.50 | 72.00 | 76.50 | 81.00 |
| 52.25 | 54.63 | 57.00 | 59.38 | 61.75 | 64.13 | 66.50 | 71.25 | 76.00 | 80.75 | 85.50 |
| 55.00 | 57.50 | 60.00 | 62.50 | 65.00 | 67.50 | 70.00 | 75.00 | 80.00 | 85.00 | 90.00 |

TABLA No. 1

DENSIDADES DE EXPLOSIVOS DU PONT

(grs/cm³ - valores aproximados)

| DINAMITAS | | | AGENTES EXPLOSIVOS | | |
|-------------------------|-------|------|--------------------|-------|------|
| Gelatina Extra | 40% | 1.57 | "Mexamon" | SP | 0.81 |
| | 60% | 1.44 | | | |
| | 75% | 1.39 | | SP-LD | 0.70 |
| Dinamita Extra | 40% | 1.29 | "Mexamon" | C | 0.85 |
| | 60% | 1.29 | | C-LD | 0.84 |
| Dinamita Especial | 45% | 1.23 | Super "Mexamon" | D | 0.85 |
| Galomex | No. 1 | 1.28 | NA-AC | | 0.80 |
| | No. 2 | 1.16 | | | |
| Gelatina Alta Velocidad | | | | | |
| Galomex | 60% | 1.47 | | | |
| Duramex | G | 1.00 | | | |
| Dinamex | A | 1.23 | | | |
| Toxal | | 1.60 | | | |

-19-

| DIAMETRO | | VOLUMEN cm ³ POR METRO LIN. | DENSIDADES DE CARGA | | | | | DENSIDAD DADA (Gr/cms ³). | | |
|----------|-------|--|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|--|
| PULD. | CMS. | | 0.50 grs. por cm ³ | 0.65 grs. por cm ³ | 0.70 grs. por cm ³ | 0.80 grs. por cm ³ | 0.85 grs. por cm ³ | 1.00 grs. por cm ³ | 1.16 grs. por cm ³ | |
| 7/8 | 2.22 | 387.08 | 0.194 | 0.252 | 0.271 | 0.310 | 0.329 | 0.387 | 0.449 | |
| 1 | 2.54 | 506.71 | 0.253 | 0.329 | 0.355 | 0.405 | 0.431 | 0.507 | 0.588 | |
| 1-1/4 | 3.18 | 794.23 | 0.397 | 0.516 | 0.556 | 0.635 | 0.675 | 0.794 | 0.921 | |
| 1-1/2 | 3.81 | 1140.09 | 0.570 | 0.741 | 0.798 | 0.912 | 0.969 | 1.140 | 1.323 | |
| 1-3/4 | 4.45 | 1555.29 | 0.778 | 1.011 | 1.089 | 1.244 | 1.322 | 1.555 | 1.804 | |
| 2 | 5.08 | 2026.63 | 1.013 | 1.317 | 1.419 | 1.621 | 1.723 | 2.027 | 2.351 | |
| 2-1/2 | 6.35 | 3166.93 | 1.583 | 2.059 | 2.217 | 2.534 | 2.692 | 3.167 | 3.674 | |
| 3 | 7.62 | 4560.38 | 2.280 | 2.964 | 3.192 | 3.648 | 3.876 | 4.560 | 5.290 | |
| 3-1/2 | 8.89 | 6207.18 | 3.104 | 4.035 | 4.345 | 4.966 | 5.276 | 6.207 | 7.200 | |
| 4 | 10.16 | 8107.94 | 4.054 | 5.270 | 5.676 | 6.486 | 6.892 | 8.108 | 9.405 | |
| 4-1/2 | 11.43 | 10260.85 | 5.130 | 6.670 | 7.183 | 8.209 | 8.722 | 10.261 | 11.903 | |
| 5 | 12.70 | 12667.72 | 6.334 | 8.234 | 8.867 | 10.134 | 10.768 | 12.668 | 14.695 | |
| 5-1/2 | 13.97 | 15327.94 | 7.664 | 9.963 | 10.730 | 12.262 | 13.029 | 15.328 | 17.780 | |
| 6 | 15.24 | 18241.51 | 9.121 | 11.857 | 12.769 | 14.593 | 15.505 | 18.242 | 21.160 | |
| 6-1/2 | 16.51 | 21408.41 | 10.704 | 13.915 | 14.986 | 17.127 | 18.197 | 21.408 | 24.834 | |
| 7 | 17.78 | 24828.72 | 12.414 | 16.139 | 17.380 | 19.863 | 21.104 | 24.829 | 28.801 | |
| 7-1/2 | 19.05 | 28502.36 | 14.251 | 18.527 | 19.952 | 22.802 | 24.227 | 28.502 | 33.063 | |
| 8 | 20.32 | 32429.35 | 16.215 | 21.079 | 22.701 | 25.943 | 27.565 | 32.429 | 37.618 | |
| 8-1/2 | 21.59 | 36609.70 | 18.305 | 23.796 | 25.627 | 29.288 | 31.118 | 36.610 | 42.467 | |
| 9 | 22.86 | 41043.40 | 20.522 | 26.678 | 28.730 | 32.835 | 34.887 | 41.044 | 47.610 | |
| 10 | 25.40 | 50670.87 | 25.335 | 32.936 | 35.470 | 40.537 | 43.070 | 56.671 | 58.778 | |
| 11 | 27.94 | 61311.75 | 30.656 | 39.853 | 42.918 | 49.049 | 52.115 | 61.312 | 71.122 | |
| 12 | 30.48 | 72966.05 | 36.483 | 47.428 | 51.076 | 58.373 | 62.021 | 72.966 | 84.641 | |

TABLA No. 3

Continúa...

DENSIDADES DE CARGA

KILOS POR METRO LINEAL DE COLUMNA PARA UNA DENSIDAD DADA (Gr/cm³).

| 1.23 grs. por cm ³ | 1.28 grs. por cm ³ | 1.29 grs. por cm ³ | 1.39 grs. por cm ³ | 1.44 grs. por cm ³ | 1.47 grs. por cm ³ |
|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 0.476 | 0.495 | 0.499 | 0.538 | 0.557 | 0.569 |
| 0.623 | 0.649 | 0.654 | 0.704 | 0.730 | 0.745 |
| 0.977 | 1.017 | 1.025 | 1.104 | 1.144 | 1.168 |
| 1.402 | 1.459 | 1.471 | 1.585 | 1.642 | 1.676 |
| 1.913 | 1.991 | 2.006 | 2.162 | 2.240 | 2.286 |
| 2.493 | 2.594 | 2.614 | 2.817 | 2.918 | 2.979 |
| 3.895 | 4.054 | 4.085 | 4.402 | 4.560 | 4.655 |
| 5.609 | 5.837 | 5.883 | 6.339 | 6.567 | 6.704 |
| 7.635 | 7.945 | 8.007 | 8.628 | 8.938 | 9.125 |
| 9.973 | 10.378 | 10.459 | 11.270 | 11.675 | 11.919 |
| 12.621 | 13.134 | 13.236 | 14.263 | 14.776 | 15.083 |
| 15.581 | 16.215 | 16.341 | 17.608 | 18.242 | 18.622 |
| 18.853 | 19.620 | 19.773 | 21.306 | 22.072 | 22.532 |
| 22.437 | 23.349 | 23.532 | 25.356 | 26.268 | 26.815 |
| 26.332 | 27.403 | 27.617 | 29.758 | 30.828 | 31.470 |
| 30.539 | 31.781 | 32.029 | 34.512 | 35.753 | 36.498 |
| 35.058 | 36.483 | 36.768 | 39.618 | 41.043 | 41.898 |
| 39.888 | 41.510 | 41.834 | 45.077 | 46.698 | 47.671 |
| 45.030 | 46.860 | 47.227 | 50.887 | 52.718 | 53.816 |
| 50.483 | 52.536 | 52.946 | 57.050 | 59.102 | 60.334 |
| 62.325 | 64.859 | 65.365 | 70.433 | 72.966 | 74.486 |
| 75.413 | 78.479 | 79.092 | 85.223 | 88.289 | 90.128 |
| 89.748 | 93.397 | 94.126 | 101.423 | 105.071 | 107.260 |

TABLA No. 3

CAPITULO III.- TRITURACION.

III.1.- PROCESO DE TRITURACION EN LA PLANTA.

El proceso de trituración se efectúa en cuatro conjuntos, el No. 1, el No. 2, el No. 3 y el No. 5, los conjuntos de trituración son de tipo mixto, es decir que en ellos intervienen quebradoras de diferentes clases, o sea: de quijadas, de rodillos y de cono; instaladas así, porque se ha observado que de esta manera el proceso de trituración es más efectivo.

Los conjuntos pueden producir material de 1 1/2" que se emplea en la fabricación de la base negra; material de 3/4" ó de 1/2" para utilizarse en la elaboración de concreto asfáltico; o bien material de 1/4" para Slurry o sea carpetas asfálticas delgadas.

El personal necesario para cada conjunto de trituración es de nueve obreros.

El proceso de trituración se inicia de la siguiente manera:

Los camiones fuera de carretera que vienen de la cantera, ascienden por una rampa de 33 metros de longitud por 3.60 metros de ancho, construída de un terraplén falso sostenido lateralmente por muros de retención de 45 centímetros de espesor, hechos de mampostería, la pendiente de la rampa es del 10%. Al final de ella, está la tolva alimentadora, el material que cae aquí es movido hacia las quijadas de trituración por medio de un alimentador de oruga de ocho metros de largo, esta oruga es accionada por el mismo motor de la quebradora preprimaria.

El material pétreo con un tamaño máximo de 6" que sale de esta quebradora es distribuido a dos chuts metálicos con rejillas de 1 1/2" para separar los finos, estas rejillas pueden cambiarse por otras que tengan separación de 3/4" ó de 1/2", los agregados de 1 1/2" a finos bajan directamente a la tolva primaria, por lo que se considera material terminado.

El material de 1 1/2" a 6" pasa a las quebradoras primarias de quijadas. En ellas el material es triturado entregando un agregado con un tamaño máximo de 2 3/4", al salir pasa por rejillas de 1 1/2" bajando directa-

mente a la tolva primaria, el material que no pasa va a las quebradoras -- secundarias.

Las quebradoras secundarias son las encargadas de darle la última trituración a los agregados, o sea que de aquí salen con un tamaño máximo de 1 1/2", al salir de las quebradoras, los chuts metálicos conducen los agregados a una criba vibratoria, la cual selecciona el material de 1 1/2" a malla 200, el material mayor de 1 1/2" que por alguna razón no esté bien triturado, es llevado a una quebradora de cono, al salir de esta, por medio de una banda pequeña pasa a la banda mayor. El material que pasa la -- criba, cae en la tolva primaria de donde cae a la banda transportadora que lo llevará a la siguiente tolva.

Los agregados pétreos que se depositan en las tolvas, pasan enseguida a los camiones. Si el material va a ser almacenado en los silos que hay -- ahí mismo, se encargan de llevarlo los camiones DINA, destinados para ---- ello.

En la cantera hay silos descubiertos de almacenamiento de material de 1 1/2" y de 3/4" con lo que se garantiza una existencia constante de agregados pétreos en caso de ocurrir cualquier contingencia.

En las siguientes figuras se muestran los diagramas de flujo de cada -- conjunto de trituración.

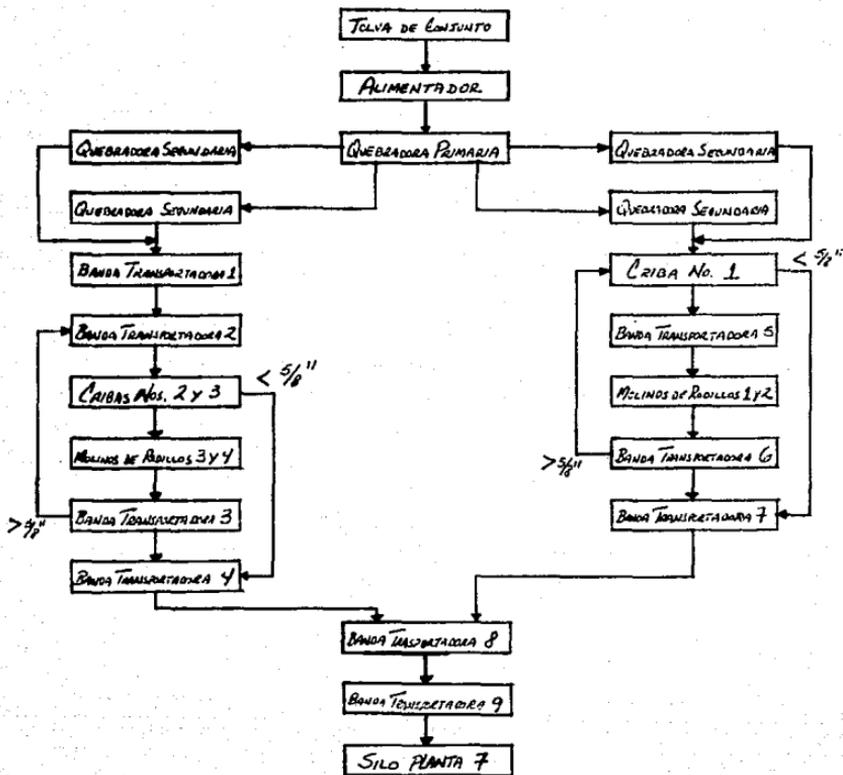


Figura No. 3.- Diagrama de flujo del conjunto de trituración No. 1.

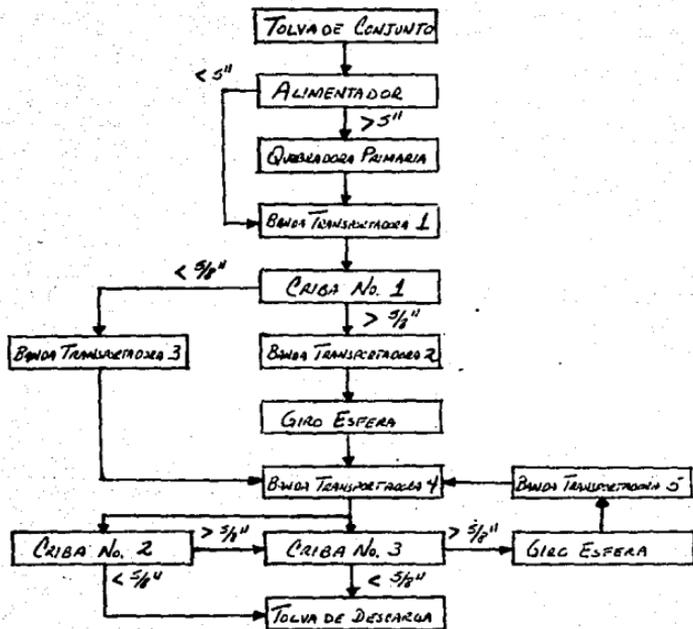


Figura No. 4.- Diagrama de flujo del conjunto de trituración No. 2.

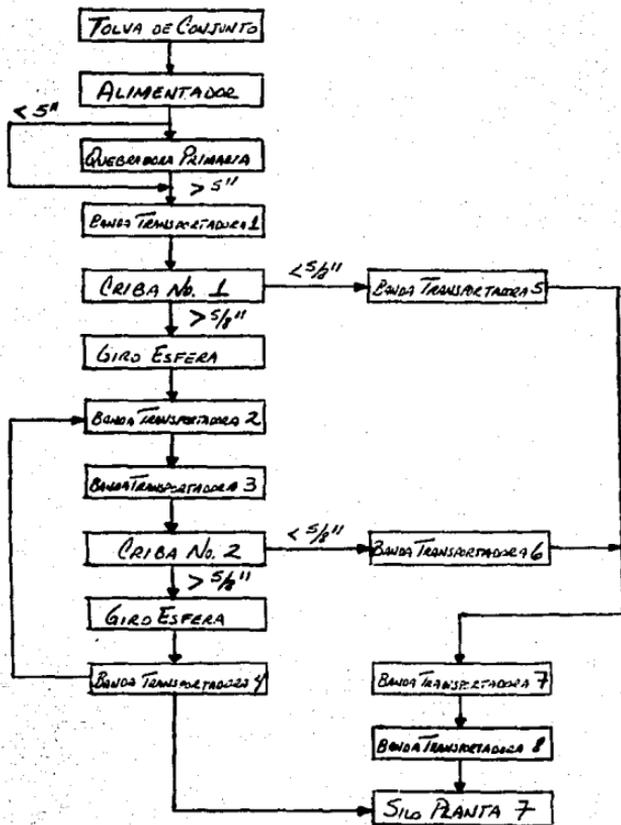


Figura No. 5.- Diagrama de flujo del conjunto de trituración No. 3.

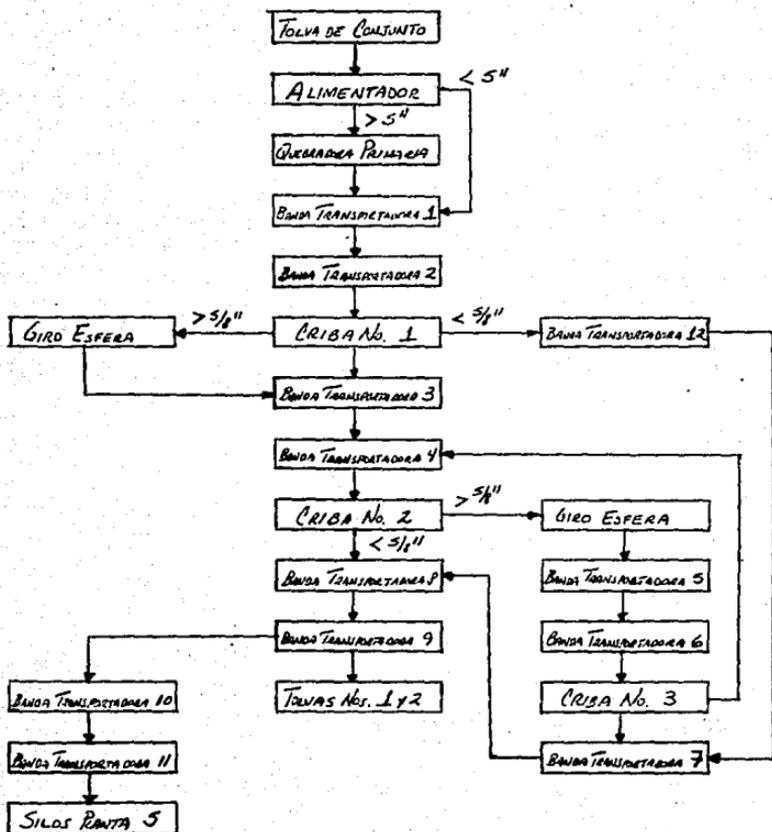


Figura No. 6.- Diagrama de flujo del conjunto de trituración No. 5.

III.2.- EQUIPO DE TRITURACION MAS USUAL.

Las máquinas de trituración más utilizadas en las Obras Civiles, emplean los métodos mecánicos de reducción indicados en el siguiente cuadro:

| QUEBRADORA | METODO DE REDUCCION | | | |
|--------------|---------------------|----------|-------|------------|
| | IMPACTO | DESGASTE | CORTE | COMPRESION |
| Impacto | X | | | |
| Pulverizador | X | | | |
| Martillos | X | X | X | |
| Rodillos | X | | X | X |
| Giratorias | X | | | X |
| Quijadas | X | | | X |
| Cono | X | | | X |

Figura No. 7.- Métodos mecánicos de reducción.

Para decidir cual 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 trituradora, 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: el índice de reducción y el coeficiente de forma.

1º 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.

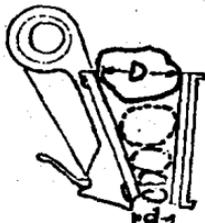


Figura No. 8.- Índice de reducción.

2º Coeficiente de Forma.

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

Se define como "Coeficiente de forma" de dicho fragmento, a la rela---
ción:

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

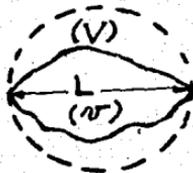


Figura No. 9.- Coeficiente de forma.

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

| FORMA DEL FRAGMENTO | VALOR DEL COEFICIENTE DE FORMA |
|---------------------|--------------------------------|
| Esférico | 1 |
| Cúbico | $\frac{2}{\sqrt{3}} = 0.37$ |
| Tetraedro regular | $\frac{1}{\sqrt{2}} = 0.22$ |
| 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, debido a que por su forma, son partículas débiles, con mucha tendencia a fracturarse.

A continuación se expondrán las variedades de equipo de trituración, -- utilizados hoy en día en la construcción de caminos en particular.

III.2.1.- QUEBRADORAS DE QUIJADAS.

a) Trituración primaria.

Definitivamente es la quebradora de quijadas de simple togle con excéntrico superior (Figura No. 10); 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.

En algún tiempo se utilizaron las quebradoras de quijadas gemelas (Figura No. 11) móviles pero hoy prácticamente han quedado en desuso debido a su alto costo de adquisición y de operación.

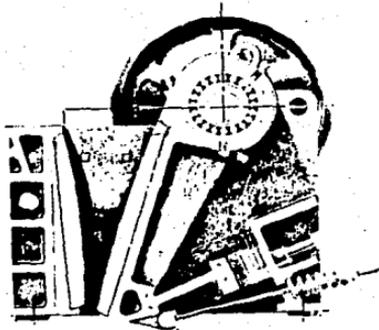


Figura No. 10.- Quebradora de quijadas de simple togle con excéntrico superior.

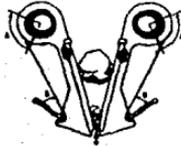


Figura No. 11.- Quebradora de quijadas gemelas móviles.

b) Trituración secundaria y terciaria.

Si bien en 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 lo que respecta a las etapas secundarias y terciarias han existido en los últimos tiempos cambios sensibles en la preferencia de los usuarios de dichos equipos, como se verá a continuación.

Las trituradoras tradicionalmente empleadas para realizar las etapas segunda y tercera de la reducción de los materiales pétreos, han sido las de rodillos, impacto y cono.

III.2.2.- TRITURADORAS DE RODILLOS.

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

En el pasado era éste el tipo de máquina más popular para realizar trituraciones secundarias y terciarias en las plantas móviles camineras, y en plantas fijas de producción de agregados para concretos hidráulicos. Hoy en día su utilización ha quedado reducida al tratamiento de materiales suaves y poco abrasivos, debido a que con rocas de alto contenido de sílice, el desgaste que se presenta en forma de surcos profundos en la superficie cilíndrica de los rodillos, hace que se tengan costos de mantenimiento muy elevados, presentando además las limitaciones que se indican a continuación.

El diámetro de los rodillos debe ser de 20 a 30 veces superior al tamaño de los fragmentos en la alimentación (Figura No. 12), para que pueda aprisionarlos y triturarlos.

La producción es directamente proporcional al ancho de los rodillos, sin embargo, un ancho demasiado grande, provoca un desgaste irregular y rápido, más fuerte en el centro que en los extremos.

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 (Figura No. 13) que mitigan un poco estos inconvenientes.

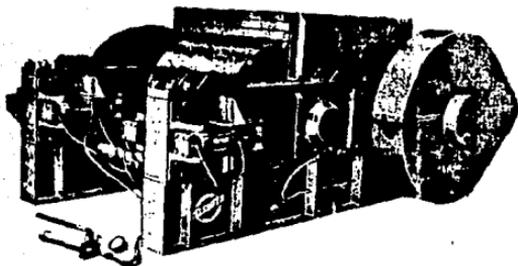


Figura No. 12.- Trituradoras de rodillos.

El coeficiente de forma del material triturado en los rodillos, es por regla general bajo, con tendencia a formar muchas lascas con cierto tipo -- de rocas.

Por los motivos anteriormente descritos, en muchas instalaciones de -- producción de agregados, las trituradoras de rodillos han venido siendo -- substituidas por otro tipo de máquinas, limitándose su campo de acción al proceso de cierto tipo de rocas suaves y poco abrasivas, como ya se dijo.

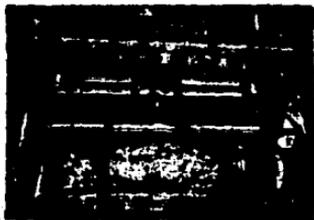


Figura No. 13.- Máquinas de soldadura automática.

III.2.3.- TRITURADORAS DE IMPACTO O DE MARTILLOS.

Tanto las trituradoras de impacto (Figuras Nos. 14A y 14B) como las de martillos (Figura No. 15), utilizan básicamente el efecto de fuertes impactos de la roca contra las placas del bastidor, impulsadas por uno o por dos rotore que están girando a elevadas revoluciones por minuto. En las trituradoras de martillo con rejilla inferior (Figura No. 15) existen también los efectos secundarios de corte y desgaste de la roca entre el martillo y la rejilla.

Con este tipo de máquinas se obtiene un material cúbico de elevado coeficiente de forma, con índices de reducción de $20 \div 1$ y en ocasiones de $30 \div 1$.

Desgraciadamente estas máquinas no son adecuadas para procesar rocas con más del 6% de contenido de sílice, por el fuerte desgaste que sufren sus martillos y barras de impacto, con los materiales pétreos abrasivos, pues de lo contrario sería muy elevado el costo de operación.

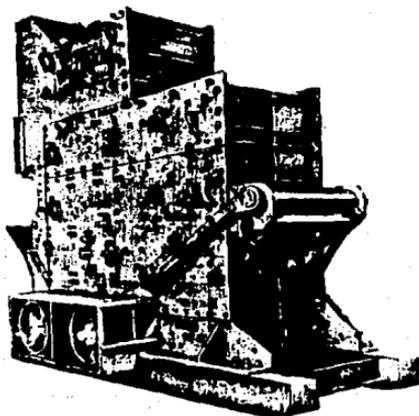


Figura No. 14A.- Vista exterior de una trituradora de impacto.

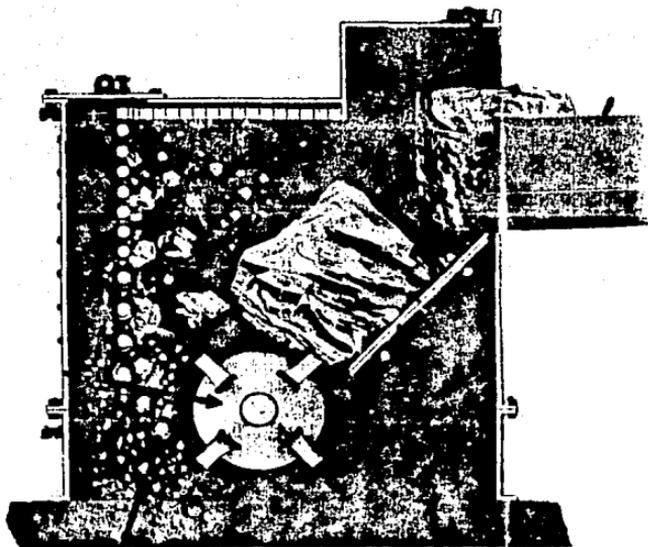


Figura No. 14B.- Corte longitudinal esquemático de una trituradora de impacto, mostrando su principio de funcionamiento.

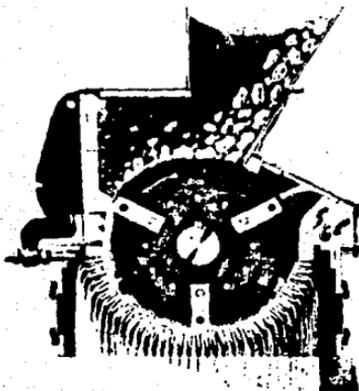
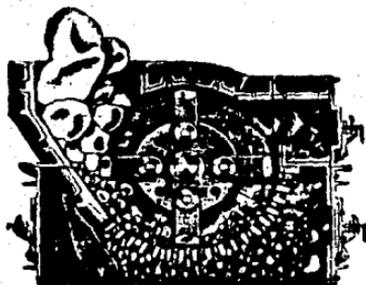


Figura No. 15.- Trituradora de martillos, con rotores de cuatro y seis cabezas de percusión.

III.2.4.- TRITURADORAS DE CONO.

Este tipo de trituradoras se ha utilizado en las plantas mineras desde hace más de 40 años. En el campo de las obras públicas se ha generalizado su uso a partir de unos 10 años aproximadamente, pues se temía que estas máquinas tuvieran una mecánica muy complicada que necesitará cuidados especiales y personal altamente capacitado para operarlas. La realidad ha demostrado que si bien son unidades robustas de mecánica precisa, los cuidados que requieren en su operación y mantenimiento no son mayores que los que necesitan, por ejemplo, una quebradora de quijadas o una trituradora de rodillos en operación normal.

Presentan este tipo de máquinas una serie de ventajas adicionales, entre las cuales sobresalen las siguientes:

- a) Producciones relativas elevadas con un alto índice de reducción, -- que puede llegar a $10 \div 1$.
- b) Utilización completa y regular de sus elementos de desgaste en la cámara de trituración, utilizándose los efectos combinados de compresiones e impactos sucesivos (Figura No. 16), dando como resultado poco desgaste por abrasión y un producto con muy buen coeficiente de forma.
- c) Protección contra fragmentos metálicos (dientes de cucharón de cargador, cabezas de marro, etc.) no triturables, por un dispositivo a base de resortes en el perímetro de su bastidor.
- d) Dimensiones compactas que hacen práctica su instalación en grupos móviles de trituración.
- e) Costos de mantenimiento muy bajos, por la elevada duración de sus piezas de desgaste.

Las trituradoras de cono se fabrican en modelos especiales para cumplir las etapas secundarias, terciarias y cuaternarias de reducción, modelos que si bien desde el exterior presentan prácticamente el mismo aspecto (Figura No. 17), la geometría de sus cámaras de trituración tienen grandes diferencias, según se trate de una trituradora secundaria (Figura No. 18),

terciaria (Figura No. 19) o cuaternaria (Figura No.20), siendo lógicamen--
te las máquinas que se pueden cerrar a menor dimensión para producir mate--
rial más pequeño, las que admiten menor tamaño de piedra a la entrada.

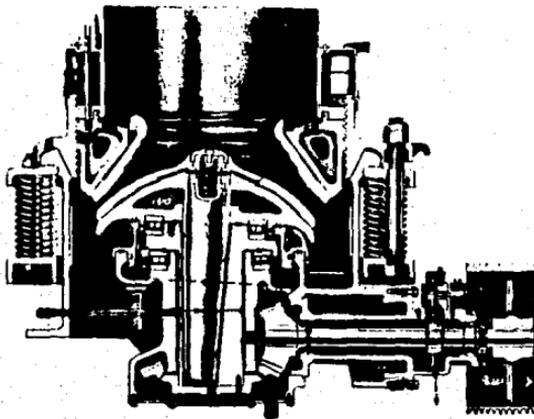


Figura No. 16.- Vista interior de una trituradora de cono.

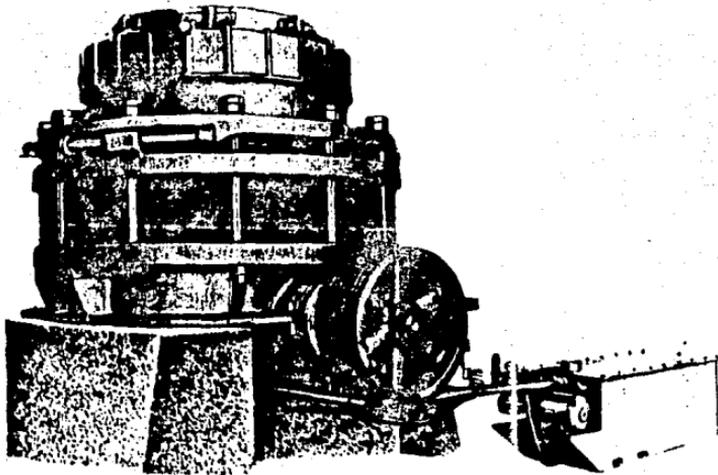


Figura No. 17.- Trituradora de cono.

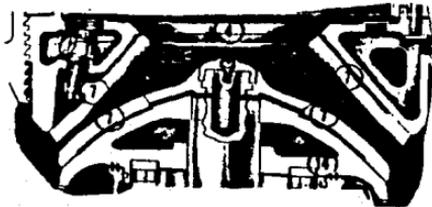


Figura No. 18.- Cámara de trituración de una trituradora de cono secundaria.

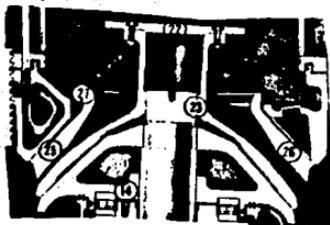


Figura No.19.- Cámara de trituración de una trituradora de cono terciaria.



Figura No. 20.- Cámara de trituración de una trituradora de cono cuaternaria.

III.2.5.- MOLINOS DE BARRAS.

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 déficits 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 utilizan básicamente los molinos de barras.

Dichas máquinas están construídas 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 una corona dentada y un piñón, o bien a través de un tren de neumáticos con ejes horizontales. 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 las Figuras Nos. 21 (a), 21 (b) y 21 (c).

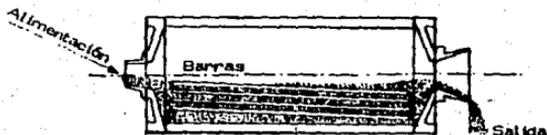


Figura No. 21 (a).- Molino de barras con entrada y salida axiales.
Se obtienen finuras hasta malla No. 50.

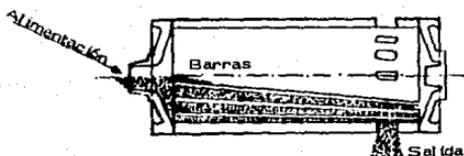


Figura No. 21 (b).- Molino de barras con entrada axial y salida periférica por un extremo. Finuras hasta malla No. 20.



Figura No. 21 (c).- Molino de barras con doble entrada axial y salida periférica por la parte media. Finuras hasta malla No. 4.

III.3.- EQUIPO COMPLEMENTARIO.

El equipo complementario, son aquellas máquinas que sin participar directamente en las operaciones de trituration, son indispensables para realizar los procesos necesarios para transformar el material en greña o natural, en material útil que reúna ciertas especificaciones.

III.3.1.- CRIBAS VIBRATORIAS.

Las cribas vibratorias tienen por objeto la clasificación o selección de los materiales pétreos granulares, en diversas categorías de acuerdo con los tamaños especificados. Dichas máquinas se componen de uno, dos o

tres pisos de mallas de alambre o de placa perforada en orificios cuadrados, rectangulares o redondos, montados en el interior de una caja o bastidor flotante, equilibrado apoyado sobre resortes o suspendido por medio de cables. Las vibraciones son producidas por el efecto de una flecha excéntrica o provista de contrapesos que gira a elevada velocidad, accionada por un motor eléctrico.

La superficie de cribado está constituida en la mayoría de los casos, por mallas cuadradas, siendo las más comúnmente empleadas, las siguientes:

1º Estados Unidos: Norma ASTM.

| DESIGNACION DE LA MALLA (mallas más usuales) | CLARO ENTRE ALAMBRES EN MM |
|---|-------------------------------|
| 3" | 76.0 |
| 1 1/2" | 38.0 |
| 3/4" | 19.0 |
| 1/4" | 6.3 |
| Número 4 | 4.76 |
| Número 8 | 2.38 |
| Número 16 | 1.19 |
| Número 30 | 0.59 |
| Número 50 | 0.297 |
| Número 100 | 0.149 |
| Número 200 | 0.074 |
| Número 400 | 0.037 |

2º Francia: Norma AFNOR NF-XII-501

| DESIGNACION DE LA MALLA | CLARO ENTRE ALAMBRES EN MM |
|-------------------------|-------------------------------|
| 50 | 50.0 |
| 20 | 20.0 |
| 15 | 15.0 |

| | | |
|--------|----|-------|
| | 10 | 10.0 |
| | 5 | 5.0 |
| Módulo | 37 | 4.0 |
| Módulo | 35 | 2.5 |
| Módulo | 32 | 1.25 |
| Módulo | 28 | 0.500 |
| Módulo | 25 | 0.250 |
| Módulo | 22 | 0.125 |
| Módulo | 20 | 0.080 |
| Módulo | 17 | 0.040 |

39 Inglaterra: Norma BSA - 410

| | | |
|--------|--------|-------|
| | 3" | 76.0 |
| | 1 1/2" | 38.0 |
| | 3/4" | 19.0 |
| | 1/4" | 6.3 |
| Número | 5 | 6.35 |
| Número | 10 | 1.67 |
| Número | 22 | 0.699 |
| Número | 44 | 0.353 |
| Número | 85 | 0.178 |
| Número | 100 | 0.152 |
| Número | 200 | 0.076 |
| Número | 300 | 0.053 |

NOTA: En México rigen en la mayoría de los casos las normas americanas de la ASTM.

Existen cribas vibratorias horizontales con doble mecanismo excéntrico, aconsejables para equipar los grupos móviles y cribas vibratorias inclinadas de mecanismo excéntrico simple, utilizadas en las plantas fijas -

principalmente. Con ambos tipos se logran las mismas producciones y eficiencias.

Las inclinadas son más económicas por su excéntrico simple. pero ocupan, para tamaños iguales, un mayor espacio vertical de instalación, que sus homólogos horizontales.

Los tamaños más utilizados (ancho por longitud de la superficie de cribado) en obras civiles son: 4' x 8', 4' x 10', 4' x 12', 5' x 14', 5' x 16', 6' x 16', en sus versiones de uno, dos y tres pisos.

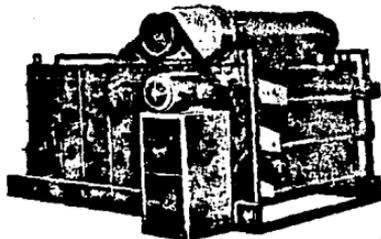


Figura No. 22.- Criba vibratoria horizontal de tres pisos.

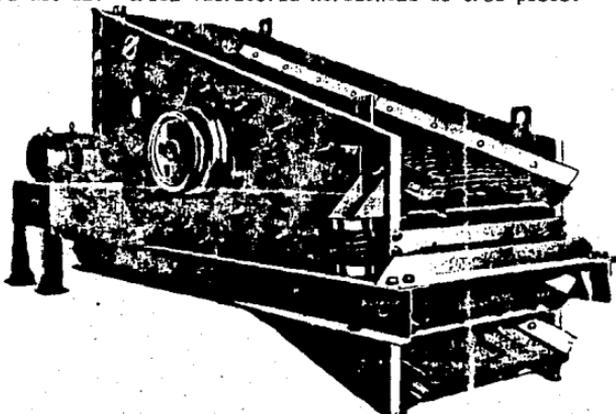


Figura No. 23.- Criba vibratoria inclinada de tres pisos.

III.3.2.- ALIMENTADORES.

La alimentación del material en greña a la quebradora primaria, puede realizarse por el vaciado directo de los medios de transporte arrojando -- la roca a la boca de la quebradora, o bien por medio de un equipo especial mecánico o "alimentador", con o sin dispositivo de pre-cribado.

Los tipos más populares de alimentadores son:

- A) Alimentador de Mandil o de Tablero Metálico. Se compone de paletas metálicas que forman un tablero continuo que se mueve a una velocidad relativamente lenta (3 a 10 metros por minuto), accionado por un sistema de motor eléctrico, reductor, catannas y cadenas. Este tipo de alimentador se recomienda para instalaciones de alta producción - donde se manejan grandes bloques de roca, sobre todo en plantas mineras y cementeras.
- B) Alimentador Reciprocante o de Plato. Se compone de una placa metálica rectangular, montada sobre rodillos, animada de un movimiento de vaivén ocasionado por una biela excéntrica. Dicho tipo de alimentador se recomienda para instalaciones pequeñas y medianas que manejan materiales de depósitos de río.
- C) Alimentador Vibratorio con Rejilla (Grizzly) de Pre-Cribado. Se utiliza en instalaciones de mediana y elevada producción para elaborar agregados pétreos para la Industria de la Construcción, con la ventaja de que sólo envía a la quebradora primaria el material que requiere la trituración primaria, pre-cribando el material pequeño que pueda contener el material en graña (Figura No. 24).



Figura No. 24.- Alimentador vibratorio con rejilla de pre-cribado.

Alimentador de Mandil o de Tablero Metálico (Tipo Apron). Anchos más -
utilizados: 36", 42", 48", 54", 60" y 72", (Figura No. 25).

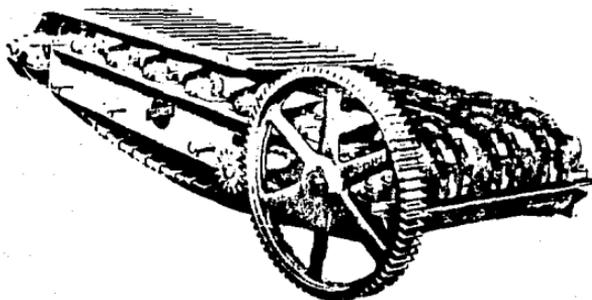


Figura No. 25.- Alimentador de mandil o de tablero metálico.
Alimentador Reciprocante o de Plato. Anchos más utilizados: 16", 20",
24", 30" y 36", (Figura No. 26).

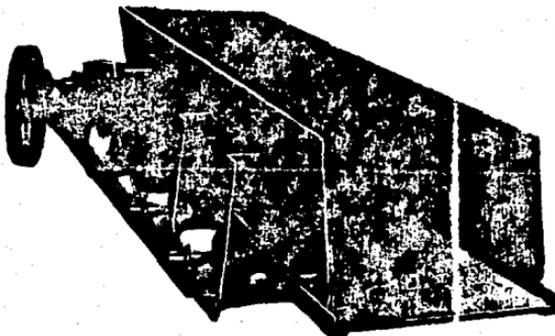


Figura No. 26.- Alimentador reciprocante o de plato.

Alimentador Vibratorio con Rejilla de Pre-Cribado. Anchos más utilizados: 36", 42", 48" y 60", (Figura No. 27).

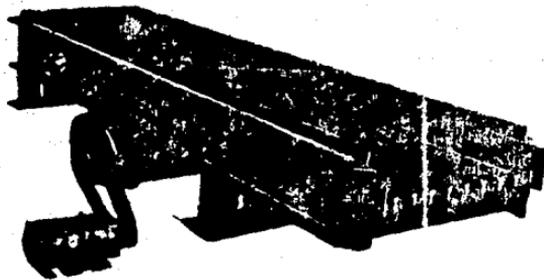


Figura No. 27.- Alimentador vibratorio con rejilla de pre-cribado.

III.3.3.- TRANSPORTADORES DE BANDAS.

Para el manejo de los materiales granulares en las plantas de producción de agregados pétreos se utilizan básicamente las bandas transportadoras, equipo de mecánica simple y de gran eficiencia en el transporte de cualquier tipo de material a granel.

Varios tipos de transportadores de banda se han diseñado para satisfacer las amplias necesidades de la industria en general, para el manejo de cualquier clase de materiales, pero todos constan de una cinta o banda de hule reforzada con capas de lona o de nylon, en anchos de 18", 24", 30", 36", 42", 48", 54", 60", etc., montada sobre trenes de tres rodillos uniformemente espaciados, accionada por una polea de cabeza motriz que a su vez es accionada por un moto-reductor eléctrico, que le imprime a la banda una velocidad líneal que va de 100 a 600 pies por minuto en la mayoría de

los casos, para transportar de este modo un flujo uniforme de material. --

La estructura de soporte de los transportadores de banda, es de acero estructural tipo celosía para transportadores grandes, o tipo vigueta de canal para los transportadores medianos y pequeños.

Para los grupos móviles de trituración existen diseños de bandas transportadoras portátiles, fácilmente transportables, que no necesitan ningún trabajo de cimentación.

Existen sistemas de transporte por medio de bandas de varios kilómetros de longitud, sobre todo en la industria minera, por ser un medio económico y eficaz, justificándose ampliamente la relativamente elevada inversión inicial, en el manejo de grandes volúmenes de minerales.

III.3.4.- ELEVADORES DE CANGILONES.

Es un tipo de equipo de elevación de materiales a granel, que consiste básicamente en una serie de botes o cangilones montados bien sobre cadenas o bien sobre una banda de hule. Tanto las cadenas como las bandas están -- animadas de movimiento líneal, que permite la elevación de los materiales recogidos por los cangilones en las tolvas de recepción situadas en la parte inferior del elevador.

Si bien es un equipo muy utilizado en las industrias de la cal, cemento, yeso y en minería, en las instalaciones de agregados pétreos ha visto muy disminuída su utilización, con el desarrollo de los transportadores de banda, que en muchos casos sustituyen ventajosamente a los elevadores de cangilones.

En las Figuras Nos. 28, 29, 30 y 31 se muestran diversos tipos de elevadores de cangilones.



Figura No. 28.- Elevador de cangilones montados sobre banda de tipo continuo.

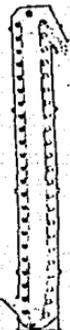


Figura No. 29.- Elevador de cangilones montados sobre cadena, tipo de descarga centrífuga.



Figura No. 30.- Elevador de cangilones vertical, montado sobre cadena, cerrado, especial para la elevación de productos minerales finos y pulvurulentos.

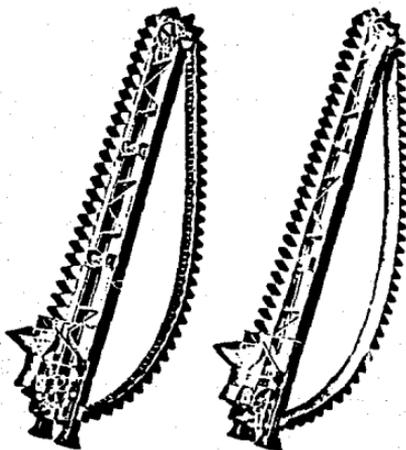


Figura No. 31.- Elevadores de cangilones montados sobre banda, inclinados, abiertos, indicados para la elevación y manejo de gravas y arenas de construcción.

CAPITULO IV.- PRODUCCION.

Producción de la Mezcla Asfáltica.

IV.1.- DISEÑO DE MEZCLAS.

No obstante que las fuentes de aprovisionamiento de los agregados hayan sido analizadas en las etapas preliminares, que las fuentes hayan sido utilizadas satisfactoriamente en trabajos anteriores, es importante que se haga una verificación de la calidad de los agregados y del contenido de asfalto recomendado.

Al contratista deberá sugerirsele probar con anticipación la planta de asfalto unos cuantos días antes de dar comienzo a la pavimentación, para que los ingenieros puedan checar y probar el agregado y establecer el diseño de la mezcla.

Ocasionalmente se hará necesario hacer ajustes en el diseño de la mezcla, tomando en cuenta la fuente de aprovisionamiento del agregado y obtener la mejor utilización de la producción del mismo, conforme a las especificaciones.

El rango del contenido de asfalto en las muestras preliminares es determinado en el laboratorio.

IV.2.- PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DE LAS MEZCLAS.

- 1.- Muestras representativas del asfalto y de los agregados que se pongan usar, serán remitidas al laboratorio para su análisis y recomendaciones. Deberán ejecutarse pruebas que no puedan hacerse en el campo, referentes a la calidad requerida.
- 2.- Se deberán obtener muestras representativas de los agregados de cada tolva de almacenamiento y se les hará un análisis granulométrico para determinar la forma en que se deberán combinar.
- 3.- Una prueba del equivalente de arena será hecha con el objeto de comprobar la calidad especificada.
- 4.- Los porcentajes de cada uno de los tamaños de material contenido -

en las diversas tolvas de almacenamiento, deberán ser determinados para la mejor utilización del material producido y para que la granulometría quede dentro de lo especificado.

- 5.- La prueba del equivalente centrífugo de la kerosena (ECK) deberá practicarse para tener una indicación aproximada de la cantidad de asfalto requerida.
- 6.- El peso de una bacha no debe exceder de la capacidad del mezclador.

IV.3.- INSPECCION DE LA PLANTA.

El control básico más importante de una planta asfáltica necesario para la construcción adecuada de una carpeta asfáltica es:

- 1.- Uniformidad de la granulometría de los agregados.
- 2.- Uniformidad de la proporción de la cantidad de agregados pétreos y del aglutinante bituminoso.
- 3.- Uniformidad de la temperatura de la mezcla terminada.

IV.4.- "ALIMENTACION FRIA".

La operación de la planta relacionada con el movimiento del agregado desde los almacenamientos hasta el secador, es lo que se denomina "Alimentación Fría".

El control de la granulometría y de la cantidad de agregado en la "Alimentación Fría" es un requisito primario para obtener una operación uniforme de la planta.

Puede afectar adversamente a la "Alimentación Fría", diferentes circunstancias como: una operación de almacenamiento inapropiada, un mal funcionamiento de las bandas de alimentación o de las compuertas y también la variación de la humedad de los agregados.

IV.5.- SECADOR.

El secador es un tambor o cilindro en el cual el agregado es secado y

calentado por un quemador de gas u otro combustible como el diesel. Las -- paredes del cilindro están forradas con capas o canales llamadas elevado-- res o elevadores de paletas, las que vierten el agregado formando un velo o cortina a través de los gases calientes. La pendiente del secador, el -- diámetro, su longitud, el arreglo de los elevadores, el número de ellos y las R.P.M., controlan el tiempo de secado.

El calor es generado por un quemador en que el gas es encendido y quemado o el aceite combustible (diesel) es atomizado y quemado por vapor o - aire.

El aire es necesario para atomizar el aceite combustible al ser expulsado por la tobera del quemador para lograr una completa combustión y lograr la corriente del aire a la succión necesaria, para llevar la combustión de los gases a través del secador.

Quando el aceite combustible no sea quemado completamente, hay tendencia a depositarse "negro de humo" y residuos de aceite en las partículas - del agregado caliente, haciendo posteriormente difícil el cubrimiento de - las mismas por el asfalto. Una indicación de que la combustión es incompleta en el secador, es el humo que sale por la chimenea del mismo. Indica-- ciones de que existe un tiro insuficiente de aire a través del secador, -- son soplos intermitentes en el extremo del secador en que se produce la -- combustión o bien que la llama entra al tambor a una corta distancia. La - llama deberá penetrar alrededor de la tercera parte a la mitad de la longi tud del tambor.

Si el secador no calienta el agregado suficientemente, puede ser debido a que esté sobrecargado.

Un secador típico está ilustrado en la Figura No. 32.

De la Figura No. 32.

A6.- Elevador de fríos.

- 1.- Extremo del cargador del secador.
- 2.- Secador rotatorio.

- 3.- Abanico que desarrolla la succión.
- 4.- Colector de polvo (Tipo Ciclón).
- 5.- Compuerta ajustable del control del vertedor de polvo.
- 6.- Vertedor del exceso de polvo.
- 7.- Retorno uniforme del polvo al elevador de calientes.
- 8.- Quemador y extremo de descarga del secador.
- 9.- Aparato indicador de temperaturas.
- 10.- Elevador de calientes.

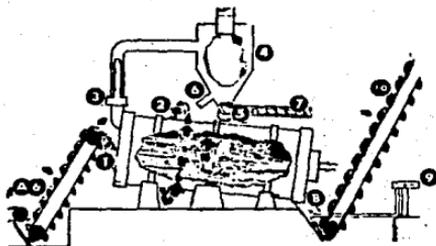


Figura No. 32.- Sección del secador y del colector de polvo.

IV.5.1.- DETERMINACION DE LA HUMEDAD.

Una comprobación rápida del contenido de humedad de una fuente particular de agregados, puede ser hecha de la siguiente manera:

- 1º.- Se toma una palada de agregado del secador a la salida del tubo de descarga.
- 2º.- Se observa cualquier mancha de vapor o de humedad en el agregado.
- 3º.- Se pasa un espejo limpio, una espátula brillante y seca, una navaja u otro instrumento similar sobre el agregado, haciendo esta operación lentamente sobre dicho agregado y se observa la cantidad de humedad condensada.

IV.5.2.- APARATOS INDICADORES DEL CALOR.

Los aparatos indicadores del calor son importantes para el control de la operación y deben trabajar dentro de las tolerancias especificadas.

Deberán ser de uno de los tipos siguientes:

- 1.- Termómetros Mecánicos.- Termómetros metálicos con grandes carátulas; son baratos y toscos, son piezas durables del equipo y fácilmente pueden reemplazarse.
- 2.- Pirómetros Eléctricos Indicadores.- Este tipo de aparatos indicadores del calor son generalmente galvanómetros con los cuales se miden corrientes eléctricas inducidas, muy pequeñas, por el calor del agregado que pasa sobre el elemento sensible.
- 3.- Pirómetros Eléctricos Registradores.- Este tipo de instrumentos es similar al pirómetro indicador, excepto en que la parte principal es un potenciómetro (un instrumento usado para medir o comparar -- fuerzas electro-motrices, usando una fuente de energía exterior -- que opera el instrumento). Las temperaturas se registran por medio de gráficas, lo que constituye un récord permanente.

El elemento sensible deberá ser instalado en tal forma que sobresalga dentro de la principal corriente de agregado. Puede ser instalado por medio de tornillos dentro de una camisa soldada a las paredes del tubo de -- descarga del secador. Estará localizado de tal manera que no sea afectado por el calor reflejado por el quemador y estar aislado por la camisa, a -- través de las paredes del tubo de descarga. Véase la Figura No. 32.

La comprobación de la exactitud del aparato indicador de calor se hace por medio de un termómetro calibrado exactamente y que está insertado en -- un baño de aceite o de asfalto, el cual es calentado lentamente al rango -- de la temperatura que se espera poder secar el agregado y las lecturas de los dos instrumentos deberán de concordar.

IV.6.- COLECTOR DE POLVOS.

La mayoría de los colectores de polvos son del tipo ciclón, los que --

operan bajo el principio de la separación centrífuga, en donde las partículas gruesas se van al fondo y las partículas finas salen por la parte superior.

Los sistemas colectores de polvos, sirven para dos propósitos: para proporcionar una adecuada corriente de aire a través del secador y la otra coleccionar y regresar una cantidad uniforme de material fino que fue secado por la corriente de aire, la que automáticamente derrama el exceso. El colector de polvo está ilustrado en la Figura No. 33.

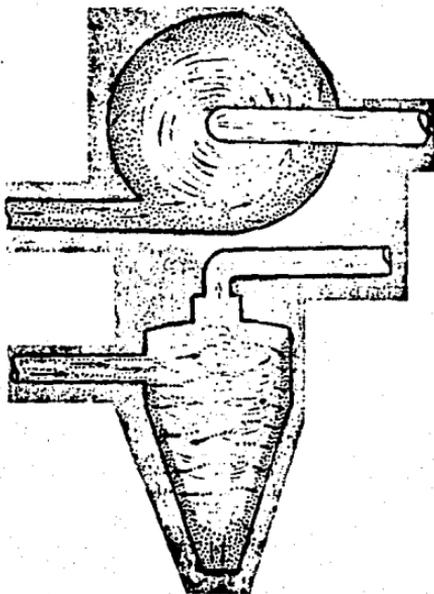


Figura No. 33.- Colector de polvos.- Las partículas gruesas son descargadas por el fondo y las finas por la parte superior del colector.

IV.7.- CRIBAS.

Se usan cribas para separar el agregado en tamaños. El arreglo de las cribas en el bastidor correspondiente de una planta es tal, que el material primeramente tamizado es el fino, seguido de materiales cuyo tamaño va en aumento. El tamiz fino generalmente es el factor límite de la producción; un tamiz de un cuarto de pulgada aproximadamente, cribará una tonelada por hora por pie cuadrado de área de tamiz. Cuando la producción es incrementada más allá de la capacidad de tamizado, arrastra una fracción del siguiente tamaño del que está tamizando. El arrastre puede ser corregido, disminuyendo la producción, incrementando el área de cribado o modificando el tamaño de las aberturas de las cribas. Figura No. 34.

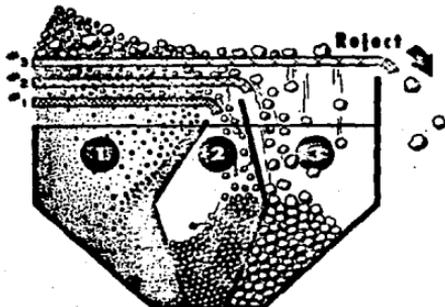


Figura No. 34.- Arreglo típico de cribas y tolvas de agregados.

La cantidad de material de mayor tamaño, así como la de menor que se encuentra en las tolvas, está controlada por las especificaciones. Una granulometría fuera de especificaciones será corregida vaciando las tolvas y retamizando el material.

FACTORES QUE AFECTAN EL CRIBADO.

1.- Cantidad de material por pie cuadrado de área del tamiz y por hora.

- 2.- Tipos y tamaños de las aberturas de los tamices.
- 3.- Tendencia a obstruirse los tamices.
- 4.- Dirección y longitud del canal en los tamices acanalados.
- 5.- Cantidad de material extraño en los agregados minerales.
- 6.- Forma de las partículas del material que debe ser tamizado.
- 7.- Velocidad, dirección y amplitud de rotación, vibración, excentricidad o tipo de cribas.
- 8.- Humedad de los agregados.
- 9.- Desgaste, agujeros, roturas de la tela del tamiz.

IV.8.- TOLVAS.

Las tolvas tienen por objeto almacenar el material seco y caliente, el cual ha sido procesado y tamizado en fracciones de varios tamaños, listos para hacer el proporcionamiento.

Cada tolva es un compartimiento individual o un segmento de un compartimiento grande el cual ha sido dividido por separadores. Las divisiones - deben ser sólidas, libres de agujeros y lo suficientemente altas para evitar que el agregado se mezcle con el contenido del compartimiento adyacente.

Cada tolva está provista de vertedores de demasías para controlar el - nivel del material y evitar el derrame de una tolva sobre otra. Los tubos de descarga de los vertedores de demasías están provistos de puertas - li--- bres para desalojar cualquier material sobrante en las tolvas. Ver Figura No. 34.

En la Figura No. 34. La tólva No. 1 contiene el material fino, el que está sujeto a considerable segregación a causa de la rapidez de su criba-- do, mientras que los tamaños grandes recorren la cama de las cribas antes de caer en las tolvas. Por la criba No. 1, se retiene el material de la -- Tolva No. 2 y dicha criba está sujeta a una sobrecarga pudiendo ser este - un factor que puede afectar la producción de la planta, en aquellos casos, en que sea muy pequeña o se obstruya.

La Tolva No. 2 contiene el tamaño siguiente más grande del material -- que será usado.

La Tolva No. 3 contiene el tamaño más grande del material que va a --- usarse.

IV.9.- PLANTAS DE ASFALTO.

IV.9.1.- PROPORCIONAMIENTO.

El proporcionamiento de los diversos ingredientes de las mezclas de -- asfalto, deberán llevarse a cabo tanto con relación al volúmen como al peso. El método de proporcionamiento puede involucrar operaciones manuales o automáticas. Si la operación automática es requerida, ésto deberá establecerse en las especificaciones complementarias.

El proporcionamiento en función del volúmen es usado tanto en plantas continuas como en las de bachas (discontinuas); en la actualidad, el proporcionamiento en peso de los componentes de la mezcla se usa sólo en las plantas discontinuas. Figuras Nos. 35 y 36.

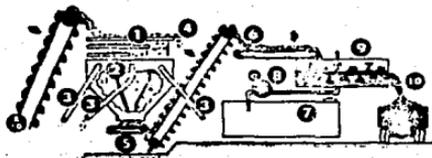


Figura No. 35.- Planta de mezclado continuo.

En la Figura:

B10.- Continuación del elevador de calientes.

1.- Cama de cribas.

2.- Tolva para los agregados calientes.

3.- Tubos vertedores de sobrantes.

4.- Rechazo de tamaños mayores.

5.- Alimentador de agregados proporcionados (tipo de correa de trans misión).

- 6.- Colector elevador de agregado al sistema de mezclado.
- 7.- Tanque de almacenamiento de asfalto.
- 8.- Bomba para el asfalto, motor y sistema de alimentación.
- 9.- Mezclador amasador.
- 10.- Mezcla completa que se descarga en los camiones.

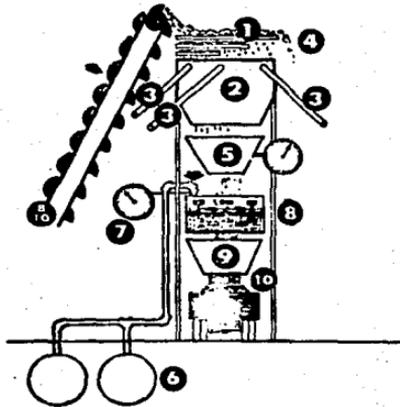


Figura No. 36.- Planta de mezclado discontinuo (tipo de Bachas).

En la Figura:

B10.- Elevador caliente.

1.- Cama de cribas.

2.- Tolvas de agregados calientes.

3.- Tubos vertedores de sobrantes.

4.- Rechazo de tamaños mayores.

5.- Cajón de medida del agregado de la bacha.

6.- Tanque de almacenamiento del asfalto.

- 7.- Sistema de medida del asfalto para la bacha.
- 8.- Mezclador amasador.
- 9.- Tolva de descarga de la mezcla asfáltica.
- 10.- La mezcla terminada se descarga en los camiones.

IV.9.1.1.- PROPORCIONAMIENTO DE PLANTAS DE BACHAS.

El proporcionamiento por bachas y en función del peso, se lleva a cabo por descarga de cada uno de los diversos tamaños de agregado almacenado en las tolvas a una caja pesadora, a un ritmo de proporcionamiento predeterminado. El material se descarga luego dentro del mezclador, al que se le aña de posteriormente el asfalto, con lo que se complementa la bacha. En el caso de proporcionamiento en función del volúmen, los diferentes tamaños de los agregados son medidos en recipientes de volúmen predeterminado los que descargan directamente en el mezclador.

La secuencia de las entregas del agregado de las tolvas de almacena--- miento al cajón de pesadas debe ser la siguiente: primero el material grueso, luego el medio y en último lugar, la arena. Si se usan más de tres tamaños, deberá seguirse el mismo orden de entrega, es decir, de grueso a fino. Otro orden de pesadas puede usarse también para facilitar el premezclado de los agregados en el cajón de pesadas, pero la arena nunca deberá ser pesada primero.

El peso del material libre que cae de las tolvas de almacenamiento al cajón de pesadas, después de que las compuertas han sido cerradas, debe -- ser considerado en el proceso de la bacha. La carga, del cajón de pesadas debe ser uniforme para evitar el desvío del mismo, provocando contactos -- con los soportes guías de la planta.

Se checarán las compuertas tanto en las tolvas de almacenamiento, las del cajón de pesadas; las partes gastadas, los agujeros, etc., son factores que pueden producir escapes, cuando las compuertas están cerradas.

IV.9.1.2.- PRODUCCION DE LA BACHA.

Una práctica mala de parte de algunos operadores que manejan la planta o los dosificadores, es el manipular las pesadas con el interés de aumentar la producción de la planta o de lograr una economía de la producción. - Esto se vuelve especialmente cierto si el operador de dosificación ha de esperar que una u otra tolva de almacenamiento se llene antes de completar las pesadas; si la espera es muy larga, él puede tratar de completar las pesadas, sacando una cantidad extra de una de las tolvas de almacenamiento, en lugar de la tolva que le corresponde. Esto también puede acontecer en el caso de que un tamaño del agregado sea más caro o difícil de obtener o cuando hay un exceso de un tamaño que deba ser desperdiciado. En el primer caso la regulación de la alimentación en frío del secador, corregirá las cantidades almacenadas o un ligero cambio en los porcentajes secados de cada tolva de almacenamiento, puede corregir esta condición. En cualquier caso, debe prestarse atención a los procedimientos del operador de la báscula, bajo la rutina de las condiciones de operación.

En el caso del proporcionamiento de la bacha en función del volumen, esta determinación está afectada por el tamaño y la forma del cajón de medida, las condiciones del interceptor de entrega, del estado del sistema de descarga de las compuertas, de la acción correcta de dichas compuertas y de los interceptores, así como de la cantidad de material que contenga el cajón de medida.

Después de que se ha pesado del material la cantidad correspondiente de cada tolva de almacenamiento para formar una bacha, el encargado inspeccionará personalmente la marca de la báscula que señale el peso del material que deba retirarse de cada tolva; dichas marcas deberán estar situadas en el punto apropiado. Este procedimiento será seguido para el señalamiento inicial, así como para cualquier cambio correspondiente, vigilando que dichas señales estén en el lugar adecuado. Este señalamiento controla la cantidad de material que deberá tomarse de cada tolva para formar cada bacha de mezcla. Un señalamiento erróneo de la báscula hará que la bacha quede fuera de especificaciones.

Una de las causas principales que producen fallas en los pavimentos -- bituminosos, es el contenido incorrecto de asfalto. En muchos casos se ha encontrado que esto se debe exclusivamente a las básculas pesadoras de asfalto. Es fundamental que las básculas de asfalto deban de chequearse diariamente y ver que el cero esté colocado apropiadamente, que las palancas de la báscula y las cuchillas se muevan libremente y que el sistema de palancas trabaje con libertad. Una de las causas más comunes de un mal funcionamiento es el recubrimiento con asfalto o con polvo, o la corrosión y desgaste de las cuchillas del sistema de palancas. En algunos casos se ha encontrado que el cubo del asfalto no oscila libremente en todas las circunstancias. La condición anotada arriba, concerniente a la libertad de movimiento en el sistema de la báscula del asfalto, también debe de aplicarse al sistema de pesado de los agregados.

IV.9.1.3.- PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLADO CONTINUO.

El proporcionamiento volumétrico continuo tanto del agregado como del asfalto, es un requisito previo para producir una mezcla uniforme en la -- planta de mezclado continuo. Las especificaciones requieren que ciertos de talles de coordinación de secuencia sean incorporados en la planta. Tales características son los alimentadores, el sistema de señales, el muestreo o calibración de compuertas de las tolvas y un funcionamiento correcto de la bomba de asfalto.

Las plantas mezcladoras deben de estar equipadas con contadores de revoluciones, que se usarán en la calibración de la planta. El contador elimina ciertas variables que pueden ocurrir si la calibración se hace a base de tiempo o de toneladas por minuto.

Los contadores deberán instalarse de modo que reflejen la acción de -- los alimentadores y no esten influenciados por la caja de velocidades o el embrague (clutch).

Los alimentadores de agregados son las unidades mediante las cuales se hace el proporcionamiento de la planta. El tipo de material, las caracte--

rísticas de la superficie, la forma de los agregados, la humedad o la exudación de las tolvas, la vibración de la planta, la velocidad de rotación de los alimentadores de las tolvas, todos tienen algún efecto en la uniformidad de la alimentación. Por esto, al calibrar los alimentadores para cumplir con el diseño de la mezcla, deberán eliminarse la mayoría de las variables.

Las especificaciones requieren que el cajón de pesadas esté provisto de muestreadores, calibradores y tener manera de comprobar la producción del alimentador. Para cambios de agregados o de su origen, deberá hacerse una nueva carta o gráfica de calibración.

IV.9.1.4.- CALIBRACION DE LAS COMPUERTAS DE LOS ALIMENTADORES DEL AGREGADO.

- 1.- Deberá haber suficiente cantidad de agregado del mismo tipo para ser usado en la mezcla, listo para ser secado y calentado.
- 2.- La planta de cribado deberá proporcionar el tamaño correcto de agregado en cada tolva de almacenamiento.
- 3.- La planta debe operar en tal forma que llegue suficiente cantidad de material a cada una de las tolvas de almacenamiento, a la temperatura normal de trabajo y se distribuyan las cantidades requeridas de cada tamaño para su mezclado. Las tolvas deben llenarse más de la mitad.
- 4.- Las compuertas de cada una de las tolvas se fijarán a la mínima abertura y se operará la planta a su ritmo normal de producción, de tal manera que dos o tres revoluciones del contador correspondiente al alimentador, permita establecer un flujo uniforme a través de la compuerta de dicho alimentador.
- 5.- El contador de revoluciones deberá de ser leído al centésimo más cercano y el material del alimentador desviado al muestreador del cajón de pesado. El material deberá permitirse que entre al cajón de pesadas, hasta que uno de los compartimientos esté cercano a llenarse.

- 6.- Se paralizará el alimentador y el contador de revoluciones será -- leído otra vez. Se anotará la diferencia de lecturas.
- 7.- Se anotará el peso total del cajón de pesadas, se vaciará el com--partimiento y a la vez se determinará el peso del material de cada tamaño.
- 8.- El peso del material de cada tamaño se divide entre el número de - revoluciones, para determinar el peso por revolución de cada posi--ción de la compuerta.
- 9.- Se tomarán muestras de cada compartimiento para ejecutar la prueba de campo en conexión con el control de calidad y del diseño de la mezcla.
- 10.- El procedimiento será repetido para cada incremento de la abertu--ra de la compuerta. Se deberá probar como mínimo cinco posiciones de la compuerta. Con cada cambio de abertura de la compuerta, los alimentadores deberán suministrar suficiente cantidad de material, para al alcanzar el nuevo nivel de la compuerta en el punto de des--carga, antes de dar principio a la prueba de calibración. El cajón de muestreo deberá de limpiarse antes de cada prueba.
- 11.- El resultado de la prueba de calibración deberá registrarse en --- una forma tabular y dibujarse en un papel estándar de gráficas, -- mostrando libras por revoluciones, contra pulgadas de abertura de cada compuerta. Con estas gráficas será posible establecer la abe--rtura de la compuerta para cualquier combinación deseada para un - agregado dado.
- 12.- En el caso que el alimentador de agregados esté controlado elec---tronicamente (como los alimentadores vibratorios), la calibración se hará por medio de un cronógrafo. Los datos de las gráficas ---- muestren libras por minuto contra voltaje.

IV.9.1.5.- CALIBRACION DE LA BOMBA PARA EL ASFALTO.

Las especificaciones requieren una bomba del tipo de desplazamiento di

recto; la válvula de presión auxiliar deberá ser removible o sellada. La velocidad de entrega es variable con los diferentes tipos de bombas. Las bombas de asfalto deberán ser calibradas en libras por revoluciones como los alimentadores del agregado, contra las posiciones de la bomba o su relación de engranes.

Se requieren medidores de presión a ambos lados de la bomba que indiquen cualquier cambio súbito, con el que pueda ser afectada la cantidad de asfalto bombeado.

Una vez que la planta esté en plena producción, la exactitud de la bomba puede ser checada por medio de las cantidades entregadas a través de los alimentadores de asfalto y de las marcas medidoras de los volúmenes almacenados en el tanque.

IV.9.2.- TANQUE PARA EL ASFALTO.

IV.9.2.1.- SISTEMA CIRCULATORIO Y EL CALENTAMIENTO.

Las especificaciones requieren una circulación de asfalto a través de la línea de alimentación y del sistema de almacenamiento. Todos los tanques de almacenamiento, líneas de transporte, bombas, etc., deberán tener serpentines de calentamiento o estar encaquetados y calentados, con el objeto de mantener efectivamente la temperatura requerida para el manejo del asfalto. Las líneas de retorno deberán descargar dentro de los tanques de almacenamiento a un nivel inferior al de la superficie del asfalto, con el objeto de evitar la oxidación y el recalentamiento del producto. Para facilitar el drenaje de las líneas, se harán 1, 2 ó 3 ranuras verticales en las líneas de retorno dentro del tanque, a una altura superior al nivel más alto del producto almacenado. La llave para el muestreo del asfalto será instalarse en la línea de alimentación y no en la de retorno.

La llave deberá estar aislada y caliente y es necesario evitar obturaciones con el asfalto frío.

IV.9.2.2.- CONSUMOS DE ASFALTO.

El encargado deberá tomar de mañana y tarde lecturas que le permitan -
chechar los consumos de asfalto durante la operación de la planta.

El encargado deberá checar las cantidades consumidas de asfalto por --
medio de las marcas de aforo del tanque de almacenamiento, con la cantidad
teórica necesaria para fabricar la bacha, el peso del material mezclado y
los registros de la báscula. Las especificaciones requieren un contador de
bachas fabricadas en las plantas discontinuas y un contador de revolucio--
nes en las plantas continuas; por lo tanto, en función de las proporciones
y la cantidad de la mezcla preparada, es posible calcular la cantidad de -
asfalto usada.

IV.9.3.- MEZCLADORES.

Tanto las plantas discontinuas como las continuas usan los mezcladores
del tipo "amasador". El mezclado consiste en una cámara de mezclado con --
dos ejes horizontales, sobre los cuales están montados los sistemas de pa-
letas. La zapata del extremo de las paletas y la cámara de mezclado revec-
tida, son intercambiables y reemplazables. La principal diferencia entre -
los mezcladores de plantas de tipo continuo y de las de tipo discontinuo,
es la colocación de las zapatas de las paletas y la dirección del despla--
zamiento.

Cuando los mezcladores estén sobrecargados, una parte del material ---
flotará sobre los extremos de las paletas y no será arrastrado dentro de -
la masa de la mezcla. Inversamente, con poco material, éste no será mezcla
do adecuadamente, puesto que el extremo de las paletas arrastrará al mate-
rial, proporcionando poca acción mezcladora.

IV.9.3.1.- MEZCLADORES DE PLANTAS DISCONTINUAS.

Los dos mezcladores más comunes son patentados y conocidos bajo la de-
nominación de "figura en ocho" y la de "recorrido en redondo". Figuras ---
Nos. 37 (a) y 37 (b).

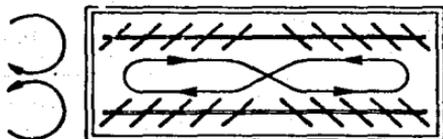


Figura No. 37 (a).- Arreglo del movimiento "en figura en ocho".

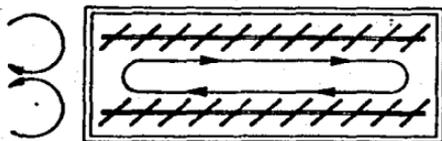


Figura No. 37 (b).- Arreglo del movimiento de "recorrido en redondo".

IV.9.3.2.- MEZCLADORES DE PLANTAS CONTINUAS.

En el mezclador de producción continua, las paletas están colocadas de manera que puedan empujar las partículas a través del mezclador. Si el material no es mezclado completamente, unas cuantas paletas deberán girarse de manera que se opongan al movimiento de avance de la mezcla dentro del mezclador.

El tiempo de mezclado es una función de la longitud del mezclador y de la velocidad con que se mueve el material a través del mismo.

El mezclado más eficiente se obtiene cuando el nivel del material en el mezclador está en la cúspide de las paletas en toda la longitud de la cámara de mezclado. La alimentación debe ser continua y uniforme para obtener los mejores resultados.

Las plantas de asfalto continuas no requieren marcador de tiempo.

El tiempo de mezclado está controlado por la colocación del orificio -- de descarga y de la velocidad de flujo de la mezcla. El tiempo de mezclado puede ser determinado por:

- 1º.- El principio y el fin de la corriente de asfalto y el tiempo que se requiere para que la mezcla esté uniformemente recubierta.
- 2º.- Arrojando pequeños objetos dentro de la corriente de material y -- midiendo el tiempo hasta que aparece en el extremo del tubo de descarga.
- 3º.- Parando el mezclador, midiendo el volúmen de material dentro del mismo y dividiendo este volúmen entre el promedio del volúmen por segundo de descarga del mezclador, para obtener el tiempo de mezcalado.

IV.9.4.- TOLVAS DE ALMACENAMIENTO DE LA MEZCLA TERMINADA.

Las tolvas pueden ser pequeños compartimientos con capacidad para pocas cantidades de material, digamos uno o dos minutos de producción en el caso de que los camiones se muevan lentamente para colocarse en posición de carga o pueden ser tolvas grandes de almacenamiento. Esto evita tiempos ociosos del mezclador y ahorra tiempo de carga de los camiones.

La segregación será siempre un problema en las tolvas, a menos que se instales aparatos de control. No debe permitirse que la mezcla permanezca en las tolvas por un tiempo que provoque la pérdida de temperatura e influya adversamente en la operación de tendido.

IV.9.5.- MUESTREO.

En las plantas de asfalto discontinuas (de bachas), las muestras de agregados se toman de cada tolva, en el momento de descarga en el cajón de pesadas. La especificación requiere que se tengan facilidades para muestrear en este lugar y también en cada uno de los extremos del amasador.

Al llegar el material al juego de cribas, las partículas más finas -

pasan primero a través de la malla correspondiente y después se depositan en la pared de la tolva más próxima al extremo de entrada de la malla. Inversamente, el material grueso viaja más lejos sobre la malla y se deposita en la pared opuesta de la tolva. Este es un detalle importante para analizar los métodos usados en el muestreo de la descarga de las tolvas. Esta condición de estratificación vertical es más pronunciada y crítica en la tolva No. 1 (tolva de finos), puesto que es el material que tiene más influencia en el consumo de asfalto.

En las plantas de asfalto continuas, el aparato muestreador forma parte de la planta, lo que asegura un muestreo representativo del material vertido en los compartimientos de la tolva.

IV.9.5.1.- PRUEBAS INICIALES.

Tan pronto como las operaciones completas se han llevado a cabo, se toma una muestra de la mezcla terminada y se remite al laboratorio para su análisis. Las primeras muestras de la mezcla remitida, deberán etiquetarse con la marca "prioridad", para asegurarse que los resultados se conozcan en la planta lo más pronto posible. De los resultados de estas pruebas, será posible decidir si el diseño original es satisfactorio o si se requiere practicar ligeros ajustes.

IV.9.5.2.- PRUEBAS RUTINARIAS.

Después de que la mezcla diseñada se ha corregido satisfactoriamente para obtener las menores discrepancias en los primeros días de la producción, solamente será necesario hacer algunas pruebas rutinarias para asegurarse de que la mezcla no se ha salido de las especificaciones. Esto normalmente se hace practicando como mínimo dos análisis granulométricos y dos pruebas de equivalente de arena al día. En todos los casos, cuando se nota claramente que la mezcla está en el límite de las especificaciones, se tomarán precauciones adicionales en esta etapa, y se pondrá mayor atención en las pruebas, para determinar si la mezcla permanece aún dentro de las especificaciones.

IV.9.5.3.- LISTA DE COMPROBACIONES - OPERACION DE LA PLANTA.

Los siguientes son algunos de los pasos específicos que deberán tomarse en cuenta y los detalles que serán chequeados por el encargado para asegurarse de la calidad de la mezcla.

- 1.- Homogeneización de los agregados en los almacenamientos, especialmente dentro del túnel.
- 2.- Operación del equipo de alimentación del túnel, del alimentador --- frío y del secador.
- 3.- Los quemadores deben de funcionar a combustión completa.
- 4.- Los pirómetros deberán de trabajar con exactitud con el objeto de - lograr un mínimo retraso en el tiempo.
- 5.- Operación del colector de polvo y su capacidad de desperdicio y de recuperación de finos.
- 6.- La planta de cribado y su eficiencia.
- 7.- Vertedores de sobrantes y canales de las tolvas.
- 8.- Todas las instalaciones de las básculas deberán ser supervisadas -- personalmente.
- 9.- Checar diariamente las palancas de las básculas de los agregados y del asfalto, los sistemas de apoyo para asegurarse de la libertad - de movimientos y la operación satisfactoria de las cuchillas y la - exactitud de la posición del cero de las básculas.
- 10.- La operación y la exactitud del aparato medidor del tiempo de mez-- clado.
- 11.- Observar al operador de la mezcladora para asegurarse de los procedi- mientos de preparación de la bacha y que éstos sean los correctos.
- 12.- Asegurarse que todo el agregado mineral ha sido uniformemente cu--- bierto y que no hay zonas escasas de asfalto en el mezclador.
- 13.- Ver que no haya exceso de combustible o de diesel en la caja de los camiones utilizados en el transporte de la mezcla.
- 14.- Sondear el tanque de almacenamiento del asfalto todas las mañanas y las noches para determinar las cantidades de asfalto utilizado. Lle

var un registro completo de estos datos.

- 15.- Estar enterado de las medidas de seguridad en general que sean necesarias alrededor de la planta.
- 16.- Ejecutar las pruebas de campo para el control de la producción.

IV.10.- PRODUCCION DE LA MEZCLA ASFALTICA EN LA PLANTA DEL DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL.

IV.10.1.- GENERALIDADES.

Actualmente la Planta de Asfalto del Departamento del Distrito Federal, cuenta con tres plantas productoras de mezclas asfálticas, las cuales se denominan como: Planta No. 5, Planta No. 6 y Planta No. 7. Las materias primas utilizadas en cada planta son:

- Asfalto; proveniente de las refinerías de Tampico, Tamps. y la de Salamanca, Gto.
- Material pétreo (basáltico), el cual se obtiene de terrenos pertenecientes a la Universidad Nacional Autónoma de México.

Del sistema de trituración, el material triturado es transportado a tres diferentes conjuntos, de donde, por medio de bandas transportadoras es conducido a las tres diferentes plantas productoras, en donde se lleva a cabo la producción de la mezcla asfáltica.

IV.10.2.- PLANTA No. 5.

IV.10.2.1.- DESCRIPCION DEL PROCESO (Figura No. 38).

La capacidad nominal o de diseño de la Planta No. 5 es de 300 ton/hr; pero regularmente se trabaja a una capacidad de 180 a 200 ton/hr (60 a 67%) de producción de mezcla asfáltica.

La mezcla asfáltica consiste de material triturado y asfalto en una proporción promedio de 93 y 7%, respectivamente. El material triturado es suministrado de unas tolvas (1) por medio de bandas transportadoras (2) a un se

cador rotatorio (3), con el propósito de que posteriormente se realice una perfecta adherencia entre el asfalto y el material cribado.

La piedra o material triturado, llega con una humedad de 2 a 3% en condiciones normales de operación, por lo que se desprenden en promedio, alrededor de 475 kg/hr de vapor de agua. La humedad se elimina calentando el material triturado de 120 a 140°C con calor proveniente de los gases de combustión de un quemador (4) que utiliza como combustible el diesel. Los gases de combustión fluyen a flujo a contra corriente con el material triturado, consumiéndose al rededor de 6 litros de diesel por tonelada producida de mezcla asfáltica.

El material triturado seco, cae a un elevador de cangilones (5) que a su vez lo deposita en una criba (6), seleccionándose para su depósito en cinco tolvas diferentes (7); hecho lo anterior se procede a pesar tanto el material cribado como el asfalto en una caja pesadora (8), en una proporción material cribado-asfalto previamente establecida; acto seguido, se deja caer el material cribado y el asfalto a una mezcladora de paletas (9), donde se produce la mezcla asfáltica, mezclándose durante un minuto (período de tiempo entre lote y lote) para finalmente ser descargado al camión transportador (10) o removido a unos silos de almacenamiento (11) por medio de un transportador de cadena (12), para su posterior aprovechamiento.

El asfalto suministrado a la mezcladora de paletas se calienta previamente a una temperatura de 120 a 140°C por medio de un aceite térmico, que remueve el calor de un pequeño calentador (13), haciéndose fluir por un serpentín que se encuentra dentro del depósito que contiene el asfalto (14). - El asfalto calentado es bombeado a un compartimiento (15), donde es pesado y después adicionado a la mezcladora.

IV.10.3.- PLANTA No. 6.

IV.10.3.1.- DESCRIPCION DEL PROCESO (Figura No. 39).

La capacidad nominal de la Planta No. 6 es de 600 toneladas, pero se trabaja normalmente a una capacidad de 290 ton/hr (48.3%) y se consumen en

promedio, 4 litros de diesel por tonelada producida de mezcla asfáltica.

El material triturado es llevado a unas tolvas de almacenamiento (1), - por medio de bandas transportadoras (2) a una "banda transportadora pesada" (3) y de ésta última, al secador rotatorio (4).

El calor de un horno (5), producido por la combustión del diesel, es - empleado para eliminarle la humedad al material triturado. Los gases de -- combustión son introducidos en flujo paralelo con el material triturado en el secador rotatorio, calentándose el material triturado de 120 a 140°C, - con el propósito de que se realice una mezcla homogénea material triturado -asfalto, al eliminarse la humedad presente en aquel. La mezcla asfáltica contiene en promedio 93 y 7% de material triturado y asfalto, respectiva-- mente, proporción previamente establecida.

El asfalto se precalienta de 120 a 140°C por medio de un aceite térmi-- co, que remueve el calor de un pequeño calentador (6) haciéndose fluír por un serpentín que se encuentra dentro del depósito que contiene el asfalto (7). El asfalto precalentado, se dosifica por medio de una bomba regulado-- ra de flujo (8) al material triturado, espreándose en el secador rotatorio. Con éste sistema de fabricación continua de la mezcla asfáltica, se elimi-- nan parte de los polvos desprendidos en el proceso de secado.

Esta planta no necesita unidad mezcladora, ya que la mezcla asfáltica se realiza en el secador rotatorio. Posteriormente, un transportador de -- rastras (9) la lleva a tres silos de almacenamiento (10) para finalmente - ser descargada a los camiones transportadores (11).

IV.10.4.- PLANTA No. 7.

IV.10.4.1.- DESCRIPCION DEL PROCESO (Figura No. 40).

La capacidad nominal de la Planta No. 7 es de 400 ton/hr, pero normal-- mente se trabaja a una capacidad de 320 a 350 ton/hr (80 a 87.5%).

El material triturado es llevado a unas tolvas (1) por medio de un trans-- portador de bandas (2) a una "banda transportadora pesadora" (3), la cual - lo conduce al secador rotatorio (4), que trabaja en flujo paralelo con los

gases de combustión, provenientes de un quemador (5) que utiliza como combustible el diesel y consumiéndose en condiciones normales de operación, alrededor de cinco litros de diesel por tonelada producida de mezcla asfáltica.

El porcentaje promedio de material triturado y asfalto, es de 93 y 7%, respectivamente.

El asfalto se precalienta a una temperatura de 120 a 140°C con un aceite térmico, el cual remueve el calor de un calentador (6) y se hace fluir por un serpentín que se encuentra dentro del depósito que contiene el asfalto (7).

El asfalto calentado es suministrado por medio de una bomba medidora de flujo (8) al secador rotatorio donde se dosifica al material triturado, efectuándose de esta forma la mezcla asfáltica en forma continua, la cual es transportada por medio de un elevador de cangilones (9) a tres silos de almacenamiento (10), de donde finalmente se descarga a los camiones transportadores (11).

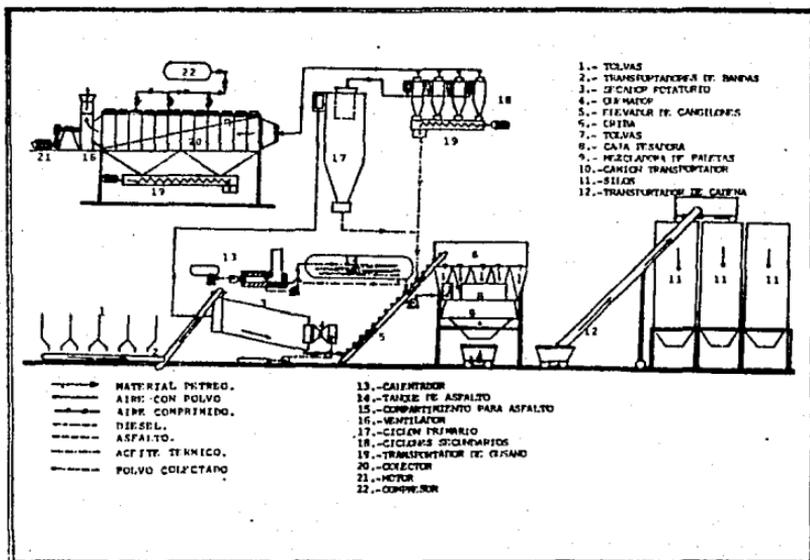


Figura No. 38.- Diagrama esquemático del proceso de obtención de la mezcla asfáltica en la Planta No. 5.

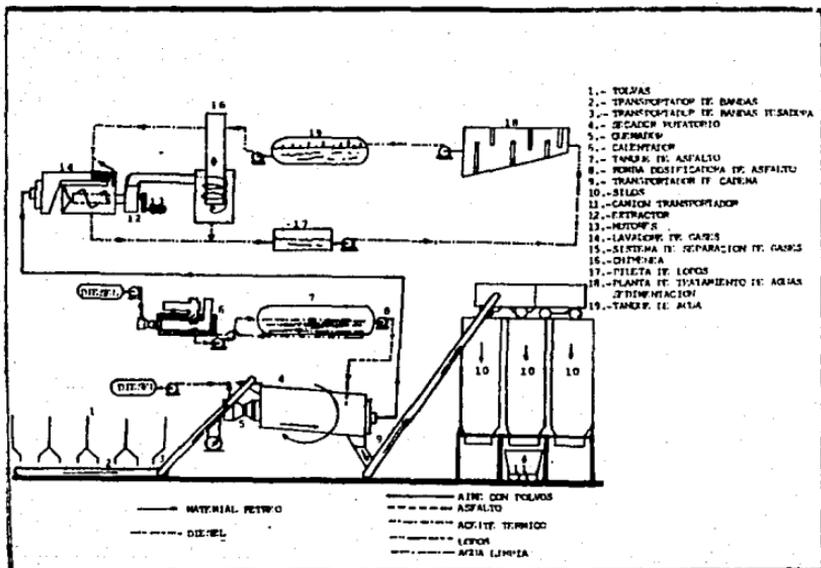


Figura No. 39.- Diagrama esquemático del proceso de obtención de la mezcla asfáltica en la Planta No. 6.

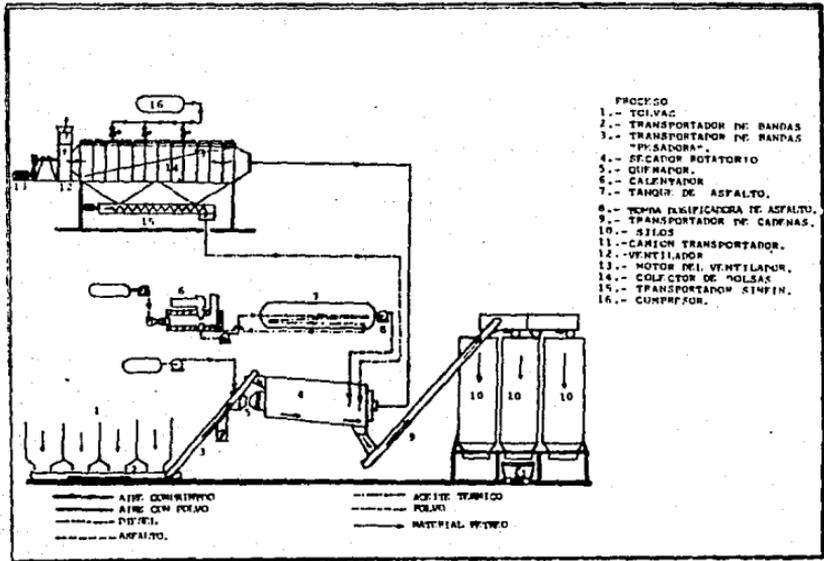


Figura No. 40.- Diagrama esquemático del proceso de obtención de la mezcla asfáltica en la Planta No. 7.

IV.11.- DATOS TECNICOS DE LOS PRODUCTOS ELABORADOS POR LA PLANTA DE ASFALTO.

Las características y especificaciones de las mezclas asfálticas producidas en la Planta son las siguientes.

IV.11.1.- MEZCLA ASFALTICA DE 3/4" CON CEMENTO ASFALTICO No. 6.

Esta mezcla a la que también denominan Concreto Asfáltico, se fabrica utilizando basalto triturado por la Planta de Triturados compuesta por cuatro conjuntos como se mencionó anteriormente.

IV.11.1.1.- GRANULOMETRIA.

| | MALLA | % QUE PASA |
|-----|-------|------------|
| | 3/4" | 100 |
| | 1/2" | 80 - 100 |
| | 3/8" | 70 - 90 |
| No. | 4 | 50 - 70 |
| No. | 8 | 35 - 50 |
| No. | 30 | 18 - 23 |
| No. | 100 | 8 - 16 |
| No. | 200 | 4 - 10 |

La anterior granulometría se denomina IVb y forma parte de la composición del tipo IV para mezclas de granulometría densa, según el Instituto de Asfalto de los Estados Unidos.

Se anexa gráfica de este tipo de material (Anexo No. 1).

IV.11.1.2.- REQUERIMIENTOS DEL MATERIAL PETREO USADO COMO AGREGADO.

Desde que se fundó la planta, el 28 de Junio de 1956, se utiliza material triturado de los bancos basálticos del sur de la ciudad, actualmente se está llevando la extracción en los mantos propiedad de C.U. y en el Pe-dragal de Santa Ursula.

Esta roca basáltica no pasa la especificación de desgaste del "Método -

de los Angeles", en virtud de la imposibilidad de conseguir un material pétreo mejor, se ha estado utilizando.

En cuanto a absorción, equivalente de arena y densidad aparente, el material cumple con las especificaciones correspondientes.

Los valores medios de los parámetros de esta materia prima son los siguientes:

| | |
|---------------------------------|-------------|
| Peso específico masa | 2.69 |
| Absorción, base seca (promedio) | 0.94 % |
| Equivalente de arena | más de 55 % |

IV.11.1.3.- ESPECIFICACIONES DEL CEMENTO ASFALTICO No. 6.

Las características del cemento asfáltico No. 6 difieren un poco de las descritas por el Instituto de Asfalto en lo que se refiere a las viscosidades en virtud de que los productos elaborados por PEMEX no llenan los requisitos por diferencias básicas en la refinación de los crudos.

| CARACTERISTICAS | GRADO |
|--|---------|
| Penetración a 25°C, 100g, 5 seg. | 85/100 |
| Viscosidad a 135°C : | |
| Cinemática, Centistokes | 300/340 |
| Saybolt furol, SSF | 150/170 |
| Punto de inflamación (copa abierta Cleveland), °C | 232 |
| Férdida por calentamiento en películas delgadas: | |
| Penetración después de la prueba, 25°C, 100g, 5 seg., % del original | 47 |
| Ductilidad : | |
| A 25°C, cm | 100 |
| A 15.6°C, cm | - - - |
| Solubilidad en tetracloruro de carbono, % | 99.0 |

IV.11.1.4.- ESPECIFICACIONES DE LA MEZCLA ELABORADA.

Las especificaciones de la mezcla elaborada con los materiales antes -- descritos, siguiendo el Método Marshall para especímenes compactados con 50 golpes por cada extremo, son las siguientes:

| PRUEBA | CRITERIO PARA LA ACEPTABILIDAD |
|--|--------------------------------|
| Fluencia, mm | menor de 4.06 |
| Estabilidad, kg | mayor de 816.5 |
| % Vacíos llenos de aire en la mezcla | 3 a 5 |
| % Vacíos llenos con asfalto en la mezcla | 70 a 80 |
| Peso específico teórico máximo (Rice) | 2.50 |
| Densidad media en el campo al terminar la compactación | 2.25 |

El contenido de asfalto de una mezcla puede variar dentro de un rango - de 0.5 % del obtenido por el Método Marshall.

Las temperaturas de manejo de la mezcla son:

| | |
|-----------------------------|---------------|
| Temperatura de elaboración | 135 a 150°C |
| Temperatura de tendido | 100 a 120°C |
| Temperatura de compactación | mayor de 90°C |

La mezcla asfáltica utilizando cemento asfáltico No. 6 como aglutinante tiene un contenido asfáltico de:

Contenido asfáltico en promedio: 5.9-6.9 % en peso

Esta mezcla que dentro de ésta Planta se denomina 3/4" con 6 no contiene ningún solvente ni adicinante.

Los pesos volumétricos en promedio son:

| | |
|--|------------------------|
| Peso del material al salir de la mezcladora | 1.5 ton/m ³ |
| Densidad media en el campo al terminar la compactación | 2.25 |
| Peso específico teórico máximo (Rice) | 2.50 |

IV.11.2.- MEZCLA ASFALTICA DE 3/4" CON ASFALTO PA-5.

Esta mezcla es elaborada por la Planta cuando algún cliente la solicita.

IV.11.2.1.- GRANULOMETRIA.

Quando se ha llegado a fabricar este producto se ha utilizado exácta--- mente la misma granulometría que para la mezcla asfáltica o concreto asfáltico que tiene por aglutinante el cemento asfáltico No. 6 y que, como se -- dijo anteriormente corresponde a la denominación IVb.

IV.11.2.2.- TIPO Y CONTENIDO DE ASFALTO.

El PA-5 es un asfalto semejante al usado en Inglaterra y según las es-- pecificaciones de la British Standard es un rebajado asfáltico de viscosi-- dad 100 seg S.T.V. (Standard Tar Viscometr) a 40°C, con una penetración de 100 - 200 a 25°C.

El producto inglés está patentado y en esta planta, después de una cui-- dadosa investigación se llegó a la conclusión de que, un rebajado asfáltico a base de cemento asfáltico No. 6 y un solvente de determinadas caracterís-- ticas, agregándole un aditivo amínico que según las pruebas de eficiencia - de aditivos, según el Método Internacional, tiene eficiencia de Nota No. 8, se obtenía un producto muy semejante al utilizado en Inglaterra.

El contenido asfáltico en la mezcla es exáctamente igual al utilizado - cuando se usa cemento asfáltico No. 6.

| | |
|---|-------------------|
| Porcientos máximo y mínimo | 5.9-6.9 % en peso |
| Contenido asfáltico de PA-5 en promedio | 6.4 % en peso |

Las características principales del PA-5 son las siguientes:

| | |
|--|----------|
| Punto de inflamación copa abierta Cleveland, °C | 200 |
| Temperatura óptima de bombeo, °C | 90 |
| Temperatura óptima de mezclado, °C | 110-125 |
| % Volumen de solvente extraído por destilación a 360°C | 5 % máx. |

| | |
|--|---------|
| Temperatura inicial de ebullición, °C | 220-240 |
| Pruebas al residuo de la destilación: | |
| Penetración a 25°C, 100g, 5 seg., mm | 120-240 |
| Temperatura de fusión, esfera y anillo, °C | 43 |
| Pérdida por calentamiento (5 hr a 163°C), % | 0.88 |
| Penetración retenida después de la prueba, % | 58 |

Este producto aún cuando se fábrica como si se tratara de un asfalto -- rebajado, al utilizarlo en el recubrimiento del agregado pétreo, al que los ingleses siguen llamando granulometría de macadam, su comportamiento más -- bién se puede juzgar como el de un cemento asfáltico más blando que el ce-- mento asfáltico No. 6, esto se debe principalmente al tipo de solvente uti-- lizado en la fabricación, que es un solvente con fracciones medias y una pe-- queña cantidad de fracciones pesadas. Las fracciones medias pueden perderse por evaporación durante el proceso de recubrimiento y las pesadas quedan in cluídas en el residuo del rebajado.

IV.11.2.3.- CONTENIDO DE SOLVENTES Y ADICIONANTES.

1) Tipo.

- Solvente especial con fracciones medias en un 90 % y fracciones pesadas en un 10 %.
- Aditivo amínico eficiencia NOTA No. 8.

2) Porcentajes.

- 5 % de solvente.
- 2.5 al millar de aditivo amínico.

Del 5 % de solvente que originalmente tiene el aglutinante, durante el proceso de recubrimiento en la planta de mezclado en caliente; se pierden -- del 3 al 3.5 % del solvente original, y generalmente se pierden las consti-- tuidas por fracciones ligeras o medias, el resto del solvente obra en reali-- dad como fluxante produciendo un cemento más suave.

IV.11.2.4.- CARACTERISTICAS.

Del aglutinante PA-5 (Ver Anexo No. 2).

IV.11.2.5.- ESTABILIDAD Y FLUENCIA.

Los productos elaborados en la Planta se diseñaron tomando en cuenta -- la especificación del British Standard No. 1621.

Por la presencia de solventes y aditivos, la producción de estas mez--clas no pueden controlarse recurriendo al Método Marshall.

La especificación británica 1621 dice que este aglutinante es el resultado de los datos estadísticos obtenidos en innumerables pruebas hechas so--bre el camino.

La especificación BS 892 de la British Standard al tratar de tamaños ma--yores como el usado en bases asfálticas define el macadam como sigue:

"El agregado está burdamente graduado y tiene preponderancia de tamaños grandes, es decir, el material es retenido en la malla BS de 1/8".

IV.11.2.6.- TEMPERATURAS.

| | |
|------------------------------------|-------------|
| Temperatura óptima de mezclado, °C | 125 - 140 |
| Temperatura de tendido, °C | 100 - 110 |
| Temperatura de compactación, °C | mayor de 70 |

IV.11.2.7.- PESOS VOLUMETRICOS PROMEDIO.

1) Máximo.

Peso específico teórico máximo (Rice) 2.50

2) Suelto.

A la salida de la mezcladora 1.50

3) Densidad.

Densidad media en el campo al terminar la compactación 2.30

IV.11.2.8.- TIEMPO DE REPOSO.

El procedimiento de compactación es exactamente igual al que se utiliza para mezclas elaboradas con cemento asfáltico No. 6, teniendo especial cuidado en aumentar por lo menos en un 10% el tiempo del paso de las aplanadoras y del compactador neumático, para lograr el mejor acomodamiento de las partículas del agregado pétreo.

En la mezcla elaborada con PA-5 queda un 2% de solventes pues, como ya se explicó anteriormente, en el proceso de mezclado se pierde el 3% de dicho solvente que originalmente es del 5%.

Por todo lo anterior se determina que las carpetas elaboradas con material pétreo a tamaño máximo de 3/4" utilizando como aglutinante el PA-5 --- puede abrirse al tráfico o estar en condiciones de sellarse con polvo de cemento forzosamente seco, tan pronto como la carpeta quede igualmente seca y permita penetrar por los poros, si los hubiera el polvo impalpable del cemento, pudiendo abrirse al tránsito de vehículos de inmediato.

IV.11.3.- CONCRETO ASFALTICO DE 1/2" CON CEMENTO ASFALTICO No. 6.

La Planta esta en condiciones de elaborarla a petición de algún cliente, y en ese caso, de común acuerdo con el cliente, se establecerán las normas a las que deberá sujetarse su fabricación.

Para atender un pedido de esta clase de concreto asfáltico, deberá tratarse de un volumen de importancia que justifique el cambio de cribas y --- las modificaciones a la inclusión de asfalto para el recubrimiento de los materiales pétreos con la finura adecuada.

IV.11.4.- MEZCLA ASFALTICA DE 1/2" CON ASFALTO PA-5.

IV.11.4.1.- GRANULOMETRIA.

Composición del tipo IVA; para mezclas densas de 1/2".

| MALLA | % QUE PASA |
|-------|------------|
| 1/2" | 100 |
| 3/8" | 80 - 100 |

| | |
|---------|---------|
| No. 4 | 55 - 75 |
| No. 8 | 35 - 50 |
| No. 30 | 18 - 29 |
| No. 50 | 13 - 23 |
| No. 100 | 8 - 16 |
| No. 200 | 4 - 10 |

IV.11.4.2.- TIPO Y CONTENIDO DE ASFALTO.

Se utiliza asfalto PA-5 que viene siendo un cemento asfáltico blando.

Las características principales del PA-5 se mencionaron anteriormente en el punto IV.11.2.2.

El contenido de asfalto es el siguiente:

| | |
|---|---------|
| Porcentaje máximo y mínimo | 6.7-7.3 |
| Contenido asfáltico de PA-5 en promedio | 7.0 |

Como puede verse, en IV.11.2.2, la pérdida de penetración por calentamiento durante 5 horas a 163°C del residuo de la destilación del PA-5 es -- de 58% de la penetración retenida después de la prueba.

En el asfalto No. 6 la penetración retenida después de la prueba por calentamiento es de 47%, como puede verse en IV.11.1.3 y por lo tanto se llega a la conclusión que el residuo producido por el PA-5 tendrá un servicio mayor que el asfalto No. 6, puesto que, la penetración del residuo después de un año de servicio será igual a:

$$\frac{120 + 160}{2} \times 0.58 = 81$$

y para el cemento asfáltico No. 6, al final de un año de servicio, se tendrá una penetración retenida de:

$$\frac{85 + 100}{2} \times 0.47 = 43$$

IV.11.4.3.- CONTENIDO DE SOLVENTES Y ADICIONANTES.

- Solvente especial con fracciones pequeñas y medias de un 90% y fracciones pesadas en un 10%.
- Aditivo amínico, eficiencia NOTA No. 8.

El PA-5 lleva un 5% de solventes y 2.5 al millar de aditivo amínico.

Como ya se dijo antes, del 5% de solventes que originalmente tiene el aglutinante, durante el proceso de recubrimiento, en la planta de mezclas en caliente, se pierden del 3 al 3.5% del solvente original y generalmente, se pierden las constituidas por fracciones ligeras a medias, el resto del solvente obra en realidad como fluxante, produciendo un cemento asfáltico más suave que el No. 6.

IV.11.4.4.- ESTABILIDAD Y FLUENCIA.

Se manifestó en IV.11.2.2 que el PA-5 se diseñó teniendo en cuenta, la especificación de la British Standard controlándose la producción con las características que aparecen en IV.11.4.2.

Por la presencia de solventes y aditivos, la producción de estas mezclas no pueden controlarse recurriendo al Método Marshall.

El PA-5 por el fuerte aditivo amínico defiende a la mezcla asfáltica de la humedad, y por lo tanto detiene la oxidación del asfalto y proporciona un mayor tiempo de servicio que el cemento asfáltico No. 6.

IV.11.4.5.- TEMPERATURAS.

| | |
|--|-----------|
| Temperatura óptima de mezclado, °C | 110 - 125 |
| Temperatura óptima de tendido, °C | 80 - 60 |
| Temperatura óptima de compactación, °C | 40 - 60 |

IV.11.4.6.- PESOS VOLUMETRICOS PROMEDIO.

| | |
|--|------|
| Peso específico teórico máximo | 2.50 |
| Peso del material suelto al salir de la mezcladora | 1.50 |
| Densidad media en el campo al terminar la compactación | 2.25 |

IV.11.4.7.- TIEMPO DE REPOSO.

Esta mezcla asfáltica densa no requiere tiempo de reposo y puede abrirse al tránsito de vehículos inmediatamente después del compactado.

El exceso de partículas de mayor tamaño hace que frecuentemente, al --- abrirse al tránsito de vehículos se desprendan estas partículas sin que por eso pierda la textura que finalmente adquiere.

IV.11.5.- MEZCLA ASFALTICA DE 1 1/2" CON ASFALTO PA-5 (BASE NEGRA).

IV.11.5.1.- GRANULOMETRIA.

Para estas mezclas se han utilizado dos granulometrías. Una densa y la otra abierta.

La especificación 1621 de la BS recomienda la granulometría para textura abierta, y en la Planta existe el propósito de elaborar solamente este - tipo, y a solicitud especial del cliente producir la mezcla densa.

La composición de la curva granulométrica de 1 1/2" Tipo BS-1621, es: -

| MALLA | % QUE PASA |
|---------|------------|
| 1 3/4" | 100 |
| 1 1/2" | 90 - 100 |
| 1" | 50 - 80 |
| 1/2" | 30 - 50 |
| 1/4" | 20 - 30 |
| No. 200 | 0 - 5 |

IV.11.5.2.- TIPO Y CONTENIDO DE ASFALTO.

Para elaborar mezclas con material pétreo a tamaño máximo de 1 1/2" con la granulometría descrita antes se utiliza asfalto PA-5.

El contenido máximo y mínimo es de 4.5 - 5.5 %

El contenido asfáltico en promedio es de 5.0 %

IV.11.5.3.- CONTENIDO DE SOLVENTES Y ADICIONANTES.

- Solvente especial con fracciones ligeras y medias en un 90% y fracciones pesadas en un 10%.

- Aditivo amínico de eficiencias NOTA No. 8.

El asfalto PA-5 lleva un 5% de solventes y 2.5 al millar de aditivo amínico.

En el proceso de mezclado en caliente se pierde más o menos del 3% del solvente y el resto, obra en realidad como fluxante.

IV.11.5.4.- ESTABILIDAD Y FLUENCIA.

Esta mezcla se elabora siguiendo las indicaciones de la BS y por la presencia de solventes y aditivos, la producción de estas mezclas no puede controlarse recurriendo al Método Marshall.

La mezcla con granulometría para tipo abierto debe compactarse con un 15% de tiempo mayor que el normal de compactado.

Al hacerse más intenso el compactado, el asfalto PA-5 que viene siendo un cemento asfáltico blando, permite la trabazón de las partículas del material pétreo para formar el macadam recomendado por los ingleses.

El PA-5 como se dijo antes, por el fuerte contenido de aditivo amínico, defiende la mezcla asfáltica de la humedad, deteniendo la oxidación del asfalto.

IV.11.5.5.- TEMPERATURAS.

| | |
|--|-----------|
| Temperatura óptima de mezclado, °C | 110 - 125 |
| Temperatura óptima de tendido, °C | 60 - 80 |
| Temperatura óptima de compactación, °C | 40 - 60 |

IV.11.5.6.- PESOS VOLUMETRICOS PROMEDIO.

| | |
|--|------|
| Peso específico teórico máximo (sin vacíos) | 2.50 |
| Peso del material suelto al salir de la mezcladora | 1.40 |
| Densidad media en el campo al terminar la compactación | 2.12 |

IV.11.5.7.- TIEMPO DE REPOSO.

Esta mezcla asfáltica de textura abierta no requiere tiempo de reposo y puede abrirse al tránsito de vehículos inmediatamente después del compactado.

Se ha observado que después de la compactación, y especialmente después de un tránsito intenso de varios meses, al tomarse muestras se han encontrado algunas partículas de material pétreo que se rompen, llenando los huecos y aparecen recubiertas de asfalto. Por lo tanto, la granulometría definitiva viene siendo más densa que la granulometría inicial.

IV.11.6.- MEZCLA ASFALTICA DE 1 1/2" CON CEMENTO ASFALTICO No.6.

No se elabora este tipo de mezclas en esta Planta.

La Planta puede surtir a cualquier dependencia del Departamento del Distrito Federal, propietario de la Planta, el producto que considere conveniente de acuerdo con su uso y sus necesidades.

En la tabla No. 4 se pueden ver las posibles causas de deficiencias en las mezclas asfálticas elaboradas en caliente para pavimentación.

CAPITULO V.- DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN
CALIENTE POR EL METODO MARSHALL.

V.1.- INTRODUCCION.

El objetivo de este capítulo es presentar un método práctico para mejorar la calidad de las mezclas asfálticas para pavimentación. La necesidad de lograr este objetivo, se ha vuelto cada vez más imperativa, debido a -- los recientes adelantos en el diseño de nuestro equipo de transportes. En este diseño, se han incorporado cargas pesadas, incrementos en las velocidades, mayor tracción en las llantas y en la acción de los frenos. Además de estos factores, el volúmen de tránsito en nuestras carreteras, en las -- calles y en los aeropuertos ha mostrado un gran incremento en los años recientes y ha sido mayor que en cualquier otro período corto en la historia de los pavimentos.

Todos los factores anteriores han traído como resultado un gran incremento en los esfuerzos destructivos aplicados a las estructuras de pavimentos asfálticos. Como cualquier material estructural, el pavimento debe ser capaz de resistir los esfuerzos del tránsito actual, por su resistencia al desplazamiento bajo las cargas impuestas, y la resistencia al desgaste bajo la acción severa de la abración.

La importancia de poder predeterminar y mantener las propiedades estructurales de las mezclas asfálticas para pavimentación es manifiesta, requiriéndose determinaciones reales. El uso práctico de cualquier material de construcción en el campo de la ingeniería, deberá poderse predecir por medio de la determinación de sus propiedades estructurales o físicas. Las especificaciones ordinarias omiten, casi invariablemente, establecer cualquier requisito de las propiedades físicas esenciales; por otra razón, se hecha de menos un patrón de medida para norma de las propiedades físicas -- esenciales. Este patrón vital de medida lo suministra el Método Marshall -- para el diseño y control de las mezclas asfálticas para pavimentación.

V.2.- APLICACION DEL METODO MARSHALL.

Con los datos proporcionados por el Método Marshall ya no es muy necesaria la opinión y la interpretación personal para juzgar sobre la calidad de la mezcla asfáltica para pavimentación. Para obtener un beneficio de este Método, se recomienda su aplicación de los tres siguientes casos:

- 1.- Con el objeto de fijar límites que deban incorporarse en las Especificaciones, para asegurar los mejores resultados posibles al usarse los materiales de una localidad determinada.- Para lo anterior, deberán obtenerse muestras representativas de los agregados pétreos típicos y -- granulometrías disponibles en la localidad; preparar mezclas y probarlas, determinando las propiedades físicas de las mismas, preparadas -- con diversas combinaciones de agregados. Teniendo en cuenta los factores económicos y los resultados obtenidos anteriormente a su composición granulométrica y sus propiedades físicas, se deberán fijar los límites de las especificaciones. Esto es necesario para asegurar los requisitos adecuados de las especificaciones de pavimentos asfálticos.
- 2.- Con el propósito de diseñar una mezcla asfáltica para pavimentación, -- usando los materiales propuestos para un proyecto dado.- Con este objeto, deberán obtenerse muestras representativas de los almacenamientos del material. Conociendo los requerimientos límites y usándolos como -- guías, se diseñan las mezclas formadas de las combinaciones necesarias de los agregados. De los resultados obtenidos, se establecerá la fórmula de trabajo. Esto es necesario para asegurar la mejor mezcla posible, con los materiales disponibles.
- 3.- Con la mira de controlar las propiedades físicas y estructurales de la mezcla durante los procesos de manufactura de la misma y construcción.- Para este propósito, se obtendrán a intervalos frecuentes durante el -- día, muestras de la mezcla producida en la planta. Estas muestras serán compactadas por el procedimiento prescrito y las propiedades físicas de -- terminadas inmediatamente después. Este tipo de control es esencial para mantener de la mejor manera posible, la producción de buenas mezclas

para pavimentación durante todo el tiempo. Esta aplicación del Método - Marshall es tan importante, como los otros usos del mismo, por las siguientes razones:

- a) Para asegurar las propiedades físicas adecuadas, necesarias para producir un pavimento satisfactorio.
- b) Para asegurar la uniformidad de estas propiedades físicas, las que a su vez reflejan la uniformidad de los ingredientes de la mezcla.
- c) Con el objeto de conocer exactamente cuando y cuales ajustes se hacen necesarios en la mezcla, para compensar los cambios en la granulometría o tipo de agregados.
- d) Para asegurar el correcto proporcionamiento de los ingredientes, de tal manera que la densidad mínima especificada, sea mantenida en el pavimento terminado.

V.3.- FACTORES Y PROPIEDADES FUNDAMENTALES.

No existe algún factor o propiedad física que sean únicos, para establecerse como criterio para definir la calidad de una mezcla asfáltica para pavimentación, ya que todos los factores que se describirán, son esenciales para la producción y el diseño de una mezcla satisfactoria. Todas las propiedades están materialmente afectadas por los factores fundamentales y --- principios aquí discutidos. Además de los factores aquí delineados, los pavimentos notablemente satisfactorios están basados en la selección de los agregados y en las características físico químicas satisfactorias de los ag faltos usados. Esencialmente los agregados deberán ser limpios, duros y durables, conforme a las calidades requeridas por la A.S.T.M. o la A.A.S.H.O.

V.3.1.- COMPACTACION DEL ESPECIMEN DE PRUEBA.

El esfuerzo de compactación aplicado en la fabricación de los especímenes de prueba, tiene una influencia directa en todas las propiedades físicas medidas por el Método Marshall. El Método y el procedimiento de compactación han sido adoptados después de investigaciones y correlaciones exhaustivas. La importancia de apegarse estrictamente al grado de compactación es

pecificado, al hacer el espécimen, podrá ser comprendido después de estudiar la discusión que sigue:

Si la cantidad de energía aplicada al compactar el espécimen es grande, los agregados serán forzados a ligarse entre sí íntimamente. Esto causará que el volumen total de espacios vacíos entre el agregado sea relativamente pequeño, en proporción con el total del agregado sólido. Por el contrario, menores cantidades de energía aplicada al compactar el espécimen, darán por resultado un alto contenido de vacíos en el agregado. El cemento asfáltico en una mezcla asfáltica entra y llena los vacíos hasta un cierto grado, dejando un pequeño volumen de vacíos llenos de aire. Por esta razón, se requiere sujetar a una mayor aplicación de energía compactadora para llenar los vacíos del agregado con una menor cantidad de cemento asfáltico. De la misma manera puede decirse que una energía de compactación menor, requiere más cemento asfáltico para llenar los vacíos del agregado. Por estas razones, para que se pueda determinar el contenido de asfalto correcto que produzca resultados satisfactorios, es necesario establecer la magnitud de la energía de compactación aplicada.

Por otra parte, supongamos que se introduce suficiente asfalto en la mezcla con el objeto de llenar los vacíos que resultan de los efectos de una baja compactación, y entonces este esfuerzo de compactación es incrementado sobre el que inicialmente fue aplicado al espécimen. Durante las primeras etapas de la compactación, ocurrirá un ligero aumento de la densidad, hasta llegar a forzar al agregado entre sí, tan apretadamente como lo permiten el asfalto y la reducción de vacíos. Para todo propósito práctico ningún incremento posterior de la densidad ocurrirá a causa de la interferencia del asfalto. Esta interferencia hará que la mezcla contenga un exceso de asfalto, lo cual produce efectos plásticos en el pavimento.

Desde el punto de vista práctico, un pavimento asfáltico se torna generalmente más compacto a causa del tránsito. Si el contenido de asfalto en la mezcla llena los vacíos del agregado al máximo grado durante la construcción del pavimento, se incrementará su plasticidad a medida que el tránsito

consolida la masa. Cuando aumenta la plasticidad más allá de cierto punto, se producen desplazamientos o corrimientos del pavimento bajo la repetición de las cargas y los esfuerzos.

El esfuerzo de compactación aplicado a los especímenes para establecer el contenido de asfalto con propósitos de prueba, deberá producir densidades equivalentes a aquellas que se desarrollan finalmente bajo el tránsito. El procedimiento de compactación establecido por el Método Marshall ha sido correlacionado para reproducir la compactación final lograda por el tránsito, en grado práctico más aproximado.

V.3.2.- VACIOS EN EL AGREGADO MINERAL COMPACTADO (VAM) Y SUS FUNCIONES.

El resultado final en el mejoramiento de la granulometría del agregado mineral, es la reducción de los VAM. Los VAM son una expresión de la proporción del volumen de vacíos al volumen total del agregado sólido en el estado compacto de la mezcla.

El volumen total de cemento asfáltico y los vacíos con aire en la masa del agregado compacto, representan el VAM y el cálculo de este valor cuantitativo se hace por la siguiente fórmula:

$$VAM = 100 - \left(DVS + \frac{Y \times W_3}{G_3} \right)$$

En la que:

VAM, es el porcentaje de vacíos en el agregado mineral compactado.

DVS, es el porcentaje del volumen de sólidos.

Y, es el peso volumétrico del espécimen compactado.

W₃, es el porcentaje de asfalto con relación al peso total de la mezcla.

G₃, es el peso específico del asfalto.

La cantidad de asfalto requerida por un agregado dado, está íntimamente relacionada con el VAM. Esto es debido a que el asfalto actúa como material de relleno de los vacíos, y de ser posible bajo el punto de vista de la eco

nomía, el VAM deberá ser reducido al valor práctico más bajo posible, de -- esta reducción resulta una reducción también en la cantidad de asfalto re-- querida por la mezcla. No pueden establecerse límites para el VAM y que --- sean de aplicación universal, a causa de la versatilidad de la aplicación - de los materiales asfálticos o las diferentes granulometrías y tipos de los agregados.

V.3.2.1.- VAM EN FUNCION DEL CONTENIDO DE ASFALTO.

La gráfica No. 1, pone de manifiesto la relación entre el VAM y el contenido de asfalto en la mezcla. Los agregados sin asfalto se compactan teóricamente hasta el grado más íntimo, bajo un esfuerzo de compactación dado. Esto es donde el punto inferior de la curva muestra cero de contenido de asfalto. Por la adición y mezcla de asfalto, la superficie del agregado es -- cubierta por una película de asfalto. Estas películas separan las partícu-- las del agregado, en su grado más íntimo de compactación. Cada incremento - del asfalto, separará más las partículas del agregado a causa de que la película se engruesa progresivamente. Si se continúa este proceso, posteriormente se evitará la compactación, hasta que la película de asfalto se vuelva lo suficientemente gruesa para que actúe como lubricante, bajo el esfuerzo de compactación.

De aquí en adelante, incrementos adicionales de asfalto además de lubricar el agregado producirán una reducción del VAM, hasta que los vacíos sean llenados con asfalto y llegado a un grado máximo. Después de que los vacíos han sido rellenos, posteriores adiciones de asfalto causarán una separación de las partículas del agregado y consecuentemente el VAM aumentará también con cada incremento de asfalto.

V.3.2.2.- VAM EN FUNCION DE LA GRANULOMETRIA DE LA ARENA.

La gráfica No. 2 muestra una relación entre el VAM y la finura del agregado menor que la malla No. 10. La finura de la arena se dibuja como abscisa, la que está representada por el porcentaje de material que pasa por la

malla No. 10 y que sea retenido por la No. 40, los VAM se dibujan como ordenadas. Para establecer estos puntos, las mezclas fueron diseñadas usando cada granulometría del agregado separadamente y el contenido de asfalto ajustado por el Método Marshall. En cada combinación de agregados, la cantidad de material que pasa por la malla No.200, con respecto al total del agregado, se mantuvo constante e igual al 10% en peso. La curva muestra que las arenas finas contienen los VAM más altos y por lo tanto requieren más asfalto. Por esta razón, una mezcla para pavimentación que contiene arena extremadamente fina, es potencialmente más plástica que una mezcla conteniendo arenas más gruesas. Incrementos posteriores en los tamaños gruesos de la arena, darán por resultado un VAM más alto. Esto es debido a que las fracciones finas del agregado son insuficientes en cantidad, para llenar los vaciós de las fracciones gruesas en su grado máximo. Cuando estas condiciones existen, las mezclas de pavimentación, se vuelven altamente permeables al agua.

Para el propósito de comparación los resultados de los análisis granulométricos de cada textura de arena usada y que sirvió para trazar la curva de VAM, en función de la finura de la arena, se muestran en la siguiente tabla:

| DESIGNACION DE LAS ARENAS | A | B | C | D | E | F | G | H | I |
|---------------------------|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| MALLAS | % QUE PASA POR LAS MALLAS EN FUNCION DEL PESO. | | | | | | | | |
| No. 10 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| No. 40 | 85 | 78 | 72 | 66 | 56 | 48 | 42 | 36 | 30 |
| No. 80 | 50 | 47 | 44 | 40 | 33 | 28 | 24 | 20 | 15 |
| No.200 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |

V.3.2.3.- VAM EN FUNCION DEL MATERIAL QUE PASA LA MALLA No. 200.

El relleno de los vacíos producidos por el incremento de la cantidad de filler mineral (material finamente pulverizado y que pasa por la malla No. 200), se ve en la gráfica No. 3. Esta curva demuestra que el VAM se reduce

por el aumento progresivo de las cantidades de materiales que pasan por la malla No. 200, más allá de un punto determinado. Los aumentos adicionales de filler mineral más allá de dicho punto, producen un incremento progresivo del VAM. Este es el resultado cuando el material que pasa por la malla No. 200 es aumentado más allá de la cantidad requerida para llenar los vacíos de la fracción de arena que es retenida por la malla No. 200. La adición de un exceso de filler mineral produce una mezcla asfáltica consecuentemente plástica, con propiedades físicas que serán críticas a pequeñas variaciones en el contenido de asfalto. El resultado mostrado en la curva, se obtuvo usando las arenas con las granulometrías ya descritas. Caliza finamente pulverizada fue añadida a la arena, en incrementos que aumentaron las cantidades del material que pasa por la malla No. 200. El contenido de asfalto fue ajustado apropiadamente para cada combinación de agregados pétreos, por medio del Método Marshall.

El filler mineral conteniendo partículas gruesas, que aún pasan por la malla No. 200, no será tan efectivo en todos los casos, como aquellos fillers minerales más finamente pulverizados. Esto se debe a que en las partículas de filler mineral más gruesas, son más grandes los espacios vacíos normales entre el agregado más grueso que en el que pasa por la malla No. 200 y ésto impide obtener la máxima compactación.

V.3.2.4.- VAM EN FUNCION DEL PORCIENTO DEL AGREGADO GRUESO.

La relación entre el VAM y el aumento progresivo en la relación de materiales gruesos y finos en la mezcla, se puede ver en la gráfica No. 4. La granulometría del material fino, el que pasa por la malla No. 10, fue mantenida sin variación en todas las mezclas y solamente fue incrementada la relación entre las cantidades de agregados gruesos y la de finos. El contenido de asfalto en cada caso fue apropiadamente ajustado por el Método Marshall.

La curva muestra que un aumento progresivo en la relación de las cantidades de los agregados gruesos y finos, reduce el VAM. Esta reducción se --

refleja en la cantidad de asfalto requerido por la mezcla. El VAM adquiere un valor mínimo cuando el porcentaje de agregado grueso adquiere el valor - aproximado del 70%. Más allá de este punto, se producirá un incremento del VAM. Esto se debe a que dicho punto es alcanzado cuando la cantidad de agregado fino es menor que la requerida para llenar los vacíos que hay en el agregado grueso. En este tipo de mezclas, los vacíos grandes no pueden ser - llenados con asfalto a causa de que la superficie del agregado grueso no re tiene la cantidad suficiente de asfalto para que esto se verifique. Un in- tento de introducir más asfalto que el que la superficie del agregado pueda retener, redundaría en una segregación y una mala manejabilidad. El exceso de agregado grueso producirá una mezcla que tenga una textura muy abierta y con muchos vacíos, entre los cuales el agua puede fluir a través del pavim- - mento. Con agregados razonablemente bien graduados los vacíos son capaces - de ser llenados con asfalto. Cuando el contenido de asfalto es incrementado progresivamente, este reemplaza el aire de los vacíos del agregado, hasta - que son llenados hasta el máximo. Posteriores incrementos en el contenido - de asfalto más allá de este punto, impiden obtener la máxima compactación. Dado que el asfalto es el más ligero de los dos materiales, el peso por --- pie cúbico disminuirá al adicionarse asfalto en exceso del requerido para - llenar los vacíos del agregado.

Al dibujar una curva uniforme a través de los puntos determinados por - medio de los valores del peso por pie cúbico de la mezcla total, en función del contenido de asfalto, debe producirse un punto máximo en la curva. Este es el punto al que corresponde la cantidad óptima de asfalto para el agrega- do seleccionado. En este punto los vacíos del agregado se han llenado prác- - ticamente al grado máximo.

Granulometría del agregado con la cual fue dibujada la gráfica No. 4. La tabla siguiente muestra los porcentajes correspondientes.

| GRANULOMETRIA | MALLAS | | | | | | | |
|---------------|----------------------------------|------|------|------|------|------|------|-----|
| | 3/4 | 1/2 | 3/8 | 4 | 10 | 40 | 80 | 200 |
| | % en peso del material que pasa. | | | | | | | |
| A | 100.0 | 97.5 | 91.0 | 80.0 | 51.0 | 32.0 | 10.0 | |

| | | | | | | | | |
|---|-------|------|------|------|------|------|------|-----|
| B | 100.0 | 98.0 | 94.9 | 86.0 | 74.0 | 42.5 | 25.5 | 8.5 |
| C | 100.0 | 96.0 | 91.5 | 81.0 | 68.0 | 39.0 | 23.4 | 7.8 |
| D | 100.0 | 93.8 | 88.9 | 76.2 | 61.5 | 35.2 | 21.0 | 7.0 |
| E | 100.0 | 91.0 | 84.3 | 69.0 | 54.0 | 31.0 | 18.6 | 6.2 |
| F | 100.0 | 89.0 | 80.8 | 62.0 | 47.0 | 27.0 | 16.2 | 5.4 |
| G | 100.0 | 86.0 | 77.0 | 55.0 | 40.0 | 22.0 | 12.0 | 4.0 |
| H | 100.0 | 76.0 | 58.0 | 46.0 | 35.0 | 20.0 | 12.0 | 4.0 |
| I | 100.0 | 76.0 | 58.0 | 40.0 | 30.0 | 17.2 | 10.3 | 3.4 |
| J | 100.0 | 76.0 | 58.0 | 35.0 | 24.0 | 10.0 | 6.0 | 3.0 |

V.3.3.- DENSIDAD.

El porcentaje del volúmen de sólidos o de la densidad teórica expresa - el grado al que se aproxima la mezcla final comprimida a una masa sin va--
cíos.

Cuando el efecto constante de compactación es sostenido, estas propiedades fundamentales dependen principalmente del grado en que los vacíos del -
agregado han sido llenados por el asfalto.

Es necesario especificar y mantener la densidad máxima en el pavimento para evitarse una penetración excesiva de agua y aire.

Cuando se usan agregados hidrófilos, la penetración del agua causará -- que las partículas de asfalto sean desalojadas de la superficie de los agregados y esto ocasionará que pueda ocurrir una falla prematura del pavimento. Si existe un exceso en la penetración del aire en la carpeta, ocasionará un endurecimiento prematuro en las partículas de asfalto y esto ocasionará una pérdida de la flexibilidad del pavimento.

Una densidad adecuada se puede obtener al añadir suficiente asfalto pa-
ra lograr el relleno máximo de vacíos del agregado, lo que constituye la --
seguridad de producir la impermeabilidad de la mezcla contra el agua y el -
aire. Si se emplean agregados que producen valores relativamente altos para el VAM, la cantidad requerida de asfalto, producirá una mezcla no manejable y un pavimento potencialmente plástico con una resistencia relativamente ba

ja al esfuerzo cortante.

El Método apropiado para la obtención de mezclas de alta densidad, es -- por medio de la reducción del VAM, sobre todo por el mejoramiento de la --- granulometría del agregado, de tal manera que requiera un contenido relativamente bajo de asfalto. Con estas condiciones, la mezcla será manejable, -- tendrá alta resistencia a deformarse y mostrará la más alta resistencia al esfuerzo cortante.

V.3.4.- EL PRINCIPIO DE LAS MEDIDAS DE ESTABILIDAD.

El principio de la resistencia al esfuerzo cortante por compresión de especímenes semiconfinados, es el aplicado para medir la estabilidad por el Método Marshall. La carga es aplicada sobre una generatriz del espécimen, a través de dos segmentos circulares. Por este principio, la masa total del -- espécimen está sujeta al esfuerzo cortante. Los planos de corte están dirigidos siempre de la misma manera, a través de todo el espécimen en virtud -- del diseño especial del molde de prueba de estabilidad. La carga es aplicada a una velocidad constante de dos pulgadas por minuto hasta que la falla del espécimen se produzca. La carga máxima requerida para producir la falla del espécimen a la temperatura de 140°F (60°C), es el valor de la estabilidad.

El valor de la estabilidad expresa la resistencia estructural de una -- muestra de mezcla comprimida para pavimentación. Está principalmente afecta da por el contenido de asfalto, la granulometría y el carácter de los agregados en la mezcla. En esencia el valor de la estabilidad es un índice de -- la calidad del agregado.

Para un agregado con determinadas características, la estabilidad aumen ta tanto como el VAM disminuye. Para alcanzar el máximo de estabilidad, con un agregado dado, es necesario reducir los VAM al grado mínimo posible; la más alta estabilidad se obtendrá al lograr el menor VAM, bajo la base de lo grar la mejor de todas las granulometrías del agregado.

Los agregados triturados producen valores de estabilidad más altos que

los no triturados. Esto se debe a que los triturados son mejores bajo el punto de vista de la fricción interna en el espécimen compactado.

V.3.5.- EL VALOR DEL FLUJO COMO MEDIDA DE CALIDAD.

El valor del flujo representa la deformación del diámetro del espécimen que produce la fractura del mismo. Este valor es un índice de la plasticidad o de la resistencia a la deformación del pavimento bajo la acción del tránsito. El factor principal que afecta el flujo es el grado en el cual los vacíos del agregado han sido llenados por el asfalto. El valor del flujo aumenta a medida que el contenido de asfalto es incrementado en la mezcla asfáltica.

Las mezclas con contenido alto de VAM darán valores excesivos del flujo, antes que el contenido de asfalto produzca una densidad satisfactoria. Por lo tanto, deberá evitarse el uso de este tipo de granulometría del agregado para la mezcla de pavimentación.

En agregados combinados con grandes proporciones de filler mineral, aumenta el valor rápidamente del flujo con cada aumento pequeño del contenido de asfalto. Tal mezcla se clasifica como excesivamente crítica y deberá evitarse su uso a causa de que es prácticamente imposible mantener el control de la propiedad plástica.

El valor del flujo puede ser controlado satisfactoriamente si los agregados están bien graduados. Los cambios normales en las características del agregado y sus granulometrías, producirán más o menos vacíos en los agregados compactados. Estos cambios en la cantidad de vacíos demandarán más o menos asfalto. Por lo tanto deberá establecerse, un mínimo del valor del porcentaje del volumen de sólidos o de la densidad teórica máxima para compensar estos cambios en los vacíos, previniendo así el uso deficiente del asfalto y estableciendo un máximo para el valor del flujo, se podrá prevenir el uso de una cantidad excesiva de asfalto. Estos son los factores claves que son esenciales para controlar el contenido de asfalto, durante la producción de la mezcla, en la planta de pavimentación y que previenen los des

plazamientos bajo el tránsito y que la mezcla sea excesivamente plástica.

V.4.- LOS APARATOS MARSHALL.

Los aparatos Marshall consisten en dos moldes de compactación, un sostén del molde de compactación con su espiral de tensión, un pisón de compactación, una máquina de compactación y pruebas, un baño con calentador eléctrico, un molde para hacer la prueba de estabilidad y un aparato para medir el flujo. Otro equipo adicional, como el contenido en la lista que posteriormente se dará a conocer, es el total de los aparatos requeridos para controlar la producción de mezclas. Las partes componentes del equipo, deberán llenar los siguientes requisitos:

Molde de compactación.- El molde de compactación consiste en una placa que soporta al molde y la sección superior puede ser ajustada al extremo del molde propiamente dicho. El molde cilíndrico está hecho exactamente con un diámetro de 4 pulgadas medidas interiormente (10.16 cm). Las paredes de este molde aproximadamente de 1/4 de pulgada de espesor (6.3 mm) y una altura de 3 pulgadas aproximadamente (7.62 cm). La sección superior del molde de compactación es ligeramente mayor que 4 pulgadas de diámetro (10.16 cm). La altura es aproximadamente de 2 3/4" (6.97 cm).

Sostén del molde de compactación.- El sostén del molde de compactación consiste de una base y una tapa de forma semicircular cada una. La base está provista de dos agujeros para ser montada en el bloque de compactación y ser fijada por medio de dos tornillos de cabeza. La sección superior está acanalada y ajustada sobre la sección alta del molde de compactación y es unida a la base por medio de un punto de apoyo en un lado del círculo, y un resorte de tensión en el otro. La manija puede alzarse para insertar o remover el molde de compactación. Esta parte tiene el propósito de sostener el molde en su lugar y además ensamblarlo durante el proceso de compactación del espécimen.

Pisón de compactación.- El pisón de compactación es usado para compactar la mezcla en el molde requerido. Tiene un peso de 10 libras (4.650 kg)

con una caída libre de 13 pulgadas (45.72 cm). La cara del pisón es plana y circular con un diámetro de 3 7/8" (98.4 mm).

Máquina para hacer la prueba de compresión.- La máquina para hacer la prueba de compresión consiste de un artefacto operado eléctricamente (de -- 110 volts), diseñado para aplicar cargas a los especímenes de prueba, por medio de cabezas de prueba en forma semicircular y a una velocidad constante de aplicación de dos pulgadas por minuto y equipada con un anillo adecuadamente calibrado para determinar la carga de prueba aplicada, una cabeza para probar la estabilidad del espécimen y un medidor de la fluidez para determinar la cantidad de deformación que sufre el diámetro del espécimen, al aplicarse la carga máxima de prueba.

Baño de agua caliente.- El baño deberá tener una capacidad para contener 8 especímenes y está provisto de un piso falso perforado que permite la circulación del agua por debajo de los especímenes de prueba. Está eléctricamente calentado por medio de una resistencia de corriente alterna de 110 volts y provisto de un termostato para controlar la temperatura del baño.

Equipo adicional.- Otro equipo esencial, no suministrado con el Aparato Marshall, incluye lo siguiente:

- 1.- Parrilla de adecuada capacidad para el calentamiento de los agregados y el cemento asfáltico.
- 2.- Termómetros blindados o termo-cúples de carátula redonda con un mínimo de sensibilidad de 5°F (2.8°C) y con un rango de 50° a 400°F (10° a --- 210°C).
- 3.- Termómetro con divisiones de 1°F (0.50°C) y capaz de medir temperaturas hasta de 140°F (60°C).
- 4.- Cucharas mezcladoras, similares a las cucharas de jardinero, disponibles para su compra en cualquier ferretería.
- 5.- Charolas para calentar los agregados y las mezclas asfálticas.
- 6.- Una base de compactación sobre la que se colocará el molde durante el proceso de compactación. Esta puede ser un poste de madera de 12" X 12", cuya sección recta deberá colocarse a nivel; el poste será instalado en

tal forma que sea estable, libre de vibración excesiva y de rebote.

- 7.- Una balanza de 1 kg de capacidad, sensible al 0.5 gr y con su marco de pesas correspondiente.
- 8.- Una balanza de 5 kg de capacidad y de sensibilidad de 1.0 gr y su marco de pesas correspondiente.
- 9.- Guantes del tipo apropiado para el uso y manejo de equipo caliente.
- 10.- Un tazón grande para mezclar, en el cual se pesen y mezclen los materiales.
- 11.- Una pala grande de mano para manejar los agregados calientes.

V.5.- PROCEDIMIENTOS PARA EL DISEÑO Y PRUEBAS.

El Método Marshall es aplicable al diseño de todos los tipos de mezclas para pavimentación. El procedimiento aquí expuesto se concreta a mezclas de cemento asfáltico y agregados, los cuales requieren un calentamiento en el momento de mezclado.

V.5.1.- CONSIDERACIONES PRELIMINARES.

Para diseñar una mezcla, se combinarán como mínimo 4 diferentes contenidos de asfalto en incrementos del 1.0%, con bachas separadas para cada combinación. El rango del contenido de asfalto se extenderá desde el necesario para producir una mezcla excesivamente rica, hasta aquélla cuya cantidad sea la correcta para el agregado dado y que pueda ser seleccionado de la curva dibujada de los pesos por pie cúbico, en función del contenido de asfalto de los especímenes compactados. Cuando menos se prepararán dos especímenes de cada contenido de asfalto. El promedio de las determinaciones de las dos pruebas de cada contenido de asfalto, deberá registrarse, como resultado de cada propiedad física medida. Antes de que se inicie la fabricación de los especímenes de una mezcla dada, se puede calcular aproximadamente el contenido de asfalto requerido para cada mezcla, por medio de la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de asfalto requerido} = F \times VAM \times G_3 ; \text{ en la que:}$$

$F = 0.355$

VAM, es el % de vacíos en el agregado mineral comprimido, incluyendo - el cemento asfáltico.

G_3 , es el peso específico del cemento asfáltico.

En ningún caso la selección del contenido de asfalto deberá obtenerse, sino como un resultado de las propiedades físicas observadas. Para obtener los dibujos de las curvas que representan la variación del contenido de asfalto, en función de los pesos por pie cúbico de las mezclas totalmente -- compactadas (pesos volumétricos); del 1% de volúmenes de sólidos (densidades teóricas); y de los valores de la estabilidad y del flujo, se procederá a graficar los valores determinados de estas características, como ordenadas y el contenido de asfalto como abscisas. Como un ejemplo típico de - los métodos usados para dibujar estos resultados deberán tomarse las gráficas Nos. 5, 6 y 7 del sub-tema denominado "Diseño y Control de Datos", ver V.7.

V.5.2.- PREPARACION DE LAS MEZCLAS.

Los agregados elegidos para hacer las mezclas deberán ponerse en charolas separadas. Un análisis granulométrico deberá hacerse de cada agregado para poder determinar la correcta proporción de la granulometría deseada. Los agregados gruesos y finos deberán separarse por las mallas de 1" y de 1/2" (25.4 y 12.7 mm). Los porcentajes en peso de cada tipo y tamaño de los agregados, así como los del filler y del cemento asfáltico, deberán -- calcularse para poder producir una bacha de 2,500 gr de mezcla y de cada - contenido de asfalto.

Las fracciones separadas de cada uno de los tamaños del agregado, es - decir del grueso, el fino y del filler, deberán calentarse en sus respectivas charolas. El calor que se aplique a los agregados y al filler mineral, será hasta que se llegue a una temperatura comprendida entre 350° y 375° F (177° y 191° C). Deberán tomarse precauciones para evitar calentamientos -- prolongados o repetidos al cemento asfáltico.

Después de que la temperatura de todos los materiales ha sido alcanza-

da, el tazón de la mezcladora será colocado en la balanza. La tara deberá añadirse cuando sea llevado a ésta. Los agregados y el filler mineral deberán ser pesados en las proporciones adecuadas dentro del tazón de la mezcladora. Los materiales se mezclarán íntimamente y se les determinará su temperatura, la temperatura deberá estar comprendida entre los 340° y 360° F (171° y 182°C). Después de que se ha alcanzado la temperatura requerida, se formará un cráter en el agregado dentro del tazón del mezclador. El tazón y su contenido se volverá a pesar en la balanza y se le agregará la cantidad requerida de cemento asfáltico sobre los agregados calientes.

Después de haberse introducido el cemento asfáltico, se procederá inmediatamente al mezclado de los ingredientes. Esto deberá consumarse lo más rápidamente posible, con una acción alternativa de agitación y embarradura con el mezclador mecánico o amasador. El proceso de mezclado deberá alcanzarse en un término de dos minutos. La temperatura no deberá ser inferior a 250°F (121°C) después de haberse logrado un mezclado perfecto. Si la temperatura de mezclado es inferior, la mezcla deberá ser desechada y repetido el proceso. No deberá permitirse un calentamiento subsecuente, durante o después del mezclado.

V.5.3.- PREPARACION DEL ESPECIMEN DE PRUEBA.

Una vez que el proceso de mezclado ha sido alcanzado, la preparación del espécimen de prueba se iniciará inmediatamente. El molde y el pisón de compactación, que previamente deberán ser limpiados, dicha limpieza podrá hacerse con un trapo o estopa húmedos con kerosena o gasolina. Antes de que la mezcla sea introducida al molde de compactación, la superficie estará seca y deberá estar libre de cualquier exceso del reactivo limpiador.

En cada molde de compactación deberá introducirse de 1,000 a 1,250 gr de una porción representativa de la mezcla de pavimentación. Después de haberse introducido en el molde, la mezcla deberá ser picada 25 veces con la cuchara de mezclado. Después de picado, la superficie de la mezcla deberá ser nivelada y deberá llegar aproximadamente a 1/2" (12.7 mm), arriba -

del extremo superior del molde de modelado. El molde deberá colocarse dentro del aparato "sostén", sobre la base de compactación y se procederá de inmediato a la compactación.

La temperatura de la mezcla, inmediatamente antes de principiarse la compactación, no deberá ser inferior de los 250°F (121°C). Si esta temperatura es inferior, la mezcla deberá ser desechada y repetirse el proceso. Nunca deberá ser recalentada.

V.5.4.- COMPACTACION DEL ESPECIMEN.

La compactación del espécimen se realiza de la siguiente forma:

La base de 3 7/8" (98.4 mm) del compactador, deberá ser instalada en el pie del pisón de compactación y guardarse siempre aparte sobre la berma lateral. La base de compactación deberá colocarse sobre la mezcla, dentro del molde de compactación y aplicarse 50 golpes en una cara del espécimen. Cualquier exceso en la altura del espécimen, será reducido por raspado y removiendo el exceso de mezcla después de la compactación inicial. El extremo del espécimen deberá estar aproximadamente a 3/8" (9.5 mm) abajo de la parte superior del molde de fabricación, después de los 50 golpes primeros. Se invertirá el molde y le serán aplicados otros 50 golpes, en la cara opuesta de cada espécimen. Después de la compactación, el platillo -- que constituye la base del molde, será desprendida por medio de un movimiento de rotación del molde.

V.5.4.1.- COMO REMOVER EL ESPECIMEN DEL MOLDE.

Después de que se ha terminado la compactación, los especímenes serán enfriados bajo el agua, abriendo una llave de agua, aproximadamente dos minutos. Después de que se ha logrado el enfriamiento del espécimen, éste se saca del molde. El molde se montará sobre la sección superior del molde de compactación, el que descansará en la placa base. Entonces el espécimen será desalojado del molde de compactación, por medio de la aplicación de una fuerza a través de la base del pisón de compactación.

Después de que es removido el espécimen, este se numerará y se colocan uno al lado del otro. Deberá de ejercitarse en el manejo de los especímenes, con el objeto de evitar que se deformen o se rompan. Los especímenes se colocarán sobre una superficie suave y a nivel y permanecerán en ella hasta que estén listos para la prueba. La altura del espécimen será de 2 y 1/2" (63 mm), más o menos 1/8" (3.2 mm). Se probarán inmediatamente después de que todos los especímenes han sido preparados.

V.5.5.- PRUEBA DEL PESO ESPECIFICO.

Si los especímenes están húmedos deberán ser secados con un trapo absorbente antes de determinar su peso; la determinación del peso específico está basada en los cálculos resultantes del peso del espécimen en el aire y el peso, cuando está suspendido, dentro del agua.

La fórmula para calcular el peso específico es como sigue:

$$\text{Peso Específico} = \frac{W}{W - w} ; \text{ en la que:}$$

W, es el peso del espécimen, expresado en gramos, determinado en el aire.

w, es el peso del espécimen, cuando éste está suspendido en el agua, expresado en gramos.

V.5.5.1.- DETERMINACION DEL PESO VOLUMETRICO.

Peso por oie cúbico.- La determinación del peso volumétrico es con el propósito de determinar el contenido de asfalto para un agregado dado, éste será calculado por medio de la siguiente fórmula:

Peso volumétrico en libras por pie cúbico = 62.4 X d ; donde:

62.4; es el peso del pie cúbico de agua, cuando ésta tiene un peso específico de 1,000.

d , es el peso específico de la masa del espécimen.

La gravedad específica de la masa de un agregado se define, como el peso del sólido dividido por la suma de los volúmenes de la materia sólida, más los volúmenes de los vacíos permeables y de los impermeables, multiplicado por el peso de la unidad de volumen de agua.

V.5.5.2.- VOLUMEN DE SOLIDOS O DENSIDAD TEORICA.

La expresión de la densidad teórica máxima, representa el peso específico de la mezcla asfáltica, cuando una vez comprimida se obtuviera una masa sólida y sin vacíos. Se puede calcular como sigue:

$$D = \frac{100}{\frac{W}{G} + \frac{W1}{G1} + \frac{W2}{G2} + \frac{W3}{G3}} ; \text{ en la que:}$$

D, es el peso específico teórico del volumen sólido.

W, es el porcentaje en peso del agregado grueso.

W1, es el porcentaje en peso del agregado fino.

W2, es el porcentaje en peso del filler mineral.

W3, es el porcentaje en peso del cemento asfáltico.

G, es el peso específico del agregado grueso.

G1, es el peso específico del agregado fino.

G2, es el peso específico del filler mineral.

G3, es el peso específico del cemento asfáltico.

V.5.5.3.- PORCIENTO DE LA DENSIDAD DEL VOLUMEN DE SOLIDOS.

Esta expresión representa el grado de compactación de un espécimen de una mezcla asfáltica, con relación a la masa sin vacíos. Esta se calcula por medio de la siguiente fórmula:

$$\text{Densidad en \% de volumen sólido} = \frac{d}{D} \times 100 ; \text{ en la que:}$$

d, es el peso específico de la masa del espécimen.

D, es el peso específico teórico máximo del volumen sólido.

V.5.6.- PREPARACION PARA LAS PRUEBAS DE ESTABILIDAD Y FLUJO.

Después de que se han obtenido los pesos para obtener el peso volumétrico del espécimen, se probará éste para conocer los valores de la estabilidad y el flujo. Deberá sumergirse el espécimen en un baño de agua a 140°F (60°C) más o menos 1°F (0.55°C), durante 20 minutos y nunca deberá prolongarse la inmersión por más de una hora. Después de este período, la prueba de estabilidad y del flujo, se hará inmediatamente. La prueba deberá realizarse en un período de 30 segundos, después de que el espécimen se haya sacado del baño de agua.

No se procederá a iniciar las pruebas de estabilidad y flujo, hasta que todos los aparatos estén completamente listos, como se describe a continuación:

- 1.- Se deberá limpiar completamente las superficies interiores de los arcos inferior y superior y los postes guías del molde de prueba de la estabilidad.
- 2.- Si el gato es de movimiento a motor, la velocidad correcta será ajustada para producir una elevación de la cabeza a razón de dos pulgadas -- (50.4 mm) por minuto. Si la máquina es operada a mano, el tiempo de aplicación de la carga será comprobado. Se harán pruebas para lograr el ritmo que produzca la velocidad requerida; al practicar las vueltas de la manivela (crank), éstas serán controladas por medio de un metrónomo u otro artefacto adecuado. Cuando después de practicar, el operador está seguro de que ese tiempo es uniforme y ejecutado a un ritmo de dos revoluciones por segundo, ya se está listo para hacer la prueba. A esta velocidad la cabeza avanza dos pulgadas por minuto.

Hecho lo anterior, el espécimen será removido del baño de agua caliente. Debe manejarse con cuidado el espécimen, pues una presión inadecuada de la mano, puede provocar una deformación o bien la rotura del mismo. El espécimen será montado en la posición de prueba, deslizando en el arco inferior del molde de estabilidad. Antes de que el arco superior sea colocado, deberá estar el espécimen perfectamente centrado en el arco inferior.

V.5.6.1.- PRUEBA DE ESTABILIDAD.

El molde de estabilidad, conteniendo el espécimen se colocará en la máquina de prueba y el medidor de flujo será colocado en su posición.

El gato será operado de tal forma que la cabeza se eleve a una velocidad uniforme de dos pulgadas por minuto, hasta que la falla del espécimen ocurra. La falla por estabilidad ocurre cuando la carátula medidora de carga registre el valor máximo. La lectura máxima de la carátula medidora se anotará y se convertirá posteriormente a libras, por medio de las tablas de calibración de la máquina. El número total de libras requerido para producir la falla del espécimen a 140°F (60°C) será anotado como valor de la estabilidad.

V.5.6.2.- PRUEBA PARA DETERMINAR EL VALOR DEL FLUJO.

El valor del flujo se obtiene durante la prueba de estabilidad. Durante la aplicación de la carga, el manguillo guía del medidor del flujo deberá apoyarse firmemente sobre el extremo del arco superior del molde de estabilidad. Su posición está sobre uno de los postes guía. Tan pronto como la lectura máxima de la estabilidad ha sido obtenida, en la carátula de carga, la presión ejercida con la mano sobre el manguillo del medidor del flujo, será liberada instantáneamente. Después de anotar la lectura de la estabilidad, el valor del flujo será leído directamente del calibrador de flujo y anotada con aproximación de centésimo de pulgada.

V.6.- SUMARIO.

Las mezclas asfálticas para la pavimentación que tengan propiedades físicas esenciales requeridas para producir un pavimento satisfactorio en una localidad dada, se pueden obtener por la aplicación del Método Marshall. Esto se logra por la aplicación del referido método al llevar a cabo los tres objetivos siguientes:

- 1.- Por el establecimiento de los límites de las especificaciones de los materiales y de las propiedades físicas requeridas para producir una -

mezcla satisfactoria para pavimentación.

- 2.- Por el propósito de establecer una fórmula de trabajo satisfactoria, - con los materiales disponibles.
- 3.- Por el propósito de controlar las propiedades físicas esenciales para obtener resultados satisfactorios durante la producción de mezclas en planta.

El contenido de asfalto apropiado y requerido por un agregado dado, so lamente puede ser determinado si el grado de compactación de los especímenes producen la densidad igual a la adquirida anteriormente por la compactación del tránsito. El procedimiento prescrito por el Método Marshall, -- produce esta densidad y la calidad de la mezcla está basada en los resulta dos obtenidos a este grado de compactación.

El criterio para el diseño está basado en los siguientes factores:

- 1.- Selección del contenido de asfalto para un agregado dado, correspon-- diente al valor localizado en la cúspide de una curva continua trazada a través de los puntos de los pesos por pie cúbico de mezcla totalmen-- te compactada y de varios contenidos de asfalto.
- 2.- Selección de los valores del peso volumétrico, la estabilidad y del -- flujo, tomados de los dibujos individuales de las curvas para el conte nido de asfalto seleccionado.
- 3.- Selección de la mezcla de pavimentación que produce los mejores resul-- tados desde el punto de vista de todas las propiedades físicas obteni-- das. La recomendación de límites para los pesos volumétricos, la esta-- bilidad y el flujo, son esenciales para el diseño y control de una mez cla satisfactoria para pavimentación.

V.6.1.- RECOMENDACIONES.

Los límites recomendados de las propiedades físicas para los requeri-- mientos específicos de diseño y control de mezclas asfálticas de pavimenta-- ción, son los siguientes:

V.6.1.1.- VALORES MINIMOS DE LA ESTABILIDAD.

- 1.- 500 libras (250 kg en números redondos), para capas intermedias, con - requerimientos de tránsito ligero o medio.
- 2.- 1,000 libras (500 kg en números redondos), para carpetas con tránsito ligero o medio.
- 3.- 800 libras (400 kg en números redondos), para capas intermedias con -- tránsito de medio a pesado.
- 4.- 1,500 libras (750 kg en números redondos), para carpetas con tránsito de medio a pesado.

V.6.1.2.- LIMITES DE LA DENSIDAD.

El porcentaje de densidad del volúmen sólido de los especímenes compactados será como sigue:

- 1.- Del 94 al 98%, para todos los especímenes compactados de carpeta y de mezclas para capas intermedias, con tránsitos de medio a pesado.
- 2.- Del 92 al 98%, para todos los especímenes compactados con mezclas para capas intermedias con tránsito de ligero a medio.

V.6.1.3.- VALOR MAXIMO DEL FLUJO.

El valor del flujo para todos los requerimientos de mezclas de pavimentación, no deberá exceder de 16.0, cuando se mida en centésimos de pulgada (406 micras).

V.7.- DATOS DE DISEÑO Y DE CONTROL.

Las gráficas Nos. 5, 6 y 7 muestran los resultados típicos obtenidos - para el diseño de mezclas conteniendo 3 diferentes combinaciones de agregados como sigue:

La gráfica No. 5 corresponde a una arena conteniendo un alto VAM (aproximadamente 30%).

La gráfica No. 6 corresponde a una arena combinada con un 20% de filler mineral (VAM aproximadamente del 20%).

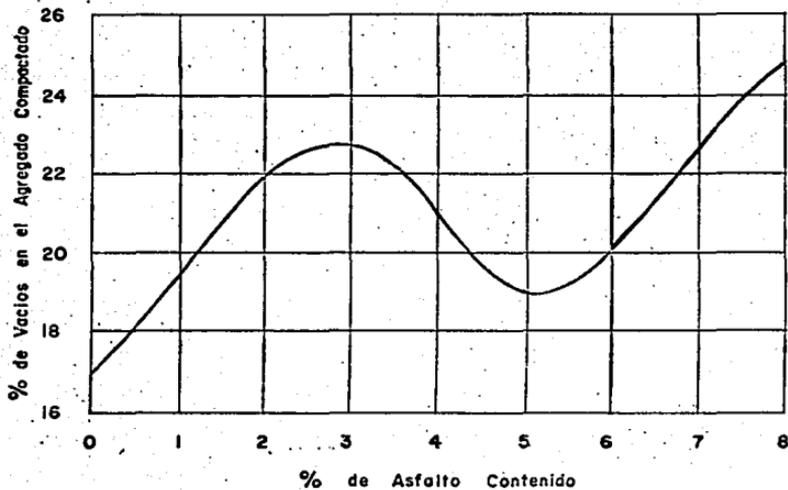
La gráfica No. 7 corresponde a una mezcla que contiene arena combinada con un 60% aproximadamente de agregado grueso bien graduado (VAM aproximadamente del 16%).

GRAFICA No. 5.- Las curvas mostradas en las gráficas Nos. 5 son típicas de los resultados obtenidos usando agregados de alto VAM. Los resultados de la estabilidad y del peso volumétrico son muy bajos y el valor del flujo muestra que la mezcla tiene propiedades excesivamente plásticas aún después de que los vacíos fueron llenados. El asfalto es incapaz de rellenar los muchos vacíos del agregado y el peso por pie cúbico no declina ni con el 10% de asfalto. Los resultados de este tipo demuestran que la mezcla de pavimentación es de inferior calidad y de comportamiento indeseable.

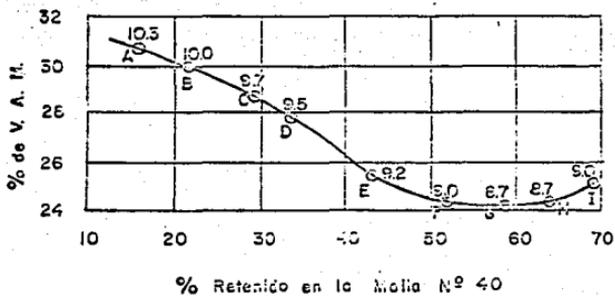
GRAFICA No. 6.- Las curvas de las gráficas Nos. 6, son típicas de los resultados obtenidos con agregados conteniendo un alto porcentaje de filler mineral. En la curva del peso por pie cúbico, se seleccionó el contenido de asfalto de 7.3% en peso. Los resultados de la estabilidad y del peso volumétrico son satisfactorios para este contenido de asfalto, pero el valor del flujo o índice de plasticidad es excesivo. Esto indica que el desplazamiento del pavimento puede ocurrir al final. La pendiente de la curva indica que la mezcla se vuelve crítica a pequeños cambios en el porcentaje de vacíos llenados por el asfalto. La naturaleza crítica de la mezcla se nota especialmente en la curva de flujo. Un control satisfactorio de tales mezclas durante la producción de la planta es prácticamente imposible. Por esta razón el uso de tales mezclas deberá ser limitado. Una reducción del filler mineral mejora la naturaleza de la mezcla, pero reducirá la estabilidad y requerirá más asfalto. Por esta razón este tipo de mezclas para pavimentación deberá ser limitado en espesor y para requerimientos de tránsito de medio a ligero.

GRAFICA No. 7.- Las curvas dibujadas en las gráficas Nos. 7, son típicas de los resultados obtenidos con un agregado bien graduado y de calidad superior. El agregado está compuesto de 40% aproximadamente de arena gruesa y 60% de piedra triturada uniformemente graduada desde la malla de 1/2"

hasta polvo. En la curva del peso por pie cúbico, el contenido de asfalto seleccionado es el 5.6% en peso. Para este punto los valores aproximados son: estabilidad = 3,000 libras, peso volumétrico = 96.6% y el valor del flujo = 12.0. La pendiente de la curva de valores del flujo es suave en dirección a las abscisas por una distancia considerable más allá del contenido de asfalto seleccionado. Esto es una característica valiosa, la cual -- indica que la plasticidad del pavimento puede ser fácilmente controlable. Por esta razón una mezcla asfáltica para pavimentación resultante de esta combinación de materiales es recomendable para cualquier tipo de requeri-mientos.

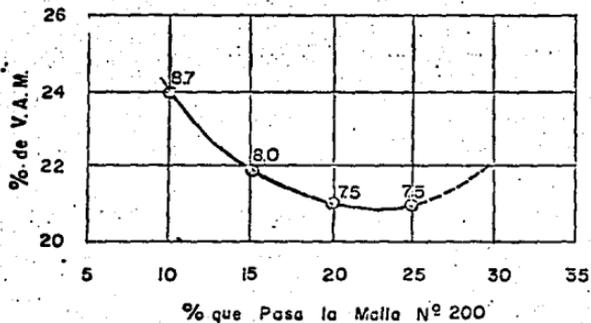


Gráfica No. 1.- Vacíos en el agregado mineral comprimido.



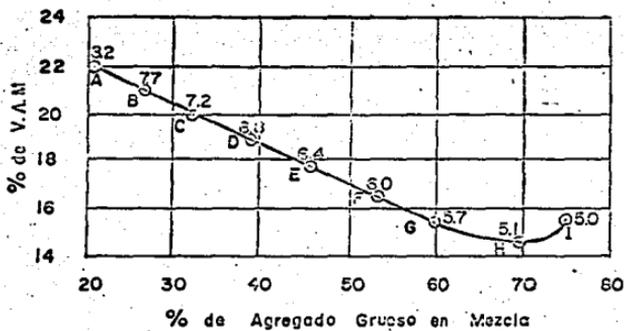
Gráfica No. 2.- VAM versus finura de la arena.

Nota: Los números sobre la curva denotan el % de asfalto requerido. Las letras indican las granulometrías de la arena.



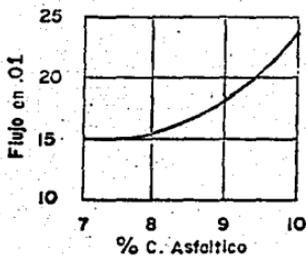
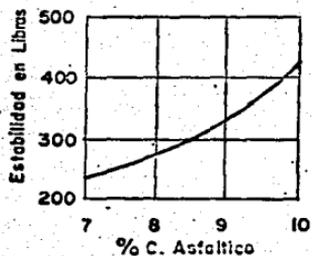
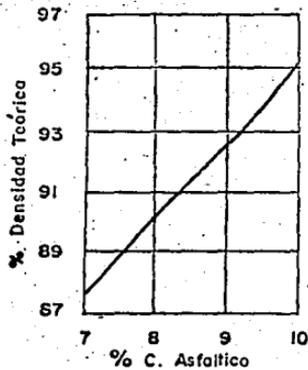
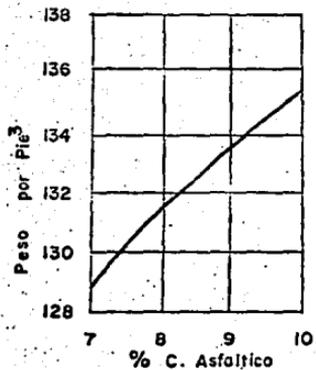
Gráfica No. 3.- VAM versus porcentaje de materiales que pasan la malla No. 200.

Nota: Los números sobre la curva denotan el % de asfalto requerido.

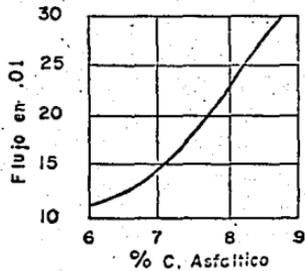
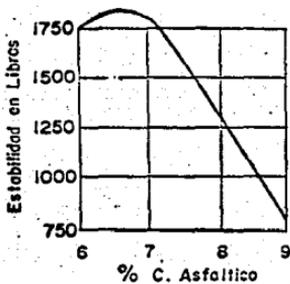
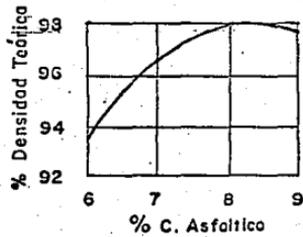
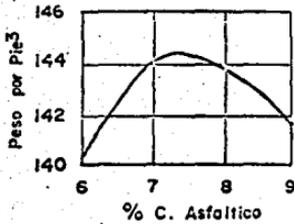


Gráfica No. 4.- VAM versus porcentaje de agregado grueso.

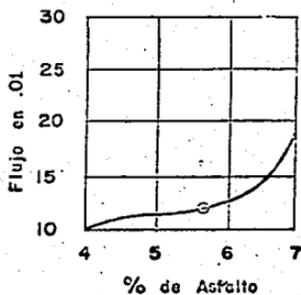
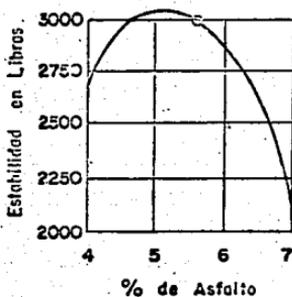
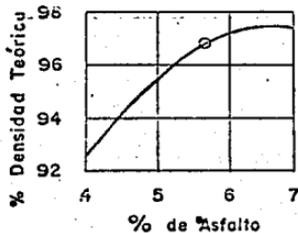
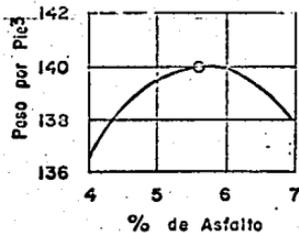
Nota: Los números sobre la curva denotan el % de asfalto requerido. Las letras significan las granulometrías del agregado.



Gráfica No. 5.- Curvas típicas de mezclas conteniendo muchos vacíos en el agregado.



Gráfica No. 6.- Curvas típicas de una arena-asfalto densa.



Gráfica No. 7.- Curvas típicas de un concreto asfáltico bien graduado.

CAPITULO VI.- COSTOS.

A fin de obtener el máximo de eficiencia y economía dentro de los trabajos a realizar, se debe contar con el equipo adecuado y que esté en condiciones favorables de operación.

En la selección del equipo influye en gran parte el costo por hora --- efectiva de trabajo, y es por esto que se debe hacer un estudio a fondo, - en función de la vida económica y del valor de rescate, entendiéndose por vida económica de una máquina al período de tiempo durante el cual puede - esta operar en forma eficiente, siempre y cuando la máquina sea correctamente conservada y mantenida, y el valor de rescate se entiende como el va lor comercial que tiene la misma al final de su vida económica (en general se considera el 10% del precio de adquisición).

El costo horario esta integrado por los siguientes cargos:

- I .- Cargos fijos.
 - II .- Cargos por consumos.
 - III .- Cargos por operación.
-
- I .- CARGOS FIJOS.

Son los que se derivan de los correspondientes a:

- Ia.- Cargos por depreciación.
 - Ib.- Cargos por inversión.
 - Ic.- Cargos por seguros.
 - Id.- Cargos por almacenaje.
 - Ie.- Cargos por mantenimiento mayor y menor.
-
- Ia .- CARGOS POR DEPRECIACION.
Es el que resulta por la disminución en el valor original de la ma quinaria.
 - Ib.- CARGOS POR INVERSION.
Es el cargo equivalente a los intereses correspondientes al capi-- tal invertido en la maquinaria.

Ic.- CARGOS POR SEGUROS.

Es el cargo necesario para cubrir los riesgos a que esta sujeta la maquinaria durante su vida económica, por accidentes que sufra.

Id.- CARGOS POR ALMACENAJE.

Es el cargo derivado de las erogaciones para cubrir la guarda y vigilancia de la maquinaria durante los períodos de su vida económica mente considerados como inactivos.

Ie.- CARGOS POR MANTENIMIENTO MAYOR Y MENOR.

Son los cargos originados por todas las erogaciones necesarias para conservar la maquinaria en buenas condiciones.

II .- CARGOS POR CONSUMOS.

Los cargos por consumos son los que se derivan de las erogaciones -- que resulten por el uso de:

IIa.- Combustibles.

IIb.- Otras fuentes de energía.

IIc.- Lubricantes.

IId.- Llantas.

IIa.- CARGOS POR COMBUSTIBLES.

Es el cargo originado por los consumos de gasolina o diesel.

IIb.- CARGOS POR CONSUMO DE OTRAS FUENTES DE ENERGIA.

Es el cargo que se hace en caso de que se utilice otra fuente de -- energía diferente a los combustibles mencionados anteriormente.

IIc.- CARGOS POR LUBRICANTES.

Es el cargo debido a los consumos y cambios periódicos de aceites.

IId.- CARGOS POR LLANTAS.

Es el cargo originado por reparación o renovación periódica de las llantas.

III .- CARGOS POR OPERACION.

Es el cargo que se deriva de las erogaciones que hace el contratis-

ta por concepto del pago de salarios del personal encargado de la operación de la maquinaria.

En base a lo anterior calcularemos el costo horario del equipo necesario para la elaboración de la mezcla asfáltica, y con estos costos horarios se obtendrá finalmente el precio por tonelada de la mezcla asfáltica elaborada por la Planta de Asfalto.

Se hace la observación que los costos hora-máquina obtenidos, corresponden al mes de Septiembre de 1987 y que son costos reales.

| EQUIPO | COSTO HORA-MAQUINA |
|----------------------|--------------------|
| Track Drill | \$ 49,455.00 |
| Tractor D-8 | \$ 38,034.40 |
| Compresor | \$ 21,735.00 |
| Pala PH 220 | \$ 60,300.70 |
| Camión Mack 32 tons. | \$ 32,937.50 |
| Traxcavo 45-B | \$ 46,996.78 |

ANALISIS DEL COSTO DIRECTO: Hora-Máquina

Máquina: Track Drill

Hoja No. 1 de 2.

Modelo: Krupp

Datos Adic.: Serie 7906

con compresor

Precio adquisición: \$ 127'655,985.45

Equipo adicional:

(-) Llantas: \$ 316,000.00

Valor inicial (Va): \$ 127'339,985.45

Valor rescate (Vr): 10% = \$ 12'733.998.54

Tasa interes (i): 90%

Prima seguros: 5%

Fecha cotización: Septiembre de 1987

Vida económica (Ve): 5 años

Horas por año (Ha): 2880 hr/año

Motor: Diesel de 200 HP.

Factor operación: 70%

Potencia operación: 140 HP.op.

Coefficiente almacenaje (K): 0.08

Factor mantenimiento (Q): 0.8

I.- CARGOS FIJOS.

a) Depreciación: $D = \frac{Va - Vr}{Ve}$

$$D = \frac{127'339,985.45 - 12'733,998.54}{5(2880)} = 7,958.77$$

b) Inversión: $I = \frac{Va + vr}{2Ha} (i)$

$$I = \frac{127'339,985.45 + 12'733,998.54}{2(2880)} (0.9) = 21,886.60$$

c) Seguros: $S = \frac{Va + Vr}{2Ha} (s)$

$$S = \frac{127'339,985.45 + 12'733,998.54}{2(2880)} (0.05) = 1,215.92$$

d) Almacenaje: $A = KD$

$$A = 0.08(7,958.77) = 636.70$$

e) Mantenimiento: $M = QD$

$$M = 0.8(7,958.77) = 6,367.01$$

$$\text{SUMA CARGOS FIJOS POR HORA} = \$ 38,065.00$$

II.- CONSUMOS.

Hoja No. 2 de 2.

a) Combustible: $E = e P_c$

Diesel: $E = 0.20 \times 140 \text{ HP.op.} \times \$241.00 / \text{lt} = 6,748.00$

b) Otras fuentes de energía:

c) Lubrificantes: $L = a P_e$

Capacidad carter: $C = 20$ litros

Cambios aceite: $T = 240$ horas

$a = C/T + (0.0035 \times 140 \text{ HP.op.}) = 0.57 \text{ lt/hr.}$

$L = 0.57 \text{ lt/hr} \times \$1,200.00 / \text{lt} = 684.00$

d) Llantas:

$L_l = \frac{\text{valor llantas}}{\text{vida económica}}$

Vida económica: $H_v = 2,000$ horas

$L_l = \frac{\$ 316,000.00}{2,000 \text{ horas}} = 158.00$

SUMA CONSUMOS POR HORA = \$ 7,590.00

III.- OPERACION.

Salarios: S

Operador: $\$ 15,00.00 \times 1.52 = 22,800.00$

Sal/turno-prom. : $\$ 22,800.00$

Horas/ turno=prom. : (H)

$H = 8 \text{ horas} \times 0.75 \text{ (factor rendimiento)} = 6 \text{ horas}$

Operación = $O = \frac{S}{H} = \frac{\$ 22,800.00}{6 \text{ horas}} = 3,800.00$

SUMA OPERACION POR HORA = \$ 3,800.00

COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA (HMD) \$ 49,455.00

ANÁLISIS DEL COSTO DIRECTO: Hora=Máquina

Máquina: Tractor de orugas
 Modelo: D-8 Caterpillar
 Datos Adic.:

Hoja No. 1 de 2.

Precio adquisición: \$ 74'073,600.00
 Equipo adicional:
 (-) Llantas: \$ _____
 Valor inicial (Va): \$ 74'073,600.00
 Valor rescate (Vr): 10% = \$ 7'407,360.00
 Tasa interés (i): 90%
 Prima seguros: 5%
 Fecha cotización: Septiembre de 1987.
 Vida económica (Ve): 5 años
 Horas por año (Ha): 2880 hr/año
 Motor: Diesel de 300 HP.
 Factor operación: 70%
 Potencia operación: 210 HP.op.
 Coeficiente almacenaje (K): 0.08
 Factor mantenimiento (Q): 1.00

I.- CARGOS FIJOS.

- a) Depreciación: $\bar{D} = \frac{Va - Vr}{Ve}$
 $\bar{D} = \frac{74'073,600.00 - 7'407,360.00}{5(2880)} = 4,629.63$
- b) Inversión: $\bar{I} = \frac{Va + vr}{2Ha} (i)$
 $\bar{I} = \frac{74'073,600.00 + 7'407,360.00}{2(2880)} (0.9) = 12,731.47$
- c) Seguros: $\bar{S} = \frac{Va + vr}{2Ha} (s)$
 $\bar{S} = \frac{74'073,600.00 + 7'407,360.00}{2(2880)} (0.05) = 707.30$
- d) Almacenaje: $A = KD$
 $A = 0.08(4,629.63) = 370.37$
- e) Mantenimiento: $M = Q\bar{D}$
 $M = 1.00(4,629.63) = 4,629.63$
- SUMA CARGOS FIJOS POR HORA = \$ 23,068.40

II.- CONSUMOS.

Hoja No. 2 de 2.

a) Combustible: $E = c Pc$

$$\text{Diesel: } E = 0.20 \times 210 \text{ HP.op.} \times \$241.00 / \text{lt} = 10,122.00$$

b) Otras fuentes de energía:

c) Lubricantes: $L = a Pe$

Capacidad carter: $C = 33$ litros

Cambios aceite: $T = 240$ horas

$$a = C/T + (0.0035 \times 210 \text{ HP.op.}) = 0.87 \text{ lt/hr.}$$

$$L = 0.87 \text{ lt/hr} \times \$1,200.00 / \text{lt} = 1,044.00$$

d) Llantas:

$$Ll = \frac{\text{valor llantas}}{\text{vida económica}}$$

Vida económica: $Hv =$ horas

$$Ll = \frac{\$}{\text{horas}} =$$

$$\text{SUMA CONSUMOS POR HORA} = \$ 11,166.00$$

III.- OPERACION.

Salarios: S

$$\text{Operador: } \$15,000.00 \times 1.52 = 22,800.00$$

Sal/turno-prom. : \$ 22,800.00

Horas/ turno-prom. : (H)

$$H = 8 \text{ horas} \times 0.75 \text{ (factor rendimiento)} = 6 \text{ horas}$$

$$\text{Operación} = O = \frac{S}{H} = \frac{\$ 22,800.00}{6 \text{ horas}} = 3,800.00$$

$$\text{SUMA OPERACION POR HORA} = \$ 3,800.40$$

$$\text{COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA (HMD)} = \$ 38,034.00$$

ANÁLISIS DEL COSTO DIRECTO: Hora-Máquina

Máquina: Compresor Garden Denver
Modelo: ESLU75
Datos Adic.: Serie 39197

Hoja No. 1 de 2.

Precio adquisición: \$ 16'506,836.36
Equipo adicional:
(-) Llantas: \$ 316,000.00
Valor inicial (Va): \$ 16'190,836.36
Valor rescate (Vr): 10% = \$ 1'619,083.64
Tasa interes (i): 90%
Prima seguros: 5%
Fecha cotización: Septiembre de 1987.
Vida económica (Ve): 5 años
Horas por año (Ha): 2880 hr/año
Motor: Diesel de 350 HP.
Factor operación: 70%
Potencia operación: 245 HP.op.
Coeficiente almacenaje (K): 0.08
Factor mantenimiento (Q): 0.8

I.- CARGOS FIJOS.

a) Depreciación: $D = \frac{Va - Vr}{Ve}$
 $D = \frac{16'190,836.36 - 1'619,083.64}{5(2880)} = 1,011.97$

b) Inversión: $I = \frac{Va + vr}{2Ha} (i)$
 $I = \frac{16'190,836.36 + 1'619,083.64}{2(2880)} (0.9) = 2,782.90$

c) Seguros: $S = \frac{Va + Vr}{2Ha} (s)$
 $S = \frac{16'190,836.36 + 1'619,083.64}{2(2880)} (0.05) = 154.60$

d) Almacenaje: $A = KD$
 $A = 0.08(1,011.97) = 80.96$

e) Mantenimiento: $M = QD$
 $M = 0.8(1,011.97) = 809.57$

SUMA CARGOS FIJOS POR HORA = \$ 4,840.00

II.- CONSUMOS.

Hoja No. 2 de 2.

a) Combustible: $E = e P_c$
Diesel. $E = 0.20 \times 245 \text{ HP.op.} \times \$241.00 / \text{lt} = 11,809.00$

b) Otras fuentes de energía:

c) Lubricantes: $L = a P_e$
Capacidad carter: $C = 20$ litros
Cambios aceite: $T = 240$ horas
 $a = C/T + (0.0035 \times 245 \text{ HP.op.}) = 0.94 \text{ lt/hr.}$
 $L = 0.94 \text{ lt/hr} \times \$1,200.00 / \text{lt} = 1,128.00$

d) Llantas:
 $Ll = \frac{\text{valor llantas}}{\text{vida económica}}$
Vida económica: $Hv = 2,000$ horas

$Ll = \frac{\$ 316,000.00}{2,000 \text{ horas}} = 158.00$

SUMA CONSUMOS POR HORA = \$ 13,095.00

III.- OPERACION.

Salarios: S
Operador: \$ 15,000.00 x 1.52 = 22,800.00

Sal/turno-prom.: \$ 22,800.00
Horas/turno-prom.: (H)

$H = B \text{ horas} \times 0.75 \text{ (factor rendimiento)} = 6 \text{ horas}$

Operación = $O = \frac{S}{H} = \frac{\$ 22,800.00}{6 \text{ horas}} = 3,800.00$

SUMA OPERACION POR HORA = \$ 3,800.00

COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA (HMD) \$ 21,735.00

ANALISIS DEL COSTO DIRECTO: Hora-Máquina

Máquina: Pala PH

Hoja No. 1 de 2.

Modelo: HS-2500

Datos Adic.: Serie ES2479

Precio adquisición: \$ 157'562,181.82

Equipo adicional:

(-) Llantas: \$

Valor inicial (Va): \$ 157'562,181.82

Valor rescate (Vr): 10% = \$ 15'756,218.18

Tasa interes (i): 90%

Prima seguros: 5%

Fecha cotización: Septiembre de 1987.

Vida económica (Ve): 5 años

Horas por año (Ha): 2880 hr/año

Motor: Diesel de 200 HP.

Factor operación: 70%

Potencia operación: 140 HP.op.

Coefficiente almacenaje (K): 0,08

Factor mantenimiento (Q): 1.00

I.- CARGOS FIJOS.

a) Depreciación: $D = \frac{Va - Vr}{Ve}$

$$D = \frac{157'562,181.82 - 15'756,218.18}{5(2880)} = 9,847.66$$

b) Inversión: $I = \frac{Va + vr}{2Ha} (i)$

$$I = \frac{157'562,181.82 + 15'756,218.18}{2(2880)} (0.9) = 27,081.06$$

c) Seguros: $S = \frac{Va + Vr}{2Ha} (s)$

$$S = \frac{157'562,181.82 + 15'756,218.18}{2(2880)} (0.05) = 1,505.50$$

d) Almacenaje: $A = KD$

$$A = 0.08 (9.847.66) = 787.82$$

e) Mantenimiento: $M = QD$

$$M = 1.00 (9.847.66) = 9,847.66$$

$$\text{SUMA CARGOS FIJOS POR HORA} = \$ 49,068.70$$

II.- CONSUMOS.

Hoja No. 2 de 2.

- a) Combustible: $E = e P_c$
 Diesel: $E = 0.20 \times 140 \text{ HP.op.} \times \$241.00 / \text{lt} = 6,748.00$
- b) Otras fuentes de energía:
- c) Lubricantes: $L = a P_e$
 Capacidad carter: $C = 20$ litros
 Cambios aceite: $T = 240$ horas
 $a = C/T + (0.0035 \times 140 \text{ HP.op.}) = 0.57 \text{ lt/hr.}$
 $L = 0.57 \text{ lt/hr} \times \$1,200.00 / \text{lt} = 684.00$
- d) Llantas:
 $Ll = \frac{\text{valor llantas}}{\text{vida económica}}$
 Vida económica: $Hv =$ horas
 $Ll = \frac{\$}{\text{horas}} =$
 SUMA CONSUMOS POR HORA = \$ 7,432.00

III.- OPERACION.

- Salarios: S
- Operador: $\$15,000.00 \times 1.52 = 22,800.00$
- Sal/turno-prom. : $\$22,800.00$
- Horas/turno-prom. : (H)
- $H = 8 \text{ horas} \times 0.75 \text{ (factor rendimiento)} = 6 \text{ horas}$
- Operación = $0 = \frac{S}{H} = \frac{\$22,800.00}{6 \text{ horas}} = 3,800.00$
- SUMA OPERACION POR HORA = \$ 3,800.00
- COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA (HMD) \$ 60,300.70

ANÁLISIS DEL COSTO DIRECTO: Hora-Máquina

Máquina: Camión fuera de carretera (Mack) Hoja No. 1 de 2.

Modelo: 12V71N60

Datos Adic.: 12 cilindros

Precio adquisición: \$ 47'469,323.64

Equipo adicional:

(-) Llantas: \$ 10'000,000.00

Valor inicial (Va): \$ 37'469,323.64

Valor rescate (Vr): 10% = \$ 3'746,932.36

Tasa interes (i): 90%

Prima seguros: 5%

Fecha cotización: Septiembre de 1987.

Vida económica (Ve): 5 años

Horas por año (Ha): 2880 hr/año

Motor: Diesel de 350 HP.

Factor operación: 70%

Potencia operación: 245 HP.op.

Coefficiente almacenaje (K): 0.08

Factor mantenimiento (Q): 0.8

I.- CARGOS FIJOS.

a) Depreciación: $D = \frac{Va - Vr}{Ve}$

$D = \frac{37'469,323.64 - 3'746,932.36}{5(2880)} = 2,341.84$

b) Inversión: $I = \frac{Va + vr}{2Ha} (i)$

$I = \frac{37'469,323.64 + 3'746,932.36}{2(2880)} (0.9) = 6,440.06$

c) Seguros: $S = \frac{Va + Vr}{2Ha} (s)$

$S = \frac{37'469,323.64 + 3'746,932.36}{2(2880)} (0.05) = 357.78$

d) Almacenaje: $A = KD$

$A = 0.08(2,341.84) = 187.35$

e) Mantenimiento: $M = QD$

$M = 0.8(2,341.84) = 1,873.47$

SUMA CARGOS FIJOS POR HORA = \$ 11,200.50

II.- CONSUMOS.

Hoja No. 2 de 2.

| | | |
|---|------|-----------------|
| a) Combustible: E = e Pc | | |
| Diesel: E = 0.20 x 245 HP.op. x \$ 241.00 /lt | = | 11,809.00 |
| b) Otras fuentes de energía: | | |
| c) Lubricantes: L = a Pe | | |
| Capacidad carter: C = 20 litros | | |
| Cambios aceite: T = 240 horas | | |
| a = C/T + (0.0035 x 245 HP.op. = 0.94 lt/hr. | | |
| L = 0.94 lt/hr x \$ 1,200.00 /lt | = | 1,128.00 |
| d) Llantas: | | |
| Ll = $\frac{\text{valor llantas}}{\text{vida económica}}$ | | |
| Vida económica: Hv = 2,000 horas | | |
| Ll = $\frac{\$ 10,000.00}{2,000 \text{ horas}}$ | = | <u>5,000.00</u> |
| SUMA CONSUMOS POR HORA | = \$ | 17,937.00 |

III.- OPERACION.

| | | |
|--|------|-----------------|
| Salarios: S | | |
| Operador: \$ 15,000.00 x 1.52 = 22,800.00 | | |
| Sal/turno-prom. : \$ 22,800.00 | | |
| Horas/ turno-prom. : (H) | | |
| H = 8 horas x 0.75 (factor rendimiento) = 6 horas | | |
| Operación = O = $\frac{S}{H} = \frac{\$ 22,800.00}{6 \text{ horas}}$ | = | <u>3,800.00</u> |
| SUMA OPERACION POR HORA | = \$ | 3,800.00 |

COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA (HMD) \$ 32,937.50

ANALISIS DEL COSTO DIRECTO: Hora-Máquina

Máquina: Traxcavo Michigan Clark

Hoja No. 1 de 2.

Modelo: 45-B

Datos Adic.: Serie 4189-A

Precio adquisición: \$ 94'017,105.45

Equipo adicional:

(-) Llantas: \$ 5'200,000.00

Valor inicial (Va): \$ 88'817,105.45

Valor rescate (Vr): 10% = \$8'881,710.54

Tasa interes (i): 90%

Prima seguros: 5%

Fecha cotización: Septiembre de 1987.

Vida económica (Ve): 5 años

Horas por año (Ha): 2880 hr/año

Motor: Diesel de 350 HP.

Factor operación: 70%

Potencia operación: 245 HP.op.

Coefficiente almacenaje (K): 0.08

Factor mantenimiento (Q): 1.00

I.- CARGOS FIJOS.

a) Depreciación: $D = \frac{Va - Vr}{Ve}$

$$D = \frac{88'817,105.45 - 8'881,710.54}{5(2880)} = 5,551.08$$

b) Inversión: $I = \frac{Va + vr}{2Ha} (i)$

$$I = \frac{88'817,105.45 + 8'881,710.54}{2(2880)} (0.9) = 15,265.46$$

c) Seguros: $S = \frac{Va + Vr}{2Ha} (s)$

$$S = \frac{88'817,105.45 + 8'881,710.54}{2(2880)} (0.05) = 848.08$$

d) Almacenaje: $A = KD$

$$A = 0.08(5,551.08) = 444.08$$

e) Mantenimiento: $M = QD$

$$M = 1.00(5,551.08) = 5,551.08$$

$$\text{SUMA CARGOS FIJOS POR HORA} = \$ 27,659.78$$

II.- CONSUMOS.

Hoja No. 2 de 2.

a) Combustible: $E = e P_c$

$$\text{Diesel: } E = 0.20 \times 245 \text{ HP.op.} \times \$ 241.00 / \text{lt} = 11,809.00$$

b) Otras fuentes de energía:

c) Lubricantes: $L = a P_e$

Capacidad carter: $C = 20$ litros

Cambios aceite: $T = 240$ horas

$$a = C/T + (0.0035 \times 245 \text{ HP.op.} = 0.94 \text{ lt/hr.}$$

$$L = 0.94 \text{ lt/hr} \times \$ 1,200.00 / \text{lt} = 1,128.00$$

d) Llantas:

$$Ll = \frac{\text{valor llantas}}{\text{vida económica}}$$

Vida económica: $H_v = 2,000$ horas

$$Ll = \frac{\$ 5,200,000.00}{2,000 \text{ horas}} = 2,600.00$$

$$\text{SUMA CONSUMOS POR HORA} = \$ 15,537.00$$

III.- OPERACION.

Salarios: S

$$\text{Operador: } \$ 15,000.00 \times 1.52 = 22,800.00$$

Sal/turno-prom. : $\$ 22,800.00$

Horas/ turno-prom. : (H)

$$H = 8 \text{ horas} \times 0.75 \text{ (factor rendimiento)} = 6 \text{ horas}$$

$$\text{Operación} = O = \frac{S}{H} = \frac{\$ 22,800.00}{6 \text{ horas}} = 3,800.00$$

$$\text{SUMA OPERACION POR HORA:} = \$ 3,800.00$$

$$\text{COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA (HMD)} = \$ 46,996.78$$

ELABORACION DE MEZCLA ASFALTICA DE 3/4" CON ASFALTO No. 6
 COSTO MATERIAL TRITURADO

1.- Extracción

A) BARRENACION

| | | | |
|------------------------|-----------------|-----------------------------|--------------------|
| Track - Drill | \$ 49,455.00/hr | | |
| <u>\$ 49,455.00/hr</u> | = | \$915.83/m ³ - B | = \$ <u>915.83</u> |
| 54 m ³ /hr | | | \$ 915.83 |

B) ACERO DE BARRENACION

| | | | |
|--|---|-------------------------|----------------------------|
| a) Barra de extensión de 1-1/2" x 10'. | | | |
| <u>\$ 1'158,840.00/Pza</u> | = | \$772.56/m | |
| 1'500 m/Pza | | | |
| <u>\$ 772.56/m</u> | = | \$193.14/m ³ | = \$ 193.14/m ³ |
| 4m ³ /m | | | |

b) Broca de 3"

| | | | |
|--------------------------|---|-------------------------|----------------------------|
| <u>\$ 573,192.00/Pza</u> | = | \$573.19/m | |
| 1,000 m/Pza | | | |
| <u>\$ 573.19/m</u> | = | \$143.30/m ³ | = \$ 143.30/m ³ |
| 4 m ³ /m | | | |

c) Cople de 1-1/2"

| | | | |
|--------------------------|---|------------|--|
| <u>\$ 129,720.00/Pza</u> | = | \$129.72/m | |
| 1,000 m/Pza | | | |

$$\frac{\$ 129.72/m}{4m^3/m} = \$ 32.43/m^3 = \$ 32.43/m^3$$

d) Zanco de 1-1/2".

$$\frac{\$ 77.280.00/Pza}{2,500 m/Pza} = \$ 30.91/m$$

$$\frac{\$ 30.91/m}{4m^3/m} = \$ 7.73/m^3 = \frac{\$ 7.73/m^3}{\$ 376.60/m^3-B}$$

c) EXPLOSIVOS

| | | |
|----------------------|---|------------------------------------|
| Carbonitro o Anfmex | 0.884 Kg/m ³ x \$ 484.60/Kg | = \$ 428.39/m ³ |
| Dinamita 2" | 0.0728 Kg/m ³ x \$ 4,424.60/Kg | = \$ 322.11/m ³ |
| Dinamita 1" | 0.0260 Kg/m ³ x \$ 5,716.92/Kg | = \$ 148.64/m ³ |
| Primacord reforzado | 0.1562m/m ³ x \$652.23/m | = \$ 101.88/m ³ |
| Manejo de explosivos | | = \$ 326.30/m ³ |
| | | <u>\$ 1,327.32/m³-B</u> |

D) VOLADURA

| | | |
|------------------------------------|-------------|----------------------------|
| Jefe de explotación | | = \$ 21,850.00/turno |
| Ayudante perforista de cantera 6 X | \$ 7,645.56 | = \$ 45,873.36/turno |
| Poblador | | = \$ 9,751.23/turno |
| Cargador 6 x | \$ 8,300.73 | = \$ 49,804.38/turno |
| Perforista cantera 6 x | \$ 9,549.67 | = \$ 57,298.02/turno |
| | | <u>\$ 184,576.99/turno</u> |

$$\frac{\$ 184,576.99/\text{turno} \times 1.05 (\text{herr})}{1,124 \text{ m}^3/\text{turno}} = \frac{\$ 172.43/\text{m}^3-\text{B}}{\$ 172.43/\text{m}^3-\text{B}}$$

E) REMOCION : Se emplea un tractor D-8 con rendimiento de 80 m³/hr.

$$\frac{\$ 38,034.40/\text{hr}}{80\text{m}^3/\text{hr}} = 475.43/\text{m}^3-\text{B} = \frac{\$ 475.43/\text{m}^3-\text{B}}{\$ 475.43/\text{m}^3-\text{B}}$$

$$\frac{\$ 3,267.61/\text{m}^3-\text{B}}$$

De banco a suelto, listo para triturar

$$\frac{\$ 3,267.61/\text{m}^3-\text{B}}{2.0/(\text{turnos})} = \$ 1,633.81/\text{m}^3-\text{suelto}$$

$$\frac{\$ 1,633.81/\text{m}^3-\text{suelto}}$$

2.- MONEO DEL MATERIAL

A) BARRENACION

| | |
|----------------|---------------------|
| Compresor | \$ 21,735.00/hr |
| 2 perforadores | <u>\$ 15,727.60</u> |
| | \$ 37,462.60/hr |

$$\frac{\$ 37,462.60/\text{hr}}{10\text{m}^3/\text{hr}} = \$ 3,746.26/\text{m}^3 = \frac{\$ 3,746.26/\text{m}^3}{\$ 3,746.26/\text{m}^3}$$

B) ACEÑO DE BARRENACION

Barra integral.

$$\frac{\$ 1,158,840.00/\text{Pza}}{750\text{m}/\text{Pza}} = \$ 1,545.12/\text{m}$$

$$\frac{\$ 1,545.12/m}{1.50m^3/m} = \$ 1,030.08/m^3$$

$$= \frac{\$ 1,030.08/m^3}{\$ 1,030.08/m^3}$$

C) EXPLOSIVOS

Dinamita 0.10Kg/m³ x \$ 4,424.60/Kg
 Manejo de explosivos
 Artificios

$$= \$ 442.46/m^3$$

$$= \$ 175.00/m^3$$

$$= \frac{\$ 375.00/m^3}{\$ 992.46/m^3}$$

D) VOLADURA

$$\frac{\$ 992.46/m^3}{2 \times 2 \text{ turnos}} = \$ 248.12/m^3$$

$$= \frac{\$ 248.12/m^3}{\$ 248.12/m^3}$$

E) REMOCION DEL MONEO

Tractor D-8 cor. rendimiento de 80 m³/hr

$$\frac{\$ 38,034.40/hr}{80m^3/hr} = \$ 475.43/m^3$$

$$= \frac{\$ 475.43/m^3}{\$ 475.43/m^3}$$

$$\frac{\$ 6,492.35/m^3}{\$ 6,492.35/m^3}$$

Se considera un 15% de moneo

$$\$ 6,492.35 \times 0.15 = \$ 973.85/m^3$$

F) RENTA

Renta fija = \$ 1'067,742.00/mes

$$\frac{\$ 1'067,742.00/mes}{20 \text{ dfas/mes}} = \$ 53,387.10/dfa$$

$$\frac{\$ 973.85/m^3}{\$ 973.85/m^3}$$

$$\frac{\$ 53,387.10/\text{dfa}}{1,124\text{m}^3/\text{dfa}} = \$ 47.50/\text{m}^3 \quad \$ 47.50/\text{m}^3$$

$$\text{Regalías por m}^3 \text{ explotado} = \frac{\$ 112.05/\text{m}^3}{\$ 159.55/\text{m}^3}$$

$$\frac{\$ 159.55/\text{m}^3}{\$ 159.55/\text{m}^3}$$

$$\frac{\$ 159.55/\text{m}^3}{\$ 159.55/\text{m}^3}$$

3.- Carga

Pala PH con rendimiento de $180 \text{ m}^3/\text{hr}$

$$\frac{\$ 60,300.70/\text{hr}}{180 \text{ m}^3/\text{hr}} = \$ 335.00/\text{m}^3 \quad \$ 335.00/\text{m}^3$$

$$\frac{\$ 335.00/\text{m}^3}{\$ 335.00/\text{m}^3}$$

$$\frac{\$ 335.00/\text{m}^3}{\$ 335.00/\text{m}^3}$$

4.- Acarreo Local A La Planta De Trituración

Camión fuera de carretera (Mack) de 32 tons.

a) Acorodo y carga 0.13 hr/ciclo

b) Avance 2 Km 0.11 hr/ciclo

c) Tiempo de carga 0.02 hr/ciclo

d) Regreso 2 Km 0.05 hr/ciclo

0.31 hr/ciclo

$$\frac{\$ 32,937.50/\text{hr} \times 0.31}{32 \text{ ton.}} = \$ 319.08/\text{ton}$$

$$\begin{aligned}
 \$ 319.08/\text{ton} \times 1.7 &= \$ 542.44/\text{m}^3 \text{ suelto} = \$ 542.44/\text{m}^3\text{-suelto} \\
 &\qquad\qquad\qquad \$ 542.44/\text{m}^3\text{-suelto} \\
 &\qquad\qquad\qquad \hline
 &\qquad\qquad\qquad \$ 542.44/\text{m}^3\text{-suelto}
 \end{aligned}$$

5.- TRITURACION TOTAL

| | | |
|-----------------------|---|-------------------------|
| Planta de trituración | = | \$ 161,548.60/hr |
| Energía eléctrica | = | \$ 12,172.42/hr |
| Traxcavo | = | \$ 46,996.78/hr |
| | | <u>\$ 220,717.80/hr</u> |

$$\begin{aligned}
 \frac{\$ 220,717.80/\text{hr}}{180\text{m}^3/\text{hr}} &= \$ 1,226.21/\text{m}^3\text{-suelto} = \$ 1,226.21/\text{m}^3\text{-suelto} \\
 &\qquad\qquad\qquad \$ 1,226.21/\text{m}^3\text{-suelto} \\
 &\qquad\qquad\qquad \hline
 &\qquad\qquad\qquad \$ 1,226.21/\text{m}^3\text{-suelto}
 \end{aligned}$$

6.- ACARREO LOCAL AL ALMACEN

| | | | | |
|------------------|----|----------------------------------|----|---------------------------------------|
| Tarifa vigente = | \$ | \$ 225.00/m ³ -suelto | \$ | \$ 225.00/m ³ -suelto |
| | | | | <u>\$ 225.00/m³-suelto</u> |

TOTAL \$5,095.86/m³-suelto

Transformando de m³ a toneladas

$$\frac{\$ 5,095.86/\text{m}^3}{1.7 \text{ ton}/\text{m}^3} = \$ 2,997.56/\text{Ton}$$

Por lo tanto el precio por tonelada de material triturado será de \$ 2,997.56/Ton.

7.- PRODUCCION DE LA MEZCLA ASFALTICA

Maquinaria de concreto asfáltico
Marca Barber Greene.

Va. = \$ 2,192'371,500.00

Vida económica = Ve. = 10,000 hrs.

Valor de rescate = Vr. = 0.082 X Va. = 0.082 X 2,192'371,500.00 =
= \$ 179'774,463.00

Depreciación = $\frac{Va-Vr}{Ve} = \frac{2,192'371,500.00-179'774,463.00}{10,000} = \$ 201,259.70$

COSTO HORARIO

| | | | |
|-----------------------------------|---|----|---------------------|
| Producción 300 tons. | = | \$ | 201,259.70 |
| Mano de obra = 236.57 X 300 tons. | = | \$ | 70,971.00 |
| Indirectos | = | \$ | 746,633.00 |
| Mantenimiento | = | \$ | 320,251.00 |
| | | \$ | <u>1'339,114.70</u> |

\$ 1'339,114.70

ADMINISTRACION

\$ 1,794.28 X 300 tons. = \$ 538,284.00

\$ 538,284.00

ASFALTO

Consumo para 300 tons. = 20,000 lts.

Costo = \$ 56,522.00/m³ X 20 = \$ 1'130,440.00

Flete = \$ 29,334.00/m³ X 20 = \$ 586,680.00

Mermas = 2.1% = \$ 23,739.24

\$ 1'740,859.24

\$ 1'740,859.24

COMBUSTIBLE

6.5 lts/ton X 300 tons X \$ 241.00 = \$ 469,950.00

\$ 469,950.00

COSTO 300 TONS. =

\$ 4'088,207.94

$$\frac{\$ 4'088,207,94}{300 \text{ tons}} = \quad = \quad \$ 13,627.36 / \text{Ton}$$

\$ 13,627.36/Ton.

Por lo tanto, el precio por tonelada de la Producción será de:

\$ 13,627.36/Ton.

COSTO TOTAL = COSTO TRITURADO + COSTO PRODUCCION

COSTO TOTAL = \$ 2,997.56 + \$ 13,627.36 = \$ 16,624.92/Ton.

Por lo tanto, el costo por tonelada de mezcla asfáltica elaborada será de:

\$ 16,625.00

El precio anterior es incrementado en un 14.29% para la venta a particulares, lo cual implica que la tonelada le cuesta a un particular la cantidad de:

\$ 19,000.00/Ton.

Este precio se estabilizó hasta Febrero de 1988, apartir de esta fecha el precio aumentó a \$ 31,000.00/Ton., debido a que hubo un incremento del 60% a causa de la inflación tan fuerte que se venía presentando y desde ese mes (Febrero) no ha sufrido incremento este precio debido al Pacto de Solidaridad Económica.

Como regla de comparación en cuanto al precio se hace el comentario -- que la tonelada de mezcla asfáltica producida por particulares a la fecha cuesta \$ 38,000.00/Ton.

CAPITULO.- CONCLUSIONES.

En este trabajo se ha presentado un panorama general referente a los procesos de explotación, trituración, diseño y producción empleados por la Planta de Asfalto del Departamento -- del Distrito Federal para la elaboración de mezclas asfálticas elaboradas en caliente, con el fin de conocerlos y evaluarlos para poder determinar si dichos procesos son los adecuados.

Y después de estudiarlos y conocerlos, podemos concluir -- que dichos procesos son los convenientes ya que las mezclas -- asfálticas obtenidas tienen un diseño y una calidad aceptable, la cual esta dentro de los requerimientos de las especifica--- ciones, aunado a ello podemos citar también que la producción diaria esta por debajo de la capacidad real de la Planta, de-- bido a que los requerimientos diarios de mezclas así lo permiten, pero que sí en dado momento se requiere aumentar la pro-- ducción en una cantidad mayor, se tiene la suficiente capaci-- dad para hacerlo, mediante los procesos descritos, y así satis-- facer la demanda solicitada.

La conclusión anterior es en base a lo siguiente:

Para el proceso de explotación se tiene la suficiente capaci-- dad para satisfacer cualquier cantidad de material en greña listo para el proceso de trituración.

En el proceso de trituración, normalmente se emplean sólo -- tres conjuntos y hay días que solamente se emplean dos, por lo tanto se puede decir que se tiene la capacidad suficiente para producir el material pétreo necesario para la demanda diaria y aún más para almacenar el material sobrante en dicho proceso, por lo cual si se presenta algún problema en el proceso de tri-- turación se cuenta con material suficiente almacenado en los -- silos a cielo abierto.

En cuanto a la producción, como se pudo ver en el capítulo

correspondiente las tres plantas productoras de las mezclas -- asfálticas trabajan a un ritmo menor del de su capacidad real, por lo tanto cuando se requiera aumentar la producción se puede hacerlo sin ningún problema.

Ahora en cuanto al precio, como se vió también en el capítulo de costos el precio obtenido es menor que el precio que tienen los particulares.

El único inconveniente que se puede citar es el próximo agotamiento de la cantera de Ciudad Universitaria, de la cual se ha estado extrayendo el material pétreo para el aprovisionamiento de la Planta, como solución a este problema se cuenta con un terreno en la zona del Ajusco, propiedad del mismo Departamento, pero que por problemas de tipo burocrático no se ha podido empezar a explotar.

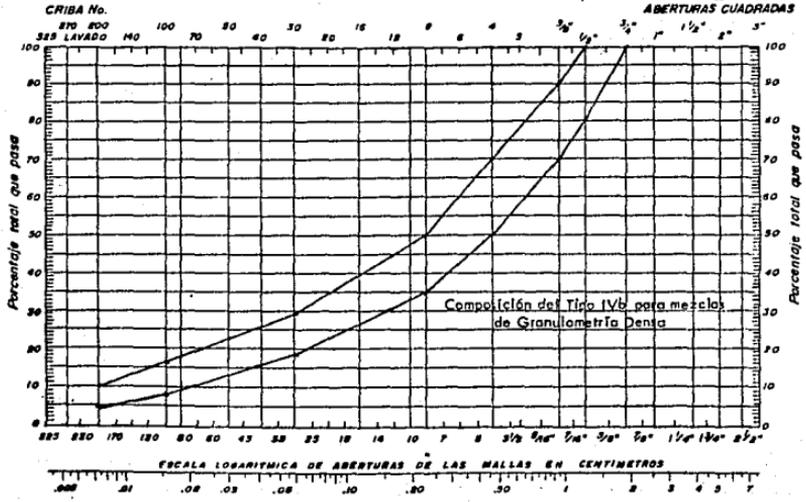
ANEXO No. 1

GRANULOMETRIAS USADAS POR LA PLANTA DE ASFALTO
DEL
DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL.

Muestra No. _____
 Fuente: _____
 Material: _____

PLANTA DE ASFALTO DEL D.D.F.
Asesoría técnica

Proyecto _____
 Localización: _____
 Fecha: _____

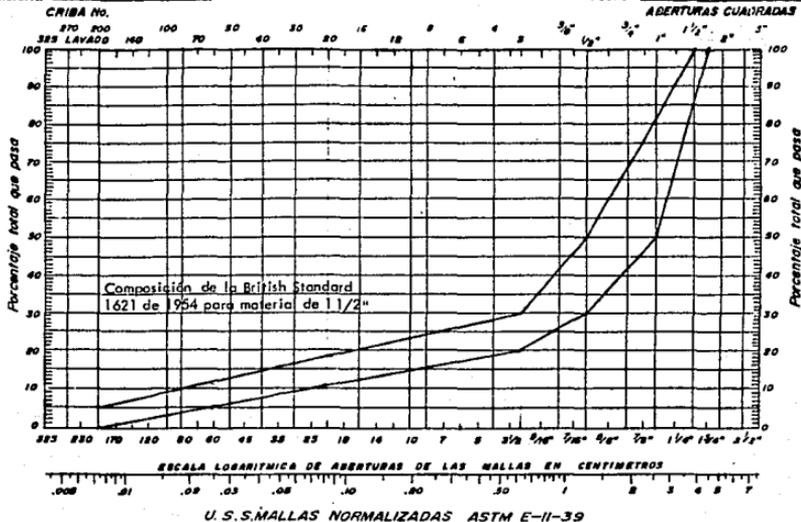


U.S.S.MALLAS NORMALIZADAS ASTM E-11-39
 NOTA: Especificaciones tomadas del Manual del Instituto de Asfalto Serie No. 1 (SS-1) *Carta granulométrica del agregado*

Muestra No. _____
Fuente: _____
Material: _____

PLANTA DE ASFALTO DEL D.D.F.
Asesoría técnica

Proyecto _____
Localización: _____
Fecha: _____

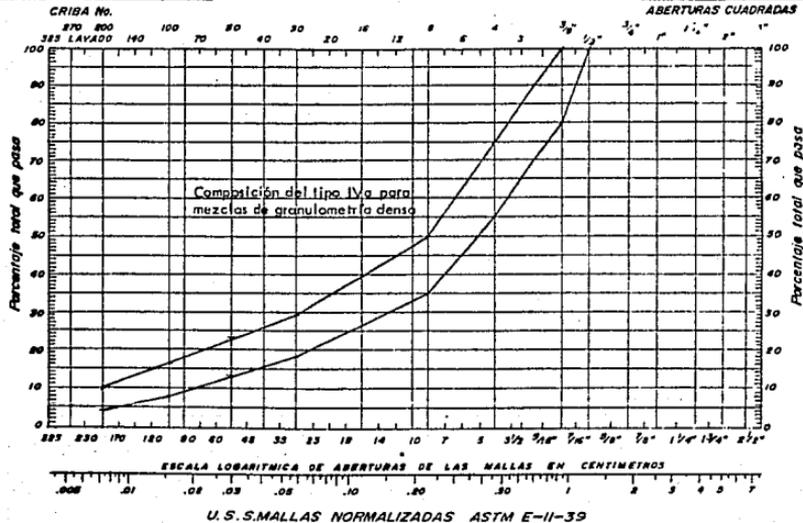


Carta granulométrica del agregado

Muestra No. _____
 Fuente: _____
 Material: _____

PLANTA DE ASFALTO DEL D.D.F.
Asesoría técnica

Proyecto _____
 Localización: _____
 Fecha: _____



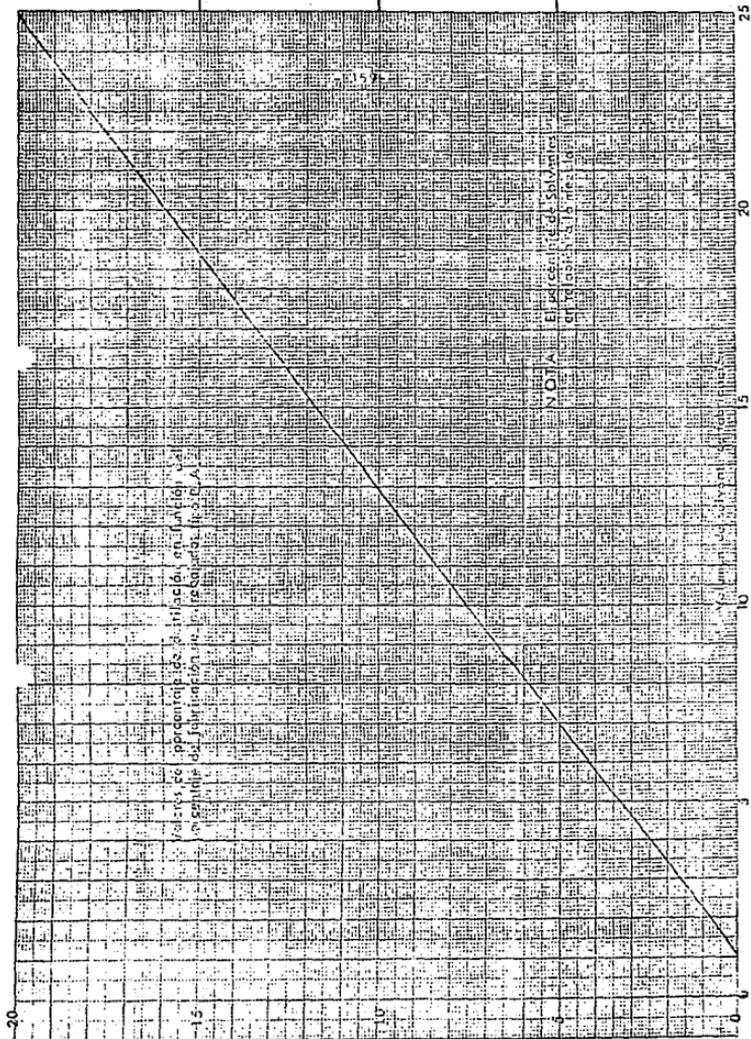
Carta granulométrica del agregado

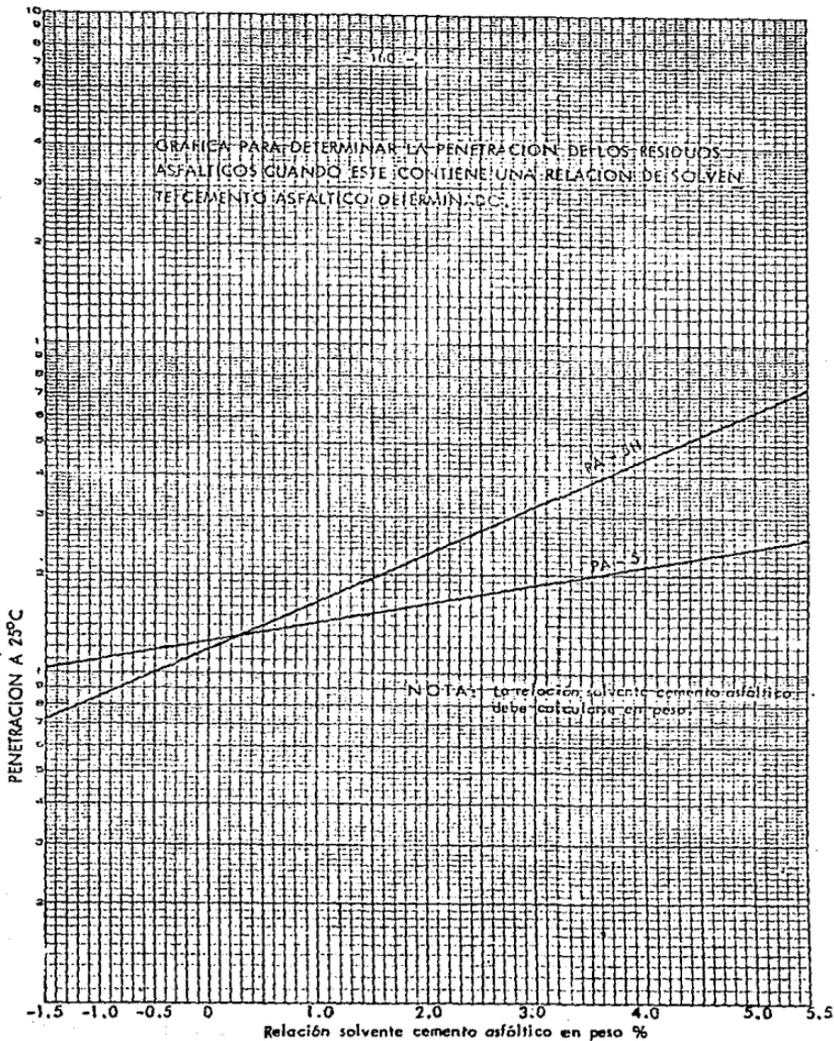
1

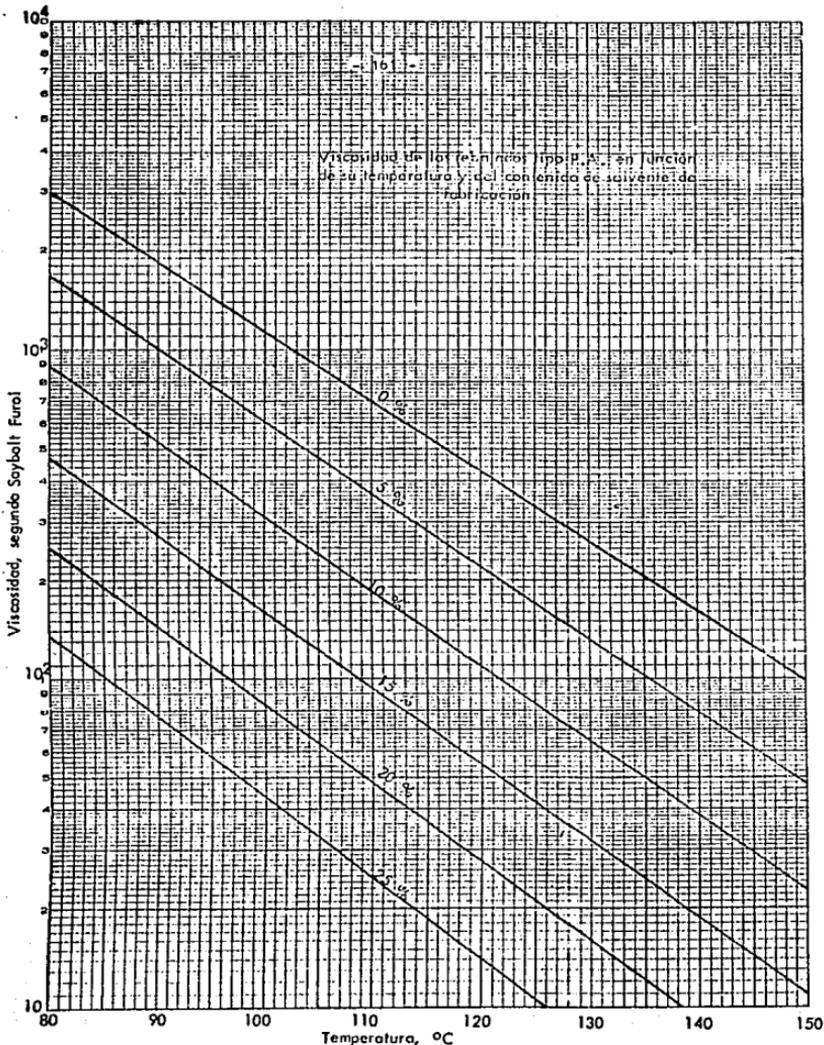
ANEXO No. 2

CARACTERISTICAS DEL AGLUTINANTE

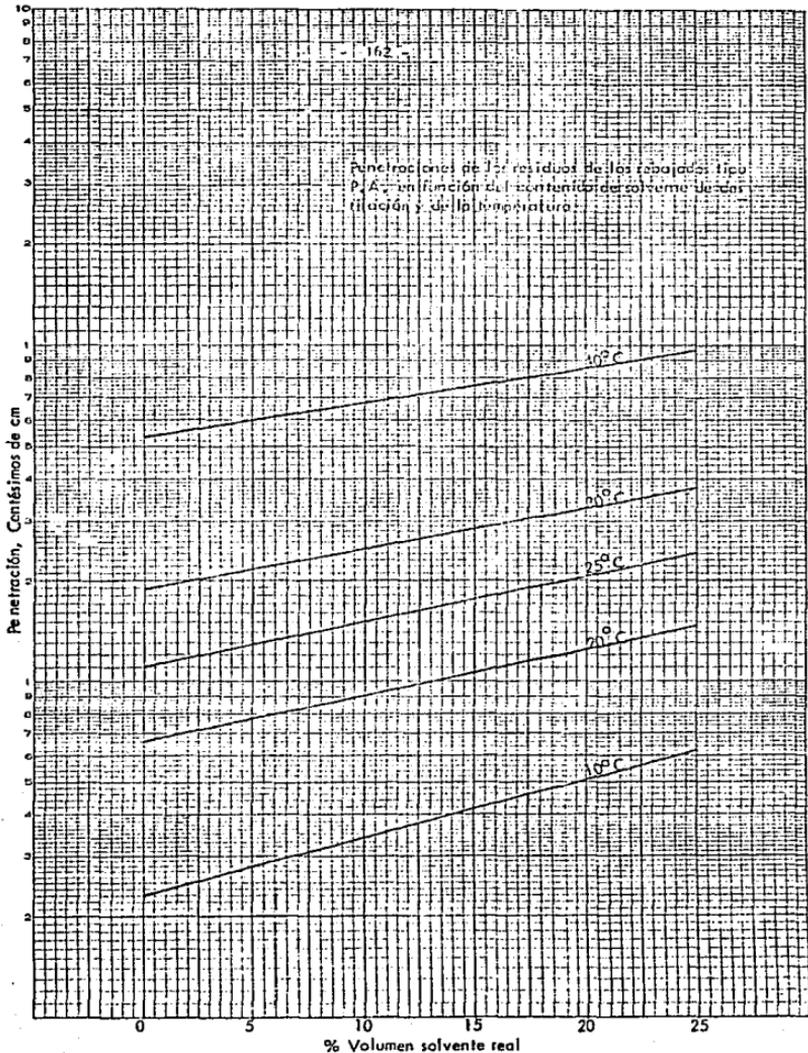
PA-5.

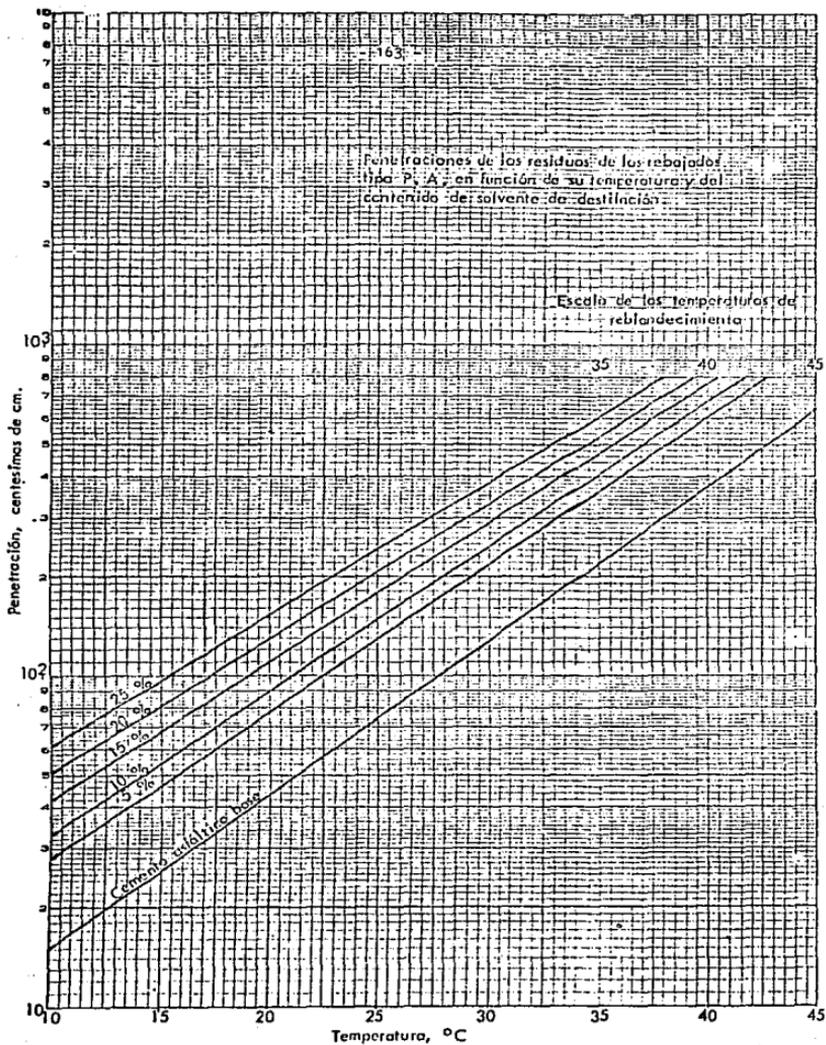


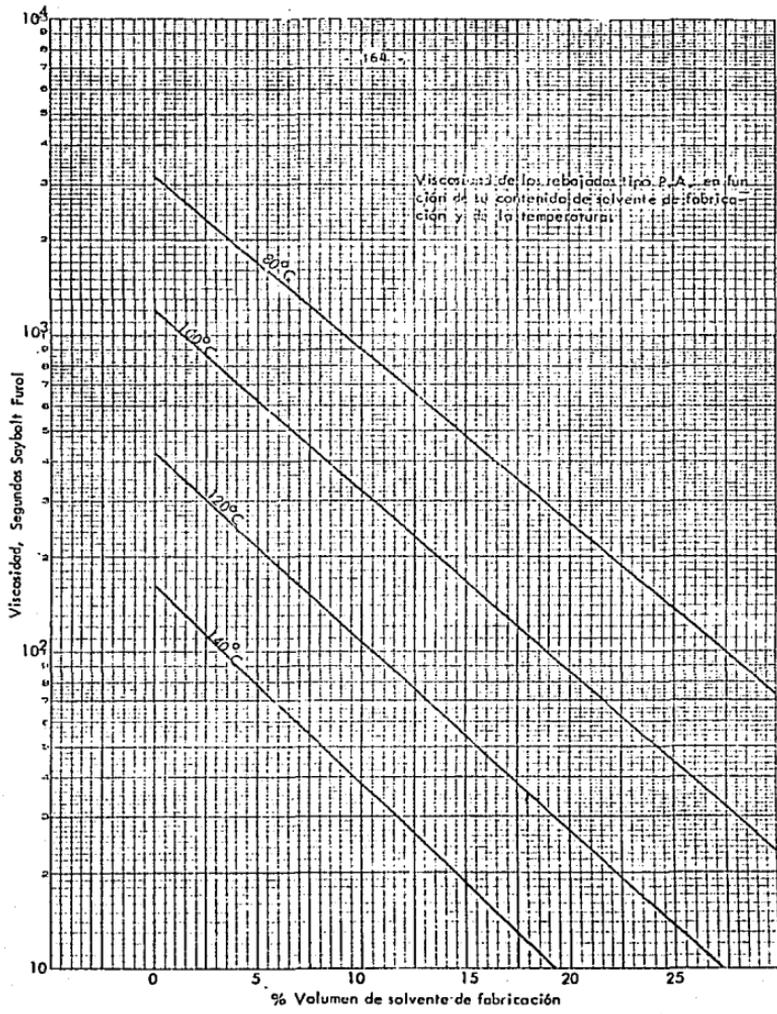




Penetración de los residuos de los bobados tipo P.A. en función del contenido de solvente de carbonilación y de la temperatura.

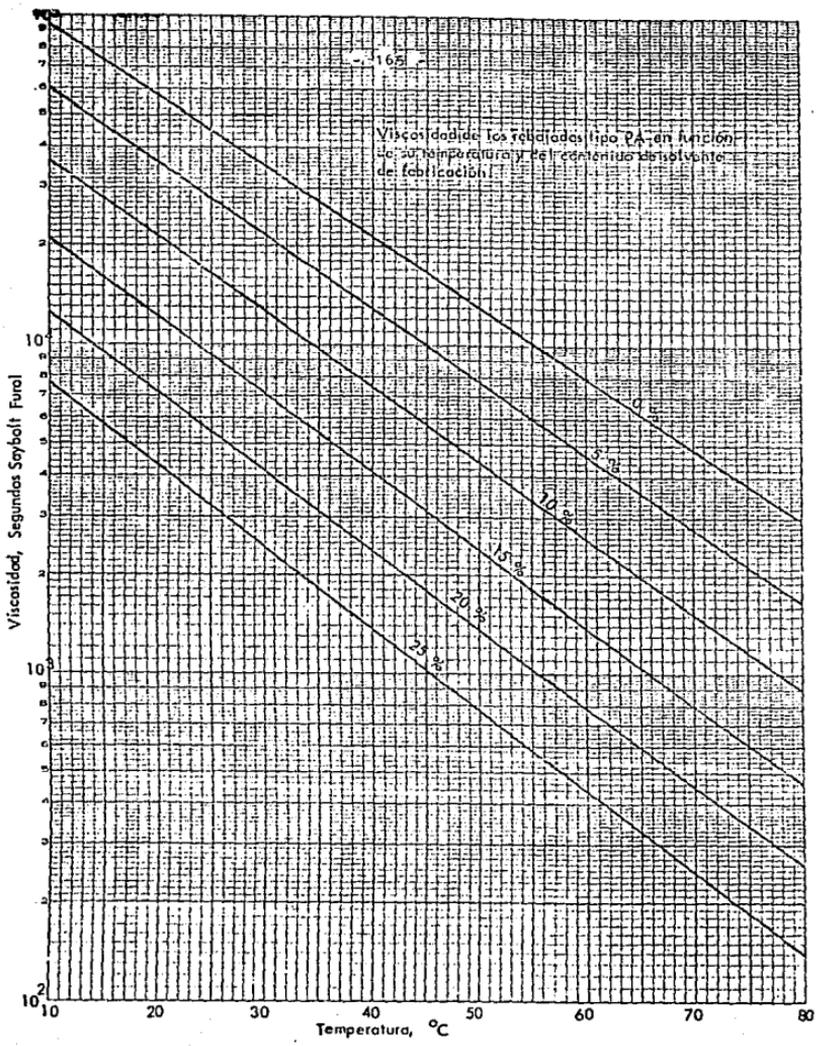






- 165 -

Viscosidad de los tejados tipo PA en función de la temperatura y del porcentaje distributivo de fabricación.



BIBLIOGRAFIA

- 1.- Nuevas Técnicas de Producción de Agregados.
Facultad de Ingeniería.
Depto. de Construcción.
UNAM, México, D.F. Octubre de 1981.
- 2.- Manual de Asfalto.
The Asphalt Institute.
Ediciones URMO.
Bilbao, España. 1969.
- 3.- El Asfalto, su Composición, Propiedades y Usos.
Ralph N. Taxler.
19va. Edición en español.
Compañía Editorial Continental, S.A.
México, D.F. 1962.
- 4.- El Concreto Asfáltico.
Tomado del manual de Instrucciones de construcción de
la División de Caminos del Departamento de Obras Pú-
blicas del Estado de California, E.U.
Traducción llevada a cabo en el Departamento de Labo-
ratorios, D.G.P.L. Noviembre de 1985.
- 5.- Diseño de Mezclas para Concreto Asfáltico.
Tomado del folleto "The Marshall Method for the Design
& Control of Bituminous Paving Mixtures".
Escrito por Marshall Consulting & Testing Laboratory.
Traducción por el Ing. Miguel Chavez Orozco 1985.
- 6.- Manual de Plantas de Asfalto.
The Asphalt Institute. 1967.
- 7.- Datos Técnicos de Productos Elaborados por la Planta -
de Asfalto del Departamento del Distrito Federal.
Secretaría de Obras y Servicios del D.D.F. Dic. de 1985.

- 8.- Tesis: "Control de la Contaminación Atmosférica Oca-
sionada por la Planta de Asfalto del Departamento --
del Distrito Federal.
Celso Berber Vázquez
México, D.F. 1985.
- 9.- Factores de Consistencia de Costos y Precios Unita---
rios.
Facultad de Ingeniería.
Depto. de Construcción.
UNAM, México, D.F. Octubre de 1981.
- 10.- Tesis: "Aspectos de la Evaluación de Proyectos y su
Aplicación a una Planta de Mezcla Asfáltica".
Francisco Javier Vilchis Pérez
UPIICSA, México, D.F. 1984.
- 11.- Asfaltos
M. Velazquez
Ed. Dossat, S.A.
Madrid, España. 1961.
- 12.- Selección, Diseño e Implantación de un Sistema de ---
Contabilidad y de Costos.
División de Contabilidad de Costos.
Planta de Asfalto, Oficina Administrativa.
México, D.F. Enero de 1975.