

42



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO**

FACULTAD DE INGENIERIA

**PLANTA DE FABRICACION DE
CONCRETO ASFALTICO**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A N:

OSCAR ANDRIK FLORES MENENDEZ

GABRIEL ANTONIO FELIX VALDES



**DIRIGIDA POR:
ING. RAFAEL ABURTO VALDES**

MEXICO, D. F.

2001

289833



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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 esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
FING/DCTG/SEAC/UTIT/135/98

Señor
OSCAR ANDRIK FLORES MENENDEZ
GABRIEL ANTONIO FELIX VALDES
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor ING. RAFAEL ABURTO VALDES, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

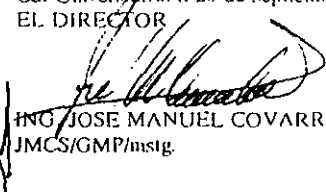
"PLANTA DE FABRICACION DE CONCRETO ASFALTICO"

- I. SELECCION DEL BANCO DE EXPLOTACION
 - II. EXPLOSIVOS Y MAQUINARIA PARA VOLADURA
 - III. TRITURACION PARA PRODUCCION DE AGREGADOS PETREOS
 - IV. DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS
 - V. SELECCION DE EQUIPO DE PRODUCCION DE MEZCLAS ASFALTICAS
- CONCLUSIONES

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria a 28 de septiembre de 1998
EL DIRECTOR


ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS
JMCS/GMP/mstg.

AGRADECIMIENTOS

Deseamos agradecer muy sinceramente a todas aquellas personas que, con su apoyo y dedicación, contribuyeron a la realización de este trabajo, en especial a:

La Universidad Nacional Autónoma de México.

La Facultad de Ingeniería.

Profesores y compañeros.

**Oscar Andrik Flores Menéndez.
Gabriel Antonio Félix Valdés.**

DEDICATORIAS

A mi papi, Don Manuel Menéndez Farquet, a quien quise y quiero tanto, y le debo todo lo que soy y todo lo que tengo, se que está conmigo hoy y siempre.

A mi mami, Vale, que quiero mucho y quien ha luchado y trabajado sola toda su vida para brindarme todo lo humanamente posible, pero, sobre todo, su amor incondicional.

A mi hermanito, Hugo, que siempre ha estado conmigo y ha sido mi mejor amigo y que quiero mucho.

A mi Lela y mi Tía Male, que son mis segundas mamás y me han apoyado y querido siempre, y yo las quiero de la misma manera.

A todos mis primos; Chavo, Malenita, Yati, Manuel, Karla y Fer, que son mis hermanos y siempre me han brindado su apoyo y cariño.

A Gabriel, por su sincera amistad y su colaboración en este trabajo y en toda la carrera.

Al gran Amor de mi Vida; Silvia, a quien amo con todas mis fuerzas y quien desde que llegó a mi vida ha significado todo, me dio de nuevo las ganas de vivir y de triunfar y pronto será mi esposa para seguir compartiendo nuestra vida para siempre.

Oscar Andrik Flores Menéndez.

PLANTA DE FABRICACION DE CONCRETO ASFÁLTICO

I.	SELECCIÓN DEL BANCO DE EXPLOTACIÓN	PAG
I.1)	FACTIBILIDAD DEL BANCO	1
I.2)	UBICACIÓN DEL BANCO	4
I.3)	ESTUDIOS GENERALES DE SUELOS.- PROPIEDADES MECÁNICAS	4
I.4)	TIPO Y CALIDAD DE MATERIALES A EXTRAER	10
II.	EXPLOSIVOS Y MAQUINARIA PARA VOLADURA	
II.1)	DETERMINACIÓN DE DIMENSIONES DEL MATERIAL A EXTRAER	14
II.2)	TIPO DE EXPLOSIVO A UTILIZAR.- DISEÑO DE VOLADURAS	14
II.3)	SELECCIÓN Y UTILIZACIÓN DE EQUIPO DE BARRENACIÓN	16
II.4)	SELECCIÓN Y UTILIZACIÓN DE EQUIPO DE CARGA Y TRANSPORTACIÓN	23
III.	TRITURACIÓN PARA PRODUCCIÓN DE AGREGADOS PETREOS	
III.1)	DETERMINACIÓN DE TAMAÑO DE AGREGADOS	24
III.2)	SELECCIÓN DE EQUIPO DE TRITURACIÓN	26
III.3)	SIMULACIÓN DEL SISTEMA PARA UBICACIÓN DEL EQUIPO	33
III.4)	EQUIPO DE TRITURACIÓN PRIMARIO	35
III.5)	EQUIPO DE TRITURACIÓN SECUNDARIO	38
III.6)	EQUIPO DE TRITURACIÓN-TERCIARIO	42
III.7)	EQUIPO DE CRIBADO	47
III.8)	ANÁLISIS DE TIEMPOS DE ESPERA DEL EQUIPO DE CARGA Y TRANSPORTACIÓN.- TEORÍA DE COLAS.	48
IV.	DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS	
IV.1)	DOSIFICACIÓN DE AGREGADOS	64
IV.2)	TIPOS DE EMULSIONES	70
V.	SELECCIÓN DE EQUIPO DE PRODUCCIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS	
V.1)	CARACTERÍSTICAS DE LA PLANTA	72
V.2)	CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN	87
V.3)	UTILIZACIÓN DEL EQUIPO	96
VI.	CONCLUSIONES	
	CONCLUSIONES	105
	BIBLIOGRAFÍA	106

I. SELECCIÓN DEL BANCO DE EXPLOTACIÓN

I.1 FACTIBILIDAD DEL BANCO

La factibilidad del banco a explotar, la determinan diversos factores geológicos que son importantes conocer, en este punto, revisaremos los diferentes tipos de roca existentes en la naturaleza, así como sus propiedades físicas y mecánicas.

Las rocas se dividen en tres grupos: ígneas, sedimentarias y metamórficas. Las propiedades inherentes de resistencia y debilidad de los miembros de estos grupos pueden compararse con las de los tres principales materiales de construcción: acero, concreto hidráulico y mampostería.

Las rocas ígneas, como el granito, se formaron por sobrecalentamiento bajo grandes presiones, a partir de elementos básicos, con el enfriamiento lento natural de esa materia fundida, después de haberse introducido en o entre otras rocas. El enfriamiento lento permitió la formación de cristales grandes o fenocristales.

Ciertas rocas ígneas, como el basalto (materiales seleccionados, piedra o grava fragmentada, que se utilizan para construir el subbalastado y el balastado de una vía férrea, también se usan en la estabilización de algunos terraplenes y en la fabricación de concreto hidráulico), difieren del granito del cual han salido por extrusión; proceden de los volcanes o por fisuras existentes en la corteza terrestre, formando corrientes o lagos de lava en sus alrededores. Cuando el enfriamiento es relativamente rápido, la roca resulta afanítica.

Las rocas sedimentarias comprenden tipos comunes tales como los conglomerados (roca esencialmente compuesta por fragmentos pétreos granulares redondeados cuyos diámetros varían desde el de guijarros hasta bolecos, aglutinados por algún cementante, como la arcilla), las areniscas (roca formada esencialmente por granos de cuarzo, con o sin material cementante intersticial, en la que los granos gruesos tienden a ser más redondeados que los finos. La fractura se realiza esencialmente por el material cementante), las pizarras blandas y las calizas. Los materiales con que se formaron originalmente las rocas sedimentarias pueden haber sido tierra, roca o materia orgánica, como por ejemplo las partes duras de los moluscos. La materia se erosiona en las áreas montañosas por la acción de los agentes naturales, y es acarreada luego a los valles, por las corrientes de agua, los vientos y las tempestades.

Los materiales así reunidos, gruesos o finos, cementan entre sí mediante el depósito de materiales aglutinantes en los intersticios existentes entre cada grano.

La arena (con diámetro usualmente menor a 3/16") y la grava (diámetro entre 3/16" y 8") se transforman gradualmente en areniscas y conglomerados. Los

ingredientes principales de las calizas, las conchas y los corales, provienen del océano, en donde se solidifican por acción del depósito de carbonato de calcio o de conchas que existen disueltas en el agua.

Las rocas formadas por la consolidación de sedimentos de grano fino, como limo o arcilla, se conocen con el nombre de pizarras blandas o lutitas.

La transformación tiene lugar, no por cementación como en los sedimentos de grano grueso, sino por entrecrecimiento local de las partículas adyacentes.

Tal entrecrecimiento va asociado con cambios mineralógicos ligeros y no se produce sino hasta que el sedimento queda sujeto a temperaturas y presiones relativamente altas, de acción prolongada a través de largos períodos de tiempo.

La transición de limo y arcilla a pizarra blanda es de carácter gradual. Por consiguiente los materiales que se encuentran en una excavación y que estén en etapa de transición, pueden tener ciertas cualidades que no respondan a la descripción de la roca ni a la de la arcilla.

Las rocas metamórficas son el resultado de un proceso de recristalización que tuvo lugar a temperatura alta, presión elevada, y por el hecho de que ha aumentado la densidad y la resistencia mecánica del material. Las características de las rocas que se encuentran, dependen de la naturaleza del material que ha experimentado dicho cambio.

Las calizas se transforman en mármoles, las areniscas en cuarcita, y las pizarras blandas en pizarras duras y esquistos. Estas se conocen como rocas metamórficas de grado inferior. Al aumentar la temperatura y la presión, la roca sufre una metamorfosis que origina un gneis muy duro y denso, o sea una roca metamórfica de grado superior. Por lo general, las pizarras duras y los esquistos se originan de las pizarras blandas.

Durante el metamorfismo de una pizarra blanda, aumenta el porcentaje de minerales micáceos y las partículas se orientan paralelamente entre sí. Este cambio puede observarse cuando las pizarras duras y los esquistos se parten con facilidad en placas delgadas. La capacidad para partirse de esta manera se conoce como exfoliación. La presencia de la exfoliación debilita mecánicamente la roca, reduciendo a valores sumamente bajos su resistencia a la compresión en la dirección de los planos de exfoliación.

La existencia de hojas de cuarzo paralelas a los planos de exfoliación, puede aumentar tanto el tiempo como el costo de barrenación.

La composición mineralógica del gneis es, por lo general, semejante a la del granito.

En el gneis, el porcentaje de elementos foliformes es mucho menor que en el esquisto. En consecuencia, la exfoliación es errática, pudiendo ser alta la resistencia mecánica.

Toda roca tiene defectos mecánicos o fracturas. Las fracturas simples, en las que se observa que no haya ocurrido desplazamiento alguno, se llaman juntas o uniones. Una junta puede ser abierta o cerrada y puede no ser visible. La roca no tiene resistencia a lo largo de una junta superficial.

En las canteras y excavaciones a cielo abierto, la separación de las juntas determina el tamaño máximo de bloques que pueden obtenerse.

Las juntas que presentan las rocas ígneas tienen relación con la contracción que sufrieron al enfriarse. Muchas rocas deformadas tienen juntas que se deben a fallas por tensión.

En muchas rocas las juntas no son continuas, o son tan irregulares que los bloques comprendidos entre ellas muestran una unión cerrada. Tales juntas interrumpen la continuidad de la roca y reducen la resistencia mecánica media de la masa asociada, a una pequeña reacción de su resistencia mecánica cuando están sanas.

Se les llama fallas a las fracturas complejas, de gran extensión, a lo largo de las cuales se observa un desplazamiento relativo. Por lo general, la roca adyacente a una falla aparece triturada. La falla puede o no ocurrir según un plano de estratificación, o sea de la superficie que separa dos capas de roca sedimentaria, o plano de debilidad.

En contraste con los procesos que conducen a la integración de las rocas, las fallas y los plegamientos se desarrollan por la presencia de grandes esfuerzos de compresión originados por ajustes naturales de la corteza terrestre.

La existencia de estos aspectos de debilidad es bastante común, y debe suponerse que existe cuando no se dispone de suficiente información para demostrar lo contrario.

Las fallas y los plegamientos requieren de procedimientos de construcción especiales y deben ser estudiados con cautela antes de proceder.

Tipos comunes de fallas:

i.- Falla normal.- es aquella en la que el respaldo de la falla parece haberse movido hacia abajo.

ii.- Falla inversa.- es aquella en la que el respaldo de la falla parece haberse movido hacia arriba.

iii.- Falla con resbalamiento.- Movimiento horizontal con deslizamiento paralelo al rumbo de la falla.

En los plegamientos, se llama anticlinal a la parte convexa y sinclinal a la parte cóncava. La posición relativa de los lados del plegamiento determina el tipo del mismo, y éste puede ser simétrico, asimétrico, volteado o recostado.

Debe reconocerse el tipo de falla para determinar el tipo de material que va a encontrarse durante la explotación o excavación.

1.2 UBICACIÓN DEL BANCO

En la elección del banco de explotación, deben tomarse en cuenta diferentes características. Las más importantes son, sin duda, las que corresponden a la composición química del material a extraer, así como la utilidad que se le puede dar a éste.

Sin embargo, no resulta menos importante la ubicación geográfica del banco. Debido a que deben considerarse cuestiones tales como el fácil acceso de maquinaria y equipo tanto de extracción como de transportación, y no sólo el acceso en el terreno mismo del banco, sino mucho antes de llegar a éste, en ocasiones habrán de realizarse obras complementarias de gran magnitud, con el fin de comunicar al banco con alguna población cercana, si es que la hay, o, inclusive, si el banco está pensado no sólo como una obra aislada, sino como complemento de una aún mayor, como puede ser una presa o una autopista, y no existe alguna población cercana, habrá de construirse una, con su correspondiente población.

Debemos tomar en cuenta, también, las posibles afectaciones sociales, culturales, religiosas, etc., así como el impacto ambiental, ya sea hacia las poblaciones cercanas existentes, como a la que se habrá de construir.

1.3 ESTUDIOS GENERALES DE SUELO

Para la clasificación preliminar de un suelo, o para determinar sus propiedades en el laboratorio, es necesario contar con muestras del mismo. Respecto al propósito con el que se tomen las muestras, éstas se dividen en muestras de inspección y muestras para laboratorio.

Las muestras de inspección sólo deben ser representativas. En cambio, las muestras destinadas a estudios de laboratorio deben de llenar una serie de requisitos con respecto a su tamaño, método de obtención, embarque, etc. Tanto las muestras de inspección como las de laboratorio pueden ser: inalteradas o alteradas. Inalteradas; cuando se toman todas las precauciones para procurar

que la muestra esté en las mismas condiciones en las que se encuentra en el terreno del cual procede, alteradas; en caso contrario.

Para el muestreo de un banco de préstamo, se abre una serie de pozos, zanjas o sondeos, en número y disposición tales, que las muestras que se obtengan representen en lo posible el material que constituye el banco.

Es conveniente trazar una cuadrícula de 100 m, que cubra el banco de préstamo y localizar en las intersecciones los sondeos. Siempre que sea posible, deberán orientarse a los levantamientos topográficos, en esta forma todas las cuadrículas guardan una sola orientación.

Para un muestreo preliminar, generalmente es suficiente abrir sondeos a cada 200 ó 300 m, según sea la extensión del banco. Posteriormente, cuando se requiere un estudio más completo, se abren sondeos intermedios en número conveniente para limitar y determinar las áreas de los distintos materiales, así como la profundidad media de los mantos para estimar los volúmenes de material utilizable.

Todo sondeo de prueba o cualquier excavación debe ser registrado y referido de modo tal que permita su pronta localización; anotando su profundidad, clase de material y todas las observaciones que se consideren pertinentes.

Para cada sondeo excavado y muestreado, debe dibujarse el perfil correspondiente, especificando el número de las distintas capas que puso al descubierto el corte. Los materiales de las diferentes capas deben clasificarse de acuerdo a las especificaciones internacionales del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). Durante la exploración del terreno debe observarse el material que constituye el préstamo, su condición homogénea o heterogénea y su composición en una o varias capas.

De acuerdo con estos datos, se debe efectuar el muestreo e indicar la forma en que deberá ser explotado el préstamo durante la construcción, así como el equipo adecuado para ello, con experiencias anteriores o las especificaciones de los equipos propuestos.

PRUEBAS FÍSICAS IN SITU

- a) Granulometría (material de aluvión).
- b) Determinación del tamaño máximo de agregado.
- c) Peso volumétrico abundado de los pétreos.

PRUEBAS MECÁNICAS EN LABORATORIO CENTRAL

- a) Desgaste de Los Angeles.
- b) Sanidad.
- c) Reactividad Alcalí-Agregado.
- d) Granulometría.
- e) Impurezas Orgánicas.
- f) Contaminación.
- g) Clasificación Petrográfica.
- h) Absorción
- i) Módulo de Finura.
- j) Peso Unitario.
- K) Peso Especifico Aparente.

GRANULOMETRÍA

El análisis granulométrico de un suelo consiste en separar y clasificar por tamaños los granos que lo componen.

A partir de la distribución de los granos de un suelo, es posible formarse una idea aproximada de otras propiedades del mismo.

Según su composición, la granulometría puede determinarse por medio de mallas, por el método del hidrómetro o bien combinando ambos.

El análisis mecánico se concreta a segregar el suelo por medio de una serie de mallas que definen el tamaño de la partícula.

El método del hidrómetro se basa en la aplicación de la Ley de Stokes a una esfera que cae libremente en un líquido.

El análisis combinado o total consiste en la aplicación de los métodos antes citados, a las porciones gruesa y fina de un mismo material; este es el caso que comúnmente se presenta en tierras que se emplean en la formación de terraplenes de carreteras y presas.

Las mallas, especificación ASTM, empleadas en la separación de las partículas gruesas son las siguientes:

mallas	
mm	in
76.20	3
50.80	2
38.10	1 1/2
25.40	1
19.05	3/4
12.70	1/2
9.53	3/8
4.76	3/16

Las mallas, especificación ASTM, empleadas en la separación de las partículas finas son las siguientes:

Mallas	
mm	#
4.750	4
2.380	8
1.190	16
0.297	50
1.149	100
0.074	200

LÍMITES DE CONSISTENCIA

Las propiedades de un suelo formado por partículas finamente divididas, como una arcilla no estructurada, dependen en gran parte, de la humedad.

El agua forma una película alrededor de los granos y su espesor puede ser determinante de comportamientos diferentes del material.

Cuando el contenido de agua es muy elevado en realidad se tiene una suspensión muy concentrada, sin resistencia estática al esfuerzo cortante; al perder agua, va aumentando esa resistencia hasta alcanzar un estado plástico en el que el material es fácilmente moldeable; si el secado continúa, el suelo llega a adquirir las características de un sólido, pudiendo resistir esfuerzos de compresión y tensión considerables.

Existen cuatro estados en que pueden presentarse los materiales granulares muy finos; líquido, plástico, semisólido y sólido, marcando ciertas fronteras que se conocen como Límites de Consistencia.

Límite Líquido "Ll".- Es la frontera entre el estado líquido y el plástico, lo fija el contenido de agua (expresado en por ciento del peso seco) que debe tener un suelo remoldeado para que una muestra del mismo, en que se haya practicado una ranura de dimensiones estándar, al someterla al impacto de veinticinco golpes bien definidos, se cierre sin resbalar en su apoyo.

Límite Plástico "Lp".- Es la frontera entre el estado plástico y el semisólido, lo fija el contenido de agua con el que comienza a agrietarse un rollo formado con el suelo, de aproximadamente 3.2 mm de diámetro, al rodarlo con la mano sobre una superficie lisa, no absorbente, que puede ser una placa de vidrio.

Límite de Contracción "Lc".- Es la frontera entre el estado semisólido y el sólido, lo fija el contenido de agua que saturaría a un suelo contraído por secamiento de evaporación.

La diferencia entre el Límite Líquido y el Límite Plástico se llama índice de plasticidad, y es, precisamente, la medida de plasticidad del suelo.

Se define el Índice de Contracción por la diferencia entre el Límite Plástico y el Límite de Contracción.

En Mecánica de Suelos, y en particular en los estudios de materiales para la construcción del terraplén de una carretera o cortina, los Límites de Consistencia son de gran ayuda para clasificar la fracción fina de un suelo; así como en el manejo de la explotación de préstamos, cuando éstos están formados por materiales esencialmente arcillosos o limosos.

EQUIVALENTE DE ARENA

Todos los materiales pétreos que se utilizan en las capas de pavimento contienen en mayor o menor grado partículas finas, de cuyo monto y actividad depende en gran parte, el comportamiento mecánico del material. En general esta prueba determina el comportamiento plástico de los finos contenidos en el material.

La prueba consiste en introducir una cantidad prefijada de la fracción de material que pasa la malla # 4 en una probeta estándar, parcialmente llena con cloruro de calcio y glicerina, que entre otros efectos propicia la sedimentación de los finos.

Tras un período de agitación para su homogeneización, la probeta se deja en reposo durante 20 minutos, al cabo de los cuales el perfil de sedimentación en el

fondo, debe consistir en dos capas fácilmente distinguibles, la inferior de arena y la superior formada por la cantidad de arcilla que se haya alcanzado a depositar.

Por medio de un pistón, se determina la cantidad de arena y de arcilla contenida en la muestra. El Equivalente de Arena se define como:

$$EA = ((L.N.S. \text{ de arena} / L.N.S. \text{ de arcilla}) \times 100)$$

Donde: L.N.S. es la lectura del nivel superior

Un E.A. igual a cero se obtendrá en una arcilla pura, en tanto mayor sea el EA, se tendrá una mayor cantidad de arena.

VALOR RELATIVO DE SOPORTE

El Valor Relativo de Soporte (VRS), es una prueba que determina la capacidad de carga de una capa de pavimento.

Para definir el concepto de VRS, explicaremos brevemente el procedimiento de la prueba respectiva.

Un vástago de 3 in2 (19.4 cm²) de área se hace penetrar en un espécimen de material a razón de 0.05 in/min (0.127 cm/min), se mide la carga aplicada para penetraciones que varíen a razón de 0.1 in (0.25 cm). El Valor Relativo de Soporte se define como la relación, expresada en porcentaje, entre la presión necesaria para penetrar las primeras 0.1 in (0.25 cm) y la presión requerida para obtener la misma penetración en un material arbitrario en la que se producen las presiones en el vástago determinadas para esta prueba.

PRUEBA DE LOS ÁNGELES

La prueba de Los Ángeles determina la resistencia a la abrasión del material a partir del incremento de finos que se producen al golpear los agregados con bolas de acero dentro de un recipiente.

Procedimiento: en un tambor se colocan 5.00 kg de material limpio y seco, procurando que la granulometría sea semejante o igual a la que se pretende utilizar en los procedimientos constructivos.

Adicionalmente al material se incorpora el peso normalizado de esferas de acero, las cuales actúan como carga abrasiva. El tambor se hace girar 500 veces a una velocidad de 30 a 33 rpm. El material así obtenido se lava y se seca, haciendo pasar por la malla #12.

$$pd = [(A - B) / A] \times 100$$

Donde:

pd = Porcentaje de desgaste

A = Peso de la muestra inicial

B = Peso del material retenido en malla #12

Como se podrá observar directamente en la fórmula entre más bajo sea el coeficiente, más dura será la roca analizada.

DENSIDAD

Se define como Densidad de un suelo a la relación entre el peso de los sólidos y el peso del volumen de agua que desalojan.

Tratándose de gravas o piedras, se determina la densidad con relación al agua limpia a la temperatura ambiente, estando el material saturado.

El valor de la Densidad, queda expresado por un número abstracto, además de servir para fines de clasificación, interviene en la mayor parte de los cálculos de Mecánica de Suelos.

Para su determinación en el laboratorio se hace uso de matraces calibrados a distintas temperaturas.

La Densidad de los suelos varía comúnmente entre los siguientes valores:

Cenizas Volcánicas	2.20 a 2.50
Suelos Orgánicos	2.50 a 2.65
Arenas y Gravas	2.65 a 2.67
Limos Inorgánicos	2.67 a 2.72
Arcillas poco Plásticas	2.72 a 2.78
Arcillas Plásticas	2.78 a 2.84
Arcillas Expansivas	2.84 a 2.88

1.4 TIPO Y CALIDAD DE MATERIALES A EXTRAER

En términos generales los bancos de préstamo se dividen en tres grupos básicos:

1.- Cantera Roca. Sana o intemperizada a cielo abierto, formada esencialmente por mantos rocosos de basalto y granito, con o sin material cementante intersticial, en la que los granos gruesos suelen ser rocas de gran tamaño.

2.- Material de aluvión. Gravas que se encuentran en depósitos naturales, más o menos entremezclados con material fino, como arena o arcilla, variando las proporciones de los materiales constituyentes, de acuerdo con la naturaleza y origen del banco.

3.- Conglomerados. Roca esencialmente compuesta por fragmentos pétreos granulares, redondeados, cuyos diámetros varían desde el correspondiente a guijarros, hasta boleó, que se encuentran aglutinados por algún cementante, como la arcilla.

En todos los casos, antes de la explotación propia del banco, es necesario el conocimiento de sus características geológicas, físicas y químicas, a partir de las cuales se determinará si el material que se va a extraer es apto para los fines que se propone.

Paralelamente a estos estudios debemos investigar la potencialidad y tenencia jurídica de la tierra. Si se requiere el uso y almacenamiento de explosivos, tramitar ante las autoridades Municipales, Estatales y Federales, las correspondientes licencias o autorizaciones.

De resultar satisfactorias las condiciones mencionadas anteriormente, procedemos a los trabajos previos de la Explotación: construcción de los caminos de acceso, con el ancho y pendiente necesarios para un tránsito seguro y velocidad aceptable de los equipos de transporte y mantenimiento, despalme del material indeseable hasta dejar al descubierto un material sano y en lo posible un piso uniforme que facilite las operaciones del equipo de explotación; carga y transporte.

Asimismo la construcción de los patios de almacenamiento del material triturado en los sitios seguros y de fácil acceso previamente determinados en la planeación de la obra.

En el primer grupo es común el uso de explosivos para fragmentar la roca a un tamaño tal que pueda ser manejada por los equipos de carga y transporte y especialmente que pueda ser aceptada y reducida por los equipos de Trituración Primaria.

En este punto es de particular importancia contar con el apoyo del distribuidor de los materiales explosivos, quien deberá realizar los estudios técnicos de consumos unitarios al menor costo con respecto a la barrenación y voladura, para la obtención del tamaño máximo necesario durante el proceso de trituración.

El control de la barrenación adecuada, diámetro, longitud y ángulo, así como el factor de carga, es de suma importancia ya que es el origen del proceso de trituración total.

De acuerdo a las condiciones físicas y geológicas y propiedades fijas del material a extraer, es recomendable se cuente con una existencia suficiente de acero de barrenación y explosivos para asegurar un trabajo continuo.

En el segundo y tercer grupo de bancos de préstamo, resulta de gran importancia la selección mecánica de los tamaños máximos que van a ser extraídos.

En toda explotación del banco, el equipo de explotación, carga y transporte deberá estar perfectamente balanceado con la Planta de Trituración, de tal manera que se alcance la producción esperada por unidad de tiempo.

TRATAMIENTOS

Con los resultados obtenidos en el laboratorio de control de calidad en cuanto a dureza, abrasión y granulometría media de material en greña y programa de la obra se procede a la selección del equipo de tratamiento adecuado para obtener las calidades de cada uno de los materiales.

En los trabajos de pavimentación es usual someter los materiales a diversos tratamientos que los adecúan a sus funciones, los tratamientos más usuales son:

Eliminación de Desperdicios.- Se trata de eliminar en los bancos un porcentaje de partículas cuyo tamaño máximo sobrepasa el considerado en el proyecto. Esta actividad se realiza con Cribones o en casos especiales por papeo.

Disgregación.- Esta operación se hace en bancos de suelo duro, de roca alterada o en conglomerados poco cementados. La Disgregación se hace con arados o rodillos de compactación "pata de cabra".

Cribado.- Generalmente se utiliza en bancos de aluvión con el fin de lograr una granulometría adecuada o eliminar porcentajes altos de partículas mayores que el tamaño máximo requerido. Porcentajes arriba del 10% al 15% de desperdicio conviene procesarlos por trituración.

Trituración.- Es el tratamiento que se emplea para llegar a la granulometría adecuada a partir de materiales muy gruesos o de fragmentos de roca. En esta selección se determinan las etapas de trituración que nos permitan obtener las granulometrías especificadas para cada material necesario en el proyecto.

Este proceso se realiza en plantas completas que incluyen los equipos complementarios como son; alimentadores, bandas transportadoras, plantas de cribado, etc.

Lavado.- Se aplica a materiales contaminados por arcilla, materia orgánica y es frecuente emplearlo con conexión a operaciones de cribado.

En el caso de arenas para concreto hidráulico es recomendable el empleo de los tanques clasificadores, que a su vez proporcionan una curva granulométrica específica.

Para el caso de trituración, una vez determinadas las etapas, se seleccionan los equipos adecuados en función directa del tamaño, dureza y abrasión del material en greña. En este punto se estudian las condiciones de operación de las trituradoras, en especial las aberturas de descarga y tipo de tazón adecuado a las condiciones de la roca, así como los claros de las mallas en todas las etapas de cribado.

Con las granulometrías y tonelajes intermedios de producción se seleccionan las áreas de cribado y ancho, velocidad y tipo de los transportadores de banda necesarios para evitar interrupción del proceso.

Concluido el estudio de selección y arreglo del equipo, se obtienen las producciones finales de cada uno de los materiales, debiendo estar en todo lo posible balanceadas con las necesidades de la obra.

Como en el caso anterior es de vital importancia el suministro oportuno de los elementos de desgaste, como son; tazón, nuez, muelas, togles, bandas de hule, chumaceras, baleros, rodillos, mallas, etc.

El contar en almacén con refacciones de repuesto de uso común aseguran un tiempo mínimo en la sustitución de éstas.

II. EXPLOSIVOS Y MAQUINARIA PARA VOLADURA

II.1 DETERMINACIÓN DE DIMENSIONES DEL MATERIAL A EXTRAER

Antes de diseñar una voladura, o el tipo de explosivo a utilizar, debemos determinar las dimensiones del material que queremos extraer, es decir, una vez conocido el tamaño deseado del material, podremos definir tanto el tipo de explosivos a utilizar, como el diseño más conveniente de la voladura.

Para determinar el tamaño de nuestro material, es necesario conocer las dimensiones y capacidad de los alimentadores de los procesos posteriores, ya sean trituración, cribado, o su utilización inmediata después de la voladura.

Tanto en los procesos de voladura, trituración y cribado, como en el de transportación, hay dos propiedades importantes que debemos conocer, el peso de los materiales y su factor de abundamiento.

En la tabla II.1.i, se podrá leer una relación entre diferentes materiales y factores de abundamiento.

II.2 TIPO DE EXPLOSIVO A UTILIZAR.- DISEÑO DE VOLADURAS

Para una buena voladura, no basta seleccionar correctamente el explosivo, ya que es necesario conocer también el método de aplicación más indicado para cada clase de trabajo, obteniéndose con ello una máxima eficiencia, la cual se traduce en menor costo de obra. Generalmente los resultados óptimos en voladuras se adquieren a través de la experiencia.

Los objetivos de una voladura se deben tener en cuenta desde su diseño. Los principales objetivos son:

a) La roca debe tener la granulometría deseada.- Ésto se refiere a los tamaños de los fragmentos de roca; muchas veces están limitados por ciertos factores tales como la clase y tamaño del equipo de excavación y acarreo, la abertura o boca de la trituradora primaria o simplemente por el uso al que se va a destinar el material.

b) Consumo mínimo de explosivos para fracturar la roca.- El tipo de explosivo a usar deberá ser aquel que tenga un menor costo por metro cúbico de roca volada. Ya elegido el explosivo, se procurará usar el mínimo de explosivos en la carga de los barrenos que produzca los resultados requeridos, ésto redundará en el aspecto económico de la voladura.

c) Mínima barrenación posible.- Se debe perseguir hacer una distribución adecuada de los barrenos procurando tener una longitud de barrenación mínima, lo que conducirá a ahorrar tiempo y recursos, influyendo también en la economía de la voladura.,

MATERIAL	PESO ESPECÍFICO gr/cm ³	PESO DE MATERIAL kg/m ³	PORCENTAJE DE ABUNDAMIENTO	FACTOR DE ABUNDAMIENTO	PESO DE MATERIAL SUELTO kg/m ³
Cenizas, Carbón	0.64 - 0.72	640.00 - 720.00	8.00	0.93	593.00 - 670.00
Basalto	2.80 - 3.00	2,800.00 - 3,000.00	-	-	-
Bauxita	1.60 - 2.50	1,600.00 - 2,500.00	33.00	0.75	1,198.00 - 1,921.00
Arcilla densa y húmeda	1.70	1,700.00	33.00	0.75	1,334.00
Antracita (Carbón)	1.30	1,300.00	35.00	0.74	968.00
Carbón bituminoso	1.10	1,100.00	35.00	0.74	830.00
Mineral de cobre	2.20	2,200.00	35.00	0.74	1,680.00
Diabasa	2.60 - 3.00	2,600.00 - 3,000.00	-	-	-
Diorita	2.80 - 3.00	2,800.00 - 3,000.00	-	-	-
Dolomita	2.60 - 2.90	2,600.00 - 2,900.00	-	-	-
Tierra seca	1.60	1,600.00	25.00	0.80	1,328.00
Tierra húmeda	2.00	2,000.00	25.00	0.80	1,601.00
Tierra con arena y grava	1.80	1,800.00	18.00	0.65	1,565.00
Tierra con roca m ^{ix} ta	1.40 - 1.70	1,400.00 - 1,700.00	30.00	0.77	1,138.00 - 1,370.00
Gneis	2.60 - 2.80	2,600.00 - 2,900.00	-	-	-
Granito	2.70	2,700.00	50.00 - 80.00	0.67 - 0.56	1,779.00 - 1,494.00
Grava seca	1.90	1,900.00	12.00	0.69	1,720.00
Grava húmeda	2.10	2,100.00	14.00	0.68	1,898.00
Yeso	2.30 - 3.30	2,300.00 - 3,300.00	-	-	-
Hematita (mineral de hierro)	4.50 - 5.30	4,500.00 - 5,300.00	-	0.45	2,018.00 - 2,476.00
Limonita (mineral de hierro)	3.60 - 4.00	3,600.00 - 4,000.00	-	-	-
Magnetita (mineral de hierro)	4.90 - 5.20	4,900.00 - 5,200.00	-	-	-
Galena (mineral de plomo)	7.50	7,500.00	-	-	-
Calze	2.60	2,600.00	67.00 - 75.00	0.60 - 0.57	1,423.00 - 1,494.00
Mármol	2.70	2,700.00	67.00 - 75.00	0.60 - 0.57	1,554.00 - 1,638.00
Marga	1.60	1,600.00	20.00	0.63	1,328.00
Mica esquist	2.50 - 2.90	2,500.00 - 2,900.00	-	-	-
Roca fosfórica	3.20	3,200.00	-	-	-
Cuarcita	2.00 - 2.80	2,000.00 - 2,800.00	-	-	-
Roca dura, barreno tronado	2.40	2,400.00	50.00	0.67	1,589.00
Conglomerado	1.90 - 2.10	1,900.00 - 2,100.00	35.00	0.74	1,423.00 - 1,720.00
Halla	2.10 - 2.60	2,100.00 - 2,600.00	-	-	-
Arena seca	1.90	1,900.00	12.00	0.69	1,720.00
Arena húmeda	2.20	2,200.00	-	-	-
Arenisca	2.50	2,500.00	40.00 - 60.00	0.72 - 0.63	1,767.00 - 1,548.00
Pizarra	2.40 - 2.80	2,400.00 - 2,800.00	33.00	0.75	-
Pizarra	2.70 - 2.80	2,700.00 - 2,800.00	30.00	0.77	2,593.00 - 2,218.00
Talco	2.80 - 2.80	2,800.00 - 2,800.00	-	-	-
Roca ignea	3.00	3,000.00	50.00	0.67	2,016.00

Tabla II.1.1

d) Mínimas proyecciones de la roca.- Se entiende como proyección al lanzamiento de fragmentos de roca al aire, procedentes de la voladura. Es conveniente que las proyecciones de roca sean mínimas, pues son producto de un uso inútil de la energía del explosivo y, además, pueden ocasionar daños.

e) Fracturación mínima de la roca no volada.- Debe evitarse

II.3 SELECCIÓN Y UTILIZACIÓN DE EQUIPO DE BARRENACIÓN

La barrenación consiste en la horadación del terreno practicada por medio de herramientas manuales y/o mecánicas, con la finalidad de hacer barrenos destinados a alojar explosivos para aflojar roca cuando ésta no pueda ser económicamente aflojada y excavada por medio de otros dispositivos y herramientas.

Es muy común confundir la palabra barrenación con perforación; perforar es practicar la horadación del terreno con la finalidad de formar hoyos o agujeros que servirán para usos permanentes, como en el caso de perforaciones para explotación de petróleo, perforaciones destinadas a obtener muestras de roca o tratar a éstas por medio de procedimientos especiales con la finalidad de mejorar sus cualidades mecánicas, para anclajes, para alojar cables, para ventilación, etc.

Eventualmente, cuando así convenga, una misma máquina puede ser empleada en trabajos de barrenación o en la ejecución de perforaciones; pero como quedó señalado, la barrenación es exclusivamente destinada a alojar explosivos y fragmentar las rocas, sin embargo, para el caso de alojamiento de explosivos, ambos tipos de máquina serán utilizables.

Aire comprimido.- El aire comprimido es el aire atmosférico sometido a una compresión más o menos fuerte, para que a la salida nos de la presión que sea necesaria en diversas aplicaciones. Esta energía se produce en unas máquinas llamadas compresores, los cuales tienen varios propósitos como son: transmitir potencia, proveer aire para combustión, transportar y distribuir gas, circular gases durante un proceso y acelerar reacciones químicas.

En este caso, lo más interesante es la transmisión de potencia a través de un sistema de aire comprimido para mover herramientas de perforación.

Sus partes esenciales son: el motor, el compresor y el tanque de aire, que sirve para regular la descarga. La transportación del aire comprimido se puede realizar con tubos de acero, unidos mediante conexiones a mangueras.

La capacidad de los compresores se refiere al flujo del aire o gas comprimido, entregado de acuerdo a las condiciones de temperatura, presión atmosférica y composición del aire a la entrada del compresor.

Dependiendo del tipo y forma en que se comprime el aire y considerando que pueden ser de uno, dos o más pasos, los compresores se clasifican como sigue:

Compresores de desplazamiento positivo:

Compresores reciprocantes.- Los compresores reciprocantes dependen de un pistón que se mueve hacia atrás y hacia adelante en un cilindro, para efectuar la compresión del aire. El pistón puede comprimir al moverse en una o en dos direcciones, para el primer caso se llama de simple acción, y para el segundo, de doble acción. El compresor puede tener uno o más cilindros.

Compresores rotatorios.- Estos compresores son parecidos a los compresores reciprocantes. La diferencia principal está en que los compresores rotatorios funcionan con un impulsor rotatorio que fuerza el paso del aire a través de una cámara curvada de confinamiento, para comprimirlo a una presión mayor, además de trabajar a mayor velocidad y requiere más potencia para una entrega dada.

Compresores de aspas.- En estos compresores, unas aspas radiales se desplazan en un rotor excéntrico dentro de un cuerpo cilíndrico. El gas atrapado entre las aspas del rotor, es comprimido y desplazado.

Compresores de pistón.- Estos compresores utilizan pistones para comprimir y desplazar el aire. El motor acciona los pistones que comprimen el aire en los cilindros. Un sistema de válvulas permite que el aire comprimido se lleve al depósito de almacenamiento.

Compresores impelentes en línea.- En estos compresores, dos impelentes de forma tubular confinan el aire y lo acarrean desde la entrada hasta la descarga. No hay compresión interna.

Compresores helicoidales.- En estos compresores, dos rotores interconstruidos cada uno en forma helicoidal, comprimen y desplazan el aire. La compresión del aire se efectúa entre los lóbulos y canales. La aspiración y descarga (entrada y salida) de aire se realiza automáticamente al girar los rotores con lo cual se eliminan válvulas y mecanismos de sincronización adicional.

Compresores de flujo continuo:

Compresores eyectores.- Son máquinas que mezclan el gas al paso en una espesa de alta velocidad, posteriormente convierte la velocidad de la mezcla en presión en un difusor.

Compresores dinámicos.- Son aquellos en los que la acción dinámica (de alta velocidad) de las aspas o impulsores rotatorios, imparten velocidad y presión al aire contenido en un espacio confinado. Estos compresores generalmente se

usan en los campos de petróleo, del procesamiento de materiales y de los productos químicos.

Compresores centrífugos.- Estos compresores son máquinas en las cuales la compresión se lleva a cabo por medio de una hélice giratoria o impulsor que le imparte velocidad al flujo de aire para proporcionarte la presión deseada. El flujo principal es radial.

Compresores axiales.- En estos compresores la aceleración es obtenida por la acción de rotores de aspas redondeadas aerodinámicas, cuidadosamente diseñadas, situadas de manera que, al girar, el aire se mueve hacia el borde saliente de los álabes. Los espacios que quedan entre los álabes son tales que en ellos se produce un efecto de difusión y desaceleración a medida que el aire se mueve hacia el borde del grupo siguiente de paletas móviles.

Compresores de tipo mixto.- Los impelentes tienen forma combinada de ambos tipos, axial y centrífugo.

Los compresores pueden ser portátiles y estacionarios. Existen también unidades conjuntas de tractor compresor que son como cualquier otra máquina, con la ventaja de ser autopulsados.

Rendimiento de los compresores:

Existen diversos factores que afectan el rendimiento de los compresores, como son: pérdidas en conexiones, altura sobre el nivel del mar, fricción, etc.

Si las máquinas operan en un nivel superior al del mar, entonces los consumos sufren una alteración. Cuando se tienen varias máquinas trabajando en un frente, debe tomarse en cuenta la condición de que no todas las máquinas trabajan al mismo tiempo. Las causas de baja presión en un sistema, son básicamente debidas a un diseño inadecuado, a las fugas y a la insuficiente capacidad de los compresores. La presión a la que se deben regular los compresores debe ser la presión de especificación y las pérdidas en la lectura del manómetro a la salida del recipiente general.

Equipos de perforación:

En general, las perforadoras son herramientas formadas por un mecanismo apropiado para producir los efectos de percusión o de rotación de la barrena que, accionada mediante un motor de gasolina, diesel o eléctrico, o bien por un compresor, va provista normalmente de una broca en su extremo de ataque. En algunas ocasiones, dicho extremo de ataque termina en punta.

La perforadora adecuada se determina en base al tipo y tamaño de la obra, tomando en cuenta la naturaleza del terreno, la profundidad y el alcance de los

barrenos, así como la roca o piedra que quiere producirse; por lo que se dividen en:

Pistola o martillo de perforación, jumbo, perforadora de carriles, perforadora portátil de torre y contrapoceras.

Pistolas de piso.- Son máquinas que se usan para perforación de barrenos y según el dispositivo alimentador, reciben otros nombres y usualmente emplean dos métodos de perforación: el de percusión y el de rotación.

El elemento básico en las perforadoras neumáticas de percusión es un pistón que se mueve en forma recíproca dentro del cilindro de la perforadora, golpeando en cada ciclo completo el zanco o espiga del acero de barrenación. La energía es transmitida por el acero de barrenación hasta la broca, que a su vez golpea la roca en el fondo del barreno fragmentándola en pequeñas partículas que son desalojadas del agujero por medio de una corriente de aire o de aire y agua que son inyectados desde la perforadora a través de un conducto coaxial interior en el acero de barrenación, llamado conducto de circulación o de soplado.

La broca realiza un sucesivo cincelado en el fondo del barreno, ya que está en un movimiento giratorio, sufriendo un desplazamiento angular en cada ciclo completo del pistón de la perforadora, con lo cual se logra que los filos de la barrena golpeen en posición diferente en cada golpe sucesivo.

Es importante mencionar que las pistolas de piso pueden ser adaptadas a un brazo o elemento auxiliar que está diseñado para acoplarse perfectamente a estos elementos de perforación, este mecanismo alimentador o empujador del tipo telescopio se ajusta por medio de una válvula integral, para que mantenga una adecuada presión y haga avanzar a la perforadora montada sobre el mismo, en la medida que progresa la barrenación.

Cuando llevan este tipo de mecanismo de empuje, a estas perforadoras se les conoce como piernas o brazos neumáticos o bien "Stoppers".

Estas máquinas son usuales para la barrenación manual en trabajos a cielo abierto, en minas y canteras. Cuando van acopladas al brazo auxiliar se utilizan básicamente en trabajos subterráneos de perforación horizontal, vertical e inclinada, pero en paredes y techos de poca altura.

Las demoledoras de pavimentos, encuentran su aplicación en la demolición de mampostería y/o concreto, pavimentos asfálticos e hidráulicos en calles, carreteras o aeropistas y en general en los trabajos de demolición, así como en diversos trabajos, según la herramienta empleada como palas taladoras, remachadoras, ajustadoras de tuerca, etc. Aumentando considerablemente así sus posibilidades de aplicación.

Perforadora de carriles.- son máquinas que consisten básicamente de una perforadora neumática articulada a una guía de acero o mástil que, accionada por medios neumáticos o hidráulicos, gira, sube o baja a lo largo del propio mástil, permitiéndole que el número de posiciones para perforación sea ilimitado. Pueden ir montadas sobre orugas o ruedas neumáticas.

Este tipo de mecanismo de alimentación tiene su más amplio campo de aplicación en las perforadoras especializadas en barrenación horizontal, aunque en la práctica pueden realizar barrenos horizontales, verticales e inclinados, siempre y cuando se encuentren adecuadamente montadas.

Las perforadoras de carriles, mejor conocidas como perforadoras de columnas, emplean modernas brocas intercambiables con insertos de carburo de tungsteno, teniendo una longitud de avance muy grande, que permite la utilización de secciones de acero de barrenación en túneles.

Estas perforadoras son, generalmente, de accionamiento de percusión, habiendo también rotatorias. El motor que controla los movimientos puede ser de gasolina o de diesel, pero con frecuencia se tienen las accionadas por medio de un compresor que transmite, por medio de mangueras, el aire comprimido que requieren.

La posición de la guía o columna, que permite usar largos tramos de barras de perforación sin que éstas afecten la estabilidad de la máquina, facilitan la aplicación de la barrena en direcciones y posiciones diferentes.

Eventualmente, algunas de las perforadoras de columna ligeras, pueden ser desmontadas y utilizadas como perforadoras de mano en trabajos de barrenación de piso, aunque sus rendimientos son reducidos, puesto que el dispositivo de empuje debe ser adecuado a la capacidad de la perforadora.

Cuando las perforadoras de carriles van montadas sobre carros con ruedas neumáticas se conocen como "Wagondrill" y el mástil puede ser accionado por medios manuales, mecánicos, neumáticos, o bien ir montadas en un brazo de accionamiento hidráulico. Su empleo más común es en la barrenación de excavaciones a cielo abierto, por su tamaño, tiene muy poca aplicación en los túneles y excavaciones subterráneas, por lo que son usadas principalmente en trabajos en banco y canteras donde se requieren barrenos a diámetros del orden de 2" a 4" y hasta 10 a 15 metros de profundidad.

Cuando estas perforadoras van montadas sobre carros de orugas reciben el nombre de "Trackdrill" y son máquinas muy pesadas fundamentalmente para trabajos de barrenación muy profunda a diámetros de 3" o mayores. Son máquinas extremadamente versátiles, gracias a la amplitud de movimientos que les dispensan los pistones neumáticos que accionan a la articulación del mástil de perforación.

Al igual que las perforadoras montadas sobre carros de ruedas neumáticas, las montadas sobre carros de orugas sólo conviene utilizarlas en barrenos con diámetros grandes, de 3" a 5", con lo que se pueden cargar los barrenos con una alta densidad de explosivos en cartuchos de gran diámetro, para obtener resultados más económicos, además pueden operar con acero seccional de barrenación de longitudes muy grandes, con lo cual se reducen los tiempos de maniobras, aumentando en forma muy notable sus correspondientes rendimientos.

Perforadoras de torre.- Son máquinas formadas esencialmente por una torre o pluma debidamente apoyada sobre la parte posterior de un camión o estar montada sobre orugas; característica que las define dentro de las máquinas de autopropulsión.

La mayoría de las perforadoras de torre desarrollan la perforación por rotación. Realizan las perforaciones por medio de una tubería suspendida desde el mástil o torre y conectada a su respectivo compresor por medio de mangueras y un encastre giratorio (swivel), los que en su extremo inferior llevan montada una barrena de tipo tricónico de roles giratorios.

En general, la potencia de estas máquinas que puede ser suministrada por el motor del vehículo o por un motor adicional de gasolina, diesel o eléctrico, puede llevarse a cabo también mediante un compresor, como se mencionó anteriormente, montado sobre el camión o remolcado atrás de éste, y entonces todas las maniobras de operación serán a base de aire comprimido.

Las perforadoras grandes son especiales para servicio pesado, muy populares en la actualidad y ofrecidas por varios fabricantes importantes de equipos de perforación y de compresión, diseñadas para iniciar barrenos de precisión en terrenos accidentados. Son aparatos que se caracterizan principalmente porque la maniobra de perforación se desarrolla a través de la torre o pluma, y porque en casi todos los modelos la posición vertical es utilizada únicamente para el trabajo, mientras que la horizontal es exclusiva para cuando la máquina es transportada.

En general, la barrenación por medio de perforadoras rotatorias en la actualidad se encuentra limitada a trabajos en minas, grandes canteras y otras obras similares, cuando los trabajos cambian con frecuencia.

Jumbo o carro de barrenación.- Es una plataforma móvil, en donde tanto las herramientas de perforación como sus operadores van montados sobre ésta, permitiendo que la barrenación se realice simultáneamente en todas las perforadoras. Gracias a unos brazos articulados, movidos por gatos hidráulicos, pueden adoptar todas las posiciones.

Actualmente los Jumbos pueden ir montados sobre llantas neumáticas o sobre orugas y si es necesario, sobre rieles.

Generalmente se utilizan para la barrenación previa a los explosivos en la mayoría de los trabajos subterráneos como son: minas, túneles, galerías y tiros de ventilación.

Cuando las perforadoras de mástil van montadas en carros de orugas o de ruedas neumáticas, son utilizadas principalmente en canteras y minas a cielo abierto, así como trabajos de obras públicas y otra serie de aplicaciones especiales tales como perforaciones para anclajes, inyecciones de concreto y prospecciones.

Contrapoceras.- Son máquinas especiales para la perforación inversa, o sea que la perforación final la ejecutan en el sentido contrario al ordinario. Consta de una cabeza escariadora que utiliza como herramienta de corte, tienen un perfil esférico para distribuir la carga en una forma proporcional, hace recortes más grandes, por lo tanto una perforación más rápida requiere menos energía, con alimentación; tirando en vez de empujar.

El sistema de accionamiento que utiliza es un convertidor de frecuencia. Lleva consigo una computadora de microprocesamiento, un impresor de lectura en el panel del operario para el mando y control de las diferentes operaciones y funciones.

Para su operación, primeramente se hace un agujero, llamado agujero piloto, en la manera ordinaria a través de la capa que separa el túnel o galería de la superficie, hasta que la broca sobresalga en el otro extremo. Se quita la broca y se instala la cabeza escariadora. Se utiliza una rotación en la dirección de la perforación, con la alimentación tirando en vez de empujar. Cada vez que la alimentación llega al extremo de su carrera se quita un tramo de barrena.

Los escombros caen dentro del túnel y son removidos por cualquier método conocido.

Existen diferentes métodos de perforación con estas máquinas que dependen del fin que se persiga, es por eso que se debe de consultar al fabricante de todas las características de las mismas, ya que son ellos los que más conocen este sistema, teniendo en cuenta sus ventajas y desventajas, porque se encuentran en constante investigación y llevan sus registros de los hechos más importantes donde accionan sus productos.

Se utilizan principalmente en la minería, para abrir chimeneas o tiros de ventilación, en el campo de la construcción, para perforar lumbreras en los diversos túneles, en las casas de máquinas de los proyectos hidroeléctricos, etc.

II.4 SELECCIÓN Y UTILIZACIÓN DE EQUIPO DE CARGA Y TRANSPORTACIÓN

La tabla que se muestra a continuación, nos indica el equipo de carga y transportación que se requiere, dependiendo del material a extraer.

TIPO DE MATERIAL	DESPALME Y LIMPIEZA	REPARACIÓN DEL BANCO	EXCAVACIÓN Y CARGA		TRANSPORTE	
			TAMAÑO MÁXIMO (m)	EQUIPO	DISTANCIA (km)	EQUIPO
Roca sana superficialmente alterada	Tractor de orugas con cuchilla "U"	Barreración y tronado de acuerdo al tipo de roca y al tamaño máximo por obtener	$0.75 < X < 2.00$	Pala hidráulica	$d < 0.15$	Volquete o camión
			$0.30 < X < 0.75$	Cargador de llantas Pala hidráulica	$0.15 < d < 2.50$	Vagoneta o camión
			$0.075 < X < 0.30$	Cargador de llantas	$d > 2.50$	Ferrocarril, camión o remolque
Roca sana superficialmente muy alterada	Tractor de orugas con cuchilla "U"	Barreración y tronado escarificación y moneo o sola escarificación	$0.30 < X < 0.75$	Pala hidráulica Cargador de llantas	$d < 0.15$	Volquete o camión
			$0.075 < X < 0.75$	Pala hidráulica Cargador de llantas	$0.15 < d < 2.50$	Vagoneta o camión
					$d > 2.50$	Camión o remolque
Roca muy alterada suelos y pequeños fragmentos superficiales	Tractor de orugas con cuchilla "U"	Escarificación y moneo o sola escarificación	$0.075 < X < 0.75$	Pala hidráulica Cargador de llantas	$d < 0.15$	Volquete o camión
					$0.15 < d < 2.50$	Vagoneta o camión
					$d > 2.50$	Camión o remolque
	Motosecrepa	Escarificación	$X < 0.075$	Escarificación	$d < 0.15$	Motosecrepa
					$0.15 < d < 2.50$	Motosecrepa
Aluviones	Tractor de orugas con cuchilla "U"	Escarificación y moneo	$0.30 < X < 0.75$	Pala hidráulica	$d < 0.15$	Volquete o camión
			$0.075 < X < 0.30$	Cargador de llantas	$0.15 < d < 2.50$	Vagoneta o camión
	Draga de arrastre Retroexcavadora	Ninguno	$X < 0.075$ bajo el NAF	Draga de arrastre	$d > 2.50$	Camión o remolque
	Tractor de orugas con cuchilla "U" Motosecrepa	Escarificación	$X < 0.075$ sobre el NAF	Motosecrepa	$d < 0.15$	Motosecrepa
					$0.15 < d < 2.50$	Motosecrepa

III. TRITURACIÓN PARA PRODUCCIÓN DE AGREGADOS PETREOS

III.1 DETERMINACIÓN DE TAMAÑO DE AGREGADOS

AGREGADOS PARA CONCRETO ASFÁLTICO

Es común, en la construcción de las vías de comunicación, el empleo de mezclas asfálticas tales como base asfáltica o base negra, y carpeta asfáltica. Los morteros asfálticos y carpetas de granulometría abierta (open graded) son de reciente aplicación en México.

La base asfáltica es la capa intermedia entre la capa de base hidráulica y una capa asfáltica superficial. Esta capa de enlace es normalmente un concreto asfáltico con materiales gruesos que contienen una proporción pequeña o nula de material que pasa a través de la malla # 200.

La capa asfáltica de superficie es la capa superior de un pavimento flexible, llamada en ocasiones carpeta asfáltica de desgaste o rodamiento.

Las normas que rigen la calidad de los agregados para concretos asfálticos han sido emitidas tradicionalmente por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, órgano rector del transporte en México. Algunas dependencias federales y estatales adoptan estas especificaciones para sus licitaciones.

PARÁMETROS	BASE ASFÁLTICA	CARPETA ASFÁLTICA
Tamaño máximo	1 1/2" (38 mm)	3/4" (19 mm)
Contracción lineal	3 %	3 %
Desgaste de Los Ángeles	45 %	40 %
Equivalente de arena	40 %	55 %
Afinidad (desprendimiento)	25 %	25 %

En el caso particular de las mezclas asfálticas y con el propósito de cumplir las curvas granulométricas de diseño, algunos residentes recomiendan la incorporación de un material filler o relleno, que permitirá a las mezclas asfálticas obtener los parámetros originalmente diseñados (estabilidad, vacíos, peso unitario, etc.)

AGREGADOS PARA CONCRETO HIDRÁULICO

En cuanto a los agregados para concreto hidráulico, la norma de mayor difusión en nuestro país es la NOM-C111 (ASTM C-33), la cual se ha establecido como medio para asegurar materiales satisfactorios para la mayoría de los concretos hidráulicos.

La propia norma define como agregados a aquellos materiales naturales, naturales procesados o materiales manufacturados que se mezclan con cementantes para hacer morteros o concretos.

A su vez, los agregados se clasifican en agregados finos y en agregados gruesos. El agregado fino, conocido como arena, es aquel material que pasa por la malla # 4 (4.75 mm) y se retiene en la malla # 200 (0.075 mm). Los agregados gruesos, también conocidos como gravas, son aquellos retenidos por la malla # 4 (4.75 mm) y que pasan por la malla de 3 1/2" (90 mm). En la construcción de grandes presas de concreto hidráulico se han empleado incluso mezclas con agregados de tamaño hasta de 6" (150 mm).

Estos materiales pueden constituirse por material de cantos rodados, triturados o procesados, rocas trituradas, escoria de alto horno, escorias volcánicas, concreto reciclado o una combinación de ellos u otros.

Las bandas granulométricas comúnmente aceptadas en México tienen límites superior e inferior, tal como se muestra en la siguiente tabla:

MATERIAL	LÍMITE SUPERIOR	LÍMITE INFERIOR
Arena	1/4"	0"
Grava # 1	3/4"	1/4"
Grava # 2	1 1/2"	3/4"
Grava # 3	3"	1 1/2"

Independientemente de la curva granulométrica, el agregado debe cumplir con parámetros de calidad que están en función directa del banco de préstamo seleccionado y el proceso de trituración y clasificación determinado.

Para agregados gruesos, dichos parámetros son; coeficiente de forma mayor a 0.15, entre el 2% y el 10% de partículas deleznales, reactividad potencial inocua (alcalinidad y sílice), un 2% de material fino menor a 0.075 mm (malla # 200), un 50% de pérdida por abrasión y en cuanto a sanidad, debe ser menor al 10% en sulfato de sodio, y menor al 15% en sulfato de magnesio.

Para agregados finos, en el caso particular de la arena, la curva granulométrica es muy estricta y debe de guardar un módulo de finura entre 2.3 y 3.1, 3% de partículas deleznales, entre 1% y 18% (en función de la plasticidad del material) de material fino menor a 0.075 mm (malla # 200) y reactividad potencial inocua (alcalinidad y sílice).

III.2 SELECCIÓN DE EQUIPO DE TRITURACIÓN

Todas las máquinas de trituración tienen como denominador común la reducción del tamaño de un material pétreo; para ello se le aplica esfuerzo a la roca hasta provocar su ruptura o falla a través de efectos mecánicos como: Impacto, Desgaste, Corte y Compresión.

Para decidir cual es el equipo de trituración adecuado y resolver un problema específico 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. Así es posible hacer la selección del equipo técnica y económicamente válida.

Dos de los conceptos básicos que definen el comportamiento y campo de acción de los diferentes tipos de quebradoras son: Índice de Reducción y Coeficiente de Forma. Otro concepto considerado se denomina Índice de Trabajo.

ÍNDICE DE REDUCCIÓN

Se define como índice de reducción (I_r) de una máquina de trituración, a la relación existente entre el tamaño del fragmento de roca a la entrada de la máquina y el tamaño del producto de trituración a la salida de la misma.

$$I_r = D/d$$

Donde:

D = Tamaño de alimentación
d = Tamaño de producto triturado

El índice de reducción varía con el tipo de trituradora, de acuerdo a la mecánica de su construcción y los métodos de reducción que utiliza.

QUEBRADORA	MÉTODOS DE REDUCCIÓN				
	IMPACTO	DESGASTE	CORTE	COMPRESIÓN	
IMPACTO					
PULVERIZADOR					
MARTILLOS					
RODILLOS					
QUIJADAS					
GIRATORIA					
CONO					

Índice de reducción recomendable.

ETAPA DE TRITURACIÓN	TIPO DE QUEBRADORA	ÍNDICE DE REDUCCIÓN
PRIMARIA	QUIJADA	7 a 1
	GIRATORIA	8 a 1
SECUNDARIA	CONO SECUNDARIO	6 a 1
	RODILLO TRIPLE	3 a 1
	IMPACTO	15 a 1
TERCIARIA	CONO TERCIARIO	6 a 1
	RODILLO TRIPLE	6 a 1
	MARTILLOS	20 a 1
CUATERNARIA	CONO CUATERNARIO	5 a 1
	MOLINO DE BARRAS	15 a 1
	MOLINO DE BOLAS	30 a 1

COEFICIENTE DE FORMA

Se define como coeficiente de forma (Cf) a la relación inversa existente entre el volumen de una esfera de un diámetro igual a la dimensión longitudinal del producto triturado y el volumen de la partícula analizada.

$$Cf = v/V$$

Donde:

v = Volumen de la partícula
V = Volúmen de la esfera teórica

En la tabla siguiente se muestran algunos coeficientes de forma universalmente aceptados:

FORMA DEL FRAGMENTO	COEFICIENTE DE FORMA
ESFÉRICO	1.00
CÚBICO	0.37
TETRAEDRO REGULAR	0.22
CANTO RODADO	0.34
GRAVA TRITURADA	0.22
LAJAS	0.07
AGUJAS	0.01

ÍNDICE DE TRABAJO

En todo el proceso de trituración, la fuerza requerida, no únicamente está relacionada con el costo de la energía, también influye directamente en la selección y dimensionamiento de los equipos de trituración.

Fueron desarrollados diversos métodos para evaluar la energía requerida para la trituración de los minerales. El más conocido y probablemente el más adecuado fue el presentado por F.C.Bond, con 35 años de pruebas y experimentos.

La energía requerida en el proceso de trituración obtenida por el método de Bond, se expresa mediante un factor denominado Índice de Trabajo (Wi).

El significado de este factor se define como: los kilowatts-hora requeridos para reducir una tonelada de mineral de hierro a un tamaño infinito, que permita pasar el 80% del producto final por la malla # 100.

La fórmula experimental para calcular la fuerza requerida es la siguiente:

$$E = 10 W_i \times [(1 / p^{0.5}) - (1 / a^{0.5})]$$

Donde:

- E = Energía requerida en KWh
- P = Tamaño en micras de la malla por la cual pasa el 80% del producto triturado
- A = Tamaño en micras de la malla por la cual pasa el 89% de la alimentación

MATERIAL	ÍNDICE DE TRABAJO Wi	ÍNDICE DE ABRASIÓN Ai	CONTENIDO DE SÍLICE %	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN kg/cm ²	DENSIDAD Ton/m ³
Magnetita	8.3 - 2.5	0.50 - 0.20			2.20
Hematita	11.3 - 3.1	0.35 - 0.20			2.40
Dolomita	10.3 - 3.5	0.05 - 0.01	0 - 10	500 - 2000	1.55
Caliza	11.9 - 2.8	0.03 - 0.001	0 - 10	500 - 2000	1.50
Gneis	15.4 - 3.5	0.50 - 0.10	60 - 70	2000 - 3000	1.60
Granito	15.7 - 5.8	0.55 - 0.11	55 - 75	2000 - 3000	1.60
Cuarcita	15.8 - 2.8	0.75 - 0.12	85 - 99	1500 - 3000	1.65
Balasto	20.8 - 3.9	0.20 - 0.09	40 - 50	3000 - 4000	1.60
Carbón	14.0 - 4.0				0.80
Coke	20.0 - 5.0				0.60
Clinker	11.7 - 2.0				1.20

Las máquinas trituradoras son diseñadas para quebrar, por procedimientos mecánicos, los fragmentos de roca que se les alimentan, reduciéndolos a tamaños que dependen de la abertura de descarga de cada máquina, así como de otros factores secundarios, como son; el tipo y clase de roca, método de alimentación y granulometría del material procesado.

De acuerdo con la forma en que se realiza la fragmentación del material de que se les alimenta, las trituradoras se clasifican en:

Trituradoras de Compresión.- En esta categoría quedan comprendidas la mayor parte de las trituradoras primarias, como son las de quijadas y giratorias, así como las de doble y triple rodillo.

A su vez, las trituradoras de compresión pueden subdividirse en dos clases: las Recíprocantes y las de Presión Continua. Al tipo recíprocante pertenecen las de quijadas, las giratorias y los conos, aunque, estrictamente, el movimiento giratorio no es recíprocante, su efecto en la práctica lo es, ya que los elementos de la cámara de trituración (nuez y cóncavo) se acercan y alejan en un ritmo recíprocante con respecto a cualquier plano vertical, radial y transversal. Al tipo de compresión continua pertenecen las trituradoras de rodillos.

Trituradoras de impacto.- A este grupo pertenecen principalmente los molinos de martillos, incluyendo las trituradoras de martillo con rejilla.

Trituradoras de impacto y martillo.- A este grupo pertenecen algunos modelos especiales de trituradoras de rodillo sencillo o doble, caracterizadas porque en las superficies de trabajo de los rodillos se encuentran montados dientes de acero de diseño especial que imparten una acción combinada de impacto y de martilleo, acciones que no deben confundirse, por la razón que a continuación se expone:

Se entiende como impacto al acto de golpear un fragmento de roca que está en completa libertad de movimiento en dirección del propio impacto, con la sola restricción de su propia inercia, como ocurre en las llamadas trituradoras de molino de martillos.

Por martilleo se entiende la acción de golpear fragmentos de roca que no tienen libertad de desplazarse en dirección del golpe, por encontrarse en contacto con una superficie opuesta en la cámara de trituración, que puede ser fija o móvil.

Existen otros tipos de trituradoras, las llamadas propiamente molinos, caracterizados por su diseño para moler el material de alimentación hasta un grado tal que el producto saliente por su descarga es prácticamente del tipo pulverento.

Estos modelos son empleados en gran escala en las industrias mineras y cementeras; su aplicación en trabajos de Ingeniería Civil para la obtención de agregados es verdaderamente excepcional.

Trituradoras de quijadas.- Las trituradoras de quijadas son las máquinas más comúnmente empleadas en la etapa de trituración primaria, especialmente en plantas portátiles y semifijas.

Son abastecidas por medio de alimentadores ya sea del tipo de cadena o Grizzly, según sea el caso, que dejan caer el material directamente sobre la cámara de trituración, la cual está formada por dos quijadas, una de las cuales es fija y la opuesta es móvil, con un movimiento de tipo reciprocante.

La sección transversal de la cámara de trituración disminuye a medida que el material baja hacia la abertura de descarga de la máquina. El material pétreo es triturado precisamente por las quijadas, mientras desciende por la cámara. La quijada móvil ejerce una presión capaz de fragmentar la roca.

Lateralmente, la cámara está delimitada por las placas laterales, las cuales, de hecho, son revestimientos reemplazables que se fijan al bastidor de la máquina.

Para la selección de los equipos componentes de una planta de trituración y clasificación para un proyecto determinado, es indispensable, por lo menos, que el laboratorio y la obra misma conozcan los siguientes datos:

Naturaleza geológica de la roca, granulometría medida del material en greña, especificaciones particulares, programa de obra; volúmenes de proyecto y tiempo de ejecución, características del equipo disponible.

Utilizaremos un ejemplo en particular para explicar los puntos anteriores:

a) **Naturaleza Geológica de la Roca.**

Para la obtención de los materiales pétreos se dispone de tres bancos de roca asignados por el cliente, Banco #1 para base hidráulica, Banco #2 para subbase hidráulica y Banco #3 para carpeta asfáltica y sello 3E.

Los datos geológicos y físicos, proporcionados por el laboratorio de control de calidad de los tres bancos son:

Roca	Riolita fracturada
Factor de abundamiento	1.35
Peso volumétrico suelto	1.60 ton / m3
Contracción lineal:	
Banco #1	3.5 %
Banco #2	4.5 %
Banco #3	4.5 %

La contracción lineal en los Bancos #1 y #2, satisfacen las especificaciones técnicas de los conceptos a obtener en ellos, no así el Banco #3, y ésta se procura abatir en el proceso de trituración y clasificación.

La geología y el estado físico de los bancos determinan la necesidad de un proceso de trituración total.

b) Granulometría media del material en greña.

Con la asesoría del proveedor de explosivos, se determinan las condiciones de explotación de cada uno de los bancos, mismas que proporcionan una fragmentación preliminar de la roca. (Material en greña).

TAMAÑOS	Banco #1 TMA 28" % retenido	Banco #2 TMA 34" % retenido	Banco #3 TMA 28" % retenido
+ - 8"	45	55	40
8" - 5"	15	15	10
5" - 3"	14	12	11
3" - 1 1/2"	11	8	13
1 1/2" - 3/4"	7	5	11
3/4" - 0	8	5	15
Total	100	100	100

c) Especificaciones particulares (TMA).

La construcción de 50 km de autopista con dos cuerpos paralelos, requiere la producción de agregados pétreos para las capas de pavimento flexible: Subbase hidráulica, Base hidráulica, Carpeta asfáltica y Sello 3E.

La Subbase hidráulica debe obtenerse con el tamaño máximo de 1 1/2" (39 mm), la Base hidráulica de 1 1/2" (39 mm), la Carpeta asfáltica de 3/4" (19 mm) y el sello 3/8" (9.5 mm), independientemente de la granulometría, las especificaciones técnicas marcan otros parámetros que son necesarios conocer, tales como Contracción Lineal, Valor Relativo de Soporte, Equivalente de Arena y Desgaste.

d) Programa de Obra.

d.i) Volúmenes de Proyecto.

La sección estructural, y la longitud de proyecto determinan los siguientes volúmenes compactados para cada concepto.

Subbase hidráulica 1 1/2"	292,000.00	m3 compactados
Base hidráulica 1 1/2"	220,000.00	m3 compactados
Carpeta asfáltica 3/4"	87,500.00	m3 compactados
Sello 3E	12,600.00	m3 compactados
Total	612,100.00	m3 compactados

Se consideran 10 cm de cuñas de sobreancho en la Subbase y Base hidráulica.

Los fabricantes de equipos de trituración y clasificación, por norma generalizada indican las capacidades nominales en unidades inglesas, toneladas cortas (2,000 lb), por lo cual se determinan los volúmenes de proyecto en toneladas cortas.

CONCEPTO	m3 compactados	m3 sueltos	ton métricas	ton cortas
Subbase	292,000.00	394,200.00	630,720.00	695,390.00
Base	220,000.00	297,000.00	475,200.00	523,925.00
Carpeta	87,500.00	118,125.00	189,000.00	208,380.00
Sello	12,600.00	17,010.00	27,215.00	30,010.00
Total	612,100.00	826,335.00	1'322,135.00	1'457,705.00

d.ii) Tiempo de Ejecución.

El cliente requiere la terminación y puesta en operación de la autopista en 13 meses calendario. El proceso de trituración de los materiales pétreos para pavimentación se programa de acuerdo a este requerimiento, contemplando 10 meses para subbase y base hidráulica, 6 meses para carpeta asfáltica y 3 meses para sello, es decir, se pretende concluir el proceso de trituración 3 meses previos a la fecha contractual de puesta en operación.

e) Características del equipo disponible.

Para la selección del equipo básico de trituración y clasificación de cada una de las plantas, la información técnica actualizada proporcionada por los fabricantes es indispensable.

La empresa constructora cuenta con un parque básico de maquinaria de trituración y clasificación con los siguientes grupos móviles:

Primarios de quijadas	36" x 46" y 30" x 42"
Secundario de conos	489-S, 44-S y 52-S
Terciario de conos	48-FC, 44-FC y 52-FC

El grupo móvil de trituración primaria integra a un conjunto: alimentador tipo Grizzly, trituradora de quijadas y la banda de evacuación.

Los grupos móviles de trituración secundaria y terciaria a circuito cerrado integran en un mismo conjunto: criba vibratoria horizontal o inclinada, banda de alimentación, la banda de retorno y en algunos casos la banda de evacuación, lo que reduce los tiempos y costos de transportación y montaje. Para operar estos equipos a circuito abierto, únicamente se modifica el sentido del flujo en el canalón de descarga de la banda de retorno.

III.3 SIMULACIÓN DEL SISTEMA PARA UBICACIÓN DEL EQUIPO

RENDIMIENTOS HORARIOS MÍNIMOS NECESARIOS

Los volúmenes de proyecto, programa de obra y condiciones contractuales, determinan la instalación, en cada banco de préstamo asignado, de una o mas plantas de trituración, suficientes para satisfacer los programas mensuales y totales de cada producto final.

Continuaremos con el ejemplo abordado desde el inicio, recordando que en todo momento se habla de toneladas cortas.

Condiciones de operación.- La gerencia del proyecto determina trabajar dos turnos diarios de 8 horas cada uno, resultando 400 horas/equipo disponibles por mes.

$$25 \text{ días/mes} \times 16 \text{ horas/día} = 400 \text{ horas}$$

Factores de corrección:

Equipo	90 %
Mantenimiento	90 %
Total	81 %

Horas mensuales efectivas programadas:

$$400 \text{ horas/mes} \times 0.81 = 324 \text{ horas}$$

Equivalente a 13 horas efectivas por día de trabajo.

Los volúmenes de proyecto y las horas efectivas programadas mensualmente, determinan los rendimientos horarios necesarios en cada planta para satisfacer el programa general del proyecto.

Subbase hidráulica:

$$695,390 \text{ ton} / [(10 \text{ mes}) (324 \text{ hr})] = 215 \text{ ton / hr}$$

Base hidráulica:

$$523,925 \text{ ton} / [(10 \text{ mes}) (324 \text{ hr})] = 162 \text{ ton / hr}$$

Carpeta asfáltica:

$$208,380 \text{ ton} / [(6 \text{ mes}) (324 \text{ hr})] = 108 \text{ ton / hr}$$

Sello 3E:

$$30,010 \text{ ton} / [(3 \text{ mes}) (324 \text{ hr})] = 31 \text{ ton / hr}$$

Los rendimientos horarios obtenidos son inversamente afectados por los factores de corrección en condiciones propias de la operación:

Factores de operación:

Alimentación	90 %
Operación	88 %
Clima	85 %
Total	67 %

Así, el rendimiento mínimo de diseño para cada concepto, en toneladas cortas, será:

Subbase hidráulica	320	Ton
Base hidráulica	240	Ton
Carpeta asfáltica	160	Ton
Sello 3E	47	Ton

Consideraciones en la selección del equipo.- Para hacer mas eficientes las plantas de trituración, independientemente del equipo seleccionado, es recomendable la utilización del almacén regulador de gran capacidad o tolva reguladora, que alimente a la etapa secundaria y/o terciaria, según los requerimientos de capacidad nominal del conjunto (criba vibratoria o trituradora), de tal manera que se tenga la capacidad de absorber diferencias en las condiciones de operación y tiempos ociosos de la planta por reparación y/o mantenimiento de los equipos.

III.4 EQUIPO DE TRITURACIÓN PRIMARIO

Según el tipo de material en greña utilizado y los fines a que se destine el mismo, una vez procesado en las plantas trituradoras y clasificadoras; algunas veces bastará con triturarlo en una primera etapa, en tanto que en otras será necesario retrituarlo en etapas posteriores llamadas por su orden, secundaria, terciaria y excepcionalmente cuaternaria.

Constituye práctica común clasificar las trituradoras por la etapa de trituración para las que fueron diseñadas. Aunque ciertamente la mayoría de las trituradoras poseen características constructivas que las definen como primarias, secundarias, etc., se trata mas bien de una clasificación convencional, puesto que una misma máquina que puede ser utilizada como secundaria, para un caso distinto conviene ser montada como equipo primario para procesar el material descargado por otros equipos.

Se seleccionan las trituradoras que van a ser empleadas en una etapa primaria, teniendo en consideración tanto su capacidad de producción como sus aberturas de alimentación, puesto que en la etapa primaria suele abastecerse a las trituradoras con material en greña, que en el mejor de los casos solo ha pasado por cribones de barras que eliminan los fragmentos de roca muy grandes, capaces de bloquear la cámara de trituración.

Cuando el material en greña procede de explotación de canteras o bancos de roca, normalmente tienen un porcentaje despreciable de infratamaños con respecto a la abertura de descarga que no ejerce influencia práctica alguna en la producción ni en la granulometría de los agregados entregados por la trituradora.

Por otra parte, cuando una trituradora primaria ajustada con una abertura de descarga reducida, es alimentada con material en greña procedente de bancos naturales de grava, ricos en contenido de infratamaños, se presentan problemas derivados del atascamiento de la máquina, que afectan tanto su productividad como la granulometría del material procesado.

Así pues, aunque esta clasificación es convencional, mencionaremos a continuación las máquinas que normalmente se usan con mayor frecuencia como equipo de trituración primario o etapa primaria de trituración: Trituradora de Quijadas, Trituradora Gírotoria y Trituradora de Martillos.

Revisaremos ahora esta etapa, la primaria, basándonos en el ejemplo que hemos venido utilizando.

Subbase hidráulica (Banco #2).- Debido a que el tamaño máximo de fragmentación es de 34", como primera instancia, el equipo primario debe admitir este tamaño de roca, siendo seleccionada una trituradora de quijadas modelo 36" x 48".

Condiciones de operación del equipo:

Alimentador Grizzly: precibado a 5"
Sobretamaño a 5": 70% granulometría gruesa
Abertura de descarga de la trituradora de quijadas: 5"
Capacidad nominal: 240 ton
Tamaño máximo con apertura de 5": 7"

La capacidad nominal, las condiciones de operación propuestas para el equipo primario y la granulometría media, determinan la alimentación máxima de la planta.

$$240 \text{ ton} / 0.70 = 342.86 \text{ ton/hr}$$

Para efecto práctico de cálculo se consideran 340 ton/hr de alimentación inicial a la planta, 6% mayor al rendimiento mínimo de diseño.

De acuerdo a las condiciones de operación de esta etapa, a la trituradora de quijadas se alimentan 238 ton, 99% con respecto a su capacidad nominal y las restantes 102 ton son precibadas por el alimentador Grizzly e incorporadas en la banda de evacuación al producto del equipo primario.

A una apertura de descarga de 5", la trituradora de quijadas reduce el tamaño máximo de alimentación de 34" a un tamaño máximo de 7", resultando un índice de reducción (I_r) de 4.86, menor al parámetro establecido para este equipo.

$$I_r = 34"/7" = 4.86 < 7$$

El resumen de producción de la etapa primaria determina la necesidad de una segunda etapa de trituración, para reducir 256 ton de sobretamaño a 1 1/2" y obtener así el tamaño máximo especificado para este producto.

Base hidráulica (Banco #1).- En la etapa primaria, el tamaño máximo en la fragmentación es de 28", siendo seleccionada una trituradora de quijadas modelo 30" x 42", ya que admite libremente este tamaño de roca:

Condiciones de operación del equipo:

Alimentador Grizzly: precibado a 5"
Sobretamaño a 5": 60% granulometría media
Abertura de descarga de la trituradora de quijadas: 5"
Capacidad nominal: 190 ton
Tamaño máximo con apertura de 5": 7"

La capacidad nominal, las condiciones de operación propuestas y la granulometría media del material en greña, determinan la alimentación inicial a la planta.

$$190 \text{ ton} / 0.60 = 316.67 \text{ ton/hr}$$

Para efecto práctico de cálculo se consideran 315 ton/hr de alimentación inicial a la planta, 31% mayor al rendimiento mínimo de diseño.

De acuerdo a las condiciones de operación propuestas en esta etapa, a la trituradora de quijadas se alimentan 189 ton, 99% con respecto a su capacidad nominal y las 126 ton restantes son precibadas por el alimentador Grizzly e incorporadas en la banda de evacuación al producto del equipo primario.

A una abertura de descarga de 5", la trituradora de quijadas reduce el tamaño máximo de alimentación de 28" a un tamaño máximo de 7", resultando un índice de reducción (Ir) igual a 4, menor al parámetro establecido para este equipo.

$$I_r = 28"/7" = 4.00 < 7$$

Como en el caso de la Subbase hidráulica, únicamente se requiere una segunda etapa de trituración a un circuito cerrado, con el propósito de reducir el 228 ton de sobretamaño a 1 1/2", a los límites especificados.

Carpeta asfáltica (Banco #3).- En esta etapa, el tamaño máximo estimado en la fragmentación es de 28", lo que determina como primera instancia, una trituradora de quijadas modelo 30" x 42".

Condiciones de operación del equipo:

Alimentador Grizzly: precibado a 5"

Sobretamaño a 5": 50% granulometría fina

Abertura de descarga de la trituradora de quijadas: 5"

Capacidad nominal: 190 ton

Tamaño máximo con abertura de 5": 7"

La capacidad nominal, las condiciones de operación propuestas para el equipo primario y la granulometría media, determinan la alimentación inicial a la planta.

$$190 \text{ ton} / 0.50 = 380.00 \text{ ton/hr}$$

De acuerdo a las condiciones de operación de esta etapa, a la trituradora de quijadas se alimentan 190 ton, 100% con respecto a su capacidad nominal y las 190 ton restantes son precibadas por el alimentador Grizzly e incorporadas en la banda de evacuación al producto del equipo primario.

Al no variar las condiciones de operación, el índice de reducción (I_r) se mantiene en un valor aceptable de 4.

El resumen de producción de la etapa primaria determina que serán necesarias dos etapas de trituración subsecuentes, para reducir 302 ton de sobretamaño a 3/4" a tamaños especificados. En la segunda etapa se reducen 241 ton de sobretamaño a 1 1/2" y en la tercera y última etapa el sobretamaño de 3/4", precedente de la etapa secundaria.

III.5 EQUIPO DE TRITURACIÓN SECUNDARIO

En esta etapa, puede presentarse el mismo problema que en la etapa primaria debido al alto contenido de infratamaños, es decir, al igual que el equipo de trituración primario, el secundario puede tener problemas derivados del atascamiento de la máquina, si es alimentada con material rico en contenido de infratamaños.

Como ya se mencionó anteriormente, es convencional la forma en que son clasificadas las máquinas en su etapa de trituración, por lo cual, las que se utilizan comúnmente como equipo secundario o en la etapa secundaria de trituración son: Trituradora de Conos, Trituradora de Rodillos Doble y Trituradora de Martillos.

Continuando con el ejemplo abordado, para esta segunda etapa de trituración:

Subbase hidráulica (Banco #2).- Etapa secundaria, circuito cerrado. Previo a la etapa secundaria de trituración, el material es depositado en el almacén regulador, para posteriormente ser alimentado a la criba vibratoria, con el propósito de clasificar, regular la alimentación al equipo secundario y efectuar el circuito cerrado con esta última máquina, lo que garantiza un material del tamaño máximo deseado.

El equipo secundario debe admitir en su cámara de trituración un material cuyo tamaño máximo es del orden de 7" y capacidad nominal igual o mayor a los requerimientos.

Los equipos secundarios de cono con una abertura mínima de descarga de 1" producen un material de tamaño máximo de 1 1/2", por lo que una tercera etapa de trituración no es necesaria, por otro lado el índice de reducción (I_r) también es aceptable.

$$I_r = 7" / 1.5" = 4.67 < 6$$

Los secundarios hidráulicos modelos 44-S y 52-S, con cámara extra gruesa y abertura de descarga mínima de 1", presentan una capacidad nominal de 260 y

310 ton y admite, en su cámara de trituración, piedra del orden de 7" y 8 1/8", respectivamente.

Los grupos móviles de trituración secundarios modelos 44-S y 52-S, presentan como equipo básico una criba vibratoria modelos 6' x 16' y 6' x 20', respectivamente.

Para el cálculo de las áreas de cribado se considera la utilización de dos pisos de cribado, con malla cuadrada de alambre y abertura libre de 3" en el primer piso, y 1 1/2" en el segundo.

Se analiza la producción en la etapa secundaria con estos dos equipos.

Grupo móvil secundario modelo 44-S.- El balance granulométrico determina que la segunda etapa de trituración, se procesarán 340 ton, 256 ton en el secundario y 84 ton se clasifican en la criba vibratoria. Este secundario presenta una eficiencia de trabajo del 99% con respecto a su capacidad nominal.

El diagrama de flujo a circuito cerrado, determina una alimentación total a la criba de 596 ton y el cálculo de áreas de cribado determina que se requieren 58 ft2 en el primer piso y 96 ft2 en el segundo, por lo que la criba vibratoria horizontal 6' x 16', con 96 ft2 disponibles satisface, en el límite, estos requerimientos.

Por lo tanto la producción estimada con esta planta es de 340 ton/hr, es decir, igual a la alimentación inicial a la planta. En este caso particular, el almacén regulador presenta la ventaja de poder absorber diferencias en las condiciones de operación o reparaciones a cualquiera de los equipos componentes de la planta.

El programa de obra se ve sensiblemente mejorado, al procesar el volumen total de subbase hidráulica en un tiempo máximo de 9.42 meses.

$$[695,390 \text{ ton} / (340 \text{ ton}) (0.79) (324 \text{ hr/mes})] = 9.42 \text{ mes}$$

Grupo móvil secundario modelo 52-S.- Del almacén regulador y por limitación en la capacidad máxima de alimentación a una criba de 6 ft, se alimentan a la etapa secundaria 370 ton, 279 ton al secundario y 91 ton se clasifican en la criba vibratoria. Este secundario presenta una eficiencia de trabajo del 90% con respecto a su capacidad nominal.

El almacén regulador permite que, por diez horas de trabajo del primario, el secundario trabaja aproximadamente 9.2 horas.

$$\text{Etapa primaria} / \text{Etapa secundaria} \\ [(340 \text{ ton/hr}) / (370 \text{ ton/hr})] = 0.92$$

El diagrama de flujo a circuito cerrado determina una alimentación total a la criba de 649 ton, y el cálculo de áreas de cribado, determina que se requieren 63 ft² en el primer piso y 105 ft² en el segundo, por lo tanto, la criba vibratoria horizontal 6' x 20' con 120 ft² disponibles, es satisfactoria. Entonces la producción máxima con este equipo es de 370 ton/hr, 16% mayor al rendimiento mínimo de diseño.

El volumen total de subbase hidráulica se procesa en un tiempo máximo de 8.66 meses.

$$[695,390 \text{ ton} / (340 \text{ ton}) (0.67) (324 \text{ hr/mes})] = 8.66 \text{ mes}$$

Por producción es seleccionado como equipo secundario al grupo móvil 52-S, con criba horizontal 6' x 20'.

Base hidráulica (Banco #1).- Etapa secundaria, circuito cerrado, grupo móvil secundario 44-S. Las condiciones de operación de los equipos propuestos son similares a los descritos en la subbase hidráulica.

El balance granulométrico determina que en la segunda etapa de trituración, se procesarán 315 ton/hr.

Por capacidad de área de cribado disponible en la criba vibratoria 6' x 16', del almacén regulador se alimentan a la etapa secundaria 335 ton, 243 ton en el equipo secundario y 92 ton se clasifican en la criba vibratoria. Este secundario presenta una eficiencia de trabajo del 94% con respecto a su capacidad nominal.

El almacén regulador permite que, por diez horas de trabajo del primario, el secundario trabaja aproximadamente 9.4 horas.

$$\text{Etapa primaria} / \text{Etapa secundaria} \\ [(315 \text{ ton/hr}) / (335 \text{ ton/hr})] = 0.94$$

El diagrama de flujo a circuito cerrado, determina una alimentación total a la criba de 578 ton. El cálculo de áreas de cribado determina que se requieren 56 ft² en el primer piso y 95 ft² en el segundo, por lo que la criba vibratoria horizontal 6' x 16', con 96 ft² disponibles satisface, en el límite, estos requerimientos.

Por lo tanto la producción estimada con este equipo es de 335 ton/hr, 40% mayor al rendimiento mínimo de diseño.

El programa de obra se ve substancialmente mejorado, al procesar el volumen total de base hidráulica en un tiempo de ejecución máximo de 7.20 meses, es decir, 39% menor al tiempo programado. Debido a lo anterior, no se analiza una segunda alternativa.

$$[523,925 \text{ ton} / (335 \text{ ton}) (0.67) (324 \text{ hr/mes})] = 7.20 \text{ mes}$$

Por producción nominal, es seleccionado como equipo secundario al grupo móvil 44-S, con criba vibratoria modelo 6' x 16'.

Carpeta asfáltica (Banco #3).- Etapa secundaria, circuito cerrado. Con el fin de garantizar un material de carpeta asfáltica con contracción lineal máxima de 3%, en esta etapa se propone obtener material con tamaño máximo de 1 1/2", con el propósito de eliminar la contaminación del material en greña y alimentar a la etapa terciaria de material limpio y triturado.

Para clasificar el material y regular la alimentación al secundario, se le instalan, a la criba vibratoria, mallas cuadradas de alambre y abertura libre de 3" y de 1 1/2" en el primer y segundo piso respectivamente.

Con el objeto de aprovechar la capacidad del equipo de trituración, la criba vibratoria alimenta al equipo secundario con el sobretamaño de 3" producto de la etapa primaria y 20% del material intermedio 3" - 1 1/2" y el 80% restante es alimentado a la etapa terciaria; el material ya clasificado menor de 1 1/2" se considera producto terminado.

A la trituradora secundaria se alimenta material de tamaño máximo de 7" y a una abertura mínima de descarga de 1". Es reducido a tamaño máximo de 1 1/2", por lo tanto, el índice de reducción (Ir) es de 4.67 y se considera aceptable.

Los datos técnicos del fabricante de equipo indican que una trituradora de conos modelo 489-S, a una abertura máxima de 1", presenta una capacidad nominal de 170 ton.

De las 380 ton producidas en la etapa primaria, al secundario se alimentan 159 ton, y 221 ton se clasifican en la criba, presentando el equipo secundario una eficiencia de trabajo del 94% con respecto a la capacidad nominal.

El material alimentado a la criba vibratoria es clasificado en tres tamaños: 7" - 3", 139 ton; 3" - 1 1/2", 82 ton; 3" - 1 1/2", 20 ton; 1 1/2" - 0, 139 ton.

Este último material se podrá utilizar como subbase o base hidráulica, según lo determine el laboratorio de control de calidad, en el caso de que se tenga una contracción lineal mayor a la especificada para este producto, se recomienda la instalación de una malla de 3/8" en el tercer piso con el fin de efectuar el despolvo del material fino (arcilla).

El material de 3" - 1 1/2", 82 ton, es enviado al almacén regulador y/o tolva reguladora que, mezclado con el producto de la trituración secundaria, hacen un volumen total de 241 ton de material 3" - 0, mismo que será necesario clasificar y reducir al tamaño máximo deseado de 3/4" en la tercera etapa de trituración.

El diagrama de flujo a circuito abierto determina una alimentación total a la criba de 380 ton. El cálculo de áreas de cribado determina que se requieren 50 ft² en el primer piso y 55 ft² en el segundo, por lo tanto una criba vibratoria horizontal modelo 5' x 16', con 80 ft² disponibles, es suficiente para cumplir estos requisitos.

III.6 EQUIPO DE TRITURACIÓN TERCIARIO

Es conveniente señalar que una misma trituradora, según vaya a ser usada como primaria, secundaria o terciaria, es susceptible de modificaciones en su cámara de trituración, bien sea combinando las muelas móviles o fijas, cuando se trata de trituradoras de quijadas, o los cóncavos, en las trituradoras giratorias y de cono; obviamente, también podrá ser modificado el ajuste de la descarga de la máquina, e incluso, hacerse ambos cambios adaptándolos a las necesidades impuestas por el tipo de trabajo a que se destine.

Siguiendo entonces con la clasificación convencional, las trituradoras de la etapa terciaria más comunes son: Tritradora de Conos, Tritradora de Rodillos Triple y Tritradora de martillos, incluyendo también las que excepcionalmente se utilizarían en una etapa cuaternaria pero que nosotros incluiremos como equipo terciario: Molino de Barras y Molino de Bolas.

Siguiendo con el ejemplo que hemos utilizado:

Carpeta asfáltica (Banco #3).- Etapa terciaria, circuito cerrado, en esta etapa es recomendable la utilización de un almacén regulador y/o tolva reguladora que alimente a la etapa terciaria según sus requerimientos de capacidad nominal del terciario o criba vibratoria.

Por ser la etapa final del proceso, se opera a circuito cerrado, lo que garantiza el tamaño máximo de 3/4" deseado para la carpeta asfáltica.

Para clasificar y regular el material alimentado en la tercera etapa y efectuar el circuito cerrado con el terciario se instalan, en la criba vibratoria, telas de cribado de alambre con abertura libre de 3/4", 3/8" y 1/4" en el primer, segundo y tercer piso respectivamente, con el propósito de obtener tres materiales que mezclados adecuadamente en la planta de asfalto permite obtener una mezcla asfáltica de alta calidad.

El balance granulométrico de la etapa secundaria muestra que de las 241 ton, 173 ton son de material mayor a 3/4", mismos que requieren ser triturados y clasificados, y 68 ton son de material menor a 3/4", que se clasifican en la criba vibratoria en tres tamaños, 3/4", 3/8" y 1/4".

Los datos técnicos del fabricante indican que a una abertura de descarga de 1/2", las trituradoras de conos modelo FC, producen un material con tamaño máximo

de 7/8". El índice de reducción (Ir) en esta tercera etapa resulta de 3.43, el cual se considera dentro de los rangos aceptados para estos equipos.

Las trituradoras 48-FC, 44-FC y 52-FC a una abertura de descarga de 1/2" presentan una capacidad nominal de 105, 150 y 185 toneladas por hora respectivamente.

Estas tres máquinas, como grupo móvil terciario, integran cribas vibratorias modelos 5' x 16', 6' x 16' y 6' x 20' respectivamente, por lo que se procede a determinar las producciones máximas con cada uno de estos equipos.

Grupo móvil de trituración terciaria 48-FC.- Por capacidad nominal del terciario 48-FC, de las 241 ton depositadas en el almacén regulador, a la tercera etapa se alimentan 130 ton, 102 ton al terciario y 33 ton se clasifican en la criba vibratoria. El equipo terciario presenta una eficiencia de trabajo del 92% con respecto a su capacidad nominal.

El almacén regulador, permite que por diez horas de trabajo del terciario, el equipo secundario trabaje 5.40 horas.

$$\text{Etapa terciaria / Etapa secundaria} \\ [(130 \text{ ton/hr}) / (241 \text{ ton/hr})] = 0.54$$

En este caso se podrán instalar, como primera alternativa, dos equipos terciarios 48-FC, cuya producción global sería de 260 ton, bajo esta situación, por diez horas de trabajo de los terciarios, los equipos primario y secundario trabajan 10.80 horas. Como segunda alternativa se considera la utilización de equipos terciarios de mayor capacidad nominal.

El diagrama de flujo a circuito cerrado determina una alimentación total a la criba de 227 ton. El cálculo de áreas de cribado para cada piso determina 61, 59 y 48 ft² en el primer, segundo y tercer piso respectivamente, por lo tanto, la criba vibratoria 5' x 16', con 80 ft² disponibles, satisface plenamente estos requerimientos.

Con la producción determinada, el volumen de carpeta asfáltica se procesa en un tiempo máximo de 7.38 meses, con lo cual el programa de obra inicialmente contemplado no podrá ser satisfecho con este equipo.

$$[208,380 \text{ ton} / (130 \text{ ton}) (0.67) (324 \text{ hr/mes})] = 7.38 \text{ mes}$$

Consecuentemente, al considerar dos terciarios 48-FC, el tiempo de ejecución se reduce a 3.69 meses.

Grupo móvil de trituración terciaria 44-FC.- Por capacidad nominal del terciario 44-FC, de las 241 ton depositadas en el almacén regulador, a la tercera etapa se

alimentan 195 ton, 140 ton al terciario y 55 ton se clasifican en la criba vibratoria. El equipo terciario presenta una eficiencia de trabajo del 93% con respecto a su capacidad nominal.

El almacén regulador, permite que por diez horas de trabajo del terciario, el equipo secundario trabaje 8.10 horas.

$$\text{Etapa terciaria / Etapa secundaria} \\ [(195 \text{ ton/hr}) / (241 \text{ ton/hr})] = 0.81$$

El diagrama de flujo a circuito cerrado determina una alimentación total a la criba de 335 ton. El cálculo de áreas de cribado para cada piso determina 85, 87 y 73 ft² en el primer, segundo y tercer piso respectivamente, por lo tanto, el equipo de cribado 6' x 16', con 96 ft² disponibles, se considera aceptable.

Con la producción, así obtenida, el programa se reduce a un tiempo máximo de ejecución de 4.92 meses.

$$[208,380 \text{ ton} / (195 \text{ ton}) (0.67) (324 \text{ hr/mes})] = 4.92 \text{ mes}$$

Grupo móvil de trituración terciaria 52-FC.- Del almacén regulador a la tercera etapa se alimentan 241 ton, 173 ton al equipo terciario y 68 ton se clasifican directamente en la criba vibratoria. El equipo terciario presenta una eficiencia de trabajo del 94% con respecto a su capacidad nominal.

En este caso, los equipos primario y secundario trabajan las mismas horas que determine el equipo terciario. El almacén regulador permitirá absorber diferencias de granulometría y operación.

El diagrama de flujo a circuito cerrado determina una alimentación total a la criba de 414 ton. El cálculo de áreas de cribado para cada piso determina 105, 108 y 91 ft² en el primer, segundo y tercer piso respectivamente, por lo tanto, la criba vibratoria 6' x 20', con 120 ft² disponibles, se considera aceptable para satisfacer estos requerimientos.

La producción máxima de este equipo de 241 ton, determina que el volumen total de carpeta asfáltica se procesa en un tiempo máximo de 3.98 meses.

$$[208,380 \text{ ton} / (241 \text{ ton}) (0.67) (324 \text{ hr/mes})] = 3.98 \text{ mes}$$

En resumen, se considera que los equipos contemplados en la primera alternativa, son inaceptables para este proyecto. La segunda y tercera alternativa cumplen las expectativas del programa inicial de la obra.

Como se podrá observar, el tiempo de producción con dos equipos terciarios 48-FC y 52-FC, son similares, por facilidad de operación se considera la utilización de un solo equipo en la etapa terciaria.

La selección definitiva la determinará la producción global de este banco, el #3, ya que la carpeta asfáltica y el sello deben obtenerse del mismo.

Al tener predeterminados los equipos para la producción de carpeta asfáltica en este banco, se analizará la producción de sello con los mismos equipos, modificando únicamente las condiciones de operación de la tercera etapa de trituración y clasificación.

Sello 3E (Banco #3).- Etapa terciaria, circuito cerrado. El material depositado en el segundo almacén regulador es de 241 ton, determinan que se requieren triturar 203 ton de material de 3" - 3/8" y 38 ton de material menor a 3/8" se clasifican en dos tamaños máximo de 3/8" y 4M en la propia criba vibratoria. Lo anterior obedece a las especificaciones técnicas de este material que lo limitan a una granulometría de 3/8" - 4M.

Los datos técnicos del fabricante indican que a una abertura de descarga de 1/2", las trituradoras de conos modelo FC producen un material del orden de 9/16", mayor al tamaño máximo especificado, por lo que en este caso se presenta el efecto de carga de circulación. El índice de reducción (Ir) en esta tercera etapa resulta de 5.33, el cual se considera dentro de los rangos aceptados para estos equipos.

Las trituradoras 44-FC y 52-FC a una abertura de descarga de 3/8" presentan una capacidad nominal de 135 y 155 ton/hr respectivamente.

En la criba vibratoria se instalan telas de cribado de alambre con abertura libre de 3/8" en el primer piso y malla 4M en el segundo.

El material menor a 4M se considera desperdicio en este proceso, pudiendo ser aprovechado como filler en la elaboración de la carpeta asfáltica, siempre y cuando la calidad del mismo lo permita.

Grupo móvil de trituración terciaria 44-FC.- Del almacén regulador a la tercera etapa y por capacidad nominal del equipo de cribado, a la tercera etapa de trituración se alimentan 115 ton, 97 ton al terciario y 18 ton se clasifican en la criba vibratoria. Por efecto del circuito cerrado y la carga de circulación, la alimentación total al equipo terciario es de 110 ton, presentando una eficiencia de trabajo de 82% con respecto a su capacidad nominal.

El almacén regulador, permite que por diez horas de trabajo del terciario, el equipo secundario trabaje 4.80 horas.

$$\text{Etapa terciaria / Etapa secundaria} \\ [(115 \text{ ton/hr}) / (241 \text{ ton/hr})] = 0.48$$

El diagrama de flujo a circuito cerrado determina una alimentación total a la criba de 225 ton. El cálculo de áreas de cribado determina, para el primer piso, 86 ft² y 95 ft² en el segundo. La criba vibratoria 6' x 16', con 96 ft² disponibles, satisface estos requisitos.

La producción total obtenida con este equipo es de 115 ton, 42 ton de material aprovechable de 3/8" - 4M, y 73 ton de material menor a 4M, que se consideran desperdicio.

Con la producción de material aprovechable para sello, el volumen de proyecto se procesa en un tiempo máximo de 3.29 meses.

$$[30,010 \text{ ton} / (42 \text{ ton}) (0.67) (324 \text{ hr/mes})] = 3.29 \text{ mes}$$

Grupo móvil de trituración terciaria 52-FC.- Del almacén regulador y por capacidad nominal del equipo de cribado, a la tercera etapa de trituración se alimentan inicialmente 145 ton, 122 ton al terciario y 23 ton se clasifican en la criba vibratoria. Por efecto del circuito cerrado la alimentación total al equipo terciario es de 139 ton, presentando una eficiencia de trabajo de 90% con respecto a su capacidad nominal.

El almacén regulador, permite que por diez horas de trabajo del terciario, el equipo secundario trabaje 6.00 horas.

$$\text{Etapa terciaria / Etapa secundaria} \\ [(145 \text{ ton/hr}) / (241 \text{ ton/hr})] = 0.60$$

El diagrama de flujo a circuito cerrado determina una alimentación total a la criba de 284 ton. El cálculo de áreas de cribado determina, para el primer piso, 109 ft² y 120 ft² en el segundo. La criba vibratoria 6' x 20', con 120 ft² disponibles, satisface estos requisitos.

La producción total obtenida con este equipo es de 145 ton, 52 ton de material aprovechable de 3/8" - 4M, y 93 ton de material menor a 4M, que se consideran desperdicio.

Con la producción de material aprovechable para sello, el volumen de proyecto se procesa en un tiempo máximo de 2.66 meses.

$$[30,010 \text{ ton} / (52 \text{ ton}) (0.67) (324 \text{ hr/mes})] = 2.66 \text{ mes}$$

En la selección definitiva del equipo para la producción total del Banco #3 se considera el tiempo total de ejecución de los conceptos de carpata y sello.

Grupo Móvil Terciario 44-FC		
Carpeta asfáltica	4.92	meses
Sello 3E	3.29	meses
Total	8.21	meses

Grupo Móvil Terciario 52-FC		
Carpeta asfáltica	3.98	meses
Sello 3E	2.66	meses
Total	6.64	meses

En ambos casos, la producción total en este banco se obtiene con una reducción del 9% y 36% respectivamente, con relación al programa inicial del proyecto.

Por lo anterior se considera que la segunda alternativa es la mas conveniente, ya que permite absorber tiempos inactivos del equipo, reparaciones, condiciones de operación, etc.

En todos los casos analizados, la selección definitiva, independientemente del parámetro de producción lo determinarán las comparativas de costos unitarios de producción de cada uno de los conceptos analizados con las diversas alternativas.

III.7 EQUIPO DE CRIBADO

Para el cálculo de áreas de cribado, se considera la utilización de varios pisos de cribado, logrando eficientizar la criba vibratoria, también se toman en cuenta los factores de capacidad específica y granulometría, así como el proceso de clasificación por vía seca.

Para seleccionar la criba vibratoria se toma en cuenta la alimentación máxima recomendada por el fabricante.

Capacidad Máxima de Alimentación (Toneladas Cortas)

Ancho de Criba	Vibro	Specmaker	Horizontal
5	500	450	500
6	650	550	650
7	800	700	
8	950 - 1200	800	

III.8 ANÁLISIS DE TIEMPOS DE ESPERA DEL EQUIPO DE CARGA Y TRANSPORTACIÓN.- TEORÍA DE COLAS

PROGRAMA DE COLOCACIÓN DE MATERIALES TRITURADOS

Un parámetro a considerar en la selección definitiva y elaboración del programa de materiales triturados, es el programa de necesidades mensuales de colocación. En todos los casos el programa mensual de producción debe ser de tal manera que el volumen acumulado mensual sea igual o mayor al volumen acumulado de necesidades, de lo contrario, el programa de colocación se verá afectado.

Es recomendable que el volumen almacenado mensualmente, sea igual o mayor al volumen requerido en el programa de colocación del mes siguiente.

Programa Mensual de Colocación (Pavimentación) Metros Cúbicos Compactados

Mes	Subbase	Base	Carpeta	Sello
4	20,000			
5	35,000	15,100		
6	35,000	26,400	6,300	
7	40,000	26,400	11,000	1,000
8	45,000	30,100	11,000	1,750
9	45,000	33,900	12,600	1,750
10	45,000	33,900	14,100	2,000
11	27,000	33,900	14,100	2,250
12		20,300	14,100	2,250
13			4,300	1,600
Total	292,000	220,000	87,500	12,600

PROGRAMA DE PRODUCCIÓN GLOBAL Y MENSUAL

Para determinar la producción mensual de cada uno de los materiales, es necesario tomar en cuenta que los meses calendario tienen variación con respecto a los días hábiles, domingos, días festivos y descansos obligatorios, resultando que la producción mensual programada no sea constante.

Así, durante el período de construcción se pueden tener meses con 23, 24, 25, 26 ó 27 días hábiles, con variaciones de 298 a 350 horas efectivas mensuales.

También es necesario considerar los tiempos muertos por fletes y acondicionamiento del equipo, preparación del sitio de instalación y banco de préstamo, así como los tiempos de montaje y pruebas de cada una de las

plantas. En este caso particular se considera un mes calendario para desarrollar estas actividades.

Con las consideraciones básicas anteriores, se determinan las fechas críticas de inicio de producción:

Subbase hidráulica	2do mes
Base hidráulica	3er mes
Carpeta asfáltica	3er mes
Sello 3E	7mo mes

TEORÍA DE COLAS PARA EQUIPO DE CARGA Y TRANSPORTACIÓN

Cliente.- Unidad que llega requiriendo la realización de algún servicio, en nuestro caso se tratará de camiones de volteo.

Cola o línea de espera.- Número de clientes que esperan ser atendidos.

Canal de servicio.- Es el proceso o sistema que está efectuando el servicio para el cliente. Éste puede ser simple o multicanal, en nuestro caso se trata de un proceso simple, ya que solo existirá una banda transportadora por cada tipo de material, y cada línea de espera es independiente.

Tasa de llegada.- Tasa (clientes por periodo de tiempo) a la cual llegan clientes para ser atendidos. La suposición con respecto a la distribución de este valor tiene un efecto grande en el modelo matemático. La suposición que se usará en este análisis es que la tasa de llegada está distribuida aleatoriamente según una distribución de Poisson. El valor medio de la tasa de llegada es λ .

Tasa de servicio.- Tasa a la cual un canal de servicio puede suministrar el servicio requerido por el cliente. Se observa que ésta es la tasa que podría alcanzarse si el canal de servicio siempre estuviera ocupado, es decir, sin tiempo ocioso. La distribución de este valor es igualmente importante a la determinación del grado de complejidad matemática. Durante este análisis, la tasa de servicio estará distribuida aleatoriamente según una distribución de Poisson. El valor medio del servicio es μ .

Prioridad.- Método de decidir cuál será el próximo cliente atendido. La suposición más frecuente consiste en que el primero que llega es el primero que se atiende, y así manejaremos nosotros la prioridad.

Tamaño de la población.- Tamaño del grupo que proporciona los clientes. La población puede ser finita o infinita. Se considera, empíricamente, que una población es finita, si el número de clientes es pequeño, y es infinita si el número de clientes es tan grande que la llegada de un cliente no afecta apreciablemente la probabilidad de otra llegada. En nuestro caso, siempre habrá camiones en

espera de ser atendidos en nuestra línea de espera, por lo tanto estaremos hablando de una población infinita.

Distribución de tasas de llegada.- La suposición más frecuente es la distribución de Poisson. Esta suposición requiere que los eventos de servicio o de llegada sean completamente independientes.

Lq, número esperado en la cola.- Número estimado de clientes que esperan ser atendidos, es decir de camiones de volteo esperando ser cargados.

L, número esperado en el sistema.- Número estimado de clientes ya sea esperando en la línea y/o siendo atendidos.

Wq, tiempo esperado en la cola.- Tiempo estimado que emplea un cliente esperando en la línea.

W, tiempo esperado en el sistema.- Tiempo estimado que emplea un cliente esperando más el que emplea siendo atendido, $Wq + 1/\mu$.

Ln, número esperado en una cola no vacía.- El número promedio o número estimado de clientes que esperan en la línea excluyendo aquellos períodos en los cuales la línea está vacía.

Wn, tiempo estimado de espera en una cola no vacía.- Tiempo estimado que un cliente espera en una línea en el caso de que decida esperar.

Debido a que nuestro sistema corresponde al de una cola de canal simple con población infinita, revisaremos las ecuaciones básicas que pueden usarse para analizar esta clase de problemas.

La probabilidad de hallar el sistema ocupado o utilización del sistema es:

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu}$$

donde ρ = utilización del sistema

λ = tasa de llegada, unidades / período de tiempo

μ = tasa de servicio, unidades / período de tiempo

Las siguientes ecuaciones son válidas sólo cuando $(\lambda / \mu) < 1$.

La probabilidad P_0 de hallar el sistema vacío u ocioso es:

$$P_0 = 1 - \frac{\lambda}{\mu}$$

El número esperado L_q en la cola es:

$$L_q = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)}$$

El número esperado L en el sistema (cola y servicio) es:

$$L = \frac{\lambda}{\mu - \lambda}$$

El tiempo esperado W_q en la cola es:

$$W_q = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)}$$

El tiempo esperado W en el sistema es:

$$W = \frac{1}{\mu - \lambda}$$

El número esperado L_n en la cola no vacía es:

$$L_n = \frac{\lambda}{\mu - \lambda}$$

El tiempo esperado W_n en la cola, para colas no vacías, es:

$$W_n = \frac{1}{\mu - \lambda}$$

Por lo tanto, aplicaremos las expresiones anteriores para nuestro sistema.

Se trata de una banda transportadora, que atenderá camiones de volteo para llenarlos y transportar el material producido a su destino en la obra.

La tasa de llegada $\lambda = 35$ camiones por hora

La tasa de servicio $\mu = 40$ camiones por hora

$$\rho = \frac{35}{40}$$

La utilización del sistema es: $\rho = 0.875$, es decir el 87.50 % del tiempo la banda está cargando un camión.

$$P_0 = 1 - \frac{35}{40}$$

La probabilidad de hallar la banda osciosa es, obviamente, la contraria a la de encontrarla trabajando: $P_0 = 0.125$ ó 12.50 %

$$L_q = \frac{35^2}{40(40 - 35)}$$

El número estimado de camiones en la cola es: $L_q = 6.125$ camiones

$$L = \frac{35}{40 - 35}$$

El número esperado de camiones ya sea en la cola y/o siendo atendidos es:
 $L = 7$ camiones

$$W_q = \frac{35}{40(40 - 35)}$$

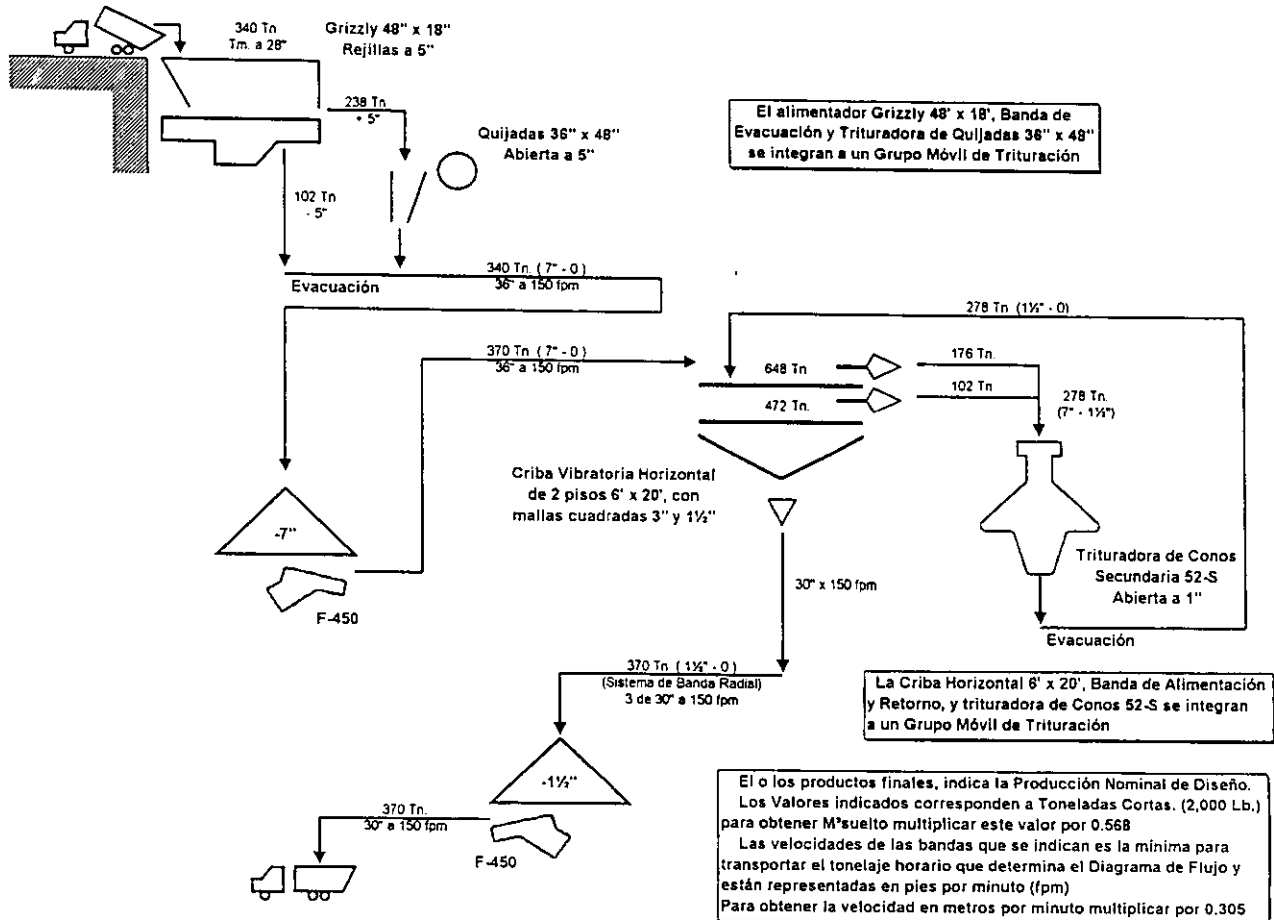
El tiempo estimado que espera un camión en la línea es: $W_q = 0.175$ horas ó 10 y medio minutos.

$$W = \frac{1}{40 - 35}$$

El tiempo estimado que tardará un camión en la cola y en cargarse es:
 $W = 0.20$ horas ó 12 minutos.

A continuación mostraremos los diagramas de flujo y los cálculos mencionados en las etapas de trituración, para las diferentes capas obtenidas, así como las tablas comparativas del programa de producción y colocación.

DIAGRAMA DE FLUJO SUB BASE HIDRAULICA



SELECCION DE EQUIPO

CALCULO DEL AREA DE CRIBADO SECUNDARIO SUB BASE HIDRAULICA

Condiciones:

Malla Cuadrada de 3"	4.17	"A"	Alimentacion	649.00 ton
Primer Piso	1.00	"F"	Sobretamaño	176.00 ton
Factor Eficiencia 95%	1.00	"C"	1/2 Malla	370.00 ton
Criba 6' x 20'	120.00		Area Abierta	68.50

Calculo de Factores Telsmith

$$B = \frac{176.00}{649.00} = 27\% \quad \text{por lo tanto} \quad B = 0.98$$

$$D = \frac{370.00}{649.00} = 57\% \quad \text{por lo tanto} \quad D = 1.34$$

$$A_a = \frac{68.50}{50.00} = 137\% \quad \text{por lo tanto} \quad G = 1.37$$

Calculo de Area Necesaria por Via Seca

$$A = \frac{649.00}{\frac{4.17}{A} \cdot \frac{0.98}{B} \cdot \frac{1.00}{C} \cdot \frac{1.34}{D} \cdot \frac{1.00}{E} \cdot \frac{1.00}{F} \cdot \frac{1.37}{G}} - \frac{176.00}{1.00} = \frac{473.00}{7.50} = 63 \text{ Ft}^2$$

% respecto al area disponible 53%

Condiciones:

Malla Cuadrada de 1 1/2"	3.04	"A"	Alimentacion	473.00 ton
Segundo Piso	0.90	"F"	Sobretamaño	103.00 ton
Factor Eficiencia 95%	1.00	"C"	1/2 Malla	189.00 ton
Criba 6' x 20'	120.00		Area Abierta	64.00

Calculo de Factores Telsmith

$$B = \frac{103.00}{473.00} = 22\% \quad \text{por lo tanto} \quad B = 1.01$$

$$D = \frac{189.00}{473.00} = 40\% \quad \text{por lo tanto} \quad D = 1.00$$

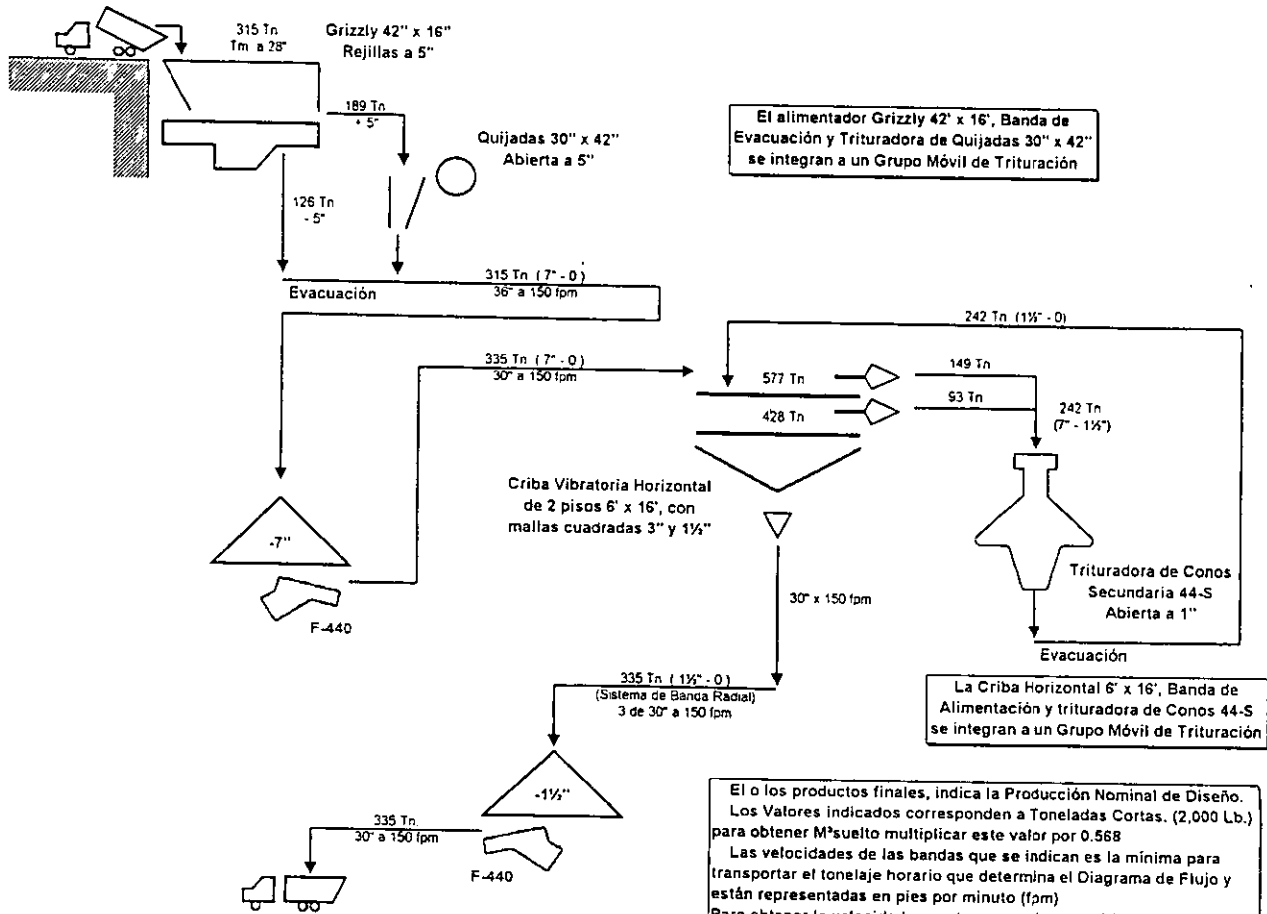
$$A_a = \frac{64.00}{50.00} = 128\% \quad \text{por lo tanto} \quad A_a = 1.28$$

Calculo de Area Necesaria por Via Seca

$$A = \frac{473.00}{\frac{3.04}{A} \cdot \frac{1.01}{B} \cdot \frac{1.00}{C} \cdot \frac{1.00}{D} \cdot \frac{1.00}{E} \cdot \frac{0.90}{F} \cdot \frac{1.28}{G}} - \frac{103.00}{1.00} = \frac{370.00}{3.54} = 105 \text{ Ft}^2$$

% respecto al area disponible 87%

DIAGRAMA DE FLUJO BASE HIDRAULICA



SELECCION DE EQUIPO

CALCULO DEL AREA DE CRIBADO SECUNDARIO BASE HIDRAULICA

Condiciones:

Malla Cuadrada de 3"	4.17	"A"	Alimentacion	577.00 ton
Primer Piso	1.00	"F"	Sobretamaño	149.00 ton
Factor Eficiencia 95%	1.00	"C"	1/2 Malla	335.00 ton
Criba 6' x 16'	96.00		Area Abierta	68.50

Calculo de Factores Telsmith

$B = \frac{149.00}{577.00} = 26\%$	por lo tanto	$B = 0.98$
$D = \frac{335.00}{577.00} = 58\%$	por lo tanto	$D = 1.36$
$Aa = \frac{68.50}{50.00} = 137\%$	por lo tanto	$G = 1.37$

Calculo de Area Necesaria por Via Seca

$$A = \frac{577.00}{\frac{4.17}{A} \cdot \frac{0.98}{B} \cdot \frac{1.00}{C} \cdot \frac{1.36}{D} \cdot \frac{1.00}{E} \cdot \frac{1.00}{F} \cdot \frac{1.37}{G}} - \frac{149.00}{E} = \frac{428.00}{7.61} = 56 \text{ Ft}^2$$

% respecto al area disponible 59%

Condiciones:

Malla Cuadrada de 1 1/2"	3.04	"A"	Alimentacion	428.00 ton
Segundo Piso	0.90	"F"	Sobretamaño	93.00 ton
Factor Eficiencia 95%	1.00	"C"	1/2 Malla	173.00 ton
Criba 6' x 16'	96.00		Area Abierta	64.00

Calculo de Factores Telsmith

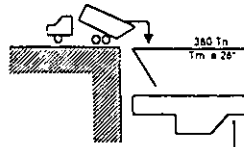
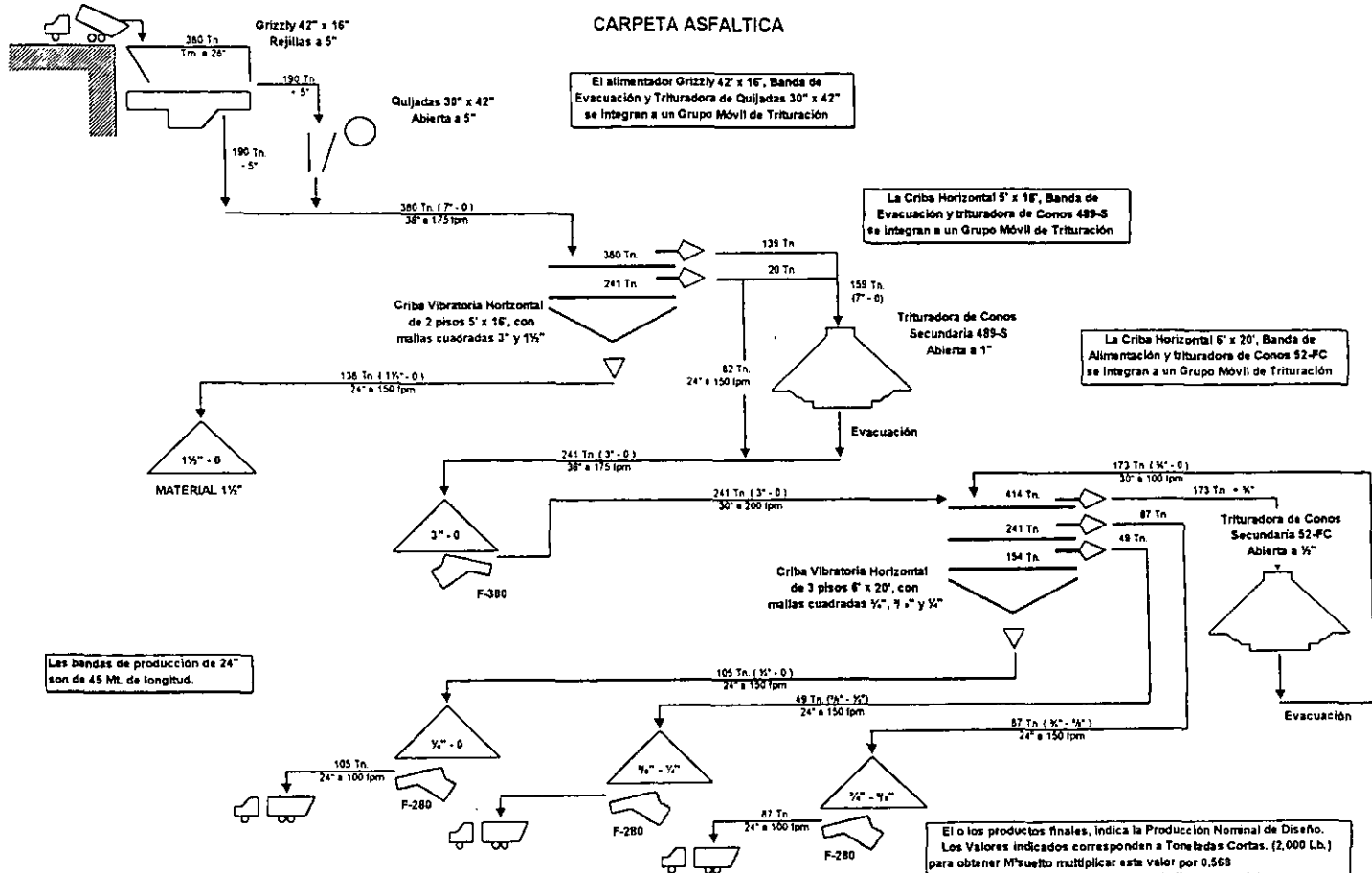
$B = \frac{93.00}{428.00} = 22\%$	por lo tanto	$B = 1.01$
$D = \frac{173.00}{428.00} = 40\%$	por lo tanto	$D = 1.00$
$Aa = \frac{64.00}{50.00} = 128\%$	por lo tanto	$Aa = 1.28$

Calculo de Area Necesaria por Via Seca

$$A = \frac{428.00}{\frac{3.04}{A} \cdot \frac{1.01}{B} \cdot \frac{1.00}{C} \cdot \frac{1.00}{D} \cdot \frac{1.00}{E} \cdot \frac{0.90}{F} \cdot \frac{1.28}{G}} - \frac{93.00}{E} = \frac{335.00}{3.54} = 95 \text{ Ft}^2$$

% respecto al area disponible 99%

CARPETA ASFALTICA



Grizzly 42' x 16'
Rejillas a 5"

Quijadas 30" x 42"
Abierta a 5"

El alimentador Grizzly 42' x 16', Banda de Evacuación y Trituradora de Quijadas 30" x 42" se integran a un Grupo Móvil de Trituración

La Criba Horizontal 5' x 16', Banda de Evacuación y trituradora de Conos 489-S se integran a un Grupo Móvil de Trituración

La Criba Horizontal 6' x 20', Banda de Alimentación y trituradora de Conos 52-FC se integran a un Grupo Móvil de Trituración

Las bandas de producción de 24" son de 45 Mt. de longitud.

El o los productos finales, indica la Producción Nominal de Diseño. Los Valores indicados corresponden a Toneladas Cortas. (2,000 Lb.) para obtener M³ sueto multiplicar este valor por 0,568. Las velocidades de las bandas que se indican es la mínima para transportar el tonelaje horario que determina el Diagrama de Flujo y están representadas en pies por minuto (fpm). Para obtener la velocidad en metros por minuto multiplicar por 0,305

MATERIAL 1 1/2"

F-380

F-280

F-280

F-280

Trituradora de Conos Secundaria 52-FC Abierta a 1/2"

Evacuación

SELECCION DE EQUIPO

CALCULO DEL AREA DE CRIBADO SECUNDARIO CARPETA Y SELLO

Condiciones:

Malla Cuadrada de 3"	4.17	"A"	Alimentacion	380.00 ton
Primer Piso	1.00	"F"	Sobretamaño	139.00 ton
Factor Eficiencia 95%	1.00	"C"	1/2 Malla	139.00 ton
Criba 5' x 16'	80.00		Area Abierta	68.50

Calculo de Factores Telsmith

$$B = \frac{139.00}{380.00} = 37\% \quad \text{por lo tanto} \quad B = 0.90$$

$$D = \frac{139.00}{380.00} = 37\% \quad \text{por lo tanto} \quad D = 0.94$$

$$Aa = \frac{68.50}{50.00} = 137\% \quad \text{por lo tanto} \quad G = 1.37$$

Calculo de Area Necesaria por Via Seca

$$A = \frac{380.00}{\frac{4.17}{A} \cdot \frac{0.90}{B} \cdot \frac{1.00}{C} \cdot \frac{0.94}{D} \cdot \frac{1.00}{E} \cdot \frac{1.00}{F} \cdot \frac{1.37}{G}} - \frac{139.00}{1.00} = \frac{241.00}{4.83} = 50 \text{ Ft}^2$$

% respecto al area disponible 62%

Condiciones:

Malla Cuadrada de 1 1/2"	3.04	"A"	Alimentacion	241.00 ton
Segundo Piso	0.90	"F"	Sobretamaño	103.00 ton
Factor Eficiencia 95%	1.00	"C"	1/2 Malla	78.00 ton
Criba 5' x 16'	80.00		Area Abierta	64.00

Calculo de Factores Telsmith

$$B = \frac{103.00}{241.00} = 43\% \quad \text{por lo tanto} \quad B = 0.85$$

$$D = \frac{78.00}{241.00} = 32\% \quad \text{por lo tanto} \quad D = 0.84$$

$$Aa = \frac{64.00}{50.00} = 128\% \quad \text{por lo tanto} \quad Aa = 1.28$$

Calculo de Area Necesaria por Via Seca

$$A = \frac{241.00}{\frac{3.04}{A} \cdot \frac{0.85}{B} \cdot \frac{1.00}{C} \cdot \frac{0.84}{D} \cdot \frac{1.00}{E} \cdot \frac{0.90}{F} \cdot \frac{1.28}{G}} - \frac{103.00}{1.00} = \frac{138.00}{2.50} = 55 \text{ Ft}^2$$

% respecto al area disponible 69%

SELECCION DE EQUIPO

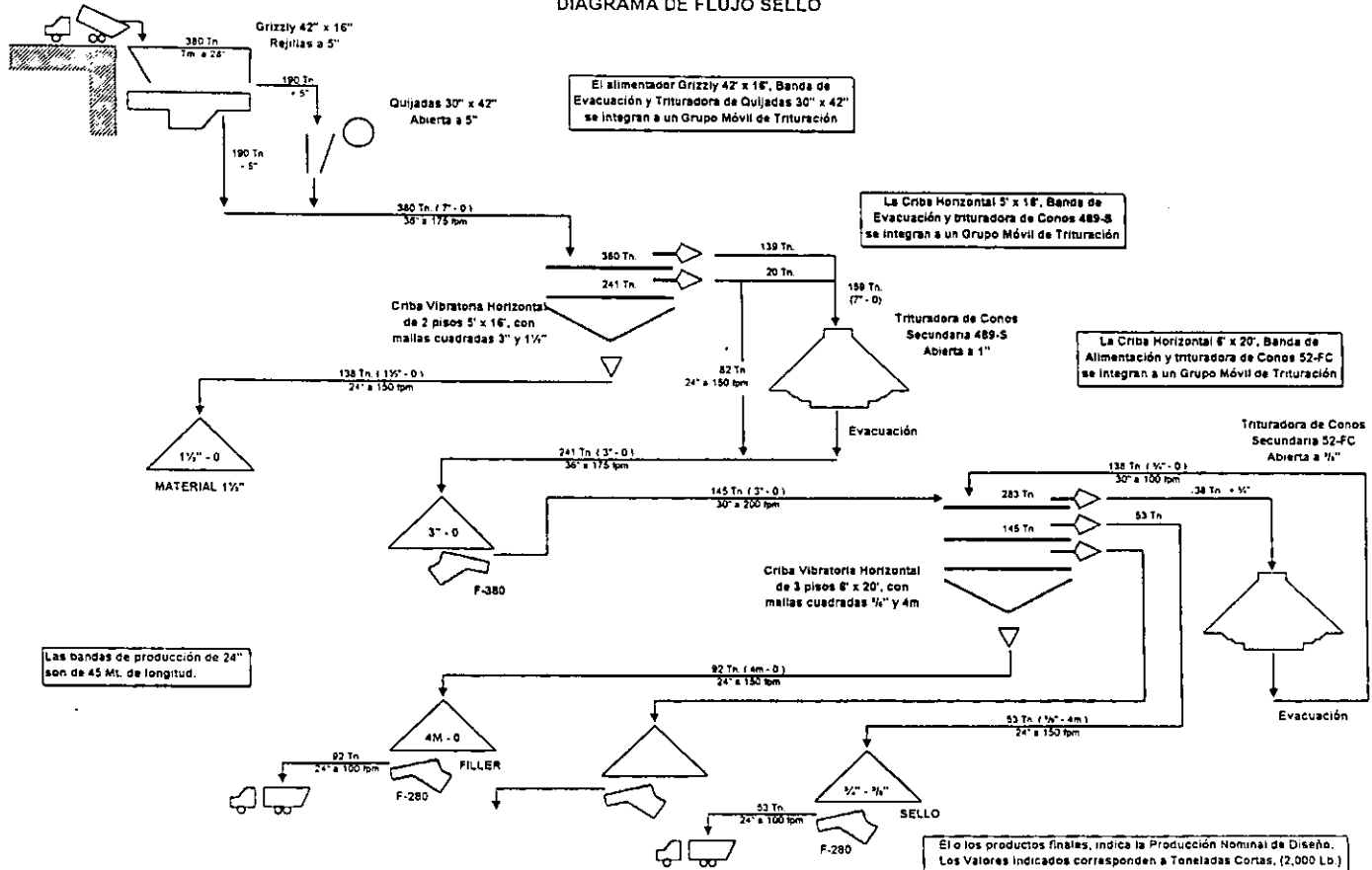
CALCULO DEL AREA DE CRIBADO TERCARIO CARPETA ASFALTICA

Condiciones:						
Malla Cuadrada de 3/4"	2.52	"A"	Alimentacion	414.00	ton	
Primer Piso	1.00	"F"	Sobretamaño	173.00	ton	
Factor Eficiencia 95%	1.00	"C"	1/2 Malla	154.00	ton	
Criba 6' x 20'	120.00		Area Abierta	56.30		
Calculo de Factores Telsmith						
B =	$\frac{173}{414}$	=	42%	por lo tanto	B =	0.86
D =	$\frac{154}{414}$	=	37%	por lo tanto	D =	0.94
Aa =	$\frac{56.30}{50.00}$	=	113%	por lo tanto	G =	1.13
Calculo de Area Necesaria por Via Seca						
A =	$\frac{2.52 \quad 0.86 \quad 1.00 \quad 0.94 \quad 1.00 \quad 1.00 \quad 1.13}{1.00 \quad 1.00 \quad 1.00 \quad 1.00 \quad 1.00 \quad 1.00 \quad 1.13}$				=	$\frac{414.00 - 173.00}{2.29} = 105 \text{ Ft}^2$
% respecto al area disponible 88%						

Condiciones:						
Malla Cuadrada de 3/8"	2.04	"A"	Alimentacion	241.00	ton	
Segundo Piso	0.90	"F"	Sobretamaño	87.00	ton	
Factor Eficiencia 95%	1.00	"C"	1/2 Malla	83.00	ton	
Criba 6' x 20'	120.00		Area Abierta	48.70		
Calculo de Factores Telsmith						
B =	$\frac{87}{241}$	=	36%	por lo tanto	B =	0.91
D =	$\frac{83}{241}$	=	34%	por lo tanto	D =	0.88
Aa =	$\frac{48.70}{50.00}$	=	97%	por lo tanto	G =	0.97
Calculo de Area Necesaria por Via Seca						
A =	$\frac{2.04 \quad 0.91 \quad 1.00 \quad 0.88 \quad 1.00 \quad 0.90 \quad 0.97}{1.00 \quad 1.00 \quad 1.00 \quad 1.00 \quad 1.00 \quad 1.00 \quad 1.13}$				=	$\frac{241.00 - 87.00}{1.43} = 108 \text{ Ft}^2$
% respecto al area disponible 90%						

Condiciones:						
Malla Cuadrada de 1/4"	1.74	"A"	Alimentacion	154.00	ton	
Tercer piso	0.80	"F"	Sobretamaño	50.00	ton	
Factor Eficiencia 95%	1.00	"C"	1/2 Malla	64.00	ton	
Criba 6' x 20'	120.00		Area Abierta	42.20		
Calculo de Factores Telsmith						
B =	$\frac{50}{154}$	=	32%	por lo tanto	B =	0.94
D =	$\frac{64}{154}$	=	42%	por lo tanto	D =	1.04
Aa =	$\frac{42.20}{50.00}$	=	84%	por lo tanto	G =	0.84
Calculo de Area Necesaria por Via Seca						
A =	$\frac{1.74 \quad 0.94 \quad 1.00 \quad 1.04 \quad 1.00 \quad 0.80 \quad 0.84}{1.00 \quad 1.00 \quad 1.00 \quad 1.00 \quad 1.00 \quad 1.00 \quad 1.13}$				=	$\frac{154 - 50.00}{1.15} = 91 \text{ Ft}^2$
% respecto al area disponible 76%						

DIAGRAMA DE FLUJO SELLO



SELECCION DE EQUIPO

CALCULO DEL AREA DE CRIBADO TERCIARIO SELLO 3 E

Condiciones:							
Malla Cuadrada de 3/8"	2.04	"A"		Alimentacion	284.00	ton	
Primer Piso	1.00	"F"		Sobretamaño	139.00	ton	
Factor Eficiencia 95%	1.00	"C"		1/2 Malla	92.00	ton	
Criba 6" x 20"	120.00			Area Abierta	48.70		
Calculo de Factores Telsmith							
B =	$\frac{139}{284}$	=	49%	por lo tanto	B =	0.80	
D =	$\frac{92}{284}$	=	32%	por lo tanto	D =	0.84	
Aa =	$\frac{48.70}{50.00}$	=	97%	por lo tanto	G =	0.97	
Calculo de Area Necesaria por Via Seca							
A =	$\frac{2.04 \cdot 0.80 \cdot 1.00 \cdot 0.84 \cdot 1.00 \cdot 1.00 \cdot 0.97}{1.34}$	=	$\frac{284.00 - 139.00}{1.34}$	=	145.00	=	109 Ft ²
	A B C D E F G						
% respecto al area disponible				90%			

Condiciones:							
Malla Cuadrada de 4M	1.41	"A"		Alimentacion	145.00	ton	
Segundo Piso	0.90	"F"		Sobretamaño	53.00	ton	
Factor Eficiencia 95%	1.00	"C"		1/2 Malla	51.00	ton	
Criba 6" x 20"	120.00			Area Abierta	37.20		
Calculo de Factores Telsmith							
B =	$\frac{53}{145}$	=	37%	por lo tanto	B =	0.90	
D =	$\frac{51}{145}$	=	35%	por lo tanto	D =	0.90	
Aa =	$\frac{37.20}{50.00}$	=	74%	por lo tanto	G =	0.74	
Calculo de Area Necesaria por Via Seca							
A =	$\frac{1.41 \cdot 0.90 \cdot 1.00 \cdot 0.90 \cdot 1.00 \cdot 0.90 \cdot 0.74}{0.76}$	=	$\frac{145.00 - 53.00}{0.76}$	=	92	=	120 Ft ²
	A B C D E F G						
% respecto al area disponible				100%			

TABLA COMPARATIVA DE PROGRAMAS DE COLOCACION MAXIMA VS PRODUCCION MINIMA
(Metros cubicos compactos)

CONCEPTOS	PROGRAMAS	Mes	Mes	Mes	Mes	Mes	Mes	Mes	Mes	Mes	Mes	Mes	Mes	Mes
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Sub base hidraulica	Colocacion				20,000	35,000	35,000	40,000	45,000	45,000	45,000	27,000		
	Acumulada				20,000	55,000	90,000	130,000	175,000	220,000	265,000	292,000		
	Produccion	31,232	33,731	32,586	33,939	35,293	35,293	36,846	32,482	20,799				
	Acumulada	31,232	64,963	97,549	131,488	166,781	202,074	238,720	271,201	292,000	292,000			
	Almacen	31,232	64,963	77,549	76,488	76,781	72,074	63,720	51,201	27,000	0			
Base hidraulica	Colocacion					15,100	26,400	26,400	30,100	33,900	33,900	33,900	20,300	
	Acumulada					15,100	41,500	67,900	98,000	131,900	165,800	199,700	220,000	
	Produccion		30,540	29,503	30,729	31,954	31,954	33,180	29,409	2,731				
	Acumulada		30,540	60,044	90,772	122,727	154,681	187,860	217,269	220,000	220,000	220,000		
	Almacen		30,540	60,044	75,672	81,227	86,781	89,860	85,369	54,200	20,300	0		
Carpeta asfaltica	Colocacion						6,300	11,000	11,000	12,600	14,100	14,100	14,100	4,300
	Acumulada						6,300	17,300	28,300	40,900	55,000	69,100	83,200	87,500
	Produccion			21,971	21,225	22,106	22,198							
	Acumulada			21,971	43,196	65,302	87,500	87,500	87,500	87,500	87,500	87,500	87,500	87,500
	Almacen		21,971	43,196	65,302	81,200	70,200	59,200	46,600	32,500	18,400	4,300	0	
Sello 3E	Colocacion							1,000	1,750	1,750	2,000	2,250	2,250	1,600
	Acumulada							1,000	2,750	4,500	6,500	8,750	11,000	12,600
	Produccion							4,980	5,150	2,490				
	Acumulada							4,960	10,110	12,600	12,600	12,600	12,600	12,600
	Almacen							3,960	7,360	8,100	6,100	3,850	1,600	0 29226

ALMACENAMIENTO MENSUAL

0	31,232	117,474	180,788	217,463	239,208	233,014	220,140	191,271	119,801	42,551	5,900	0
---	--------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	--------	-------	---

TABLA COMPARATIVA DE PROGRAMAS DE COLOCACION MAXIMA VS PRODUCCION MINIMA
(Metros cubicos compactos)

CONCEPTOS	Volumen proyecto m3-c	Volumen suelto m3-s	Rendimiento maximo estimado ton-c	Rendimiento maximo estimado m3-c	Equipos basicos propuestos	Mes no.	Mes no.	Mes no.	Mes no.	Mes no.	Mes no.	Mes no.	Mes no.	Mes no.	Mes no.
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
						324	300	324	313	320	339	339	352	312	284
Sub base hidraulica	292,000	695,391	370	104	3648 52-s 6' x 20'	Montaje	31,232	33,731	32,586	33,939	35,293	35,293	36,646	32,482	20,799
Base Hidraulica	220,000	523,925	335	94	3042 44-s 6' x 16'	Montaje	30,540	29,503	30,729	31,954	31,954	33,180	29,409	2,731	
Carpeta Asfaltica	87,500	208,379	241	68	3042 489s 5' x 16' 52-fc 6' x 20'	Montaje	21,971	21,225	22,106	22,198					
Sello 3 E	12,600	30,007	52	15	3042 489s 5' x 16' 52-fc 6' x 20'							4,960	5,150	2,490	

Volumen total 612,100 1,457,702

0 31,232 86,242 83,314 86,774 89,445 72,207 74,976 64,381 23,530

IV. DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

IV.1 DOSIFICACIÓN DE AGREGADOS

Mezcla en caliente.- Mezclas elaboradas en plantas estacionarias o portátiles que deben extenderse y compactarse mientras aún están calientes. Los pavimentos asfálticos de mejor calidad se construyen empleando este tipo de mezclas.

Mezcla en frío.- Mezclas elaboradas en instalaciones portátiles o estacionarias que pueden extenderse y compactarse a la temperatura ambiente.

Mezcla en el lugar.- Capa asfáltica que se construye mezclando el agregado pétreo en frío con asfalto líquido. Generalmente se construye en plantas portátiles, estabilizadoras o motoconformadoras.

Mezcla en planta.- Mezcla producida en una planta para mezclas asfálticas, que consiste de agregados pétreos, calientes, cubiertos uniformemente con cemento asfáltico o asfalto líquido.

El control de calidad de la mezcla asfáltica, se divide en tres etapas, diseño de la mezcla, control de fabricación y control de colocación y compactación.

Diseño de la mezcla asfáltica en caliente.- Una carpeta asfáltica con mezcla en caliente, es un conjunto de materiales pétreos correctamente graduados, secados por calentamiento a temperatura elevada y mezclados en caliente con cemento asfáltico, que se coloca sobre la base hidráulica o asfáltica, para proporcionar una superficie de rodamiento estable y funcional.

Propiedades Necesarias.- La mezcla asfáltica obtenida debe poseer las propiedades siguientes:

- a) **Ser estable.-** Debe resistir la deformación producida por las cargas aplicadas a la carpeta.
- b) **Ser duradera.-** No debe disgregarse bajo la acción del tráfico y de los agentes atmosféricos.
- c) **Ser antideslizante.-** La fricción con los neumáticos será elevada, incluso en pavimento mojado, y deberá proporcionar la funcionalidad esperada.
- d) **Ser económica.-** El aprovechamiento de los recursos deberá ser óptimo y la mezcla cumplirá con la calidad de servicio.

Factores de diseño.- Intervienen básicamente los siguientes:

a) Tipo y calidad del material pétreo.- El origen y la naturaleza del material pétreo están directamente vinculados con su calidad, así como su comportamiento mecánico, cuando forma parte de la carpeta. Así, puede tener o no afinidad con el asfalto, ser blando o resistente, redondeado o anguloso, con propiedades de absorción baja, media o alta.

b) Granulometría del material pétreo.- Ésta se refiere a la buena distribución de sus tamaños, para obtener la graduación de las partículas que requiera el proyecto.

Son usuales carpetas con agregado máximo de 1" (25 mm) cuando los espesores de éstas son de 10 cm, 3/4" (19 mm) cuando los espesores son del orden de 7.5 cm, y de 1/2" (12.7 mm) cuando son de 5 cm.

Es conveniente mencionar que aún cuando los materiales pétreos se encuentran separados por tamaños en la alimentación en frío, podrían variar sensiblemente sus características granulométricas por contaminaciones en el almacén, segregación, variaciones propias del banco, etc., lo que ocasiona alteraciones en la granulometría de la mezcla producida. Éstas son más acentuadas en las plantas de producción continua.

c) Contenido de asfalto en la mezcla.- Es la cantidad óptima de cemento asfáltico que necesita la mezcla para ser estable, duradera y antideslizante.

Un contenido de asfalto demasiado bajo, produce disgregación de la mezcla; si, por el contrario, es demasiado alto, provoca inestabilidad en la mezcla.

d) Calidad del cemento asfáltico.- La consistencia del asfalto se refiere básicamente a su dureza; cuando éste es muy duro, puede ocasionar pavimentos quebradizos.

La calidad del cemento asfáltico se mide por las pruebas recomendadas por el Instituto del Asfalto; normalmente son la penetración, ductibilidad y solubilidad; la garantía de calidad la proporciona el fabricante. En México, el único proveedor de productos asfálticos es PEMEX.

Métodos de proyecto.- Se deben de realizar ensayos o pruebas con diversas proporciones de los agregados y el cemento asfáltico, hasta alcanzar los parámetros requeridos por las especificaciones particulares del proyecto.

Existen varios ensayos normalmente aceptados: Método Marshall, Método de Hveem, Método Hubbard'field y método Triaxial.

Los tres primeros métodos son básicamente ensayos de laboratorio, el último es un método de investigación de mezclas.

Método Marshall.- Este ensayo puede emplearse para proyectos en laboratorio y comparación en la obra de las mezclas asfálticas, cuyo tamaño máximo de agregado no sea mayor a 1" (25 mm). Las principales características de este ensayo son, el análisis de la densidad-huecos, estabilidad, contenido de asfalto óptimo y flujo, sobre probetas de mezcla compactada.

Método de Hveen.- Este método comprende los tres ensayos siguientes: Estabilómetro, Cohesiómetro y Equivalente de queroseno.

Los dos primeros ensayos son aplicables a mezclas asfálticas con tamaño máximo de agregado de 1" (25 mm).

Método Hubbard field.- Este método es aplicable a las mezclas asfálticas que contengan un agregado menor a la malla # 4 y mayor en un 65% a la malla # 10. Básicamente es empleado para los morteros asfálticos.

Las especificaciones particulares de cada mezcla determinan los parámetros de estabilidad, flujo, porcentaje de vacíos y porcentaje de huecos llenos de asfalto.

Para carpata asfáltica con tamaño máximo de agregado de 3/4" (19 mm), diseñadas por el Método Marshall, rigen los siguientes parámetros.

Estabilidad mínima	700 kg
Flujo	2 a 4 mm
Porcentaje de vacíos en la mezcla	3 a 5 %
Porcentaje de vacíos VAM	14 %

Control de fabricación, colocación y compactación.- Uno de los problemas que se presentan comúnmente en el proceso de fabricación y colocación de mezcla asfáltica es la segregación.

La segregación está definida como la separación de la masa principal para volverse a juntar en una nueva unidad.

Las piedras grandes a menudo se separan del material de menor tamaño, produciendo la falta de uniformidad que generalmente conduce al rápido deterioro de ciertas áreas de la mezcla asfáltica.

La segregación puede ocurrir por la manipulación de los agregados en el almacén de agregados fríos, durante el proceso de mezclado y almacenamiento, la carga a camiones para su transportación al sitio de colocación, o el esparcidor mismo.

Almacén de agregados.- Cuando se almacenan los agregados con banda transportadora, se produce la segregación por la caída libre del material, las partículas mayores ruedan por el talud y las de menor tamaño tienden a permanecer en el centro de la pila, tal como se muestra en la figura 1.

Para evitar esta segregación, es recomendable se almacenen los agregados en capas de espesor constante, como muestran las figuras 2, 3 y 4.

Proceso de mazclado y almacenamiento.- En primer lugar, puede provocarse la segregación en el sistema de alimentación. Una abertura de descarga rectangular, por ejemplo, provoca cargas muertas reduciendo el área efectiva de descarga, figura 5.

La geometría de la descarga de la tolva debe ser de forma trapezoidal, lo que aumenta en un 100% el área efectiva y entrega los materiales uniformemente al alimentador de banda, figura 6.

En segundo lugar, la segregación puede producirse en el tambor mismo, ya que las partículas mayores circulan en éste a mayor velocidad que las partículas pequeñas.

Por el efecto de producción continua, la segregación, en este caso, es de poca magnitud. La excepción suele ocurrir cuando se produce falta de mezclado con el cemento asfáltico.

En el caso de que el recubrimiento sea escaso, la línea de alimentación de asfalto puede prolongarse un poco dentro del tambor, como muestra la figura 7.

Ahora bien, si continúa el problema de segregación, será necesaria la instalación de trampas o anillos circulares en el interior del tambor, principalmente en la zona de mezclado, como muestra la figura 8.

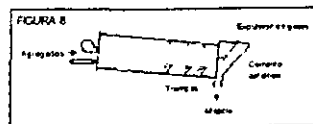
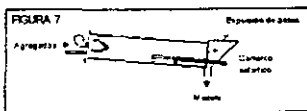
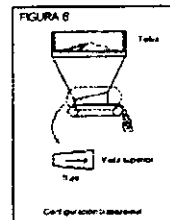
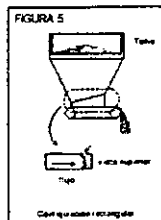
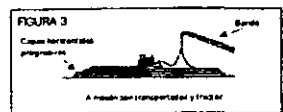
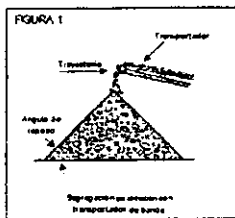
Otro de los puntos de segregación, puede ocurrir en los silos de almacenamiento de gran altura, ya que la caída libre de la mezcla provoca que los agregados gruesos se separen de la masa asfáltica. Figura 9.

Después de realizar estudios y modelos a escala, los fabricantes de silos han adoptado sistemas de descarga, de los cuales, el más común, es el de los vertederos rotatorios en el interior del silo, que evitan la segregación en aproximadamente 95%. Figura 10.

En estos casos debe vigilarse que el vertedero se mantenga girando, ya que, de detenerse, el material entrará al silo de manera torcida y fuera del centro, provocando una segregación considerable.

Carga de camiones.- Debido a la rapidez con que se efectúa la carga del camión, suelen los conductores cargar el material en el centro de la caja, ocasionando que el material grueso se extienda a los extremos delanteros y traseros, así como hacia ambos lados, figura 11. Cuando se descarga el camión, el material que sale primero es grueso, lo mismo que el que sale al último.

Para evitar este problema, es recomendable que los camiones se carguen en tres etapas: la primera, en la parte frontal del camión; la segunda, en la parte trasera y la tercera, al centro de la caja. Los materiales gruesos de la primera carga, se mezclan con los materiales finos de la segunda y tercera cargas. Figura 12.



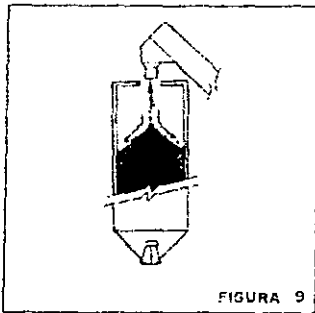


FIGURA 9

Silo de almacenamiento con caída libre

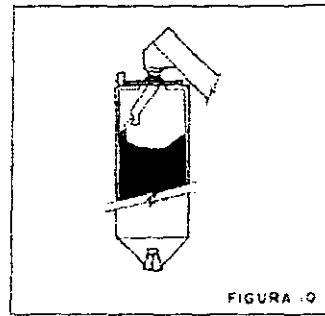


FIGURA 10

Silo de almacenamiento con vertedor rotatorio

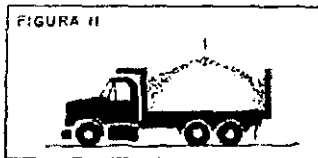


FIGURA 11

Carga de camiones en 1 etapa

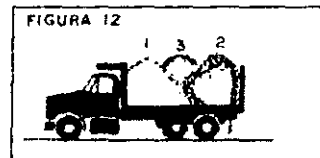


FIGURA 12

Carga de camiones en 3 etapas

Como control integral en la producción de mezcla asfáltica y garantizar el buen comportamiento de la mezcla construída, es indispensable la presencia del laboratorio para supervisar adecuadamente la calidad de la misma y el cumplimiento de las especificaciones de proyecto.

Este control correspondiente se programa de la siguiente manera:

Control de agregados durante la trituración o clasificación: Granulometrías, contracción lineal, desgaste, peso volumétrico, etc.

Control de cemento asfáltico: Pruebas de calidad e identificación, permeabilidad, ductibilidad, solubilidad y control de la mezcla elaborada.

El laboratorio determinará el contenido de cemento asfáltico, peso volumétrico, estabilidad, flujo, porcentaje de vacíos de la mezcla y porcentaje de huecos llenados de asfalto, para verificar si la mezcla corresponde a la de diseño, temperatura de salida y peso unitario.

Control de la mezcla colocada: Aún si pudiera evitarse la segregación en los almacenamientos, proceso de mezclado y carga a los camiones, ésta puede presentarse en el espaciador.

La operación incorrecta de la pavimentadora puede causar segregación en diferentes grados.

A continuación se encuentra una lista de recomendaciones que conviene tener en cuenta para reducir la segregación durante la colocación de la mezcla asfáltica:

1. Descargar el camión hasta inundar la tolva receptora.
2. No vaciar la tolva entre camión y camión. Dejar material en la tolva hasta la próxima carga.
3. No descargar las alas entre cargas. Descargar las alas un mínimo de veces.
4. Abrir totalmente la entrada posterior de la tolva. Llenar totalmente las cadenas transportadoras.
5. Reducir la velocidad de trabajo.

El laboratorio de control de calidad deberá vigilar que la temperatura de colocación y compactación sean las adecuadas, obtener los resultados de compactación y permeabilidad y observar detalladamente el comportamiento de la mezcla durante su compactación. (deslizamientos o desplazamientos).

IV.2 TIPOS DE EMULSIONES

Betún.- Mezcla de hidrocarburos de origen natural o progénico, o de ambos tipos, frecuentemente acompañados de sus derivados no metálicos, gaseosos, líquidos, semisólidos o sólidos, completamente solubles en sulfuro de carbono.

Asfaltos.- Materiales aglomerantes sólidos o semisólidos, de color que varía de negro a pardo oscuro y que se licúan gradualmente al calentarse, cuyos constituyentes predominantes son betunes que se dan en la naturaleza en forma sólida, semisólida o se obtienen de la destilación del petróleo, o combinaciones de éstos entre sí, con el petróleo o productos derivados de estas combinaciones.

Betún asfáltico.- Asfalto refinado para satisfacer las especificaciones establecidas para materiales empleados en pavimentación. Las penetraciones normales de los betunes asfálticos están comprendidas entre 40 y 300.

Las penetraciones son pruebas de laboratorio que se le efectúa al asfalto para determinar su dureza o consistencia relativa en condiciones específicas de temperatura, carga y tiempo.

Asfaltos líquidos.- Materiales asfálticos cuya consistencia blanda o fluida hace que rebasen el campo en que normalmente se aplica el ensayo de penetración, cuyo límite máximo es 300.

Asfalto de curado rápido (FR).- Asfalto líquido compuesto de betún asfáltico y un disolvente de tipo nafta o gasolina, con alta volatilidad.

Asfalto de curado medio (FM).- Asfalto líquido compuesto de betún asfáltico y un disolvente de tipo queroseno de volatilidad media.

Asfalto de curado lento (FL).- Asfalto líquido compuesto de betún asfáltico y aceites relativamente poco volátiles.

Asfalto emulsionado.- Emulsión de betún asfáltico en agua, con bajo contenido de agentes emulsificantes. Se trata de un sistema heterogéneo que contiene dos fases normalmente inmiscibles (asfalto-agua), en el que el agua forma la fase continua de la emulsión y con pequeños glóbulos de asfalto en la fase discontinua.

Los asfaltos emulsificados pueden ser del tipo aniónico o catiónico, según el tipo de agente emulsificante empleado.

Emulsión asfáltica inversa.- Emulsión asfáltica en la que la fase continua es asfalto, usualmente de tipo líquida, y la fase discontinua está constituida por diminutos glóbulos de agua, en proporción relativamente pequeña.

Lechada de sello de emulsión asfáltica (Slurry Seal).- Mezcla de emulsión asfáltica de fraguado lento, agregado fino y sellador, con agua adicional para obtener la consistencia de un lodo.

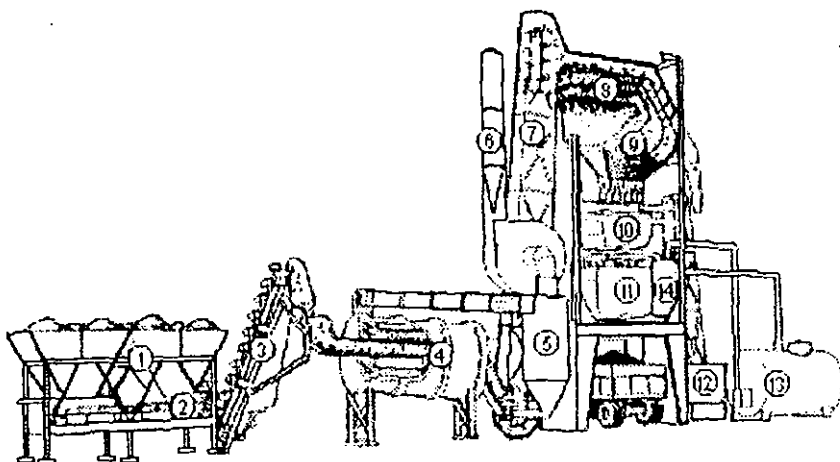
V. SELECCIÓN DE EQUIPO DE PRODUCCIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

V.1 CARACTERÍSTICAS DE LA PLANTA

Las mezclas asfálticas en caliente son elaboradas en plantas estacionarias o portátiles y pueden ser de producción continua o discontinua. En términos generales, las de producción discontinua tienden a salir del mercado de la construcción de obra civil.

Plantas de Producción Discontinua (Bachas).- Estas plantas son empleadas generalmente en las instalaciones estacionarias y sus componentes básicos son:

- 1.- Alimentador de agregados fríos
- 2.- Compuertas de alimentación
- 3.- Elevador de fríos
- 4.- Tambor secador
- 5.- Colector de polvos
- 6.- Chimenea de expulsión
- 7.- Elevador de calientes
- 8.- Criba vibratoria
- 9.- Tolva de almacenamiento de material caliente
- 10.- Báscula para agregados
- 11.- Mezclador de paletas
- 12.- Almacén de filler
- 13.- Tanque o fosas de asfalto
- 14.- Báscula para el asfalto



A continuación explicaremos someramente el funcionamiento de estas plantas:

- i.- El material procedente de trituración o clasificación es depositado en diversos tamaños en las tolvas del alimentador de fríos, el cual, por medio de alimentadores de banda o reciprocantes, descarga el material a la banda recolectora, ésta, a su vez, lo deposita en el elevador de fríos del tipo cangilones. Así se efectúa una primera graduación granulométrica.
- ii.- El elevador de fríos descarga el material en el tambor secador, cuya función principal consiste en secar el material, eliminando el contenido de humedad que posea. Al tambor se conecta el colector de polvos que recupera los finos, mismos que se incorporan al material libre de humedad.
- iii.- El tambor secador, por efecto de gravedad y del movimiento circular, permite que el material ya seco se deposite en el elevador de calientes, también del tipo cangilones, y éste lo deposita en la criba vibratoria, para ser clasificado de acuerdo a la granulometría del proyecto.
- iv.- El material clasificado es depositado en las tolvas de almacenamiento de materiales calientes; de estas tolvas se extrae el material medido en peso, según la granulometría de proyecto, y se deposita en la báscula para agregados. Una vez determinado el volumen total requerido por bacha, se descarga el material en el mezclador de paletas. Es recomendable descargar en primer lugar los materiales de mayor tamaño, disminuyendo progresivamente hasta el tamaño más fino. Esto permite que los materiales se vayan mezclando en su caída en el mezclador de paletas.

v.- El mezclador de paletas consiste en dos ejes paralelos con brazos metálicos que mezclan los materiales de cada amasada en forma homogénea, asimismo cuenta con una compuerta inferior de fácil apertura y cierre, que permite la descarga rápida, para lo cual utiliza un émbolo accionado con presión hidroneumática. Una vez depositados los agregados calientes en el mezclador, se procede a homogeneizar en seco durante un tiempo determinado. Concluido el ciclo de mezcla en seco, se incorpora el asfalto debidamente dosificado en peso, procediendo nuevamente a mezclarlo con el material, hasta lograr una mezcla uniforme. El tiempo de mezclado debe ser corto, compatible con la distribución uniforme de los tamaños de los materiales y el recubrimiento uniforme de las partículas con asfalto. El material dentro de la mezcladora debe ocupar un volumen que esté por debajo de la línea del centro de las flechas, logrando así una mezcla más rápida y de mejor calidad, con un consumo menor de potencia.

vi.- Al obtener una mezcla uniforme, ésta se deposita, a manera de evitar la segregación, en los camiones que habrán de transportarla al sitio de colocación o a los almacenamientos previamente construidos.

Plantas de Producción Continua.- En la actualidad, las plantas de producción continua son las mas y mejor aceptadas en el mercado de la construcción de obras civiles, al igual que las plantas de producción discontinua constan de varios elementos principales:

Alimentación de agregados fríos.- Tolvas de recepción, alimentador de banda, banda recolectora.

Elevador de fríos.- Criba vibratoria, báscula.

Tambor secador-mezclador.- Quemador, turbina.

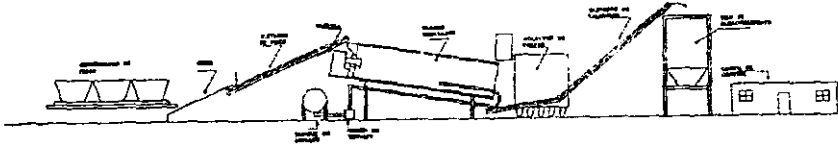
Elevador de calientes.

Silo de almacenamiento.

Colector de polvos.- Vía húmeda, vía seca.

Tanque de asfalto.- Caldera térmica, bomba de asfalto.

Caseta de control.- Control automatizado.



A continuación describimos cada uno de los conjuntos y su función específica en la planta de asfalto.

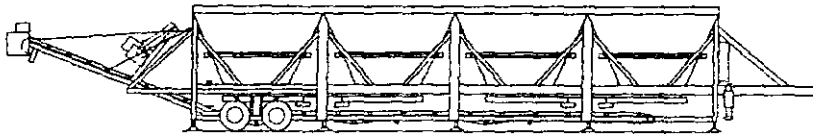
Alimentación de agregados fríos.- Este conjunto consta de dos o más tolvas separadas entre sí y dispuestas a manera que reciben el material pétreo en distintos tamaños; están equipadas en su parte inferior con compuertas que regulan la caída del material al alimentador de banda, para que éste, a su vez, lo deposite en la banda recolectora.

Para obtener la dosificación en peso de cada uno de los materiales, es necesario calibrar las compuertas, como se explica mas adelante.

Para aumentar o disminuir la producción, los alimentadores de banda están equipados con motores de velocidad variable para hacer lo propio con el flujo de material, según las necesidades del proyecto granulométrico de la mezcla.

En comparación con las plantas de producción discontinua, la dosificación de los agregados se realiza directamente desde su alimentación inicial.

La banda recolectora es abatible para facilitar su transportación.

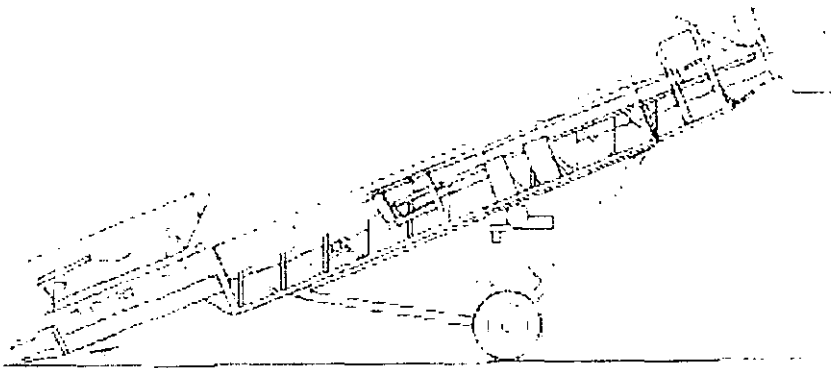


Transportador de banda.- La banda recolectora deposita el agregado ya dosificado, en una criba vibratoria de un piso que tiene la función de eliminar el sobretamaño del material alimentado.

Esta criba vibratoria deposita por su parte inferior el agregado clasificado en el transportador de banda. El transportador cuenta con una báscula electrónica que indica las toneladas sueltas por hora de agregado que se alimenta al tambor secador-mezclador.

Este transportador de banda alimenta el agregado clasificado al tambor secador-mezclador por uno de sus extremos.

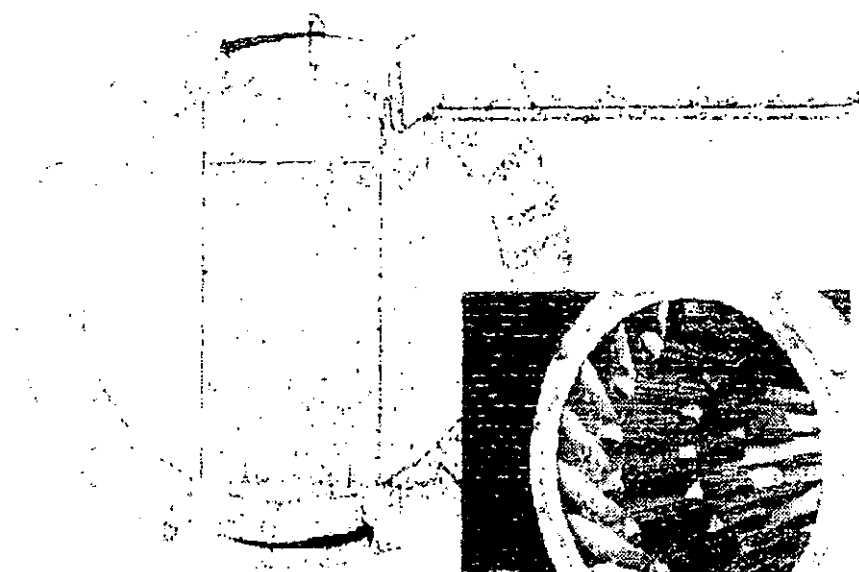
Los componentes del transportador de banda son similares a los comúnmente utilizados en el manejo de materiales pétreos.



Tambor secador-mezclador.- Este tambor de sección cilíndrica tiene la función específica de secar el material y mezclarlo con el cemento asfáltico. Consta principalmente de tres zonas: combustión, secado y mezclado.

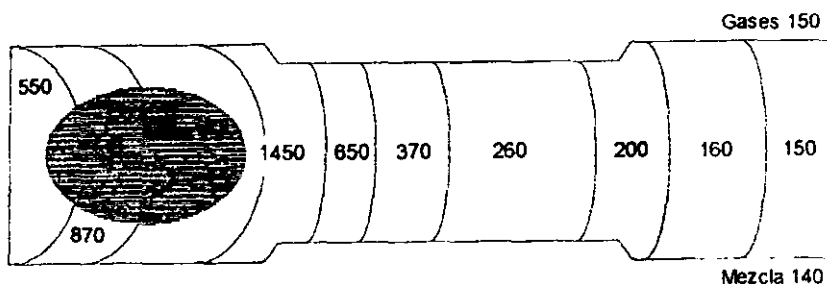
En cada una de las zonas de trabajo, el tambor secador-mezclador cuenta con un blindaje o álabes como elementos de desgaste, dispuestos de tal manera que al girar el tambor facilita la transportación del material, lo que contribuye a las funciones de secado y mezclado respectivamente.

Para efectuar la función de secado, este tambor cuenta con un quemador y turbina que proporcionan el calor necesario para eliminar la humedad del material.



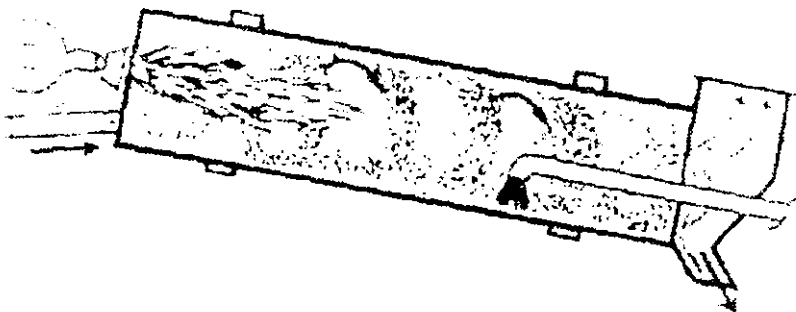
La zona de mezclado, cuenta con un sistema de incorporación de cemento asfáltico y una zona de recolección de mezcla caliente (140 ° C a 150 ° C), la cual es depositada por la compuerta de salida al elevador de calientes.

Zonas	Temperaturas
Combustión	550 ° C a 145 ° C
Secado	1000 ° C a 200 ° C
Mezclado	160 ° C a 140 ° C



En la actualidad existen tres tipos de tambor secador-mezclador: flujo paralelo, contraflujo y doble barril. En todos los casos están perfectamente definidas las zonas de trabajo.

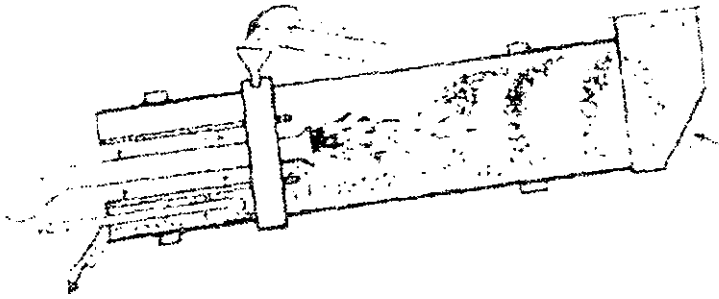
Tambor secador-mezclador de flujo paralelo.- En estos tambores, los agregados y la radiación de la flama se desplazan paralelamente en un mismo sentido. La desventaja de estas plantas, es la emisión de gases nocivos al entrar en contacto la radiación de la flama con el asfalto.



Tambor secador-mezclador a contraflujo.- En el caso del tambor de contraflujo, el agregado es introducido en contrasentido del flujo de la flama, logrando con esto que el agregado entre en contacto inmediatamente con la radiación de la flama, para un secado más vigoroso. Se estima posible alcanzar ahorros de combustible del orden del 15% al 20%.

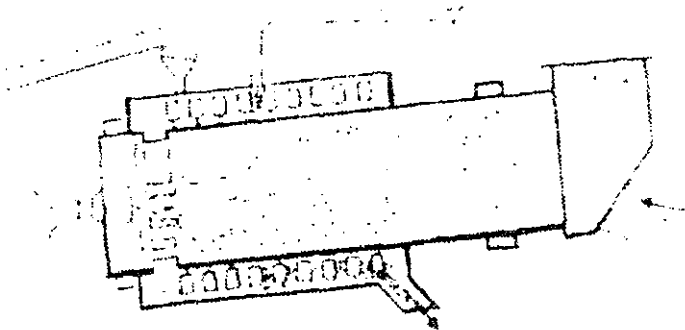
Por otro lado, el asfalto es introducido al tambor por el extremo opuesto a la alimentación del material frío, no llega a tener contacto con la radiación, y elimina los gases nocivos que pudieran crearse, como sucede en el tambor de flujo paralelo.

Asimismo, en este tipo de tambor es posible la incorporación de un anillo perimetral que permite la entrada de material producto de un fresado, con el fin de ser utilizado como pavimento reciclable.



Tambor secador-mezclador de doble barril.- Como en el caso anterior, estos tambores son de contraflujo, con modificación exclusivamente de la zona de mezclado, ya que ésta se efectúa en un doble tambor perimetral y exterior al tambor principal.

Las ventajas de este sistema son similares a las descritas en el caso anterior, con mejora sustancial al evitarse totalmente el contacto del asfalto con la radiación de la flama.



Elevador de calientes.- Éste consiste en un alimentador de paletas o de cangilones, y tiene la función de transportar y depositar la mezcla caliente en el silo de almacenamiento.

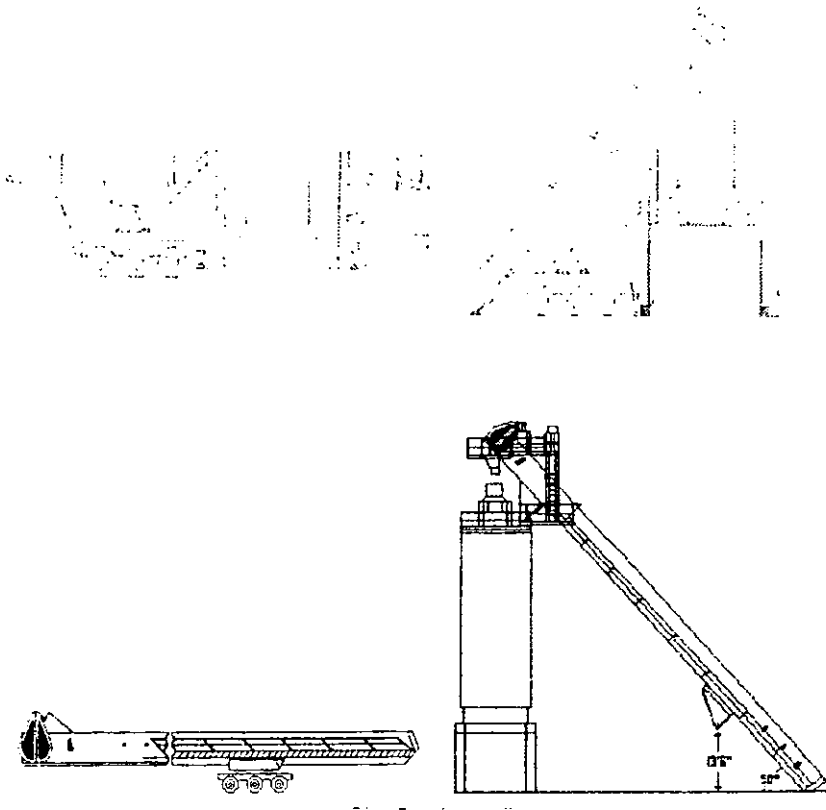
La parte superior cuenta con una tolva de abertura controlada, que elimina, en parte, la segregación del material en su caída directa al silo de almacenamiento.

Silos de almacenamiento.- Existen silos semiportátiles y portátiles autoerigibles. Los silos, de capacidad del orden de 100 toneladas, cuentan con un sistema de

calentamiento a base de serpentines y están formados con material térmico que mantiene a una temperatura estable la mezcla depositada en ellos.

Los silos autoeregibles, cuya capacidad es del orden de 60 toneladas, únicamente cuentan con una protección térmica y presentan la facilidad de incorporar a su sistema de transportación portátil el elevador de calientes, mismo que es montado hidráulicamente en conjunto con el silo.

Todos los silos tienen en su parte inferior una compuerta hidroneumática que facilita la descarga de la mezcla en las unidades transportadoras.



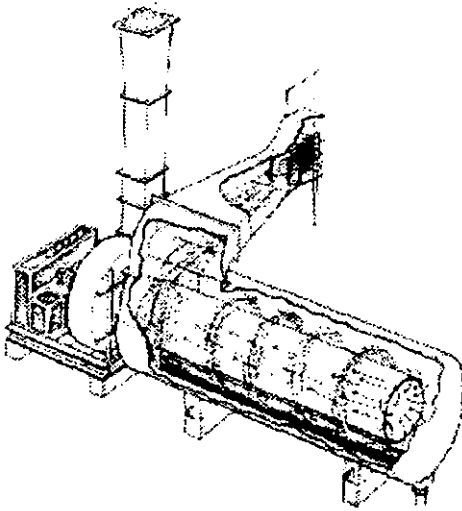
Recolector de polvos.- Existen dos métodos básicos, vía húmeda y vía seca, éste último tiene mayor aceptación, pues evita la contaminación del medio ambiente.

Vía húmeda.- Este conjunto consiste en un extractor de polvos constituido básicamente por un ventilador extractor, sistema de riego, tubo venturi, decantador y chimenea.

El extractor succiona el polvo, desprendido por el material y sustancias volátiles producto de la combustión y calentamiento del asfalto, en el interior del tambor secador-mezclador, y los hace llegar al tubo venturi, donde son rociados con agua para que, posteriormente, el tanque decantador capture los sólidos y expulse el polvo fino con vapor de agua por la chimenea. Los residuos sólidos son depositados en la fosa de decantación.

Para el adecuado funcionamiento de este sistema, se requiere la construcción de una fosa de decantación de sólidos en dos secciones: la primera, destinada a sólidos, y la segunda, destinada a líquidos. Estas dos secciones se conectan por medio de un vertedor que tiene la función de recuperar el agua para su recirculación. Es recomendable la utilización de una bomba de agua centrífuga de alto número de revoluciones (3,600 rpm).

El principal inconveniente de este sistema, es el de no eliminar totalmente los residuos que provocan la contaminación ambiental.



Vía seca.- Se conoce este conjunto como Casa de bolsas o Baghouse.

Por medio de una serie de extractores, conduce las emisiones volátiles a un sistema de bolsas o filtros, las cuales a su vez recuperan el material fino, mismo que se integra a una mezcla nuevamente por medio de un tornillo sin fin o por medios neumáticos.

Determinan la capacidad de la casa de bolsas, el área interior del tambor en pies cuadrados (ft²) y la velocidad del flujo de aire en el mismo en pies por minuto (ft/min).

La velocidad del flujo de aire promedio en los tambores de flujo paralelo es de 1,100 ft/min y en los de contraflujo es de 1,000 ft/min.

Aplicando la expresión aritmética siguiente, se determina la capacidad necesaria del baghouse o casa de bolsas para un tambor con diámetro determinado.

$$\text{Capacidad (ft}^3\text{/min)} = \text{Area del Tambor} \times \text{Velocidad del flujo de Aire}$$

Por ejemplo, para un tambor de flujo paralelo de 9 ft (275 cm) de diámetro interior, se requiere un baghouse de 69,979 ft³/min.

$$\text{Capacidad} = [(\pi/4) \times 81] \times 1,100 = 69,979 \text{ ft}^3\text{/min}$$

Ahora bien, para determinar la cantidad de bolsas necesarias, es indispensable conocer la relación aire-filtro, resultando aceptable una relación 5:1.

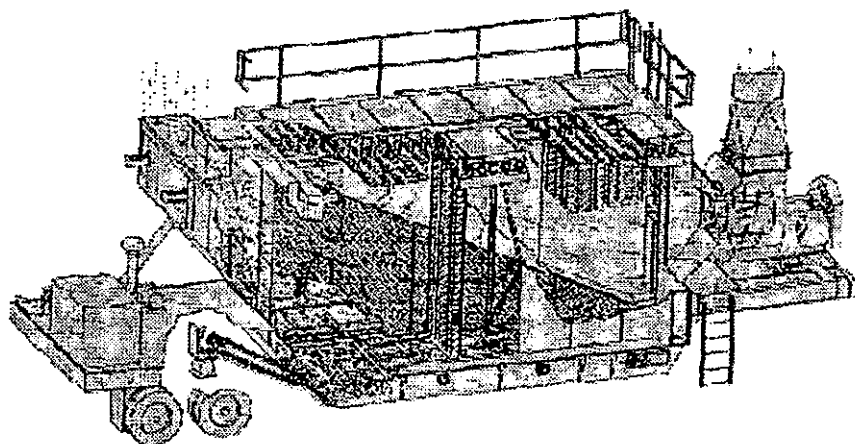
$$\text{Capacidad de filtrado} = 69,979 / 5 = 13,996$$

El área de filtrado de cada bolsa es de 12.85 ft²

$$\text{Cantidad de bolsas} = 13,996 / 12.85 = 1,090 \text{ Bolsas}$$

El operador debe vigilar adecuadamente la temperatura del aire que se introduce a la casa de bolsas, ya que una temperatura excesiva (+ 300 ° C) puede provocar calentamiento e incendio del mismo conjunto.

Por este medio se eliminan en un 99% las emisiones volátiles.



Tanque de cemento asfáltico.- Las plantas portátiles cuentan con uno o varios tanques de almacenamiento con capacidad variable. Constan de un depósito cilíndrico en cuyo interior está instalado un sistema de serpientes de calentamiento por medio de aceite térmico que, conectados a una caldera, proporcionan el calor suficiente y necesario para mantener una temperatura que permita el flujo del cemento asfáltico a, aproximadamente, 135 ° C.

Se cuenta con una bomba de asfalto que, debidamente calibrada con respecto al peso del material seco, proporciona el flujo del cemento requerido por el proyecto de la mezcla.



En ausencia de los tanques de almacenamiento se construyen fosas de asfalto interconectadas debidamente e impermeabilizadas para evitar la fuga de cemento asfáltico. En la parte inferior se colocan una o dos capas de serpientes, según se requiera, para mantener el volumen almacenado a la temperatura requerida.

Estas fosas deben estar debidamente protegidas de las condiciones atmosféricas, en especial de la lluvia, y ser de fácil acceso a los camiones cisternas.

Como en el caso de los tanques de almacenamiento, deben conectarse al sistema de serpientes, la caldera térmica y, por separado, al cárcamo de bombeo la bomba de asfalto.

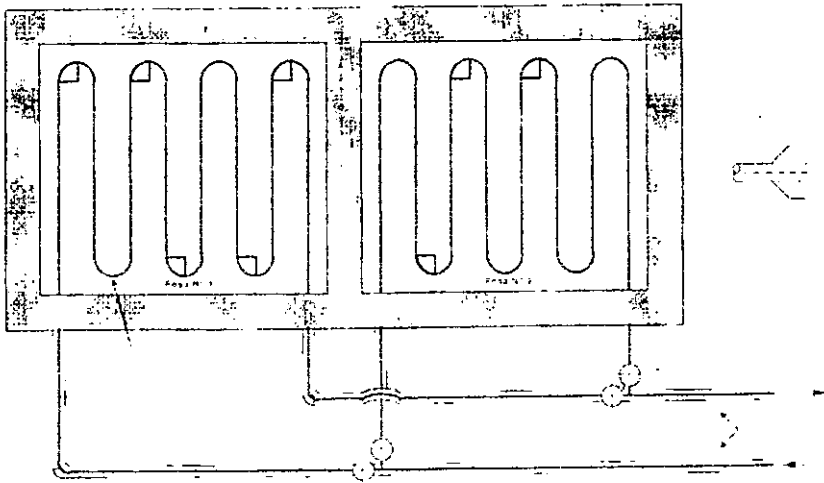
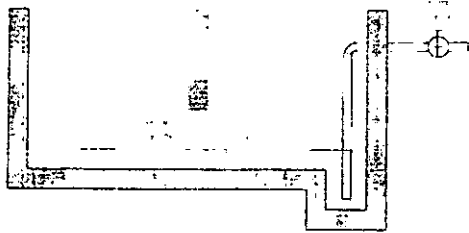
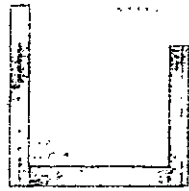
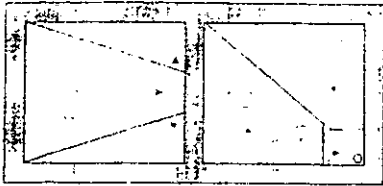
Los volúmenes de almacenamiento deben corresponder a la producción de la mezcla asfáltica, con un margen adecuado para el suministro de cemento, cuyo transporte generalmente ocurre a grandes distancias y procede de un sólo proveedor del mercado nacional.

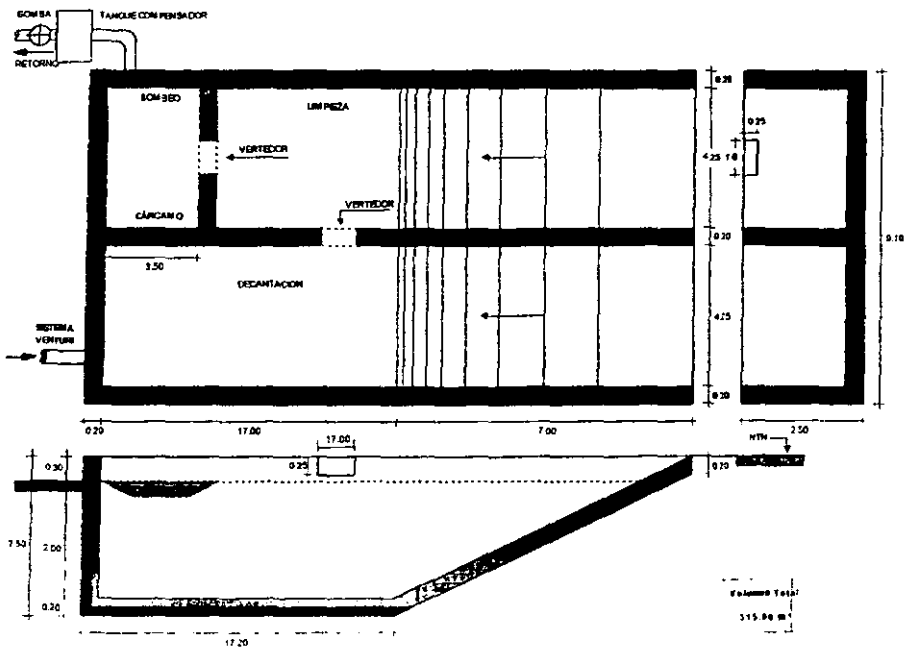
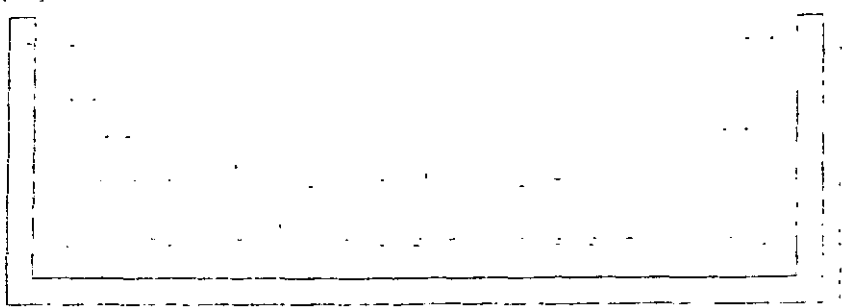
Caseta de control.- En esta caseta se localiza todo el control automático y eléctrico de la planta.

Este sistema está diseñado para trabajar manual o automáticamente, y en el tablero de control muestra claramente los parámetros básicos de la producción: Peso de cada uno de los materiales, contenido de asfalto, temperatura de la mezcla, temperatura del aire, producción horaria, producción acumulada y material acumulado en el silo.

A través del sistema automatizado, se puede variar la cantidad de alimentación de materiales, incrementando o disminuyendo la producción horaria, con lo que se modificará automáticamente el flujo de cemento asfáltico, conservando el contenido óptimo requerido.

El contar con este sistema reduce los costos de operación e incrementa considerablemente el control de calidad de la mezcla.





V.2 CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN

Plantas de Producción Discontinua.- La capacidad de las plantas, cuyo control es por peso, se determina principalmente conforme al tipo de mezclador y al tamaño del tambor secador.

Esta capacidad se expresa en libras por bacha, conforme a la cantidad de material medido en pies cúbicos, que pueda contener para lograr mezclas uniformes.

La velocidad de giro de las paletas de mezclado varía entre 60 y 90 rpm. La producción de las plantas está en función del tiempo de mezclado, el peso del material suelto, el contenido de humedad del material y diversos factores de operación.

La velocidad de los ejes del mezclador y la disposición y ángulo de las paletas son factores que influyen en el rendimiento del mezclador.

La tabla siguiente muestra las producciones horarias, en metros cúbicos sueltos, de diferentes plantas, partiendo de la consideración inicial de 30 segundos de mezclado y peso del material suelto de 1,600 kg/m³.

Producción Teórica en m³ sueltos

Planta Tipo Libras	Tiempo de mezclado				
	30"	40"	45"	50"	60"
2,000	68	51	45	41	34
3,000	102	77	68	61	51
3,300	112	84	75	67	56
4,000	136	102	91	82	68
7,500	255	191	170	153	127
12,000	408	306	272	244	204

La producción reflejada se ve afectada por los diversos factores de operación.

$$\text{Rendimiento} = \left[\frac{\text{Capacidad} \times 4.454}{\text{Peso volumétrico}} \right] \times \left[\frac{3600 \text{ seg/min}}{\text{Tiempo de mezclado}} \right]$$

Este tipo de plantas presenta algunas desventajas: desperdicio de algún tipo de material; la constante manipulación del mismo origina que la dosificación inicial se desbalancee con respecto al proyecto, control de granulometría final; debido a lo anterior es común que el operador de la planta supla esta deficiencia con el empleo de material de otra tolva.

Plantas de producción continua.- Afectan la producción de las plantas de asfalto los siguientes factores básicos:

- 1.- Porcentaje de humedad en los agregados
- 2.- Diseño de la mezcla
- 3.- Altura sobre el nivel del mar
- 4.- Temperatura ambiente
- 5.- Combustión efectiva
- 6.- Remoción efectiva de emisiones volátiles
- 7.- Capacidad de filtrado
- 8.- Tipo y peso de agregados
- 9.- Tipo de combustible empleado
- 10.- Diseño interior del tambor
- 11.- Características del tambor
- 12.- Velocidad del aire

Con el análisis de estos factores, la capacidad de producción de la planta puede establecerse en un rango de + / - 5%.

La mayoría de los fabricantes de plantas de asfalto, denomina a sus equipos en función de la producción nominal media, en toneladas cortas por hora. Esta producción ocurre conforme a los siguientes parámetros:

Peso del material	1,600 kg/m ³
Contenido de asfalto	5 %
Presión atmosférica	snm
Humedad del material	5 %
Temperatura ambiente	20 ° C
Material menor a la malla # 8	20 %
Temperatura de la mezcla	149 ° C

Por regla, la presión atmosférica tiene una variación de 1% por cada 100 metros de altura sobre el nivel del mar, a partir de los 300 metros. Así, por ejemplo, una planta que está trabajando a 1,500 msnm, tendrá un factor de corrección por altitud a su producción nominal de 0.88.

Para estas condiciones de diseño CMI, se han establecido parámetros para determinar la necesidad de aire por tonelada / hora: para los tambores de flujo paralelo es de 150 (ft³/min)/ton, para los tambores de contraflujo es de 160 (ft³/min)/ton y para los tambores de doble barril a contraflujo es de 170 (ft³/min)/ton.

En las siguientes tablas, numeradas 1, 2 y 3 se muestran en flujo de aire disponible y consumo de combustible por tonelada, en función del porcentaje de humedad y temperatura de la mezcla, para los diversos tambores mezcladores.

FLUJO DE AIRE DISPONIBLE Y CONSUMO DE COMBUSTIBLE POR TONELADA

160 (ft³/min)/ton

Tambor de flujo paralelo

Tabla # 1

Tambor de contraflujo

Tabla # 2

Doble tambor de contraflujo

Tabla # 3

Temperatura								
° F / ° C		260 / 127	270 / 132	280 / 138	290 / 143	300 / 149	310 / 154	320 / 160
% de humedad	10	248.50	251.27	257.32	263.47	269.70	276.01	282.42
		2.85	2.91	2.97	3.02	3.08	3.14	3.20
9		221.82	227.48	233.14	238.88	244.70	250.61	256.61
		2.82	2.88	2.93	2.99	2.85	2.90	2.96
8		198.04	204.22	208.48	214.83	220.25	225.77	231.36
		2.39	2.44	2.49	2.56	2.61	2.67	2.73
7		178.88	181.46	186.33	181.29	186.33	201.46	206.58
		2.17	2.22	2.27	2.32	2.38	2.43	2.49
6		154.78	159.18	163.68	168.28	172.82	177.88	182.47
		1.95	2.00	2.05	2.10	2.16	2.21	2.26
5		133.28	137.34	141.48	145.71	150.00	154.37	158.86
		1.74	1.79	1.84	1.89	1.94	1.99	2.04
4		112.30	116.01	119.78	123.62	127.52	131.51	135.62
		1.63	1.58	1.63	1.68	1.73	1.77	1.83
3		91.77	95.11	98.53	102.07	105.60	109.18	112.83
		1.32	1.37	1.41	1.46	1.51	1.56	1.61
2		71.50	74.65	77.73	80.87	84.06	87.38	90.70
		1.12	1.17	1.21	1.26	1.30	1.35	1.40
1		51.69	54.63	57.27	60.08	62.95	65.90	68.90
		0.93	0.97	1.02	1.06	1.10	1.15	1.19

Temperatura								
° F / ° C		260 / 127	270 / 132	280 / 138	290 / 143	300 / 149	310 / 154	320 / 160
% de humedad	10	278.00	284.77	291.64	298.50	305.86	312.81	320.00
		2.87	2.95	3.01	3.06	3.12	3.18	3.24
9		251.30	257.82	264.23	270.73	277.32	284.00	290.80
		2.64	2.70	2.75	2.81	2.87	2.94	3.00
8		225.38	231.45	237.41	243.27	249.42	255.87	262.20
		2.41	2.46	2.51	2.58	2.63	2.69	2.75
7		200.32	206.86	213.11	219.00	225.32	232.32	239.27
		2.19	2.24	2.29	2.34	2.40	2.45	2.51
6		175.30	180.40	185.31	190.13	195.00	200.34	206.11
		1.97	2.02	2.07	2.12	2.18	2.23	2.28
5		150.35	155.05	159.33	163.16	167.00	171.00	175.00
		1.78	1.81	1.86	1.81	1.96	2.01	2.06
4		125.28	129.47	133.78	138.10	142.53	147.00	151.20
		1.55	1.60	1.65	1.70	1.75	1.79	1.84
3		100.20	103.60	107.41	111.43	115.60	120.00	124.20
		1.34	1.39	1.43	1.48	1.54	1.58	1.63
2		75.10	77.50	80.40	83.50	86.80	90.30	93.20
		1.14	1.19	1.23	1.28	1.32	1.37	1.42
1		50.00	51.50	53.00	54.50	56.00	57.50	59.00
		0.93	0.99	1.04	1.08	1.12	1.17	1.21

Temperatura								
° F / ° C		260 / 127	270 / 132	280 / 138	290 / 143	300 / 149	310 / 154	320 / 160
% de humedad	10	298.16	306.02	314.48	323.05	331.88	340.91	350.00
		2.86	2.93	2.99	3.04	3.10	3.16	3.22
9		273.71	282.83	292.49	302.60	313.01	323.82	334.72
		2.63	2.69	2.74	2.80	2.86	2.92	2.98
8		249.51	259.84	270.45	281.18	292.84	304.62	316.78
		2.40	2.45	2.50	2.57	2.62	2.68	2.74
7		225.43	236.88	248.75	260.95	274.42	288.00	301.48
		2.18	2.23	2.28	2.33	2.38	2.44	2.50
6		201.07	213.75	226.90	240.48	254.49	268.80	283.64
		1.98	2.01	2.06	2.11	2.17	2.22	2.27
5		176.43	190.49	205.08	220.13	235.60	251.40	267.60
		1.75	1.80	1.85	1.90	1.95	2.00	2.05
4		151.78	167.47	183.78	200.60	217.99	235.80	254.00
		1.54	1.59	1.64	1.69	1.74	1.78	1.83
3		127.00	144.00	161.50	179.50	198.00	217.00	236.40
		1.33	1.38	1.42	1.47	1.53	1.57	1.62
2		102.00	119.50	137.50	156.00	175.00	194.50	214.50
		1.13	1.18	1.22	1.27	1.31	1.36	1.41
1		77.00	95.50	114.50	134.00	154.00	174.50	195.50
		0.93	0.98	1.03	1.07	1.11	1.16	1.20

(ft³/min)/ton Pies cúbicos por min por ton
gal/ton Galones por tonelada

Combustible 138,000 Btu / gal
Elevación a nivel del mar
150 ° C Temperatura de la mezcla
21 ° C Temperatura ambiente
20 % de material menor a la malla # 8
25 % de exceso de aire
7 % de pérdida calorífica

(ft³/min)/ton Pies cúbicos por min por ton
gal/ton Galones por tonelada

Combustible 138,000 Btu / gal
Elevación a nivel del mar
150 ° C Temperatura de la mezcla
21 ° C Temperatura ambiente
20 % de material menor a la malla # 8
33.33 % de exceso de aire
5 % de pérdida calorífica

(ft³/min)/ton Pies cúbicos por min por ton
gal/ton Galones por tonelada

Combustible 138,000 Btu / gal
Elevación a nivel del mar
150 ° C Temperatura de la mezcla
21 ° C Temperatura ambiente
20 % de material menor a la malla # 8
41.7 % de exceso de aire
10 % de pérdida calorífica

En estas tres tablas se observa claramente que el consumo de combustible por tonelada, es directamente proporcional al porcentaje de humedad en el material. También la necesidad de aire por tonelada es directamente proporcional a la temperatura de la mezcla.

Algunas plantas tienen instalados quemadores compensados que establecen una altura mayor sobre el nivel del mar, como parámetro de la producción nominal. Resulta necesario verificar las especificaciones de cada fabricante.

En la tabla No. 4 "Comparativa de producciones nominales", se muestran las variaciones de la producción nominal afectada por el porcentaje de humedad contenida en el agregado frío, para diversos diámetros de tambores, de dos de los principales fabricantes de plantas de asfalto.

COMPARATIVA DE PRODUCCIONES NOMINALES EN TONELADAS CORTAS

Tabla # 4

Humedad	Diámetro del tambor de contrarotación										Consumo unitario	
	6"n		7"n		8"n		9"n		10"n		gal/ton	
	GMI	ASTECC	GMI	ASTECC	GMI	ASTECC	GMI	ASTECC	GMI	ASTECC	GMI	ASTECC

3%	268	286	365	390	476	511	602	648	743	802	1.52	1.37
4%	222	233	302	318	394	416	499	528	615	654	1.73	1.64
5%	189	196	257	267	335	350	424	444	523	550	1.94	1.91
6%	164	169	223	230	291	301	368	382	454	473	2.16	2.19
7%	144	148	196	201	256	264	324	334	400	414	2.38	2.48
8%	129	131	175	178	228	234	289	297	356	367	2.61	2.74
9%	116	118	158	160	205	210	260	266	321	329	2.85	3.06
10%	105	106	143	145	186	190	236	240	291	298	3.08	3.37

Humedad	Diámetro del tambor de contrarotación										Consumo unitario	
	6"n		7"n		8"n		9"n		10"n		gal/ton	
	GMI	ASTECC	GMI	ASTECC	GMI	ASTECC	GMI	ASTECC	GMI	ASTECC	GMI	ASTECC

3%	252	322	342	439	446	575	565	730	696	903	1.53	1.28
4%	208	262	283	358	369	468	468	595	577	736	1.74	1.54
5%	177	221	241	301	314	394	398	500	490	619	1.95	1.79
6%	154	190	209	259	272	339	345	430	425	533	2.17	2.06
7%	135	167	184	226	240	297	304	376	375	466	2.39	2.33
8%	121	148	164	200	214	263	271	334	334	413	2.62	2.57
9%	109	133	148	180	193	236	244	300	301	370	2.86	2.87
10%	99	119	134	163	175	214	221	270	273	336	3.10	3.17

Pueden también producirse variaciones en la producción por condiciones de operación, condiciones atmosféricas, el tipo de combustible y su valor calorífico.

En las gráficas de la página siguiente, se observan los factores primarios de corrección a la producción de las plantas de asfalto tipo continuo: humedad del material, altura sobre el nivel del mar, granulometría y temperatura de la mezcla.

En las siguientes tres tablas, numeradas 5, 6 y 7, se observa la producción ajustada y se muestran claramente las variaciones de la producción nominal afectada por el porcentaje de humedad contenida en el agregado frío, granulometría, altitud y temperatura de la mezcla.

PRODUCCIÓN AJUSTADA CON TAMBOR MEZCLADOR DE FLUJO PARALELO

CMJ

Tabla #
5

ton / h	Tambor 6' de diam = 28.26 ft ²	@ 1000 ft/min	28,260 ft ³ /min	@ 40% - # 8 0.900	@ 1000 msnm 0.930	@ 160° C 0.952
189	@ 3% de humedad = 105.60 (ft ³ /min)/ton = 19,958 ft ³ /min		268	241	224	214
189	@ 4% de humedad = 127.52 (ft ³ /min)/ton = 24,101 ft ³ /min		222	200	186	177
189	@ 5% de humedad = 150.00 (ft ³ /min)/ton = 28,350 ft ³ /min		189	170	158	151
189	@ 6% de humedad = 172.92 (ft ³ /min)/ton = 32,682 ft ³ /min		164	148	137	131
189	@ 7% de humedad = 196.33 (ft ³ /min)/ton = 37,106 ft ³ /min		144	130	121	115
189	@ 8% de humedad = 220.25 (ft ³ /min)/ton = 41,627 ft ³ /min		129	116	108	103
189	@ 9% de humedad = 244.70 (ft ³ /min)/ton = 46,248 ft ³ /min		118	104	97	92
189	@ 10% de humedad = 269.70 (ft ³ /min)/ton = 50,973 ft ³ /min		105	95	88	84

ton / h	Tambor 7' de diam = 38.47 ft ²	@ 1000 ft/min	38,465 ft ³ /min	@ 40% - # 8 0.900	@ 1000 msnm 0.930	@ 160° C 0.952
257	@ 3% de humedad = 105.60 (ft ³ /min)/ton = 27,139 ft ³ /min		365	329	306	291
257	@ 4% de humedad = 127.52 (ft ³ /min)/ton = 32,773 ft ³ /min		302	272	253	241
257	@ 5% de humedad = 150.00 (ft ³ /min)/ton = 38,550 ft ³ /min		257	231	215	205
257	@ 6% de humedad = 172.92 (ft ³ /min)/ton = 44,440 ft ³ /min		223	201	187	178
257	@ 7% de humedad = 196.33 (ft ³ /min)/ton = 50,457 ft ³ /min		196	176	164	156
257	@ 8% de humedad = 220.25 (ft ³ /min)/ton = 56,604 ft ³ /min		175	158	146	139
257	@ 9% de humedad = 244.70 (ft ³ /min)/ton = 62,888 ft ³ /min		158	142	132	126
257	@ 10% de humedad = 269.70 (ft ³ /min)/ton = 69,313 ft ³ /min		143	129	120	114

ton / h	Tambor 8' de diam = 50.24 ft ²	@ 1000 ft/min	50,240 ft ³ /min	@ 40% - # 8 0.900	@ 1000 msnm 0.930	@ 160° C 0.952
335	@ 3% de humedad = 105.60 (ft ³ /min)/ton = 35,376 ft ³ /min		476	428	398	379
335	@ 4% de humedad = 127.52 (ft ³ /min)/ton = 42,719 ft ³ /min		394	355	330	314
335	@ 5% de humedad = 150.00 (ft ³ /min)/ton = 50,250 ft ³ /min		335	302	280	267
335	@ 6% de humedad = 172.92 (ft ³ /min)/ton = 57,928 ft ³ /min		291	262	244	232
335	@ 7% de humedad = 196.33 (ft ³ /min)/ton = 65,771 ft ³ /min		256	230	214	204
335	@ 8% de humedad = 220.25 (ft ³ /min)/ton = 73,784 ft ³ /min		228	205	191	182
335	@ 9% de humedad = 244.70 (ft ³ /min)/ton = 81,975 ft ³ /min		205	185	172	163
335	@ 10% de humedad = 269.70 (ft ³ /min)/ton = 90,350 ft ³ /min		186	167	156	148

ton / h	Tambor 9' de diam = 63.59 ft ²	@ 1000 ft ³ /min	63,585 ft ³ /min	@ 40% - # 8 0.900	@ 1000 msnm 0.930	@ 160° C 0.952
424	@ 3% de humedad = 105.60 (ft ³ /min)/ton = 44,774	ft ³ /min	602	542	504	480
424	@ 4% de humedad = 127.52 (ft ³ /min)/ton = 54,068	ft ³ /min	499	449	418	398
424	@ 5% de humedad = 150.00 (ft ³ /min)/ton = 63,600	ft ³ /min	424	382	355	338
424	@ 6% de humedad = 172.92 (ft ³ /min)/ton = 73,318	ft ³ /min	368	331	308	293
424	@ 7% de humedad = 196.33 (ft ³ /min)/ton = 83,244	ft ³ /min	324	292	271	258
424	@ 8% de humedad = 220.25 (ft ³ /min)/ton = 93,386	ft ³ /min	289	260	242	230
424	@ 9% de humedad = 244.70 (ft ³ /min)/ton = 103,753	ft ³ /min	260	234	218	207
424	@ 10% de humedad = 269.70 (ft ³ /min)/ton = 114,353	ft ³ /min	236	212	198	188

ton / h	Tambor 10' de diam = 78.50 ft ²	@ 1000 ft ³ /min	78,500 ft ³ /min	@ 40% - # 8 0.900	@ 1000 msnm 0.930	@ 160° C 0.952
523	@ 3% de humedad = 105.60 (ft ³ /min)/ton = 55,229	ft ³ /min	743	669	622	592
523	@ 4% de humedad = 127.52 (ft ³ /min)/ton = 66,693	ft ³ /min	615	554	515	490
523	@ 5% de humedad = 150.00 (ft ³ /min)/ton = 78,450	ft ³ /min	523	471	438	417
523	@ 6% de humedad = 172.92 (ft ³ /min)/ton = 90,437	ft ³ /min	454	409	380	362
523	@ 7% de humedad = 196.33 (ft ³ /min)/ton = 102,681	ft ³ /min	400	360	335	319
523	@ 8% de humedad = 220.25 (ft ³ /min)/ton = 115,191	ft ³ /min	356	320	298	284
523	@ 9% de humedad = 244.70 (ft ³ /min)/ton = 127,978	ft ³ /min	321	289	269	256
523	@ 10% de humedad = 269.70 (ft ³ /min)/ton = 141,053	ft ³ /min	291	262	244	232

PRODUCCIÓN AJUSTADA CON TAMBOR MEZCLADOR EN CONTRAFLUJO
CMI

Tabla # 6

ton / h	Tambor 6' de diam = 28.26 ft ²	@ 1000 ft ³ /min	28,260 ft ³ /min	@ 40% - # 8 0.900	@ 1000 msnm 0.930	@ 160° C 0.952
189	@ 3% de humedad = 119.68 (ft ³ /min)/ton = 22,620	ft ³ /min	237	213	198	189
189	@ 4% de humedad = 144.53 (ft ³ /min)/ton = 27,316	ft ³ /min	196	176	164	156
189	@ 5% de humedad = 170.00 (ft ³ /min)/ton = 32,130	ft ³ /min	167	150	140	133
189	@ 6% de humedad = 195.98 (ft ³ /min)/ton = 37,040	ft ³ /min	145	131	121	116
189	@ 7% de humedad = 222.51 (ft ³ /min)/ton = 42,054	ft ³ /min	127	114	106	101
189	@ 8% de humedad = 249.62 (ft ³ /min)/ton = 47,178	ft ³ /min	114	103	95	91
189	@ 9% de humedad = 277.32 (ft ³ /min)/ton = 52,413	ft ³ /min	102	92	85	81
189	@ 10% de humedad = 305.66 (ft ³ /min)/ton = 57,770	ft ³ /min	93	84	78	74

ton / h	Tambor 7' de diam = 38.47 ft ²	@ 1000 ft ³ /min	38,465 ft ³ /min	@ 40% - # 8 0.900	@ 1000 msnm 0.930	@ 160° C 0.952
257	@ 3% de humedad = 119.68 (ft ³ /min)/ton = 30,758	ft ³ /min	322	290	270	257
257	@ 4% de humedad = 144.53 (ft ³ /min)/ton = 37,144	ft ³ /min	267	240	223	213
257	@ 5% de humedad = 170.00 (ft ³ /min)/ton = 43,690	ft ³ /min	227	204	190	181
257	@ 6% de humedad = 195.98 (ft ³ /min)/ton = 50,367	ft ³ /min	197	177	165	157
257	@ 7% de humedad = 222.51 (ft ³ /min)/ton = 57,185	ft ³ /min	173	156	145	138
257	@ 8% de humedad = 249.62 (ft ³ /min)/ton = 64,152	ft ³ /min	154	139	129	123
257	@ 9% de humedad = 277.32 (ft ³ /min)/ton = 71,271	ft ³ /min	139	125	116	111
257	@ 10% de humedad = 305.66 (ft ³ /min)/ton = 78,555	ft ³ /min	126	113	105	100

ton / h	Tambor 8" de diam = 50.24 ft ²	@ 1000 ft ³ /min	50,240 ft ³ /min	@ 40% - # 8 0.900	@ 1000 msnm 0.930	@ 160° C 0.952
335	@ 3% de humedad = 119.68 (ft ³ /min)/ton = 40,093 ft ³ /min		420	378	352	335
335	@ 4% de humedad = 144.53 (ft ³ /min)/ton = 48,418 ft ³ /min		348	313	291	277
335	@ 5% de humedad = 170.00 (ft ³ /min)/ton = 56,950 ft ³ /min		296	266	248	236
335	@ 6% de humedad = 195.98 (ft ³ /min)/ton = 65,653 ft ³ /min		256	230	214	204
335	@ 7% de humedad = 222.51 (ft ³ /min)/ton = 74,541 ft ³ /min		226	203	189	180
335	@ 8% de humedad = 249.62 (ft ³ /min)/ton = 83,623 ft ³ /min		201	181	168	160
335	@ 9% de humedad = 277.32 (ft ³ /min)/ton = 92,902 ft ³ /min		181	163	151	144
335	@ 10% de humedad = 305.66 (ft ³ /min)/ton = 102,396 ft ³ /min		164	148	137	131

ton / h	Tambor 9" de diam = 63.59 ft ²	@ 1000 ft ³ /min	63,585 ft ³ /min	@ 40% - # 8 0.900	@ 1000 msnm 0.930	@ 160° C 0.952
424	@ 3% de humedad = 119.68 (ft ³ /min)/ton = 50,744 ft ³ /min		531	478	444	423
424	@ 4% de humedad = 144.53 (ft ³ /min)/ton = 61,261 ft ³ /min		440	396	368	351
424	@ 5% de humedad = 170.00 (ft ³ /min)/ton = 72,080 ft ³ /min		374	337	313	298
424	@ 6% de humedad = 195.98 (ft ³ /min)/ton = 83,096 ft ³ /min		325	293	272	259
424	@ 7% de humedad = 222.51 (ft ³ /min)/ton = 94,344 ft ³ /min		288	257	239	228
424	@ 8% de humedad = 249.62 (ft ³ /min)/ton = 105,839 ft ³ /min		255	230	213	203
424	@ 9% de humedad = 277.32 (ft ³ /min)/ton = 117,584 ft ³ /min		229	206	192	182
424	@ 10% de humedad = 305.66 (ft ³ /min)/ton = 129,600 ft ³ /min		208	187	174	166

ton / h	Tambor 10" de diam = 78.50 ft ²	@ 1000 ft ³ /min	78,500 ft ³ /min	@ 40% - # 8 0.900	@ 1000 msnm 0.930	@ 160° C 0.952
523	@ 3% de humedad = 119.68 (ft ³ /min)/ton = 62,593 ft ³ /min		655	590	548	522
523	@ 4% de humedad = 144.53 (ft ³ /min)/ton = 75,589 ft ³ /min		543	489	454	433
523	@ 5% de humedad = 170.00 (ft ³ /min)/ton = 88,910 ft ³ /min		461	415	386	367
523	@ 6% de humedad = 195.98 (ft ³ /min)/ton = 102,498 ft ³ /min		400	360	335	319
523	@ 7% de humedad = 222.51 (ft ³ /min)/ton = 116,373 ft ³ /min		353	318	295	281
523	@ 8% de humedad = 249.62 (ft ³ /min)/ton = 130,551 ft ³ /min		314	283	263	250
523	@ 9% de humedad = 277.32 (ft ³ /min)/ton = 145,038 ft ³ /min		283	255	237	226
523	@ 10% de humedad = 305.66 (ft ³ /min)/ton = 159,860 ft ³ /min		257	231	215	205

PRODUCCIÓN AJUSTADA CON DOBLETAMBOR EN CONTRAFLUJO
CMI

Tabla # 7

ton / h	Tambor 6" de diam = 28.26 ft ²	@ 1000 ft ³ /min	28,260 ft ³ /min	@ 40% - # 8 0.900	@ 1000 msnm 0.930	@ 160° C 0.952
189	@ 3% de humedad = 112.64 (ft ³ /min)/ton = 21,289 ft ³ /min		252	227	211	201
189	@ 4% de humedad = 136.03 (ft ³ /min)/ton = 25,710 ft ³ /min		208	187	174	166
189	@ 5% de humedad = 160.00 (ft ³ /min)/ton = 30,240 ft ³ /min		177	159	148	141
189	@ 6% de humedad = 184.45 (ft ³ /min)/ton = 34,861 ft ³ /min		154	139	129	123
189	@ 7% de humedad = 209.42 (ft ³ /min)/ton = 39,580 ft ³ /min		135	122	113	108
189	@ 8% de humedad = 234.94 (ft ³ /min)/ton = 44,404 ft ³ /min		121	109	101	96
189	@ 9% de humedad = 261.01 (ft ³ /min)/ton = 49,331 ft ³ /min		109	98	91	87
189	@ 10% de humedad = 287.68 (ft ³ /min)/ton = 54,372 ft ³ /min		99	89	83	79

ton / h	Tambor 7' de diam = 38.47 ft2	@ 1000 ft/min	38,485 ft3/min	@ 40% - # 8 0.900	@ 1000 msnm 0.930	@ 160° C 0.952
257	@ 3% de humedad = 112.64 (ft3/min)/ton = 28,948	ft3/min	342	308	286	273
257	@ 4% de humedad = 136.03 (ft3/min)/ton = 34,960	ft3/min	283	255	237	226
257	@ 5% de humedad = 160.00 (ft3/min)/ton = 41,120	ft3/min	241	217	202	192
257	@ 6% de humedad = 184.45 (ft3/min)/ton = 47,404	ft3/min	209	188	175	167
257	@ 7% de humedad = 209.42 (ft3/min)/ton = 53,821	ft3/min	184	166	154	147
257	@ 8% de humedad = 234.94 (ft3/min)/ton = 60,380	ft3/min	164	148	137	131
257	@ 9% de humedad = 261.01 (ft3/min)/ton = 67,080	ft3/min	148	133	124	118
257	@ 10% de humedad = 287.68 (ft3/min)/ton = 73,934	ft3/min	134	121	112	107

ton / h	Tambor 8' de diam = 50.24 ft2	@ 1000 ft/min	50,240 ft3/min	@ 40% - # 8 0.900	@ 1000 msnm 0.930	@ 160° C 0.952
335	@ 3% de humedad = 112.64 (ft3/min)/ton = 37,734	ft3/min	446	401	373	355
335	@ 4% de humedad = 136.03 (ft3/min)/ton = 45,570	ft3/min	369	332	309	294
335	@ 5% de humedad = 160.00 (ft3/min)/ton = 53,600	ft3/min	314	283	263	250
335	@ 6% de humedad = 184.45 (ft3/min)/ton = 61,791	ft3/min	272	245	228	217
335	@ 7% de humedad = 209.42 (ft3/min)/ton = 70,156	ft3/min	240	216	201	191
335	@ 8% de humedad = 234.94 (ft3/min)/ton = 78,705	ft3/min	214	193	179	171
335	@ 9% de humedad = 261.01 (ft3/min)/ton = 87,438	ft3/min	193	174	162	154
335	@ 10% de humedad = 287.68 (ft3/min)/ton = 96,373	ft3/min	175	158	146	139

ton / h	Tambor 9' de diam = 63.59 ft2	@ 1000 ft/min	63,585 ft3/min	@ 40% - # 8 0.900	@ 1000 msnm 0.930	@ 160° C 0.952
424	@ 3% de humedad = 112.64 (ft3/min)/ton = 47,759	ft3/min	565	509	473	450
424	@ 4% de humedad = 136.03 (ft3/min)/ton = 57,677	ft3/min	468	421	392	373
424	@ 5% de humedad = 160.00 (ft3/min)/ton = 67,840	ft3/min	398	358	333	317
424	@ 6% de humedad = 184.45 (ft3/min)/ton = 78,207	ft3/min	345	311	289	275
424	@ 7% de humedad = 209.42 (ft3/min)/ton = 88,794	ft3/min	304	274	254	242
424	@ 8% de humedad = 234.94 (ft3/min)/ton = 99,615	ft3/min	271	244	227	216
424	@ 9% de humedad = 261.01 (ft3/min)/ton = 110,668	ft3/min	244	220	204	194
424	@ 10% de humedad = 287.68 (ft3/min)/ton = 121,876	ft3/min	221	199	185	176

ton / h	Tambor 10' de diam = 78.50 ft2	@ 1000 ft/min	78,500 ft3/min	@ 40% - # 8 0.900	@ 1000 msnm 0.930	@ 160° C 0.952
523	@ 3% de humedad = 112.64 (ft3/min)/ton = 58,911	ft3/min	696	626	583	555
523	@ 4% de humedad = 136.03 (ft3/min)/ton = 71,144	ft3/min	577	519	483	460
523	@ 5% de humedad = 160.00 (ft3/min)/ton = 83,680	ft3/min	490	441	410	390
523	@ 6% de humedad = 184.45 (ft3/min)/ton = 96,467	ft3/min	425	383	356	339
523	@ 7% de humedad = 209.42 (ft3/min)/ton = 109,527	ft3/min	375	338	314	299
523	@ 8% de humedad = 234.94 (ft3/min)/ton = 122,874	ft3/min	334	301	280	266
523	@ 9% de humedad = 261.01 (ft3/min)/ton = 136,508	ft3/min	301	271	252	240
523	@ 10% de humedad = 287.68 (ft3/min)/ton = 150,457	ft3/min	273	246	229	218

Selección de una planta de asfalto.- En este caso analizaremos únicamente la primera etapa de selección de una planta de asfalto.

Toneladas requeridas	225 ton / h
Porcentaje de humedad	7 %
Altura sobre el nivel del mar	1,200 msnm
Granulometría	40 % de agregado fino
Temperatura de la mezcla	154 ° C
Peso del material seco	1,600 kg/m3
Tambor de flujo paralelo	150 ft3/min
Tambor de contraflujo	160 ft3/min

Capacidad del sistema de control de emisiones.

$$225 \text{ ton/h} \times 150 \text{ (ft}^3\text{/min)/ton} = 33,750 \text{ ft}^3\text{/min}$$

$$225 \text{ ton/h} \times 160 \text{ (ft}^3\text{/min)/ton} = 36,000 \text{ ft}^3\text{/min}$$

Utilizando las gráficas de factores de corrección por humedad, altitud, granulometría y temperatura, se determina cada uno de ellos:

Factor de humedad	0.770
Factor de altura	0.910
Factor de granulometría	0.900
Factor de temperatura	0.976
Factor total	0.615

Tambor de flujo paralelo.

$$33,750 \text{ ft}^3\text{/min} / 0.615 = 54,900 \text{ ft}^3\text{/min}$$

Tambor de contraflujo.

$$36,000 \text{ ft}^3\text{/min} / 0.615 = 58,550 \text{ ft}^3\text{/min}$$

Se considera una velocidad de aire de 1,000 ft/min, por lo que se requiere un tambor de flujo paralelo de 54.90 ft² o un tambor de contraflujo de 58.55 ft² de área interior.

Un tambor de flujo paralelo de 8.5' de diámetro o un tambor a contraflujo de 9', satisfacen plenamente las necesidades del proyecto.

Analizaremos cada uno de los tambores por separado.

Tambor de flujo paralelo de 8.5'

$$\text{Producción nominal} \quad 378 \text{ ton/h}$$

$$378 \text{ ton/h} \times 0.615 = 232 \text{ ton/h}$$

Tambor de contraflujo de 9'

$$\text{Producción nominal} \quad 398 \text{ ton/h}$$

$$398 \text{ ton/h} \times 0.615 = 245 \text{ ton/h}$$

Para cada caso en particular, al seleccionar una planta de asfalto, deben evaluarse en condiciones similares, tomando en cuenta las gráficas elaboradas por la National Asphalt Pavement Association (NAPA) y con base en los datos técnicos proporcionados por el fabricante, analizar económicamente los costos de adquisición, mantenimiento, operación, etc.

V.3 UTILIZACIÓN DEL EQUIPO

INSTALACIÓN

La instalación de la planta dependerá básicamente de los sitios de colocación y acarreos de la mezcla, de las facilidades en el suministro de cemento asfáltico, de los almacenes de agregados triturados y/o clasificados, de la energía eléctrica disponible y facilidad de accesos.

Los recursos para llevar a cabo toda instalación de una planta de asfalto, se relacionan a continuación:

Recursos humanos.- Ya que la instalación de una planta de asfalto requiere de las actividades principales de montaje y sistema eléctrico, la plantilla mínima de personal requerida es la siguiente: 1 sobrestante de producción, 2 soldadores de 1ª, 1 electricista y 5 ayudantes generales.

Recursos materiales.- Este concepto comprende toda la herramienta y el listado general de materiales para acondicionar la instalación eléctrica: 2 cajas de herramienta, 2 equipos de oxiacetileno, cables de 1/2" para estrobos, placas de 1/4" y de 1/2", tubería de 2" y 4", soldadura 7018 y 6018, cables eléctricos uso rudo, conexiones rápidas y madera para soportes.

Equipo auxiliar.- El equipo auxiliar necesario para la instalación comprende: 1 grúa de 75 ton, 1 grúa de 100 ton, 1 grúa de 20 ton y 2 plantas de soldar de 300 A.

Las grúas de 100 y 75 toneladas únicamente se requieren para la instalación del silo de almacenamiento y elevador de calientes, la grúa de 20 toneladas para el montaje de chimeneas, ductos y algunas maniobras auxiliares.

Las plantas de soldar constituyen equipo menor necesario para trabajos adicionales, como tuberías de alimentación y succión de asfalto, tubería para el suministro de combustible, tubería para el sistema de aire, placas de apoyo del silo, mamparas en alimentador de fríos, etc.

Una de las plantas de soldar debe permanecer en el sitio durante la operación de la planta, con el fin de apoyar el mantenimiento preventivo y correctivo de todos los conjuntos.

Resulta conveniente que, antes de la instalación de la planta y de requerirse, se construyan las fosas de asfalto, las fosas de decantación y cimentaciones del silo, con el fin de abatir los tiempos y costos de montaje.

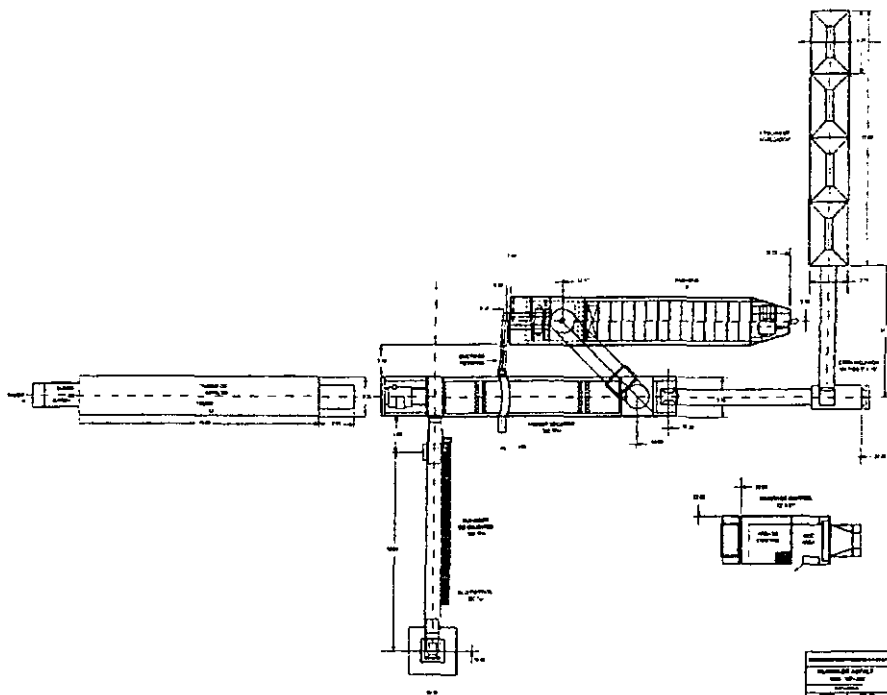
Para el control de calidad de la mezcla es recomendable la construcción, vecina a la planta, de un local adaptado para el laboratorio. La información oportuna permitirá corregir rápidamente las desviaciones observadas con respecto a las especificaciones, y esto redundará en una mejoría del costo de producción.

Se presentan, a continuación, programas de montaje de planta de asfalto, con sistemas de recolección de polvos por vía húmeda, modelo DM-55, y con sistema de vía seca, como los modelos PVM-1100, PVM-300 y UP-300. También se incluye el arreglo general de cada uno de los conjuntos que se integran a las últimas plantas.

PROGRAMA DE INSTALACIÓN, PRUEBAS Y PUESTA EN MARCHA DE UNA PLANTA DE ASFALTO

Plantas Modelo: PVM-1100, PVM-300, UP-300

Concepto	Días							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1 Acondicionamiento del Sitio	■	■						
2 Trazo de Ejes y Señalamiento		■	■					
3 Cimentación del Silo			■	■	■			
4 Llegada y Acondicionamiento del Equipo		■	■	■	■	■		
5 Instalación de Tambor-Secador			■	■	■			
6 Instalación de Banda Transportadora			■	■	■			
7 Instalación de Tolva de Agregados			■	■	■			
8 Instalación de Baghouse				■	■	■		
9 Instalación de Silo					■	■		
10 Instalación de Elevador de Calientes					■	■		
11 Instalación de Compresor					■	■		
12 Instalación de Tanque de Asfalto					■	■		
13 Instalación de Caseta de Operación					■	■		
14 Instalación de Tanques de Combustible		■	■	■	■			
15 Instalación de Bomba de Combustible			■	■	■			
16 Instalación de Planta de Luz				■	■	■		
17 Tendido de Cables Eléctricos				■	■	■		
18 Revisión e Inspección de Motores						■	■	
19 Calibración de la Planta							■	■
20 Pruebas y Arranque								■



CALIBRACIÓN DE LA PLANTA

Se deben efectuar pruebas de ajuste para determinar las aberturas en las compuertas y obtener las cantidades deseadas de cada material. Es conveniente que el operador del cargador alimente las tolvas del alimentador de fríos, de manera que se mantengan siempre llenas.

Calibración de la planta de flujo continuo.- Los principales pasos para iniciar la producción de la mezcla con este equipo son los siguientes:

- 1.- Ajuste de las compuertas de las tolvas de agregados fríos, a fin de que éstos pasen al tambor secador en las proporciones requeridas por el proyecto.
- 2.- Calibración del flujo de cemento asfáltico.

Ajuste de las compuertas de agregado en frío.- Lo que se describe a continuación aplica a las plantas de asfalto cuyo sistema de alimentación no está debidamente automatizado, o sea, las de operación de tipo manual.

En este tipo de plantas generalmente se emplean alimentadores de banda para el suministro de agregados en frío, con anchos y velocidades determinados por el fabricante.

La cantidad que suministra un alimentador de banda, en kg/min, está determinada en función directa de las condiciones de operación de las compuertas, y puede calcularse por la siguiente expresión matemática:

$$C_t = B \times H \times S \times W \times E$$

Donde:

C_t = Capacidad teórica (kg / min)
 B = Ancho de la compuerta (m)
 H = Altura de la compuerta (m)
 S = Velocidad del transportador (m / min)
 W = Peso de los agregados (kg / m³)
 E = Eficiencia del equipo

En la práctica, es factible determinar la abertura de las compuertas de las tolvas por tanteos, no siendo indispensable la aplicación de la fórmula, para que las áreas correspondientes a las compuertas de los distintos agregados resulten proporcionales a los porcentajes requeridos.

De gran importancia es la calibración de los alimentadores en frío, maniobra fácil de realizar.

Cuando el material se lleva al secador por medio de transportadores de banda, sólo es necesario ajustar la compuerta de una tolva, en posición tal que suministre la cantidad correcta de material, cerrar las otras tolvas y poner en marcha el sistema de alimentación de la planta.

Cuando ha funcionado durante un minuto aproximadamente, se para y se pesa el material contenido en el transportador de banda en una distancia media, y se convierte la cifra en kilogramos por metro. Ésta, multiplicada por la velocidad de la banda en metros por minuto, resulta en los kilogramos por minuto entregados por la tolva con la abertura particular de la compuerta.

Se realiza la conversión en toneladas por hora y por centímetro de abertura de compuerta, y se calcula la proporción a número exacto en centímetros a que debe abrirse la compuerta, para suministrar la cantidad deseada en toneladas por hora.

Ya efectuado lo anterior, se pone nuevamente la planta en marcha durante aproximadamente un minuto. Una vez que los agregados han empezado a caer en la banda transportadora, se procede como en el caso anterior, para corroborar la cantidad de material entregado.

Ya obtenido el peso de uno de los materiales entregados, se procede de igual manera con las otras compuertas.

En las plantas automatizadas con el indicador de los motores de velocidad variable y con las tablas proporcionadas por los fabricantes que indican claramente la relación velocidad de trabajo-volumen estimado, se calibran cada una de las compuertas a una velocidad determinada. Al modificar el control maestro se varía proporcionalmente la velocidad de cada uno de los motores.

También en el transportador de banda se cuenta con una báscula que pesa directamente el material que transporta en ese momento, haciendo la calibración mas rápida y eficiente.

Una vez concluida la calibración de todas las tolvas, es necesario operar la planta con todas las compuertas a la abertura determinada, para corroborar que el material integral para la mezcla asfáltica satisface la curva granulométrica determinada por el laboratorio.

Ejemplo numérico de calibración manual de las plantas de asfalto no automatizadas.

Datos:

Producción requerida	120 m ³ / h
Peso suelto de la mezcla	1,750 kg / m ³
Peso máximo de la mezcla	1,846 kg / m ³
Contenido de asfalto	5.5 %
Dosificación de agregados (porcentaje en peso)	55 - 25 -20
Peso específico del asfalto a temperatura de 150 ° C	0.9155

1.- Calibración de las compuertas de alimentación.

Cantidad de agregados que deben de alimentar las tolvas al tambor secador:

Peso de agregados

$$1,750 \text{ kg/m}^3 / 1.055 = 1,659 \text{ kg/m}^3$$

Cantidad requerida por minuto

$$(120 \text{ m}^3/\text{h}) \times (1,659 \text{ kg/m}^3) = 199,080 \text{ kg/h}$$

$$(199,080 \text{ kg/h}) \times (60 \text{ min/h}) = 3,318 \text{ kg/min}$$

Determinación de la cantidad, en kilogramos por minuto de cada uno de los agregados.

Material 1	$3,318 \text{ kg/min} \times 0.55 =$	1,825 kg/min
Material 2	$3,318 \text{ kg/min} \times 0.25 =$	830 kg/min
Material 3	$3,318 \text{ kg/min} \times 0.20 =$	663 kg/min
Total		3,318 kg/min

Se procede a determinar la abertura de cada una de las compuertas, verificando que el peso entregado por cada una de ellas sea el requerido, como se explicó anteriormente.

2.- Calibración del suministro de asfalto

Cantidad requerida por minuto

$$(120 \text{ m}^3/\text{h} \times 1,846 \text{ kg/m}^3) / 60 \text{ min/h} = 3,692 \text{ kg/min}$$

De acuerdo al contenido de asfalto óptimo, del 5.5%, se requiere incorporar a la mezcla, 203 kilogramos por minuto de cemento asfáltico # 6.

$$3,692 \text{ kg/min} \times 0.055 = 203.06 \text{ kg/min}$$

Aplicando el coeficiente de variación por temperatura de asfalto, de la tabla siguiente, se transforma esta cantidad en litros por minuto.

$$203.06 \text{ kg/min} / 0.9155 = 222 \text{ lt/min}$$

Con el dato anterior, debe vigilarse que la bomba de asfalto proporcione adecuada y continuamente el flujo determinado.

Como ya se mencionó anteriormente, estos datos son numéricos y el laboratorio de control de calidad, deberán corroborar que los materiales entregados satisfagan en primer término la curva granulométrica del proyecto, para, posteriormente, determinar los parámetros de calidad de la mezcla así procesada.

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Operación.- En la elaboración de la mezcla es fundamental la participación del operador, ya que la dosificación por peso, requiere que éste, el operador, accione adecuadamente los mecanismos de pesada y ajuste de compuertas, con la mayor atención, seguridad y responsabilidad al efectuar las maniobras correspondientes.

Con el objeto de mantener el producto dentro de los lineamientos de diseño, se efectúan pequeños cambios en las aberturas de las compuertas de las tolvas y velocidades de los alimentadores.

Estos cambios deben llevarse a cabo con extremo cuidado, realizando pequeños incrementos o decrementos menores antes de la modificación final para tener la seguridad de que se hacen en la dirección adecuada.

Para lograr la producción y calidad requeridas, es absolutamente necesario que se cumplan, como mínimo, los siguientes requisitos:

- a) Que el funcionamiento mecánico-eléctrico de la planta sea el correcto.
- b) Que el material pétreo alimentado sea uniforme en su granulometría, de volumen constante y contenido de los tamaños necesarios para formar la curva granulométrica del proyecto.
- c) Que se corrija oportunamente la contaminación en las tolvas del alimentador de fríos.
- d) Que sea adecuado el flujo de cemento asfáltico.

Las recomendaciones para la correcta operación de una planta de asfalto son las siguientes:

1. Alimentación constante y bien graduada.- Para lograr una alimentación constante y bien graduada, el material debe separarse en dos o varios tamaños, debiendo mantener a capacidad llena las tolvas del alimentador de fríos.
2. Secado y temperatura uniformes.- Al controlar la alimentación y la cantidad de calor suministrado por el quemador, se garantiza una mezcla con temperatura uniforme y constante.
3. Pérdida de finos.- Deben evitarse fugas en las tolvas de alimentación. En el colector de polvos por vía seca, deberá verificarse el estado de los filtros y cambiarlos si presentan roturas o fugas en los sellos.
4. Control de asfalto.- Es necesario verificar continuamente el sistema de suministro de asfalto líquido, puesto que su contenido en la mezcla es de la mayor importancia para la calidad final de la misma.
5. Control del peso de los agregados y asfalto.- Las básculas y bombas deben revisarse periódicamente, aceptando tolerancias menores al 2%. Los controles automáticos facilitan esta operación.

6. Control del tiempo de mezclado.- Se verificará la velocidad de giro del tambor-secador, que debe ser la especificada por el fabricante.

7. Control de las temperaturas. Este control es de vital importancia, ya que una temperatura alta en los agregados, provoca que el asfalto se adhiera en espesores gruesos, dificultando su manejo. Por otra parte, una temperatura menor a la del asfalto hace que éste pierda fracciones necesarias y modificar sus propiedades fundamentales.

Mantenimiento.- Para el funcionamiento adecuado del equipo, es indispensable efectuar una revisión general, constante y periódica de la instalación, haciendo hincapié en los elementos que fácilmente puedan fallar, para lo cual se recomienda efectuar un recorrido de inspección detallado, en dirección del proceso de alimentación, mezclado, almacenamiento e incorporación de cemento asfáltico.

A continuación se encuentran recomendaciones destinadas a prevenir las fallas más frecuentes con respecto a los elementos mencionados:

Compuertas ajustables y alimentador de banda.- Revisar la abertura de descarga y velocidades de alimentación, también el estado físico de los rodillos y del hule de la banda transportadora.

Tambor-secador.- Revisar la inclinación de trabajo, que se recomienda sea de 3° a 5° y la velocidad de giro entre 11.5 y 6.75 rpm, también los rodillos de nivelación y de giro.

Lo mismo deberá hacerse con respecto al estado físico de los álabes de secado y mezclado, en el interior del tambor-mezclador.

La vida útil de los álabes, en condiciones normales de operación y mantenimiento comúnmente aceptada, es de 700,000 toneladas en la zona de combustión, 1'000,000 de toneladas en la zona de secado y de 1'500,000 a 2'000,000 de toneladas en la zona de mezclado.

Quemador.- Verificar la combustión adecuada, para la obtención de la temperatura deseada para el secado eficaz del material.

Elevador de calientes.- Revisar las chumaceras, cadenas y, principalmente, el estado físico de los cangilones o paletas.

La vida útil de las placas de desgaste en el elevador de calientes es de 20'000,000 de toneladas y la de la cadena es de 1'000,000 de toneladas.

Casa de bolsas o Baghouse.- Revisar periódicamente los extractores, estado físico de las bolsas y temperatura de admisión y de expulsión.

La vida útil del piso de la casa de bolsas es de 2'000,000 de toneladas, y de las bolsas es de 1'000,000 a 2'000,000 de toneladas, en función de la temperatura de operación.

Silo de almacenamiento.- Revisar el sistema hidroneumático de abertura de las compuertas, giro del vertedor rotatorio y, principalmente, el sistema de calentamiento.

Depósitos de tuberías de calentamiento.- Revisar que no existan fugas que contaminen el cemento asfáltico, con atención especial a los sellos y enchaquetados de toda la tubería. Las válvulas deben cerrar perfectamente, sin derramas. El funcionamiento de la bomba de asfalto debe ser el adecuado.

Motores eléctricos.- La vigilancia del amperaje de trabajo y de la limpieza general, evitará sobrecargas y cortocircuitos.

Los puntos arriba indicados no agotan la lista de cuanto debe comprobarse. Habrá que prestar atención a posibles fallas en otras partes mecánicas, eléctricas y de control.

Para el mantenimiento preventivo de los equipos complementarios, como plantas de luz o grupos electrógenos y compresores, deberá seguirse su carta de mantenimiento.

A continuación se relacionan algunos puntos de revisión periódica para calderas térmicas, quemadores y sistema de combustión:

Calderas térmicas.- Conexiones y tuberías, corrección de fugas en los fluxes, material refractario, empaques, manómetros, termómetros, termostatos y válvulas de seguridad.

Conjunto de quemador.- Encendido automático, boquillas, electrodos de quemador, aisladores de electrodos, cables de transformador, piloto de gas, quemador de gas, limpieza de fotoceldas, analizar los gases de combustión y válvula de alimentación.

Sistema de combustible.- Fugas de tubería, filtros de tubería, filtros de bomba, banda de transmisión, alineación de la bomba y válvulas de solenoide.

VI. CONCLUSIONES

En México la construcción, y sobre todo la referente a las vías de comunicación, es un indicador considerable del estado de la economía del país. Por lo cual es importante cuidar que el funcionamiento y desempeño de cada uno de los componentes de un sistema relacionado a la construcción, sea el adecuado, de manera que no se tengan pérdidas de tiempo, horas hombre, horas máquina o desperdicio de material, ya que todo esto se traduciría en pérdida de dinero o en el mal aprovechamiento de éste.

En la grán mayoría de los caminos y carreteras de nuestro país, el material utilizado para construir la carpeta es el concreto asfáltico, debido a su bajo costo en comparación con el concreto hidráulico. Y aunque se han realizado en los últimos años carreteras de concreto hidráulico, es indudable que el material que se seguirá usando en mucha mayor proporción en el país es el concreto asfáltico. Es por esto que se decidió, en este estudio, hablar de la fabricación de dicho material.

Hemos revisado, a lo largo de esta obra, los elementos, requerimientos y características que debe comprender una planta de fabricación de concreto asfáltico para funcionar como tal. Se ha mostrado como influyen en dicho funcionamiento; el entorno natural, es decir, la ubicación geográfica, tanto en lo referente al material a extraer como en lo tocante a las vías de acceso. La correcta utilización de la maquinaria y los explosivos, para que la extracción del material sea la más adecuada y evitar así el desperdicio de material o el hacer trabajar de más a los equipos de trituración. La correcta selección de la maquinaria dedicada a triturar el material, y separarlo en los diferentes tamaños de agregados, ya sean éstos comerciales o especiales. El óptimo equipo de carga y transportación de dichos agregados y el diseño y fabricación de las más adecuadas mezclas asfálticas, para la correcta utilización del sistema en estudio.

Vimos, de igual forma, todos los elementos que componen una planta de asfalto, desde sus características físicas y las de sus componentes, hasta su puesta en marcha, operación y mantenimiento, así como datos técnicos de funcionamiento.

Es así como se ha tratado de explicar como y para que se requiere una planta de fabricación de concreto asfáltico, y su intrínseca relación con la construcción y, por consecuencia, con la Ingeniería Civil.

BIBLIOGRAFÍA

- Aburto V., Rafael. "Maquinaria para construcción". Edit. Fundec. Primera edición. México, 1990.
- Alcázar L., Federico. "Los explosivos en la construcción". Edit. Fundec. Primera edición. México, 1990.
- Day, David A. "Maquinaria para construcción". Edit. Limusa. Tercera edición. México, 1994.
- Hernández O., Eduardo. "Equipos de trituración". Ingenieros Civiles Asociados. México, 1996.
- Hernández O., Eduardo. "Plantas de asfalto". Ingenieros Civiles Asociados. México, 1996.
- Hernández O., Eduardo. "Selección de equipos de trituración". Ingenieros Civiles Asociados. México, 1996.
- Holmes, Arthur. "Geología física". Ediciones Omega. Tercera edición. México, 1980.
- Judson, Lett. "Fundamentos de geología física". Edit. Limusa. Undécima reimpresión. México, 1993.
- Shamblin, James E, Stevens, G.T. Jr. "Investigación de operaciones, un enfoque fundamental". Edit. Mc. Graw Hill. México, 1993.
- Taha, Hamdy A. "Investigación de operaciones". Edit. Alfaomega. Quinta edición. México, 1992.
- Thierauf, Robert J. "Introducción a la investigación de operaciones". Edit. Limusa. Primera edición. México, 1982.