

MAQUINARIA Y RENDIMIENTOS

6.- MAQUINARIA Y RENDIMIENTOS

Describiremos en este capítulo, la maquinaria utilizada en el proceso de elaboración de una carpeta de concreto asfáltico, los principios en que se basan sus funcionamientos, las formas de obtener sus rendimientos y los factores que afectan a los mismos.

Para comprender mejor lo anterior es recomendable repasar algunos conceptos manejados en todo tipo de maquinaria pesada:

6.1 CONCEPTOS UTILIZADOS EN MAQUINARIA

Potencia: Es energía de acción, o la capacidad de ejecutar un trabajo a una velocidad determinada. Se requiere potencia para empujar o jalar una carga.

Potencia disponible: Es la suministrada por la máquina para ejecutar cierta cantidad de trabajo, es decir, la capacidad que tiene una máquina para desarrollar un trabajo específico a una velocidad determinada.

Potencia utilizable o necesaria: Es la mínima capacidad que tiene que desarrollar una máquina para un trabajo específico considerando las restricciones impuestas por las condiciones del trabajo.

Fuerza tractiva o rimpull: Es la fuerza que genera el vehículo mediante sus fuerzas motrices o de tracción multiplicada por el coeficiente de tracción.

El estudio de las diferentes clases de potencia y los factores que afectan a cada una de ellas, nos da a conocer las razones de que una máquina pueda o no ejecutar un trabajo específico.

6.2 FACTORES QUE INFLUYEN EN EL RENDIMIENTO

Resistencia al rodamiento: Es la fuerza que opone el terreno al giro de las ruedas. El vehículo no se moverá mientras no se venza esta fuerza. Esta resistencia se mide en kilogramos y la fuerza necesaria para vencerla se expresa en kilogramos de tracción. Depende del tipo de suelo y del inflado de los neumáticos (cuando sea el caso).

MAQUINARIA Y RENDIMIENTOS

Resistencia por pendiente: Debido a la fuerza de gravedad que actúa sobre el vehículo, la inclinación del terreno ofrece resistencia al movimiento de la máquina en el ascenso. Esta resistencia se mide también en kilogramos. Al descender una pendiente, la fuerza de gravedad es favorable y se denomina ayuda en pendientes.

Eficiencia de operación: Es el porcentaje de tiempo que la máquina efectivamente trabaja durante las ocho horas que dura la jornada. Este factor lo determina cada empresario o contratista y por lo general es de 5/6 que significa que la máquina trabaja 50 de cada 60 minutos (0.83).

Condiciones climáticas: Las horas de trabajo efectivas de un equipo se ven afectadas por la lluvia, viento y condiciones climáticas desfavorables.

Efectos de la altura sobre el nivel del mar: Debe tomarse en cuenta que al aumentar la altura sobre el nivel del mar, disminuye la presión atmosférica y baja la potencia de todo motor de aspiración natural. Lógicamente, se reduce la fuerza de tracción del vehículo.

Al estimar el rendimiento, el factor de eficiencia en el trabajo es uno de los elementos más complicados, pues depende de los factores humanos (de parte de la administración y de los operadores) tales como la experiencia, la dedicación, disponibilidad y destreza para efectuar determinada labor. Existen factores que se aplican al calcular el rendimiento que dependen de la organización y tamaño de la obra, cuyos valores varían dependiendo de los criterios utilizados.

6.3 CALCULO DEL RENDIMIENTO DE UNA MAQUINA

La eficiencia óptima de una máquina es la relación entre rendimiento y gastos que dé como resultado el costo más bajo posible por unidad de material movido. Influyen directamente en la productividad factores tales como la relación peso potencia, la capacidad, el tipo de transmisión las velocidades y los costos de operación. Hay otros factores menos directos que influyen en el funcionamiento y productividad de las máquinas como la facilidad de servicio, la seguridad, la disponibilidad de piezas y las conveniencias para el operador, lo cual no es posible mostrarlos en tablas ni gráficas y dependerán del criterio y la experiencia de las personas relacionadas con el cálculo de estas productividades.

Existen varias maneras para llegar a conocer el rendimiento de una máquina, debiéndose tener el cuidado necesario para aplicar los valores obtenidos con cualquiera de ellos, pues varían unos respecto a otros. La mejor manera de conocer la producción de una máquina la determina la experiencia. A continuación citaremos tres de los caminos que se utilizan:

MAQUINARIA Y RENDIMIENTOS

6.3.1 PROCEDIMIENTOS PARA CALCULO DE RENDIMIENTOS

a) **Investigar directamente con un operador de confianza:** Tomando en cuenta las características de la máquina y de la obra. Este método es empírico y se basa únicamente en la experiencia. Debemos ser cuidadosos con la información obtenida por este medio, pues si bien son datos reales, no significa que sean confiables, pues el operador no toma en cuenta todos los factores que intervienen en el rendimiento.

b) **Generando un banco de información en base a las obras ejecutadas anteriormente:** Esto es, basarse en datos históricos de la máquina. Puede resultar el más confiable de todos aunque hay que considerar las diferencias entre las obras ejecutadas anteriormente y la obra por realizar.

c) **Consultar tablas y manuales del fabricante de la máquina:** Esta información es muy útil, sobretodo cuando no se tienen a la mano los datos de los dos primeros métodos mencionados. Debe tomarse en cuenta, sin embargo, que todos los datos se basan en un 100% de eficiencia en las operaciones, lo cual no es posible conseguir de modo consistente, ni aún en condiciones óptimas. Por lo tanto, al utilizar los datos sobre operación y productividad, es necesario rectificar los resultados de las tablas, usando factores adecuados a fin de compensar la menor eficiencia en la obra, la habilidad del operador, las características del material, las condiciones de los caminos de acarreo, la altitud, y otros factores ya comentados que puedan reducir la producción en un trabajo determinado.

d) **Método general.** El rendimiento depende básicamente de:

1) Capacidad volumétrica de la máquina.

$$CV \text{ (m}^3\text{/ciclo)}$$

2) Tiempo del ciclo.

$$T = t_f + t_v$$

Donde:

t_f = Tiempo fijo. Que es aquel que no cambia para un mismo tipo de máquina y trabajo (duración pequeña) maniobras, carga y descarga.

t_v = Tiempo variable. Es aquel que depende de la distancia a recorrer y de la velocidad.

3) Número de ciclos por hora.

$$NC = \frac{60(\text{min/hr})}{T} = \text{ciclos/hora}$$

$$T(\text{min/ciclo})$$

MAQUINARIA Y RENDIMIENTOS

4) Rendimiento teórico.

$$RT = CV(m3/ciclo) * NC(ciclo/hr) = m3/hr$$

5) Resumen de eficiencias.

$$RE = \frac{\text{Producto de factores}}{\text{Factor de abundamiento}}$$

Factores:

- * Factor de abundamiento
- * Factor por tipo de suelo
- * Factor por tipo de trabajo o factor de acarreo
- * Factor por pendiente
- * Factor por operación o tiempo efectivo
- * Factor por tipo de operador
- * Factor de carga

Es lógico pensar que no todos los factores se aplican a todas las máquinas. Deben seleccionarse de acuerdo a las condiciones de trabajo que se presenten para cada una de ellas.

6.3.2 TIEMPO O DURACION DEL CICLO

¿Cuanto tiempo se requiere para hacer el trabajo?

¿Cuantos minutos invierte una máquina en hacer un viaje de ida y vuelta?

El tiempo necesario para hacer un viaje de ida y vuelta se denomina tiempo de ciclo. En cualquier trabajo de movimiento de tierras o pavimentación, las máquinas se adaptan a un ciclo de trabajo determinado. En este ciclo están incluidas las operaciones de carga, acarreo, descarga y retorno al lugar original, con algunas variaciones en ciertos casos. El tiempo de ciclo es el que invierte una máquina para llevar a cabo todas estas operaciones.

Para el proceso constructivo que nos dedicaremos a describir, las operaciones de carga, acarreo, descarga y retorno al lugar original, corresponden al ciclo de un cargador frontal y un camión de volteo. En el caso de plantas de asfalto, compactadores y extendedoras, se utilizan otros criterios para determinar ciclos y rendimientos.

Una vez que se planea una obra de pavimentación y se inicia el trabajo, es relativamente simple determinar el tiempo de ciclo para cualquiera de las unidades con solo medir varias veces el tiempo invertido por la máquina en un ciclo completo y luego obtener el término medio. ¿Que método puede emplearse si no se ha comenzado el trabajo? Este es el problema que tiene que resolver un contratista que está preparando una oferta para hacer cierto

MAQUINARIA Y RENDIMIENTOS

trabajo, o posteriormente cuando trata de idear el plan más adecuado para la ejecución del trabajo y la mejor utilización posible de su equipo. Es factible también que sus cálculos demuestren la necesidad de obtener más máquinas para ejecutar el trabajo. Conociendo la capacidad de una máquina, los requerimientos de potencia y las limitaciones que hay en una obra, el contratista puede determinar, con bastante exactitud, el tiempo de ciclo de la máquina. Con esta información le será posible calcular el rendimiento.

Tal vez la razón más importante para calcular el tiempo de ciclo es la posibilidad de reducirlo por medio del mejor planeamiento u organización del trabajo. Recuérdese que "el tiempo es oro", pues las horas que se economizan en una obra con maquinaria pesada aumentan las ganancias netas.

El tiempo de ciclo, como ya se mencionó, consiste de dos partes: tiempo fijo y tiempo variable. El tiempo fijo es el que invierte una máquina, durante el ciclo, en todo aquello que no sea acarreo y retorno. Incluye el tiempo para cargar, descargar y maniobrar en el curso del trabajo. Todos estos tiempos son más o menos constantes, sea cual sea la distancia a que se lleve o acarree el material.

El tiempo variable es el que se necesita para el acarreo, o, en otras palabras, el tiempo invertido en el camino acarreando el material y regresando vacío, y varía con la distancia a recorrer y la velocidad de las máquinas.

La razón para considerar el tiempo de ciclo en dos partes, es que este sistema simplifica enormemente el procedimiento de cálculo. Por ejemplo, en los cargadores frontales, el tiempo para cargar, descargar, retornar, hacer los cambios de velocidad, frenar, etc., es casi siempre constante y no hay razón para calcular por separado el tiempo de cada unidad, a no ser que existan circunstancias especiales.

MAQUINARIA Y RENDIMIENTOS

6.4 TRITURADORAS

Podemos clasificar a las máquinas trituradoras, dependiendo de los tamaños de piedra que manejen eficiente y económicamente, en **primarias, secundarias y terciarias**.

Aunque no de una manera rígida podemos clasificar los diferentes tipos de quebradoras de la siguiente manera:

- 1) **TRITURADORAS PRIMARIAS.**
 - a) De Quijada.
 - b) Giratoria.
 - c) Molino de martillos (roca blanda).
- 2) **TRITURADORAS SECUNDARIAS.**
 - a) Cónicas.
 - b) De rodillos.
 - c) Molino de martillos.
- 3) **TRITURADORAS TERCIARIAS.**
 - a) De rodillos.
 - b) Molino de barras.
 - c) Molino de bolas.

Un concepto importante en estas máquinas es la **relación de reducción**, que es el cociente de dividir el tamaño de la mayor piedra que puede entrar a la trituradora, entre el tamaño de la mayor piedra que puede salir de la misma. En general las trituradoras primarias tienen un alto valor de la relación de reducción (hasta 10 ó 12), y las máquinas que tienen valores bajos de este cociente son destinadas a las etapas secundarias o terciarias de la trituración.

6.4.1 TRITURADORA DE QUIJADA

La trituradora de quijada es la más popular de las trituradoras primarias. Como se puede apreciar en el dibujo, consiste a grandes rasgos en una quijada fija y otra móvil, cuyo movimiento de abrir y cerrar presiona la roca contra la quijada fija hasta romperla. La abertura de la parte superior de la trituradora determina el tamaño máximo de la roca que se puede triturar, la cual al entrar bajará por gravedad, siendo quebrada tantas veces como le toque, hasta que logre salir por la abertura inferior entre las quijadas.

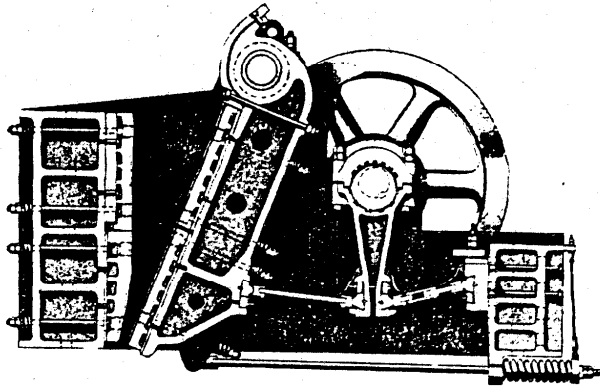


Figura 6.1

Quebradora de Quijada
Tipo Blake.

Tabla 6.1

Capacidades representativas en toneladas de piedra por hora de las quebradoras de quijada tipo Blake.

Tamaño quebradora pulg	rpm max	HP max	Ajuste cerrado de la abertura de descarga, pulg														
			1	1½	2	2½	3	4	5	6	7	8	9				
10x16	300	15	11	16	20												
10x20	300	20	14	20	25	34											
15x24	275	30	..	27	34	42	50										
15x30	275	40	..	33	43	53	62										
18x36	250	60	..	46	61	77	93	125									
24x36	250	75	..	..	77	95	114	150									
30x42	200	100	..	..	..	125	150	200	250	300							
36x42	175	115	..	..	..	140	160	200	250	300							
36x48	160	125	..	..	..	150	175	225	275	325	375						
42x48	150	150	..	..	..	165	190	250	300	350	400	450					
48x60	120	180	..	..	..	..	220	280	340	400	450	500	550				
56x72	95	250	..	..	..	..	..	315	380	450	515	580	640				

MAQUINARIA Y RENDIMIENTOS

6.4.2 TRITURADORA GIRATORIA

A continuación en la figura se aprecia una trituradora giratoria y en la gráfica se aprecian los rendimientos estimados para las diferentes capacidades de estas máquinas.

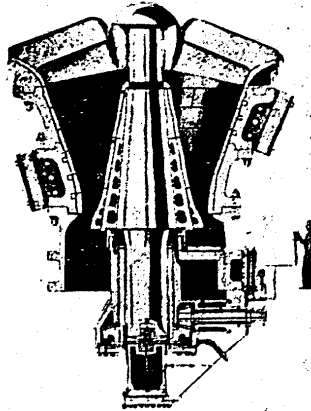


Figura 6.2

Quebradora
Giratoria
Hydroset

Tabla 6.2

Capacidades representativas de las quebradoras giratorias de concavidades rectas modificadas, en toneladas de piedra por hora.

Tamaño de quebradora.	Vel. de la Con- trafle- cha, rpm.	Potencia Aprox. Req. HP	Ajuste abierto de la quebradora en pulg.												
			1½	2	2½	3	3½	4	4½	5	6				
8	450	15-25	35	45											
10	400	25-40	..	60	65										
13	375	50-65	..	..	..	95	130								
16	350	60-100	..	..	..	..	150	172	195						
20	330	75-125	..	..	..	..	..	182	200	220					
30	325	125-175	..	..	..	..	..	..	340	370	400				
42	300	200-275	..	..	..	..	..	..	..	..	607	690			

La relación de reducción de las quebradoras giratorias varía de 5.5 a 7.5, con valor promedio de 6.5 para tamaños máximos de agregados de hasta 42".

MAQUINARIA Y RENDIMIENTOS

Si una quebradora giratoria se utiliza como trituradora primaria, el tamaño que se seleccione puede estar regido por el tamaño de la piedra de la cantera o estar controlado por la capacidad deseada. Cuando se utiliza esta máquina como trituradora secundaria, la capacidad estará gobernada por el tamaño que se seleccione. La capacidad de una quebradora giratoria puede incrementarse aumentando la velocidad de la máquina dentro de los límites razonables.

6.4.3 QUEBRADORAS CONICAS

Las quebradoras cónicas o de reducción se usan como trituradoras secundarias o terciarias. Tienen un alto rendimiento y producen agregado de tamaño muy uniforme. Aunque se parecen mucho en su estructura a las quebradoras giratorias difieren de éstas en los siguientes aspectos:

- a) Tienen un cono más corto.
- b) Tienen una abertura de entrada más pequeña.
- c) Giran a mayor velocidad (430 a 830 rpm).
- d) Producen una piedra más uniforme, con T.M.A. igual al ajuste cerrado.

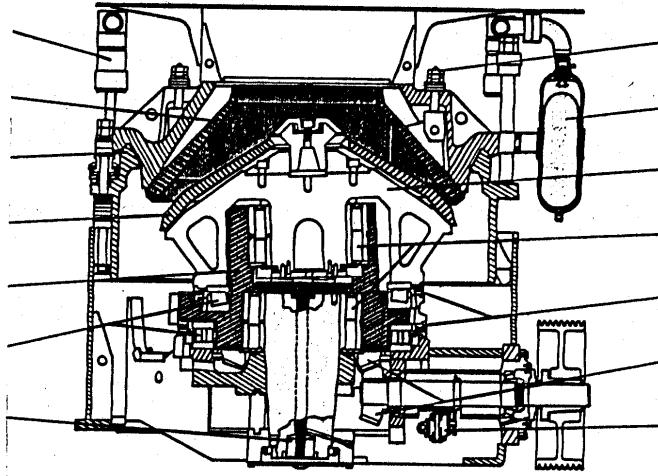


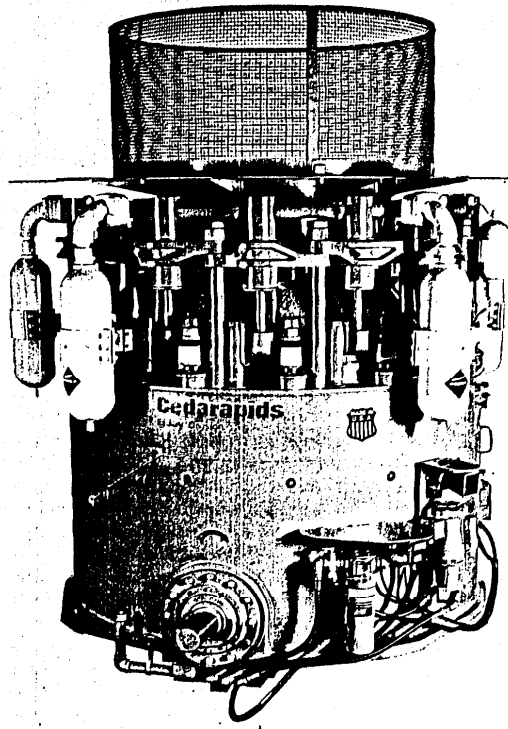
Figura 6.3

Quebradora Cónica
marca Cedarapids.

MAQUINARIA Y RENDIMIENTOS

Se muestra en la figura anterior el corte de una trituradora cónica. Tiene una superficie cónica de triturado fija, y la otra, también cónica tiene un movimiento oscilatorio producido por su eje, que está unido en su parte inferior por un bushing excéntrico, ocasionando con esto dicho movimiento al girar.

Debido a la alta velocidad de rotación, todas las partículas que pasen a través de la trituradora serán reducidas a tamaños no mayores que el ajuste cerrado que debe usarse para designar la abertura de descarga.



Vista exterior de una trituradora cónica marca Cedarapids.

MAQUINARIA Y RENDIMIENTOS

Capacidades representativas de las quebradoras cónicas
Symons estándar, en toneladas de piedra por hora.

Tam. de Maq. pulg.	Velocidad plena carga rpm	Potencia Req. HP	Tam. de Aliment. pulg.	Ajuste descarga mín.	Ajuste de la descarga, pulg.									
					1/2	3/8	1/2	5/8	3/4	7/8	1	2	2 1/2	
2	575	25-30	2 1/2	1/2	15	20	25	30	35					
			3 1/2	3/8	..	20	25	30	35	40	45			
3	580	50-60	3 7/8	3/8	..	35	40	55	70	75				
			5 1/8	1/2	..	..	40	55	70	75	80	95		
4	485	75-100	5	3/8	..	60	80	100	120	135	150			
			7 3/8	3/4	..	..	..	..	120	135	150	185		
4 1/2	485	125-150	4 1/2	1/2	..	..	99	125	140	150				
			7 3/8	5/8	..	..	..	125	140	150	160			
5 1/2	435	150-200	9 1/2	3/4	..	..	..	..	140	150	160	190		
			7 1/8	5/8	..	..	..	160	200	235	275			
7	435	250-300	8 5/8	7/8	..	..	..	..	..	235	275	375	450	
			9 7/8	1	..	..	..	..	..	..	..	275	375	450
			10	3/4	..	..	..	..	330	390	450			
			11 1/2	1	..	..	..	..	..	..	450	800		

6.4.4 MOLINO DE MARTILLOS

El molino de martillos es la quebradora de impactos más usada, y puede utilizarse ya sea para trituration primaria o secundaria. Las partes básicas de esta unidad incluyen un marco, un eje horizontal que se extiende a través del marco, varios brazos y martillos conectados a un carrete que está montado sobre el eje, una o más placas angulares de acero de manganeso o de algún otro acero duro, y una serie de barras de criba cuyos espaciamientos pueden hacerse variar para regular el ancho de las aberturas para que fluya la piedra quebrada. Estas partes se ilustran en el siguiente dibujo en corte de la quebradora.

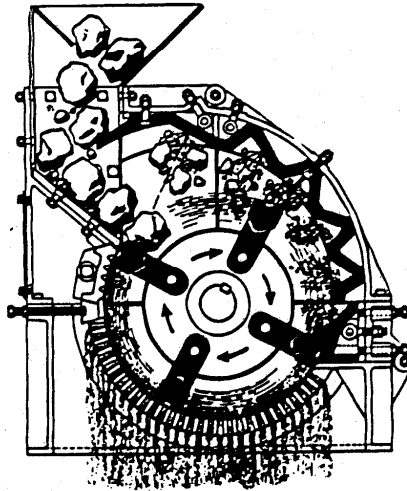


Figura 6.4

Molino
de
Martillos

Tabla 6.4

Capacidades representativas de los molinos de martillos
en toneladas de piedra por hora.

Tamaño de Abertura de Ali- menta- ción pulg.	Tam. Ali- men- taci- on. pulg	Veloc. de la Flecha rpm	Poten- cia Re- queri- da HP	Ancho de las aberturas entre las barras de la criba.						
				1/8	3/16	1/4	3/8	1/2	1	1 1/2
6 1/2 x 9	3	1,800	15-20	2 1/2	3 1/2	5	8	10		
12 x 15	3	1,500	50-60	9	13	17	23	29	36	39
15 x 25	6	900	100-125	18	25	31	40	47	65	70
15 x 37	6	900	150-200	27	37	47	60	71	97	105
15 x 49	6	900	200-250	36	50	63	80	95	130	140

MAQUINARIA Y RENDIMIENTOS

6.4.5 QUEBRADORA DE RODILLO

Las quebradoras de rodillos se utilizan para producir reducciones adicionales de los tamaños de la piedra una vez que se ha sometido a una o más etapas de trituración. Una quebradora de rodillos consiste en un marco de hierro colado, equipado con dos rodillos de acero duro, montados cada uno sobre un eje horizontal diferente. Uno de los rodillos está montado sobre un marco deslizante, para poder efectuar los cambios del ancho de la abertura de descarga entre los dos rodillos. Generalmente cada uno tiene su propio sistema de propulsión.

Para calcular el máximo tamaño de piedra que puede ser triturado para un ajuste de salida dado, o el diámetro de rodillo requerido conocidos el agregado a triturar y el ajuste que quiere darse a la trituradora, se usa la siguiente fórmula:

$$A = 0.085 \cdot R + C$$

Donde : R = Radio de los rodillos.
A = Tam. Máx. de la Alim.
C = Ajuste de los Rodillos.

La relación de reducción en un molino de rodillos es mucho menor que las que pueden manejarse en una quebradora de quijada o una circular o inclusive en una cónica.

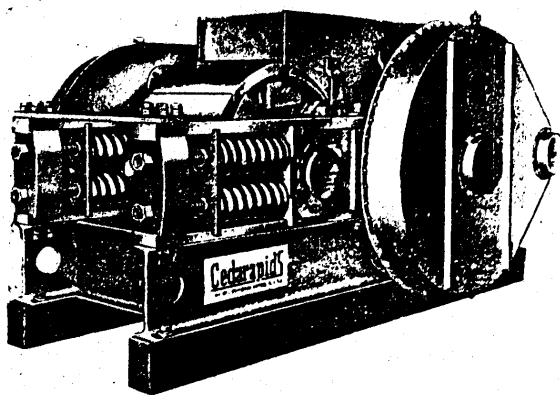


Figura 6.5

Molino de Rodillos.

MAQUINARIA Y RENDIMIENTOS

Tabla 6.5: Capacidades representativas de las quebradoras de rodillos lisos, en toneladas de piedra por hora.

Tamaño de la Quebra	Velocidad rpm	Potencia requerida, HP	Ancho de la abertura entre rodillos en pulg.						
			$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	1	$1\frac{1}{2}$	2	$2\frac{1}{2}$
16x16	120	15-30	15	30	40	55	85	115	140
24x16	80	20-35	15	30	40	55	85	115	140
30x18	60	50-70	15	30	45	65	95	125	155
30x22	60	60-100	20	40	55	75	115	155	190
40x20	50	60-100	20	35	50	70	105	135	175
40x24	50	60-100	20	40	60	85	125	165	210
54x24	41	125-150	24	48	71	95	144	192	240

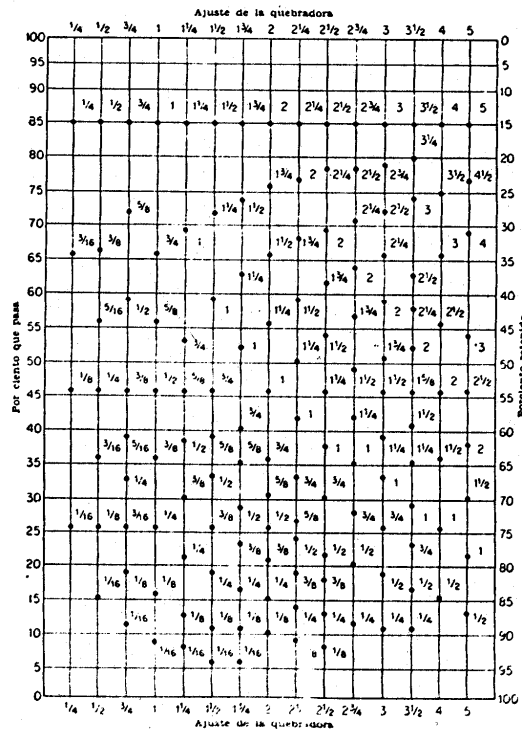


Figura 6.6: Análisis del tamaño de agregado producido por las quebradoras de quijada y rodillos.

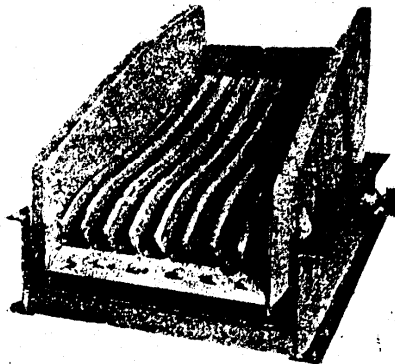
6.5 CRIBAS

Estas máquinas son útiles para separar y clasificar la piedra producida por trituración o directamente de bancos de gravas y arenas, podemos clasificarlas según su sistema de operación en:

- 1) Cribas Fijas.
- 2) Cribas Giratorias.
- 3) Cribas Vibratorias.

Las primeras, como su nombre lo indica, no tienen movimiento producido mecánicamente para efecto de efectuar el harneado, y se colocan con cierta inclinación, de tal manera que el agregado resbale, cayendo a través de ella las fracciones menores que las aberturas. Son las más económicas, se usan comúnmente delante de las trituradoras primarias, con el fin de evitar la entrada a éstas de piedras mayores que la abertura de alimentación.

Criba de barras.



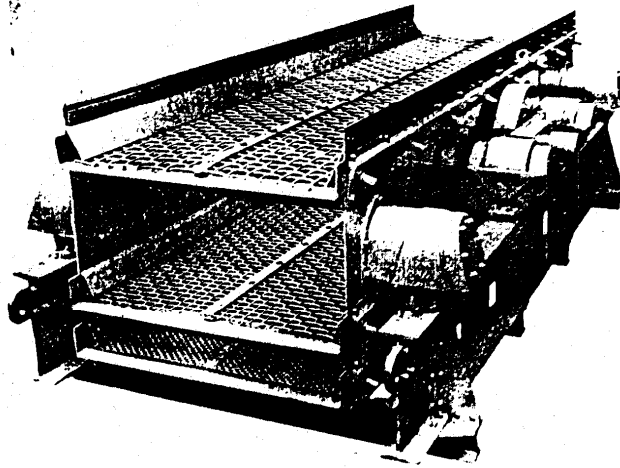
Las cribas giratorias presentan su mayor eficiencia en el harneado y lavado de arena y grava. Consisten en una serie de largos cilindros concéntricos, cuyas paredes son de malla, por la cual al ir girando el cilindro pasa el material al siguiente cilindro, o bien si es retenido continúa resbalando por la malla del cilindro hasta ser conducido a una tolva de almacenamiento. De esta manera se tendrán tantas tolvas como cilindros de criba.

Una ventaja de las cribas giratorias es que sus costos de mantenimiento y reparación son muy bajos, y que la operación es lenta y simple.

Las cribas vibratorias son las más empleadas en la producción de agregados, en la figura se muestra el tipo de unidad de varias cubiertas. A cada criba se le llama cubierta. La vibración puede obtenerse por medio de una flecha excéntrica, una flecha con contrapeso, o con electroimanes conectados al marco de la criba.

MAQUINARIA Y RENDIMIENTOS

Esta criba se instala con una ligera pendiente, que junto con las vibraciones provocan que vaya fluyendo el agregado mayor sobre la malla, mientras que el de menor tamaño que los orificios pasa éstos cayendo a la malla inferior o al fondo de la criba, para seguir o concluir con el proceso de harneado respectivamente.



Criba vibratoria de tres cubiertas.

6.5.1 RENDIMIENTO DE LAS CRIBAS VIBRATORIAS

La eficiencia de un harnero en su primer cubierta es de un 90 a un 95 %, esto es, solo ese porcentaje de las partículas menores que los orificios de la criba la lograrán pasar. Para la segunda cubierta, la eficiencia baja a un 85 % y a un 75 % para la tercera.

La capacidad de una malla vibratoria se calcula en las toneladas de material que pasan a través de 1 pie² por hora. A continuación la gráfica nos da las capacidades de las cribas vibratorias mismas que deben de ser modificadas por los factores de corrección apropiados.

MAQUINARIA Y RENDIMIENTOS

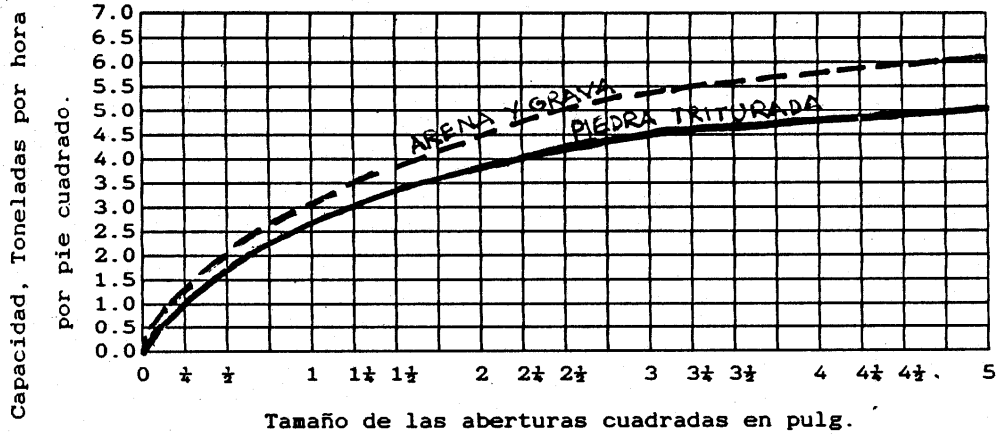


Figura 6.7

Factor de Eficiencia:

Si una baja eficiencia de harneado es tolerable, la capacidad de la malla será mayor que los valores dados en la figura.

Eficiencia Permissible de la Criba	Factor de Eficiencia
95 %	1.00
90 %	1.25
85 %	1.50
80 %	1.75
75 %	2.00

Factor de Cubierta :

Este factor se refiere a la posición u orden en que está cada cubierta en una criba.

Cubierta No.	Factor de Cubierta.
1	1.00
2	0.90
3	0.75
4	0.60

Factor de Tamaño de Agregado :

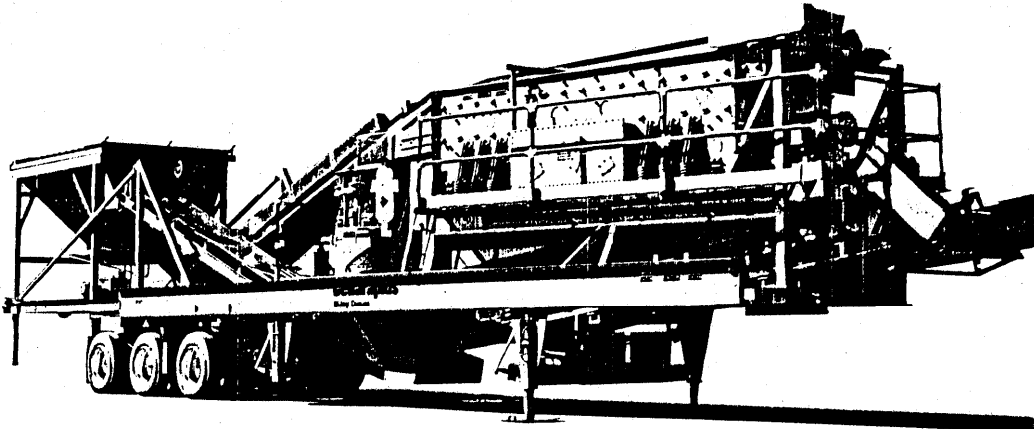
Las capacidades de la figura 6.7 son para el agregado típico producto de una quebradora. Para una distribución diferente de tamaños de partículas se aplicará éste factor.

MAQUINARIA Y RENDIMIENTOS

Porcentaje de Agregado
menor que la mitad del tamaño del orificio de la malla. Factor de
Tamaño de agregado.

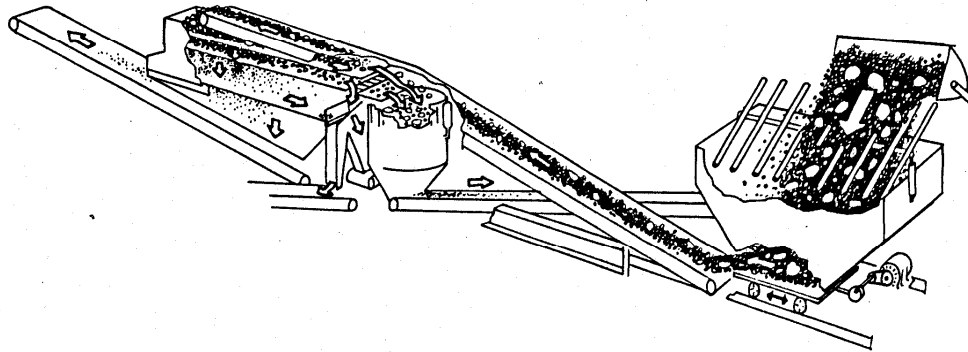
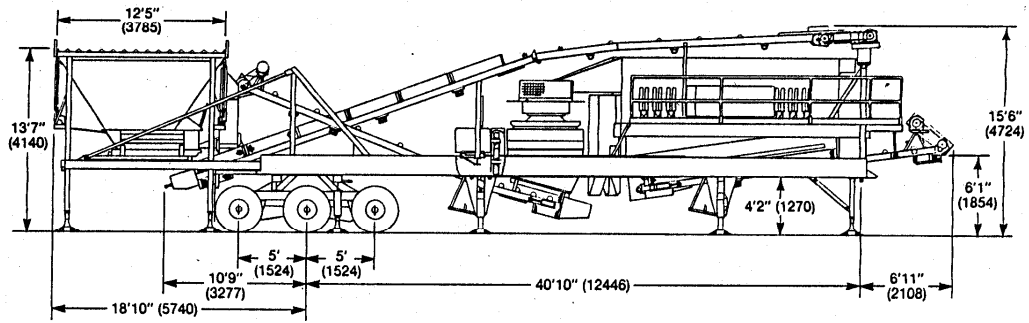
10	-----	0.55
20	-----	0.70
30	-----	0.80
40	-----	1.00
50	-----	1.20
60	-----	1.40
70	-----	1.80
80	-----	2.20
90	-----	2.30

Aún cuando se calcule el tamaño requerido de criba con los datos de la figura 6.7 y el uso de los factores apropiados, se recomienda usar una criba con capacidad 10 ó 25% mayor que la requerida.



Sistema de trituración y cribado portable que consta de criba vibratoria de tres cubiertas, trituradora cónica, tolva receptora y bandas transportadoras de material.

MAQUINARIA Y RENDIMIENTOS



Vista en corte e isométrico de una planta de trituración y cribado transportable.

MAQUINARIA Y RENDIMIENTOS

6.6 CARGADORES FRONTALES DE RUEDAS



MAQUINARIA Y RENDIMIENTOS

Los cargadores frontales o tractores pala se componen de un tractor montado sobre neumáticos o sobre orugas con un cucharón en la parte frontal. Este cucharón se controla mediante un sistema hidráulico y tiene una capacidad que varía de $1/4 \text{ yd}^3$ (0.19 m^3) a 25 yd^3 (19.1 m^3); aunque los cargadores de uso común y que se consiguen con facilidad son hasta de 5 yardas cúbicas (3.8 m^3). El cucharón es lo suficientemente fuerte como para absorber los golpes a que lo somete el tractor, y lo suficientemente liviano para poder levantar grandes cargas sin peligro de que se pierda el equilibrio del equipo; es decir, el diseño toma en consideración la condición extrema de trabajo, que es cuando el cucharón está lleno y soportado en su posición elevada con los brazos totalmente extendidos hacia el frente del tractor. La seguridad contra el volcamiento hacia adelante, bajo esa condición, recibe el nombre de capacidad estática de carga volcante. Un factor de seguridad común es 2, lo cual significa que la carga que pudiera ocasionar la volcadura es del doble de la carga que puede contener el cucharón cargado a ras con material de 1780 kg/m^3 . Se requiere de ese alto factor de seguridad para proteger al equipo de las condiciones de carga más severas que soporta al moverse.

Para lograr esta seguridad estática al volcamiento, el peso del tractor, W , es generalmente de 40 a 60% mayor que la capacidad de carga volcante. De acuerdo con lo anterior, pueden calcularse aproximadamente los tamaños del cucharón y del tractor que se necesitarían para obtener un cargador frontal balanceado.

Este peso debe ser también suficiente para lograr la fuerza máxima de "rompimiento" en el borde cortante frontal del cucharón; aunque no profundizaremos mucho en este aspecto por no ser crítico, pues los cargadores que utilizaremos, levantarán material granular suelto para alimentar a las tolvas de la planta de asfalto.

Un tercer factor a considerar en la elección de un cargador frontal es el del mecanismo del cucharón el cual se diseña para tener una altura de vaciado comprendida entre 2.40 y 4.50 metros, siendo esta la distancia vertical del suelo al punto más bajo de los dientes del cucharón colocado a su máxima elevación con un ángulo de inclinación de vaciado de 45° . Tal altura es proporcional al tamaño del cargador. Esto hace posible que el cargador vacíe a un camión o unidad de acarreo de tamaño adecuadamente equilibrado.

MAQUINARIA Y RENDIMIENTOS

6.6.1 OPERACIONES DE LOS CARGADORES FRONTALES

- a) Una de las aplicaciones más comunes de los cargadores es la carga de materiales en unidades de acarreo. Si el área que circunda al material por cargarse es razonablemente nivelada, la unidad de acarreo puede colocarse en una posición cercana conveniente. En tal caso, el cargador puede excavar y hacer el movimiento corto necesario para vaciar su carga al camión.
- b) Otro uso común que se da a los cargadores es en la excavación para cimentaciones. En tal caso, solo son aplicables cuando la dimensión horizontal más pequeña es por lo menos igual al ancho del cucharón, si no es que varias veces mayor.
- c) Un tercer uso importante del cargador frontal es la carga de material de voladuras a unidades de acarreo, en el espacio limitado de una excavación en roca, de un túnel o de una cantera.
- d) También se aplican éstas máquinas para excavar agregados o material de cantera, para cargarlos a la parrilla de la tolva de alimentación de una planta trituradora o de asfalto. En general, se sitúa la tolva en el borde, o apenas adentro del tajo de material. El cargador excava entonces su carga y la acarrea una distancia pequeña hasta la tolva.
- e) Por supuesto, cualquier operación de limpieza de construcción que comprenda el recogimiento del material y su vaciado en algún otro lugar, es ideal para un cargador frontal.

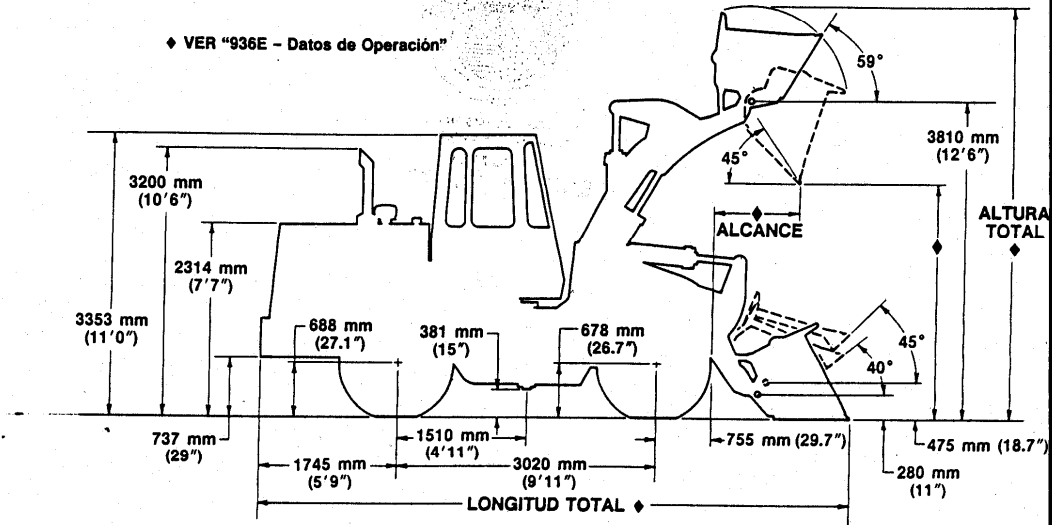
MAQUINARIA Y RENDIMIENTOS



Dimensiones (aproximadas)

	Distancia entre ruedas	Ancho (neumáticos inclusive)	Despejó sobre el suelo
20,5-25 (L-2)	1980 mm/78"	2575 mm/101"	379 mm/14,9"
17,5-25 (L-2)	2080 mm/82"	2560 mm/100,7"	315 mm/12,4"

♦ VER "936E - Datos de Operación"



Esquema de un corte de un cargador frontal de ruedas típico con sus dimensiones y características.

MAQUINARIA Y RENDIMIENTOS

6.6.2 DEFINICIONES DE LAS ESPECIFICACIONES DE LOS CARGADORES FRONTALES

Las especificaciones que a continuación citaremos sobre los cargadores de ruedas son de acuerdo a las definiciones de la Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE por sus siglas en Inglés).

Descripción de las especificaciones de las máquinas:

En los cargadores de ruedas se debe indicar la presión de inflado de los neumáticos cuando se tomaron las especificaciones, además de la descripción básica por escrito de la máquina.

Partes del ciclo hidráulico del cucharón:

- a) "Tiempo de ascenso" - Segundos para levantarlo desde el suelo, en posición a nivel.
- b) "Tiempo de descenso" - Segundos que invierte el cucharón vacío para bajar desde la altura máxima hasta una posición a nivel, en el suelo.
- c) "Tiempo de descarga" - Segundos invertidos en cambiar el cucharón de la posición de acarreo, a plena altura, hasta la de ángulo máximo de volteo, al vaciar la carga según las normas de la SAE.

Fuerza de extracción o desprendimiento:

"Fuerza de extracción", en kN o kg, es la fuerza máxima continua de ascenso en sentido vertical, aplicada a 102mm (4 pulg.) detrás de la punta de la cuchilla, debido a que el cucharón (en las condiciones siguientes) se levanta y/o gira hacia atrás en el punto de pivote especificado:

- a) El cargador se halla en una superficie dura y a nivel, con la transmisión en neutral.
- b) Todos los frenos están sueltos.
- c) El peso de operación de la máquina es estándar, y no está sujeta la parte trasera del cucharón.
- d) El lado inferior de la cuchilla es paralelo al suelo, y sólo a ± 25.4 mm (1 pulg.) de ese nivel.

MAQUINARIA Y RENDIMIENTOS

- e) Al usar el circuito hidráulico del cucharón debe especificarse que el pasador de giro es el punto de pivote, y que el conjunto está sostenido por debajo del punto de pivote del pasador de giro del cucharón, a fin de reducir el movimiento del varillaje.
- f) Si se emplea el circuito de ascenso, debe indicarse que el pasador de giro de cada brazo es el punto de pivote. En los cargadores de ruedas se instala un soporte bajo el eje delantero para mantener la posición de los pasadores de pivote si ceden los neumáticos.
- g) Si ambos circuitos se usan a la vez, debe especificarse el punto de pivote principal anotado en (e) o (f).
- h) Si el circuito usado hace levantar del suelo el extremo trasero del vehículo, significa que el valor de la fuerza vertical que levanta dicho extremo es la fuerza de extracción.
- i) Con cucharones de forma irregular, la punta de la cuchilla, mencionada anteriormente, es la parte delantera más saliente.

Carga límite de equilibrio estático:

Como ya se mencionó, es el peso mínimo en el centro de gravedad de la carga indicada por la SAE del centro del cucharón que hace girar el extremo trasero de la máquina en tal forma que, en los cargadores de ruedas, los neumáticos traseros se levantan del suelo bajo las siguientes condiciones:

- a) El cargador se halla en una superficie dura y a nivel.
- b) El peso de operación de la máquina es estándar.
- c) El cucharón está inclinado hacia atrás.
- d) La carga tiene la posición máxima hacia adelante en el ciclo de levantamiento.
-) La máquina está provista de equipo estándar, según se describe en las especificaciones, a menos que se indique de otra manera.

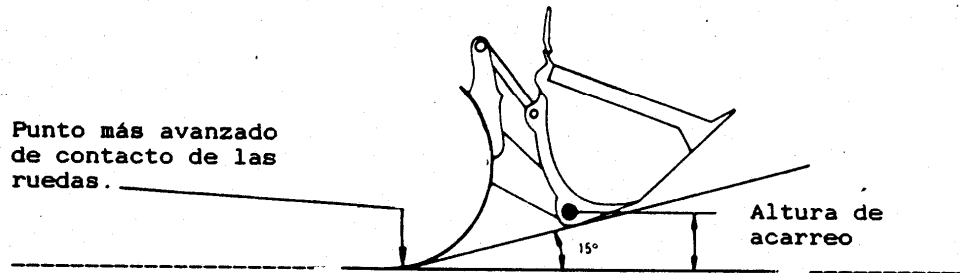
Carga de operación:

Para cumplir con las normas de la SAE, la carga de operación de los cargadores de ruedas no debe superar en más del 50% la carga límite de equilibrio estático de una máquina equipada con los accesorios necesarios para el trabajo.

MAQUINARIA Y RENDIMIENTOS

Posición de acarreo:

Es la distancia vertical desde el suelo hasta la línea de centro del pasador de giro del cucharón, con un ángulo de 15° de la línea al punto más avanzado de contacto. El dibujo que sigue ilustra esta definición:



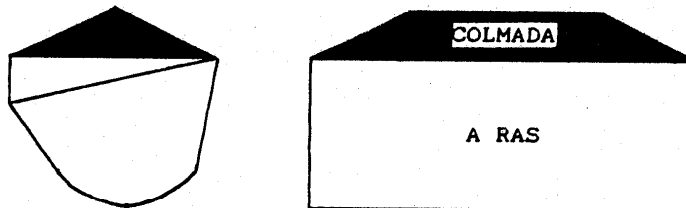
Círculo libre para giro del cargador:

Las normas exponen que deben indicarse "el radio mínimo de viraje con inclusión de los neumáticos", y "el círculo libre para giro" de todo cargador de ruedas.

Profundidad de excavación:

Se define como la distancia vertical en mm (o pulg) de la rasante del terreno hasta el borde inferior de la cuchilla en su posición más baja, y la cuchilla horizontal.

Capacidades del cucharón según la SAE:



Definiciones de la SAE:

MAQUINARIA Y RENDIMIENTOS

Capacidad a ras: Es el volumen contenido en el cucharón después de pasar un enrasador que descansa sobre la cuchilla y la parte trasera del cucharón.

Capacidad colmada: Es la capacidad a ras, más la cantidad adicional que se acumule sobre esta a un ángulo de 45° de reposo, y el nivel a ras paralelo al suelo.

6.6.3 ELECCION DE UNA MAQUINA

Medios para elegir el cucharón de tamaño adecuado:

a) **Determinar la producción requerida:** La producción requerida de un cargador de ruedas debe ser ligeramente mayor a la capacidad de producción de las otras máquinas básicas del sistema para mover tierra o materiales. Debe estimarse con cuidado la producción requerida a fin de elegir la máquina y cucharón adecuados.

b) **Determinar el tiempo del ciclo del cargador y el número de ciclos por hora:** Cuando se acarrea material granular suelto en un suelo duro y parejo como en nuestro caso, se considera razonable un tiempo básico de 0.45 a 0.55 minutos por ciclo en los cargadores articulados con operador competente. Esto incluye la carga, descarga, cuatro cambios de sentido de marcha, un ciclo completo del sistema hidráulico y recorrido mínimo.

Puesto que el tipo de material, la altura del montón y otros factores pueden elevar o reducir la producción, se deben sumar o restar del tiempo de ciclo básico.

Cuando haya acarreo, consulte la porción concerniente al tiempo de recorrido en la gráfica de estimaciones en este capítulo, a fin de hallar las marchas que deben utilizarse en el acarreo y en el retorno. Para hallar el tiempo total del ciclo, añada los tiempos de acarreo y de retorno al tiempo de ciclo básico.

Como se mencionó arriba, el tiempo de ciclo básico oscila entre 0.45 y 0.55 minutos en cargadores de ruedas articulados; sin embargo, en el campo pueden surgir algunas variaciones. Los siguientes valores para muchos elementos variables, se basan en operaciones normales. Al sumar o restar los tiempos variables, se obtendrá el tiempo de ciclo básico:

MAQUINARIA Y RENDIMIENTOS

Minutos a sumar
o a restar del
ciclo básico.

Materiales

Mezclados.....	+0.02
Hasta 3 mm (1/8 pulg).....	+0.02
De 3 mm (1/8 pulg) a 20 mm (3/4 pulg).....	-0.02
De 20 mm (3/4 pulg) a 150 mm (6 pulg).....	0.00
Más de 150 mm (6 pulg).....	+0.03 y más
Banco o fracturado.....	+0.04 y más

Pila

Transportador o topadora apilado a más de 3m (10ft)...	0.00
Transportador o topadora apilado a menos de 3m (10ft).....	+0.01
Descargado por camión.....	+0.02

Varios

Mismo propietario de camiones y cargadores.....	Hasta -0.04
Propietario independiente de camiones.....	Hasta +0.04
Operación constante.....	Hasta -0.04
Operación intermitente.....	Hasta +0.04
Punto de carga pequeño.....	Hasta +0.04
Punto de carga frágil.....	Hasta +0.05

Utilizando las condiciones reales de trabajo y los factores indicados, se puede estimar el tiempo de ciclo total. Convierta el tiempo de ciclo total en ciclos por hora:

$$\text{Ciclos por hora a } 100\% \text{ de eficiencia} = \frac{60 \text{ minutos}}{\text{Tiempo de ciclo total en minutos}}$$

c) **Determinar la carga útil requerida por ciclo:** Para obtenerla, se divide la producción requerida en una hora por el número de ciclos por hora.

d) **Determinar el tamaño requerido del cucharón:** Una vez calculada la carga útil requerida por ciclo, se divide por el peso de un m³ (yd³) de material suelto, a fin de hallar el volumen de material suelto por ciclo.

Puesto que la densidad de casi todo material a moverse no alcanza 1800 kg/m³ (3000 lb/yd³), la exactitud en la estimación de producción requiere un buen conocimiento de las densidades. En tablas posteriores se obtiene el promedio de las densidades de ciertos materiales cuando no se conocen los pesos.

Se estima a continuación el porcentaje de la capacidad indicada que mueve el cucharón con diversos materiales. El tamaño para mover el volumen requerido por ciclo se obtiene mediante el porcentaje de la capacidad indicada del cucharón, denominado

MAQUINARIA Y RENDIMIENTOS

"Factor de acarreo del cucharón".

El tamaño requerido se halla dividiendo por el factor de acarreo el número de m³ (yd³) de material suelto por ciclo, que se considere necesario.

$$\text{Tamaño del cucharón} = \frac{\text{Volumen requerido/ciclo}}{\text{Factor de acarreo del cuch.}}$$

6.6.3.1 Factor de acarreo del cucharón

La siguiente tabla indica las cantidades aproximadas de un material suelto como porcentaje de la capacidad indicada del cucharón, o sea lo que moverá el cucharón por ciclo. Se denomina "factor de acarreo"

Tamaño de los integrantes del material suelto	Factor de acarreo
Agregados húmedos mezclados.....	95 a 100%
Agregados uniformes hasta de 3mm (1/8 pulg).....	95 a 100%
De 3 a 9 mm (1/8 pulg a 3/8 pulg).....	85 a 90%
De 12 a 20 mm (1/2 pulg a 3/4 pulg).....	90 a 95%
De 25 mm (1 pulg) o más.....	85 a 90%

Elección del cucharón:

$$\text{Toneladas requeridas/ciclo} = \frac{\text{Toneladas requeridas/hora}}{\text{Ciclos/hora}}$$

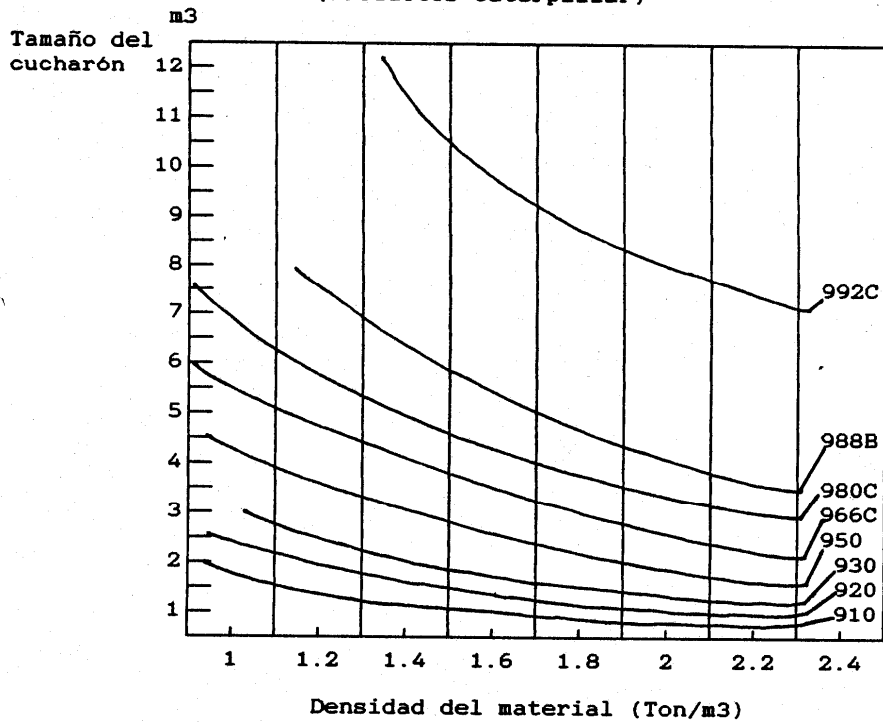
$$\text{Kg requeridos/ciclo} = \text{Toneladas requeridas/ciclo} * 1000 \text{ Kg/ton}$$

$$\text{Volumen requerido/ciclo} = \frac{\text{kg/ciclo}}{\text{Peso del material kg/m}^3}$$

e) Elección de la máquina: La capacidad requerida de la máquina puede calcularse multiplicando la capacidad colmada del cucharón elegido por la densidad del material suelto. Los manuales de los fabricantes nos dan la capacidad de operación recomendada para cada uno de sus modelos, pudiendo así obtener la máquina más apropiada.

MAQUINARIA Y RENDIMIENTOS

Elección del cucharón basada en la carga indicada
(Productos Caterpillar)



Se debe escoger siempre una máquina de mayor capacidad que la requerida de operación, según cálculos.

Para rendimiento óptimo en trabajos de ciclos rápidos, las cargas de operación no deben exceder la capacidad recomendada.

Otro método para elegir el cargador de ruedas y el cucharón adecuados que tengan los requisitos de producción es mediante el uso de nomogramas. Se trata de un método más fácil y rápido que el anterior, pues requiere menos cálculos. Su exactitud es prácticamente igual, dentro de los límites normales de los datos existentes.

Se debe tener cuidado al anotar los datos en los nomogramas, y al leerlos, pues los valores aumentan en ciertas escalas de abajo a arriba, y en otras al contrario. Estos nomogramas se pueden encontrar en los manuales de los fabricantes de estas máquinas.

6.7 PLANTAS PARA LA ELABORACION DE MEZCLAS ASFALTICAS

El flujo de materiales, agregados y asfaltos, através de varios diseños de plantas dosificadoras de asfalto, es similar excepto por el método de dosificación y mezclado. Los términos agregado múltiple o sencillo son generalmente considerados para distinguir entre cribado o no cribado, en ese orden. La diferencia básica la encontramos en las áreas de proporcionamiento y mezclado. Un nuevo método llamado "mezclado en tambor" ha ido ganando terreno en los últimos años. Este método combina el agregado y el asfalto en el tambor de secado. Este nuevo método de mezclado será descrito más adelante. La importancia en la utilización de equipos más refinados de alimentación en frío para cualquiera de las plantas mencionadas se reconoce como esencial para la economía y para satisfacer especificaciones requeridas. Discutiremos las áreas importantes de las plantas en cuanto al flujo de materiales, agregados y asfalto, desde la alimentación en frío de agregados al salido de la mezcla.

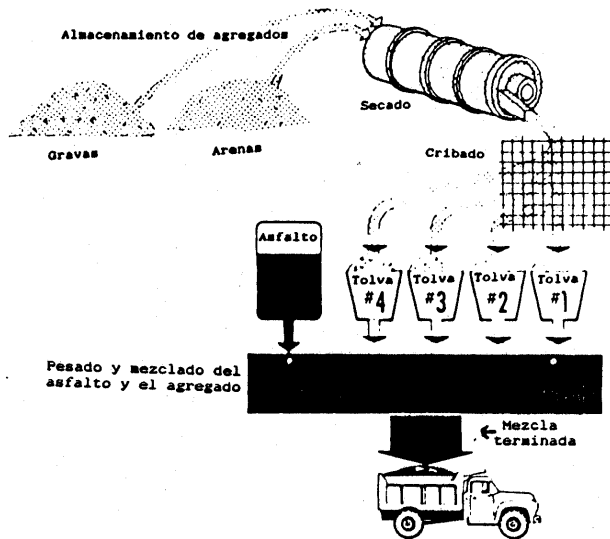


Diagrama esquemático típico de agregado múltiple para plantas de producción continua o discontinua.

MAQUINARIA Y RENDIMIENTOS

6.7.1 ALIMENTACION DE AGREGADOS

La mayoría de los contratistas coinciden en la importancia que tiene la precisión de la alimentación de agregados, no solo para mejorar la calidad de la mezcla, sino también para minimizar los costos de operación. Los sistemas de alimentación de agregados pueden ser simples o complejos, pero todos deben asegurar un flujo uniforme de cada tamaño de agregado en su proporción requerida. El primer paso para lograr una buena producción en una planta de asfalto es un sistema propiamente diseñado de alimentación de agregados en frío.

Una alimentación inadecuada de material se traduce en costosas pérdidas de tiempo.

Los costos de secado, la operación más cara en la producción de mezclas, se reducen manteniendo un flujo balanceado de agregado através del secador. Solamente se secan los agregados que van a ser utilizables para formar la mezcla. Se debe tener cuidado de eliminar el secado de material en exceso que eventualmente se derramará de las tolvas calientes y creará costos para su manejo así como utilizar más combustible del necesario para su secado.

6.7.2 CONSIDERACIONES EN LA SELECCION DEL SISTEMA ADECUADO

Los siguientes puntos deberán ser tomados en cuenta para la selección del sistema más apropiado:

a) Toneladas por hora requeridas: La capacidad máxima de operación de la planta así como las proporciones relativas de cada tamaño de agregado, fijarán la capacidad de los sistemas de alimentación de fríos.

b) Número de separaciones de los materiales: El diseño de la mezcla y la graduación de agregados disponibles determinarán el número de tamaños de materiales a manejarse. Esto nos dirá el número de tolvas requeridas, así como el método de reutilización.

c) Tipos de materiales a trabajar: Se deben tener consideraciones a las características de los agregados que se manejen. Por ejemplo, materiales extremadamente abrasivos o pegajosos que puedan tender a obstruir las compuertas de las tolvas, o adherirse al alimentador, afectará la selección de los componentes del sistema.

d) Fuente del agregado: La fuente del agregado aunada a la frecuencia de entrega, también afectará la elección de los componentes del sistema. Una alimentación frecuente reducirá la cantidad de almacenamiento requerido en el lugar de trabajo.

MAQUINARIA Y RENDIMIENTOS

e) Flexibilidad requerida: El grado de flexibilidad de mezcla requerido debe ser considerado en la planeación. Una operación en donde se necesitarán una variedad de mezclas en un periodo corto de tiempo requiere un sistema que permita cambios económicos y rápidos de las mezclas.

f) Portabilidad: El que la operación de la planta sea movible, semi-movible o estacionaria, ayudará a determinar su configuración.

La utilización de plantas para la elaboración de mezclas asfálticas permite obtener un producto de muy buena calidad, pero a un costo relativamente elevado. Por lo anterior es necesario conocer perfectamente el funcionamiento, posibilidades y limitaciones de la planta.

6.7.3 PLANTAS DE FUNCIONAMIENTO DISCONTINUO

Este tipo de planta es el más común actualmente en nuestro país. La alimentación a la planta se hace por pesadas, y la producción en peso por bachadas; siendo las más comunes las de 2000 y 4000 libras por bachada.

El peso total de la bachada debe estar constituido por la cantidad apropiada de agregados de cada tolva en caliente y el porcentaje correcto de asfalto. En una planta de este tipo operada manualmente, el operador abre la primera compuerta de un tamaño de agregado mientras observa el indicador de una báscula, después cierra la compuerta cuando el marcador se aproxime al peso requerido para ese tamaño de agregado. Progresivamente abre cada compuerta de cada tolva para acumular el peso total de la bachada en la tolva de pesado. La bachada de agregado es vaciada en el mezclador y se revuelve mientras se seca durante un periodo determinado de tiempo (El operador procede entonces al pesado de la siguiente bachada). Cuando se completa el ciclo de mezclado y secado del agregado, se le agrega o rocía la cantidad adecuada de asfalto. El asfalto es pesado en una báscula aparte.

Los principales elementos que conforman una planta de este tipo son los siguientes:

a) Tolvas para material frío: Son de dos a cuatro tolvas que reciben el material de banco y dispuestas para alimentar material pétreo de distintos tamaños. La descarga se realiza através de compuertas ajustables, para regular la caída del material al alimentador de frios, por lo que es posible dosificar el material pétreo.

MAQUINARIA Y RENDIMIENTOS

b) Alimentador de frios: Puede ser de banda o de vaivén y transporta el material pétreo dosificado de las tolvas para material frío a un depósito de material dosificado.

c) Depósito de material dosificado: Este depósito recibe el material, ya dosificado, de las tolvas de material frío para después pasarlas hacia el secador.

d) Elevador de cangilones: Elevan el material dosificado del depósito hacia la tolva de entrada del secador.

e) Tolva del secador: Se ubica a la entrada del secador y tiene una rejilla que evita la entrada de objetos mayores al tamaño fijado.

f) Secador: Los materiales pétreos fluyen continuamente através del secador y se secan al máximo por contacto directo con la llama y los gases calientes.

g) Ventiladores: Estos producen la corriente de aire necesaria para el sistema de combustión del secador y sirven además para la extracción de polvo.

h) Colector de polvo: Este recibe el polvo extraído del secador por los ventiladores y lo almacena para ser devuelto a la mezcla en caso de ser necesario, o para eliminarlo como material de desperdicio.

i) Elevador de cangilones: Elevan el material que sale del secador hasta las cribas vibratorias.

j) Cribas vibratorias: Estos separan el material pétreo seco en los tamaños adecuados, rechazando los de tamaño excesivo. Se colocan con cierta inclinación de tal manera que el material vaya circulando al ser cribado, hasta las tolvas localizadas al extremo opuesto de la llegada del material.

k) Tolvas de material caliente: Estas reciben el material cribado en los tamices vibratorios, almacenándolo en cantidad suficiente para garantizar un funcionamiento continuo de la planta. En la parte inferior de estas tolvas, se colocan unas compuertas através de las cuales se extrae el material pétreo, en base a la cantidad en peso fijada por la granulometría de proyecto, utilizando una tolva de pesadas.

l) Tolva de pesadas: Esta tolva pesa los diferentes tamaños de material pétreo y los pasa al mezclador.

m) Báscula de asfalto calorifugado: En esta se mide la cantidad de asfalto necesario para cada amasado o bachada, calentándolo hasta alcanzar la temperatura apropiada según proyecto. El asfalto se extrae de los tanques de almacenamiento por medio de una bomba.

MAQUINARIA Y RENDIMIENTOS

n) **Mezclador de ejes gemelos:** En este se mezclan los materiales pétreos ya dosificados con el cemento asfáltico caliente hasta obtener una mezcla perfectamente homogénea. Posteriormente se descarga al camión que la habrá de transportar.

o) **Alimentador de finos:** Este agrega la cantidad de material fino necesario a la mezcla para obtener correctamente la granulometría proyectada.

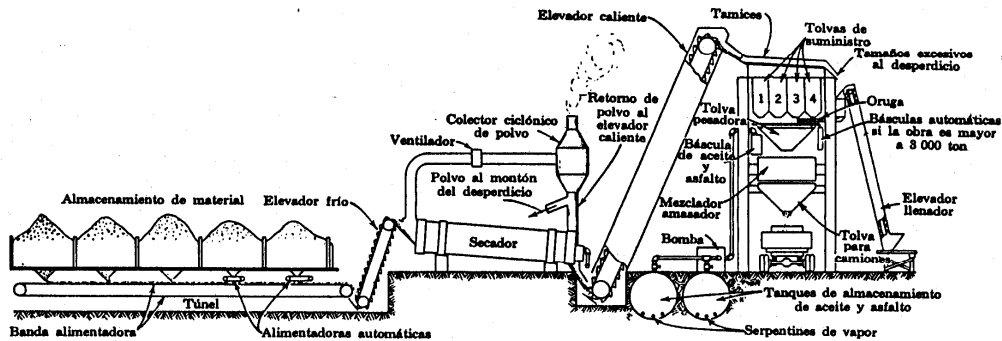


Diagrama esquemático de una planta dosificadora de asfalto de tipo discontinuo.

Para lograr que la producción de la planta sea la requerida por el proyecto, es necesario que se cumplan los siguientes requisitos:

- Que el funcionamiento mecánico de la planta sea el correcto.
- Que el material pétreo con que se alimenta al secador cumpla con la granulometría de proyecto.
- Conocer y corregir la contaminación en las tolvas de material caliente.

Lo primero se logra efectuando una revisión general de la instalación, atendiendo principalmente aquellos elementos más susceptibles de falla, como son las compuertas de las diferentes tolvas, los alimentadores, el secador, las cribas y básculas, los depósitos y tuberías de calentamiento del cemento asfáltico, la válvula de descarga del cemento asfáltico y el mezclador.

MAQUINARIA Y RENDIMIENTOS

Una falla en cualquiera de los elementos anteriores puede afectar tanto la cantidad como la calidad de la producción.

El cumplimiento de los otros dos requisitos se logra efectuando la calibración de la planta, la cual se realiza en dos pasos:

a) Calibración primaria o de aproximación: Consiste en ajustar las compuertas de las tolvas de los fríos para que la dosificación del material pétreo que alimenten tenga una granulometría uniforme, la más aproximada posible a la de proyecto, y la suficiente cantidad para producir el volumen requerido.

El ajuste de las aberturas de estas compuertas se calcula inicialmente en forma teórica, utilizando fórmulas matemáticas o tablas, y suponiendo una eficiencia para la planta; después se corrigen las aberturas en forma práctica, comprobando la granulometría y ajustando hasta obtener el resultado deseado.

b) Ajuste definitivo: Se efectúa en las tolvas de material caliente, y consiste en lograr que la granulometría de la mezcla producida sea la de proyecto. Para esto es necesario conocer en cada tolva de material caliente, la cantidad que contiene de material perteneciente a otras tolvas. Conociendo lo anterior, en base a resultados de pruebas granulométricas, se hace el ajuste en los porcentajes de pesos requeridos de cada material, para obtener la granulometría de proyecto.

6.7.4 PLANTAS DE FUNCIONAMIENTO CONTINUO

Este tipo de plantas es menos común que la anterior en nuestro país, aunque está tomando auge entre las compañías dedicadas a la construcción de caminos, debido a su menor costo de operación y mantenimiento en comparación con las plantas de funcionamiento discontinuo.

La planta de asfalto de funcionamiento continuo combina el agregado y el asfalto mecánicamente mediante el uso de alimentadores controlados y bombas. La colocación de los alimentadores y la bomba se determina por medio de calibración o en base a la experiencia de información previamente obtenida para los agregados disponibles. Después de que estos ajustes se han hecho, y tanto los agregados como el asfalto se proporcionan de una manera constante, la mezcla resultante es descargada del mezclador de tipo continuo sin interrupción alguna.

Los términos de operación con agregados múltiples o sencillos, con o sin cribado en ese orden, pueden aplicarse a los diseños de plantas de bachadas o continuas, aunque originalmente fueron utilizados acorde a la configuración de la planta continua. Las plantas de funcionamiento discontinuo pueden estar equipadas con una criba para una operación con agregado sencillo y la planta continua puede operar sin la unidad de graduación ni la criba vibratoria.

El desarrollo de métodos más refinados de alimentación de fríos y la disponibilidad de agregados cuidadosamente graduados hace posible la eliminación del control de graduación y la unidad de cribado en una planta continua; sin embargo, algunas instituciones pueden aun solicitar la unidad de control de graduación para ciertas clases de mezclas asfálticas utilizadas en carreteras primarias.

Debe quedar claro que las plantas discontinuas están siempre equipadas con cribas vibratorias y no tolvas de almacenamiento, aunque también pueden estar equipadas con una criba simple, lo que las convierte en plantas de operación de agregado sencillo y no múltiple. La conversión de una planta de producción continua de agregado múltiple a una operación de agregado sencillo significa retirar la unidad de control de graduación. Esto se traduce en la necesidad de refinar el equipo de alimentación de fríos para poder mantener las graduaciones de agregados apropiadas en las mezclas. Esto dió como resultado una nueva terminología: "plantas de control de alimentación en frío". En estas plantas, los agregados van directamente a la unidad de mezclado después de secarse sin ningún otro control subsecuente. Es obvio que el control de alimentador de fríos puede ser aplicado a plantas de producción continua y discontinua. El tipo de mezcla y la condición de agregados disponibles es el factor principal en este proceso.

MAQUINARIA Y RENDIMIENTOS

El proceso de alimentación, transporte y secado de material frío, así como el transporte, cribado y almacenado en tolvas del material caliente es similar en los dos tipos de plantas.

La diferencia en el funcionamiento entre una y otra empieza en el momento de extraer el material caliente de las tolvas en la cantidad y dosificación requerida. Mientras que en la planta de batchadas, el material caliente se suministra por peso, en una cantidad suficiente para producir una batcha cada vez. En la planta de funcionamiento continuo, el suministro de material pétreo es constante, lo mismo que el suministro de cemento asfáltico, los cuales son mezclados y descargados en los camiones que los han de transportar.

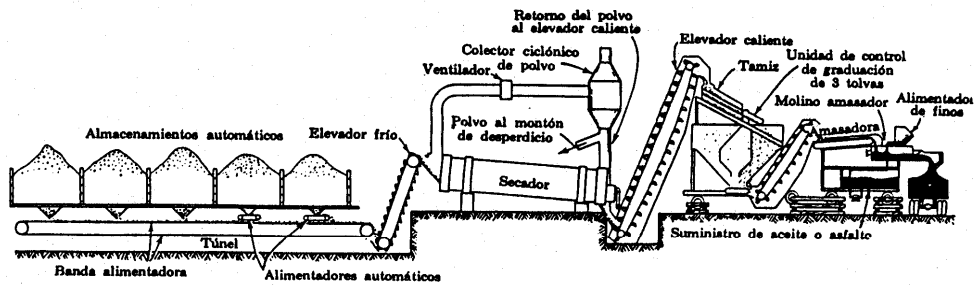
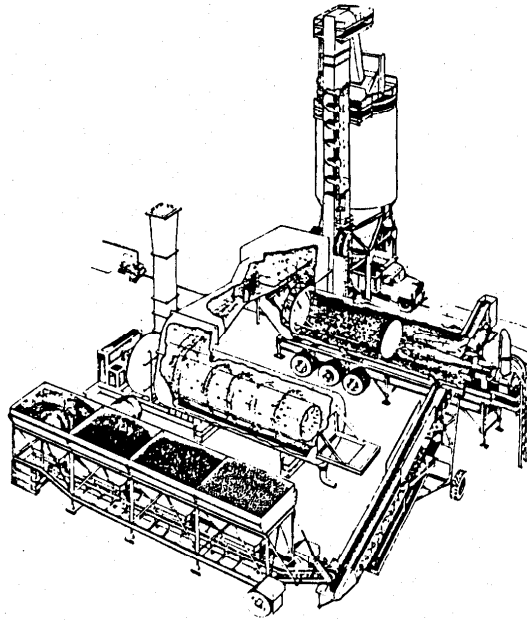


Diagrama esquemático de funcionamiento de una planta típica de tipo continuo y las partes que la conforman.

MAQUINARIA Y RENDIMIENTOS

6.7.5 MEZCLADO EN TAMBOR

La búsqueda continua de medios más económicos para producir mezclas bituminosas y al mismo tiempo reducir los gastos de mantenimiento ha dado algunos resultados. La combinación de los agregados con el material asfáltico dentro del tambor de secado proporciona una respuesta razonablemente buena para estos requerimientos. El desarrollo de equipo de alimentadores en frío más sofisticado y el mejoramiento de la operación de los controles de alimentación ayudó al desarrollo de diseños de mezclados en tambor. Debido a que estas plantas combinan el agregado pétreo y el cemento asfáltico dentro del tambor de secado, la correcta graduación de los agregados depende directamente de los alimentadores de frios.



Modelo típico de una planta de asfalto de mezclado de tambor

MAQUINARIA Y RENDIMIENTOS

El surgimiento de este equipo hizo posible la eliminación de la unidad de control de graduación y el método de mezclado en tambor eliminó también el costoso compartimiento de mezclado. También se eliminó el equipo adicional que las plantas de bachadas tienen en comparación con las plantas en cuestión, prescindiendo de la unidad de cribado, tolvas para almacenar material caliente, básculas y equipo de medición.

El alto rendimiento de operación de una planta de mezclado continuo de este tipo requiere el uso de un sistema de almacenamiento para la mezcla caliente. Esto no necesariamente incrementa los costos del mezclador de tambor en comparación con las modernas plantas de producción continua o discontinua porque estas también requieren en mayor o menor medida, de sistemas de almacenamiento. Es por esto, que el mezclador de tambor elimina los costos del equipo mencionado y al mismo tiempo proporciona una operación completamente automática incluyendo el cargado de camiones y los récords de producción.

El principal objetivo del proceso de mezclado de tambor es el de retener al máximo las emisiones de partículas de finos através de el escape de la chimenea de la planta. Esto se controla cubriendo estas partículas con asfalto, evitando así su escape através del flujo de aire dentro del tambor. Sin embargo, este proceso no se cumple en un 100% y, depende en gran medida, de la temperatura requerida de la mezcla al final del proceso. Se utilizan colectores de polvo a base de espreas rociadoras de agua para controlar este problema.

Existen dos métodos utilizados para agregar el asfalto para mezclados en tambor. El primero introduce el asfalto directamente sobre el agregado dentro del tambor de secado y mezclado utilizando un sistema de dos zonas. La zona principal, conocida como la zona de radiación, es donde se remueve la humedad y se calienta el material pétreo. Las zonas primaria y secundaria se separan por medio de un protector circular. La segunda zona, llamada zona de convención y cubridora, es donde se agrega el cemento asfáltico por medio de una barra interna rociadora. La acción de mezclado y la continuación del secado toma parte en la zona secundaria. El protector circular de temperatura protege al asfalto de la radiación. La mezcla de asfalto caliente y la humedad en el agregado produce una masa espumosa que atrapa las partículas de finos rápidamente ayudando a la vez a que se cubran por el asfalto.

El segundo método involucra el rociado de asfalto caliente en los agregados frios y húmedos justo antes de ser mezclados y secados en el tambor.

A pesar de que los componentes de una planta de producción continua con sistema de tambor de alta capacidad son muy grandes, también se prestan a su portabilidad. Casi todo el equipo puede contar con dispositivos para ser transportado o jalado al sitio de trabajo en componentes individuales.

El equipo de control de alimentadores de frios es calibrado utilizando un dispositivo de muestreo que toma una parte del flujo de agregado para muestras precisas que son pesadas en periodo de tiempo específico. Este es un proceso ampliamente utilizado para la calibración de plantas de tipo continuo y es

MAQUINARIA Y RENDIMIENTOS

conocido por la mayoría de los ingenieros.

La descarga combinada del sistema calibrado de alimentador de frios es continuamente pesada debido a que esta combinación pasa através de una banda pesadora la cual indica el flujo a cualquier instante. Esta información es llevada al tablero de control la cual traduce el peso a una lectura visible de toneladas por hora.

6.7.6 TIEMPO DE MEZCLADO

El tiempo de mezclado es el número de segundos necesario para combinar apropiadamente el agregado y el asfalto para obtener una mezcla homogénea de partículas enteramente cubiertas. Este tiempo óptimo de mezclado está invariablemente influenciado por muchas variables como el medio ambiente, el diseño del mezclador y las tolvas y variables operacionales y de sistema.

6.7.6.2 Tiempo de mezclado en plantas de funcionamiento discontinuo

El tiempo total de mezclado, como típicamente se especifica, es el intervalo de tiempo entre el momento en que se cierra la compuerta de la tolva de pesado del agregado al momento en que se abre la compuerta para vaciar la mezcla ya elaborada. El tiempo total de mezclado es separado en un periodo de mezclado en seco y un periodo de mezclado húmedo.

Varios estudios han indicado que solo se necesita un corto tiempo de mezclado, a lo más, y solo en algunos casos no contribuye en nada para fabricar una mezcla de buena calidad. El diseño del mezclador, la graduación del agregado, y la segregación relativa de los agregados al ser introducidos en la cámara de mezclado, son factores que deben ser considerados.

El tiempo requerido de mezclado en una planta de funcionamiento discontinuo es un factor determinante en la producción de la planta. El volumen diario de producción de la planta depende directamente del tiempo de mezclado en cuestión. Asumiendo una capacidad suficiente de cribado y secado, un incremento en el tiempo de mezclado significa un decremento en la producción.

Se han efectuado varias pruebas para determinar el efecto del tamaño de la bachada en el rendimiento de mezclado. Una mezcla con agregado grueso y un bajo contenido de asfalto fué utilizada para asegurar una prueba válida en la habilidad de mezclado. Las pruebas para mezclas con graduaciones uniformes y asegurando un recubrimiento total de asfalto en las partículas mostraron que la cámara de mezclado probada disminuyó su eficiencia de mezclado entre todas las mezclas muestreadas, cumpliendo un mezclado completo para cada bachada en el mismo periodo de tiempo.

MAQUINARIA Y RENDIMIENTOS

6.7.6.2 Tiempo de mezclado para plantas de funcionamiento continuo

La planta de funcionamiento continuo difiere de la de funcionamiento discontinuo en el hecho de que es posible cambiar el ciclo de mezclado sin afectar la producción de la planta.

El proceso de mezclado en una planta continua comienza de hecho con el mezclado de los agregados graduados provenientes de las compuertas de las tolvas de frios que los lleva por medio del elevador de cangilones al proceso de mezclado. Este premezclado de los agregados es con el fin de obtener un secado completo de los mismos.

El asfalto es rociado a los agregados conforme entran a la cámara de mezclado, y así, la cobertura de los agregados comienza aún antes de que el tiempo medido de mezclado comience. El ciclo de mezclado se completa cuando el material es descargado de la cámara de mezclado.

La mayoría de las especificaciones requieren que el tiempo mezclado sea medido de la siguiente formula:

$$\text{Tiempo de mezclado en segundos} = \frac{\text{Capacidad en peso del mezclador}}{\text{Producción del mezclador en unidad de peso por segundo}}$$

6.7.7 BALANCE DE PRODUCCION DE UNA PLANTA

Frecuentemente, la capacidad de una planta es juzgada por el tamaño de la cámara de mezclado únicamente. Un rango de producción horaria es entonces calculado por el tamaño del mezclador y el tiempo requerido de mezclado.

Sin embargo, es importante reconocer la interdependencia de todos los componentes de la planta. Bajo una serie de condiciones ambientales dadas, las características de los agregados pétreos, y los requerimientos de mezclado, el factor limitante de la producción de una planta puede ser el secador, las cribas u otros componentes. Para resultados óptimos, los componentes de las plantas deberán ser seleccionados partiendo de la base de condiciones anticipadas bajo las cuales la planta será operada.

6.8 EQUIPO PARA EL ROCIADO DE ASFALTO O PETROLIZADORA

La mayor parte de los productos asfálticos para carreteras se utilizan en forma de tratamientos superficiales. La importancia de los tonelajes extendidos y la necesidad de obtener una gran regularidad, ha obligado a utilizar máquinas cada día más perfeccionadas como la petrolizadora de presión.

La petrolizadora de presión es una máquina de suma importancia dentro del equipo para la construcción de carpetas asfálticas. No importa que procedimiento constructivo sea utilizado, esta máquina siempre será de uso imprescindible para aplicaciones de riegos asfálticos como son los de impregnación liga y sello. La petrolizadora debe regar el producto asfáltico sobre el camino en cantidades exactas y, durante todo el tiempo que dure la carga del tanque debe conservar la misma razón de riego sin variar por cambios de pendiente o dirección del camino.

La petrolizadora consiste de un camión de dos ejes con llantas neumáticas en el cual va montado un tanque equipado con algún sistema de calentamiento, generalmente quemadores de aceite, que calienta directamente la tubería que pasa por todo el tanque. En la parte trasera de éste, hay una barra con un sistema de espreas de riego espaciadas regularmente, con inclinaciones variables para graduar los traslapes deseados en la zona de riego, a través de las cuales se aplica el material asfáltico a presión sobre la superficie del camino para asegurar una cobertura uniforme; estas espreas van colocadas aproximadamente a un pie de altura sobre la superficie que se va a regar. La barra de riego que se extiende a todo lo ancho del camión, debe esparcir material en un ancho de por lo menos tres metros, pero colocando tubos extensores, se puede extender hasta una anchura de 7 m. El sistema a presión se logra mediante un sistema de bombeo instalado en el tanque del camión, que tiene un medidor para controlar el gasto de bombeo. Los fabricantes recomiendan ajustar el medidor para un gasto en galones por minuto, de alrededor de 10 veces la longitud de la barra en pies. De ahí se selecciona la velocidad del camión para dar la cantidad necesaria de asfalto por unidad de área para la aplicación de que se trate.

Se debe tener en el tanque un termómetro apropiado para comprobar en cualquier momento la temperatura del producto que se está aplicando. La petrolizadora debe contar también con una manguera provista, en la punta de una boquilla, para regar a mano las partes en que no haya, o no se pueda regar con la barra de la misma máquina.

El control de la cantidad de producto asfáltico que se riega, se realiza por medio de un tacómetro que es un aparato similar al velocímetro pero cien veces más sensible.

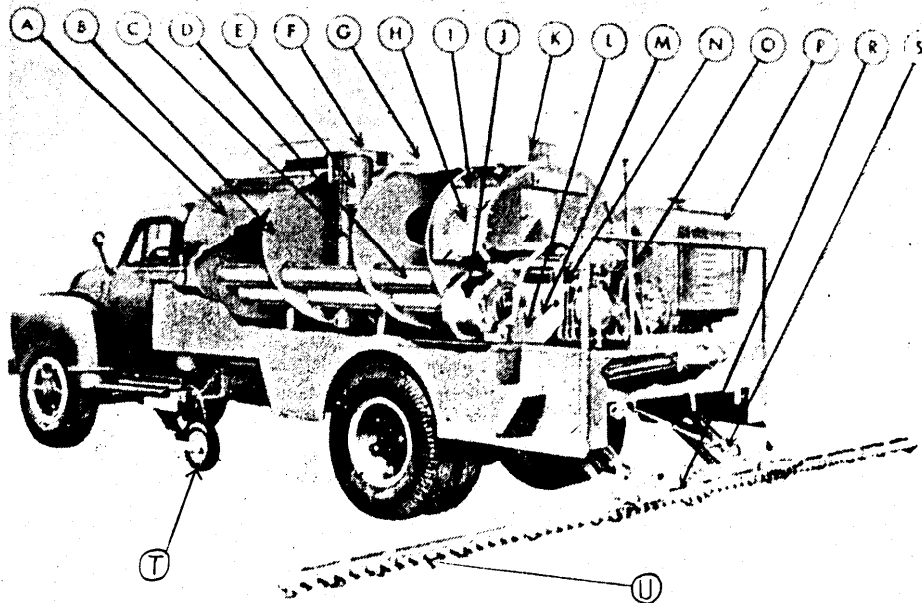
Cuando se va a regar asfalto con petrolizadoras, es necesario que se prevea una capacidad adicional de 5% como tolerancia debido a la expansión que sufre el asfalto al calentarse.

MAQUINARIA Y RENDIMIENTOS

6.8.1 PARTES DE UNA PETROLIZADORA

La petrolizadora consta de las siguientes partes:

A) Tanque de acero, B) Divisiones de lámina para evitar el fuerte ondular del asfalto, C) Derramadero, D) Tubos calentadores, E) Cedazo del registro, F) Registro, G) Calibrador de nivel del tanque, H) Válvula de control, I) Casa de válvulas, J) Bomba, K) Chimenea, L) Colector del tanque, M) Válvula del tanque, N) Quemadores de aceite, O) Barra de cambio, P) Motor de la bomba, R) Barra de riego, S) Soporte ajustable de la barra, T) Rueda controladora de la velocidad del tacómetro, U) Espreas rociadoras de material asfáltico.



MAQUINARIA Y RENDIMIENTOS

6.8.2 CALCULO DEL RENDIMIENTO DE UNA PETROLIZADORA

Las petrolizadoras son máquinas que tienen un rendimiento considerablemente mayor a cualquiera de las máquinas utilizadas en el proceso de pavimentación. Esto significa que no son críticas y que su optimización no es tan importante como en otros casos.

Los factores que intervienen en el rendimiento de una petrolizadora se pueden resumir de la siguiente manera:

- Velocidad de aplicación
- Ancho de aplicación
- Gasto promedio de las espreas
- Número de espreas
- Tiempo de carga
- Tiempo de ida
- Tiempo de aplicación (depende de la velocidad)
- Tiempo de regreso

Los factores mencionados varían de acuerdo a las necesidades y especificaciones del proyecto, así como a la capacidad y características de la petrolizadora a utilizar. En forma general, los pasos a seguir para determinar la producción serían los siguientes:

a) Determinar el ancho de aplicación del riego: Este varía de acuerdo a la máquina aplicadora y al número de pasadas que hay que dar para cubrir la superficie total del camino; es decir, si el ancho del camino es de 9 metros y la barra aplicadora mide 5 metros, podemos ajustar la barra a 4.5 m y dar dos pasadas.

b) Obtener el gasto de las espreas: Tenemos como dato la cantidad de material asfáltico por unidad de área para aplicar. Si nuestra barra de aplicación mide 15 pies (4.57 m), se recomienda un gasto en galones por minuto 10 veces mayor, es decir, de 150 gal/min. De ahí, dividimos el gasto total entre el número de espreas y obtendremos el gasto en cada una de ellas procediendo así, a su ajuste.

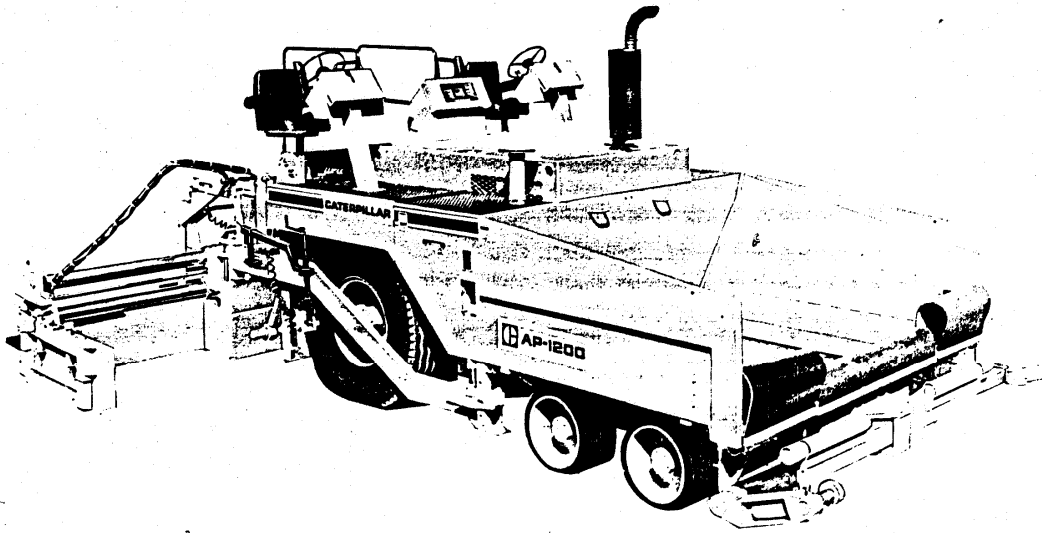
MAQUINARIA Y RENDIMIENTOS

c) **Determinar la velocidad de aplicación:** Primeramente determinamos el área que debemos regar en un tiempo de un minuto. Esta área se obtiene de dividir la cantidad de asfalto aplicado en un minuto entre el requerimiento de éste por unidad de área. Conocida el área, la dividimos entre el ancho de la barra de aplicación y obtenemos la distancia que debemos recorrer en un minuto, que, a fin de cuentas, es la velocidad de aplicación de la petrolizadora.

Ejemplificando lo anterior y con los datos de los incisos (a) y (b), supongamos que para nuestro proyecto necesitamos una aplicación de 0.4 gal/yd²; dividiendo 150 gal/min entre 0.4 gal/yd², tenemos que cubrir un área de 375 yd²/min. Dividiendo entre 5 yardas (15 pies) que es el ancho de la barra, tendremos una velocidad resultante de 75 yd/min; lo cual traducido al sistema métrico nos da una velocidad de aplicación aproximada de 4.11 km/hora.

MAQUINARIA Y RENDIMIENTOS

6.9 EXTENDEDORA DE ASFALTO



MAQUINARIA Y RENDIMIENTOS

En 1937, después de un periodo de 7 años de desarrollo, la compañía Barber Greene presentó la extendedora o acabadora de asfalto. Esta máquina redujo los costos e incrementó la producción de tendido de mezclas asfálticas, permitiendo así, que las mezclas asfálticas se convirtieran en el material más moderno para pavimentar carreteras.

6.9.1 LA ACTUAL EXTENDEDORA DE ASFALTO

La extendedora de asfalto moderna debe ser capaz de manejar cualquier tipo de mezcla asfáltica. Debe extender y compactar uniformemente estos materiales, dejando una superficie terminada lista para su compactación final con rodillos lisos de acero, vibratorios, y/o compactadores de neumáticos. Debe compensar irregularidades de menor grado y debe ser capaz de conformar las secciones transversales aceptables y peraltes en la construcción de modernas carreteras. Debe tener la fuerza necesaria para empujar grandes camiones de volteo y manipular material acamellonado frente a ella y operar en todo tipo de superficies, variando desde pavimentos viejos y agrietados a bases nuevas y bien construidas. La extendedora debe ser una máquina altamente sofisticada y refinada, y al mismo tiempo una pieza de maquinaria altamente resistente a trabajos pesados.

Una acabadora de asfalto típica consiste de dos unidades principales: La unidad tractiva que proporciona la potencia motriz a través de cadenas o neumáticos sobre la superficie de rodamiento. Esta unidad incluye la tolva receptora, alimentadores, tornillos extendedores, motor, transmisión, controles y asiento del operador.

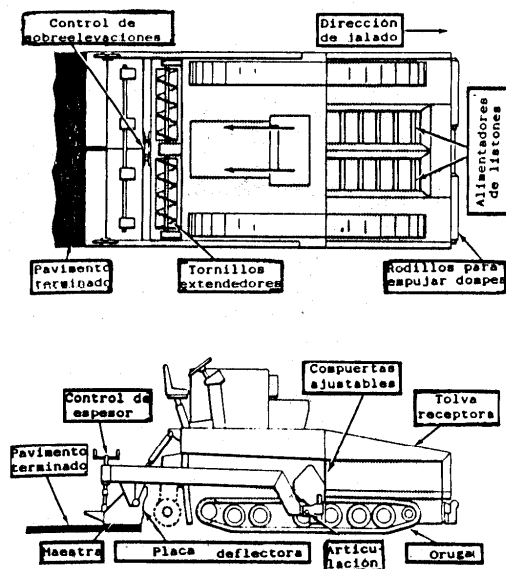
La unidad de la maestra enrasadora flotante es remolcada por la unidad tractiva. Los brazos niveladores se extienden hacia adelante de la unidad de la maestra y se articulan en una parte del cuerpo de la unidad tractiva. El mecanismo de compactación, controles de espesor, controles de la sección transversal, quemador, y la misma maestra enrasadora, forman parte de la unidad de la maestra. Al ser jalado por la unidad motriz, esta unidad descansa sobre el material que está siendo tendido.

6.9.2 FUNCIONAMIENTO DE LA MAQUINA ACABADORA DE ASFALTO

Las vistas en planta y transversal mostradas en la figura de la página siguiente, ilustran el flujo de material desde la tolva receptora al frente de la máquina hasta el pavimento detrás de la unidad de la maestra en la parte trasera de la extendedora. La mezcla es vaciada en la tolva de la acabadora desde un camión de volteo, la cual es empujada hacia adelante por la misma. Los rodillos montados al frente de la finisher (como comúnmente también se le llama) están en contacto con las llantas traseras cuando empujan al camión, permitiendo el vaciado a la tolva.

MAQUINARIA Y RENDIMIENTOS

Después de recibir el material en la tolva, dos alimentadores de listones controlados independientemente llevan la mezcla a través de compuertas reguladoras hasta los tornillos extendedores o transportadores de tornillo sin fin. Cada tornillo extendedor está sincronizado con su respectivo alimentador, permitiendo que la máquina distribuya la mezcla con precisión frente a la unidad de la maestra enrasadora flotante.



MAQUINARIA Y RENDIMIENTOS

La unidad de la maestra enrasadora se sujeta al tractor por medio de dos brazos niveladores que se articulan en la parte delantera de la unidad tractiva. Los brazos niveladores no proporcionan soporte a la maestra cuando se encuentra en posición de trabajo. Conforme se avanza, la acción flotante de la maestra compensa las irregularidades de la superficie que suben o bajan a la máquina. A medida que la unidad motriz jala a la maestra hacia el material de mezcla, ésta busca un nivel donde la trayectoria de su superficie inferior sea paralela a la dirección de el jalado. La maestra enrasadora puede ajustarse para un nuevo espesor de tendido, ajustando los controles de espesor para cambiar el ángulo de ataque o inclinación de la maestra. La compactación inicial detrás de la maestra varía en función de la velocidad de pavimentación, material, temperatura, y el esfuerzo de compactación proporcionado por la maestra.

Los tornillos extendedores están montados y conectados en la unidad tractiva, y operan con el alimentador de listones a cada lado de la máquina. Se cuenta con controles automáticos de alimentación para asegurar un nivel constante de material en los tornillos en cualquier momento. Estos controles automáticos de alimentación se localizan en el compartimiento de los tornillos y controlan a los alimentadores por medio de un dispositivo de señalamiento que determina, por sensores, la altura del material. A medida que el nivel de material en los tornillos comienza a elevarse en una pavimentadora hidrostática, el control automático del alimentador disminuye la velocidad de los alimentadores; por el contrario, cuando el nivel disminuye, los controlés aceleran a los alimentadores para mantener un nivel constante de material. En algunas máquinas, en su mayoría extendedoras manejadas mecánicamente, los alimentadores no operan continuamente. En estas acabadoras, es necesario que las compuertas de los alimentadores se ajusten cuidadosamente para proporcionar lo más que se pueda, una operación continua (85%-90%). Si lo anterior no se cumple, las variaciones en el nivel de material antes de llegar a la maestra enrasadora, pueden causar variaciones en la carpeta tendida por la finisher.

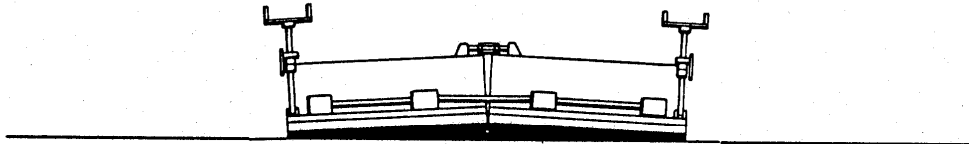
Los controles de las compuertas reguladoras se localizan en la unidad motriz de la extendedora para permitir al operador de la maestra ajustar la cantidad de material tomado por la tolva y conducido hacia los tornillos extendedores. Estas compuertas, propiamente ajustadas, aseguran un flujo uniforme de mezcla al compartimiento de los tornillos extendedores, minimizando así la intervención del embrague del alimentador en pavimentadoras manejadas mecánicamente y ayudar a mantener un nivel uniforme de mezcla adelante de la unidad de la maestra enrasadora.

La unidad de la maestra también está equipada con quemadores para prevenir que la mezcla se adhiera a la superficie de la maestra. Estos quemadores se utilizan para calentar la superficie de la maestra cuando la temperatura del aire es baja o cuando se empieza a trabajar por la mañana. No deberán utilizarse para calentar la mezcla si esta viene de la planta a una temperatura muy baja. La temperatura de la mezcla deberá ser incrementada en la planta y no en la finisher.

MAQUINARIA Y RENDIMIENTOS

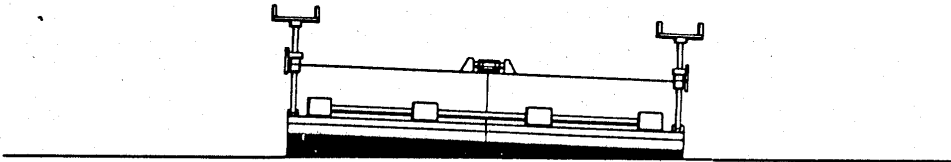
6.9.2.1 Pendientes transversales y sobreelevaciones

Los ajustes del control de la sección transversal en el centro de la maestra enrasadora proporciona el contorno deseado del pavimento terminado. Los tornillos delantero y trasero para secciones transversales se conectan de tal manera que un solo nivelador controle la pendiente transversal en forma uniforme y simultánea. El tornillo delantero puede también ajustarse independientemente para llevar a cabo un ligero cambio de pendiente adicional requerido normalmente para un mejor resultado en la superficie. Esta operación se realiza en el proceso de pavimentación y se ajusta de tal manera que la carpeta que está siendo tendida adquiera la textura deseada en la superficie.



Sección transversal

La maestra enrasadora puede ajustarse también para producir una sobreelevación incrementando el grosor de la carpeta en un lado de la maestra a través del uso del tornillo de control de espesor como se muestra a continuación:

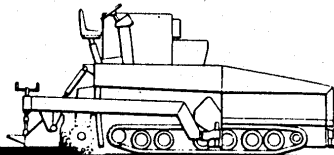


Sobreelevación

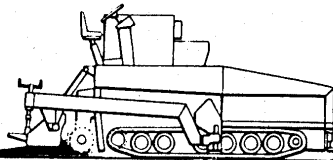
MAQUINARIA Y RENDIMIENTOS

6.9.2.2 Acción niveladora de la extendedora

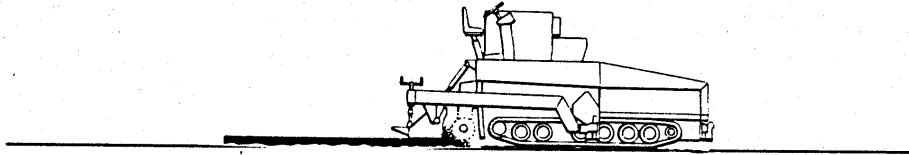
Es inherente en el diseño básico de la mayoría de las acabadoras de asfalto, el principio de autonivelación. Esto no debe ser confundido con el control automático de la maestra. Este principio único depende del tiempo, distancia y estabilidad de la mezcla y no de una relación mecánica determinada. Las irregularidades menores de la base entre las ruedas de la finisher son virtualmente eliminadas debido a este principio de autonivelación. Propiamente utilizado, puede producir una carpeta plana y nivelada sobre una base áspera o un camino agrietado y desnivelado. Conforme la maestra es jalada hacia el material de mezcla por la unidad tractiva de la pavimentadora, ésta busca automáticamente un nivel en el cual la parte inferior de la maestra sea paralela a la dirección del jalado del punto de articulación de los brazos niveladores.



a) La extendedora mantiene un nivel de carpeta constante sobre el nivel de la superficie.



b) Cuando se hacen ajustes para una carpeta más gruesa, la máquina hace una transición gradual para el nuevo espesor. No se pueden realizar cambios abruptos.



c) La finisher compensa automáticamente las irregularidades de la base, tendiendo sin la atención del operador.

6.9.2.3 Controles de espesor

El operador de la maestra enrasadora puede cambiar el grosor de la carpeta tendida por medio del uso de los tornillos de control de espesor de la maestra enrasadora. Estos controles permiten que la parte interna de la maestra sea inclinada hacia arriba o hacia abajo. La maestra entonces ascenderá o descenderá hasta que alcance el nuevo nivel en donde la parte inferior de la maestra sea de nuevo paralela a la dirección del jalado. La figura (a) nos muestra la extendedora de asfalto tendiendo un nivel de carpeta de espesor uniforme sobre el nivel de base. La máquina continuará tendiendo tal carpeta de forma indefinida sin ningún ajuste de tipo manual hasta que:

(1) El operador accione el tornillo de control de espesor lo que ocasiona que la máquina extienda automáticamente de manera ascendente o descendente hasta alcanzar el nuevo espesor y la maestra sea de nuevo paralela a la dirección de jalado (b).

(2) La máquina encuentre una irregularidad en la base provocando que la acabadora aumente o disminuya automáticamente el espesor de la carpeta para compensar la irregularidad; produciendo así, una superficie nivelada sobre una base irregular. La carpeta se hace automáticamente más gruesa para llenar las depresiones de la base y más delgada sobre las protuberancias para nivelar así posibles topes (c).

Debido a la característica propia de autonivelación de la máquina y el tiempo de reacción de la maestra relativamente largo para cualquier cambio de nivel en la unidad tractiva, las orugas o llantas del tractor podrán cambiar de nivel pero la maestra tardará mucho más en llegar a este nuevo nivel. El tractor puede subir y bajar un pequeño tope o depresión, con una reacción mínima de la maestra, dejando de esta manera una superficie relativamente bien nivelada.

MAQUINARIA Y RENDIMIENTOS

6.9.3 FUNCIONES PRINCIPALES DE LA ACABADORA DE ASFALTO

En forma más específica, describiremos las funciones principales que realiza esta máquina que son tres; cada una de las cuales es crítica para el rendimiento total de la pavimentación:

- a) **Manipulación de material:** El material depositado en la tolva es desplazado por los alimentadores de listones y los tornillos extendedores sin fin a su posición para ser allanado por la maestra enrasadora.
- b) **Tendido de la capa de rodamiento:** El espesor y lisura de la capa de material son establecidos por la maestra enrasadora a medida que este componente flotante y autonivelador golpea y apisona la mezcla.
- c) **Movimiento hacia adelante:** Al ser autopropulsada, la unidad tractiva controla la velocidad de pavimentación.

La calidad del pavimento terminado depende de la suplementación y equilibrado de estas tres funciones interrelacionadas.

Por ejemplo, la función de nivelación y compactación de la maestra enrasadora proporciona resultados óptimos cuando:

- a) No varía la velocidad hacia adelante de la máquina.
- b) El suministro de material a la tolva receptora es adecuado y constante.
- c) La distribución del material a través de la parte interior o delantera de la maestra enrasadora es uniforme y se efectúa a un nivel constante.
- d) Los factores variables que afectan la nivelación de la maestra enrasadora se mantienen bajo control.
- e) Las fuerzas de compactación en la maestra enrasadora se mantienen a un nivel constante.

En la página siguiente se muestra un diagrama de flujo ilustrativo del proceso de trabajo de la máquina extendidora de asfalto.

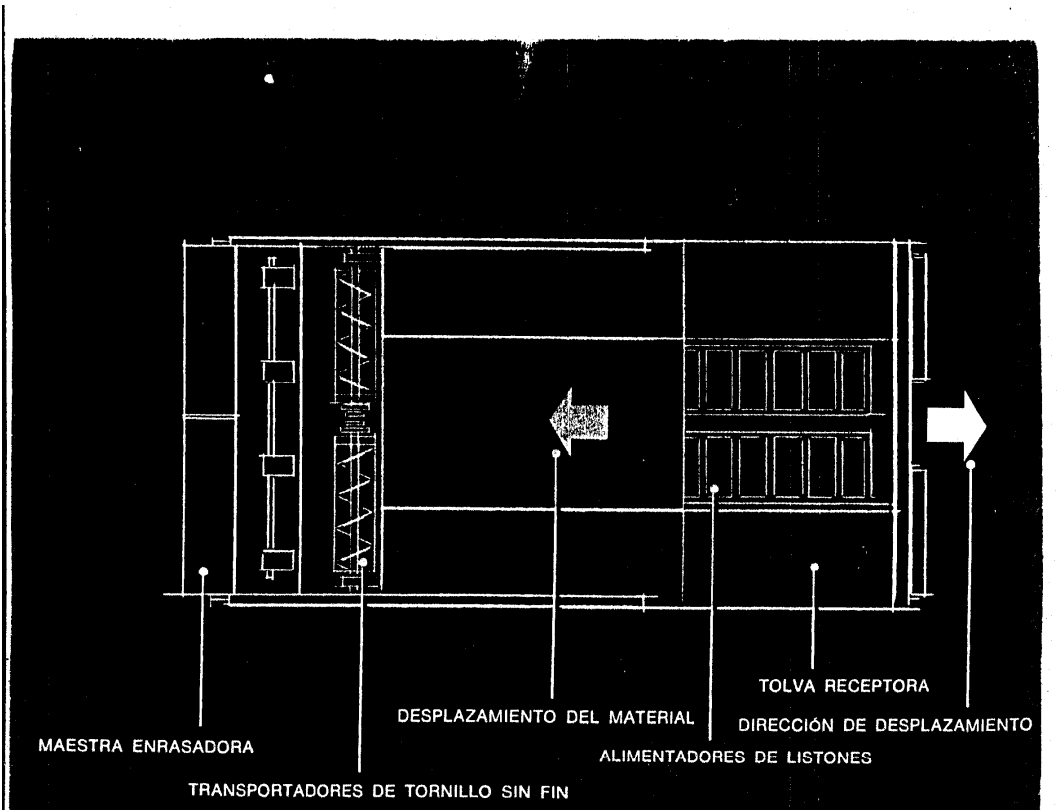


Diagrama del proceso de trabajo de una máquina extendidora de asfalto.

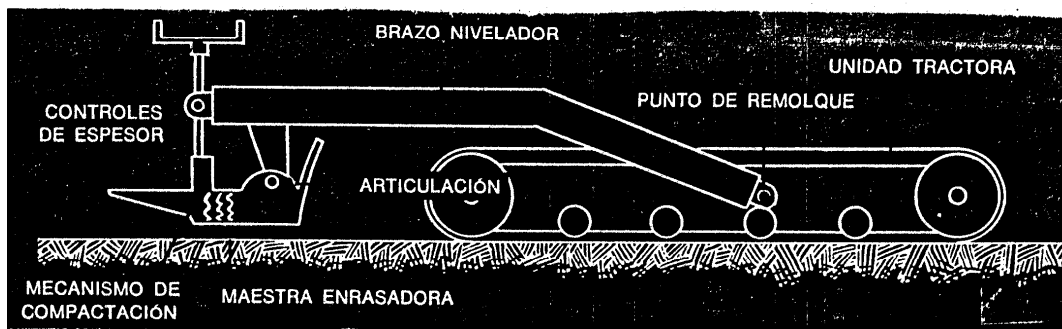
MAQUINARIA Y RENDIMIENTOS

6.9.4 MAESTRA ENRASADORA Y ACCIONES QUE LA AFECTAN

Para conseguir un adecuado control del enrasado (que constituye la función más importante proporcionada por la máquina pavimentadora para obtener una carpeta asfáltica lisa y duradera) es necesario comprender las fuerzas que afectan sus acciones flotante y autoniveladora.

Los elementos de la máquina acabadora que afectan la acción autoniveladora de la maestra enrasadora se muestran en la siguiente figura que incluye:

- a) Dos puntos de pivote o remolque de brazos niveladores sobre el bastidor del tractor.
- b) Los dos brazos niveladores.
- c) La propia maestra enrasadora.
- d) Los mandos de regulación de espesor.
- e) El mecanismo de compactación.



Elementos de la maestra enrasadora flotante autoniveladora.

MAQUINARIA Y RENDIMIENTOS

A medida que se desplaza la unidad tractiva a lo largo de la base subyacente, va remolcando la maestra enrasadora mediante sus brazos niveladores. El espesor del pavimento se establece mediante los tornillos de regulación que ajustan el ángulo de la maestra enrasadora con relación a los ejes geométricos de los brazos niveladores. Al variarse este ángulo se hace que la maestra enrasadora se desplace hacia arriba o hacia abajo, proporcionando así la regulación del espesor de la capa de rodamiento. El material es pasado debajo del borde delantero de la maestra enrasadora y es comprimido para proporcionar una carpeta uniformemente compactada.

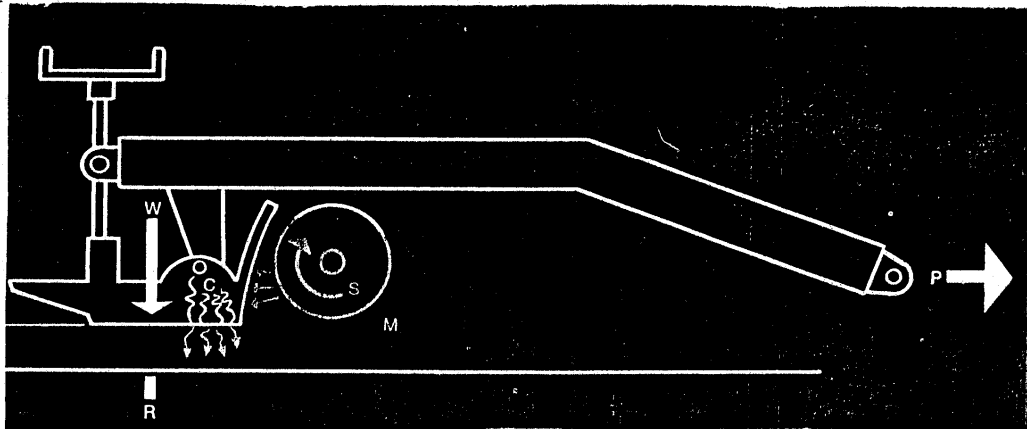
6.9.4.1 Fuerzas que actúan sobre la maestra enrasadora

Ciertas fuerzas que actúan sobre la maestra enrasadora pueden afectar sus funciones de nivelación y compactación independientemente de las perturbaciones o errores introducidos en los puntos de remolque (consulte la figura de la siguiente página). De hecho, la maestra enrasadora flotante depende de un sistema de fuerzas para funcionar. Como en cualquier sistema de fuerzas, la acción resultante no puede mantenerse en una condición estable si una o más de las diversas fuerzas que intervienen en el sistema se ven sometidas a variaciones no controladas.

Entre estas fuerzas tenemos:

- a) El peso de la maestra enrasadora (W).
- b) La reacción del material al peso de la maestra enrasadora (R).
- c) La fuerza de remolque ejercida a través de los brazos de nivelación (P).
- d) La resistencia del material en la parte delantera y debajo de la maestra enrasadora al movimiento hacia adelante de la misma, que a su vez se ve afectada por la viscosidad del asfalto, granulometría, y otras características de fluidez de la mezcla (M).
- e) Rotación del transportador del tornillo sin fin (S).
- f) Acción compactadora de la maestra enrasadora (C).

Cuando todas estas fuerzas están en equilibrio, el sistema es estable y el proceso de nivelación responderá solamente a las perturbaciones verticales introducidas en los puntos de remolque del brazo de nivelación. Por otra parte, cuando cualquiera de estas fuerzas que actúa en la maestra enrasadora resulta perturbada, el proceso de nivelación se verá consecuentemente alterado hasta que el sistema de fuerzas se vuelva a equilibrar.



P = Fuerza de tracción

W = Peso de la maestra enrasadora

R = Reacción de la mezcla asfáltica

M = Resistencia de la mezcla al movimiento hacia adelante de la maestra enrasadora

C = Fuerza de compactación

S = Rotación del transportador del tornillo sin fin

Fuerzas principales que actúan sobre la maestra enrasadora flotante.

MAQUINARIA Y RENDIMIENTOS

6.9.4.2 Efectos en la alteración de cantidades de material en la cámara del tornillo extendedor sin fin

Como se puede ver en la figura de la página anterior, la cantidad y distribución de materiales que son desplazados hacia adelante por la placa deflectora de la maestra enrasadora comprenden el principal componente de la fuerza que se resiste al movimiento hacia adelante de la maestra. El control de esta fuerza constituye una función necesaria para el rendimiento óptimo del proceso de nivelación.

Una variación en el nivel de material no solamente altera consecuentemente la fuerza de tracción, sino que altera también la compactación del material asfáltico en la zona que está inmediatamente delante de la porción enrasada de la maestra. A medida que disminuye la cantidad de material, disminuye la densidad; a medida que aumenta la cantidad, aumenta la densidad.

Las variaciones en la densidad afectan el esfuerzo interior desarrollado dentro de la estructura de la mezcla, lo cual a su vez afecta la fuerza que se resiste al peso de la maestra enrasadora y su acción compactadora. Por lo tanto, si el material pasa debajo del enrasador en un estado menos compactado, el menor esfuerzo hará que la maestra enrasadora se hunda al estar sometida a su propio peso, hasta que se desarrolle la estabilidad precisada. El resultado de esto es la colocación de una hilada más delgada. Inversamente, si la mezcla se enrasa en una condición más densa, la maestra enrasadora ascenderá porque se precisa una menor densificación debajo de la maestra enrasadora para sostener su peso.

Puesto que el coronamiento o sobreelevación del material afecta la densidad en la zona de enrasado, se deduce que apreciables variaciones en la cantidad de material causarán variaciones en el espesor de la carpeta tendida.

Por lo tanto, es imprescindible controlar la cantidad de material en la cámara del tornillo extendedor sin fin delante de la maestra enrasadora, para obtener un funcionamiento óptimo de nivelación y compactación de la maestra.

6.9.4.3 Efecto en la variación de la velocidad de tendido de la máquina acabadora

La densidad del material en la zona de enrasado proporcionada por la acción compactadora de la maestra enrasadora, variará a medida que varíe la velocidad hacia adelante de la máquina. Esto es porque el número de golpes (o impactos) aplicados a una zona o cantidad de material determinados, depende de la velocidad a la que actúa la maestra enrasadora y pasa sobre la mezcla.

Si la máquina acabadora disminuye su velocidad, se presenta una mayor compactación y la maestra enrasadora asciende; si la máquina aumenta su velocidad de tendido, tendremos una menor compactación y la maestra enrasadora descenderá.

MAQUINARIA Y RENDIMIENTOS

Desde luego, para satisfacer los diversos regímenes de producción deseados así como los distintos anchos y espesores del material, una máquina acabadora debe ser capaz de funcionar a distintas velocidades. Sin embargo, deberán evitarse las variaciones de velocidad no controladas para conseguir un funcionamiento óptimo de la maestra enrasadora flotante.

6.9.4.4 Efecto en la variación de la acción del tornillo extendedor sin fin

A medida que el tornillo distribuidor actúa para mover el material de pavimentación desde la porción central a los extremos de la maestra enrasadora, se ejercen fuerzas sobre la placa deflectora a través del material. Como se ha indicado anteriormente, estas fuerzas varían según el nivel de material en el compartimiento del tornillo extendedor sin fin. Debido a que las variaciones afectan las presiones aplicadas contra la maestra enrasadora y la densidad del material, el tornillo sin fin deberá hacerse funcionar con el menor número posible de interrupciones, asegurando así una estabilidad óptima de la maestra enrasadora y una capa de rodamiento lisa.

6.9.4.5 Proceso de compactación de la maestra enrasadora

Además de la función de enrasado y nivelación realizados por la maestra, esta unidad compacta el material de pavimentación tanto en la zona de enrasado como de bajo de la propia chapa de la maestra enrasadora. Hemos observado el efecto que la velocidad de pavimentación y las cantidades de material tienen sobre la compactación. Esta compactación se ve afectada también por el peso de la maestra enrasadora y la cantidad y tipo de energía de compactación generada por la maestra.

La maestra enrasadora puede estar equipada con barras de apisonado a lo largo de su borde delantero, unidades vibratorias acopladas a la plancha o bastidor de la maestra, una combinación de barras y vibradores, u otros dispositivos.

El elemento clave a tener presente al considerar la compactación durante el enrasado y nivelación, es que el material deberá apisonarse uniformemente, no solamente en la dirección longitudinal de pavimentación, sino también transversalmente a través del ancho de la capa de rodamiento. La compactación uniforme resulta importante por dos razones:

- a) Conseguir una nivelación óptima con la maestra enrasadora flotante
- b) Asegurarse de que cuando pase posteriormente el compactador, realice una compactación permanente en la capa tendida.

MAQUINARIA Y RENDIMIENTOS

En condiciones ideales, la propia maestra enrasadora puede ser capaz de consolidar la mezcla hasta un nivel en que no se distinguiría una compactación posterior. La evolución de los mecanismos de las maestras enrasadoras durante los años ha hecho mejorar sus posibilidades de compactación hasta un grado en que casi se alcanza este ideal, y algunas veces se consigue cuando la velocidad de pavimentación es muy reducida.

Sin embargo, en la práctica, los actuales regímenes de producción exigen mayores velocidades de tendido, por lo que la capacidad de compactación de la maestra enrasadora no puede utilizarse al máximo, y es necesario un compactado posterior con equipo especializado.

Los elementos de la uniforme consolidación de la mezcla, combinados con el preciso control de la velocidad de pavimentación y la distribución del material, se integran para formar una relación de fuerzas estables en el proceso de enrasado y, por consiguiente, la obtención de una carpeta asfáltica lisa y uniformemente compactada.

6.9.5 TRANSMISION MODERNIZADA DE LA FUERZA

Mientras que una máquina acabadora es capaz de colocar una capa de asfalto a través de una amplia gama de regímenes de pavimentación, la velocidad con que ésta se efectúa debería coordinarse con el régimen de producción de manera que los alimentadores y otras funciones de la máquina acabadora puedan funcionar lo más continua y uniformemente posible.

Con el control hidrostático, es posible conseguir lo arriba mencionado. El funcionamiento hidrostático no es nuevo en la industria de pavimentación con asfalto; básicamente es un perfeccionamiento y avance del funcionamiento hidráulico.

Los sistemas de transmisión hidrostática, a pesar de su buen funcionamiento, exigen controles precisos. De lo contrario, las ventajas inherentes de este método pueden perderse por el efecto de obtener una relación variable en relación a las cargas no constantes.

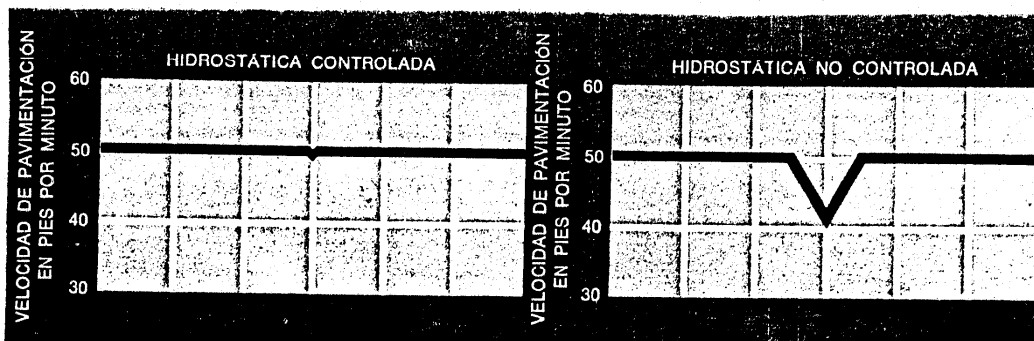
6.9.6 PROPULSION CONTROLADA

Por ejemplo, una máquina acabadora que empuja un camión cargado durante la operación de pavimentación, desarrollará una cierta presión y caudal de fluido en su sistema de propulsión hidrostático. A medida que el camión transfiere su carga, y especialmente cuando se separa completamente de la máquina acabadora, se cambia el sistema de transmisión de la misma. Desciende la presión y aumenta el caudal de fluido, originando el aumento de velocidad hacia adelante. Si la velocidad no está controlada, como hemos indicado anteriormente, esto tendrá un efecto indeseable sobre el proceso de nivelación y compactación.

MAQUINARIA Y RENDIMIENTOS

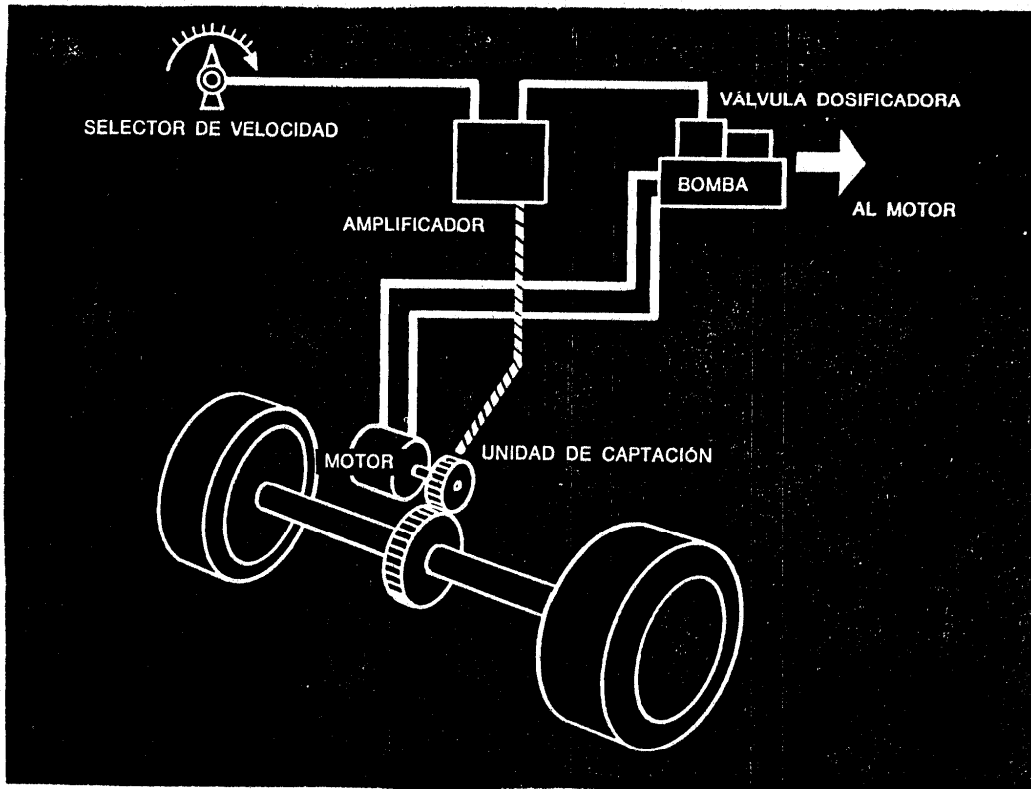
Las pruebas en el campo han demostrado que al variar las cargas en la pavimentadora, las técnicas de frenado de los distintos conductores de camión, variaciones en el nivel y otras variables de exigencias de trabajo pueden generar considerables cambios de velocidad en la máquina acabadora. Como ejemplo podemos decir que, para una velocidad de 50 pies por minuto, se ha experimentado una variación de ± 8 pies por minuto lo que nos da un margen total del 32%.

Para equilibrar la relación inversa del caudal hidráulico con respecto a la presión ejercida, se han desarrollado recientemente sistemas que controlan la velocidad hacia adelante de la máquina acabadora con una tolerancia de $\pm 1\%$ de una velocidad previamente determinada, seleccionada por el operario (ver la figura de abajo)



Efecto de la hidrostática controlada y sin controlar sobre la velocidad de la pavimentadora.

En estos casos, un dispositivo de captación sensible a los impulsos controla la velocidad de un engranaje colocado en la transmisión final de las ruedas o las orugas, controlando de esta manera la verdadera velocidad sobre la superficie. Sus señales, debidamente amplificadas, regulan el caudal de fluido en el sistema al accionar una válvula dosificadora. A medida que varían las cargas en el sistema de transmisión de la máquina acabadora, el sistema regula automáticamente el caudal para mantener la velocidad de propulsión. De esta manera, la velocidad de pavimentación, una de las principales variables que afectan el rendimiento de la maestra engrasadora flotante puede someterse a un preciso control tal y como se muestra en el siguiente esquema:



Control automático de la velocidad de pavimentación.

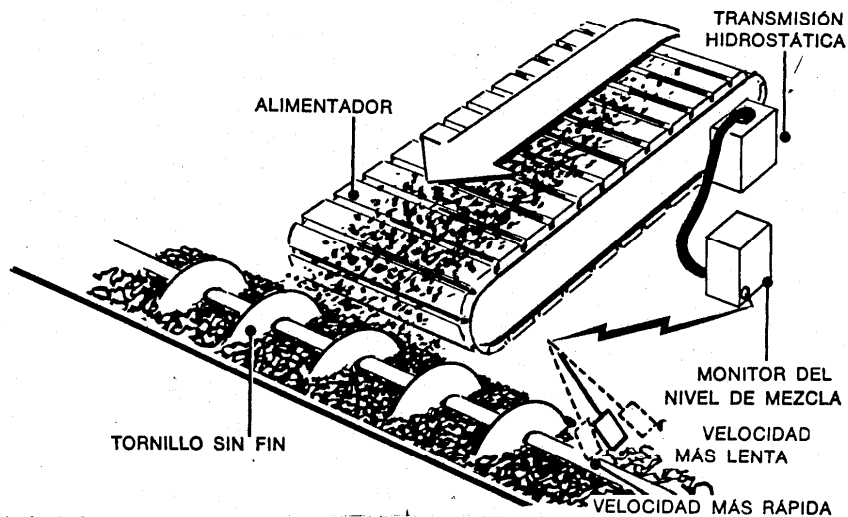
6.9.7 DISTRIBUCION CONTROLADA DEL MATERIAL

Durante muchos años, la alimentación de material se realizaba manualmente a través de canales de descarga controlados por el operador. Hace algunos años, se idearon alimentadores automáticos para regular la altura del material en la cámara del transportador del tornillo sin fin, y con ello controlar mejor el nivel de material, que es otra de las variables principales que afectan el comportamiento de la maestra enrasadora.

En estos sistemas, un dispositivo sensor de brazo con paletas, que gira sobre su eje de montaje, flotaba encima del material. A medida que el nivel de la mezcla ascendía, el brazo giratorio establecía contacto con interruptores de límite, los cuales activaban y desactivaban los embragues para proporcionar

MAQUINARIA Y RENDIMIENTOS

un funcionamiento intermitente "conectado-desconectado" de la combinación alimentador-tornillo sin fin. Los alimentadores y tornillos sin fin funcionaban a un régimen de velocidad constante cuando estaban conectados ("on") y se detenían completamente cuando se desconectaban ("off").



El nivel de la mezcla en la parte delantera de la maestra se controla continuamente y se alimenta una señal eléctrica a la transmisión hidrostática variable del alimentador y del tornillo sin fin. En caso de que el nivel de la mezcla comience a ascender o descender, el monitor hará automáticamente que el alimentador y el tornillo sin fin aumenten o disminuyan la velocidad para mantener el nivel de mezcla correcto.

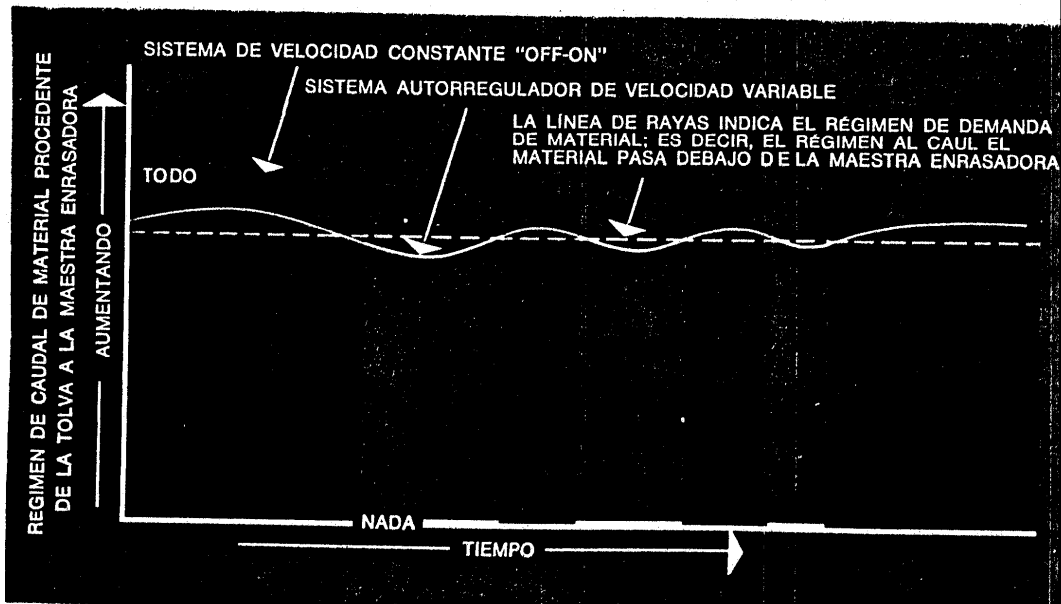
Sistema de alimentador y tornillo sin fin de hidrostática controlada.

Al verse liberado de la carga de tener que alimentar material, el operador de la máquina acabadora podía ahora prestar más atención a conducir la máquina y realizar otros controles necesarios de la máquina. Sin embargo, la naturaleza "on-off" (conectado-desconectado o todo-nada) de los alimentadores y tornillos sin fin, todavía permitían que fluctuasen los niveles del material.

MAQUINARIA Y RENDIMIENTOS

Las variaciones en la carga del motor y el tren de fuerza, por su parte, causaban la brusca alteración de la velocidad de tendido y también apreciables variaciones de las fuerzas que afectaban la nivelación de la maestra enrasadora.

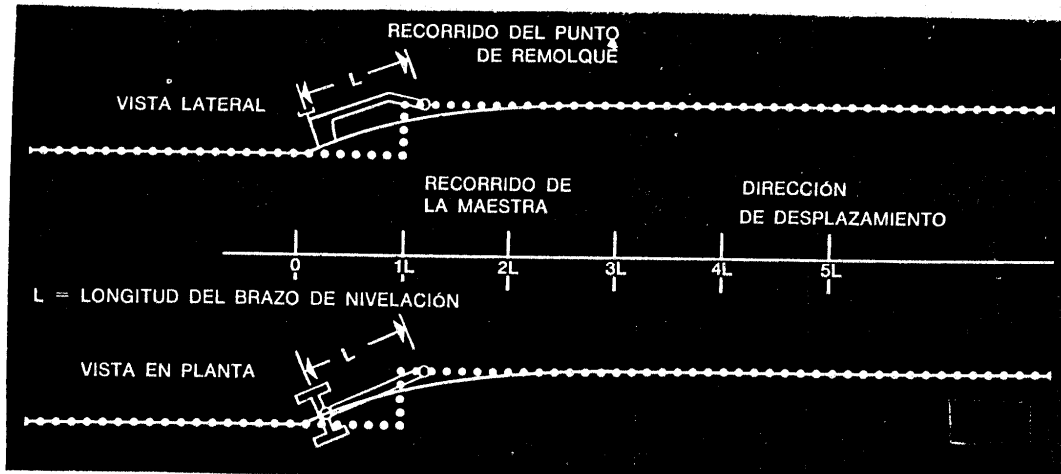
La respuesta más reciente al problema es el sistema de control proporcional del alimentador-tornillo sin fin (ver la figura de la página anterior). Ahora, en vez de "on" u "off" (todo o nada), la respuesta a una variación en el nivel de material en los tornillos sin fin hace que sea proporcional a la magnitud de la variación. El sistema se regula solo, estando la velocidad de los alimentadores y tornillos sin fin controlada para satisfacer la demanda o régimen al cual se coloca el material. No existe prácticamente ninguna variación en el nivel o distribución del material en la parte delantera de la maestra enrasadora, y una variación muy pequeña en la velocidad de los tornillos sin fin accionados continuamente para una cantidad dada de material que pasa debajo de la maestra enrasadora, y por lo tanto, se proporciona una condición estable para el proceso de nivelación de la maestra enrasadora (ver la figura al pie de página). Las fuerzas que actúan sobre la maestra enrasadora flotante se mantienen dentro de un margen de variabilidad mucho más estrecho que en el caso del sistema "on-off", consiguiéndose así otra importante contribución al objetivo de la máquina pavimentadora: una superficie lisa y uniformemente compactada.



Sistemas de control de alimentador-tornillo sin fin de velocidad variable autorreguladora y "Off-On" (Todo-Nada).

6.9.8 DESCRIPCIÓN MATEMÁTICA DE LA ACCIÓN DE LA MAESTRA ENRASADORA

Cuando los puntos de remolque de la maestra enrasadora se ven sometidos a una perturbación de función escalonada (o movimiento de escalón vertical), la maestra enrasadora traza una curva logarítmica. Este tipo de respuesta, conocido como el sistema de constante de tiempos simple, resulta duplicado en muchas otras zonas de la descripción matemática. Puede establecerse una simple analogía con las ruedas y barra de un carro, por ejemplo, como se indica en la siguiente figura:



Analogía - barra de carro y maestra autoniveladora perturbación de la función de escalón.

Si el punto de remolque de la barra se hace que siga un movimiento de escalón horizontal, el punto medio del eje geométrico describirá el mismo tipo de curva logarítmica horizontal que la curva vertical trazada por la maestra enrasadora autoniveladora.

La curva logarítmica que traza la acción niveladora de la maestra enrasadora expresada en términos de logaritmos naturales de base e , y la longitud efectiva del brazo de nivelación, L , en donde "y" y "x" son, respectivamente, las ordenadas vertical y horizontal del recorrido de la maestra enrasadora desde el origen del escalón, puede quedar así:

$$y = e^{-x/L}$$

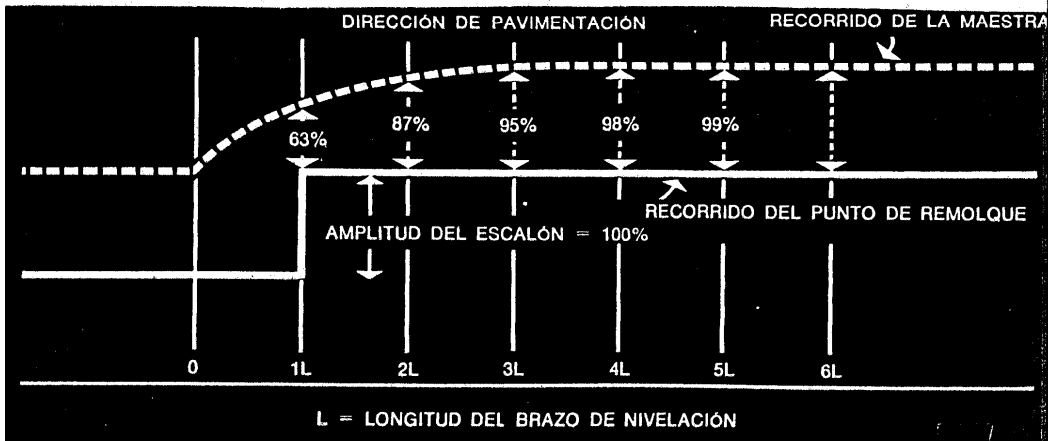
MAQUINARIA Y RENDIMIENTOS

Esto proporciona la relación de espacio de la maestra con referencia a su nuevo nivel después de que ha tenido tiempo para actuar el pleno efecto de la perturbación debida a la función de escalón. Restando este valor de "uno", obtenemos:

$$y = 1 - e^{-xL}$$

Esto nos da el valor de "y" en términos del nivel antiguo de la maestra enrasadora antes de que se introdujese la perturbación.

Sustituyendo diversos valores de "x" en la ecuación anterior, puede demostrarse que el 63.2% del nuevo nivel se obtiene después de haber recorrido la longitud de un brazo de nivelación hacia adelante; el 86.5% cuando se han recorrido dos longitudes del brazo de nivelación; el 95.02% una vez recorridas tres longitudes del brazo de nivelación; el 98.17% para cuatro longitudes del brazo; y el 99.33% al haberse recorrido cinco longitudes del brazo de nivelación. La curva de respuesta de la maestra enrasadora flotante a una perturbación debida a la función de escalón, puede verse a continuación:



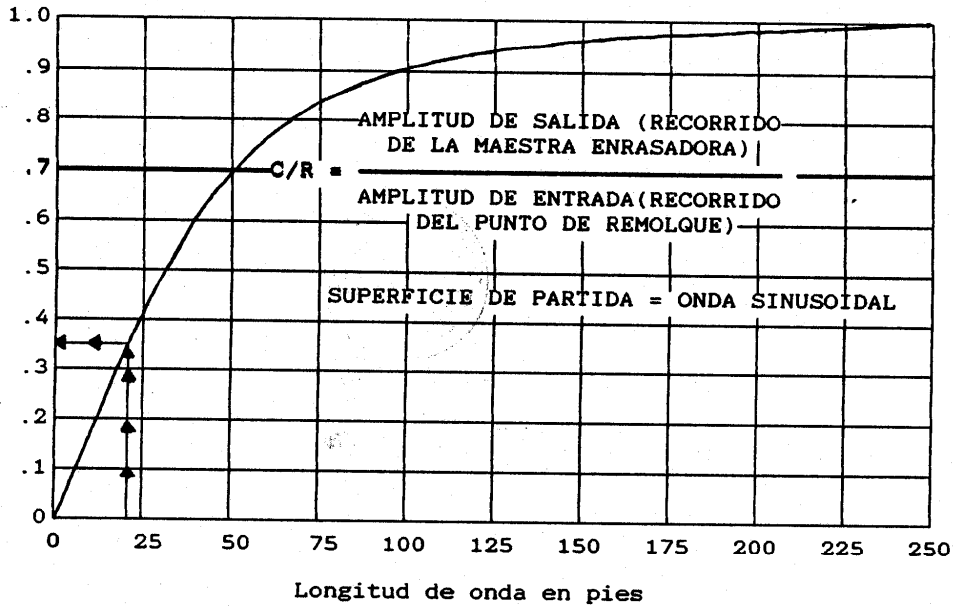
Perturbación debida a la función de escalón, respuesta instantánea de la maestra enrasadora.

Si bien este análisis de la respuesta instantánea de la maestra enrasadora a la función de escalón y otros tipos de perturbaciones resulta útil para comprender la maestra enrasadora autoniveladora, resulta más práctico analizar su respuesta al tipo más común de falta de uniformidad de contorno que pueda encontrarse en el trabajo de pavimentación: una superficie ondulante sobre la que la máquina acabadora está variando continuamente por encima y por debajo del nivel medio en forma sinusoidal.

MAQUINARIA Y RENDIMIENTOS

La figura que a continuación mostramos muestra la curva de respuesta de frecuencia para una máquina acabadora de 2.44 metros (8 pies), que trabajan en tales condiciones de construcción típicas:

Curva de respuesta de frecuencia de la maestra enrasadora autoniveladora con un brazo nivelador de 2.44 m de largo efectivo

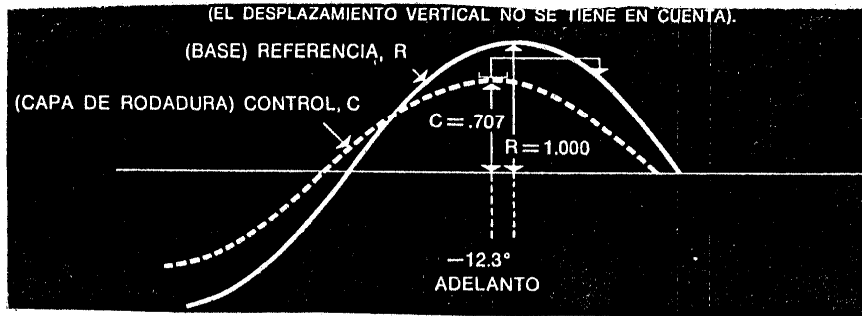


Ejemplo: Para una longitud de onda de 20 pies, la relación de salida/entrada = 0.33; es decir, el recorrido de la maestra enrasadora describirá una forma de onda con una amplitud (altura) igual al 33% de la trayectoria seguida por los puntos de remolque del brazo nivelador.

Obsérvese que los puntos de remolque de la maestra enrasadora, sometidos a la superficie sinusoidal, describen una onda senoidal; en este caso con longitudes de onda de hasta 250 pies (76.2 metros).

MAQUINARIA Y RENDIMIENTOS

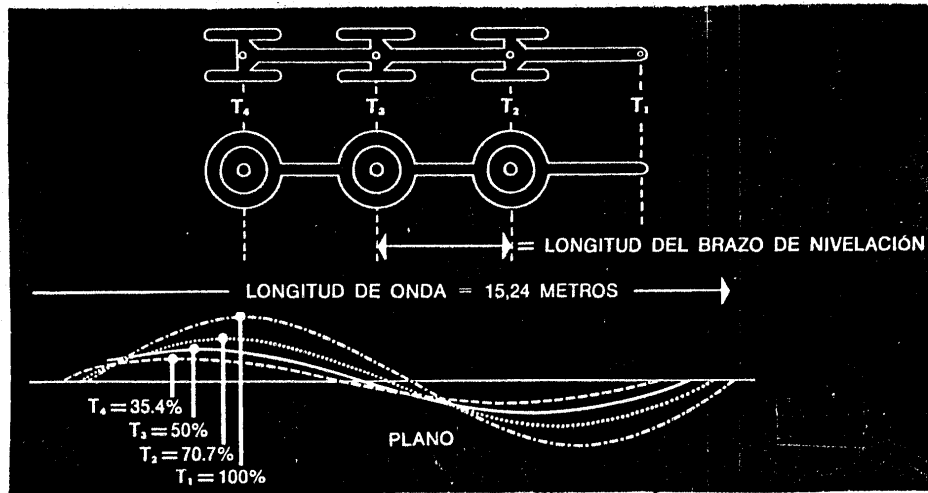
La siguiente figura representa una máquina acabadora con una longitud media del brazo nivelador de 2.44 metros (8 pies), que se desplaza sobre otra carretera sinusoidal típica.



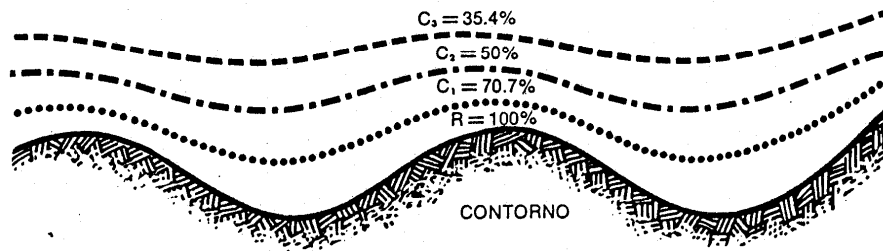
Efecto de nivelación, respuesta de la maestra enrasadora para una longitud de onda de 15.24 metros.

La curva "R" representa la referencia de la superficie de partida. La curva "C" representa la superficie de rodamiento de control o terminada. La curva "R" en este ejemplo tiene una longitud de onda de 15.24 metros. Como se indica, el valor máximo de la curva de salida "C" es un 70.7% del valor máximo de la curva de entrada y se produce en una posición que está 12.3 grados por delante.

Para representar la acción de nivelación producida por tres fases de la máquina acabadora sobre una carretera rugosa y ondulada, se dispone de las correspondientes ecuaciones. Este tipo de movimiento y respuesta es análogo a un tercer retardo de tiempo, en la forma presentada por las trayectorias producidas con una unidad de barra de tres ruedas en serie como se indica en la figura superior de la siguiente página. Puesto que con cada pasada existe una atenuación, la carretera se hace cada vez más nivelada, como se indica en la figura al pie de la siguiente página. Obsérvese también en esta figura el típico desplazamiento hacia atrás de las protuberancias y valles en cada hilada sucesiva.



Analogía de la barra de carro con tres elevaciones de pavimentación.



R = Superficie de partida

C1 = Primera elevación

C2 = Segunda elevación

C3 = Tercera elevación

Efecto de nivelación - pasadas múltiples.

MAQUINARIA Y RENDIMIENTOS

6.9.9 PERTURBACIONES EN EL PUNTO DE REMOLQUE Y RESPUESTA DE LA MAESTRA ENRASADORA A LOS MISMOS

Si la superficie subyacente está perfectamente a nivel, las trayectorias seguidas por los puntos de remolque del tractor, estarán perfectamente a nivel. El recorrido seguido por la maestra enrasadora, al ser paralelo con los recorridos del punto de remolque, estará perfectamente a nivel, y se obtendrá un pavimento perfectamente nivelado (a condición de que no se introduzca ninguna otra perturbación de fuerzas que actúen sobre la maestra enrasadora). Si el tractor se desplaza sobre una base inferior ondulante, como frecuentemente sucede, la maestra enrasadora tenderá a seguir los recorridos del punto de remolque pero, debido a que la maestra enrasadora está en posición flotante, atenuará o alisará los salientes y los huecos. Dicho de otra forma, la maestra flotante autoniveladora tenderá a rellenar los huecos y a disminuir la altura de los topes salientes.

La eficacia autoniveladora de la maestra enrasadora es inversamente proporcional a la longitud de los terrones o huecos; es decir, cuanto más larga sea la ondulación, más estrechamente seguirá la maestra enrasadora los recorridos del punto de remolque, reproduciendo en forma más aproximada las ondulaciones de la base inferior. Es este fenómeno el que dió lugar al perfeccionamiento de sistemas automáticos de control de nivelación que se superponen a la capacidad autoniveladora inherentemente automática de la maestra enrasadora.

MAQUINARIA Y RENDIMIENTOS

6.9.10 RENDIMIENTO DE LA EXTENDEDORA DE ASFALTO

La siguiente tabla nos muestra la cantidad de mezcla tendida en función del espesor de la carpeta y de la velocidad de pavimentación de la acabadora tendiendo en un ancho de 12 pies.

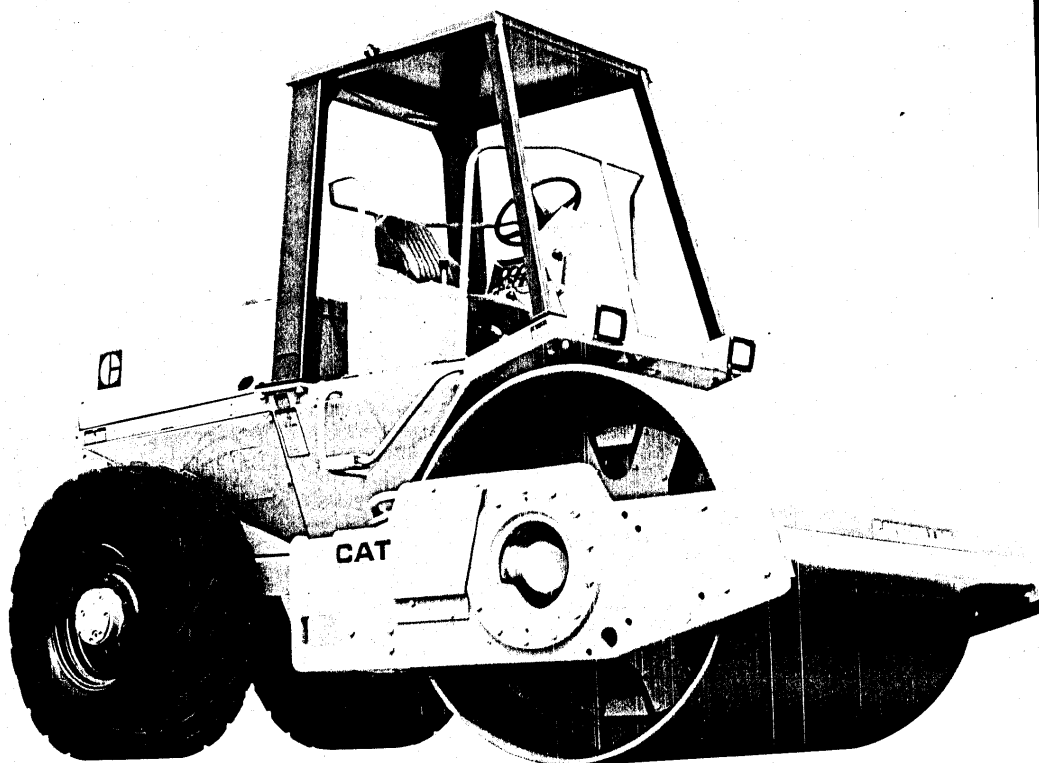
Toneladas por hora contra velocidad de tendido

Velocidad de tendido metros/min.	Ancho de tendido = 3.7 m (12 pies)		
	2.5cm espesor	5.1cm espesor	7.6cm espesor
3.0	36.3	72.6	109.0
6.1	72.6	145.3	217.9
9.1	109.0	217.9	326.9
12.2	145.3	290.6	435.8
15.2	181.6	363.2	544.8
18.3	217.9	435.8	653.8
21.3	254.2	508.5	762.7
24.4	290.6	581.1	871.7
27.4	326.9	653.8	980.6
30.5	363.2	726.4	1089.6

Nota: Las toneladas por hora no son necesariamente proporcionales a la velocidad de tendido. En carpetas más gruesas, se requieren grandes tonelajes para mantener velocidades de pavimentación relativamente bajas.

MAQUINARIA Y RENDIMIENTOS

6.10 EQUIPO DE COMPACTACION



MAQUINARIA Y RENDIMIENTOS

El equipo utilizado en la compactación de carpetas asfálticas elaboradas en caliente consta principalmente de compactadores de rodillos lisos y compactadores de neumáticos.

6.10.1 COMPACTADORES DE RODILLOS LISOS

Este tipo de máquina se utiliza generalmente al inicio del proceso de compactación para proporcionar un acomodo inicial a la mezcla asfáltica, y al final del proceso, cuando se ha finalizado la compactación de la carpeta con el compactador neumático, para borrar las huellas de las llantas y proporcionar a la superficie un acabado liso.

Las compactadoras de rodillos lisos pueden ser máquinas autopropulsadas; o bien, rodillos remolcados por algún tractor agrícola.

Los rodillos lisos, que vienen siendo el elemento compactador, son cilindros de acero cuyo diámetro varía de 0.40 m a 2.00 m en ciertas máquinas del tipo tándem.

De acuerdo a la distribución de las ruedas o rodillos existen tres tipos de máquinas autopropulsadas:

- Aplanadora de tres rodillos.
- Compactador de rodillo liso sencillo o tipo tándem.
- Aplanadora tipo trieje tándem.

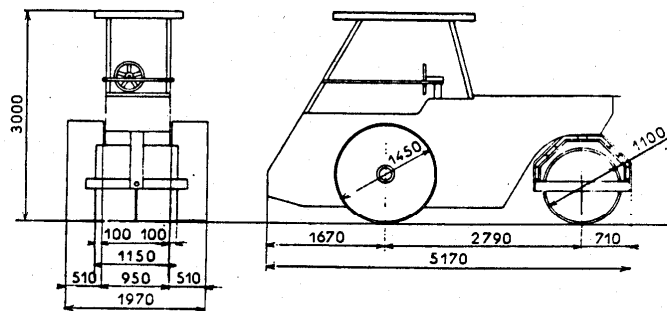
MAQUINARIA Y RENDIMIENTOS

6.10.1.1 Aplanadora de tres rodillos

Estas máquinas cuentan con dos rodillos posteriores de casi 1.80 m de diámetro y no más de 0.60 m de ancho, que proporcionan la potencia tractora. Al frente tienen unos rodillos de acero liso centrado al eje de la máquina, más ancho que los posteriores, pero de menos de 1.20 m de diámetro.

El peso de éstas aplanadoras varía entre 7 y 12 toneladas, el cual se puede aumentar de un 15 a un 35 %, cargando con agua o arena los rodillos de acero que generalmente son huecos.

La velocidad de la máquina durante la compactación varía desde los 2 a los 10 km/hr, siendo la más usual la de 6 km/hr.



Esquema de un compactador de tres rodillos

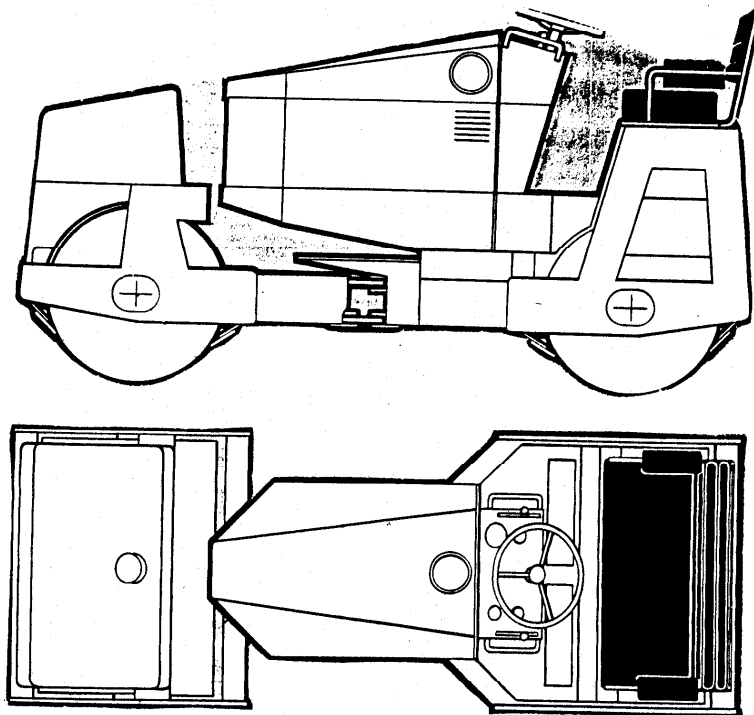
MAQUINARIA Y RENDIMIENTOS

6.10.1.2 Aplanadora de rodillos tipo tándem

Este tipo de aplanadoras tiene dos rodillos de acero de 1.00 a 1.50 m de diámetro y 2.40 m de ancho aproximada, los cuales pueden cargarse con lastre de agua o arena.

El peso de estas aplanadoras varía entre 6 y 12 toneladas y se puede aumentar de un 25 a un 60 % con lastre. Es conveniente que el peso de ambos rodillos sea el mismo.

Las pasadas para compactación se realizan a una velocidad de hasta 10 km/hr y el paso de cada rodillo equivale a una pasada.

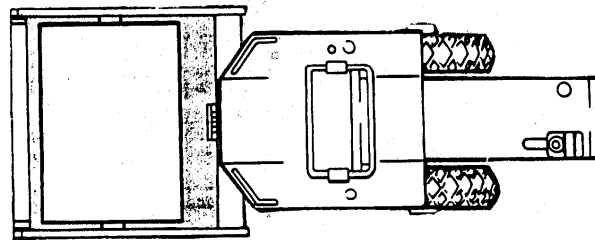
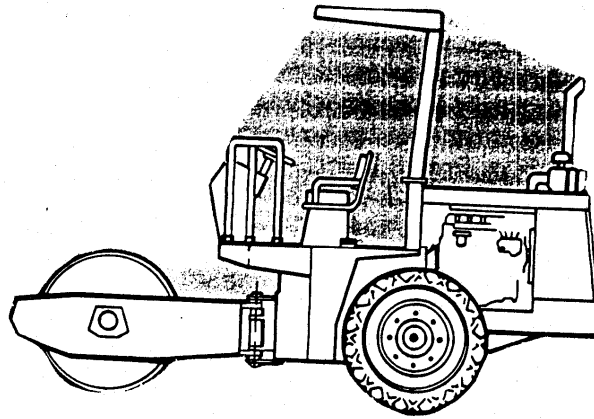


Vista transversal y en planta de un compactador de rodillo liso tipo tándem

6.10.1.3 Aplanadoras tipo trieje tándem

La utilización de éste tipo de máquinas es poco común, siendo en ciertos países industrializados donde se encuentran con mayor frecuencia, como es el caso de Estados Unidos. Su eficacia es un tanto discutida, debido principalmente a su tamaño y dificultad de operación y maniobra.

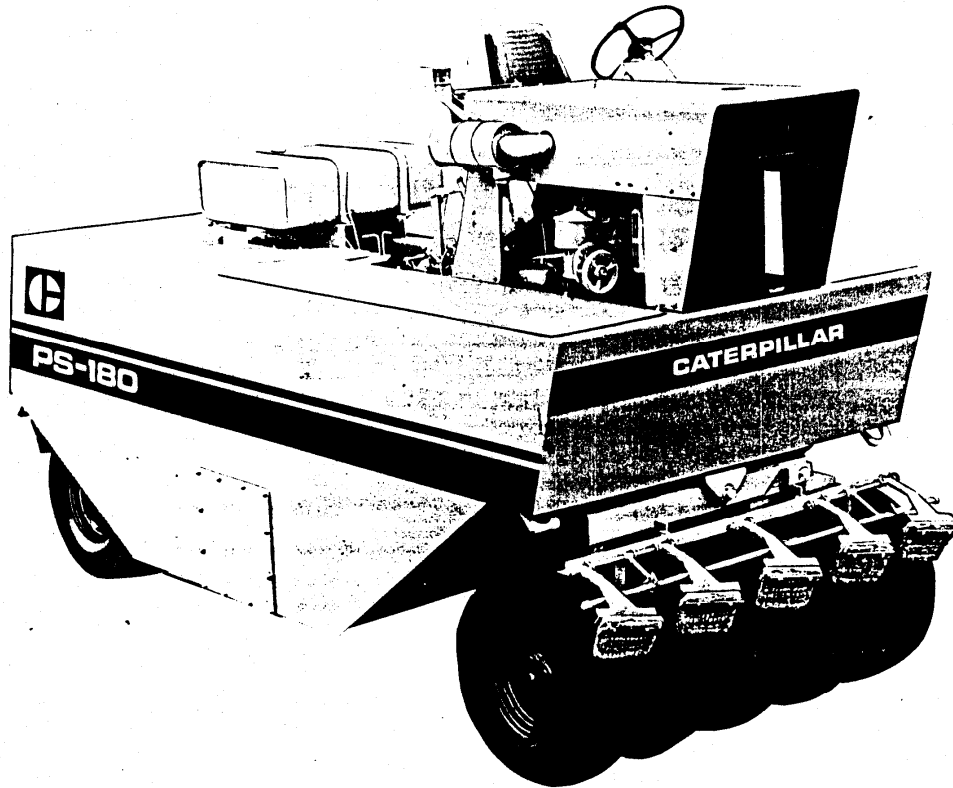
MAQUINARIA Y RENDIMIENTOS



Vista lateral y en planta de un compactador de rodillo liso sencillo.

MAQUINARIA Y RENDIMIENTOS

6.10.2 COMPACTADORES DE NEUMATICOS



MAQUINARIA Y RENDIMIENTOS

Este tipo de maquinaria es muy utilizada para la compactación de carpetas asfálticas, por las ventajas que ofrece al combinar la acción del peso estático de la propia máquina con el efecto de amasado proporcionado por las llantas neumáticas.

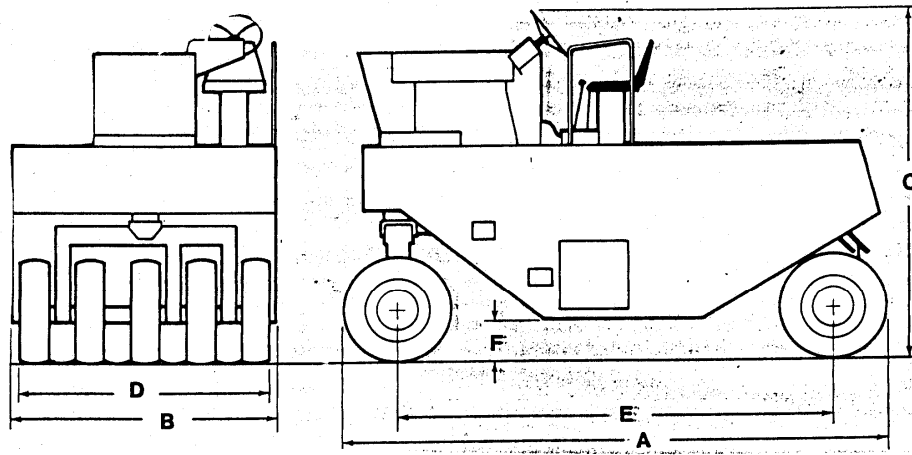
Este tipo de compactadoras pueden ser remolcadas o autopropulsadas, siendo las remolcadas las de mayor peso, y se utilizan generalmente en compactación de terracerías.

Para la compactación de carpetas asfálticas en caliente se utilizan generalmente compactadores autopropulsados con llantas de alrededor de 15" de ancho. Las capacidades más comunmente utilizadas van desde 5 hasta 15 toneladas ya lastradas y pueden trasladarse a velocidades no mayores de 30 km/hr. La velocidad de compactación varía desde 4 hasta 10 km/hr.

Los neumáticos están montados en dos ejes de tal manera que las ruedas traseras pasan por las franjas sin compactar dejadas por las llantas delanteras. El número de llantas es generalmente impar, y pueden moverse individualmente hacia arriba y hacia abajo debido al sistema de suspensiones individuales que permite el movimiento relativo vertical entre ellas.

La presión aplicada a las llantas varía entre los 30 y los 130 PSI (libras por pulgada cuadrada), y en algunos compactadores diseñados para tal efecto, se puede variar la presión durante el efecto de compactación.

MAQUINARIA Y RENDIMIENTOS



A = Longitud total
B = Ancho total
C = Altura total

D = Ancho de apisonamiento
E = Diámetro entre ruedas
F = Distancia al suelo

El radio de giro para los compactadores más utilizados de este tipo está en un rango de 5.8 a 6.2 metros.

Vista lateral y de frente de un compactador de neumáticos con sus dimensiones.

MAQUINARIA Y RENDIMIENTOS

6.10.3 RENDIMIENTO DE LOS EQUIPOS DE COMPACTACION

Los equipos de compactación poseen una capacidad elevada. Por consiguiente, los costos de esta actividad serán menores en proporción a otras.

La producción o rendimiento de una máquina de compactación para un suelo dado y un grado de compactación fijado en proyecto, es el número de metros cúbicos que la máquina puede compactar en una unidad de tiempo determinada, generalmente una hora.

Este rendimiento se puede calcular teóricamente de una manera aproximada, aplicando la siguiente fórmula:

$$R = \frac{V * E * D * A}{N} * 1000$$

Donde:

R = Rendimiento de la máquina expresado en m³/hr.

V = Velocidad de compactación en km/hr.

E = Eficiencia de operación de la máquina, cuyo valor es generalmente de 0.83.

D = Espesor en metros de la capa que se compactará.

A = Ancho efectivo del compactador en metros.

N = Número de pasadas que se necesitan dar para que la capa alcance el grado de compactación requerido.

La velocidad de compactación debe ser adecuada a la producción deseada, al acabado de la superficie y al número necesario de pasadas.

La velocidad normal de compactación es de 5 a 7 km/hr, la cual puede aumentar hasta 10 km/hr en capas delgadas y calientes; y disminuir hasta 3 o 4 km/hr en capas gruesas y mezclas rígidas.

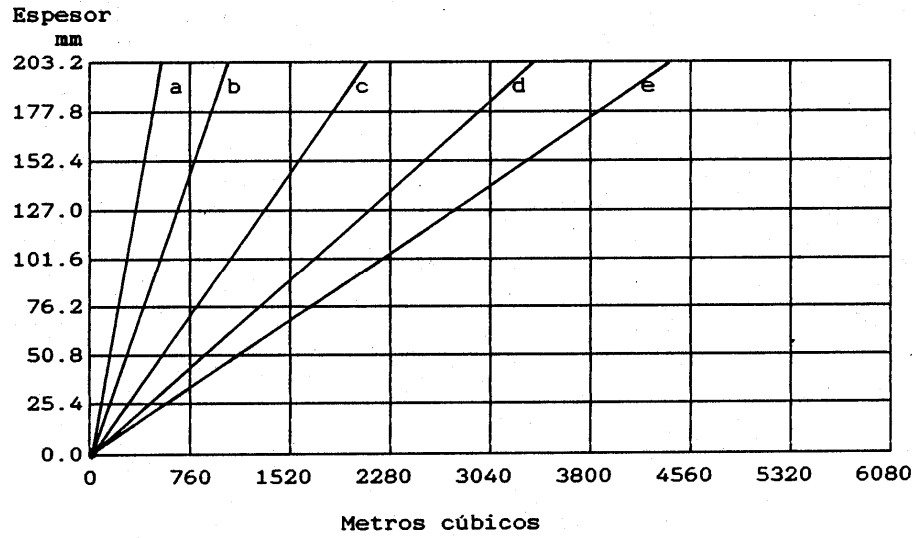
El espesor de la capa y el ancho efectivo del rodillo, son datos inherentes al proyecto dado, y a la máquina con la cual se realizará el compactado.

El número de pasadas se determina en base a la experiencia tomando en cuenta el peso de la máquina y el espesor de la capa principalmente. Con estos datos es posible calcular el rango aproximado de pasadas necesarias para el proyecto que especifica el grado de compactación requerido.

Cuando se carece de experiencia práctica, estos datos se pueden obtener de tablas elaboradas por los distribuidores de maquinaria o en manuales de construcción. Los datos obtenidos de esta manera se van ajustando en base a la experiencia y observación de rendimiento recién calculado directamente en las obras de campo.

MAQUINARIA Y RENDIMIENTOS

Producciones estimadas para los compactadores neumáticos tipo PS-130 & PS-180 de la línea de productos Caterpillar.



Velocidades de compactación:

- a = 1.6 km/hr
- b = 3.2 km/hr
- c = 6.4 km/hr
- d = 9.7 km/hr
- e = 12.9 km/hr

$$\text{Producción estimada} = \frac{\text{m}^3/\text{hr}/\text{pasada}}{\text{No. de pasadas requeridas}}$$