UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

MOVIMIENTO DE TIERRAS

TOMO II

ING. FERNANDO FAVELA LOZO.

INDICE

APUNTES DE MOVIMIENTO DE TIERRAS

PROLOGO

La importancia de los trabajos de Movimiento de Tierras se ha incrementado en forma paralela a la evolución natural de las obras de ingeniería.

Tomemos por caso la construcción de caminos. En un principio se requirieron únicamente para el tránsito de personas y bestias de carga, posteriormente fueron utilizados para la circulación de vehículos ligeros como carruajes. En la actualidad se construyen para soportar un tránsito cada vez mayor tanto en intensidad como en magnitud.

Esto ha traido como resultado, entre otros: que el constructor de un proyecto determinado planee, programe, organice y controle mejor todos los recursos que se requieran aplicar.

Asimismo ha surgido la necesidad de utilizar equipos cada vez más potentes y modernos para la excavación, transporte, trituración, mezclado, colocación y compactado de los materiales que se utilizan para la construcción de caminos, aeropuertos, canales, presas, etc.

Por otra parte, la rapidez con que se generan nuevos procedimientos constructivos ocasiona que el ingeniero se aleje con frecuencia del avance de las nuevas técnicas desarrolladas.

Finalmente, considerando que el ingeniero civil está ligado con las diferentes esferas del desarrollo de nuestro país y que por

tanto requiere estar actualizado en sus conocimientos, se recopilaron estos apuntes con la finalidad de que no solamente sirvan a los alumnos durante sus estudios de licenciatura, sino que constituyan una -- guía cuando se enfrenten durante su vida profesional a los problemas relacionados con el Movimiento de Tierras.

DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCION

COMPACTACION EN EL CAMPO

COMPACTACION

ING. FEDERICO ALCARAZ LOZANO

I. INTRODUCCION

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

CLASIFICACION DE LOS SUELOS.

Para poder clasificar los suelos nos basaremos en el "Sistema Unificado de Clasificación de Suelos"(S.U.C.S.).

Este sistema cubre los suelos gruesos y los finos, distinguiendo ambos por el cribado a través de la malla 200; las partículas gruesas son mayores que dicha malla y las finas menores. Un suelo se considera grueso si más del 50% de sus partículas son gruesas, y fino; si más de la mitad de sus partículas, en peso, son finas.

1) SUELOS GRUESOS.

El símbolo de cada grupo está formado por dos letras mayúsculas, que son las iniciales de los nombres ingleses de los suelos más típicos de ese grupo.

G (Gravel) Gravas y suelos en que predominen éstas.

S (Sand) Arenas y suelos arenosos.

Las gravas y las arenas se separan con la malla No. 4, de manera que un suelo pertenece al grupo genérico G, si más del 50% de su fracción gruesa (retenida en la malla 200) no pasa la malla No. 4, y es del grupo genérico S, en caso contrario.

a) Material prácticamente limpio de finos, bien graduado. Símbolo W (well graded). En combinación con los símbolos genéricos, se obtienen los grupos GW y SW.

b) Material prácticamente limpio de finos, mal graduado. Símbolo P (poorly graded). En combinación con los símbolos genéricos, da lugar a los grupos GP y SP.

c) Material con cantidad apreciable de finos no plásticos. Símbolo M (del Sueco Mo y Mjala). En combinación con los símbolos genéricos, da lugar a los grupos GM y SM.

d) Material con cantidad apreciable de finos plásticos. Símbolo C - - (Clay). En combinación con los símbolos genéricos, da lugar a los grupos GC y SC.

2) SUELOS FINOS.

También en este caso el Sistema considera a los suelos agrupados, formándose el símbolo de cada grupo por dos letras mayúsculas, elegidas con un criterio similar al usado para los suelos gruesos, y dando lugar a las siguientes divisiones:

M Del Sueco Mo y Mjala) Limos inorgánicos.

C (Clay) Arcillas inorgánicas.

O (Organic) Limos y Arcillas Orgánicas.

Cada uno de estos tres tipos de suelos se subdividen, según su límite - líquido, en dos grupos. Si este es menor del 50%, es decir, si son suelos de compresibilidad baja o media, se añade al símbolo genérico la letra L (Low - Compressibility), obteniéndose por esta combinación los grupos ML, CL y OL. - Los suelos finos con límite líquido mayor del 50%, o sea de alta compresibilidad, llevan tras el símbolo genérico la letra H (High Compressibility), teniendo así los grupos MH, CH, OH.

Al final de este capítulo aparece una tabla general del "Sistema Unificado de Clasificación de Suelos".

Los materiales friccionantes son principalmente gravas y arenas; entendiéndose por fricción interna a la resistencia al desplazamiento entre las - partículas internas del material.

Los materiales cohesivos son arcillas y limos arcillosos; cohesión podemos definirla como la atracción mutua de las partículas de un suelo debido a fuerzas moleculares y a la presencia de humedad.

SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS
INCLUYENDO IDENTIFICACION Y DESCRIPCION

				PROCEDIMIENTO DE IDENTIFICACION EN EL CAMPO (Excluyendo las partículas mayores de 7.6 cm. (3") y basando las fracciones en pesos estimados)	SIMBOLOS DEL GRUPO (*)	NOMBRES TIPICOS	INFORMACION NECESARIA PARA LA DESCRIPCION DE LOS SUELOS
SUELOS DE PARTICULAS GRUESAS Más de la mitad del material es retenido en la malla Nº 200 (◊) (Los partículas de 0.074 mm. de diámetro (malla Nº 200) son aproximadamente las más pequeñas visibles a simple vista)	GRAVAS Más de la mitad de la fracción gruesa pasa la malla Nº 4 (Para clasificación, visualmente usense 1/2 cm. como equivalente a la abertura de la malla Nº 4)	GRAVAS LIMPIAS (Cantidad apreciable de partículas finas)	(Poco o nada de partículas finas)	Amplia gama en los tamaños de las partículas y cantidades apreciables de todos los tamaños intermedios	GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena, con poco o nada de finos	Dése el nombre típico, indíquense los porcentajes aproximados de grava y arena, tamaño máximo, angulosidad, características de la superficie y dureza de las partículas gruesas, nombre local y geológico; cualquier otra información descriptiva pertinente y el símbolo entre paréntesis.
				Predominio de un tamaño o un tipo de tamaños, con ausencia de algunos tamaños intermedios	GP	Gravas mal graduadas, mezclas de grava y arena, con poco o nada de finos	
		GRAVAS CON FINOS (Cantidad apreciable de partículas finas)		Fracción fina poco o nada plástica (Para identificación véase grupo ML abajo)	GM	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo	
				Fracción fina plástica (Para identificación véase grupo CL abajo)	GC	Gravas arcillosas, mezclas de grava arena y arcilla	Para los suelos inalterados agréguese información sobre estratificación, compacidad, cementación, condiciones de humedad y características de drenaje.
	ARENAS Más de la mitad de la fracción gruesa pasa la malla Nº 4 (Para clasificación, visualmente usense 1/2 cm. como equivalente a la abertura de la malla Nº 4)	ARENAS LIMPIAS (Cantidad apreciable de partículas finas)	(Poco o nada de partículas finas)	Amplia gama en los tamaños de las partículas y cantidades apreciables de todos los tamaños intermedios	SW	Arenas bien graduadas, arenas con grava con poco o nada de finos	
				Predominio de un tamaño o un tipo de tamaños, con ausencia de algunos tamaños intermedios	SP	Arenas mal graduadas, arenas con grava, con poco o nada de finos	EJEMPLO Arena limosa con grava, como un 20% de grava de partículas duras, angulosas y de 1.5 cm. de tamaño máximo, arena gruesa a fina de partículas redondeadas o subangulosas; alrededor de 15% de finos no plásticos de baja resistencia en estado seco; compacta y húmeda en el lugar, arena aluvial, (SM)
		ARENAS CON FINOS (Cantidad apreciable de partículas finas)		Fracción fina poco o nada plástica (Para identificación véase grupo ML abajo)	SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo	
				Fracción fina plástica (Para identificación véase grupo CL abajo)	SC	Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla	
SUELOS DE PARTICULAS FINAS Más de la mitad del material pasa la malla Nº 200 (Los partículas de 0.074 mm. de diámetro (malla Nº 200) son aproximadamente las más pequeñas visibles a simple vista)	PROCEDIMIENTO DE IDENTIFICACION EN LA FRACCION QUE PASA LA MALLA Nº 40			RESISTENCIA EN ESTADO SECO (Características al rompimiento) / DILATANCIA (Reacción al agitado) / TENACIDAD (Consistencia cerca del límite plástico)			
	LIMOS Y ARCILLAS Límite líquido menor de 50			Nula a ligera / Rápida a lenta / Nula	ML	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos	Dése el nombre típico, indíquense el grado y carácter de la plasticidad, cantidad y tamaño máximo de las partículas gruesas, color del suelo húmedo, nombre local y geológico, cualquier otra información descriptiva pertinente y el símbolo entre paréntesis.
				Media a alta / Nula a muy lenta / Media	CL	Arcillas inorgánicas de baja a media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres	
				Ligera a media / Lenta / Ligera	OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad	
	LIMOS Y ARCILLAS Límite líquido mayor de 50			Ligera a media / Lenta a nula / Ligera a media	MH	Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos, limos elásticos	Para los suelos inalterados agréguese información sobre la estructura, estratificación, consistencia tanto en estado inalterado como remoldeado, condiciones de humedad y drenaje
				Alta a muy alta / Nula / Alta	CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad arcillas francas	
				Media a alta / Nula a muy lenta / Ligera a media	OH	Arcillas orgánicas de media a alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad.	EJEMPLO Limo arcilloso, café, ligeramente plástico porcentaje reducido de arena fina, numerosos agujeros verticales de raíces, firme y seco en el lugar, loess (ML)
SUELOS ALTAMENTE ORGANICOS				Fácilmente identificables por su color, olor, sensación esponjosa y frecuentemente por su textura fibrosa	Pt	Turba y otros suelos altamente orgánicos	

(*) Clasificaciones de frontera.— Los suelos que posean las características de dos grupos se designan con la combinación de los dos símbolos

(◊) Todos los tamaños de las mallas en esta carta son los U.S. Standard

COMPACTACION

1. DEFINICION

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

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

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

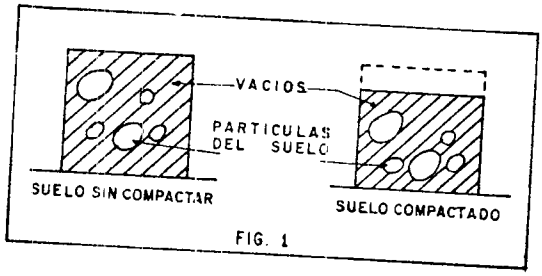


FIG. 1

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

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

2. PROPOSITO E IMPORTANCIA.

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

a) Resistencia mecánica

b) Resistencia a los asentamientos bajo cargas futuras

c) Impermeabilidad

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

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

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

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

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

3. PRUEBAS DE COMPACTACION

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

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

A) Proctor

B) Proctor Modificada

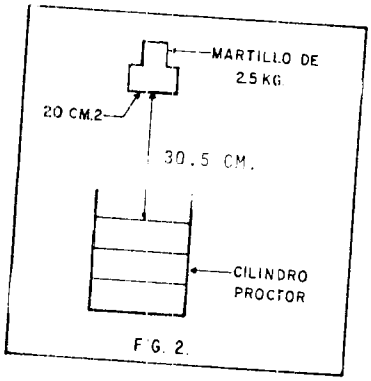
C) Porter

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

a) Se toma una muestra representativa del suelo a compactar, de -- humedad conocida.

b) Se toma un cilindro de 4" de diámetro x 4 1/2" de altura, se -- llena en tres capas aproximadamente iguales con el material de la prueba.

c) Cada capa se compacta con 25 golpes de un martillo de 2.5 kg -- con un área de contacto de 20 cm^2, el que se deja caer de 35 cm de altura (Fig. 2). Todo esto con el objeto de siempre dar al material la misma energía de compactación.



F.G. 2.

d) Se pesa el material y como el volumen es conocido se calcula el peso volumétrico húmedo, simplemente dividiendo el peso del material entre su volumen. Como la humedad es conocida, se resta el peso del agua y se obtiene el peso volumétrico seco para esa humedad.

e) Se repite la prueba varias veces, variando cada vez el grado de humedad, con lo que se obtienen pares de valores Humedad-Peso Volumétrico Seco.

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

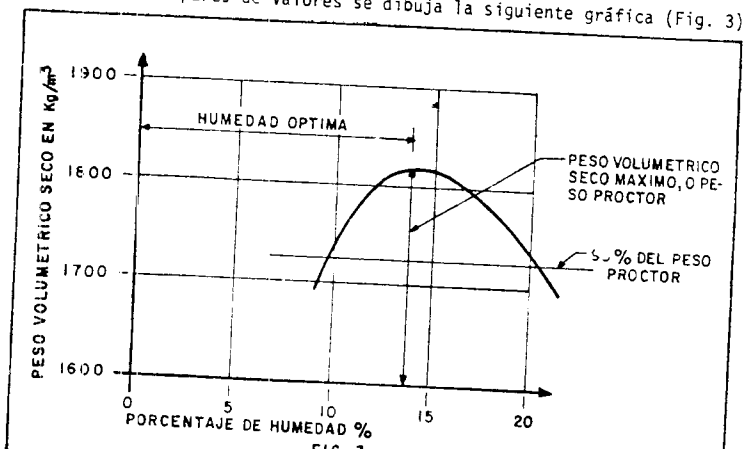


FIG. 3

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

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

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

95% de P.V.S.M. = 0.95 x 1820 = 1729 kg/m³

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

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

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

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

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

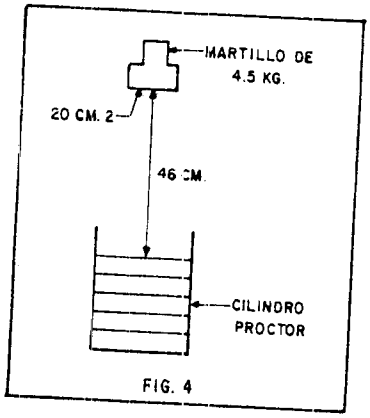


FIG. 4

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

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

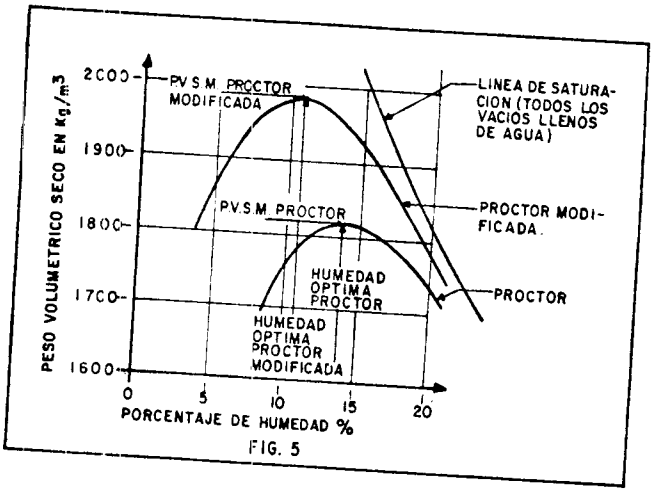


FIG. 5

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

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

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

a) Se toma una muestra del material a probar y se seca

b) Se pasa por la malla de 25 mm (1") y se determina el porcentaje, en peso, retenido en la malla, si el porcentaje es menor del 15%, se usará para la prueba el material que pasó la malla. Si el porcentaje retenido es mayor del 15% se prepara, del material original, una muestra que pase la malla de 1" y que sea retenida en la malla No. 4, de esta muestra se pesa un tanto igual al peso del retenido, el que se agrega al material que pasó la malla de 1", con este nuevo material se procede a la prueba.

c) A 4 kg de la muestra así preparada se le incorpora una cantidad de agua conocida; y se homogeniza con el material.

d) Con este material se llena, en tres capas, un molde metálico de 6" de diámetro por 8" de altura con el fondo perforado. Cada capa se pica 25 veces con una varilla de 5/8" (1.9 cm) de diámetro por 30 cm de longitud con punta de bala.

e) Sobre la última capa se coloca una placa circular ligeramente menor que el diámetro interior del cilindro, y se mete el molde en una prensa de 30 Ton.

f) Se aplica la carga gradualmente de tal manera que en cinco minutos se alcance una presión de 140.6 kg/cm², la cual debe mantenerse durante un minuto, e inmediatamente se descarga en forma gradual durante un minuto.

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

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

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

4. MÉTODOS DE CONTROL

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

A) Medida física de peso y volumen

B) Mediciones nucleares

C) Otros

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

a) Se excava un agujero de 10 a 15 cm de diámetro, o un cuadrado de 15 cm por lado, a la misma profundidad de la capa por probar.

b) El material excavado es cuidadosamente recogido y pesado. Se seca para determinar la humedad y el peso volumétrico seco.

c) El volumen del agujero es medido. El método usado generalmente es llenándolo con una arena de peso volumétrico constante.

d) Conocidos el peso seco de la muestra y el volumen del agujero, se calcula el peso volumétrico seco de la muestra, que debe ser igual o mayor que el peso volumétrico seco especificado.

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

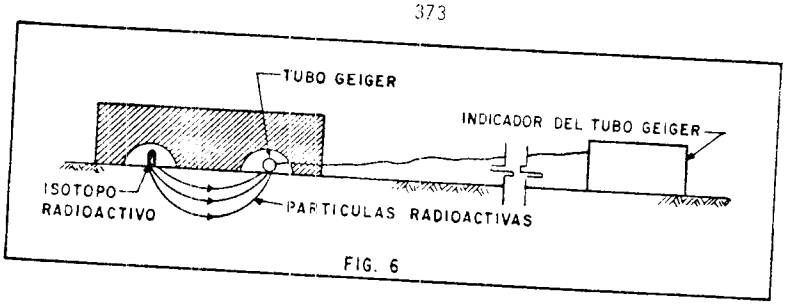


FIG. 6

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

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

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

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

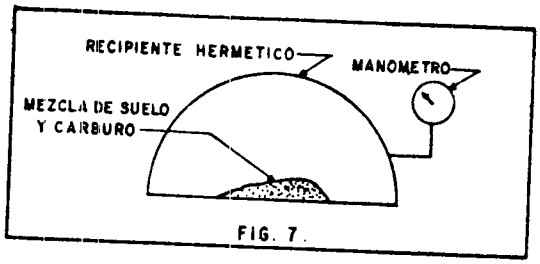


FIG. 7.

TRABAJO DEL EQUIPO DE COMPACTACION

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

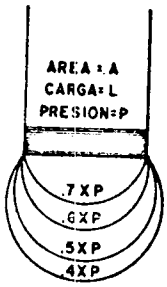


FIG. 8

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

Obsérvese lo siguiente:

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

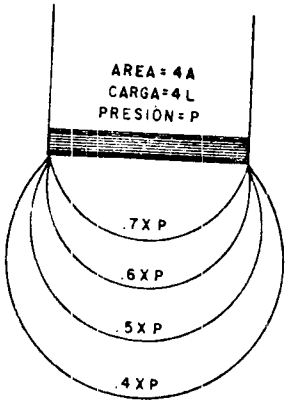


FIG. 9

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

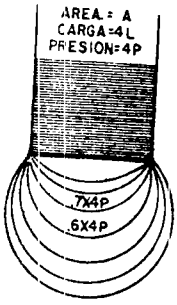


FIG. 10

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

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

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

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

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

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

1) PRESION ESTATICA: La aplicación de una fuerza por unidad de área.

2) IMPACTO: Golpeo con una carga de corta duración, alta amplitud y baja frecuencia.

3) VIBRACION: Golpeo con una carga de cota duración, alta frecuencia, baja amplitud.

4) AMASAMIENTO: Acción de amasado, reorientación de partículas próximas, causando una reducción de vacíos.

5) CON AYUDA DE ENZIMAS.

1. COMPACTACION POR PRESION ESTATICA.

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

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

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

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

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

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

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

$$R = nF$$

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

2. COMPACTACION POR IMPACTO

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

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

3. COMPACTACION POR VIBRACION

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

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

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

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

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

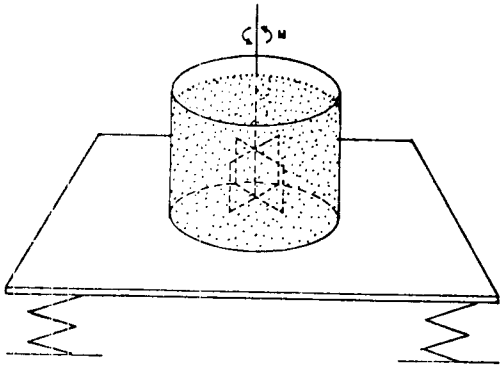


FIG. 10-A DISPOSITIVO PARA MEDIR EL MOMENTO DE RESISTENCIA

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

La experiencia sueca nos proporciona la siguiente tabla:

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

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

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

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

VENTAJAS DE LA COMPACTACION POR VIBRACION

a) Es posible compactar a más altas densidades; facilita la obtención de los últimos porcientos del grado de compactación que son tan difíciles, y a veces imposibles, de obtener con compactadores estáticos.

b) Permite el uso de compactadores más pequeños

c) Se puede trabajar sobre capas de mayor espesor

d) Permite hacer más rápidos por el menor número de pasadas

e) Por las razones anteriores los costos de compactación resultan menores.

4. COMPACTACION POR AMASAMIENTO

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

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

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

5. COMPACTACION CON AYUDA DE ENZIMAS

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

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

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

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

EQUIPO DE COMPACTACION

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

1. RODILLOS METALICOS

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

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

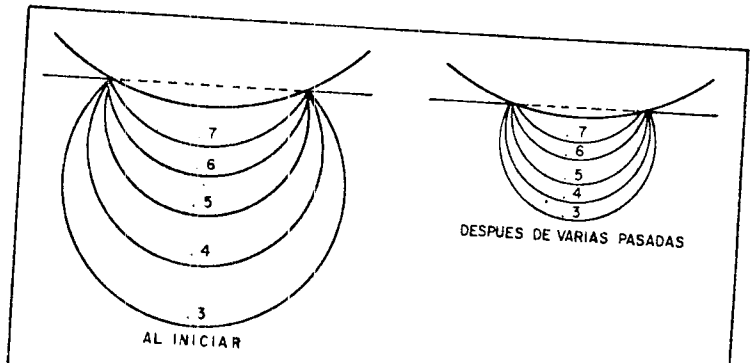


FIG. 11 BULBOS DE PRESION BAJO UN RODILLO METALICO

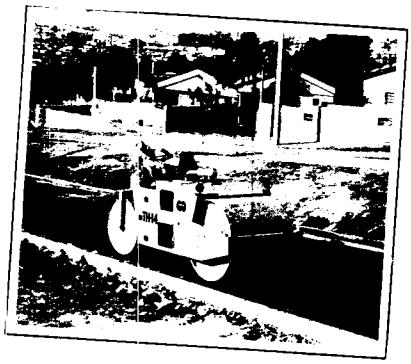
Si a esto se agrega la costumbre de hacer riegos adicionales durante la compactación, para compensar la evaporación, en una capa en donde la penetración del agua es difícil por la misma compacidad del material, llegaremos a un estado de estratificación de la humedad, en este momento la formación de la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

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

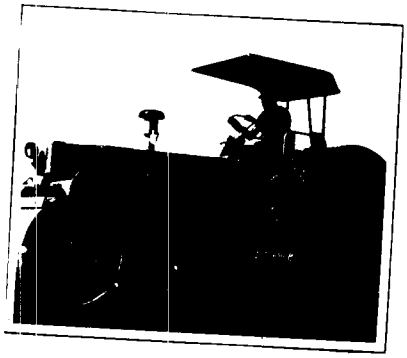
Un rodillo metálico, no compacta pequeñas áreas bajas o suaves, debido a que la rigidez de la rueda las puentea, esta áreas suaves se presentan con frecuencia en terracerías debido a la irregularidad de la capa.

Dentro de este grupo se puede hacer la división siguiente:

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



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



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

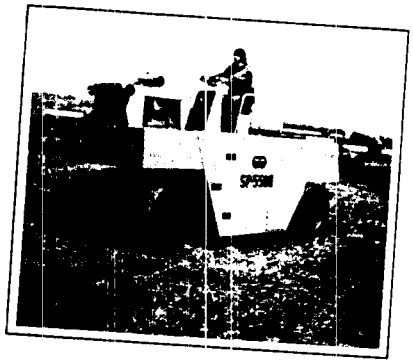
Tanto las planchas tandem como las de tres rodillos, tienen bajas velocidades de operación y poca seguridad al compactar las orillas de terraplenes altos.

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

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

2. RODILLOS NEUMATICOS

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



Estos compactadores pueden ser jalados o autopropulsados.

Se pueden dividir conforme al tamaño de sus llantas en:

A) De llantas pequeñas

B) De llantas grandes

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

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

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

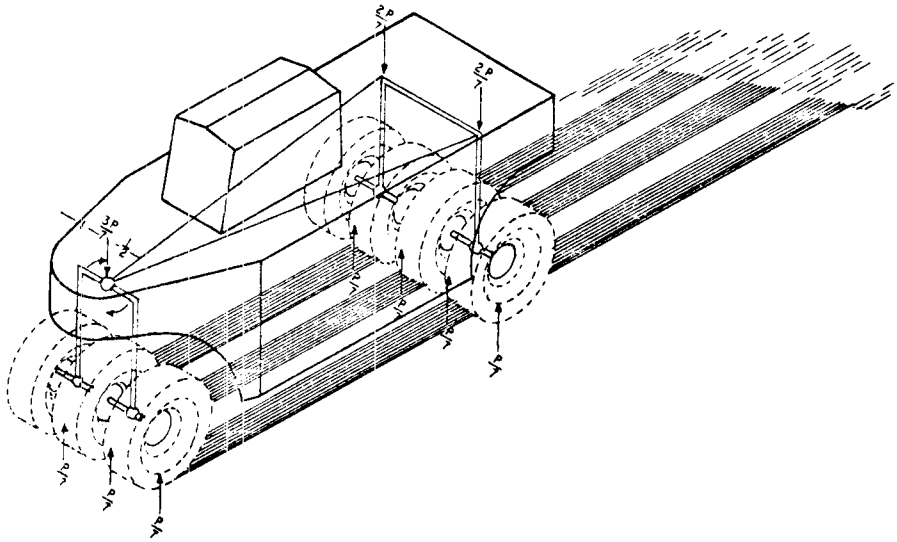


Fig. 14-A

B) DE LLANTAS GRANDES.- Son generalmente arrastrados por tractor y pesan de 15 a 50 Ton. Tienen 4 ó 6 llantas en un mismo eje, además son difíciles de maniobrar y de transportar, por lo que estan siendo desplazados por otros equipos más ligeros y versátiles.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

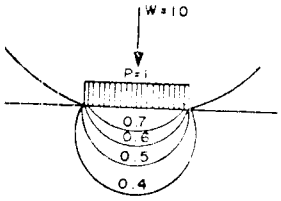


FIG. 15

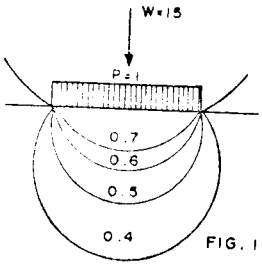


FIG. 16

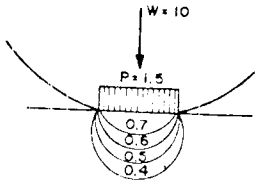


FIG. 17

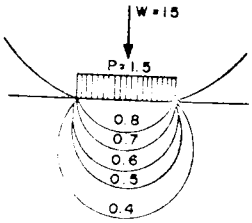
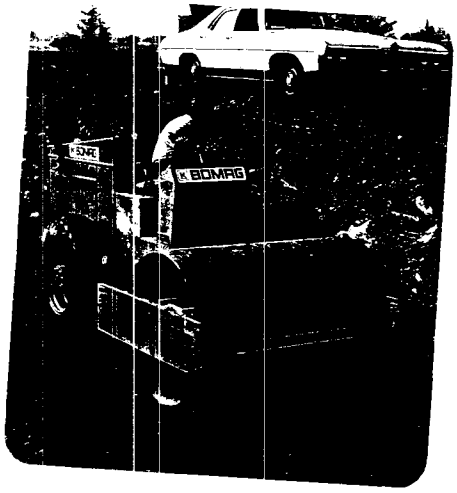


FIG. 18

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

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



3. RODILLOS PATA DE CABRA.

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

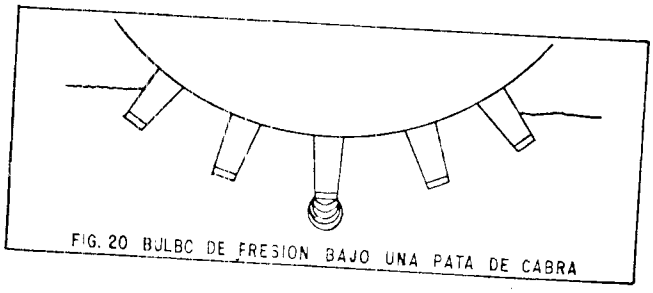


FIG. 20 BULBO DE PRESION BAJO UNA PATA DE CABRA

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

4. RODILLO DE REJA

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

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

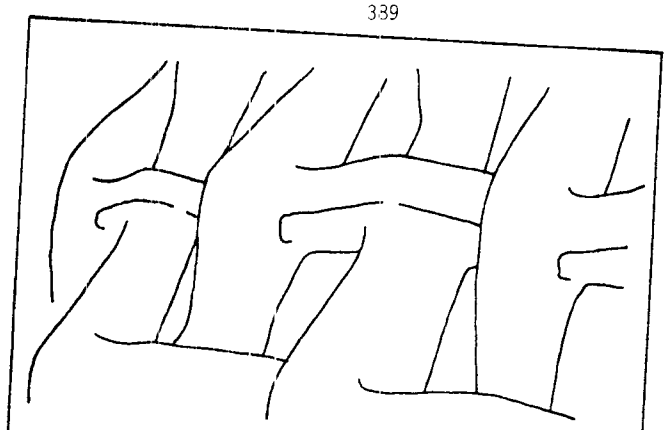


FIG. 22 CONFIGURACION DE LA REJA

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

5. RODILLO DE IMPACTO (TAMPING ROLLER)

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

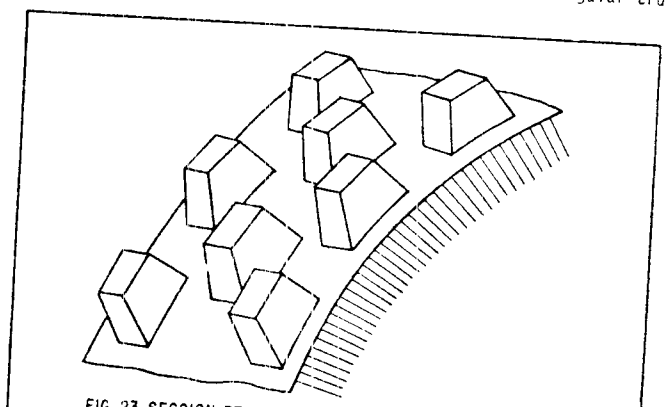


FIG. 23 SECCION DE UN RODILLO DE IMPACTO, MOSTRANDO LA DISTRIBUCION Y FORMA DE LAS PIRAMIDES

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

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

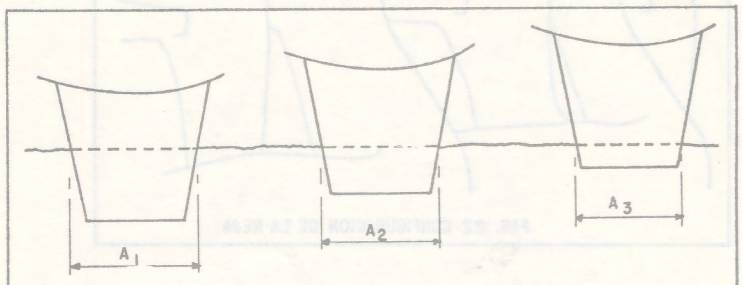


FIG. 24 AJUSTE DEL AREA DE APOYO

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

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

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

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

6. RODILLOS VIBRATORIOS

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

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

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

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

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

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

FACTORES QUE INFLUYEN EN LA COMPACTACION

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

1) CONTENIDO DE HUMEDAD DEL MATERIAL

2) GRANULOMETRIA DEL MATERIAL

3) NUMERO DE PASADAS DEL EQUIPO

4) PESO DEL COMPACTADOR

5) PRESION DE CONTACTO

6) VELOCIDAD DEL EQUIPO COMPACTADOR

7) ESPESOR DE CAPA

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

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

El agua, entonces, facilita el trabajo de compactación.

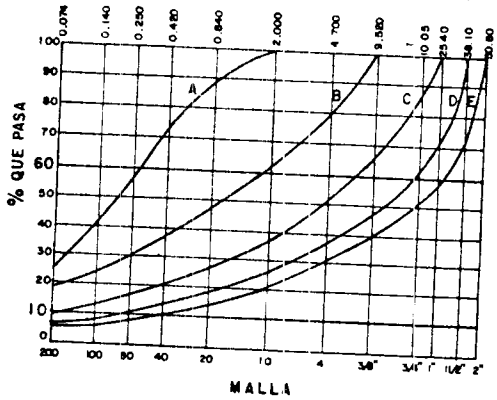
2) GRANULOMETRIA DEL MATERIAL. Para la obtención de una eficiente compactación es necesario, que haya partículas de varios tamaños en el material por compactar, ya que las partículas de menor tamaño ocuparán los espacios formados entre partículas de mayor tamaño.

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

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

COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD (Cu)
DE LARS FORSSBLAD

GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA



$$Cu = \frac{D60}{D10}$$

FIG. 27

En donde:

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

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

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

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

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

Por ejemplo en la gráfica de composición granulométrica , podemos observar de la curva (D), el D_{60} corresponde al material que pasa la malla de 1 $^1/_2$, tamaño igual a 19.05 mm y el D_{10} corresponde al material que pasa por la malla 80, tamaño igual a 0.250 mm. Si calculamos el coeficiente de uniformidad tenemos que:

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

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

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

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

A) Tipo de compactador

B) Tipo de material

C) Contenido de humedad

D) Forma en que aplique la presión al material

E) Maniobrabilidad del equipo

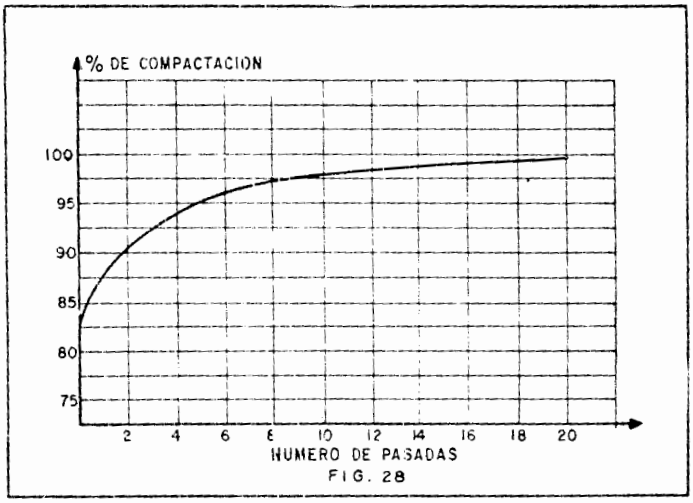


FIG. 28

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

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

A) Tipo de material

B) Estado del material (Suelto o Semisuelto)

C) Area expuesta por el compactador

D) Presión de inflado en el caso de un equipo sobre neumáticos

E) Peso del compactador

F) Temperatura del material tratándose de mezclas asfálticas.

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

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

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

5.6) VELOCIDADES DE OPERACION

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

5.6.1. Rodillos Metálicos y Patas de Cabra

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

5.6.2. Rodillos de Reja o de Impacto

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

5.6.3. Rodillos Neumáticos

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

5.6.4. Rodillos Vibratorios.

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

7) ESPESOR DE CAPA. El espesor de capa por compactar dependerá esencialmente de:

A) Tipo de material

B) Humedad en el material

C) Tipo de compactador

D) Grado de compactación especificado
(Ver capítulo relativo a producción)

SELECCION DE COMPACTADORES EN CUANTO A SU FUNCION

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

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

1. Tipo de Material

2. Tamaño de la Obra

3. Requerimientos especiales

1) SELECCION DEL COMPACTADOR MAS ADECUADO AL TIPO DE MATERIAL.

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

1) Sub-bases, bases y carpetas: siempre materiales no cohesivos (arenas y gravas).

2) Terracerías: normalmente materiales cohesivos y semicohesivos, a veces no cohesivos.

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

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

En el renglón 8: la compactación por impacto (rodillo de impacto y rodillo de reja) aplicable a toda clase de suelos, pero el mal acabado que dan a la capa sólo permite aplicarlos en terracerías, normalmente arcillas y limos, a veces arenas. Limitación: al rodillo de reja se atasca con los materiales cohesivos y hay que parar frecuentemente a limpiarlo, sin embargo es un excelente disgregador, por lo que el rodillo de reja es extraordinario en terracerías que necesitan disgregado.

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

Conclusiones: (Fig. 29)

a) Para suelos cohesivos se debe preferir pata de cabra vibratoria o rodillo de impacto. (Línea A).

b) Para suelos no cohesivos se debe preferir rodillo liso vibratorio. (Línea B).

c) Para todos los suelos: rodillo neumático

d) Las mejores combinaciones son:

Para suelos cohesivos: Las máquinas de por sí combinan diferentes esfuerzos de compactación. Por ejem. rodillos de impacto. Rodillos de pata de cabra vibratorios, etc.

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

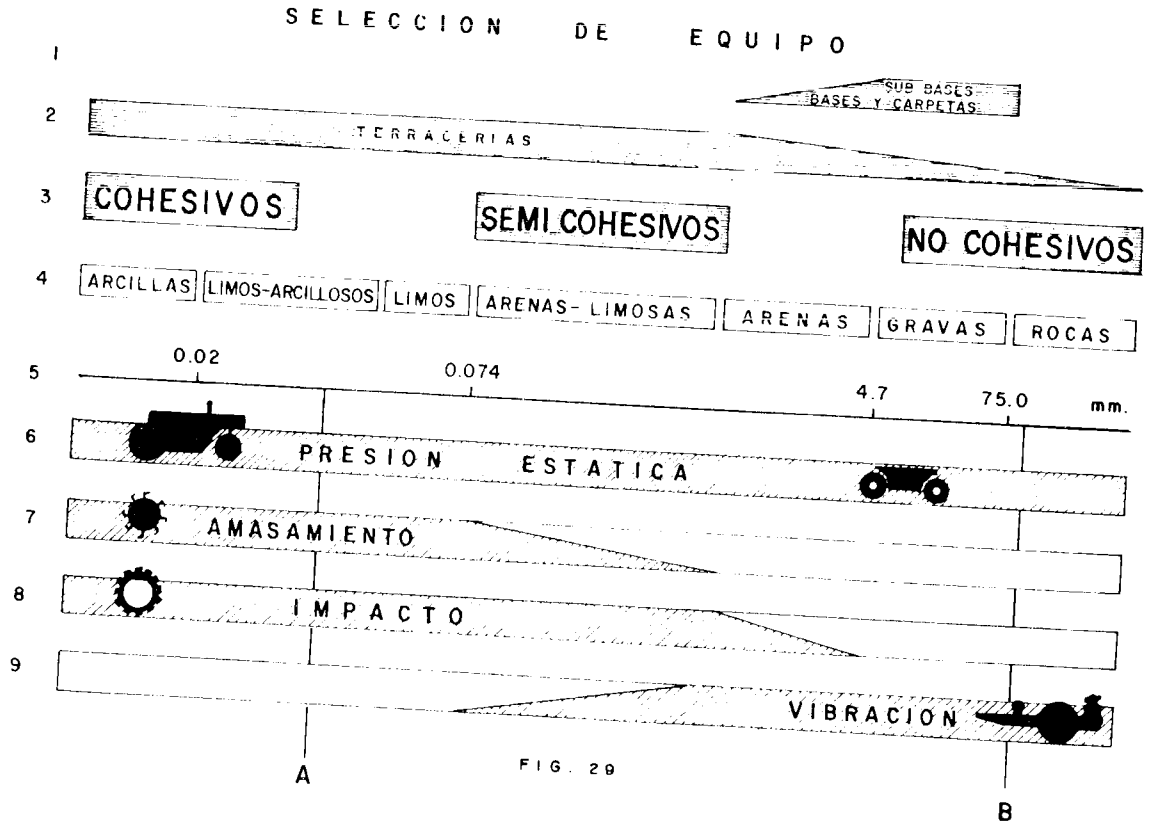

SELECCION DE EQUIPO
1
2
SUB BASES
BASES Y CARPETAS
TERRACERIAS
3
COHESIVOS
SEMI COHESIVOS
NO COHESIVOS
4
ARCILLAS
LIMOS-ARCILLOSOS
LIMOS
ARENAS- LIMOSAS
ARENAS
GRAVAS
ROCAS
5
0.02
0.074
4.7
75.0
mm.
6
PRESION ESTATICA
7
AMASAMIENTO
8
IMPACTO
9
VIBRACION
A
B

FIG. 29

2. TAMAÑO DE OBRA.

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

3. REQUERIMIENTOS ESPECIALES.

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

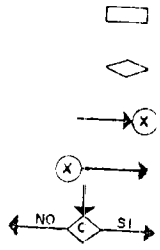
Debemos tener en mente que, en construcción pesada, la inversión en equipo es cuantiosa y que éste se adquiere usualmente fuera del país, por lo que es muy importante pesar cuidadosamente todas las posibilidades para poder escoger la máquina más eficiente; esto es: la menor inversión posible al más bajo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

REGLAS A SEGUIR EN CASO DE TENER PROBLEMAS CON LA COMPACTACION

¿Qué hacer cuando el control nos indica una falla?

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

En estos diagramas se usan los siguientes símbolos:



= Un hecho o una acción

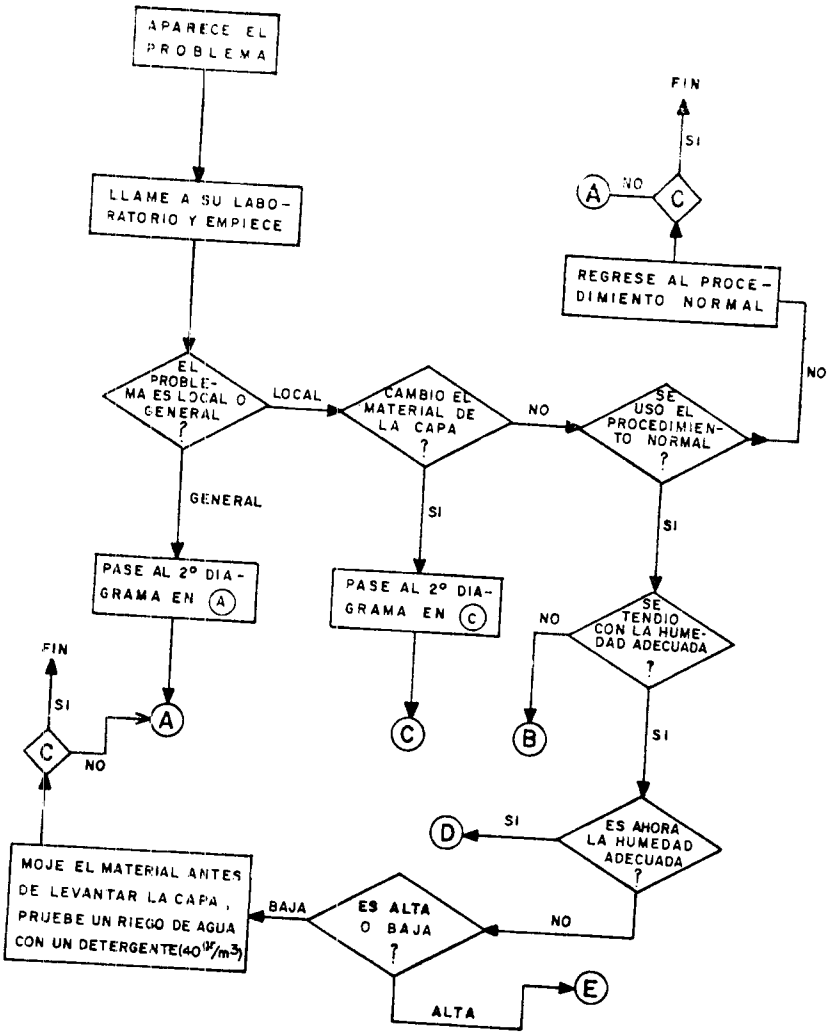
= Una alternativa

= Pasa al punto X

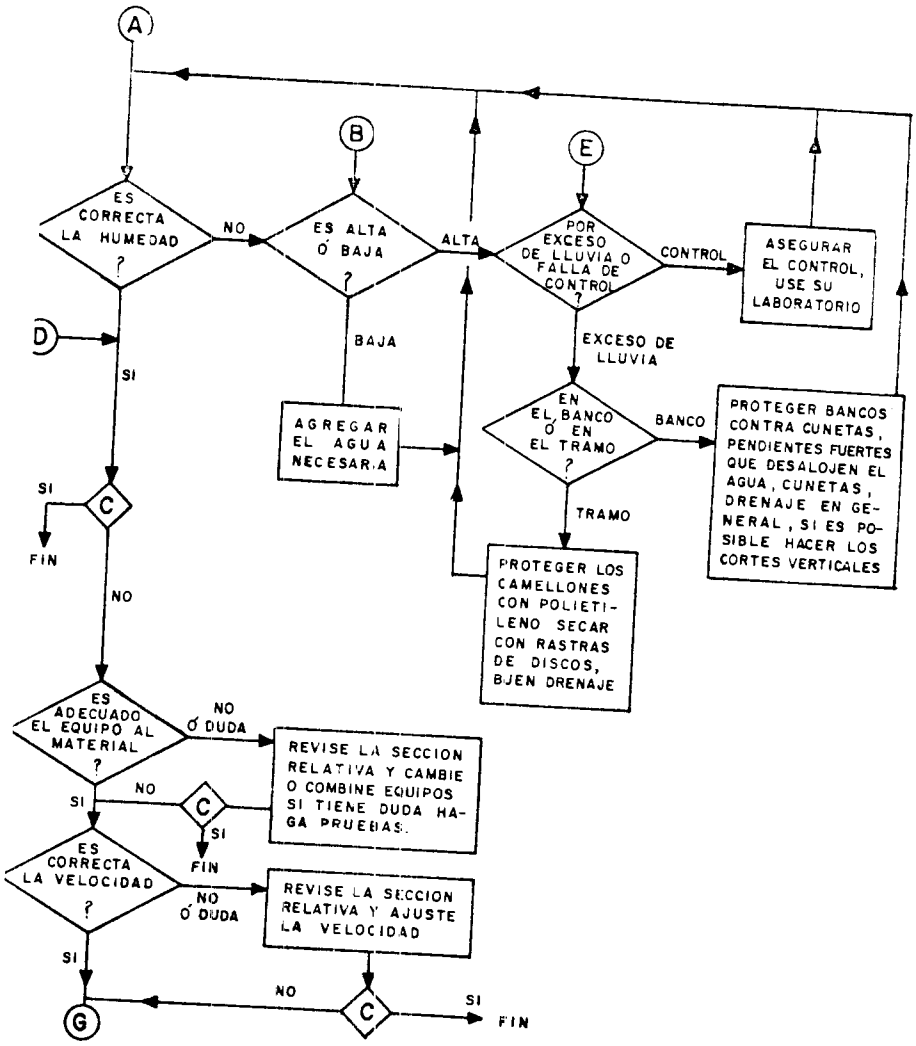
= El punto X

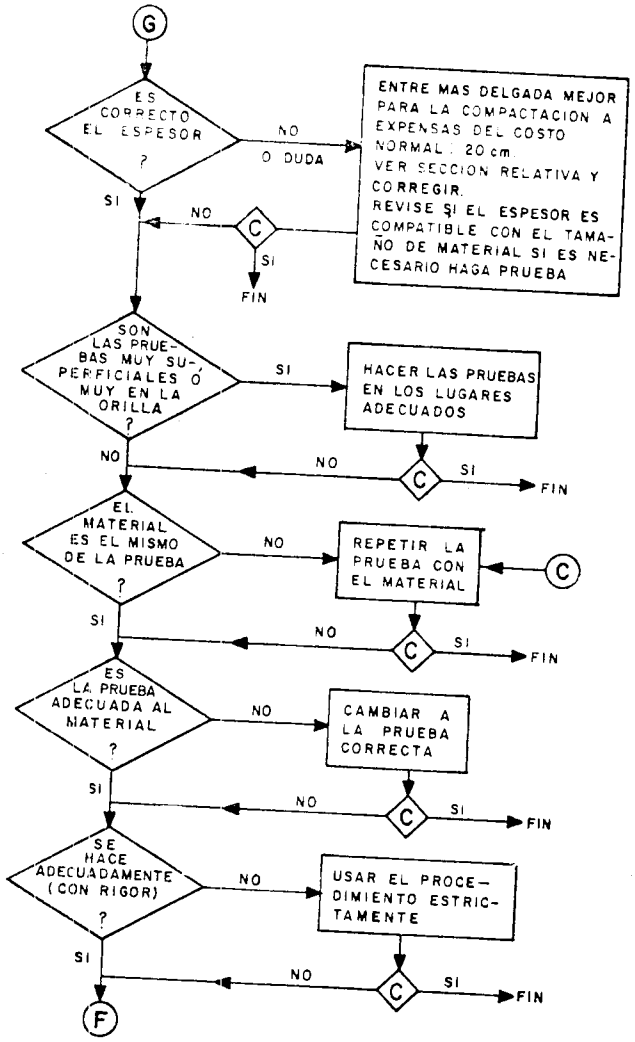
= ¿Se alcanzó la compactación?

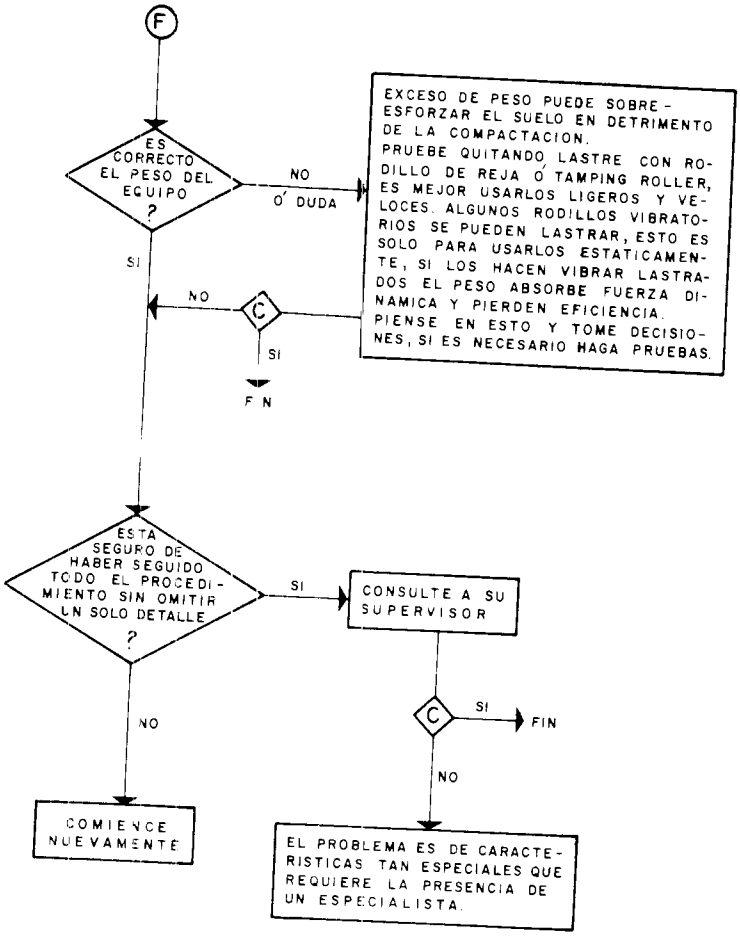
PRIMER DIAGRAMA



SEGUNDO DIAGRAMA




G
ES CORRECTO EL ESPESOR ?
NO O DUDA
ENTRE MAS DELGADA MEJOR PARA LA COMPACTACION A EXPENSAS DEL COSTO NORMAL : 20 cm. VER SECCION RELATIVA Y CORREGIR. REVISE SI EL ESPESOR ES COMPATIBLE CON EL TAMAÑO DE MATERIAL SI ES NECESARIO HAGA PRUEBA
SI
NO
C
SI
FIN
SON LAS PRUEBAS MUY SUPERFICIALES Ó MUY EN LA ORILLA ?
SI
HACER LAS PRUEBAS EN LOS LUGARES ADECUADOS
NO
NO
C
SI
FIN
EL MATERIAL ES EL MISMO DE LA PRUEBA ?
NO
REPETIR LA PRUEBA CON EL MATERIAL
C
SI
NO
C
SI
FIN
ES LA PRUEBA ADECUADA AL MATERIAL ?
NO
CAMBIAR A LA PRUEBA CORRECTA
SI
NO
C
SI
FIN
SE HACE ADECUADAMENTE (CON RIGOR) ?
NO
USAR EL PROCEDIMIENTO ESTRICTAMENTE
SI
NO
C
SI
FIN
F


F
ES CORRECTO EL PESO DEL EQUIPO ?
NO
Ó DUDA
EXCESO DE PESO PUEDE SOBRE-ESFORZAR EL SUELO EN DETRIMENTO DE LA COMPACTACION.
PRUEBE QUITANDO LASTRE CON RODILLO DE REJA Ó TAMPING ROLLER, ES MEJOR USARLOS LIGEROS Y VELOCES. ALGUNOS RODILLOS VIBRATORIOS SE PUEDEN LASTRAR, ESTO ES SOLO PARA USARLOS ESTATICAMENTE, SI LOS HACEN VIBRAR LASTRADOS EL PESO ABSORBE FUERZA DINAMICA Y PIERDEN EFICIENCIA.
PIENSE EN ESTO Y TOME DECISIONES, SI ES NECESARIO HAGA PRUEBAS.
SI
NO
C
SI
F N
ESTA SEGURO DE HABER SEGUIDO TODO EL PROCEDIMIENTO SIN OMITIR UN SOLO DETALLE ?
SI
CONSULTE A SU SUPERVISOR
C
SI
FIN
NO
NO
COMIENCE NUEVAMENTE
EL PROBLEMA ES DE CARACTERISTICAS TAN ESPECIALES QUE REQUIERE LA PRESENCIA DE UN ESPECIALISTA.

RENDIMIENTO DEL EQUIPO DE COMPACTACION Y COSTO DE LA COMPACTACION.

1) RENDIMIENTO DE UN EQUIPO DE COMPACTACION.

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

A) Ancho compactado por la máquina = A

B) Velocidad de operación = V

C) Espesor de capa = E

D) Número de pasadas para obtener la compactación específica = N

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

La fórmula puede escribirse:

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

p = Producción horaria (m^3/h)

A = Ancho compactado por la máquina (m)

V = Velocidad (km/h)

E = Espesor de capa (cm)

N = Número de pasadas

10 = Factor de conversión

C = Eficiencia (0.6 a 0.8)

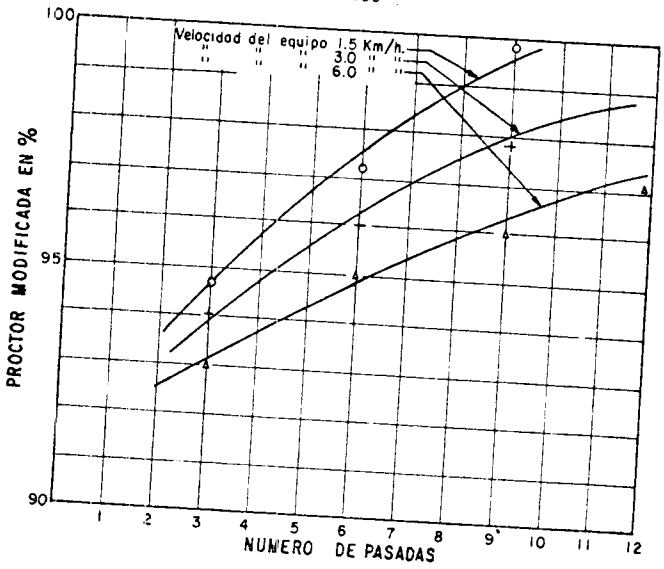
La eficiencia (C) afecta la capacidad teórica, reduciéndola por traslapes de pasadas paralelas, por tiempo perdido para dar vuelta y otros factores. propios del equipo.

EJEMPLOS TIPICOS:

ESPESOR DE LA CAPA Y NUMERO DE PASADAS

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

Conociendo la capacidad de producción de un compactador y para conocer el costo del (m^3) compactado es necesario determinar el costo horario del equipo.



RELACION ENTRE EL GRADO DE COMPACTACION Y NUMERO DE PASADAS

Equipo liso-vibratorio

2) COSTO DE LA COMPACTACION.

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

Para la determinación del costo horario del equipo de compactación se siguen los mismos pasos que se siguen para la determinación de cualquier otro - costo horario de equipo de construcción.

Es decir se deben obtener:

A) Cargos fijos.

Depreciación

Intereses

Seguros

Almacenaje

Mantenimiento

B) C o n s u m o s

Combustibles

Lubricantes

Llantas

C) O p e r a c i ó n

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

Sumando.

A) Cargos fijos

B) Consumos

C) Operación

D) Transporte

COSTO HORARIO

Determinado el costo horario del equipo y conociendo la producción del mismo, para un cierto grado de compactación, se puede obtener el costo por (m^3) compactado:

$$\text{Costo por } m^3 = \frac{\text{Costo Horario Equipo}}{\text{Producción Horaria Equipo}}$$

EJEMPLOS

Ejemplo (1)

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

Se analizarán las siguientes alternativas:

1.- Rodillo liso vibratorio arrastrado por tractor agrícola

2.- Rodillo sencillo liso vibratorio autopropulsado

3.- Rodillo doble (Tandem) vibratorio autopropulsado

1.- Determinación de costos horario

1. Rodillo liso arrastrado por tractor agrícola.

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

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

Cargos fijos	$ 612.00
Consumos	36.00
Operación	72.00
	$ 720.00

2.- Rodillo sencillo vibratorio autopropulsado

Precio de adquisición $ 2'400,000.00

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

Cargos fijos	$ 672.00
Consumos	36.00
Operación	72.00
	$ 780.00/hora

3.- Rodillo Tandem vibratorio autopropulsado

Precio de adquisición $ 4'300,000.00

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

Cargos fijos	$ 1,150.00
Consumos	52.00
Operación	72.00
	$ 1,274.00

II.- Determinación de producciones horarias

1. Rodillo arrastrado por tractor agrícola.

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

Coeficiente de ruduc. = 0.7

Eficiencia = 0.75

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

$P = 157\ m^3/hora$

2. Rodillo autoprpulsado

Ancho = 2.14 m

Velocidad = 4.5 km/h

Espesor = 20 m (sueltos)

Número de pasadas = 4 para 95%

Coeficiente de reduc. = 0.7

Eficiencia = 0.75

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

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

$P = 253\ m^3/hora$

3. Rodillo vibratorio Tendem autopropulsado

Ancho = 1,50

Velocidad = 4 km/h

Espesor = 20 cm (sueltos)

Número de pasadas = 2 (por ser dos rodillos)

Coeficiente de reduc. = 0.7

Eficiencia = 0.75

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

P = 315 m^3/hora

III. Determinación de costo de compactación.

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

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

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

Producción horaria:

Ancho = 1.94 m

Velocidad = 9 km/hora

Espesor = 20 cm (sueltos)

Número de pasadas = 8 pasadas (contando sus cuatro rodillos)

Coeficientes de reduc= 0.7

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

PRODUCCION = 244 m^3/h

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

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

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

E J E M P L O (2)

Material por compactar: Arena bien graduada

Volumen por compactar: 300 m^3 compactados/hora

Compactación al 95%

Eficiencia 70%

A) Plancha Tandem

Ancho rodillos = 1.20

Velocidad máxima de desplazamiento: 2 km/h

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

Espesor compacto de capa = 12 cm

Costo horario = $ 400.00/h

B) Rodillo Vibratorio Autopropulsado

Ancho rodillo = 1.50

Velocidad máxima de desplazamiento = 4 km/h

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

Espesor compacto de capa = 25 cm

Costo horario = $ 1,000.00/hora

P R E G U N T A S

1.- ¿Cuántas planchas tandem son necesarias para compactar 300 m^3 compactos por hora?

2.- ¿Cuántos rodillos vibratorios son necesarios para compactar 300 m^3 compactos por hora?

3.- ¿Cuál equipo proporcionará una compactación más económica?

Se determinan primero las producciones horarias de los equipos.

A) Plancha Tandem

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

$$P = 18.3 \ m^3/h \text{ (compactos)}$$

B) Rodillo Vibratorio

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

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

R E S P U E S T A S :

1.- Se necesitan tantas planchas como:

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

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

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

2.- Los rodillos vibratorios necesarios son:

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

3.- Determinación del costo de compactación:

A) Planchas Tandem (6 - 8 Tons)

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

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

Costo que es muy elevado ¡¡

B) Rodillos Vibratorios

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

Que es un costo razonable.

E J E M P L O (3)

Una compañía dispone para un trabajo de terracerías, de un rodillo vibratorio autopropulsado con las siguientes características:

Ancho del rodillo = 1.50 m
Velocidad máxima de desplazamiento = 5 km/h
Número de pasadas para obtener el 100% de compactación = 9
Espesor compacto de capa = 18 cm
Costo horario = $ 180.00/h

El material por compactar es una arcilla limosa y el volumen total es de 900,000 m3 compactos.

P R E G U N T A .

¿Se justifica la adquisición de un compactador de impacto con las siguientes caracteristicas?.

Costo de adquisición = $ 850,000.00
Costo horario = $ 230.00/h
Producción horaria al 100% de compactación = 230 m^3/h

¿Cuánto es el ahorro total por compactación?
Se debe determinar para cada equipo el costo de compactación.

A) Para rodillo vibratorio

$$\text{Producción} = \frac{1.50 \times 4 \times 18 \times 10 \times 0.8}{9}$$

$$\text{Producción} = 96\ m^3/h$$

$$\text{Costo compactación} = \frac{\$\ 180.00/h}{96\ m^3/h}$$

$$\text{Costo compactación} = \$\ 1.88/m^3$$

B) Para compactador de impacto.

$$\text{Costo compactación} = \frac{\$\ 230.00/h}{230\ m^3/h}$$

$$\text{Costo compactación} = \$1.00/m^3$$

Comparando un costo contra el otro, se observa que existe una diferencia de $ 0.88/m3 a favor del compactador de impacto.

Como el volumen por compactar es de 900,000 m^3, el ahorro total por compactación es de $ 792,000.00 el cual justifica ampliamente la adquisición del compactador de impacto, que en este caso específico, resultaría el adecuado para el material por tratar.

CONCLUSIONES

1. La forma de mejorar los elementos mecánicos en un suelo es la compactación.

2. Los efectos más importantes que produce una buena compactación en un suelo son: Resistencia mecánica, minimización de asentamientos y reducción de la permeabilidad.

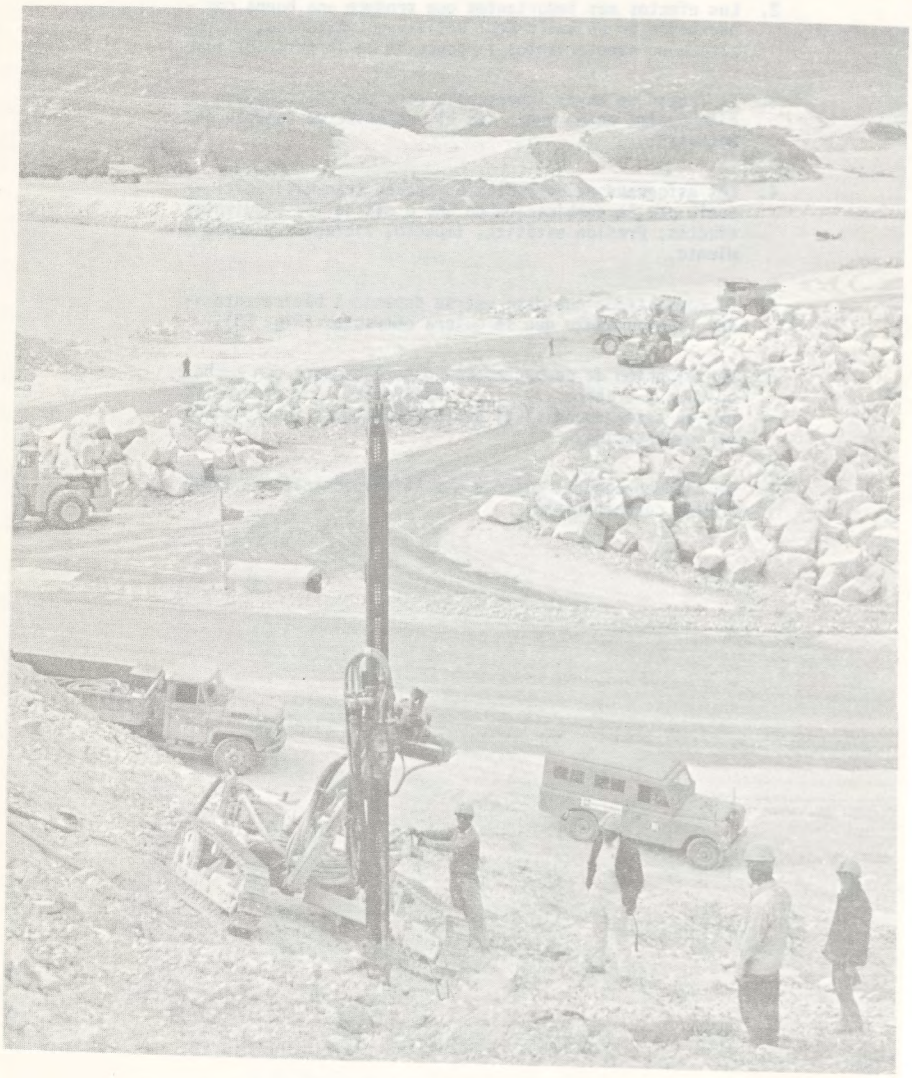
3. El factor de mayor importancia para dar una compactación óptima en un suelo, es el contenido de humedad del material.

4. Los esfuerzos de compactación pueden transmitirse al suelo por la combinación de uno o más de los siguientes efectos: Presión estática, impacto, vibración y amasamiento.

5. El compactador que deba usarse dependerá básicamente del tipo de suelo que se quiera compactar (Fig. 29).

6. La selección de compactadores deberá hacerse con mucho cuidado y tratando de hacer intervenir las variables ya que de esto dependerá el éxito económico y funcional de la compactación.

7. De un buen control depende que la compactación se lleve a cabo correctamente.



EXPLOTACION DE ROCA

Ing. Federico Alcaraz Lozano

En la explotación de roca podremos encontrar los siguientes casos importantes:

- *Roca graduada (en la que se piden requerimientos de tamaño).*
  - *Para trituración*
  - *Para enrocamientos etc.*
- *Roca sin graduar (cortes) (en la que no se piden requerimientos de tamaño)*

PROCESOS PRINCIPALES.

- *Extracción*
  - *con arado*
  - *con explosivos*
- *Carga*
  - *En distancias cortas para alimentar otra máquina (Quebradora).*
  - *En distancias largas para pedraplen.*
- *Acarreo*
  - *a corta distancia*
    - *Para alimentar otra máquina (Quebradora).*
    - *Para formar un pedraplén.*
  - *a distancia.*

EXTRACCION.

La extracción consiste en separar un fragmento de roca de un banco ó corte, reducido al tamaño adecuado para el uso a que se destine.

Para trituración	El tamaño limitado por la abertura de la quebradora primaria.
Para enrocamientos.	El tamaño limitado por proyecto, especificaciones y por el equipo de cargas y acarreo.
Para corte y pedraplén.	El tamaño limitado por el equipo de carga y acarreo, ó por la capacidad de los tractores.

El proceso de extracción con arado ya fué visto anteriormente en este curso, nos limitaremos a la extracción con explosivos.

EXPLOSIVOS.

DEFINICION.

Por explosivos se entienden aquellas substancias de poca estabilidad química, que son capaces al incendiarse ó detonar de producir una gran cantidad de energía, la que producirá una explosión. Si esta está confinada se aprovecha para separar la roca del banco (tronada)

RESEÑA HISTORICA.

Desde la aparición del hombre en la tierra, hasta el siglo XIV, éste no conocía otra detonación que no fuera la del rayo y otros fenóme--

nos telúricos. Nunca pensaron nuestros antepasados que una subs-- tancia aparentemente inofensiva llegara a ocasionar explosiones tan destructoras como las que en la actualidad son capaces de destruír a la humanidad.

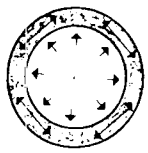
En Europa, entre los años 1200 y 1300, se conoció la pólvora negra, la más antigua de las substancias explosivas, que consistía en una - mezcla de salitre, carbón de leña y azufre. Probablemente su inventor fué el monje Bertoldo Schwarz a quien también se le debe su aplicación en las armas de fuego.

La pólvora negra sólo se utilizó para fines bélicos en un principio, y no fué sino hasta el siglo XVII cuando se probó en Alemania e Inglaterra para demoler piedras. Cuando los resultados que se obtuvieron fueron satisfactorios, se abandonaron los viejos métodos mineros, - generalizándose el trabajo con barrenos en la construcción de túneles y caminos. La operación de dar fuego a los barrenos se consideró - siempre peligrosa, ya que hasta el año de 1831 se conoció la mecha lenta.

Cinco siglos después de descubierta la pólvora negra, el químico francés Berthollet (1788) la modificó, sustituyendo el salitre por clorato - potásico, transformándola, así, en un explosivo más potente. En ese mismo año Berthollet presentó la plata negra como una de las subs-- tancias más peligrosas. El alquimista inglés Howard (1799) obtuvó el fulminato de mercurio, el cual hace explosión por medio de llama ó de percusión, constituyendo un verdadero detonante.

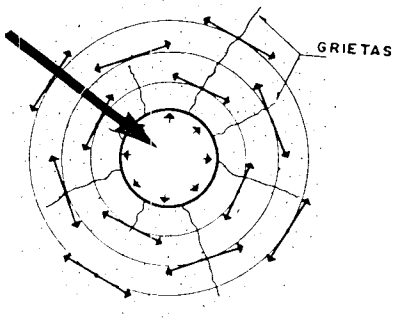
Aunque los descubrimientos de la nitroglicerina y el algodón pólvora por los químicos Sobrero y Schonbein influyeron notablemente en el campo de los explosivos, el que abrió nuevos horizontes en esta Industria, fué el sabio sueco ALFREDO NOBEL (1833-1896) que logró hacer manejable la peligrosa nitroglicerina, transformándola en un explosivo de trabajo, al que llamó DINAMITA, la cual no es otra cosa que el 75% de nitroglicerina absorvida en 25% de tierra de infusorios (una tierra de diatomeas muy porosa). A Nobel se le debe, también, la gelativa explosiva, así como la introducción del ya olvidado fulminato de mercurio, que fabricó a manera de cebo para provocar con seguridad la explosión de la dinamita, del algodón pólvora y de otros explosivos.

Los suecos Ahlsson y Norrbin obtuvieron los explosivos de nitrato de amónico, precursores de los explosivos de seguridad. Turpin dió a conocer el ácido pícrico. Esto, así como la salida al mercado de la pólvora sin humo, la laminar, etc., inició la erección de fábricas de pólvoras y explosivos en todo el mundo, dando así principio a una nueva era en la que se ha tratado de sacer el mayor provecho a estas substancias. Empresas muy poderosas se han dedicado al estudio y los resultados obtenidos son los máximos adelantos en esta materia. Queda al constructor sacar el mayor partido de los explosivos industriales y así cooperar al constante adelanto de los procedimientos de construcción, ya que estos son una expresión objetiva de la evolución constante de la humanidad.



LAS PAREDES DE UN TUBO DE ACERO SOMETIDO A PRESION INTERNA, ESTAN SOMETIDAS A TENSION

100,000 BARS



LA ROCA ALREDEDOR DE UN BARRENO CON GASES A PRESION (DEL EXPLOSIVO) ESTA SOMETIDA A TENSION . SI LA PRESION ES SUFICIENTEMENTE GRANDE TAMBIEN LO SERA LA TENSION Y HABRA GRIETAS.

PROPIEDADES.

a) Fuerza.

Por fuerza se entiende la energía ó potencia del explosivo; energía que a su vez determina el empuje ó fuerza que desarrolla y, por consiguiente, el trabajo que es capaz de hacer. Las dinamitas nitroglicerinas se clasifican según la proporción de nitroglicerina por peso que contienen. La dinamita nitroglicerina de 40% de fuerza, por ejemplo, contiene realmente 40% de nitroglicerina. La fuerza de acción de este tipo de explosivo se toma como base para la clasificación de todas las demás dinamitas. Así pues, la fuerza de cualquier otra dinamita, expresada en tanto por ciento, indica que esta revienta con tanta potencia como otra alaca equivalente de dinamita nitroglicerina en igualdad de peso.

Pocas son las personas entre las que usan dinamitas que entienden bien la energía relativa de las dinamitas de diferentes porcentajes de fuerza. Suele creerse que la energía verdadera desarrollada por estas distintas fuerzas guarda proporción directa con los porcentajes marcados. Se cree, por ejemplo, que la dinamita de 40% es dos veces más fuerte que la de 20%.

La inexactitud de esta creencia ha sido demostrada por cuidadosas pruebas de laboratorio, cuyos resultados se indican en la tabla siguiente que muestra el número de cartuchos de determinada fuerza necesaria para igualar un cartucho de diferente fuerza y de la misma densidad.

TABLA I

Un cartucho	60%	50%	45%	40%	35%	30%	25%	20%	15%
60%	1.00	1.12	1.20	1.28	1.38	1.50	1.63	1.80	2.08
50%	0.89	1.00	1.07	1.14	1.23	1.34	1.45	1.60	1.85
45%	0.83	0.93	1.00	1.07	1.15	1.25	1.36	1.50	1.73
40%	0.78	0.87	0.94	1.00	1.08	1.17	1.27	1.40	1.53
35%	0.72	0.81	0.87	0.93	1.00	1.09	1.18	1.30	1.50
30%	0.67	0.75	0.80	0.85	0.92	1.00	1.09	1.20	1.38
25%	0.61	0.69	0.74	0.78	0.85	0.92	1.00	1.10	1.27
20%	0.55	0.62	0.67	0.71	0.77	0.83	0.90	1.00	1.15
15%	0.48	0.54	0.58	0.61	0.76	0.72	0.78	0.86	1.00

Tabla que muestra el número de cartuchos de determinada fuerza necesaria para igualar un cartucho de diferentes fuerzas.

b) Velocidad.

Es la rapidez expresada en metros por segundo con que se propaga la onda de detonación a lo largo de una columna de explosivos.

Algunos explosivos violentos detonan mucho más rapidamente que otros. Cuando mayor es la rapidez de explosión mayor suele ser el efecto de quebramiento. Como este efecto depende también hasta cierto punto de la fuerza y de la densidad, deben tomarse en cuenta estas tres propiedades al escoger el explosivo adecuado para un fin determinado.

c) Resistencia al agua.

Los explosivos violentos difieren mucho entre sí por lo que toca a la resistencia al agua. En zonas secas esto no tiene mucho importancia, pero cuando existe mucha agua es preciso emplear un explosivo resistente al agua.

Número de cartuchos por caja de 25 Kgs. en las siguientes medidas:

CLASES DE DINAMITA:	2.22 x 20.32 cms. (7/8 x 8")	2.54 x 20.32 cms. (1 x 8")	2.857 x 20.32 cms. (1-1/8x8")	3.175 x 20.32 cms. (1-1 1/4 x 8")	5.71 x 40.64 cms. (2 1/4 x 16")	6.35 x 40.64 cms. (2 1/2 x 16")	7.62 x 40.64 cm (3 x 16"
DINAMITA EXTRA 40%	242	184	151	121	20	14	10
DINAMITA EXTRA 60%	242	184	151	121	20	14	10
GELATINA EXTRA 30%	193	151	123	98	15	12	8
GELATINA EXTRA 40%	196	153	126	99	16	12	8
GELATINA EXTRA 60%	207	164	135	108	16	12	9
GELATINA EXTRA 75%	216	171	143	112	17	12	9
GELAMEX # 1	236	180	150	121	21	16	11
GELAMEX # 2	261	198	165	134	20	16	11
MEXOBEL 2	- -	248	201	165	25	20	14
DURAMEX G	309	248	204	-	25	20	14

d) Densidad.

La densidad de una dinamita se expresa en forma del número de cartuchos de 1 $\frac{1}{4}$" x 8" (3.175 x 20.32cm.) que contiene una caja de 25Kg. la diferencia de densidad tiene por objeto facilitar la tarea de concentrar ó distribuir las cargas de la manera deseada.

e) Inflamabilidad.

Se refiere a la facilidad con que arde un materia. En el caso de las dinamitas, varia desde alguna que se incendian con facilidad y se queman violentamente, a otras que no sufren combustión a no ser que se les aplique directa y continuamente alguna flama exterior.

f) Emanaciones.

Los gases que se originan con la explosión de dinamita son principalmente bióxido de carbono, nitrógeno y vapor de agua, los cuales no son tóxicos en el sentido general de la palabra. Además de éstos, se forman ó pueden formarse emanaciones venenosas como el monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno. En la industria de explosivos estas emanaciones se conocen con el nombre de "gases". Tanto la naturaleza como la cantidad de gases venenosos varían en los diferentes tipos y clases de dinamitas.

g) Selección.

Para seleccionar el explosivo adecuado se anexa la siguiente table con propiedades y uso de los explosivos.

EXPLOSIVOS INDUSTRIALES, S.A. DE C.V.

CRUZ VERDE No. 15, TELS. 549-02-73 Y 689-26-58 COYOACAN, D.F.

" DISTRIBUIDORES AUTORIZADOS DU PONT "

LISTA DE PRECIOS EN VIGOR DESDE EL 2 DE ENERO DE 1984.

No.

NUESTRAS CAJAS DE DINAMITA PESAN 25 KGS. NETOS.

TOVEX 100 DE 2.54 X 20.32 CMS.	CAJA	$	8,550.00
TOVEX 100 DE 2.54 X 40.64 CMS.	"	"	7,625.00
TOVEX 700 DE 5.08 A 10.20 CMS.Ø.	"	"	6,400.00
TOVEX EXTRA DE 12.70 A 20.32 CMS.Ø	"	"	4,960.00
TOVEX "P" (PLASTEO) DE 15.24 CMS.Ø	"	"	4,960.00
SUPERMEXAMON "D" SACOS DE 25 KGS.	SACO	"	1,750.00
MEXAMON "G" .... SACOS DE 25 KGS.	"	"	1,325.00
DETOMEX No. 1 (CAJA CON 50 PZAS.)	CAJA	"	32,425.00
DETOMEX No. 3 (CAJA CON 150 PZAS.)	"	"	80,000.00
MECHA CLOVER EN ROLLOS DE 50 MTS.	ROLLO	$	1,363.00
MECHA CLOVER EN CARRETES DE 1,000 MTS.	CTE.	"	27,260.00
CAPSULAS No. 6 (FULMINANTES)	CIENTO	"	2,400.00
PRIMACORD REFORZADO EN CARRETES DE 500 MTS. .	CTE.	"	27,970.00
E-CORD EN CARRETES DE 500 MTS.	"	"	17,600.00
CONECTORES PARA PRIMACORD (9 Y 17 MS.) . . .	PZA.	$	518.00
IGNITACORD TIPO "B" CARRETES DE 30.00 MTS. . .	CTE.	"	2,530.00
CONECTORES PARA IGNITACORD	CIENTO	"	2,370.00
OHMETRO DU PONT	PZA.	"	71,500.00
MAQUINA EXPLOSORA No. 50	"	"	168,600.00
PINZAS No. 4 PARA CAPSULAS	"	"	4,930.00
MANUAL PARA EL USO DE EXPLOSIVOS	"	"	1,200.00
ALAMBRE SENCILLO No. 14 (ROLLO DE 100 MTS.).	"	"	950.00
ALAMBRE CONEXION No. 20 (ROLLO DE 100 MTS.).	"	"	365.00

ESTOPINES ELECTRICOS INSTANTANEOS No. 6 ALAMBRE DE COBRE:

LARGO EN METROS:				PRECIO POR PIEZA:		
2.00	2.50	3.00	3.50	5.00	6.00	
181.00	196.00	211.00	224.00	267.00	295.00	32

ESTOPINES ELECTRICOS DE TIEMPO ALAMBRE DE COBRE:

DE 3.00 MTS. DE 25 A 300 MILISEGUNDOS	PZA.	$	261.00
DE 5.00 MTS. DE 25 A 300 MILISEGUNDOS	"	"	313.00
DE 3.00 MTS. DE "0"A 9o. TIEMPO	"	"	277.00
DE 5.00 MTS. DE "0"A 9o. TIEMPO	"	"	328.00

NUESTROS PRECIOS SON L.A.B. TLALPAN, D.F., Y ESTAN SUJETOS A CAMBIO SIN PREVIO AVISO, RIGIENDO AQUELLOS QUE PREVALEZCAN EN LA FECHA DE ENTREGA O EMBARQUE. NOTA: A LOS PRECIOS ANOTADOS AGREGAR EL IMPORTE DEL I.V.A.

TABLA II

TIPO	ACENTE EXPLOSIVO	FUERZA	VELOCIDAD	RESISTENCIA AL AGUA	EMANACION	USO
Dinamita Nitroglicerina.	Nitroglicerina		Alta	Buena	Exceso de gases.	Trabajos a cielo abierto.
Extra	Nitroglicerina y amoniaco	20 a 60%	Alta	Regular	Exceso de gases.	Trabajos a cielo abierto.
Granulada	Amoniaco	25 a 65%	Baja	Muy mala	Exceso de gases.	Trabajos a cielo abierto (canteras)
Gelatina	Amoniaco	30 a 75%	Muy alta	Buena a excelente.	Muy pocos gases a nulos	Sismología. Trabajos submarinos y subterráneos.
Permitidos	?		Alta	Regular	Muy pocos gases.	Trabajos mineros (carbón)
Baja densidad	Amoniaco	25%	Regular	Ninguna	Pocos gases	Trabajos mineros.

Selección y Propiedades de los Explosivos más comunes en construcción.

ACCESORIOS PARA VOLADURAS.

Los accesorios para voladuras son los productos ó dispositivos empleados para ceber cargas explosivas, suministrar ó transmitir una llama que inicie una explosión, ó llevar una onda detonadora de un punto a otro ó de una carga explosiva a otra.

INICIADORES.

a) Mecha para minas.

La mecha para minas consiste en un núcleo de pólvora negra especial, envuelto con varias cubiertas de hilazas ó cintas y sustancias impermeabilizantes. Su objeto de hacer estallar al fulminante, por lo tanto debe arder en una forma contínua y uniforme. La velocidad de ignición oscila entre 125 y 131 segundos por metro.

b) Ignitacord.

Es un artefacto para encender mecha. Tiene la apariencia de un cable de diámetro muy pequeño y arde progresivamente con una flama exterior corta y muy caliente que permite encender una serie de mechas en "rotación", con la ventaja de que el tiempo necesario para que una persona inicie el encendido de la serie, es el mismo que se necesitará para encender una sola mecha.

Se surte en tres velocidades de combustión: De 26 a 33 segundos por metro; de 52 a 65 segundos por metro y de 13 a 16 segundos por metro.

DETONADORES.

a) Fulminantes.

Los fulminantes son tubos ó casquillos cerrados en un extremo y que contienen una carga de explosivos de gran sensibilidad. Están hechos para detonar con las chispas del tren de fuego de la mecha para minas.

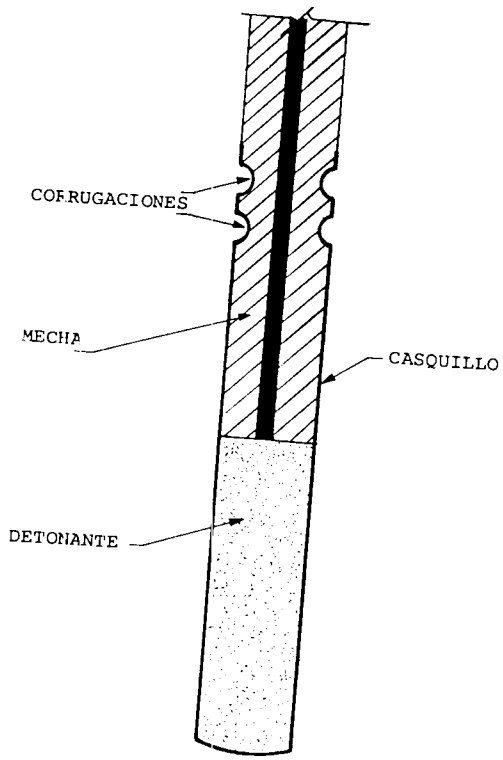
b) Estopines eléctricos.

Los estopines eléctricos, son fulminantes elaborados de tal manera que pueden hacerse detonar con corriente eléctrica. Con ellos pueden inciarse simultáneamente varias cargas de explosivos de gran potencia. Los estopines eléctricos tienen una carga básica de un explosivo de alta velocidad, una carga como cebo y una carga de ignición suelta ó de tipo bildora.

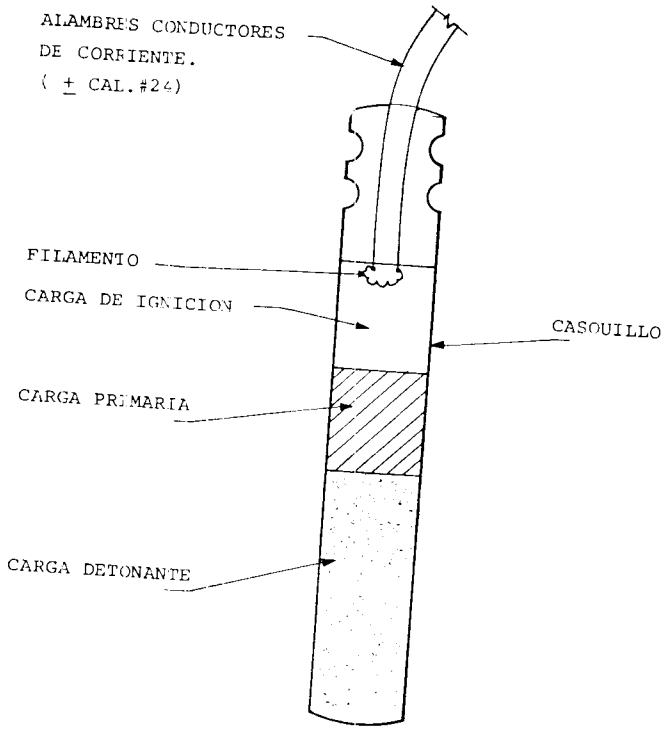
El dispositivo para la detonación con electricidad consiste en dos --- alambres con aislamiento de plástico, con un tapón de hule que mantiene los alambres en su lugar y un puente de alambre anticorrosivo de diámetro pequeño, que une las terminales de los alambres debajo del tapón. Cuando se aplica la corriente eléctrica el puente se pone incandescente y detona el estopín.

c) Estopines eléctricos tipo instantáneo.

Los estopines eléctricos instantáneos tienen casquillos de aluminio de 1 1/8" de largo; estos son los detonadores para usos comunes. Un alambre lleva aislamiento color rojo y el otro amarillo, estos dos colores distintos son de gran ayuda al hacer las conexiones.



ESTRUCTURA DE UN FULMINANTE.



ESTRUCTURA DE UN ESTOPIN INSTANTANEO

d) Estopines eléctricos de tiempo.

Los estopines eléctricos de tiempo son semejantes a los estopines - eléctricos instantáneos, con la diferencia que llevan un elemento de retardo colocado entre el puente de alambre y las cargas de detonación.

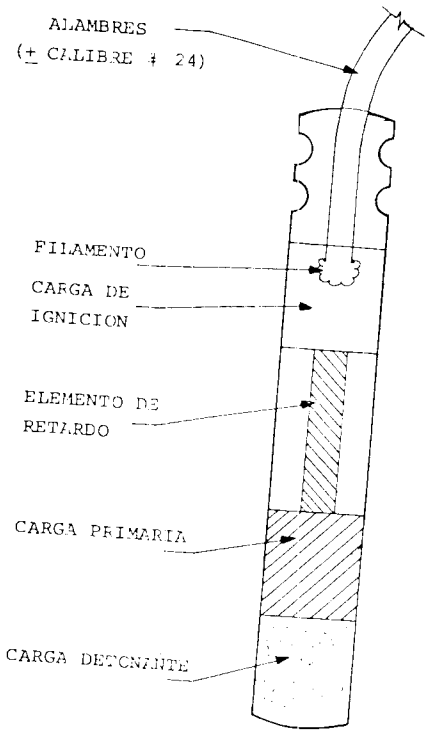
Existen dos tipos diferentes de estopines eléctricos de tiempo, los - regulares Mark V y los estopines eléctricos de tiempo "MS". La diferencia estriba, particularmente en la duración del intervalo de retardo entre períodos consecutivos de la serie.

e) Estopines eléctricos de tiempo regulares Mark V.

La nueva serie de estopines eléctricos de tiempo regulares, ha sido fabricada para disparar con un intervalo definido entre el estopín -- más lento de cualquier período y el más rápido del siguiente período. Estas nuevas series aseguran un intervalo positivo de tiempo - entre períodos y a través de toda la serie de tiempos. Comprenden 10 períodos de retardo, los tiempos de detonación de los estopines - Mark V después de aplicar la corriente, para el primer período es de 25 MS y para el décimo período 9.6 segundos.

f) Estopines eléctricos de tiempo "MS".

Los estopines eléctricos de tiempo con retardo de milésimos de segundo difieren de los estopines de tiempo ordinario en que los intervalos de retardo son muy cortos. Su elemento de retardo es diferente al de los estopines de tiempo ordinarios. Se surten en 10 períodos



ESTRUCTURA DE UN ESTOPIN DE TIEMPO

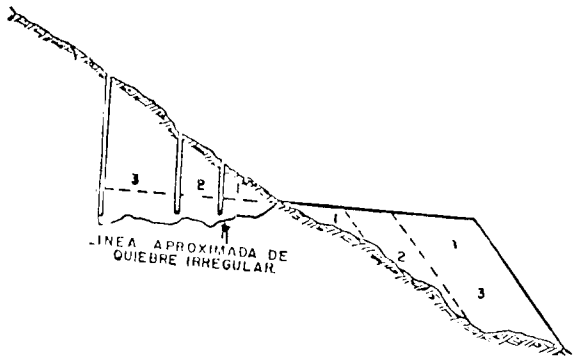


Figura 2.

Los resultados con el sistema Mark V son sorprendentes; con la práctica puede dominarse una voladura.

Método para reducir la vibración:

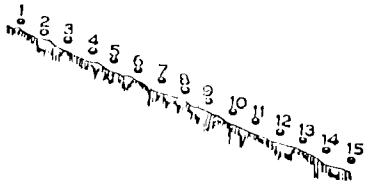
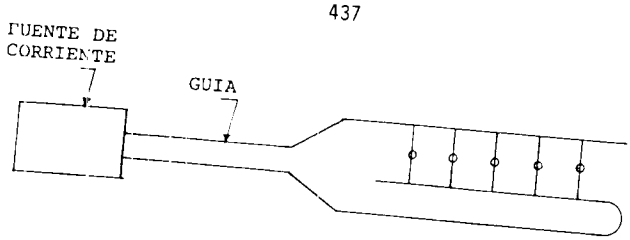
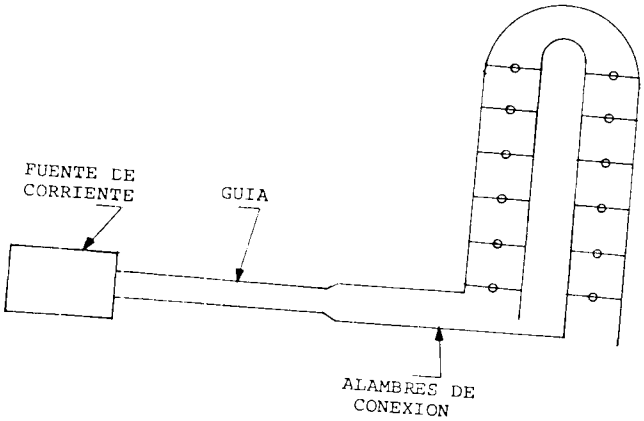


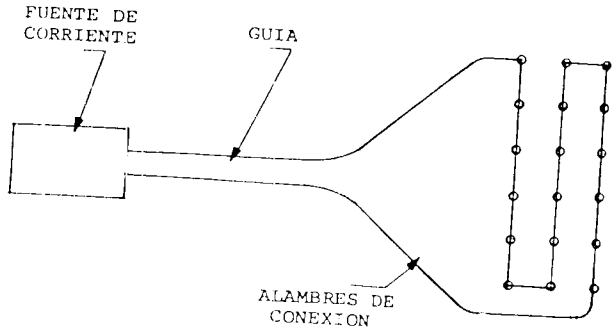
Figura 3.



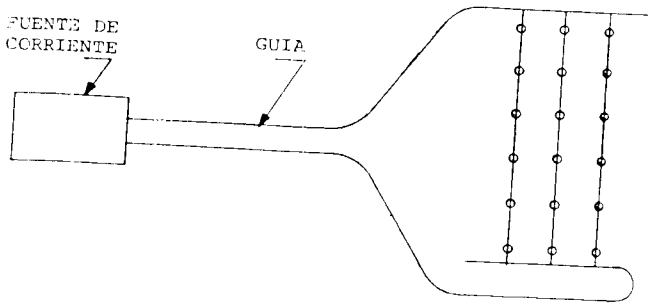


La corriente que pasa por cada estopín recorre la misma longitud de alambre, y por lo tanto la resistencia y la intensidad son iguales para cada estopín.

ESTOPINES CONECTADOS EN PARALELO

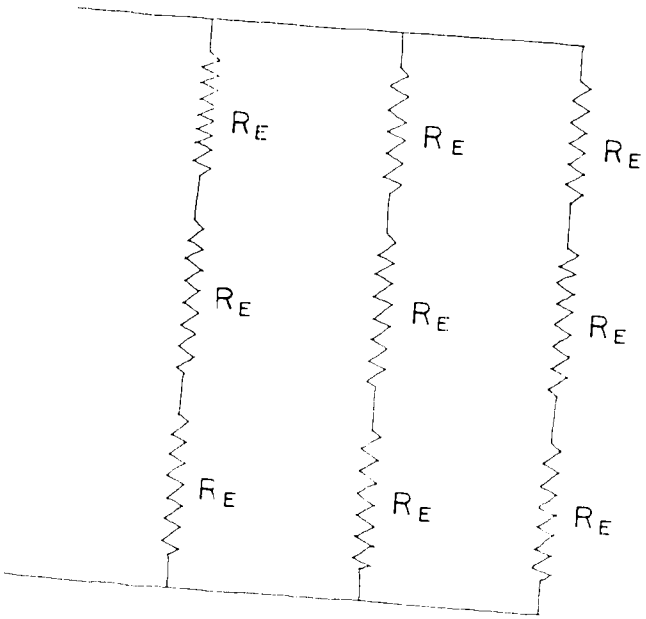


ESTOPINES CONECTADOS EN SERIE



ESTOPINES CONECTADOS EN SERIE - PARALELO.

CONEXIONES EN SERIE PARALELO



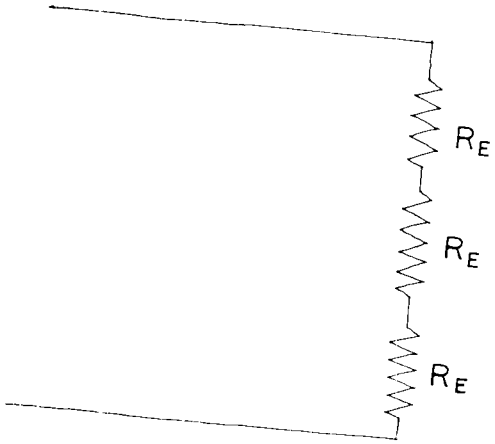
$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{N_1 R_E} + \frac{1}{N_2 R_E} + \frac{1}{N_3 R_E} + \dots$$

Si: $N_1 = N_2 = N_3 = \dots\dots N_n$:

$$R_T = R_E \frac{N_1}{N_s}$$

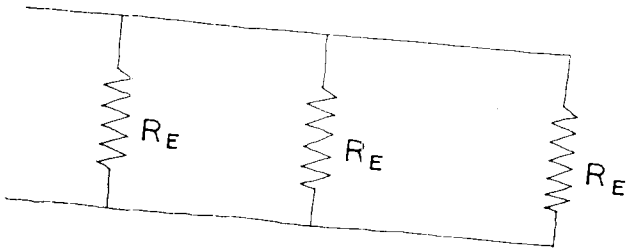
R_T=RESISTENCIA TOTAL
R_E=RESISTENCIA DE CADA ESTOPIN
N_1=NUMERO DE ESTOPINES POR SERIE
N_s=NUMERO DE SERIES

CONEXIONES



$$R_T = N R_E$$

SERIE SIMPLE



PARALELO

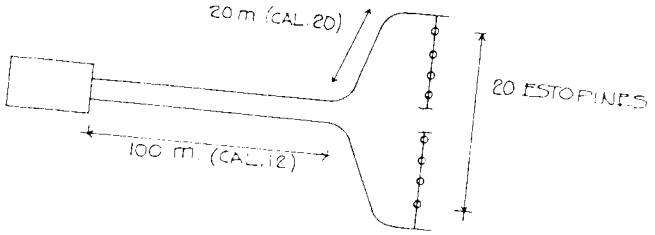
$$R_T = \frac{R_E}{N}$$

RESISTENCIA DE LAS CAPSULAS DETONANTES ELECTRICAS NORMALES Y RETARDADAS.		
LONGITUDES DE LAS PATAS DE ALAMBRE, FT.	RESISTENCIA, OHMS POR CÁPSULA	
	NORMAL	RETARDADA
2	1.6	
2.5	1.7	
30	1.8	1.68
3.5	1.9	
5.0	2.18	2.06
6.0	2.37	
7.0	2.56	
9.0	2.75	
10.0	3.14	

RESISTENCIA DE ALAMBRE DE COBRE	
CALIBRE A W G NÚM.	RESISTENCIA, OHMS POR 1,000 FT.
8	0.628
10	0.999
12	1.588
14	2.525
16	4.015
18	6.385
20	10.150
22	16.140

CORRIENTE DE DISPARO		
	MÍNIMA	PARADISEÑO
ESTOPINES INSTANTANEOS:	0.3 A	2.0 A
ESTOPINES DE TIEMPO:	0.4 A	2.0 A

EJEMPLO: UNA SERIE DE 20 ESTOPINES DE 10M. DE LARGO.



RESISTENCIA:

DE ALAMBRE:

200 M. CAL 12 x 1.588/305 = 1.04 Ω
40 M. CAL 20 x 10.15/305 = 1.33 Ω

20 ESTOPINES x 3.14 Ω = 62.80 Ω

65.17 Ω

$$V = RI$$

$$I = \frac{V}{R} = \frac{80}{65.17} = 1.23 \text{ AMPS.}$$

NO ES SUFICIENTE, PORQUE PARA ASEGURAR EL ESTALLIDO SE RECOMIENDAN POR LO MENOS 1.5 AMPS EN CORRIENTE DIRECTA, Y 2 EN CORRIENTE ALTERNA. SUGERENCIA: USAR DOS SERIES DE 10 ESTOPINES.

cuyos numeros indican el tiempo que tarda el disparo en producirse, en milésimos de segundo a saber: MS - 25, MS - 50, MS - 100, -- MS - 150, MS - 200, MS - 300, MS - 400, MS - 600, MS - 800, MS - 1000.

MECHAS DETONANTES.

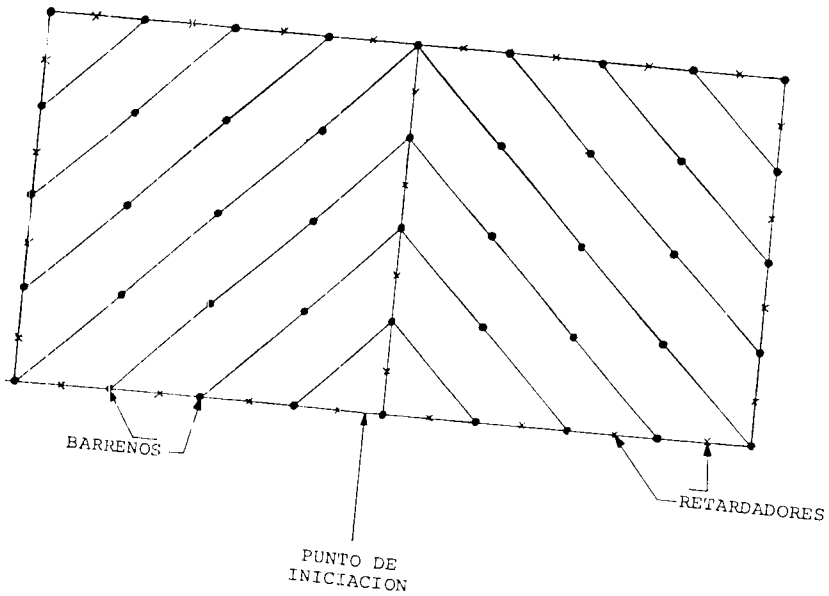
a) Primacord.

Este producto es un cordón detonante que contiene un núcleo de te-- tranitrato de pentaeritritol (Niperita) dentro de una envoltura impermeable reforzada con cubiertas que la protegen. Tiene una velocidad de detonación muy alta de 6,400 metros por segundo. La fuerza con que estalla es suficiente para hacer detonar los explosivos violentos continuos dentro de un barreno, de modo que si se conecta al primer cartucho que se coloque en el barreno, actúa como un agente inicia-- dor a todo lo largo de la carga explosiva.

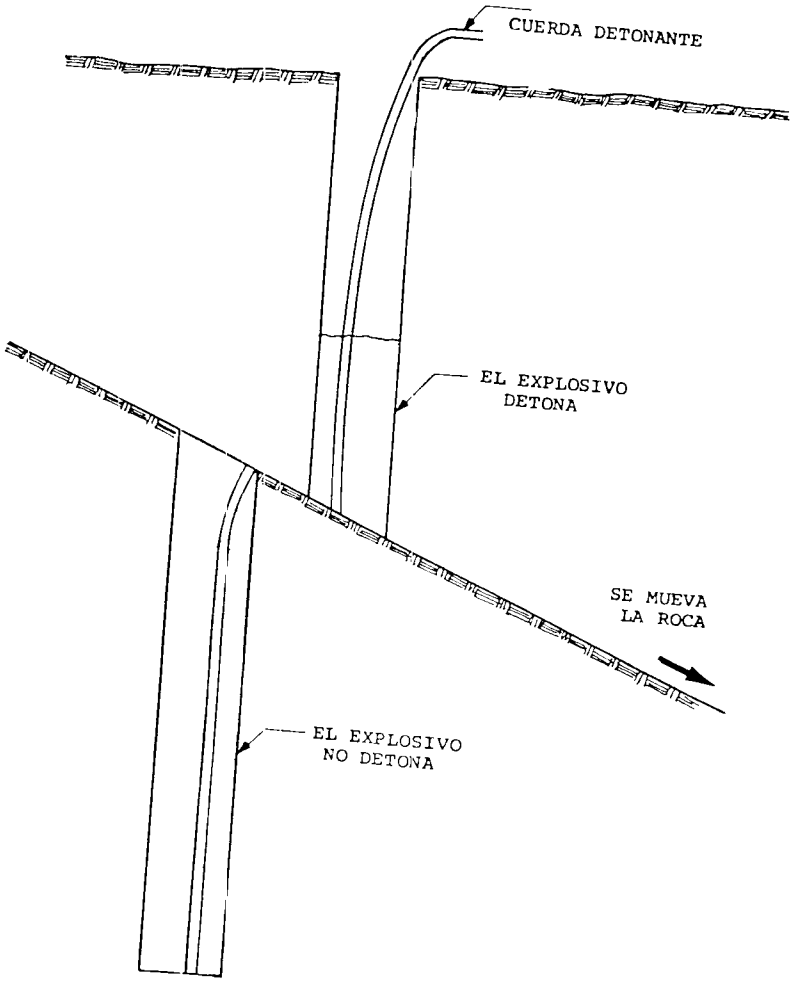
El "primacord" se usa principalmente para disparos múltiples de barrenos grandes en la superficie ya sean verticales y horizontales. Es ilimitado el número de barrenos que pueden dispararse en esta forma.

PINZAS CORRUGADORAS DE FULMINANTES.

Hay dos tipos de pinzas: Las de mano y las máquinas corrugadoras. Las pinzas de mano dan un servicios satisfactorio en las operaciones donde el número de fulminantes que va a fijarse a los tramos de mecha es relativamente pequeño. En cambio la máquina se recomienda para operaciones donde diariamente se fija una gran cantidad de fulminantes y donde hay puestos centrales para hacer ese trabajo de fi-



CONEXIONES DE PRIMACORD CON RETARDADORES
SUPERFICIALES



FALLA CAUSADA POR CORTE DE LA DETONACION

jación.

MAQUINAS EXPLOSORAS.

Estas máquinas suministran la corriente necesaria para disparos -- eléctricos. Hay dos tipos de Máquinas Explosoras. El tipo "Descarga de Condensador" y el tipo "Generador".

DESCARGA DE CONDENSADOR.

Utiliza pilas secas para la carga de un banco de condensadores que - ya así pueden proporcionar una corriente directa y de corta duración a los dispositivos de disparo eléctrico. Están provistas de cajas metálicas resistentes al agua. Se caracterizan por:

1. - Una capacidad extremadamente alta, en comparación con su peso y tamaño.
2. - La ausencia de partes dotadas de movimiento.
3. - La eliminación del factor humano que interviene en las máquinas de tipo mecánico.
4. - Una luz piloto, y
5. - Un sistema de alambres e interruptores que reúne importantes características de seguridad.

GENERADOR.

Su principio se basa en un generador modificado que proporciona una corriente directa pulsativa. Estás máquinas son de tipo llamado "de vuelta" ó también "Cremallera". Están diseñadas de tal manera que no fluye de ellas corriente alguna hasta que se dé todo el movimiento

necesario a la manivela de Vuelta ó de Cremallera; es entonces cuando la corriente va a dar a las líneas de disparo en casi todo su amperaje y voltaje.

INSTRUMENTOS DE PRUEBA.

a) Galvanómetro para voladuras.

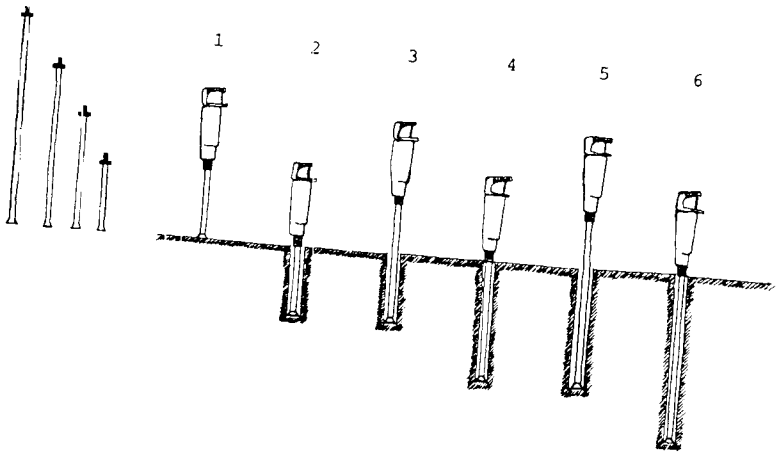
Este instrumento tiene una pila especial de cloruro de plata que proporciona la corriente necesaria para mover una manecilla en una escala graduada. La pila y las partes mecánicas están encerradas en una caja de pasta la cual está provista de dos bornes de contacto. Sirve para probar los estopines eléctricos individuales y también para determinar si un circuito de voladura está cerrado ó no y si está en condiciones para el disparo; además sirve para localizar los alambres rotos, las conexiones defectuosas y los cortos circuitos, así como para medir la resistencia aproximada de un circuito.

b) Voltiohmetro para voladuras.

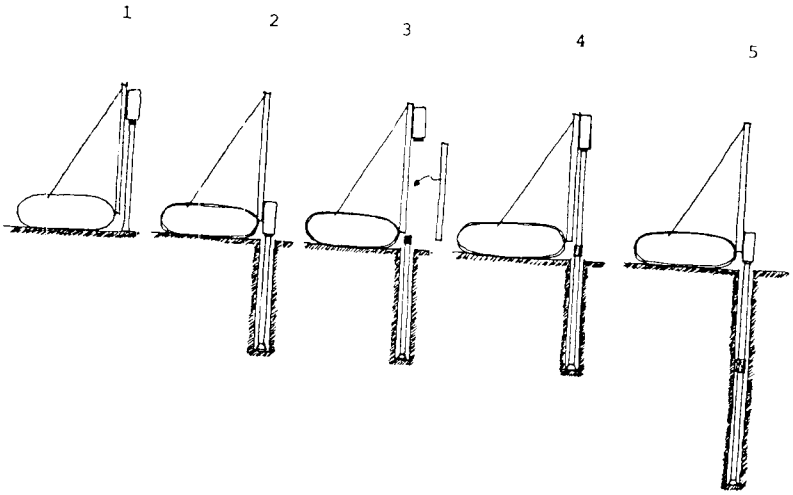
Este instrumento es una combinación del voltímetro y del óhmetro, que sirve para descubrir la presencia de corrientes extrañas, para la lectura de voltaje de las líneas y para medir la resistencia de los circuitos de voladura.

c) Reostato.

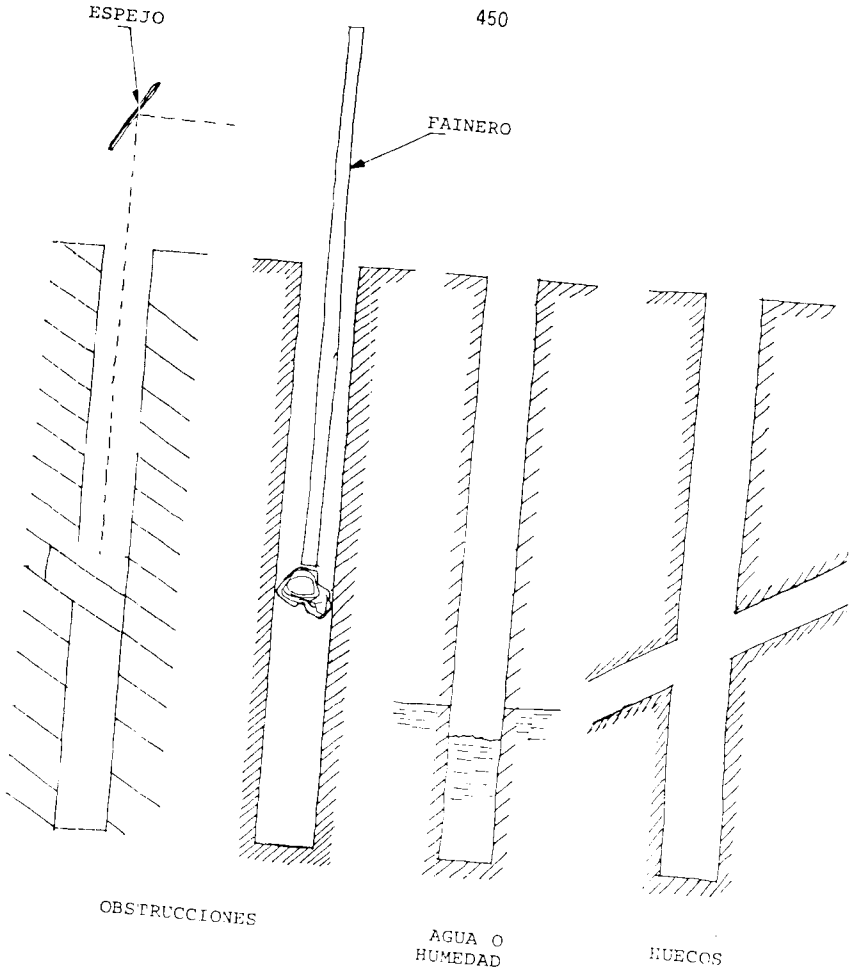
Este instrumento se usa para probar la eficiencia de las máquinas explosoras de cremallera.



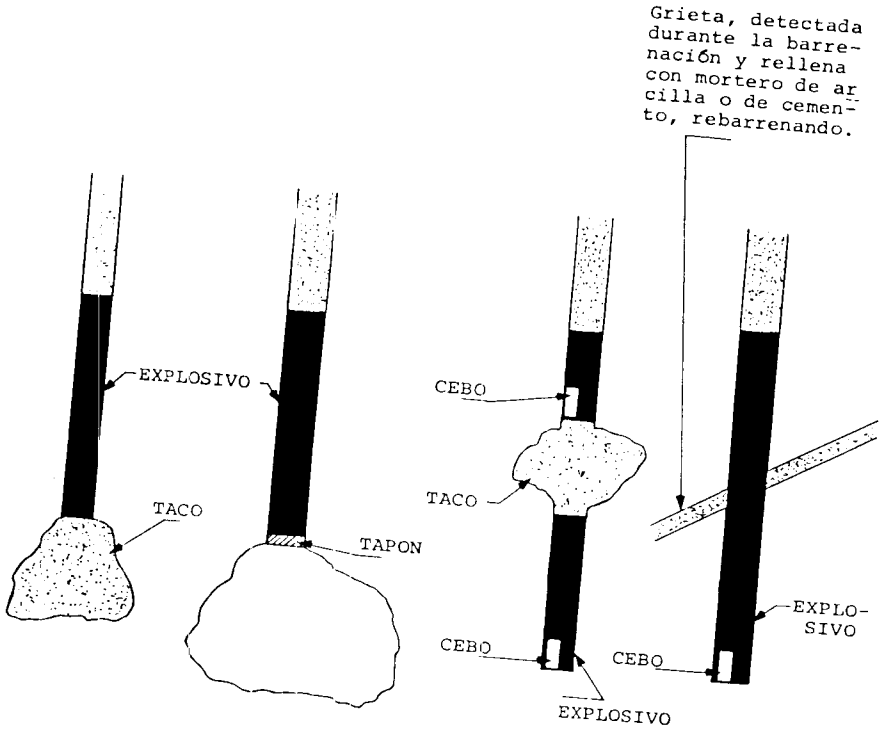
ETAPAS DE BARRENACION CON
ESCALAS DE ACERO.



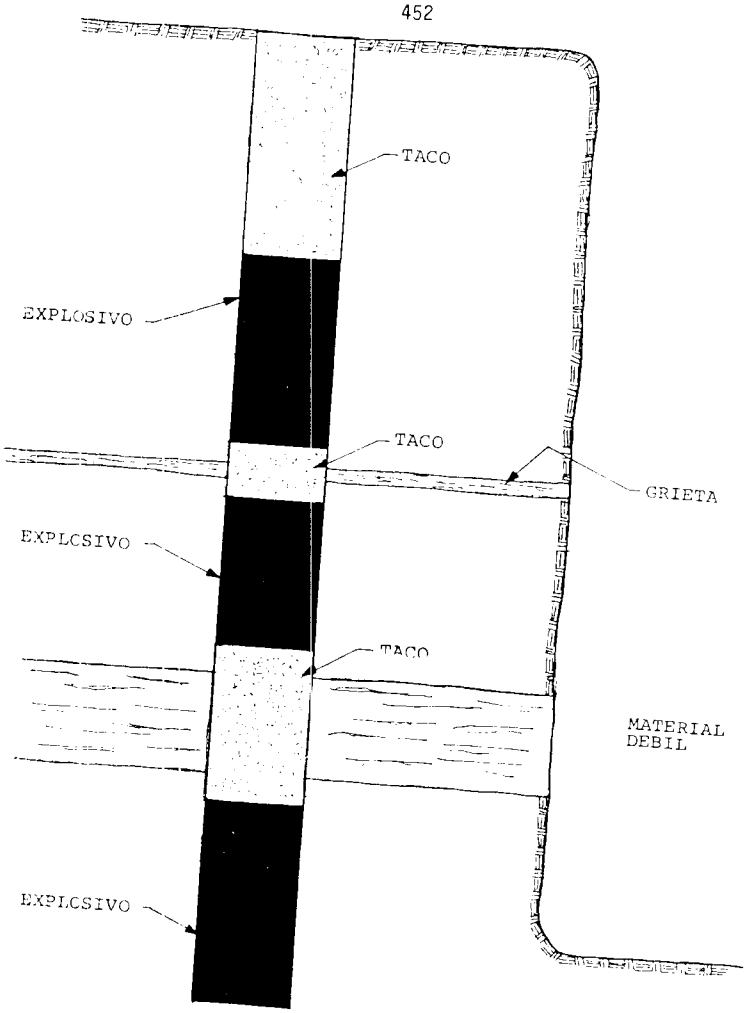
ETAPAS DE BARRENACION CON
ACERO SECCIONAL.



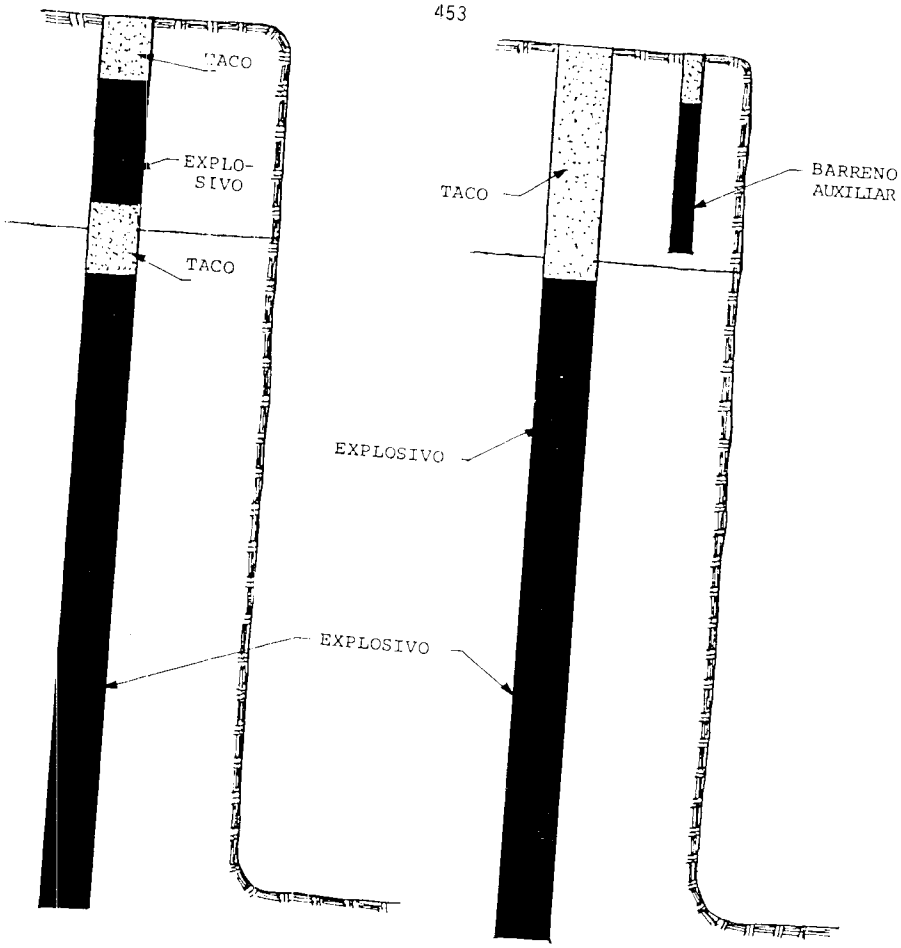
REVISION DE UN BARRENO



CORRECCION DE HUECOS



CORRECCION DE HUECOS



METODOS PARA ROMPER CAPAS MUY
RESISTENTES EN LA PARTE ALTA

CARACTERISTICAS DE UNA BUENA VOLADURA

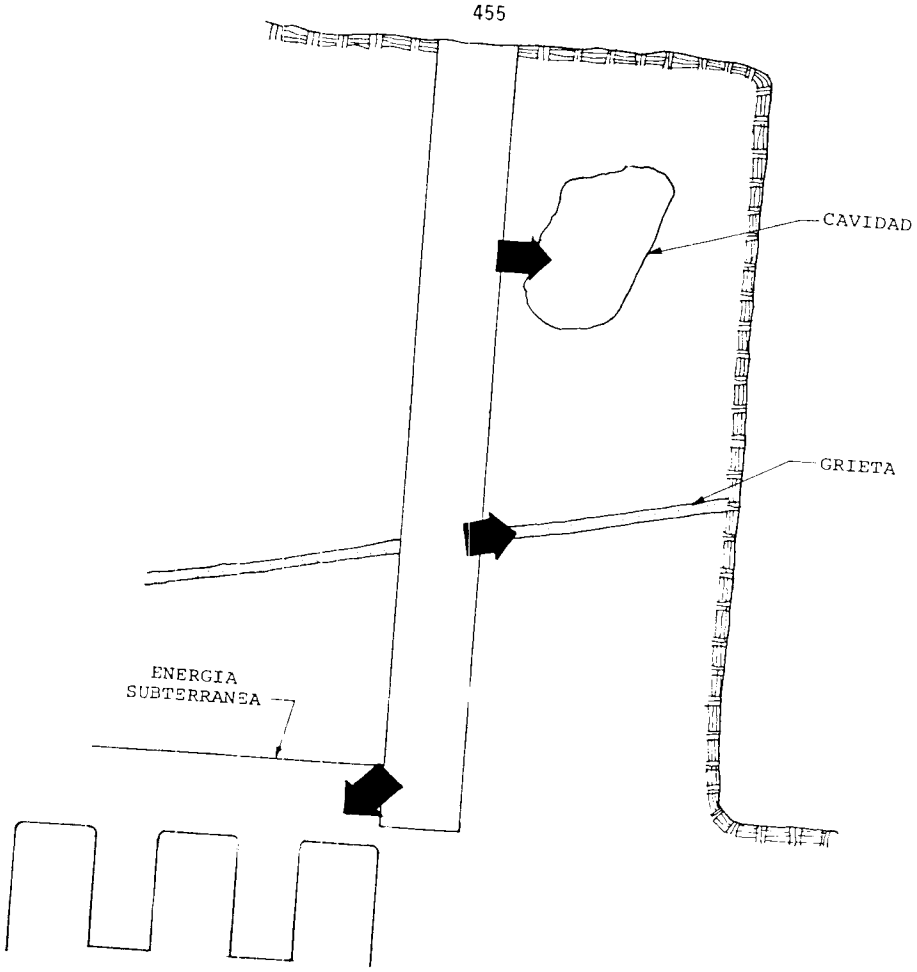
- LA ROCA DEBE TENER LA GRANULOMETRÍA REQUERIDA.
- CONSUMO MÍNIMO DE EXPLOSIVOS.
- MÍNIMA BARRENACIÓN.
- MÍNIMAS PROYECCIONES.
- MÍNIMA FRACTURACIÓN DE LA ROCA NO VOLADA.

USO DE LA ENERGIA DEL EXPLOSIVO:

1º FRACTURAR LA ROCA. (UTIL)

2º MOVERLA DE LUGAR PARA EVITAR TRABAZONES. (UTIL)

3º PROYECTAR ROCAS. (INUTIL)



PERDIDA EN LA ENERGIA DEL
EXPLOSIVO EN ZONAS DEBILES.

INFLUENCIA DE LA DISPOSICION RELATIVA DE LOS BARRENOS

La plantilla más sencilla para una voladura de varias hileras, lateralmente limitadas, es la que se muestra en la figura 3.

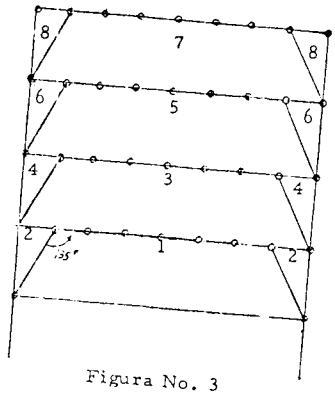


Figura No. 3

Todos los barrenos por hilera, excepto los de esquinas, se inician con un mismo número de retardo, con lo que, en el momento de la detonación, cada barreno tiene rotura libre. Esto no sería posible si los barrenos de esquina se iniciaran al mismo tiempo, ya que se tendría una probabilidad muy grande de que éstos se encendieran -- antes de los inmediatamente próximos, quedando en condiciones de rotura desfavorable. Este tipo de encendido exige el doble de intervalos que hileras, lo cual es una restricción cuando se trata de -- grandes voladuras con varias hileras, ya que los intervalos disponibles no son sufientes para la aplicación de una secuencia de encendido como la de la figura 3.

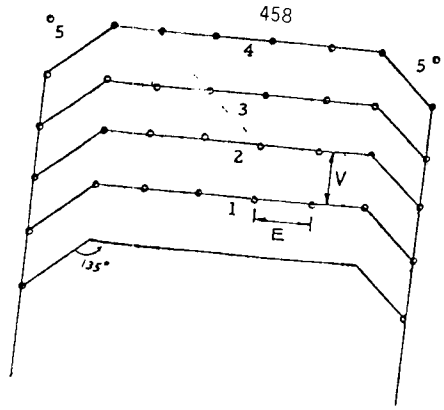


Figura No. 4

La plantilla anterior, se puede modificar como se muestra en la -- figura 4 en la cual todos los barrenos de la hilera, a excepción de los de esquina, se encienden con el mismo intervalo que los barrenos de esquina de la hilera anterior. Con este arreglo, se usa un -- menor número de intervalos en los estopines.

Otro tipo de plantilla sería como la mostrada en la figura 5, la cual es adecuada para una mayor fragmentación, un mejor acabado en las paredes y una rezaga más concentrada, aunque presenta malas condiciones para el desprendimiento de la parte central, pues después del encendido del retardo Núm. 1 que tiene la rotura libre; salen los dos barrenos de ambos lados de la misma hilera con el retardo núm. 2, así como este mismo, lo que dá como resultado que el barreno de - la segunda hilera se pueda adelantar a los de enfrente, quedándose encerrado en el momento de encendido y efectuando una voladura defectuosa.

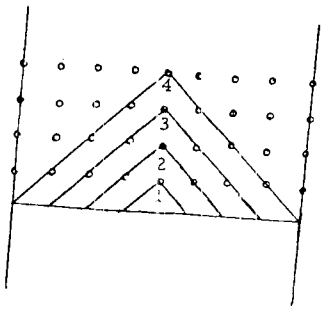


Figura No. 5

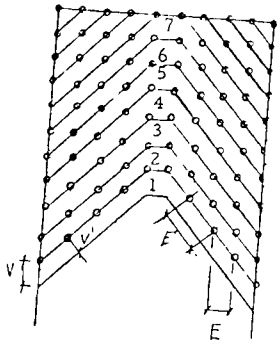


Figura No. 6

Para evitar lo anterior, se utiliza una plantilla como la mostrada en la figura 6.

Los dos barrenos que están ligeramente más comprimidos que los otros, se han dispuesto en la hilera de modo que, el desgarramiento en sus alrededores, no afecte al contorno final de la pared acabada.

Además, se debe tomar en cuenta la gran importancia que tiene la relación pata-espaciamiento para la fragmentación; en la figura 6 así como en la 5 se tiene que, en comparación con la figura 4

$$E' = E \times \sqrt{2}, \qquad V' = V / \sqrt{2}$$

por lo que, igualando términos, $\frac{E'}{V'} = \frac{2E}{V}$ lo cual es favorable para la fragmentación; ésto queda más claro si se toman en cuenta las ilustraciones de las figuras 7 y 7A, las cuales fueron determinadas experimentalmente.

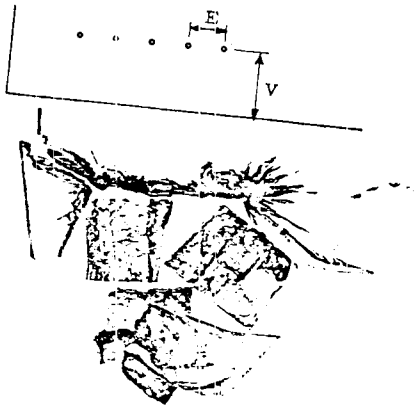


Fig. 7

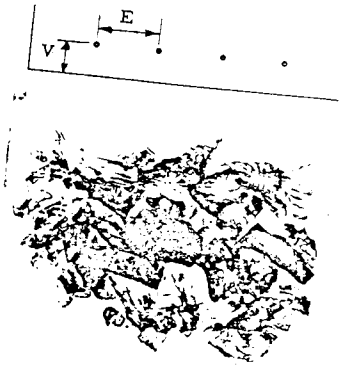
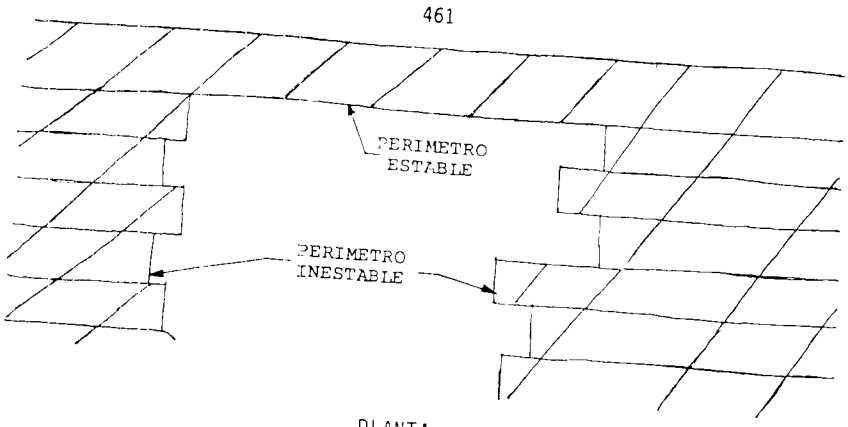


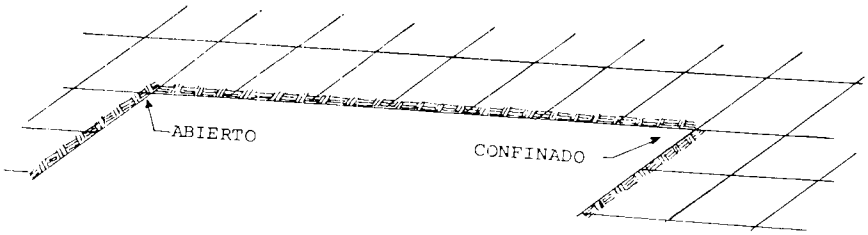
Fig. 7-A

Donde se ve claramente que al aumentar la relación E/V, aumenta la fragmentación

Por otro lado se tiene que, como se vió anteriormente hablando de los ángulos característicos, el encendido de hileras oblícuas al eje de la voladura implica que la proyección que tiene lugar en ángulos rectos con las hileras de encendido, no sea normal al frente, sino según el ángulo de 45° con la prolongación del eje. Esto reduce la proyección y consecuentemente, se tienen posibilidades para una carga de explosivos más potente, una mejor fragmentación y un producto más concentrado que facilitará la rezaga.

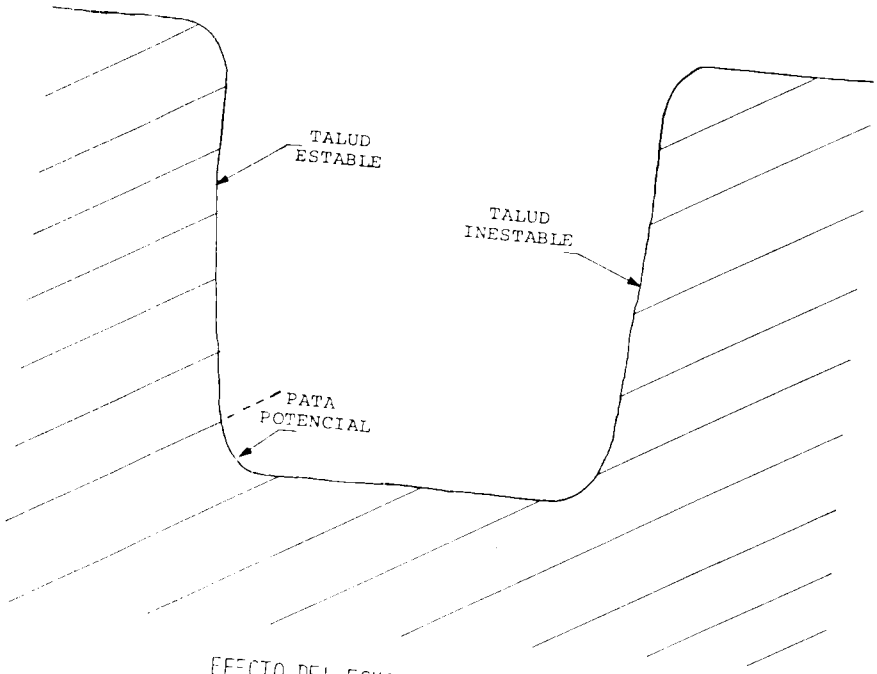


PLANTA
EFECTO DE LA ESTRATIFICACION EN LA
ESTABILIDAD DE LA EXCAVACION



Rincones abiertos y confinados, causados por la estratificación.

PLANTA



EFECTO DEL ECHADO DE LA ROCA
EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y EN LA FORMACION
DE PATAS.

Es importante hacer notar que todas las cifras anotadas son aproximadas y se -- intentan solamente como una guía general, y como una base para comenzar a hacer pruebas en cada caso especial.

CONSUMO DE EXPLOSIVOS.

Este debe determinarse en cada caso por medio de pruebas.

Para facilitar las pruebas se parte de las siguientes reglas:

1) La carga por metro cúbico de roca fragmentada, será la misma, independientemente del tamaño de la prueba.

2) La carga específica necesaria para una voladura es al rededor de 0.4 kg/m.3. (puede variar de 0.2 a 0.6 kg/m^3)

3) La carga del fondo del barreno debe ser 2.7 veces mayor que la carga de la columna

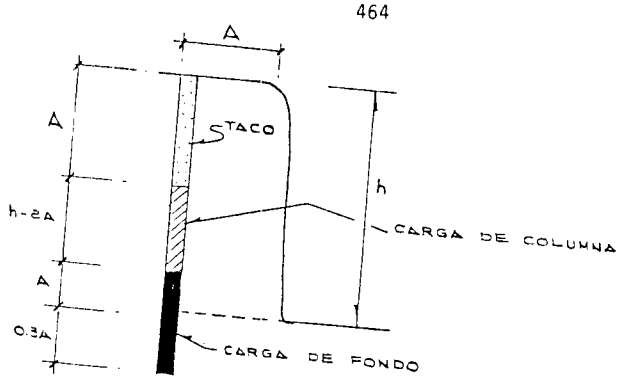
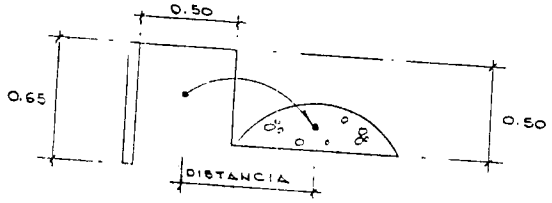


Figura 8.

y se distribuirá de acuerdo con la figura 8.

4) Un buen procedimiento para hacer pruebas consistente en volar -- barrenos de 0.50 m. de profundidad y 0.50 m. de pata. Se repite varias veces el procedimiento, aumentando la carga hasta que sea suficientemente grande para fracturar la pata.

Si el centro de gravedad de la roca es lanzado hacia el frente de - 0 a 1m. se dice que la carga es la correcta. Lanzamientos mayores de la roca, a 2, 4, 6 y 8ms, indican excesos de carga de 10, - 20, 30 y 40% respectivamente.



Con esta carga se hacen pruebas un poco más grandes (5m. de profundidad).

5) La separación entre barrenos es aproximadamente 1.3 A.

6) La pata depende de la carga por metro que se pueda concentrar en el fondo y de la altura de la carga.

La altura de la carga, a su vez, depende del diámetro del barreno.

7) La relación entre el tamaño de la pata y el diámetro del barreno (d), está dada por:

$$A = 40\ d.$$

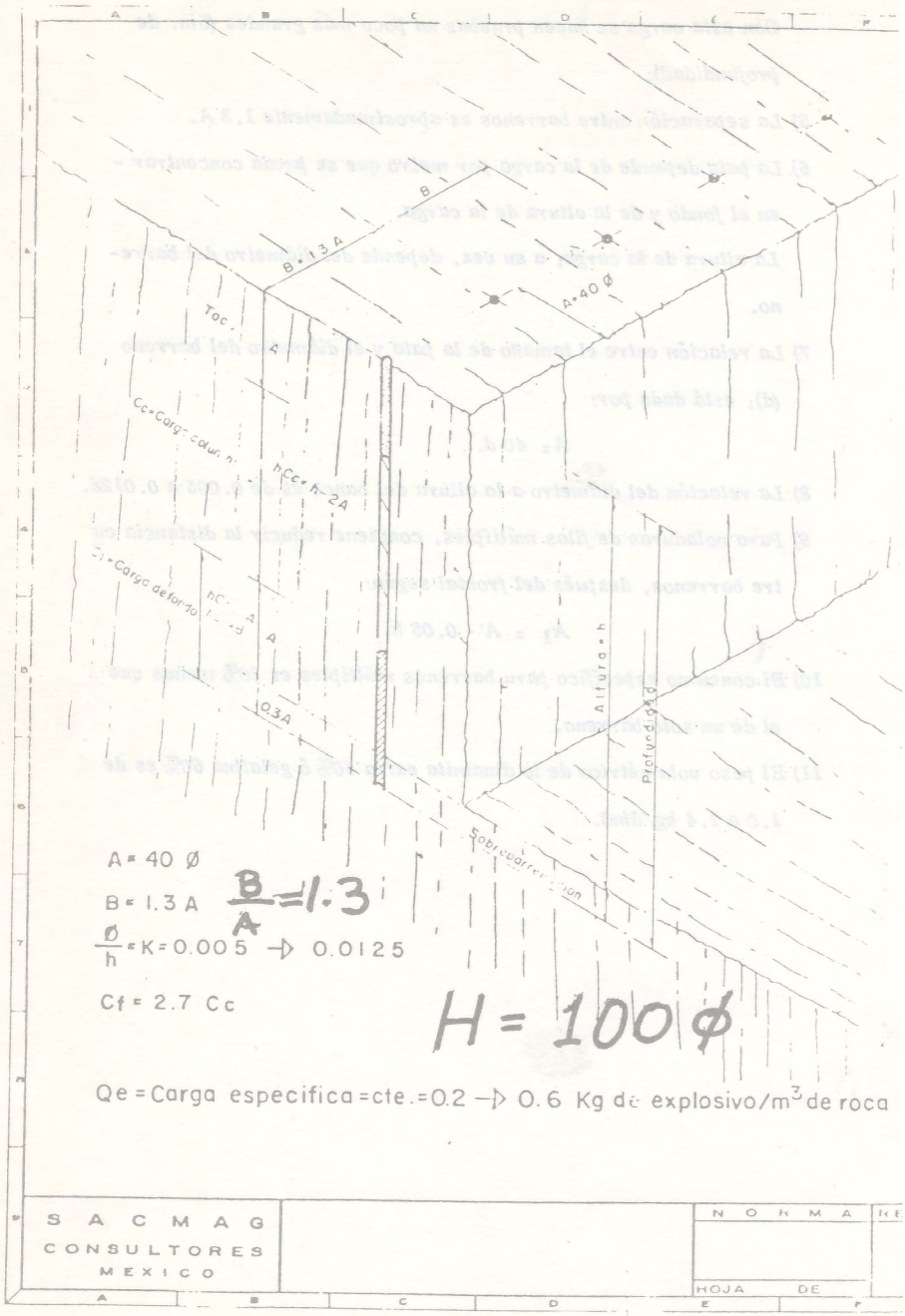
8) La relación del diámetro a la altura del banco es de 0.005 a 0.0125.

9) Para voladuras de filas múltiples, conviene reducir la distancia entre barrenos, después del frontal según:

$$A_1 = A - 0.05\ h.$$

10) El consumo específico para barrenos múltiples es 20% menos que el de un solo barreno.

11) El peso volumétrico de la dinamita extra 40% ó gelatina 60% es de 1.0 a 1.4 kg/dm3.



A = 40 Ø

B = 1.3 A $\frac{B}{A} = 1.3$

$\frac{Ø}{h} = K = 0.005 \rightarrow 0.0125$

Cf = 2.7 Cc

H = 100 Ø

Qe = Carga especifica = cte. = 0.2 → 0.6 Kg de explosivo/m^3 de roca

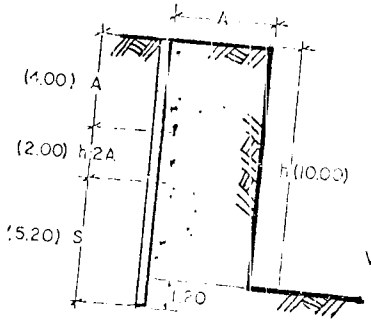
S A C M A G CONSULTORES MEXICO		N O R M A	RE
		HOJA DE	

PROBLEMA.

Ø = 4" = 0.10 m.

CARGA ESPECIFICA: 0.35 Kg/ m^3

DINAMITA EXTRA 40 %



A = 40 x 0.1 = 4.00 m.

S = 1.3A = 1.3 x 4.00 = 5.20 m.

$h = \frac{0.1}{0.01} = 10.00$ m.

V = 4.00 x 5.20 x 10.00 = 208 m^3

208 x 0.35 = 72.8 Kg de explosivos

c.c. = 72.8 ÷ 3.7 = 19.68

c.f. = 19.67 x 2.7 = 53.12

72.80

$L_{c.f.} = \frac{53.12}{10.458} = 5.08 < 5.20$

$L_{c.c.} = \frac{19.68}{10.458} = 1.88 < 2.00$

DINAMITAS			AGENTES EXPLOSIVOS		
Gelatina Extra	40 %	1.57	"Mexamon"	SP	0.61
	60 %	1.44		SP-LD	0.70
	75 %	1.39			
Dinamita Extra	40 %	1.29	"Mexamon"	C	0.85
	60 %			C-LD	0.64
Dinamita Esp.	45 %	1.23			
Gelamex	No. 1	1.28	Super "Mexamon"	D	0.65
	No. 2	1.16			
Gelatina Alta Velocidad Geomex	60 %	1.47	NA-AC		0.80
Duramex	G	1.00			
Dinamex	A	1.23			
Toval		1.60			

	DENSIDADES DE EXPLOSIVOS	NORMA	REV
		HOJA DE	27

DENSIDADES DE CARGA DE EXPLOSIVOS

DIAMETRO		VOLUMEN	KILOS POR METRO LINEAL DE COLUMNA PARA UNA DENSIDAD DADA														
PULGADAS	CMS.	CM3/M.L.	.50 Grs. por cm3	.65 Grs. por cm.3	.70 Grs. por cm.3	.80 Grs. por cm.3	.85 Grs. por cm.3	1.00 Grs. por cm.3	1.16 Grs. por cm.3	1.23 Grs. por cm.3	1.28 Grs. por cm3	1.29 Grs. por cm3	1.39 Grs. por cm.3	1.44 Grs. por cm.3	1.47 Grs por cm.3	1.57 Grs. por cm.3	1.60 Grs. por cm.3
7/8	2.22	387.08	.194	.252	.271	.310	.329	.387	.449	.476	.495	.499	.538	.557	.569	.608	.619
1	2.54	506.71	.253	.329	.355	.405	.431	.507	.588	.623	.649	.654	.704	.730	.745	.795	.811
1 1/4	3.18	794.23	.397	.516	.556	.635	.675	.794	.921	.977	1.017	1.025	1.104	1.144	1.168	1.247	1.271
1 1/2	3.81	1140.09	.570	.741	.798	.912	.969	1.140	1.323	1.402	1.459	1.471	1.585	1.642	1.676	1.790	1.824
1 3/4	4.45	1555.29	.778	1.011	1.089	1.244	1.322	1.555	1.804	1.913	1.991	2.006	2.162	2.240	2.286	2.442	2.488
2	5.08	2026.83	1.013	1.317	1.419	1.621	1.723	2.027	2.351	2.493	2.594	2.615	2.817	2.919	2.979	3.182	3.243
2 1/2	6.35	3166.93	1.583	2.059	2.217	2.534	2.692	3.167	3.674	3.895	4.054	4.085	4.402	4.560	4.655	4.972	5.067
3	7.62	4560.38	2.280	2.964	3.192	3.648	3.876	4.560	5.290	5.609	5.837	5.883	6.339	6.567	6.704	7.160	7.297
3 1/2	8.89	6207.18	3.104	4.035	4.345	4.966	5.276	6.207	7.200	7.635	7.945	8.007	8.628	8.938	9.125	9.745	9.931
4	10.16	8107.34	4.054	5.270	5.675	6.486	6.891	8.107	9.405	9.972	10.377	10.458	11.269	11.675	11.918	12.729	12.972
4 1/2	11.43	10260.85	5.130	6.670	7.183	8.209	8.722	10.261	11.903	12.621	13.134	13.236	14.263	14.776	15.083	16.110	16.417
5	12.70	12667.72	6.334	8.234	8.867	10.134	10.768	12.668	14.695	15.581	16.215	16.341	17.608	18.242	18.622	19.888	20.268
5 1/2	13.97	15327.94	7.664	9.963	10.730	12.262	13.029	15.326	17.780	18.853	19.620	19.773	21.306	22.072	22.532	24.065	24.525
6	15.24	18241.51	9.121	11.857	12.769	14.593	15.505	18.242	21.160	22.437	23.349	23.532	25.356	26.268	26.815	28.639	29.186
6 1/2	16.51	21408.44	10.704	13.915	14.986	17.127	19.197	21.408	24.834	26.332	27.403	27.617	29.758	30.828	31.470	33.611	34.254
7	17.78	24828.72	12.414	16.139	17.380	19.863	21.104	24.829	28.801	30.539	31.781	32.029	34.512	35.753	36.498	38.981	39.726
7 1/2	19.05	28502.36	14.251	18.527	19.952	22.802	24.227	28.502	33.063	35.058	36.483	36.768	39.618	41.043	41.898	44.749	45.604
8	20.32	32429.35	16.215	21.079	22.701	25.943	27.565	32.429	37.618	39.888	41.510	41.834	45.077	46.698	47.671	50.914	51.887
8 1/2	21.59	36609.70	18.305	23.796	25.627	29.288	31.118	36.610	42.467	45.030	46.860	47.227	50.887	52.718	53.816	57.477	58.576
9	22.86	41043.40	20.522	26.678	28.730	32.835	34.887	41.043	47.610	50.483	52.535	52.946	57.050	59.102	60.334	64.438	65.669
10	25.40	50670.87	25.335	32.936	35.470	40.537	43.070	50.671	58.778	62.325	64.859	65.363	70.433	72.966	74.486	79.553	81.073
11	27.94	61311.75	30.656	39.853	42.918	49.049	52.115	61.312	71.122	75.413	78.479	79.092	85.223	88.289	90.128	96.259	98.099
12	30.48	72966.05	36.483	47.426	51.076	58.373	62.021	72.966	84.641	89.746	93.397	94.126	101.423	105.071	107.260	114.557	116.746

CALCULO DE UNA VOLADURA POR EL METODO SUECO
(OVERBURDEN)

FORMULAS:

CARGA DE FONDO:

$$q_f = 0.001\ d^2\ \text{Kg/m} \qquad (\ d \text{ en mm.}\ )$$

CARGA DE COLUMNA

$$q_c = 0.4\ q_f$$

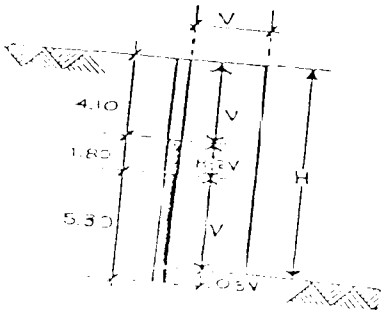
PATA Ó BERMA:

$$V_T = 45\ d \qquad (\ \text{TEÓRICA}\ )$$

$$V_R = A_T - 0.05 - 0.03\ H \qquad (\ \text{REAL}\ )$$

EJEMPLO

d = 4"
H = 10 m.



$V_T = 45 \times 0.1 = 4.50$

$V_R = 4.50 - 0.1 - 0.03 \times 10 =$

$V_R = 4.10$ M.

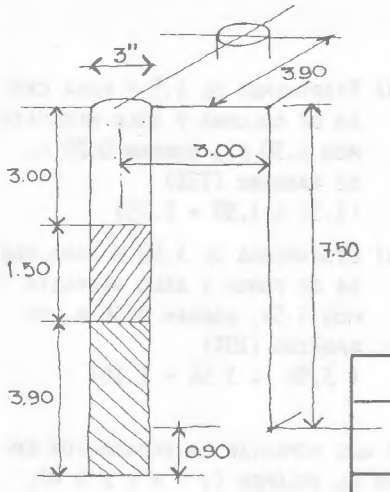
$q_f = 0.001 \times \overline{100}^2 = 10$ Kg/m.

$C_f = 10 \times 5.30 = 53$ Kg.

$q_c = 0.4 \times 10 = 4$ Kg/m.

$C_c = 4 \times 1.8 = 7.2$ Kg.

EN OTRO EJEMPLO, SUPONIENDO QUE HUBIÉRAMOS LLEGADO AL SIGUIENTE RESULTADO:



$v = 3.90 \times 3 \times 7.5 = 87.75\ m^2$

SI $q = 0.35\ Kg./m^2$

$Q = 0.35 \times 87.75 = 30.71$ KG.

$C_c = 8.3$ KG.

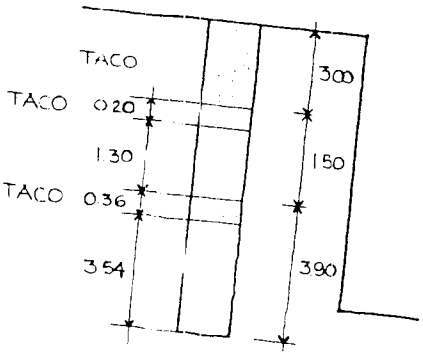
$C_f = 22.41$ KG.

DENSIDAD DEL EXPLOSIVO: 1.45

	C A R G A S			
	CALCULADA		CAPACIDAD DEL BARRENO	
	PESO	ALTURA	PESO	ALTURA
CARGA DE FONDO:	22.41 KG.	3.54	24.65 KG.	3.90 M
CARGA DE COLUMNA:	8.3 KG.	1.30	9.57 KG.	1.50

POR LO TANTO SOBRA ESPACIO EN EL BARRENO, LO QUE NO PODEMOS PERMITIR YA QUE TENDRÍAMOS QUE DEJAR UN ESPACIO ENTRE LAS CARGAS, RELLENANDO CON TACO, LO QUE EQUIVALE A PONER DOS CEBOS Y A DESPERDICIAR BARRENACIÓN.

SI QUISIERAMOS DEJAR ASÍ EL BARRENO QUEDARÍA:



A) DISPONEMOS DE 1.5 M PARA CARGA DE COLUMNA Y SÓLO NECESITAMOS 1.30 M., SOBRAN 0.20 M. DE BARRENO (15%)
(1.50 ÷ 1.30 = 1.15)

B) DISPONEMOS DE 3.90 M PARA CARGA DE FONDO Y SÓLO NECESITAMOS 3.54, SOBRAN 0.36 M. DE BARRENO (10%)
(3.90 ÷ 3.54 = 1.10)

PARA MEJORAR ÉSTO TENEMOS QUE AUMENTAR LA SEPARACIÓN ENTRE BARRENOS, PARA QUE AL AUMENTAR EL VOLÚMEN (V = A X B X H), (CON EL MISMO CONSUMO ESPECÍFICO) AUMENTE LA CANTIDAD DE EXPLOSIVOS Y SE LLENE EL BARRENO. ESTE AUMENTO DEL VOLÚMEN DEBE SER EN LA MISMA PROPORCIÓN QUE ENTRE LA CAPACIDAD DEL BARRENO Y LA CARGA CALCULADA.

TENEMOS DOS PROPORCIONES (1.15 Y 1.10) USAREMOS 1.10 YA QUE LA CARGA DE COLUMNA NO LA PODEMOS AUMENTAR 1.15 VECES.

SI QUIERO AUMENTAR EL VOLÚMEN EN LA PROPORCIÓN K:

$$\left.\begin{aligned} Q_2 &= KQ_1 \\ V_2 &= K\,V_1 \end{aligned}\right\} \quad \text{DONDE:} \quad K = \frac{\text{CAPACIDAD DEL BARRENO}}{\text{CARGA CALCULADA}}$$

$$A' \times B' \times H' = K \times A \times B \times H$$

$$A' B' = K A B$$

PERO: $R = \frac{A}{B}$ = CONSTANTE (PARA NO VARIAR LA GRANULOMETRÍA)

$$A = R \times B$$

$$A' = R \times B'$$

$$RB'^2 = K R B^2$$

$$\left.\begin{aligned} B' &= \sqrt{K}\, B \\ &\text{Y TAMBIÉN} \\ A' &= \sqrt{K}\, A \end{aligned}\right\} \quad \ldots (1)$$

LO QUE SE ENTIENDE SI MULTIPLICAMOS AMBAS EXPRESIONES:

$$A'B' = K A B.$$

APLICANDO LAS ECUACIONES (1) A NUESTRO CASO:

$$A' = \sqrt{1.10} \times 3.00 = 3.14 \text{ M}$$

$$B' = \sqrt{1.10} \times 3.90 = 4.09 \text{ M}$$

CON ESTAS NUEVAS SEPARACIONES EL VOLÚMEN QUEDA:

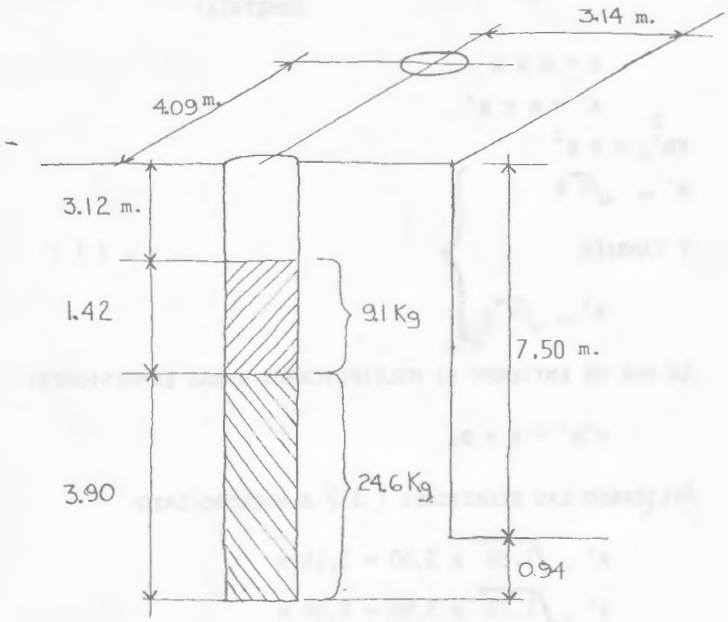
$V = 3.14 \times 4.09 \times 7.5 = 96.31 \text{ M}^3$

$G = 0.35 \times 96.31 = 33.70$ KG.

$C_C = 9.1$; $h_C = 1.42$ M

$C_E = 24.6$ KG. ; $h_E = 3.90$ M.

CON LO QUE EL BARRENO AJUSTADO QUEDA ASÍ:



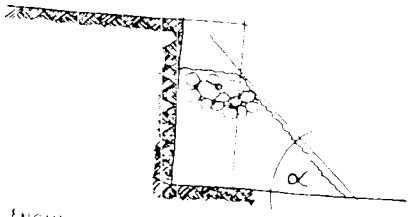
AHORA NOS QUEDA EL PROBLEMA DE AJUSTAR EL BARRENO AL BANCO, Y TOMAR EN CUENTA LA GRANULOMETRÍA REQUERIDA DE LA ROCA Y LAS CARACTERÍSTICAS DE LA ROCA EN EL BANCO.

PARA ELLO RECORDEMOS QUE EL AUMENTAR LA RELACIÓN B/A DISMINUYE EL TAMAÑO DE LA ROCA Y VICEVERSA; Y QUE PARA EL DISEÑO DEL BARRENO USAMOS B/A = 1.3, POR ELLO, PARA AJUSTAR EL BARRENO AL BANCO DEBO SABER SI QUIERO ROCA GRANDE O CHICA.

EN EL SEGUNDO EJEMPLO, SUPONDREMOS QUE SE REQUIERE ROCA CHICA, DE 0.5, PARA LO QUE NECESITAMOS AUMENTAR B/A A PARTIR DE 1.3, SE SUGIERE:

EN LA PRUEBA 1 B/A = 1.3
EN LA PRUEBA 2: B/A = 1.5
EN LA PRUEBA 3: B/A = 1.7
EN LA PRUEBA 4: B/A = 1.9
EN LA PRUEBA 5: B/A = 2.1

QUE SON PRUEBAS QUE SE HACEN FISICAMENTE EN EL BANCO, OBSERVANDO LAS PROYECCIONES, EL TAMAÑO DE LA ROCA Y EL ANGULO DEL MONTON DE ROCA DESPUÉS DE LA VOLADURA.



ESTE ANGULO α DEBE SER 45°, SI ES MAYOR FALTA EXPLOSIVO, Y SI ES MENOR SOBRAN EXPLOSIVOS; MUCHAS PROYECCIONES TAMBIÉN INDICAN EXCESO DE EXPLOSIVOS.

RESUMEN DE LA OBSERVACION

R = B'/A'	TAMAÑO DE LA ROCA	∝	PROYECCIONES
1.3	1.00 m.	30°	MUCHAS
1.5	0.80	32°	"
1.7	0.60	35°	"
1.9	0.50	37°	REGULAR
2.1	0.40	40°	POCAS

LO QUE NOS INDICA QUE DEBEMOS USAR UNA RELACIÓN B'/A' = 1.9 Y QUE TENEMOS EXCESO DE EXPLOSIVO.

1º) AJUSTAREMOS LA RELACIÓN B/A:

EN NUESTRO EJEMPLO SABEMOS QUE

$$A' \times B' = B \times A = 4.09 \times 3.14 = 12.84 \text{ M}^2$$

COMO $\frac{B'}{A'} = 1.9$

$$B' = 1.9\ A'$$

$$1.9\ A'^2 = 12.84$$

$$A' = \sqrt{\frac{12.34}{1.9}} = 2.60 \text{ M.}$$

$$B' = 1.9 \times 2.60 = 4.94 \text{ M.}$$

Y LA NUEVA SEPARACIÓN ENTRE BARRENOS SERA:

2.60 x 4.94

LAS FÓRMULAS GENERALES SON:

$$A' = \sqrt{\frac{A \times B}{R}}$$

$$B' = A' R$$

2ª) AJUSTAREMOS LA CANTIDAD DE EXPLOSIVOS.

COMO HAY EXCESO: TENEMOS QUE SEPARAR LOS BARRENOS PARA DISMINUIR EL CONSUMO DE EXPLOSIVOS, PERO CONSERVANDO LA RELACIÓN A/B PARA NO VARIAR LA GRANULOMETRÍA.

HAREMOS PRUEBAS NUEVAMENTE EN EL BANCO CON CONSUMOS ESPECÍFICOS 95%, 90% Y 85% DEL CONSUMO ORIGINAL, PARA ELLO APLICAMOS LAS FÓRMULAS 1:

PARA 95%:

$$A_1 = \frac{A}{\sqrt{0.95}} = \frac{2.60}{\sqrt{0.95}} = 2.67 \text{ M.}$$

$$B_1 = \frac{B}{\sqrt{0.95}} = \frac{4.94}{\sqrt{0.95}} = 5.07 \text{ M.}$$

COMPROBACIÓN:

$$\frac{A_1 \times B_1}{A_1 \times B_1} = \frac{2.60 \times 4.94}{2.67 \times 5.07} = 0.95$$

$$\frac{B_1}{A_1} = \frac{5.07}{2.67} = 1.90$$

LA FÓRMULA GENERAL ES:

$$A' = \frac{A}{\sqrt{C}}$$

$$B' = \frac{B}{\sqrt{C}}$$

DONDE C = PORCENTAJE DE CONSUMO CON RESPECTO AL ORIGINAL.

USANDO LA MISMA FÓRMULA OBTENEMOS PARA 90%:

$$A_2 = \frac{2.60}{\sqrt{0.90}} = 2.74 \text{ M.}$$

$$B = \frac{4.94}{\sqrt{0.90}} = 5.21 \text{ M.}$$

PARA 85%

$$A_3 = \frac{2.60}{\sqrt{0.85}} = 2.82 \text{ M.}$$

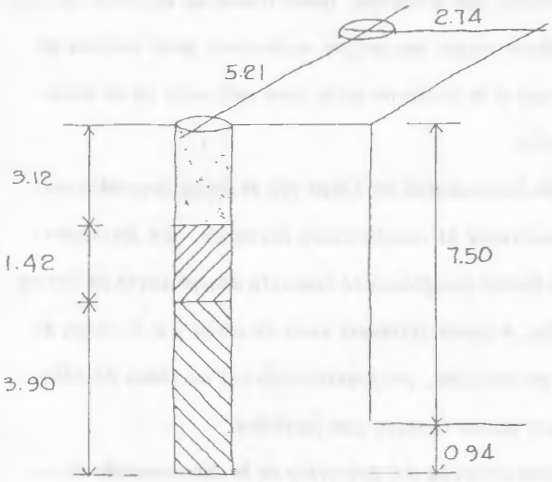
$$B_3 = \frac{4.94}{\sqrt{0.85}} = 5.36 \text{ M.}$$

CON ESTAS SEPARACIONES, Y EL MISMO DISEÑO DE BARRENO SE REALIZAN NUEVAMENTE PRUEBAS EN EL BANCO OBSERVANDO EL ÁNGULO α Y LAS PROYECCIONES.

RESUMEN DE LA OBSERVACION

C	A	B	α	PROYECCIONES
0.95	2.67	5.07	40°	REGULAR
0.90	2.74	5.21	45°	POCAS
0.85	2.82	5.36	48°	POCAS

EL VALOR ADECUADO ES ENTONCES EL SEGUNDO, Y NUESTRO DISEÑO FINAL SERÁ:



CON ESTO HEMOS ASEGURADO LAS CARACTERISTICAS DE LA VOLADURA:

- GRANULOMETRÍA REQUERIDA.
- CONSUMO MÍNIMO DE EXPLOSIVOS.
- MÍNIMA BARRENACIÓN.
- MÍNIMAS PROYECCIONES.
- MÍNIMO DAÑO A LA ROCA DETRÁS DE LA VOLADURA.

VOLADURAS CONTROLADAS.

Los consumidores de explosivos han buscado y ensayado muchas maneras para reducir el exceso de rompimiento ó sobreexcavación de las voladuras. Por razones de seguridad, el rompimiento excesivo es inconveniente tratándose de taludes, bancos, frentes ó pendientes inestables y es también económicamente inconveniente cuando la excavación excede la "línea de pago" (implica concreto extra y los taludes fracturados requieren un mantenimiento costoso)

En voladuras controladas se utilizan varios métodos para reducir el exceso de rompimiento; sin embargo, todas tienen un objetivo común; Disminuir y distribuir mejor las cargas explosivas para reducir al mínimo los esfuerzos y la fractura de la roca más allá de la línea misma de excavación.

Por muchos años la barrenación en Línea fué el único procedimiento utilizado para controlar el rompimiento excesivo. La Barrenación en Línea ó de límite simplemente consiste de una serie de barrenos en línea, vacíos, a corta distancia unos de otros y a lo largo de la línea misma de excavación, proporcionando así un plano de debilidad que la voladura puede romper con facilidad.

Estos procedimientos difieren del principio de la Barrenación en Línea, asencialmente, en que algunos ó todos los barrenos se disparan con cargas explosivas relativamente pequeñas y debidamente distribuidas. La detonación de estas pequeñas cargas tiende a fracturar la roca entre los barrenos y permite mayores espaciamientos que en el caso de la Barrenación en Línea. Por lo tanto, los costos

de barrenación se reducen y en muchos casos se logra un mejor control del exceso de rompimiento.

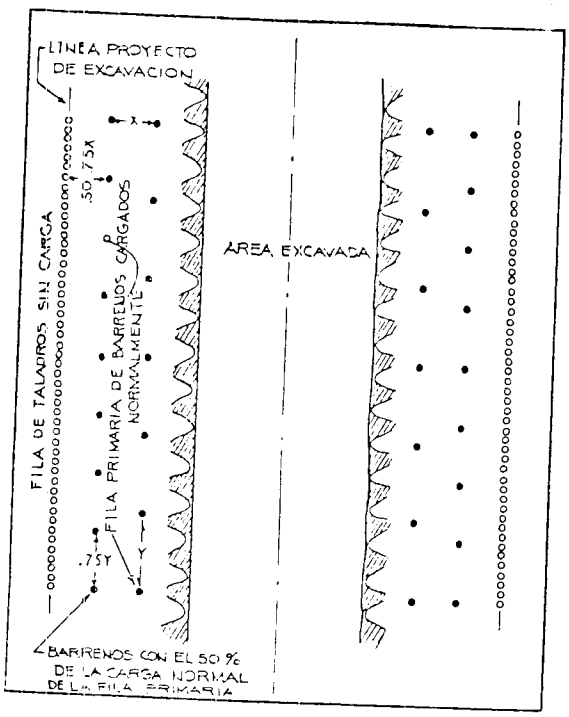
BARRENACION EN LINEA, DE LIMITE O DE COSTURA.

Principio.

La Voladura con Barrenación en Línea involucra una sola hilera de barrenos de diámetro pequeño, poco espaciados, sin cargar y a lo largo de la línea misma de excavación. Esto proporciona un plano de menor resistencia, que la voladura primaria pueda romper con mayor facilidad. También origina que parte de las ondas de choque creadas por la voladura sean reflejadas, lo que reduce la trituración y las tensiones en la pared terminada.

Aplicación.

Las perforaciones de la Barrenación en Línea generalmente son de 2" a 3" de diámetro y se separan de 2 ó 4 veces de su diámetro a lo largo de la línea de excavación. Los barrenos mayores de 3" se usan poco con este sistema pues los altos costos de barrenación no pueden compensarse suficientemente con mayores espaciamientos. La profundidad de los barrenos depende de su buena alineación. Para obtener buenos resultados, los barrenos deben quedar en el mismo plano. Cualquier desviación en ellos, al tratar de barrenar más profundamente, tendrá un efecto desfavorable en los resultados. Para barrenos de 2" a 3" de diámetro las profundidades mayores a 9 metros son raramente satisfactorias.



Plantilla Típica del Procedimiento de Barrenación en línea.

Figura 8 A

Los barrenos de la voladura directamente adyacentes a los de la -- Barrenación en Línea, se cargan generalmente con menos explosivos y también a menor espaciamiento que los otros barrenos. La - distancia entre las perforaciones de la Barrenación en Línea y los más próximos, cargados, es usualmente del 50 al 75% de la pata -- usual.

Los mejores resultados con la Barrenación en Línea se obtienen en formaciones homogéneas en donde los planos de estratificación, jun-

tas y hendeduras son mínimas.

Trabajos subterráneos.- La aplicación de la teoría básica del sistema de Barrenado en Línea, esto es, utilizando solamente barrenos vacíos, es muy limitada en trabajos subterráneos. Generalmente se usan barrenaciones cerradas, pero siempre cargadas aunque ligeramente. A este procedimiento hemos preferido llamarle Voladura Perfilada y será descrita posteriormente.

VOLADURAS AMORTIGUADAS.

PRINCIPIO

La Voladura Amortiguada a veces denominada como voladura para recortar, lajear ó desbastar, se introdujo en el Canadá hace varios años. Al igual que la Barrenación en Línea, la Voladura Amortiguada implica una sola fila de barrenos a lo largo de la línea proyecto de excavación.

Las cargas para las voladuras amortiguadas deben ser pequeñas, bien distribuidas, perfectamente retacadas y se harán explotar después de que la excavación principal ha sido despejada. Al ser volada la pata, el taco amortigua la vibración dirigida hacia la pared terminada, reduciendo así al mínimo la fractura y las tensiones en esta pared. Disparando los barrenos de amortiguamiento a pequeños intervalos, la detonación tiende a cortar la roca entre ellos dejando una superficie uniforme y con un mínimo de sobreexcavación. Obviamente, a mayor diámetro de barreno, se obtiene mayor amortiguamiento.

TABLA III

CARGAS Y PLANTILLAS PROPUESTAS PARA VOLADURAS AMORTIGUADAS.

DIAMETRO DEL BARRENO EN PULGADAS	ESPACIAMIENTO EN (1) PIES	BERMA EN PIES (1)	CARGA EXPLOSIVA EN LIBRAS/PIE (1)
2 - 2 $\frac{1}{2}$	3	4	0.08 - 0.25
3 - 3 $\frac{1}{2}$	4	5	0.13 - 0.50
4 - 4 $\frac{1}{2}$	5	6	0.75 - 0.75
5 - 5 $\frac{1}{2}$	6	7	0.75 - 1.00
6 - 6 $\frac{1}{2}$	7	9	1.00 - 1.59

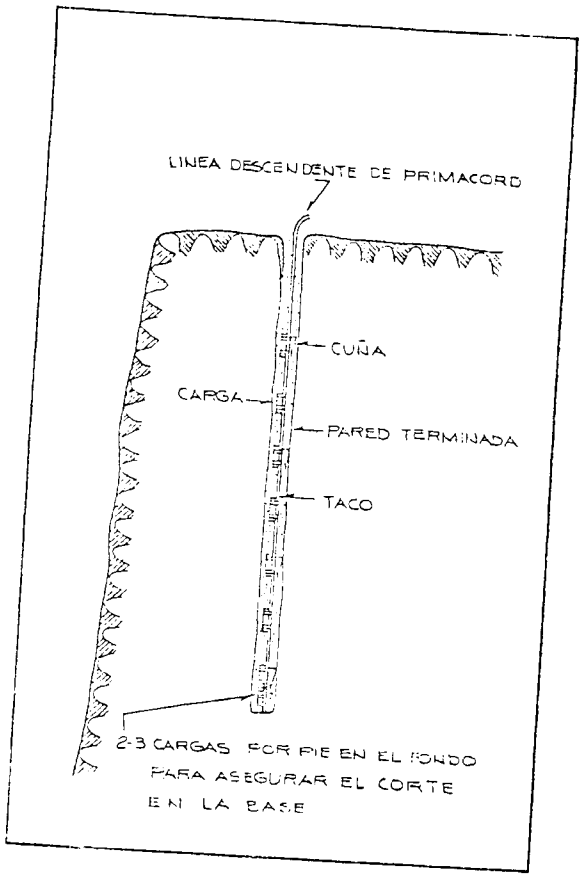
(1). - Dependen de la naturaleza de la roca. Las cifras anotadas son promedios.

(2). - El diámetro del cartucho deberá ser igual ó menor que la mitad del diámetro del barreno.

Trabajos a cielo abierto. - El banco ó perma y el espaciamiento -- variarán de acuerdo con el diámetro de los barrenos que se hagan. - La Tabla III muestra una guía de patrones y cargas para diferentes diámetros de barrenos. Nótese que los números mostrados cubren un campo promedio debido a las variaciones que resultan del tipo - de formación por volarse. Con este procedimiento los barrenos se cargan con cartuchos enteros ó fraccionados atados a líneas de Primacord a manera de rosario, usándose generalmente cartuchos de - 1 $\frac{1}{2}$" de diámetro por 8" de largo y colocándose a 1 ó 2 pies de separación.

Para efectos de un amortiguamiento máximo las cargas deben colo-- carse dentro del barreno tan próximas como sea posible a la pared correspondiente al lado de la excavación. (Ver figura 9).

Figura 9



COLOCACION DE LAS CARGAS DE EXPLOSIVO PARA VOI

RAS AMORTIGUADAS.

El retardo mínimo entre la explosión de los barrenos amortiguadores proporciona la mejor acción de corte entre barreno y barreno; por lo tanto, normalmente se emplean líneas troncales de Primacord. En donde el ruido y la vibración resulten críticos, se pueden obtener buenos resultados con estopines de retardo MS.

La profundidad máxima que puede volarse con éxito por este método, depende de la precisión del alineamiento de los barrenos. Con barrenos de diámetros mayores puede mantenerse un mejor alineamiento a mayor profundidad. Las desviaciones de más de 6" del plano de los barrenos dan generalmente malos resultados. Se han hecho voladuras con éxito usando barrenos de amortiguamiento hasta de 90 pies de profundidad.

Cuando se realizan voladuras por amortiguamiento en áreas curvas ó en esquinas, se requiere menores espaciamientos que cuando vuela una sección recta. Pueden también utilizarse ventajosamente taladros-guía cuando se vuelan caras no lineales. En esquinas a 90°, una combinación de varios procedimientos para voladuras controladas, dará mejores resultados que la voladura amortiguada simple. (Veáse la Figura 10)

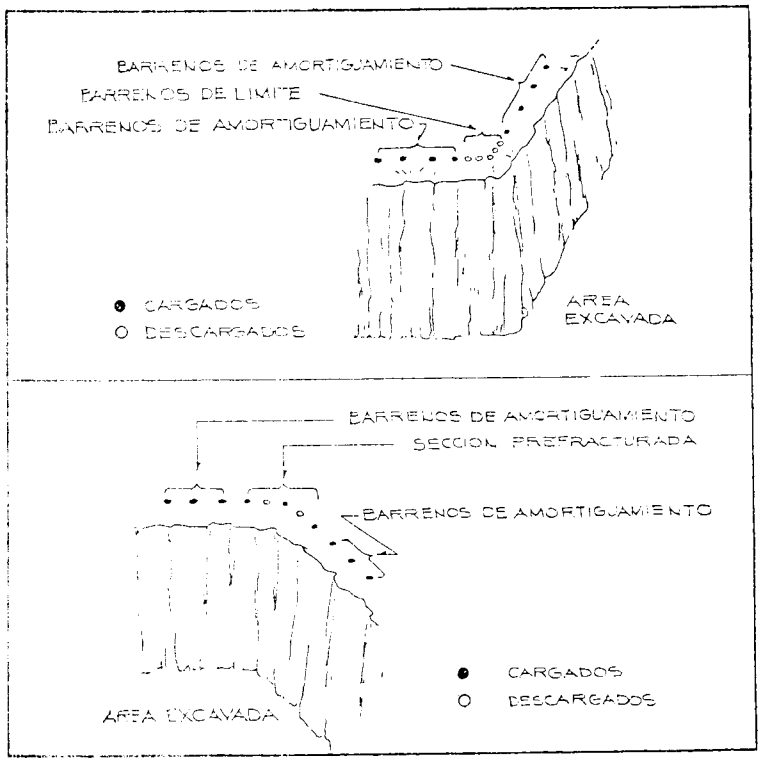
VENTAJAS.

La voladura Amortiguada ofrece ciertas ventajas, tales como:

Mayores espaciamientos entre barrenos para reducir los costos de perforación.

Mejores resultados en formaciones no consolidadas.

Figura 10. VOLADURAS AMORTIGUADAS EN FRENTES, EN ESQUINA, O EN RINCON



El mejor alineamiento obtenido con barrenos de gran diámetro permite perforar barrenos más profundos.

VOLADURAS PERFILADAS O DE AFINE.

PRINCIPIO.

Puesto que el uso de este método en trabajos a descubierto es prácticamente idéntico a los de la Voladura Amortiguada, se tratará sobre su aplicación solamente en trabajos subterráneos.

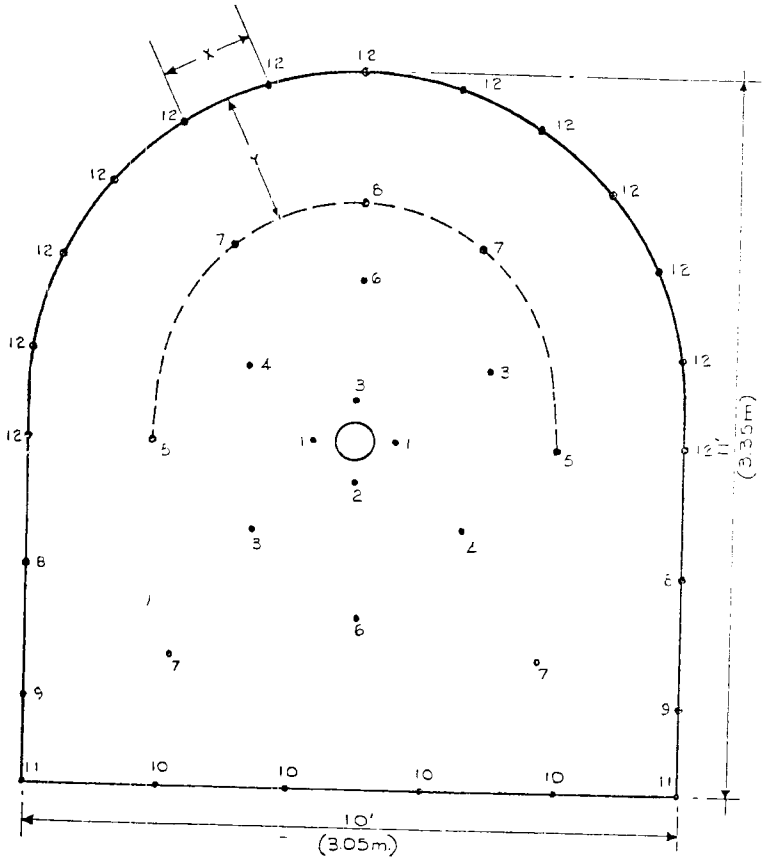
El principio básico de la Voladura de Afine es el mismo que el de la Voladura Amortiguada: Se hacen barrenos a lo largo de los límites de la excavación y se cargan con poco explosivo para eliminar el banco final. Disparando con un mínimo de retardo entre los barrenos, obtiene un efecto cortante que proporciona paredes lisas con un mínimo de sobreexcavación.

APLICACION.

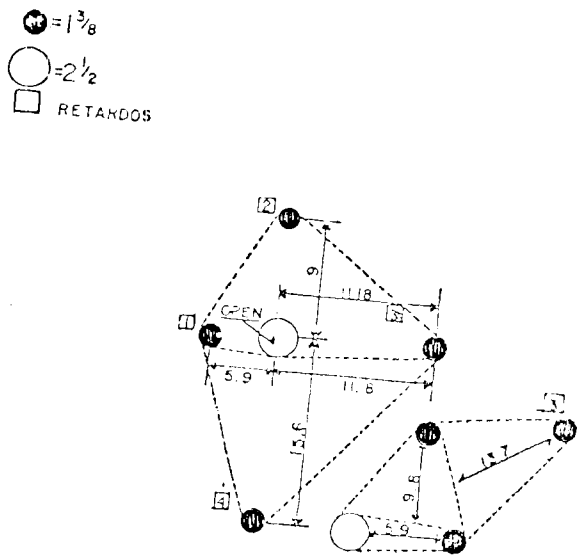
Trabajos subterráneos. - En frentes subterráneos, en donde la roca del techo y de los contrafuertes se derrumba y desmorona por la falta de consolidación del material, el exceso de rompimiento es común debido a la acción triturante de las voladuras.

Empleando el método de la Voladura Perfilada ó de Afine con cargas ligeras y bien distribuidas en los barrenos perimetrales, se requieren menos soportes y resulta una menor sobre-excavación. Aún en formaciones homogéneas más duras, este método proporciona techos y paredes más lisos y más firmes.

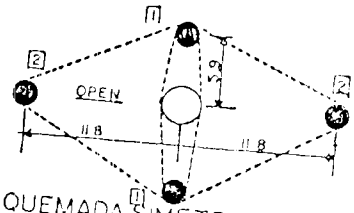
Figura 11.



PLANTILLA TIPICA PARA EXPLOSIONES RETARDADAS EN GALERIAS DE AVANCE



CUÑA QUEMADA CONCENTRICA

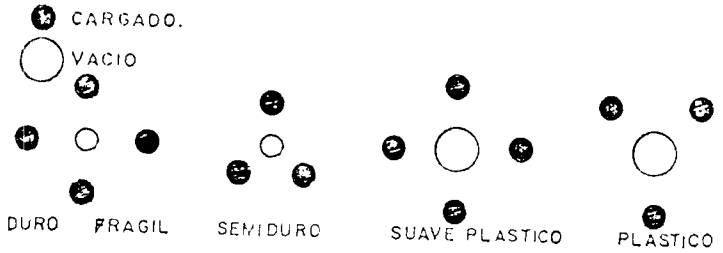


CUÑA QUEMADA SIMETRICA DE UN SOLO BARRENO

NOTA:.

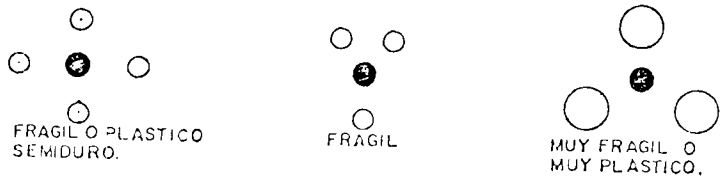
LA DISTANCIA DEPENDE DE LA CLASE DE ROCA Y DEL TIPO DE EXPLOSIVOS

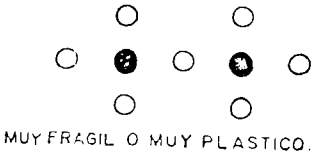
CUNA QUEMADA TIPO REDONDO O TREBOL



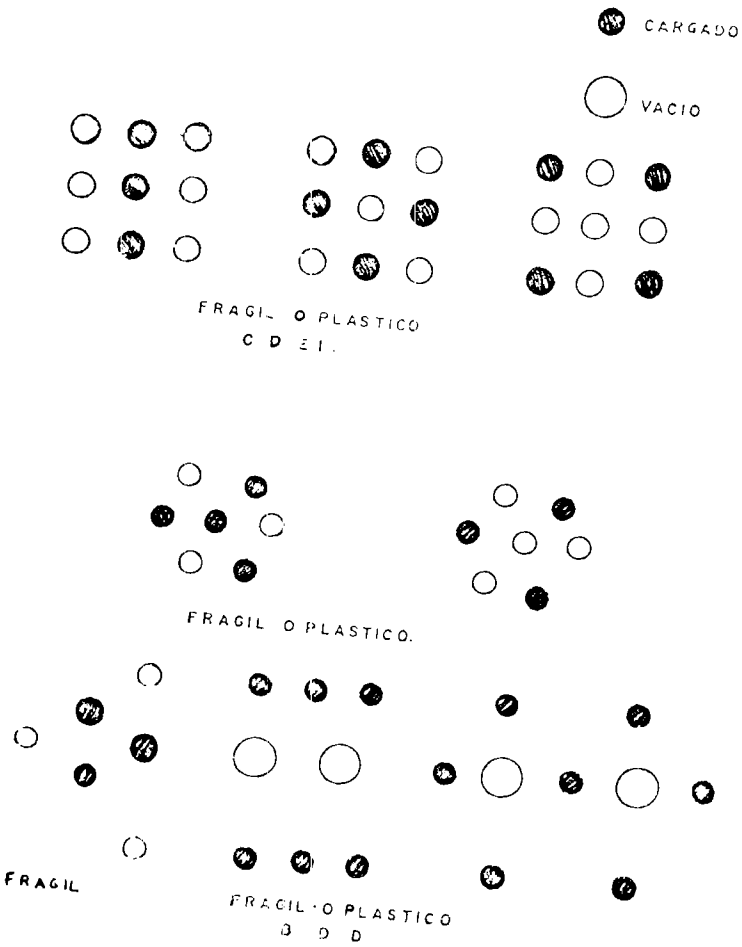
CUÑA QUEMADA TIPO REDONDO O TREBOL INVERTIDAS

FIG: 9





CUÑA QUEMADA CUADRADA O RECTANGULAR



La voladura perfilada en trabajos subterráneos utiliza barrenos perimetrales en una relación de aproximadamente $1\frac{1}{2}$ a 1, entre el ancho de la berma y el espaciamiento usando cargas ligeras, bien distribuidas y disparadas en el último período de retardo de la voladura. (Ver Fig. 11). Estos barrenos se disparan después de los barrenos de pata ó pié para asegurar que la roca fragmentada se desplace lo suficiente para ofrecer el máximo desahogo a los barrenos de la Voladura Perfilada. Este franqueo permite la libre remoción del banco final y produce menos fractura más allá del límite de la excavación.

Las cargas pequeñas bien distribuídas en los barrenos perimetrales usando plantillas y retardos convencionales, han producido regularmente resultados satisfactorios. La Tabla IV proporciona las plantillas recomendadas y las cargas en libras por pie, para la Voladura Perfilada.

Puesto que no es conveniente ni práctico atar cargas a las líneas de Primacord en barrenos horizontales, la Voladura Perfilada se realiza cargando a carril cartuchos de dinamita de baja densidad de pequeños diámetros para obtener, tanto cargas pequeñas, como su buena distribución a lo largo del barreno.

VENTAJAS.

La voladura Perfilada ó de Afine ofrece dos ventajas principales:

Reduce el rompimiento excesivo que produce los métodos convencionales.

Requiere menos ademe.

TABLA IV.

VOLADURA PERFILADA.

DIAMETRO DEL BARRENO EN PULGADAS.	*ESPACIAMIENTO EN (1) PIES*	*BERMA EN PIES (1)*	*CARGA EXPLOSIVA LIBRAS/PIE (1)*
$1\frac{1}{2}$ - 1 3/4	*2*	*3*	*0.12 - 0.25*
2	*$2\frac{1}{2}$*	*$3\frac{1}{2}$*	*0.12 - 0.25*

(1). - Dependen de la naturaleza de la roca.

Las cifras anotadas son - promedios.

PREFRACTURADO

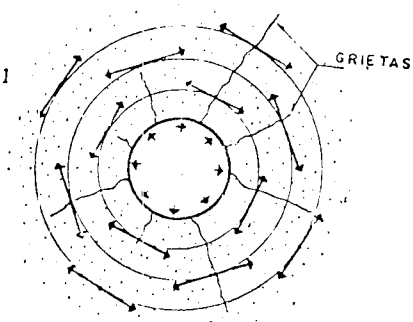
PRINCIPIO.

El Prefracturado, también llamado Precortado ó Pre-ranurado comprende una fila de barrenos a lo largo de la línea de excavación. Los barrenos son generalmente del mismo diámetro (2" - 4") y en la mayoría de los casos, todos cargados. El Prefracturado difiere de la Barrenación en Línea, de la Voladura Amortiguada y de la Voladura Perfilada, en que sus barrenos se disparan antes que cualquier barreno de los de alguna sección de la excavación principal inmediata.

La teoría del prefracturado consiste en que cuando dos cargas se disparan simultáneamente en barrenos adyacentes, la suma de esfuerzos de tensión procedentes de los barrenos rompe la pared de roca intermedia y origina grietas entre los barrenos (Ver Fig. 12). Con cargas y espaciamientos adecuados, la zona fracturada entre los barrenos se constituirá en una angosta franja que la voladura principal puede romper con facilidad. El resultado es una pared lisa que casi no produce sobreexcavación.

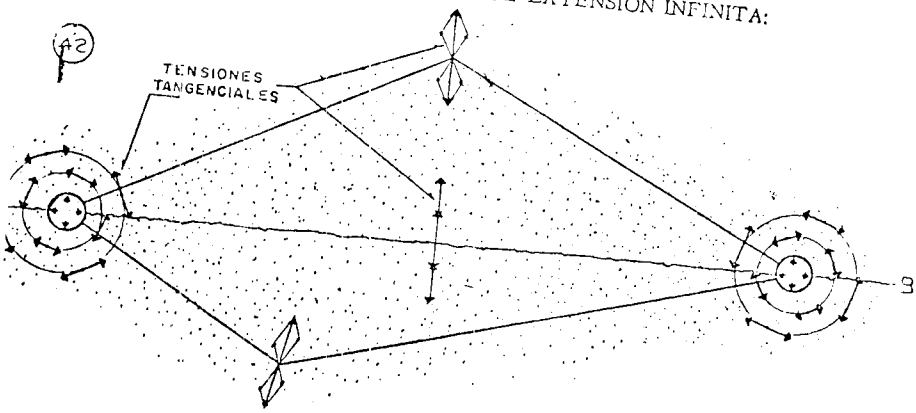
El plano prefacturado refleja parte de las ondas de choque procedentes de las voladuras principales inmediatamente posteriores, impidiendo que sean transmitidas a la pared terminada, reduciendo al mínimo la fracturación y la sobreexcavación. Esta reflexión de las ondas de choque de las voladuras principales también tiende a reducir la vibración.

CONDICION 1



LA ROCA, ALREDEDOR DE UN BARRENO CON GASES A-
PRESION (DEL EXPLOSIVO) ESTA SOMETIDA A TENSION

SI PENSAMOS EN UNA ROCA DE EXTENSION INFINITA:



DOS BARRENOS, COMO EL DE LA CONDICION 1, TRONA-
DOS SIMULTANEAMENTE, SUMARAN LAS TENSIONES A -
LA ROCA, ESPECIALMENTE EN EL PLANO QUE LOS UNE
(A-B) YA QUE, ADEMAS DE SER EL PLANO DE MENOR RE
SISTENCIA, ES EL LUGAR GEOMETRICO DE LA MAXIMA
SUMA DE LAS TENSIONES.

FIG. 12

N O T A: PRINCIPIO DE PREFRACTURADO

Si los Barrenos están sobrecargados, la zona de fractura se extenderá hacia los lados y aún más allá de la zona de tensión.

APLICACION.

Trabajos a cielo abierto. - Los barrenos para prefracturar se cargan de manera similar a los barrenos para voladuras amortiguadas, esto es, se forman cargas "en rosario" de cartuchos enteros ó partes de cartucho, de 1" ó 1 ½" de diámetro, por 8" de largo, espaciados a 1 a 2 piés centro a centro.

Como en las Voladuras Amortiguadas, los barrenos se disparan generalmente en forma simultánea, usando una línea troncal de Primacord. Si se disparan líneas demasiado largas se pueden retardar - algunos tramos con estopines MS a Conectores Primacord MS.

En roca sin consolidación alguna, los resultados se mejorarán utilizando barrenos-guía ó de alivio (sin carga), entre los barrenos - cargados, provocando así el corte a lo largo del plano deseado. Aún en formaciones más consistentes, los barrenos-guía colocados entre los cargados, dan mejor resultado que aumentando la carga explosiva por barreno.

Los espaciamientos promedio y las cargas por pié de barreno se dán en la Tabla V. Estas cargas anotadas son para las condiciones de rocas normales y pueden obtenerse utilizando cartuchos de dinamita -- convencionales, fraccionados ó enteros, espaciados y ligados a líneas de Primacord, ("rosario").

La profundidad que puede prefracturarse de una sola vez, nuevamente depende de la habilidad para mantener un buen alineamiento de los barrenos. Las desviaciones mayores a 6" del plano de corte ----

deseado, darán resultados negativos. Generalmente la máxima -- profundidad que puede utilizarse para berrenos de 2" a 3½" de diámetro sin una desviación considerable en el alineamiento es de 50 piés.

Teóricamente, la longitud de una voladura para Prefracturar es - ilimitada. En la práctica, sin embargo, el disparar muy adelante de la excavación primaria puede traer problemas pues las carac-- terísticas de la roca pueden cambiar y la carga ser causa de un -- exceso de fractura en las zonas más débiles. Llevando el Prefracturado adelante únicamente a la mitad de la voladura principal si-- guiente (Ver Fig. 13) los conocimientos que se van obteniendo con las voladuras principales respecto a la roca, pueden aplicarse a los disparos de prefracturado subsecuentes. En otras palabras, las cargas pueden modificarse si es necesario y corre un menor - riesgo que si se dispara el total de la línea de excavación antes de avanzar con las voladuras principales.

El Prefracturado puede realizarse simultáneamente a la voladura principal retrasando sus barrenos con retardadores MS, de manera que los barrenos de Prefracturado estallen primero que los de la - voladura principal. (Ver Fig. 14).

VENTAJAS.

El Prefracturado ofrece las siguientes ventajas:

Aumento en el espaciamiento de los barrenos-reducción de costos de barrenación.

No es necesario regresar a volar taludes ó paredes después de la ex-

TABLA V

CARGAS Y ESPACIAMIENTOS PROPUESTOS PARA EL PREFRACTURADO.

DIAMETRO DEL BARRENO EN PULGADAS.	CARGA EXPLOSIVA EN LBS./PIE (1)(2)	ESPACIAMIENTO EN PIES (1)
$1\frac{1}{2}$ - 1 3/4	0.08 - 0.25	1 - $\frac{1}{2}$
2 - $2\frac{1}{2}$	0.08 - 0.25	$1\frac{1}{2}$ - 2
3 - $3\frac{1}{2}$	0.13 - 0.50	$1\frac{1}{2}$ - 3
4	0.25 - 0.75	2 - 4

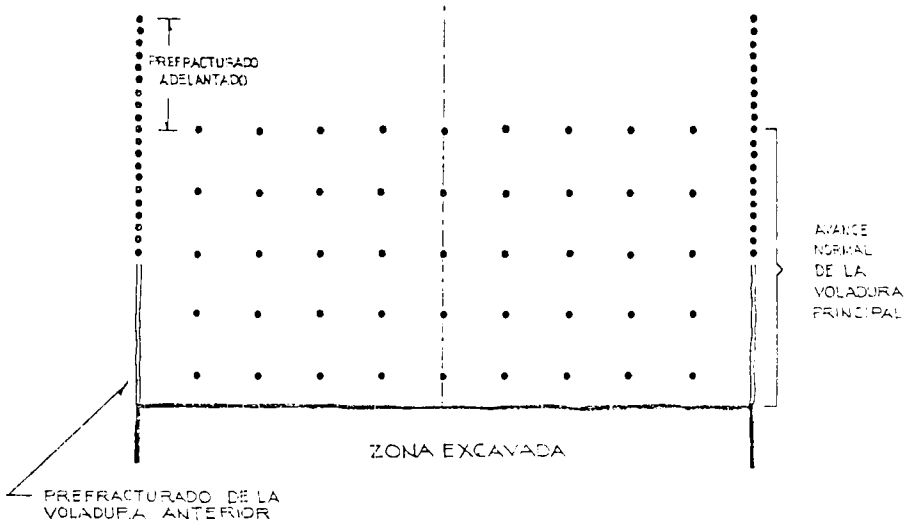
(1) .- Dependen de la naturaleza de la roca.

(2) .- El diámetro del cartucho debe ser igual ó menor que la mitad del diámetro del barreno.

N O T A: PRINCIPIO DE PREFRACTURADO

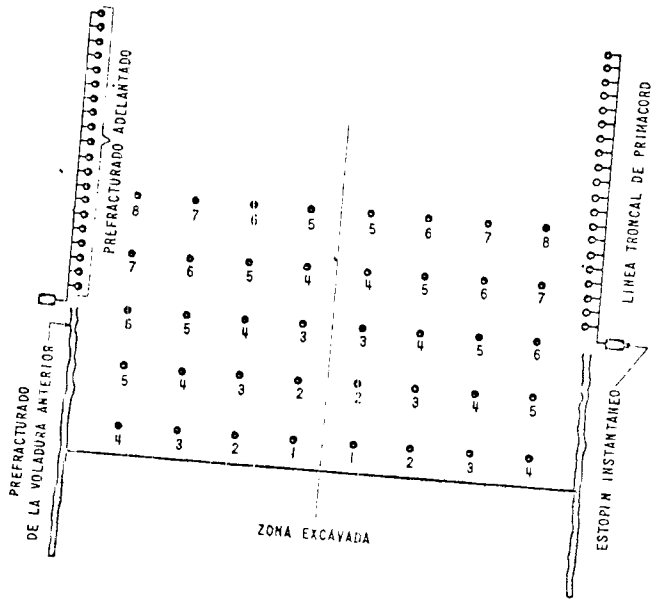
Si los Barrenos están sobrecargados, la zona de fractura se extenderá hacia los lados y aún más allá de la zona de tensión.

Figura 13.



PROCEDIMIENTO RECOMENDADO
PARA
EL PREFRACTURADO

FIGURA 14



PROCEDIMIENTO
DE EXPLOSIONES RETRASADAS DURANTE
LA VOLADURA PRINCIPAL EN EL PREFRACTURADO

cavación principal.

CARGA Y ACARREO.

A distancia corta para pedraplenes. Normalmente se usan tractores, pues sirven también para acomodar la roca. Esto ya se vió también en este curso.

A distancia corta para alimentar otra máquina (quebradora).

Se usó durante mucho tiempo pala y camiones. Con el perfeccionamiento de los cargadores frontales, especialmente los de neumáticos, estos han ido desplazando a las palas y camiones, haciendo ellos mismos las dos operaciones.

Los cargadores frontales también ya fueron vistos en este curso, sin embargo haremos un análisis de producción y veremos algunos puntos importantes relativos a un cargador frontal en una planta de trituración.

ESTUDIO DE PRODUCCION PARA CARGADOR FRONTAL Marca MICHIGAN, modelo 175-III, CON CUCHARON DE 5.5 Yds.3 A UNA DISTANCIA DE 550' CARGANDO ROCA CALIZA.

Calculo del ciclo de carga y acarreo.

Carga y descarga (constante)	*.500'*
Acarreo.	
Cargado a 550' - a 9.95 MPH (velocidad 2a. y 3a.)	
$\frac{550}{9.95 \times 88}$	*.628'*
Vacío a 550' - a 17.85 MPH (velocidad 3a. y 4a.)	*.350'*
Total del ciclo	*1.394'*

1.394' por ciclo entre 50' = 35.87 ciclos.

2.671 peso del material por Y3.

5.50 yardas el cucharón = 14690 lbs.

$$\frac{50'}{1.394} \times \frac{2.671 \times 5.50}{2000} = 263 \text{ tons.}$$

263 tons hora x 8 hrs. = 2104 tons.

2104 tons. x .9078 tons. met. = 1910 tons.métricos.

INDICACIONES UTILES PARA CARGA Y ACARREO CON CARGADOR FRONTAL DE NEUMATICOS EN UNA PLANTA DE -- TRITURACION.

1) Localización de la planta:

Lo más cerca posible, generalmente a unos 45 m. del banco.

2) Los caminos deben estar bien conservados, tener pocas curvas. Sus pendientes máximas deben ser 10% y en rampas cortas 20%. de más de 5% reduzca la producción en 2% / 1 %

3) Llantas.

Estas representan el mayor renglón de costos, es necesario vigilarlas.

4) Cucharones y dientes.

El cucharón debe ser considerado como artículo de desgaste. Salvo que el material sea poco común en peso, en contenido de finos, ó en características de carga el cucharón sugerido por el fabricante será la solución más adecuada.

Si no son necesarios los dientes en el cucharón para excavar, no los use puesto que el material tiende a escaparse entre los dientes estropeando el camino de acarreo.

CARGA Y ACARREO A DISTANCIAS LARGAS.

La carga de roca representa el mismo problema que en el caso anterior, y ya se vieron las ventajas del cargador frontal, el acarreo de roca solamente es económico en camiones especiales para ello, como son tipo Euclid.

TRANSPORTE DE EXPLOSIVOS.

1. - Cualquier vehículo que esté transportando explosivos deberá estar marcado ó pintado ó tener un letrero en la parte delantera, a ambos lados y en la parte trasera con la palabra "Explosivos" en letras de no menos de 4 pulgadas de altura en colores que hagan contraste, con los del fondo; ó el vehículo deberá llevar en un lugar visible una bandera roja de no menos de 24 pulgadas de lado con la palabra "Explosivos" en letras rojas - de cuando menos 3 pulgadas de altura ó la palabra "Peligro" en letras de 6 pulgadas de altura.

2. - Los vehículos no deberán llevar cápsulas detonadoras fulminantes cuando estén transportando otros explosivos; ni metales, herramientas metálicas, aceite, cerillos, armas de fuego, ácidos, substancias inflamables, ó materiales semejantes.

3. - Los vehículos que transportan explosivos no deberán estar sobrecargados y en ningún caso se apilarán las cajas ó latas de explosivos a una altura mayor que la de la carrocería. Cualquier vehículo de caja abierta deberá llevar una lona para cubrir las cajas ó latas de explosivos.

4. - Todos los vehículos, cuando estén transportando explosivos deberán inspeccionarse para determinar si: los frenos y el mecanismo de la dirección están en buenas condiciones; si los alambres eléctricos están en-buenas condiciones; si los alambres eléctricos están bien aislados y -- firmemente asegurados; si la carrocería y el chasís están limpios y libres de acumulaciones de aceite y grasas; si el tanque de combustible y la línea de alimentación están seguros, y sin fugas; si se han proporcionado dos extinguidores de incendio, localizados cerca del asiento del chofer; y, en general, si el vehículo está en condiciones adecuadas para el transporte de explosivos.

5. - El piso de los vehículos deberá estar perfectamente empalmado y ajustado. Cualquier pieza metálica que esté expuesta en el interior del -- vehículo y que pueda entrar en contacto con algún paquete de explosivos deberá ser cubierta ó protegida con madera ó algún material no metálico.

6. - Los explosivos no deben de transportarse en remolques. Asimismo, a los vehículos que transporten explosivos no deberá enganchárseles ningún tipo de remolque.

7. - Los vehículos que transportan explosivos no deben llevar pasajeros ni personas no autorizadas para viajar en ellos. No debe permitirse fumar ni llevar cerillos.

8. - Los paquetes ó cajas de explosivos no deben aventase ó dejarse caer al estarlos cargando, descargando ó acarreando, sino que deben depositarse cuidadosamente y almacenarse ó colocarse de tal manera que no

###

se deslicen, caigan ó muevan.

9. - Los motores de los vehículos que transportan explosivos deberán estar parados antes de cargar ó descargar los explosivos.

Las recomendaciones para el manejo de explosivos son las siguientes:

MANEJO DE EXPLOSIVOS.

1. - Las cajas ó barriles que contengan explosivos deben levantarse y bajarse cuidadosamente sin deslizarlos uno sobre otro, ó dejarlos caer de un nivel al siguiente, ni manejarse bruscamente.

2. - Las cajas, latas, ó paquetes de explosivos no deben abrirse dentro de un almacen de explosivos ó arsenal, ni siquiera en un radio de 50 -- pies del almacen ó arsenal.

3. - Deben emplearse herramientas fabricadas con madera ó con algún otro material no metálico para abrir las cajas ó barriles ó cualesquier otra vasija en que se encuentre contenido un explosivo. Nunca deben emplearse herramientas metálicas.

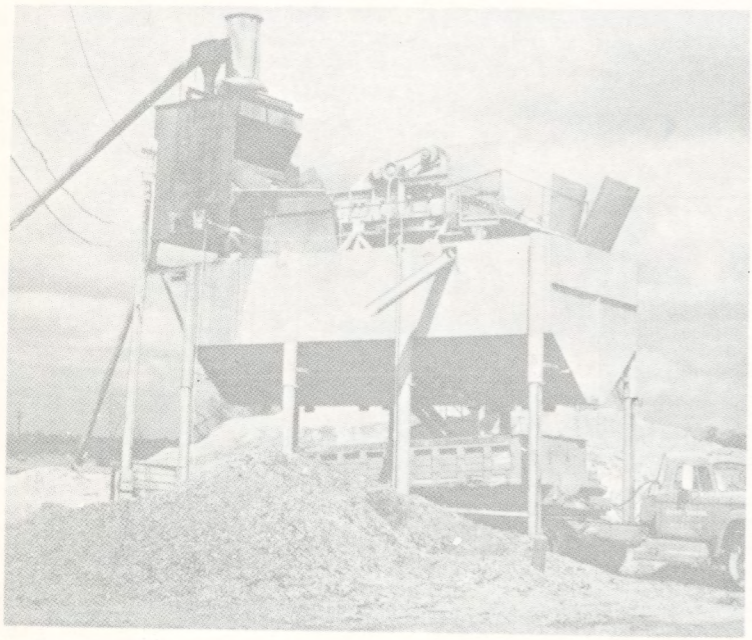
4. - Los explosivos y detonantes que se les den a los obreros deberán colocarse en receptáculos aislados independientes, equipados con tapas -- construidas y sujetadas de tal manera que no se puedan abrir accidentalmente durante el transporte.

5. - No deberá permitirse a ninguna persona, excepto al operario, viajar con los explosivos ó detonantes cuando estén siendo transportados en un tiro, túnel, ó cualquier otra obra subterránea.

ALMACENAMIENTO DE EXPLOSIVOS.

Los explosivos y los detonantes deben depositarse separadamente en almacenes independientes, secos, ventilados, a prueba de balas, y resistentes al fuego, alejados de otros edificios, vías de ferrocarril, y carreteras. La Tabla Americana de Distancias, proporciona las distancias de seguridad entre otros edificios, vias de ferrocarril y carreteras, para cantidades variables de explosivos y detonantes.

Una bodega para el almacenamiento de dinamita debe estar construida de tal manera que se evite el congelamiento de la dinamita durante largos períodos de tiempo en climas fríos. Si la dinamita se congela, deberá descongelarse antes de utilizarla, ya que el peligro de que explote prematuramente es mucho mayor cuando está congelada.



ING. ALFREDO GUERRA GUAJARDO

Definimos como subbase y base a las capas sucesivas de material seleccionado que se construyen sobre la subrasante, cuya función es soportar las cargas rodantes y transmitirlas a las terracerías, distribuyéndolas de manera que no se produzcan deformaciones perjudiciales en éstas.

Nuestro objetivo será señalar el procedimiento de construcción más apropiado en nuestro país, para la elaboración, transportación, tendido, afninamiento y compactación de subbases y bases.

Desde el punto de vista de procedimientos de construcción, es indistinto referirse a la subbase o a la base, pues una y otra se construyen en la misma forma.

En México, las subbases y bases se construyen, en general, con un material granular (grava) mezclado con: cementante natural y agua, cemento y agua, cal y agua, emulsión asfáltica, o asfalto fluxado, o bien, se construyen de arena mezclada con emulsión asfáltica. Las más usuales son las construidas con un material granular (grava mezclado con cemento natural y agua, y las construidas con arena y emulsión asfáltica.

Emulsión asfáltica es la mezcla, hecha en planta, de 65% de asfalto No. 6, 35% de agua, 6.5 kg/Ton de emulsificante y 6 kg/Ton de HCL. Cuando el emulsificante es grasa animal, la emulsión es catiónica y cuando es una resina, la emulsión es aniónica.

Algunas veces, los pavimentos se diseñan con una capa de concreto asfáltico elaborado en planta estacionaria, a la que se llama base por construirse a todo el ancho de la corona y por no usarse como superficie de rodamiento. No nos referimos a este caso especial porque su estudio corresponde al capítulo de carpetas asfálticas elaboradas en planta estacionaria.

Obtención y tratamiento de los ingredientes pétreos.

En nuestro país, los materiales pétreos para subbase y base se obtienen, en forma natural, por disgregado, por cribado, o por trituración y cribado. Los procesos para la obtención y el tratamiento de los ingredientes pétreos no serán objeto de este estudio; sin embargo, sólo deseamos mencionar que para la trituración, el equipo que en la mayoría

de los casos es el más conveniente, debe constar de conos y no de rodillos como anteriormente se venía usando en forma casi generalizada en el país.

Elaboración de subbase y base.

La planta mezcladora de subbase y base constituye la herramienta más apropiada para realizar el mezclado de los materiales. A pesar de lo anterior, en México este mezclado todavía se hace, en la mayoría de los casos, utilizando motoconformadora.

Todos los tipos de subbase y base, exceptuando el que se construye con un material granular (grava) mezclado con asfalto fluxado, es muy conveniente procesarlos en plantas mezcladoras de subbase y base.

Estas plantas mezcladoras son del tipo volumétrico y constan de lo siguiente: alimentador(es), desgrumador de cementante, unidad mezcladora de una o dos flechas, bomba de agua de gasto variable y/o bomba de emulsión asfáltica también de gasto variable.

En realidad el procedimiento consiste en:

1.- Proporcionar por medio de alimentadores, cada uno de los materiales y, por medio de bombas, el agua o la emulsión asfáltica.

2.- Reunir en una tolva, una vez dosificados, los materiales y el agua o, si tal es el caso, la emulsión asfáltica.

3.- Mezclar y homogeneizar los ingredientes utilizando flechas provistas de paletas.

La decisión más importante, después de haber determinado la capacidad de la planta mezcladora por adquirir, es la selección del tipo de alimentador(es). Exceptuando la alimentación de cemento y cal, que siempre debe hacerse con tornillos sinfín, en una planta mezcladora se puede considerar la utilización de cualquiera de los tres tipos de alimentador que se mencionan a continuación.

1.- Alimentador de banda de velocidad variable (el más exacto de los tres), utilizado para alimentar materiales finos o muy finos en volumen de regular cuantía. El flujo de material se regula por medio de ajuste de la compuerta de entrada y/o por medio de la velocidad de la banda.

2.- Alimentador de mandil (el de más alto costo de los tres), utilizable donde se requiera soportar cargas por impacto y donde sea necesario alimentar materiales gruesos y abrasivos en volumen de gran cuantía. El flujo de material se regula por medio de ajuste de la compuerta de entrada.

3.- Alimentador de plato reciprocante (el de más bajo costo de los tres), utilizable para alimentar materiales húmedos de todos tamaños en volúmenes que pueden ser de gran cuantía. El flujo se regula por medio de ajuste de la compuerta de entrada y/o por medio de la mayor o menor longitud del brazo del excéntrico y/o por medio de la velocidad.

Podría ser que para un mismo caso hubiera la posibilidad de escoger más de un tipo de alimentador.

La construcción de subbase y base con planta mezcladora, tiene las siguientes ventajas sobre el procedimiento de mezclado por medio de motoconformadora:

1.- Proporcionamiento volumétrico exacto.

2.- Homogeneidad de la mezcla.

3.- Ahorro, cuidando de no incurrir en acarreos muertos cuantiosos. Aquí debe entenderse por acarreo muerto aquél cuyo pago lo cubre el contratista y no el contratante. De acuerdo con las Especificaciones General de Construcción, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes paga el acarreo de los materiales como si éstos se acarrearan directamente de los bancos a la carretera o a la aeropista. En general y por razón lógica, la planta mezcladora de subbase y base debe instalarse en el banco en donde se va a necesitar mayor cantidad de material. Podría ser el caso que, además del material del banco donde se instale la planta mezcladora, se requiera otro material, cementante por ejemplo, y que el banco estuviera localizado en tal forma que en su acarreo a la planta mezcladora, se incurriera en un acarreo muerto de una magnitud

tal que hiciera incosteable producir la subbase o la base en planta mezcladora. En este caso, desde luego, la mezcla debe hacerse directamente en la carretera o en la aeropista utilizando motoconformadora.

4.- Menor interrupción al tránsito. Tratándose de carreteras, se entiende que al no necesitarse motoconformadoras para mezclar en el camino, el tránsito de vehículos usuarios será más fluido.

5.- Mejor utilización del equipo de compactación. Cuando se usa planta mezcladora, se pueden ir tendiendo tramos de 200 m por ejemplo, y empezar así la compactación desde casi el principio del tendido.

6.- Menos perjuicios por causa de lluvia. Esto es obvio si se considera que casi todo el volumen que se acarrea a la obra puede ser tendido y compactado prácticamente de inmediato.

7.- Mejor control general de la obra. Es entendible que es más fácil controlar plantas que máquinas (motoconformadoras), que necesariamente estarían repartidas para atender las demandas que una obra requiere en sus diferentes etapas.

Naturalmente que para que se pueda disfrutar de la ventajas 5, 6 y 7 y por lo tanto de ahorro global, es necesario que la producción se organice en forma rutinaria y masiva.

A continuación se hace un estudio comparativo de los elementos de costo que varían, utilizando, por un lado, motoconformadoras para mezclar y, por otro, planta mezcladora. Primeramente calcularemos los costos horarios.

Determinación del costo horario[1]

1.- Depreciación D

Pa: valor de adquisición de la máquina nueva

LL. valor de las llantas

ED: valor de los elementos de desgaste

[1] Acevedo L. Gustavo, "Costos y Mantenimiento de Maquinaria" p.p. 21-26, ICIC.

Vr: valor de rescate en forma decimal

Ha: horas de uso anual constantes durante N años

N: vida económica en años

$$D = \frac{Pa - Pa\ Vr - (LL + EO)}{Ha \times N}$$

$$D = \frac{Pa\ (1 - Vr) - (LL + EO)}{Ha \times N}$$

si $p = \frac{Pa}{1000}$, $ll = \frac{LL}{1000}$, $eo = \frac{EO}{1000}$ y $ha = \frac{Ha}{1000}$

$$D = \frac{1000\ p\ (1 - Vr) - 1000\ (ll + eo)}{1000\ ha \times N}$$

$$D = \frac{p\ (1 - Vr) - (ll + eo)}{ha \times N}$$

2.- Intereses, seguros y almacenaje $(i + S + A)$

Siendo los valores de inversión media anual: $\frac{N + 1}{2N}$ pa

i: tasa de interés anual

s: prima anual de seguro

A: factor de Pa como almacenaje anual

$$\frac{(i + S + A)}{año} = \frac{N + 1}{2N}\ pa\ (i + s) + A\ Pa$$

si suponemos que Ha = 2000

$$\frac{i + S + A}{hora} = \frac{\frac{N + 1}{2N}\ 1000\ p\ \left(i + \frac{s}{2000}\right) + A \times 1000\ p}{} = p\ \frac{N+1}{2N}\ \frac{i+s}{2} + \frac{A}{2}$$

esto es cierto si ha = 2. Cuando es diferente a 2 y en virtud de que ha interviene en el denominador, la ecuación anterior deberá afectarse por $K = \frac{2}{he}$ en que he es igual a las horas anuales reales divididas por 100.

Si consideramos A = 0.01

$$\frac{(1 + S + A)}{hora} = p \frac{N+1}{2N} \frac{i+s}{2} = 0.005 \quad K = p \frac{N+1}{2N} \frac{i+s}{2} = \frac{0.005}{\frac{N+1}{2N}} K$$

$\frac{N + 1}{2N}$ varía de 0.6 a 0.55 para valores de N de 5 a 10 años

$$\frac{(I + S + A)}{hora} = p \frac{N+1}{2N} \frac{i+s}{2} + 0.01 \quad K$$

3.- Mantenimiento (T)

Asignamos a este concepto un valor total, durante la vida económica igual a 0.8 Pa, el cual expresado en términos horarios queda como sigue:

$$T = \frac{0.8 \ Pa}{Ha \times N}$$

$$T = \frac{0.8 \times 1000 \ p}{1000 \ ha \times N} = \frac{0.8 \ p}{ha \times N}$$

4.- Llantas LL'

Se considera que una recubierta vale el 40% del valor de la llanta nueva y que con esto se logra duplicar las horas de vida totales.

$$LL' = \frac{LL \times 1.4}{2 \times vida \ llantas}$$

5.- Elementos de desgaste ED'

$$ED' = \frac{ED}{\text{vida elementos de desgaste}}$$

6.- Combustibles y lubricantes (CYL)

Se considera que el consumo horario, tratándose de diesel, es como sigue:

DS: costo del litro de diesel

GS: costo del litro de gasolina

HP: caballos de fuerza

$$CYL = DS \times HP \times 0{,}3 \times 0{,}1514 \times 1{,}4$$

Tratándose de gasolina:

$$CYL = GS \times HP \times 0{,}7 \times 0{,}227 \times 1{,}3$$

7.- Operación (OP)

Se considera que el salario nominal (SN) debe multiplicarse por 1.57 para incluir: prestaciones, Seguro Social e Infonavit.

$$OP = \frac{1{,}57\ SN}{8}$$

Sumando el valor de cada una de las 7 partidas se obtiene el costo horario.

El programa que a continuación aparece corresponde al desarrollo de las ecuaciones anteriores en una calculadora HP41CV.

```
01 LBL "CLR
SO"
02 FIX 2
03 "MAQ?"
04 AON
05 PROMPT
06 AOFF
07 AVIEW
08 "V.ADQ./
MIL?"
09 PROMPT
10 STO 50
11 1
12 "V.RESC?
"
13 PROMPT
14 STO 65
15 -
16 *
17 "V.1 LLA
NTA?"
18 PROMPT
19 STO 66
20 "N.LLANT
AS?"
21 PROMPT
22 STO 73
23 *
24 STO 53
25 1000
26 /
41 /
42 STO 54
43 "DEP=$"
44 ARCL X
45 AVIEW
46 STOP
47 "INT.?"
48 PROMPT
49 STO 63
50 ENTER+
51 "SEG.?"
52 PROMPT
53 STO 64
54 +
55 2
56 /
57 .01
58 +
59 2
60 RCL 52
61 /
62 *
63 RCL 53
64 1
65 +
66 2
67 /
68 RCL 53
69 /
70 *
71 RCL 50
88 AVIEW
89 STOP
90 RCL 50
91 1.4
92 *
93 "VD.LLAN
TAS"
94 PROMPT
95 STO 72
96 /
97 2
98 /
99 STO 61
100 "LLANTAS
=$"
101 ARCL X
102 AVIEW
103 STOP
104 RCL 51
105 "VIDAE.D
."
106 PROMPT
107 STO 71
108 /
109 STO 62
110 "E.DESG.
=$"
111 ARCL X
112 AVIEW
113 STOP
114 "$DIES?"
```

```
27 "E,DESG,
?"
28 PROMPT
29 STO 51
30 1000
31 /
32 +
33 —
34 "H,/ANO/
MIL?"
35 PROMPT
36 STO 52
37 /
38 "ANOSVID
A?"
39 PROMPT
40 STO 53
72 *
73 STO 55
74 "I+S+A=$
"
75 ARCL X
76 AVIEW
77 STOP
78 .8
79 RCL 50
80 *
81 RCL 52
82 /
83 RCL 53
84 /
85 STO 56
86 "MANT=$"
87 ARCL X
115 PROMPT
116 STO 67
117 "HP?"
118 PROMPT
119 STO 57
120 *
121 .8
122 *
123 .1514
124 *
125 1.4
126 *
127 "$GAS,?"
128 PROMPT
129 STO 68
130 RCL 57
*
```

```
133 *
134 .227
135 *
136 1.3
137 *
138 +
139 "LUB.AD
?"
140 PROMPT
141 STO 69
142 +
143 STO 58
144 "COMBYLU
B=$"
145 ARCL X
146 AVIEW
147 STOP
148 "SAL.NOM
.?"
149 PROMPT
150 STO 70
151 1.57
152 *
153 8
154 /
155 STO 59
156 "OPER.=$
"
157 ARCL X
158 AVIEW
159 STOP
160 RCL 54
161 RCL 55
162 +
163 RCL 56
164 -
165 RCL 61
166 +
167 RCL 62
168 +
169 RCL 58
170 +
171 RCL 59
172 +
173 "COSTHR=
$"
174 ARCL X
175 AVIEW
176 STOP
177 "V"ADQ./
MIL =$"
178 ARCL 50
179 AVIEW
180 "V.RESC=
"
181 ARCL 65
182 AVIEW
183 "H/.ANO/
MIL=
184 ARCL 52
185 AVIEW
186 "ANOSVID
A="
187 ARCL 53
188 AVIEW
189 "INT.="
190 ARCL 63
191 AVIEW
192 "SEG.="
193 ARCL 64
194 AVIEW
195 "V.ILLAN
TA=$"
196 ARCL 66
197 AVIEW
198 "N.LLANT
AS"
199 ARCL 73
200 AVIEW
201 "VD.LLAN
TAS"
202 ARCL 72
203 AVIEW
204 "E"D,=$"
205 ARCL 51
206 AVIEW
207 "VIDA E.
D."
208 ARCL 71
209 AVIEW
210 "H.P,="
211 ARCL 57
212 AVIEW
213 "DIES/LT
.=$"
214 ARCL 67
215 AVIEW
216 "GAS/LT=
$"
217 ARCL 68
218 AVIEW
219 "LUB.AD.
=$"
220 ARCL 69
221 AVIEW
222 "SAL.NOM
.=$"
223 ARCL 70
224 AVIEW
225 END
```

Alimentando este programa se obtienen los siguientes costos horarios.

AL.BANDA24
DEP=$113.14
1+S+A=$147.83
MANT=$129.38
LLANTAS=$0.00
E.DESG.=$0.00
COMBYLUB=$17.79
OPER.=$0.00
COSTHR=$487.31
V.ADQ./MIL=$1.939.54
V.RESC=0.30
H./AND/MIL=1.00
AÑOSVIDA=12.00
INT.=0.09
SEG.=0.03
V.1LLANTA=$0.00
N.LLANTAS0.00
VD.LLANTAS1.00
E.D.=$0.00
VIDA E.D.1.00
H.P.=2.00
DIES/LT.=$0.00
GAS/LT=$0.00
LUB.AD.=$17.79
SAL.NOM.=$0.00

COMPNEUM9R.
DEP=$162.72
1+S+A=$191.06
MANT=$198.50
LLANTAS=$61.43
E.DESG.=$0.00
COMBYLUB=$175.20
OPER.=$350.31
COSTHR=$1,139.21
V.ADQ/MIL=$3,970.04
V.RESC=0.30
H./AND/MIL=1.60
AÑOSVIDA=10.00
INT.=0.09
SEG.=0.03
V.1LLANTA=$19,500.00
N.LLANTAS9.00
VD.LLANTAS2,000.00
E.D.=$0.00
VIDA E.D.1.00
H.P.=60.00
DIES/LT.=$17.22
GAS/LT.=$0.00
LUB.AD.=$0.00
SAL.NOM.=$1,705.00

BOMBAAGUA4
DEP=$98.23
1+S+A=$31.50
MANT=$72.19
LLANTAS=$0.00
E.DESG.=$0.00
COMBYLUB=$109.76
OPER.=$105.78
COSTHR=$409.54
V.ADQ./MIL=$270.70
V.RESC=0.00
H./AND/MIL=0.75
AÑOSVIDA=4.00
INT.=0.09
SEG.=0.03
V.1LLANTA=$0.00
N.LLANTASD.00
VD.LLANTAS1.00
E.D.=$0.00
VIDA E.D.1.00
H.P.=18.00
DIES/LT.=$0.00
GAS/LT=$29.52
LUB.AD.=$0.00
SAL.NOM.=$539.00

COMPVIB.CA21
DEP=$300.83
1+S+A=$424.16
MANT=$440.69
LLANTAS=$26.75
E.DESG.=$0.00
COMBYLUB=$365.00
OPER.=$350.31
COSTHR=$1,987.74
V.ADQ./MIL=$8,813.82
V.RESC=0.30
H./AND/MIL=1.60
AÑOSVIDA=10.00
INT.=0.09
SEG.=0.03
V.1LLANTA=$38,221.00
N.LLANTAS2.00
VD.LLANTAS2,000.00
E.D.=$0.00
VIDA E.D.1.00
H.P.=125.00
DIES/LT.=$17.22
GAS/LT=$0.00
LUB.AD.=$0.00
SAL.NOM.=$1,785.00

C.PIPA8M.3
DEP=$130.70
1+S+A=$69.60
MANT=$159.89
LLANTAS=$68.03
E.DESG.=$0.00
COMNYLUB=$1,036.65
OPER.=$245.31
COSTHR=$1,709.40
V.ADQ./MIL=$1,590.94
V.RESC=0.30
H./AND/MIL=2.00
AÑOSVIDA=4.00
INT.=0.09
SEG.=0.03
V.1LLANTA=$11,339.00
H.LLANTAS6.00
VD.LLANTAS700.00
E.D.=$0.00
VIDA E.D.1.00
H.P.=170.00
DIES/LT.=$0.00
GAS/LT=$29.52
LUB.AD.=$0.00
SAL.NOM.=$1,250.00

DISG.B.GREENE
DEB=$122.85
1+S+A=$105.10
MANT=$109.20
LLANTAS=$0.00
E.DESG.=$0.00
COMBYLUB=$11.46
OPER.=$0.00
COSTHR=$348.61
V.ADQ./MIL=$682.48
V.RESC=8.10
H./AND/MIL=0.50
AÑOSVIDA=10.00
INT.=0.09
SEG.=0.03
V.1LLANTA=$0.00
N.LLANTAS0.00
VD.LLANTAS1.00
E.D.=$0.00
VIDA E.D.1.00
H.P.=10.00
DIES/LT.=$0.00
GAS/LT=$0.00
LUB.AD.=$11.46
SAL.NOM.=$0.00

MOTOCONF.12G
DEP=$682.07
I+S+A=$758.61
MANT=$788.16
LLANTAS=$42.43
E.DESG.=$0.00
COMBYLUB=$394.19
OPER.=$42.36
COSTHR=$3,117.82
V.ADQ./MIL=$15,763.28
V.RESC=0.30
H./AÑO/MIL=1.60
AÑOSVIDA=10.00
INT.=0.09
SEG.=0.03
V.1LLANTA=$28,206.00
N.LLANTAS6.00
VD.LLANTAS2,000.00
E.D.=$0.00
VIDA E.D.1.00
H.P.=135.00
DIES/LT.=$17.22
GAS/LT=$8.00
LUB.AD.=$0.00
SAL.NOM.-$2,305.00

PL.LUZ75KM
DEP=$157.05
I+S+A=$172.75
MANT=$179.49
LLANTAS=$0.00
E.DESG.=$0.00
COMBYLUB=$437.99
OPER.=$0.00
COSTHR=$947.28
V.ADQ./MIL=$3,589.71
V.RESC=0.30
H./AÑO/MIL=1.60
AÑOSVIDA=10.00
INT.=0.09
SEG.=0.03
V.1LLANTA=$0.00
N.LLANTAS0.00
VD.LLANTAS1.00
E.D.=$0.00
VIDA E.D.1.00
H.P.=150.00
DIES/LT.=$17.22
GAS/LT=$0.00
LUB.AD.=$0.00
SAL.NOM.=$0.00

PL.MEZCL.2A
DEP=$1,078.57
I+S+A=$1,222.22
MANT=$1,269.84
LLANTAS=$0.00
E.DESG.=$227.79
COMBYLUB=$438.39
OPER.=$923.55
COSTHR=$5,160.37
V.ADQ./MIL=$22,222.22
V.RESC=0.30
H./AÑO/MIL=1.40
AÑOSVIDA=10.00
INT.=0.09
SEG.=0.03
V.1LLANTA=$0.00
N.LLANTAS0.00
VD.LLANTAS1.00
E.D.=$455,570.64
VIDA E.D.2,000.00
H.P.=145.00
DIES/LT.=$17.22
GAS/LT=$0.00
LUB.AD.=$15.00
SAL.NOM.=$4,706.00

TRACT.D7G
DEP=241.95
I+S+A=$1,117.76
MANT=$1,419.38
LLANTAS=$0.00
E.DESG.=$0.00
COMBYLUB=$583.99
OPER.=$452.36
COSTHR=$4,815.43
V.ADQ./MIL=$22,710.00
V.RESC=0.30
H./AÑO/MIL=1.60
AÑOSVIDA=8.00
INT.=0.09
SEG.=0.03
V.1LLANTA=$0.00
N.LLANTAS0.00
VD.LLANTAS1.00
E.D.=$0.00
VIDA E.D.1.00
H.P.=200.00
DIES/LT.=$17.22
GAS/LT=$0.00
LUB.AD.=$0.00
SAL.NOM.=$2,305.00

		Costo horario
1.-	Alimentador de banda de 24" x 6'6"	$ 407.31
2.-	Bomba de agua de 4"	409.54
3.-	Camión pipa de 8 m^3.	1,709.40
4.-	Compactador neumático de 9 ruedas	1,739.21
5.-	Compactador vibratorio CA25A llantas de tracción	1,987.74
6.-	Disgregador de terrones	348.61
7.-	Motoconformadora 12G	3,117.82
8.-	Planta de luz de 75 KW	947.28
9.-	Planta mezcladora de base	5,160.37
10.-	Tractor D7G, 7U, 7	4,815.43

A) Revoltura hecha con motoconformadora

1.- Revoltura
motoconformadora 12; $ 3,117.82/hr
producción 54 m^3/hr.

$$\frac{\$\ 3{,}117.82/hr}{54\ m^3/hr.} = \$\ 57.74/m^3$$

2.- Agua

a) Extracción del agua
bomba de 4"; $ 409.54/hr
producción 48 m^3/hr.

$$\frac{\$\ 409.54/hr}{48\ m^3/hr} = \$\ 8.53/m^3$$

b) Acarreo y aplicación
camión pipa de 8 m^3; $ 1,709.40/hr
producción 12 m^3/hr

$$\frac{\$\ 1{,}709.40/hr}{12\ m^3/hr} = \$\ 142.45/m^3$$

a + b = $ 150.98/m^3

Se requieren 200 lt de agua/m³

$ 150.98/m³ x 200 lt/m³ = $ 30.20 m³

1.- $ 57.74/m³
2.- 30.20
$ 87.94/m³ (1)

B) Revoltura hecha con planta mezcladora de subbase y base

1. Elaboración de la mezcla en planta

tractor D7, 7U, 7	
alimentador de banda de 24"	$ 4,815.43/hr
disgregador de grumos	407.31
planta mezcladora de subbase y base	348.61
planta de luz de 75 KW	5,160.37
bomba de 4"	947.28
camión pipa de 8000 lt	409.54
	1,709.40
	$ 13,797.94/hr

producción 200 m³ sueltos/hr
factor de abundamiento 1.35

$$\frac{\$\ 13{,}797.94/hr \times 1.35}{200\ m^3/hr} = \$\ 93.14/m^3$$

2. Agua para compactación que se acarrea al camino

partida A) 2.- $ 150.98/m³
se requieren 50 lt de agua/m³

$ 150.98/m³ x 50 lt/m³ = $ 7.55/m³

1.- $ 93.14
2.- 7.55
$ 100.69 (2)

Este aparente encarecimiento del:

$$\frac{(2)\ \$\ 100.69/m^3 - (1)\ \$\ 87.94/m^3}{(1)\ \$\ 87.94/m^3} = 14\%$$

que se obtiene usando el procedimiento de mezclado en planta contra el de mezclado con motoconformadora, es absorbido con margen, por los ahorros que se obtienen como consecuencia de las ventajas 5, 6 y 7 antes señaladas. (página 4)..

Transportación.

Una vez elaborada la mezcla en planta, los camiones de volteo son cargados por gravedad mediante la apertura de las compuertas de la tolva de descarga.

Pensando en acarreos no mayores de 20 km es usual que, para un trabajo de pavimentación en el que la subbase y la base se produzcan en planta mezcladora de 540 Ton/hr de capacidad y la carpeta asfáltica en planta de 3000 lb/pesada de capacidad, se requieran hasta 300 camiones de volteo de 6 m de capacidad. Sería absurdo adquirir camiones de volteo para satisfacer las demandas que se requieren en trabajos organizados a base de plantas, la inversión sería altísima y el control de los camiones prácticamente imposible. Si por alguna circunstancia no se contara con el número necesario de camiones, el trabajo se encarecería extraordinariamente. Para agilizar el pago de los camiones, evitar errores y tener mejor control, es recomendable calcular los fletes por medio de computadora y utilizar, en lo posible, básculas de piso.

Tendido y afinado.

El tendido y afinado de la subbase y base puede hacerse usando cualquiera de los siguientes procedimientos:

1.- Por el método tradicional utilizando motoconformadora estándar.- Este es el procedimiento más barato y más inexacto, y cuando se aplica, el perfil, las secciones, los espesores y el acabado de la subbase y/o la base no cumplen con las tolerancias estipuladas en las Especificaciones Generales de Construcción de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes-

La rigidez de las tolerancias en el tendido es creciente para los siguientes tipos de subbase y base.

a.- Subbases y bases en carreteras

b.- Bases construidas por el sistema de estabilización en carreteras.

c.- Subbases y bases en autopistas.

Las tolerancias para subbases y bases en carreteras que no se cumplen cuando el tendido se hace con motoconformadora son las siguientes:

	Subbase	Base
Pendiente transversal	± 1/2%	± 1/2%
Profundidad de las depresiones, observadas colocando una regla de 3 m de longitud, paralela y normalmente al eje. Máximo	2 cm	1 1/2 cm

En espesores para carreteras, la raíz cuadrada del promedio de los cuadros de las diferencias calculadas restanto al espesor real obtenido en cada punto de prueba el espesor real promedio correspondiente a todos los puntos de prueba, siempre deberá ser igual o menor que 0.14 del espesor real promedio de la subbase, igual o menor que 0.12 del espesor real promedio de la base e igual o menor que 0.09 del espesor real promedio conjunto de subbase más base; además, el valor absoluto de la diferencia entre los espesores real y de proyecto, correspondiente al 84% como mínimo, de las determinaciones realizadas para la subbase, al 90% como mínimo, de las determinaciones realizadas para la base y al 95% como mínimo, en el caso del conjunto de subbase más base, siempre deberá ser igual o menor que el 20% de los espesores de proyecto.

2.- Por medio de una extendedora de carpeta asfáltica (finisher) equipada con control electrónico y dotada de un área de acabado suficiente para extender espesores hasta de 25 cm. Se entiende por área de acabado a la superficie máxima de la sección transversal que esta máquina es capaz de extender y así se dirá; por ejemplo, que la extendedora Barber Greene SA35 tiene un área de acabado de 0.3855 m^2, que la SB41, 0.5881 m^2 o que la SB 140, 2.2296 m^2.

Este procedimiento es muy recomendable para subbases y bases estabilizadas con cemento, con cal, o con emulsión asfáltica. Es un sistema muy práctico para extender subbase y base, en

caminos en operación y con fuerte tránsito, porque no se tiene necesidad de interrumpir éste en lo más mínimo ya que el extendido y compactado puede hacerse, como se hace con la carpeta, por alas.

Sin embargo, el gran desgaste de la extendedora, cuando no se maneja un producto asfáltico, hace que este procedimiento resulte caro, no obstante que elimina la eventualidad de camellones saturados por lluvias imprevistas y que hace trabajar muy eficientemente al equipo de compactación.

3.- Por medio de una máquina afinadora extendedora del tipo CMI equipada con sistema de control electrónico. La presencia de tránsito, el ancho de la corona, los alineamientos verticales y horizontal y, su alto costo hacen que la aplicación de esta máquina, en las carreteras de nuestro país, sea un tanto difícil. La susencia de tránsito y las características geométricas de los aeropuertos permiten, en ellos, la aplicación exitosa de esta máquina.

Compactación.

El costo de compactación representa una muy pequeña parte del costo total de la obra. A cambio de esto, la compactación tiene una decisiva influencia en la calidad y tiempo de vida de la obra. Una compactación eficiente incrementa sustancialmente el valor soporte y la estabilidad del material, mejora la impermeabilidad en la mayoría de los casos y prácticamente elimina los asentamientos. Así, la compactación hace al suelo capaz de soportar las cargas de los vehículos y reduce sustancialmente los costos de mantenimiento.

La compactación de subbase y base ha tenido una evolución muy importante con la introducción de compactadores vibratorios autopropulsados.

Actualmente, para compactar la producción de una planta mezcladora de subbase y base de 540 Ton/hr de capacidad, se requiere de un compactador vibratorio autopropulsado de 9 Ton de peso estático compuesto de un solo rodillo, y de un compactador neumático autopropulsado de 11 Ton con llantas de 90 psi. El compactador neumático se utiliza no por falta de capacidad de producción del compactador vibratorio, sino porque éste no puede orillarse lo suficiente para compactar los

hombros del pavimento. El compactador vibratorio autopropulsado -- cuenta con la tracción suficiente para compactar espesores hasta - de 25 cm, lo que hace que el número de capas de pavimento se reduzca.

El costo de compactación de subbase y base utilizando el equipo antes mencionado es como sigue:

Compactador vibratorio CA25A llantas tracción	$ 1,987.34
Compactador neumático de 9 ruedas	1,139.21
	$ 3,126.55

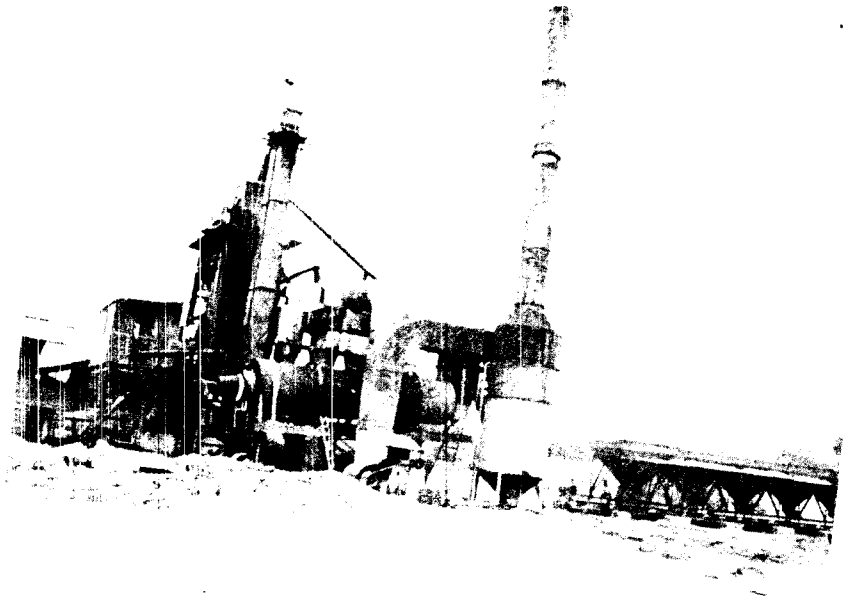
$$\frac{\$\ 3{,}126.55/hr \times 1.35}{200\ m^3/hr} = \$\ 21.10/m^3$$

Las ventajas principales de este método de compactación son los siguientes:

1.- Bajo costo.

2.- Menos interrupción al tránsito.

3.- Estandarización de equipo para compactar tanto subbase y - base como carpeta asfáltica.



PLANTAS PARA LA ELABCRACION DE MEZCLAS ASFALTICAS

Ing. Emilio Gil Valdivia

OBJETIVOS:

Se pretende que al término de este capítulo, el alumno sea capaz de describir los diferentes tipos de plantas para elaboración de concreto asfáltico y su funcionamiento.

Con los datos que se le proporcionen deberá efectuar la calibración teórica de una planta para elaboración de concreto asfáltico. Un buen trabajo será aquel que se apegue al proyecto, cumpla con las tolerancias especificadas y logre mayor eficiencia de la planta.

I. MATERIALES :

Los materiales empleados para la elaboración de mezclas asfálticas son principalmente pétreos, asfaltos o aglutinantes y en algunos casos es necesario agregar a estos un filler y/o aditivos.

I.1. Los materiales pétreos se clasifican en:

a) Materiales naturales que requieran uno o varios de los tratamientos indicados a continuación:

Disgregación, cribado, trituración y lavado.

b) Mezclas de dos o más materiales del grupo anterior.

Para determinar el tratamiento que se le debe dar a los materiales pétreos es necesario conocer sus características naturales en el banco, como son granulometría, plasticidad, afinidad con los asfaltos, desgaste.

Una vez determinadas estas características el siguiente paso será el o los tratamientos necesarios para obtener el material apropiado para elaborar la mezcla; si el material presenta una plasticidad alta, será necesario lavarlos a fín de eliminarle los finos perjidiciales. Si el material no cumple con la prueba de desgaste, no deberá usarse, ya que con el paso del equipo de compactación puede sufrir degradación con lo que quedarían partículas nuevas sin cubrir con asfalto o sueltas, lo que provocaría desprendimientos.

Con respecto a la afinidad con el asfalto, si es que en su estado natural ésta no es buena, se puede mejorar: por lavado, con la trituración o con el empleo de aditivos.

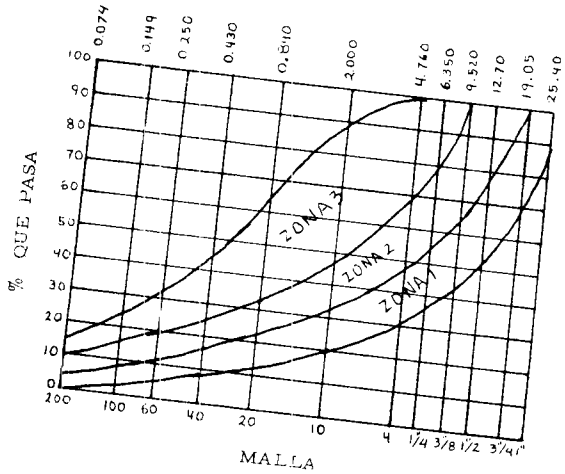
De su granulometría o composición granulométrica en su estado natural se podrá determinar la necesidad de cribado o trituración.

La composición granulométrica es la determinación por el procedimiento de cribado de los tamaños de las partículas que forman el material. Consiste en separar las partículas de material tamizándolo a través de una sucesión de mallas de abertura cuadrada y en pesar las porciones que se retienen en cada una de ellas, relacionándolas como porcentajes de la muestra total.

La composición granulométrica representa gráfica o numéricamente la distribución de los diferentes tamaños de las partículas que componen el material. Se acostumbra representar la composición granulométrica por medio de una curva dibujada en una gráfica que tenga por abscisas, a escala logarítmica, las aberturas de las mallas y por ordenadas los porcentajes de material que pasa por dichas mallas a escala aritmética. Ver ejemplo de gráfica de curva granulométrica.

En términos generales puede decirse que la mayor estabilidad de un material se alcanza cuando se reduce al mínimo la cantidad de vacíos y para que esto pueda lograrse, se requiere una sucesión adecuada de tamaños que permita que los huecos dejados por las partículas mayores sean ocupados por partículas de menor tamaño y que a la vez, en los huecos que dejen estas últimas se acomoden partículas más finas y así sucesivamente. Es pertinente dejar claro, que la determinación de los tamaños por medio de cribas, da idea de estos en sólo dos dimensiones, por lo que un material cuyas partículas afecten las formas de placas o de agujas puede presentar una gran cantidad de vacíos aún cuando su curva --

GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA



PRUEBAS EN LA MEZCLA ASFALTICA

LAMINA N° 1

granulométrica indique una sucesión adecuada de tamaños. Así mismo, cuando se presenten variaciones de consideración en la densidad de las partículas de diferentes tamaños, la curva granulométrica no dará una idea correcta de la sucesión de tamaños, en este caso sería indispensable hacer la corrección para convertir los porcentajes expresados en peso a porcentajes expresados en volúmen.

I.2. Materiales asfálticos.

Los materiales asfálticos que se utilizan para aglutinar los materiales pétreos empleados en la elaboración de mezclas asfálticas son: cementos asfálticos, asfaltos rebajados y emulsiones asfálticas.

Los cementos asfálticos son obtenidos por un proceso de destilación del petróleo para eliminar a éste sus solventes volátiles y parte de los aceites.

Los asfaltos rebajados son materiales asfálticos líquidos compuestos de un cemento asfáltico y un disolvente. Estos pueden ser de fraguado rápido, medio o lento, según sea el tipo de disolvente; gasolina, querosene o un aceite ligero.

Las emulsiones asfálticas son materiales asfálticos líquidos estables, formados por dos fases no miscibles, en los que la fase contínua de la emulsión está formada por agua y la fase discontínua por pequeños glóbulos de asfalto. Las emulsiones asfálticas pueden ser aniónicas si los glóbulos de asfalto tienen carga electronegativa o pueden ser catiónicas si los glóbulos de asfalto tienen carga electropositiva. Además pueden ser de rompimiento rápido, medio o lento.

II. MEZCLAS ASFALTICAS :

Una mezcla asfáltica es el producto obtenido mediante la incorporación

y distribución uniforme de un material asfáltico en uno pétreo. De acuerdo con sus características y condiciones de uso se recomienda que se elaboren con los materiales asfálticos que se fijan en el siguiente cuadro.

MATERIAL ASFALTICO	EMPLEO RECOMENDABLE EN LA CONSTRUCCION DE CARPETAS Y SOBRECARPETAS	
	PARA CARRETERAS	PARA AEROPISTAS
	Tránsito diario en ambos sentidos en vehículos pesados	Aviones con peso total en Tons.
Cemento asfáltico	Más de 1,000	Más de 10
Asfalto rebajado	1,000 Max	20 Max
Emulsión asfáltica	1,000 Max	20 Max

Las mezclas asfálticas en cuanto a su procedimiento de elaboración se pueden clasificar en mezclas en frío y mezclas en caliente.

II.1. Mezclas en Frío.

Las mezclas en frío pueden ser:
- Mezclada en el lugar
- Mezclada en dosificadora

En este tipo de mezclas el material asfáltico empleado es un asfalto rebajado o una emulsión asfáltica.

Los asfaltos rebajados se recomiendan para climas secos o cuando se cuenta con el material pétreo con una húmedad menor que la de absorción ya que si no es así implicaría un proceso de secado, del material pétreo, previo a la incorporación del asfalto rebajado.

El asfalto rebajado que se usa comúnmente en estas mezclas es del tipo FR-3.

Las emulsiones asfálticas se recomiendan para climas húmedos o cuando es difícil obtener material pétreo con una humedad menor que la de absorción. Ejemplo materiales hidrófilos.

El tipo de emulsión que se usa generalmente para la elaboración de mezclas es de rompimiento lento.

En la elaboración de las mezclas frías, la operación de mezclado puede hacerse en planta estacionaria o viajera, pero la mayor parte de las veces se emplea el sistema de mezclado en el lugar con motoconformadora, para lo cual se "acamellona" el material pétreo, se cubica y conocido su volúmen, se extiende con motoconformadora, se le aplican la cantidad de asfalto necesaria por medio de una petrolizadora en tres o cuatro riegos, procediendo inmediatamente a revolver el material utilizando motoconformadora para homogeneizar la mezcla y provocar la pérdida de solventes. Este proceso toma de 20 a 30 horas de mezclado, según las condiciones atmosféricas, para un volúmen de unos 200 m^3 de mezcla; después de esto cuando la mezcla tenga la cantidad mínima de solventes se procede al tendido con motoconformadora y compactación, para lo cual se usan rodillos lisos tandem de 6 a 8 tons. y después compactadores neumáticos con peso de 4 a 6 tons. hasta alcanzar la compactación del 95%.

II.2. Mezclas en Caliente.

Este tipo de mezclas es elaborado en planta, la que puede ser de funcionamiento contínuo o discontínuo. La diferencia como su nombre lo indi-

ca es que mientras es una la alimentación de la mezcladora es en forma contínua en la última ésta alimentación se hace por pesadas.

La carpeta asfáltica elaborada en planta y con cemento asfáltico, es la de mejor calidad y la más costosa de las comunmente usadas en -- nuestro país, debido a lo cual es indispensable que la elaboración y el tendido se efectúen con el cuidado necesario a fin de obtener la calidad que debe corresponder a la inversión que se hace.

El elaborar concreto asfáltico en planta, sea ésta de tipo contínuo o - discontínuo, permite lograr una mezcla con características casi exactas a las previstas en el proyecto, por lo que es absolutamente necesario que las personas que intervienen tanto en el proyecto como en = la elaboración, tendido y supervisión, conozcan perfectamente el funcionamiento, posibilidades y limitaciones de la planta que se use.

PLANTA DE TIPO DISCONTINUO.

Este tipo de planta es el más común en la actualidad en nuestro páis. También se le llama Planta de "Bachás". Puede ser de muy variadas capacidades, pero las más usuales son las de 2,000 y 4,000 lbs. por "bacha".

La planta de tipo discontinuo, está compuesta de varios elementos principales, como se puede ver en el esquema.

El funcionamiento de la planta y sus distintos elementos es el siguiente (numerados conforme el esquema).

El material procedente del almacén se alimenta a la planta por medio de tractor o cargador, depositándose en las tolvas para material frío (1), por lo general son cuatro tolvas, dispuestas para alimentar material pétreo de distintos tamaños. Estas tolvas están equipadas, en su descarga, con compuertas ajustables para regular la caída del material al alimentador de fríos (2) (el cual puede ser de banda o de vaivén), por lo que es posible dosificar el material pétreo frío, para que caiga al depósito (3) con una primera graduación granulométrica. De este depósito es llevado por el elevador de cangilones (4), hasta la tolva de entrada del secador (5), en esta parte se encuentra una rejilla para impedir la entrada de objetos mayores al tamaño fijado. Al entrar el material al secador (7), el polvo (6), puede ser reincorporado, en caso necesario, en el recipiente (8), en donde se une al material que sale del secador. De allí es llevado por un segundo elevador de

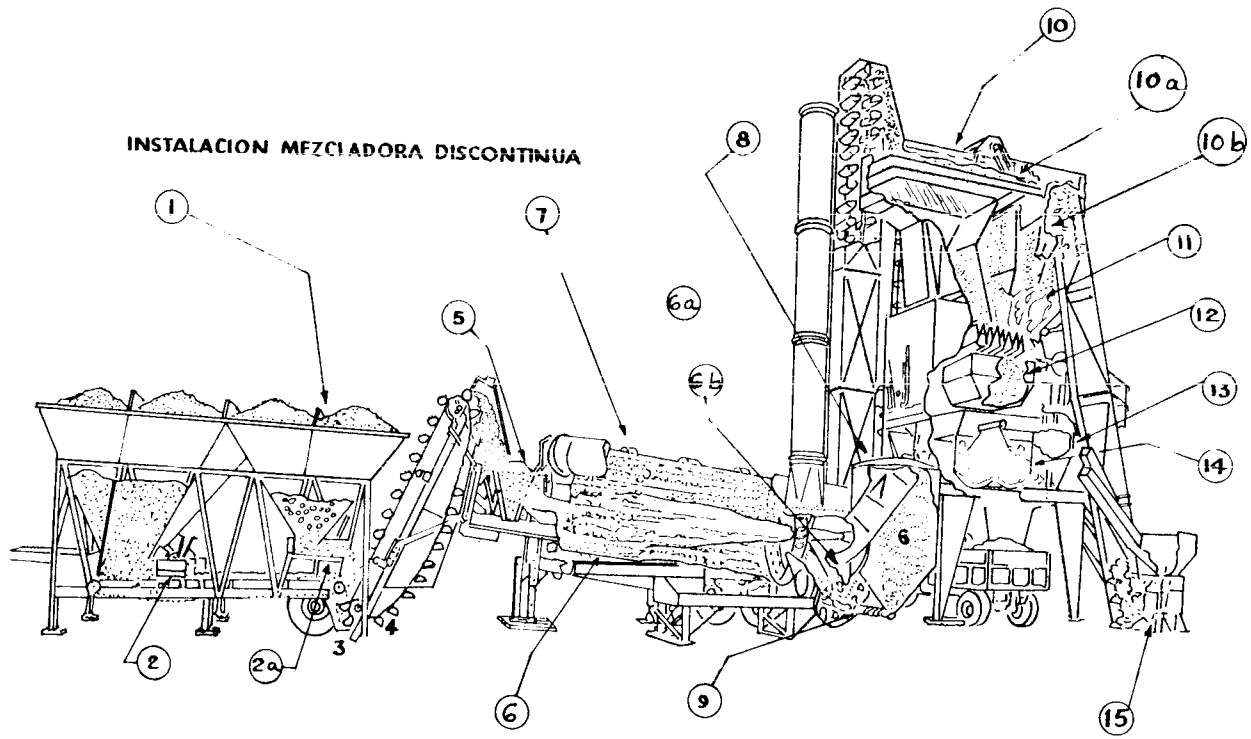


Figura VI-6—Instalación mezcladora discontinua

INSTALACION MEZCLADORA DISCONTINUA

1.- ALMACENAJE Y ALIMENTACION DE ARIDOS FRIOS

Almacena los áridos y dosifica exactamente la cantidad de cada tamaño necesaria para mantener constantes las cantidades obtenidas en la unidad clasificadora.

2.- El alimentador de cinta situado bajo las tolvas de arena tiene compuertas regulables. El gran ángulo de contacto entre la arena y la cinta reduce al mínimo los huecos.

2a.- Los alimentadores de vaivén situados bajo las tolvas de áridos tienen compuertas regulables.

5.- Emparrillado que protege el secador de materiales de tamaño excesivo y sustancias extrañas.

6.- Las paletas dejan caer los áridos formando una cortina uniforme a través de la llama y los gases calientes, obteniendo el máximo efecto de secado.

6a.- La conducción auxiliar para el aire extraído del secador reduce al mínimo las molestias causadas por el polvo en las proximidades de la instalación.

6b.- El ventilador produce la corriente de aire necesaria para el sistema de combustión del secador y el colector de polvo.

7.- SECADOR

Los áridos que fluyen continuamente se secan al máximo por contacto directo con la llama y los gases calientes. Cada partícula de los áridos se expone a esta acción repetidamente, logrando un secado completo.

8.- COLECTOR DE POLVO

Recupera polvo fino, que puede devolverse a la mezcla si es necesario.

9.- Los finos recogidos se transportan mediante un tornillo a la base del elevador de aridos calientes.

10.- UNIDAD DE CONTROL DE LA GRANULOMETRIA

Separa y almacena los áridos secos. Mide y dosifica la cantidad necesaria de áridos de cada tamaño.

10a.- Tamices vibratorios que separan los áridos en los tamaños adecuados, rechazando los de tamaño excesivo.

10b.- Alimentación de filler, producido uniformemente por medios mecánicos.

11.- Las tolvas de material caliente almacenan áridos suficientes para garantizar un funcionamiento continuo.

12.- La tolva de pesadas mide todos los tamaños de áridos, incluso de filler mineral.

13.- La cubeta de asfalto calorifugada mide la cantidad de asfalto necesaria para cada amasado.

14.- El mezclador de ejes gemelos mezcla perfectamente el material.

15.- Sistema de alimentación y medida de filler mineral, con almacenamiento de éste a nivel del suelo.

cangilones (9), hasta las cribas vibratorias (10), para ser separado por tamaños depositándose en las tolvas de material caliente (11), por las compuertas de estas tolvas se extráe de cada una, la cantidad en peso que fija la granulometría de proyecto, valiéndose del recipiente pesador (12), y adicionando por la válvula (13), el cemento asfáltico caliente. Los materiales ya dosificados, así como el cemento asfáltico pasan al mezclador (14), en donde se homogeniza la mezcla y se descarga el camión que la ha de transportar.

Esto es en una muy breve síntesis, el funcionamiento de una planta de tipo discontínuo.

Ahora bien, para lograr que la producción de una planta sea realmente la requerida por el proyecto, es absolutamente necesario que se cumplan los siguientes requisitos:

a) Que el funcionamiento mecánico de la planta sea correcto.

b) Que el material pétreo que se alimenta al secador sea uniforme en su granulometría y contenga los tamaños básicos necesarios para formar la curva granulométrica de proyecto.

c) Conocer y corregir la contaminación en las tolvas de material caliente.

Para que el primero de los requisitos se cumpla, es necesario efectuar primero una revisión general de la instalación haciendo hincapíe en todos los elementos de la planta que fácilmente pueden fallar, y hacer fallar la producción, para ello, lo mejor es hacer un recorrido, primero siguiendo todos -

los pasos del material pétreo, desde la alimentación de las tolvas de material frío, hasta la descarga final, y enseguida siguiendo todos los pasos del cemento asfáltico, desde su descarga en el almacenamiento de la instalación hasta la descarga final de mezcla.

Los principales puntos de falla probable son los siguientes:

Las compuertas ajustables de las tolvas de materiales fríos.

El alimentador de fríos (de banda o vaivén)

El secador (inclinación y carburación adecuadas).

Las cribas vibratorias (comprobar si no hay fugas por rotura, si el vibrador tiene los contrapesos adecuados, si la inclinación es correcta y si son de las dimensiones requeridas).

Compuertas de las tolvas de material caliente (Deben cerrar perfectamente, sin fugas, sobre todo las de materiales finos).

Básculas (debe comprobarse por medio de pesos conocidos, si las lecturas son correctas).

Depósitos y tuberías de calentamiento de cemento asfáltico (si el calentamiento es por vapor o aceite, no debe haber fugas que contaminen el cemento asfáltico).

Válvula de descarga del cemento asfáltico (debe cerrar perfectamente, sin derrames).

Mezclador (debe cerrar la compuerta sin derramar, y tener las paletas en buen estado).

Los puntos fijados sólo son una guía de lo que debe comprobarse, sin embar

go, puede haber fallas en otras partes, como entradas de grasa de lubricación en el mezclador, fallas en los cangilones de los elevadores, fallas en los pirómetros, etc. Por lo tanto, debe hacerse una inspección detallada.

Para que se cumplan los otros dos requisitos, que se refieren al material pétreo, es necesario llevar a cabo la Calibración de la Planta, la cual puede separarse en dos fases:

Calibración primaria o de aproximación.

Ajuste definitivo.

Para que una planta funcione correctamente, debe producir el volúmen de mezcla que se le solicite conforme a la capacidad de tendido y acarreo, sin demoras ocasionadas por falta de material en una o varias tolvas de material caliente, y sin desperdicios excesivos por derrames en otras tolvas. Además de los requisitos de eficiencia mencionados, su producción debe ser tal y como fué proyectada en cuanto a granulometría y contenido de cemento asfáltico.

Los dos problemas principales que se presentan para lograr que la planta funcione como se menciona antes son:

1o.- Una alimentación variable en cuanto a granulometría y no controlada en cuanto a cantidad.

2o.- Una contaminación de material en las tolvas de material caliente (Material correspondiente a una tolva, contaminando a otra).

El primero de estos problemas tiene consecuencias en el segundo, ya que aún cuando se logren controlar las contaminaciones entre las tolvas, si la alimentación de la planta es irregular y variable, ésto destruirá todo lo hecho. Por lo tanto, es muy importante que estos problemas se ataquen en el orden señalado, a fín de evitar trabajos inútiles.

La solución del primero de los problemas se logra por medio de la calibración primaria, que consiste en ajustar las compuertas de las tolvas de fríos con objeto de que alimenten un material pétreo dosificado con una granulometría lo más aproximada posible a la de proyecto, y sobre todo una granulometría uniforme. Además de que la alimentación debe ser la adecuada para satisfacer la demanda de producción, en cuanto a volúmen. Para lograr lo anterior, hay que proceder como sigue:

Primero deberá determinarse el volúmen de mezcla que se requiere de la planta, lo cual depende del equipo de tendido y compactación, así como del equipo de acarreo disponible ya que estos factores determinan el volúmen de producción que se requiera de la planta (dado en Kg/min.) Por lo general, una planta trabajada correctamente, es capaz de elaborar dos bachas por minuto, obteniéndose un mezclado satisfactorio, sin embargo debe comprobarse en cada caso, el tiempo necesario para obtener una bacha bien mezclada, y tomar en cuenta los tiempos necesarios para cargar los camiones.

Una vez conocida la cantidad de mezcla por minuto que se vá a producir, deberá calcularse la cantidad de material pétreo necesario por minuto, Así por ejemplo, si se van a producir 1,800 Kg/min. de mezcla, y el proyecto señaló un 5% de cemento asfáltico, el material pétreo necesario por minuto será:

$$\frac{1,800}{1.05} = 1,715 \text{ Kg/min.}$$

Por lo tanto, la alimentación a la salida de las tolvas de fríos deberá ser de 1,715 Kg/min. a fín de que la planta trabaje eficientemente. Pero hay que tomar en cuenta que además de la cantidad de material pétreo, éste debe alimentarse con una cierta granulometría (la de proyecto) y mantenerse ésta uniforme durante toda la producción, para ello, se separan los materiales de alimentación en distintos tamaños (todas las plantas tienen tres o cuatro tolvas de fríos), debiendo ser en un mínimo de dos, pero debe tenerse en cuenta que mientras mayor sea el número de tamaños en que se haga la separación, mejores resultados se obtendrán. Como se decía antes, el mínimo de tamaños en que se separe el material de alimentación serán dos: Material retenido en malla 1/4" y material que pasa malla de 1/4", al separarse los materiales y ser almacenados en tolvas distintas, permiten efectuar la dosificación primaria conforme a la curva de proyecto, regulando la compuerta de cada tolva, de tal modo que alimenten los distintos tamaños en la proporción debida. El ajuste de las aberturas de las compuertas, se lleva a cabo inicialmente en forma teórica, calculándose aritméticamente: pero como para esto es necesario suponer una eficiencia determinada, por

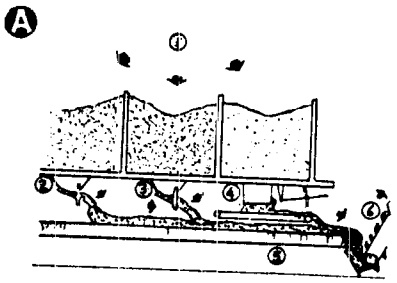


Figura No. 12

A.- Almacenamiento de los Agregados y Sección del Alimentador Frío.

1.- Almacenamiento de los - Agregados en tolvas o depósitos de abastecimiento sobre el Túnel.

2.- Alimentador de los Agregados Gruesos (tipo de -- gravedad).

3.- Alimentador de los Agregados Medianos (tipo de - gravedad).

4.- Alimentador de los Agregados Finos (tipo de correa de transmisión).

5.- Principal Colector de -- Agregados (tipo de correa de transmisión)

6.- Elevador de Fríos.

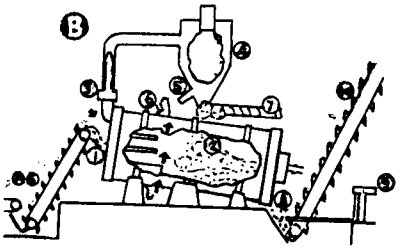


Figura No. 13

B.- Sección del Secador y del - Colector de Polvo.

A6.- Elevador de Fríos.

1.- Extremo del Cargador del Secador.

2.- Secador Rotativo.

3.- Abanico que Desarrolla la Succión

4.- Colector de Polvo (ciclón).

5.- Compuerta Ajustable del - Control del Vertedor de -- Polvo.

6.- Vertedor del Exceso de Polvo.

7.- Retorno Uniforme del Polvo al Elevador de Calientes.

8.- Quemador y Extremo de Descarga del Secador.

9.- Aparato Indicador de Temperaturas.

10.- Elevador de Calientes.

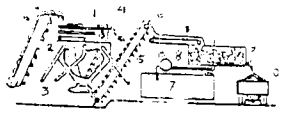


Figura No. 14
C.- Planta de Mezclado Contínuo

A-10.- Continuación del elevador de calientes.
1.- Cama de Cribas.
2.- Tolva para los agregados calientes.
3.- Tubos vertedores de sobrantes.
4.- Rechazo de tamaños mayores.
5.- Alimentador de agregados proporcionados (tipo de correa de transmisión).
6.- Colector elevador de agregado al sistema de mezclado.
7.- Tanque de almacenamiento de asfalto.
8.- Bomba para el asfalto, motor y sistema de alimentación.
9.- Mezclador amasador.
10.- Mezcla completa que se descarga en los camiones.

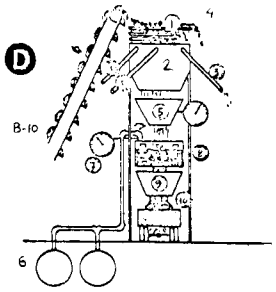


Figura No. 15
Planta de Mezclado Discontínuo
(Tipo de Bachas)

D.- Planta mezcladora de bachas.
B-10.- Elevador caliente.
1.- Cama de cribas.
2.- Tolvas de agregados calientes.
3.- Tubos vertedores de sobrantes.
4.- Rechazo de tamaños mayores.
5.- Cajón de medida del agregado de la bacha (tipo de pesada).
6.- Tanque de almacenamiento de asfalto.
7.- Sistema de medida del asfalto para la bacha (tipo de pesada).
8.- Mezclador amasador.
9.- Tolva de descarga de la mezcla asfáltica.
10.- La mezcla terminada se descarga en los camiones.

lo general se procede a hacer una corrección a la abertura obtenida por la fórmula, en forma práctica comprobando la granulometría y ajustando hasta obtener lo deseado, ya que el ajuste definitivo se hará posteriormente en las tolvas de material caliente. El cálculo de la abertura de una tolva se efectúa por medio de las fórmulas:

Para alimentador de banda:

$$H = \frac{G}{B.V.P._v \; E}$$

Para alimentador tipo vaivén o alternativo:

$$H = \frac{G}{B.N.C.P._v \; E.}$$

en donde:

G = Gasto de la tolva en Kg/min.

B= Ancho de la compuerta en Mts.

H = Altura de la compuerta en Mts.

V = Velocidad dela banda en Mts/min.

Pv = Peso volumétrico del material en Kg/M3.

E = Eficiencia

N = Número de carreras por minuto del alimentador.

C = Carrera del alimentador en metros.

El gasto se determina conforme a la curva granulométrica de proyecto y la cantidad de material pétreo por minuto necesario. Por ejemplo, suponiendo que la cantidad necesaria de material pétreo por minuto sea 1715 Kg/min.

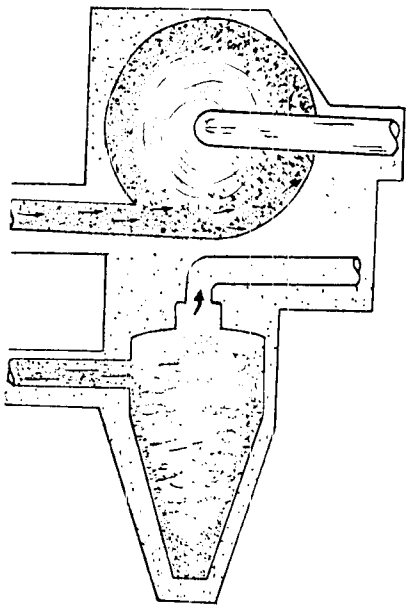
y que la curva granulométrica exige un 45% de material que pasa la malla de 1/4" entonces, para calcular la apertura de la compuerta de la tolva que contiene dicho material, primero se calculará el gasto:

$$G = 1,715 \times 0.45 = 771.75 \text{ Kg/min.}$$

Este será el Gasto para la tolva que se trata. Los otros datos son medidos directamente en la planta y el Pv se determina con el material usado.

Una vez calculado la abertura para cada tolva, se hace funcionar la máquina y se muestrea la descarga del alimentador de fríos, comprobándose la granulometría, cerrando o abriendo la compuerta según el caso, y repitiendo la operación y muestreo, hasta que se obtenga una curva granulométrica lo más cercana posible a la de proyecto, en lo que se refiere a los porcentajes en los tamaños en que se hizo la separación de material. La operación de muestreo para granulometría, puede aprovecharse para comprobar el gasto del alimentador de fríos, recogiendo el material descargado en un tiempo medido y calculando la cantidad de material alimentado por minuto.

Con esto queda terminada la calibración primaria, o de aproximación, por lo que el siguiente paso consistirá en efectuar el Ajuste Definitivo, que consiste en lograr que la granulometría de la mezcla producida sea igual a la proyectada para lo cual, es necesario neutralizar el efecto desfavorable ocasionado por la contaminación.



Corriente de aire y polvo a través del colector de polvo. Las partículas gruesas son descargadas por el fondo y las finas por la parte superior del colector.

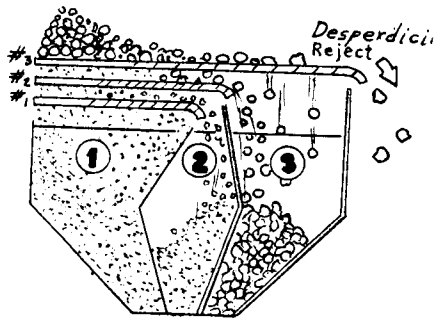


Figura No. 17

Arreglo típico de cribas y tolvas de agregados

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

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

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

Como es sabido, el sistema vibratorio de cribado en las plantas no tiene un 100% de eficiencia, ocasionándose que en una tolva destinada a almacenar exclusivamente determinados tamaños, se encuentre material correspondiente a las otras. Este, como es natural ocasiona una variación en la curva granulométrica cuando el operador dosifica el material, extrayendola cantidad que sería necesaria de una determinada tolva, sin tomar en cuenta que de esa cantidad extraída sólo un determinado porcentaje corresponde al tamaño correcto y el resto está formado por tamaños que deberían estar en otras tolvas. Para remediar esto, es necesario conocer qué porcentaje de material de una tolva se encuentra contaminando a las otras, y esto se determina comprobando la granulometría del material que se encuentra en cada una de las tolvas de material caliente.

El muestreo de las tolvas de material caliente, no siempre es sencillo, ya que no todas las plantas tienen fácil acceso a ellas. En algunos casos, es necesario usar un muestreador de tipo especial y en otros introducir un hombre al mezclador para obtener una muestra, debiendo tenerse en cuenta que dentro de una misma tolva el material tiende a clasificarse, separándose los tamaños mayores a un lado de la tolva.

Una vez conocida la granulometría real del material contenido en cada una de las tolvas, se calculan los porcentajes de contaminación. Para mayor claridad sobre como proceder, se verá un ejemplo: Tenemos que la separación por tolvas será como sigue:

Tolva No.	Material que pasa malla	Material Retenido en malla.
1	No. 8	- . -
2	1/4"	No. 8
3	1/2"	1/4"
4	3/4"	1/2"

Supondremos que la granulometría de proyecto exige los siguientes porcentajes:

Material	% de Proyecto	
1	43	0 - No. 8
2	22	No. 8 - 1/4
3	25	1/4 - 1/2
4	10	1/2 - 3/4

Al efectuar la granulometría del material en cada tolva, se obtuvo la siguiente contaminación:

Material No.	TOLVAS No. 1	2	3	4
1	100%	9%		
2		78%	24%	0%
3		13%	76%	43%
4				57%

Es decir, que en tolva No. 2 (para material de 1/4" a No. 8), se encuentra un 9% de material Número 1 (pasa malla No. 8) y un 13% de material No. 3 (de 1/2" a 1/4", y sólo un 78% del material que contiene es el correspon-

diente a esa tolva (en este ejemplo se supone que la eficiencia del cribado es muy baja, pues las tolvas Nos. 2, 3 y 4 sólo contienen 78%, 76% y 57% del material que les corresponde. Esto es con el fin de hacer más claro el ejemplo, pero lo que se impondría en un caso como ese, sería hacer una revisión del sistema de cribado para mejorar la eficiencia, comprobando por ejemplo, si los contrapesos del sistema de vibración son los adecuados, ya que un vibrado más enérgico obliga a pasar a las partículas incrustadas en las mallas, sobre todo cuando tienen forma de laja, pero también hace al material desplazarse más rápido sobre la criba en el sentido de la inclinación de ésta).

Habrá que modificar los porcentajes de proyecto conforme a la contaminación de tal manera que la suma de todo el material No. 1, por ejemplo, extraído tanto de la tolva 1 como de la tolva 2, nos dá precisamente la cantidad requerida por el proyecto.

El procedimiento de cálculo para corrección de la contaminación, que se expone a continuación, aún cuando no es matemáticamente preciso, el error que se obtiene no afecta grandemente para fines prácticos, y es un método bastante rápido:

Material No.	TOLVAS No. 1	2	3	4		Proyecto
1	100	9			109	43
2		78	24	0	102	22
3		13	76	43	132	25
4				57	57	10

Material No. 1:

$$\frac{100 \times 43}{109} = 39.5$$

$$\frac{9 \times 43}{109} = 3.5$$

Material No. 2:

$$\frac{78 \times 22}{102} = 16.8$$

$$\frac{24 \times 22}{102} = 5.2$$

Material No. 3:

$$\frac{13 \times 25}{132} = 2.5$$

$$\frac{76 \times 25}{132} = 14.4$$

$$\frac{43 \times 25}{132} = 8.1$$

Material No. 4:

$$\frac{57 \times 10}{57} = 10$$

Material No.	Tolvas No. 1	2	3	4	Material No.	o/o Corregidos.
1	39.5	3.5			1	39.5
2		16.8	5.2	0.0	2	22.8
3		2.5	14.4	8.1	3	19.6
4				10.0	4	18.1
	39.5	22.8	19.6	18.1		100.0

Los porcentajes así obtenidos serán los que, debido a la contaminación, deberán extraerse de cada tolva para obtener la curva granulométrica de proyecto, pero aún así estos valores deben comprobarse y ajustarse en caso necesario, lo cual ya puede hacerse disminuyéndo o aumentando un poco conforme a las granulometrías obtenidas.

Como es lógico suponer si la alimentación de la planta es variable, y en ese caso el cálculo hecho con cierta granulometría, unas bachas después

no servirá, por lo que no será posible obtener una granulometría previamente fijada. De lo anterior se desprende la importancia de la calibración -- primaria o de las tolvas de material frío, tratando de reducir las variaciones de alimentación al mínimo.

Hasta aquí ya es posible producir la mezcla de prueba y tener, si no con la seguridad de que se mantenga exactamente dentro de la granulometría de - proyecto, si la de que podemos mantenerla dentro de aproximadamente un 1% de variación y con la posibilidad de localizar en caso dado, la causa de - anormalidad en la producción.

Al iniciarse la producción de la planta, y antes de que sea transportada la mezcla para ser tendida, es conveniente tomar una muestra y someterla a - pruebas completas, para determinar si reune las características de proyecto, y esta comprobación debe comenzar por asegurarse si las temperaturas a que están siendo calentados los materiales pétreos y el cemento asfáltico son adecuados (el cemento asfáltico se calienta del orden de los 130°C y los materiales pétreos aproximadamente a 160°C). así como la temperatura de salida de la mezcla, la cual debe, corresponder al clima del lugar de trabajo y la distancia a que deberá acarrearse, debiendo procurarse que su temperatura de tendido sea proximadamente 120°C y pudiendo tomarse - 10°C, como un valor medio para la temperatura que se pierde en el acarreo la cual debe ajustarse conforme a lo obtenido en los primeros viajes, para las condiciones particulares de cada obra.

Se decía arriba que debe someterse a todos los ensayes pertinentes la mezcla primeramente elaborada, esto incluye, además de la granulometría y -- contenido de cemento asfáltico, la prueba Marshall y adherencia, ésta última prueba aún en el caso de que haya sido satisfactoria en anteriores ensayes y muy especialmente si el quemador del secador de la planta funciona con un combustible derivado del petróleo, ya que una mala mezcla de aire y combustible puede hacer que se forme una película de carbón, envol-- viendo el material pétreo, lo cual dificulta la adherencia y disminuye la estabilidad, facilitando la disgregación de la mezcla.

Cuando los materiales pétreos con que está siendo alimentada la planta, - contienen humedad, no debe descuidarse la comprobación de la humedad a la salida del secador, para lo cual puede muestrearse, deteniendo el funcionamiento de la planta, en la base del elevador de calientes. Esto nos indica la eficiencia del secador.

Transporte de la Mezcla: Los camiones en los cuales se vaya a - efectuar el transporte de la mezcla, deberán ser previamente limpiados, procurando que no quede polvo o materias sueltas, ni - - arcilla adherida, una vez perfectamente limpios deben lubricarse las cajas, con aceite delgado pero no disolvente del asfalto (no - debe emplearse diesel ni petróleo), distribuyéndolo con escoba o cepillo y levantando la caja para que escurra, pues no debe quedar acumulado en las deformaciones del fondo.

No debe pasarse por alto el cubrir la caja del camión, una vez cargada la mezcla, con lona de protección, con objeto de que no se contamine la mezcla con polvo o cualquier otra materia -- extraña, y para ayudar a conservar la temperatura.

Tendido y Compactación del Concreto Asfáltico:

El concreto asfáltico debe ser colocado con máquina terminadora o extendedora, la cual es alimentada por los camiones -- que acarrean la mezcla, caliente, la distribuye uniformemente y la acomoda (algunas dan una ligera compactación) para ser debidamente compactada por el equipo adecuado.

Para proceder al tendido previamente se debe haber nivelado la- superficie sobre la que se va a colocar la mezcla, esto es para que de acuerdo con la rasante de proyecto, poder conocer los -

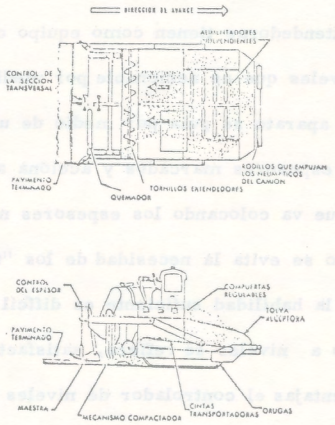


Figura VI-8—Esquema de una terminadora para pavimentos asfálticos

espesores necesarios de mezcla para lograr la mencionada rasante.

Una vez conocidos los espesores se procede a marcarlos sobre la superficie o se pueden colocar pijas que indiquen esos espesores. El control de los espesores de mezcla tendidos se puede hacer manualmente con los tornillos de la placa maestra (ver -- esquema) para lo cual se requiere personal con una cierta habilidad en este trabajo ya que deben accionar los tornillos de acuerdo con los espesores que previamente se han fijado para cada -- sección transversal.

Algunas extendedoras tienen como equipo complementario un controlador de niveles que es accionable por medio de impulsos -- eléctricos. Este aparato se guia por medio de un hilo que une -- las pijas con los espesores marcados y acciona a la "placa maestra" de manera que va colocando los espesores necesarios. Con este procedimiento se evita la necesidad de los "tornilleros" los - que si no tienen la habilidad suficiente es difícil que dejen un -- acabado en cuanto a niveles se refiere, satisfactorio. Por lo -- que representa ventajas el controlador de niveles accionado por - impulsos eléctricos.

La compactación puede dividirse en dos etapas:

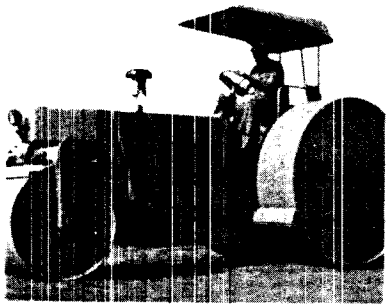
Compactación Primaria

Acabado Final

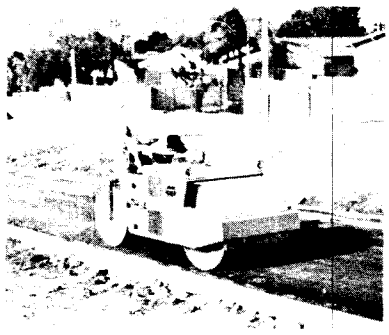
La primaria debe ejecutarse con una aplanadora o rodillo -- liso, entrando en reversa respecto al avance de la extendedora, y tiene por objeto dar a la mezcla la mayor parte de la densidad - que puede admitir, para ello es necesario que el concreto asfáltico se encuentre a una temperatura alta. Como recomendación puede decirse que la compactación debe iniciarse a la temperatura más alta (alrededor de los 100°C) que puede entrar la aplanadora sin provocar corrimiento de la mezcla, debiendo terminarse esto -- prácticamente. Generalmente son suficientes dos a tres pasadas de la aplanadora de tres ruedas, siendo muy importante que ésta no haga cambios de dirección ni se estacione sobre ella. Este - equipo debe disponer de esparcidor de agua sobre las ruedas, a fin de que no se adhiera la mezcla a ellas.

Con respecto al peso y tipo de aplanadora o rodillo liso -- que entra inicialmente, se deberá hacer una prueba práctica en - la que tomando en cuenta la máxima temperatura a la que el -- equipo pueda compactar sin desplazar, se deberá seleccionar -- entre la triciclo de 10 a 12 Tons y la Tandem de 6 a 8 Tons.

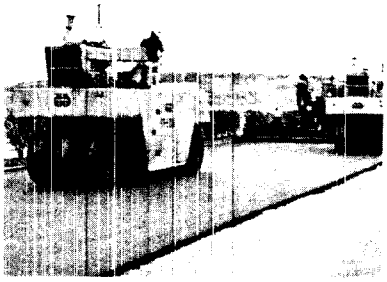
En forma general se puede decir que la temperatura para iniciar la compactación con rodillo liso deberá estar comprendida entre 100°C y 110°C.



1. TRICICLO

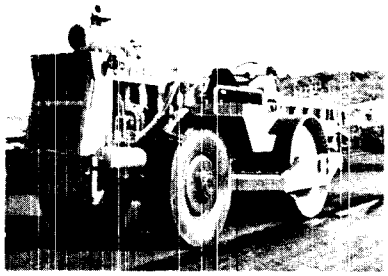


2. TANDEM, RUEDAS METALICAS

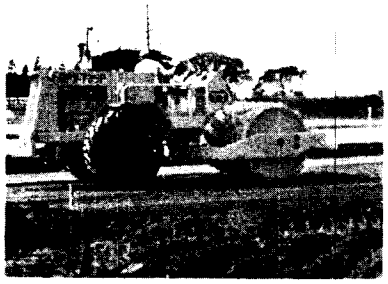


3. DE NEUMATICOS

4. TAPAS DE CABRA



5. VIBRATORIO, TAMBOR LISO



6. VIBRATORIO TAPAS DE CABRA

Inmediatamente después de terminar su labor la aplanadora, se continúa la compactación con un compactador neumático auto - propulsado (esto último es importante ya que el tirado por trac - tor daña la carpeta), el cual dá un efecto de amasado a la mez- cla debido a su sistema basculante en las ruedas, ayudando a la impermeabilización y compactado; principalmente, los dos centí metros superiores de la carpeta. Este equipo deberá trabajar - antes que la mezcla se enfríe demasiado. Se recomienda que - esta compactación se termine cuando la mezcla en carpeta tenga una temperatura mínima de 70°C. Es conveniente que cuando se encuentre aproximadamente a 50°C, se inicie el acabado final, - el cual se dá por medio de una aplanadora tipo Tandem de - - aproximadamente 6 toneladas de peso, transitándola en el senti- do transversal y diagonal al eje del tendido, y tiene por objeto - borrar todas las huellas que hubieran quedado de la compacta -- ción anterior para lograr un acabado uniforme.

La temperatura a la cual se efectúa la compactación, es- básica para obtener una buena carpeta; ya que una compactación efectuada cuando la mezcla ha perdido su temperatura no logra darle el acomodo y la densidad necesarias, lo que sería des -- perdiciar las cualidades del concreto asfáltico.

Control de Calidad.- La supervisión y control deben comenzar al momento de iniciarse la producción, sin embargo, es conveniente que se observe la maniobra de instalación y armado de la planta (en caso de que no esté instalada), con objeto de obtener, desde un principio los datos necesarios sobre las condiciones del equipo, como bandas, elevadores, quemadores, cribas, compuertas, etc., y poder preveer las probables causas de futuros problemas de producción.

Actualmente las reglamentaciones de la S.O.P. dejan a juicio y criterio del contratista los ajustes y calibración de las plantas, por lo que la mayoría de las veces, no se efectúa ninguna calibración, culpándose a los bancos de material cuando no se logra producir la granulometría de proyecto. Debido a lo anterior, en la mayor parte de los casos en que se ha trabajado concreto asfáltico, ha sido necesario elaborar cientos de bachas fuera de lo especificado, para lograr producir la mezcla con una granulometría y contenido de cemento asfáltico aceptables, y como para determinar si son aceptables las bachas producidas, es necesario conocer su granulometría y contenido de cemento asfáltico, por lo general cuando se obtienen estos datos, la mezcla analizada ya fué tendida. Para evitar esto es necesario que no se inicie el tendido de la mezcla asfáltica mientras no se haya elaborado una mezcla de prueba que demuestre que ya se han logrado las condiciones exigidas por el proyecto.

Hay que tener en cuenta, al trabajar el concreto asfáltico, que:

Una buena mezcla, mal tendida y mal compactada, nos dá una mala carpeta.

Una mala mezcla bien tendida y bien compactada, nos dá una mala carpeta.

Es decir, que en el concreto asfáltico no puede descuidarse ni la elaboración, ni el tendido ni la compactación, pues de estos tres factores depende el que se obtenga una buena o mala carpeta.

Uno de los principales requisitos para que una carpeta se comporte satisfactoriamente y tenga una larga vida útil, es el grado de compactación que se le dá. Este puede determinarse por medio de corazones extraídos con una máquina perforadora o con cincel, determinándoles su densidad por medio del método descrito en el inciso 108-7.4 de las especificaciones usadas por la S.O.P., conocido como "Método de la Parafina". Otra forma de determinar la densidad es con el uso de equipo conocido por AP-425 fabricado por la Soiltest, y con el cual no se causa ningún daño a la carpeta, además de ser un procedimiento mucho más rápido.

Respecto al grado de compactación que debe tener la carpeta, las especificaciones usadas por la S.O.P. establecen:

"....hasta alcanzar un grado mínimo de noventa y cinco por ciento (95%0 del peso volumétrico máximo que fije -

el proyecto y lo ordene la Secretaría....."

(Parte Cuarta.- Inciso 57-04.13 Pag. 124)
Edic. 1971.

Con respecto a este punto es conveniente aclarar que: Cuando se utiliza el peso volúmétrico máximo del proyecto se está haciendo una comparación en la que existen variables no controlables en la producción- por lo que no siempre resulta conveniente usar el peso volumétrico máximo de proyecto.

Las variables no controlables a que se refiere el párrafo anterior, son - las variaciones, que pueden ser aceptables dentro de ciertos rangos especificados, en cuanto a granulometría y contenido de cemento asfáltico - en la mezcla.

Por otra parte, se puede utilizar el peso volumétrico máximo de la mezcla producida, el cual es determinado de las pastillas que se elaboran- para el control de la planta. Al utilizar este peso volumétrico se efectúa una comparación más racional ya que se hace la determinación de la compactación con los pesos volumétricos del mismo material tendido y - de la muestra tomada de dicho material.

Las características que debe reunir una mezcla asfáltica elaborada en caliente, están fijadas en el siguiente cuadro.

Características	Uso de la mezcla asfáltica elaborada con cemento asfáltico.	Para Carreteras Hasta 2,000 Veh. - pesados	Más de 2,000 Veh. pesados.	Para Aeropistas.
No. de golpes por cara.		50	75	75
Estabilidad mínima Kgs.	Para carpetas, capas de renivelación, bases asfálticas y bacheo.	450	700	700
Flujo, en milímetros.	Para carpetas, capas de renivelación, bases asfálticas y bacheo.	2-4.5	2-4	2-4
Por ciento de vacíos en la mezcla respecto al volúmen del especímen	Para carpetas y mezclas de renivelación.	3-5	3-5	3-5
	Para bases asfálticas.	3-8	3-8	3-8
Por ciento de vacíos en el agregado mineral (VAM) respecto al volúmen del especímen de mezcla, de acuerdo con el tamaño máximo del pétreo.	Para carpetas, capas de renivelación, bases asfálticas y bacheo.			
	Tamaño Máx.			
	4.76 mm. (No. 4)	18	18	18
	6.35 mm. (1/4")	17	17	17
	9.51 mm. (3/8")	16	16	16
	12.7 mm. (1/2")	15	15	15
	19.0 mm. (3/4")	14	14	14
	25.4 mm. (1")	13	13	13

Se consideran como vehículos pesados los camiones en todos sus tipos y los autobuses.

Los porcientos de vacíos de la mezcla y del material pétreo, respecto al volúmen del especímen, deberán determinarse de acuerdo con el procedimiento descrito en el Capítulo CXII de la Parte Novena.

El tipo de planta llamado de producción contínua, es en nuestro país menos empleada que la llamada de producción discontínua (Bachas).

DESCRIPCION Y FUNCIONAMIENTO.

La descripción de una planta contínua, se puede hacer dividiéndola en tres secciones:

A.- Dosificación de áridos fríos (Fig. 1)

B.- Secador y colector de polvo (Fig. 2)

C.- Dosificación y mezclado de materiales calientes (Fig. 3)

El funcionamiento de una planta de este tipo es el siguiente (Fig. 4)

El material procedente del almacén se alimenta a la planta por medio de tractor o cargador, depositándose en las tolvas para material frío (1), por lo general son cuatro tolvas, dispuestas para alimentar material pétreo de distintos tamaños. Estas tolvas están equipadas, en su descarga, con compuertas ajustables para regular la caída del material al alimentador de fríos (2), (el cual puede ser de banda o de vaivén), por lo que es posible dosificar el material pétreo frío, para que caiga al depósito (3) con una primera graduación granulométrica. De este depósito es llevado por el elevador de cangilones (4), hasta la tolva de entrada del secador (5), en esta parte de encuentra una rejilla para impedir la entrada de objetos mayores al tamaño fijado. Al entrar el material al secador (7), el polvo (6), puede ser reincorporado, en caso necesario, en el recipiente (8), en donde se une al material que sale del secador.

INSTALACION MEZCLADORA CONTINUA

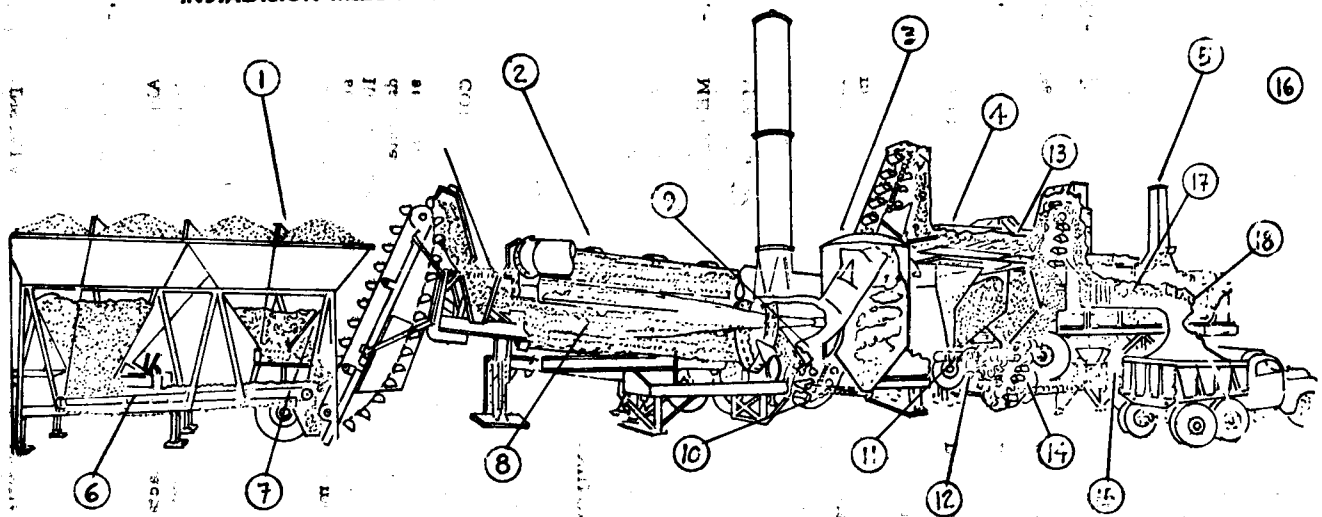


Figura VI-7—Instalación mezcladora continua

INSTALACION MEZCLADORA CONTINUA

1.- ALMACENAJE Y ALIMENTACION DE ARIDOS FRIOS

Almacena los áridos suministrando exactamente la cantidad de cada tamaño necesario para mantener el equilibrio entre los diversos tamaños en la unidad clasificadora.

2.- SECADOR

El caudal continuo de áridos recibe la máxima acción de secado por contacto directo con la llama y los gases calientes. Cada partícula de los áridos se expone repetidamente a ésta acción, obteniendo el máximo efecto de secado.

3.- COLECTOR DE POLVO

Recupera polvo fino que puede devolverse a la mezcla si es necesario.

4.- UNIDAD DE CONTROL DE LA GRANULOMETRIA

Separa y almacena los áridos secos midiendo y suministrando la cantidad necesaria de cada tamaño.

5.- MEZCLADOR

Mide automáticamente la cantidad necesaria de asfalto, mezcándolo perfectamente con los áridos, en el mezclador de ejes gemelos.

Los alimentadores de asfalto y áridos están conectados mecánicamente.

6.- Igual al # 2 de la INST. MEZC. DISCONTINUA

7.- Igual al # 2a de la INST. MEZC. DISCONTINUA

8.- Igual al # 6 de la INST. MEZC. DISCONTINUA

9.- Igual al # 6b de la INST. MEZC. DISCONTINUA

10.- Igual al # 9 de la INST. MEZC. DISCONTINUA

11.- Las compuertas reguladas individualmente dosifican exactamente el porcentaje de cada tipo de áridos necesarios.

12.- Es fácil tomar muestras de cada uno de los áridos desviando el flujo de material a los recipientes para ensayo.

13.- Los tamices vibratorios separan los áridos en los tamaños adecuados, desechando el tamaño necesario.

14.- Sistema de alimentación y medida del filler mineral, -- con almacenamiento de éste al nivel del suelo.

15.- Bomba medidora conectada con los alimentadores de áridos, que dosifica adecuadamente el asfalto en la cámara de mezclado.

16.- La bomba de alimentación asegura una presión constante en el asfalto que alimenta a la bomba medidora.

17.- Mezclador de ejes gemelos que mezcla perfectamente el material.

18.- Mezclador calorifugeno para mantener la temperatura - de mezclado correcto.

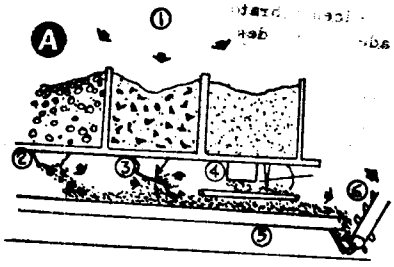


Fig. No. 1

A.- Sección de Dosificación de áridos fríos.

1.- Almacenamiento de los agregados en tolvas o depósitos de abastecimiento sobre el Túnel).

2.- Alimentador de los Agregados -- Gruesos (tipo de gravedad)

3.- Alimentador de los Agregados - Medianos (tipo de gravedad)

4.- Alimentador de los Agregados - Finos (tipo de correa de transmisión)

5.- Principal Colector de Agregados (tipo de correa de transmisión)

6.- Elevador de Fríos

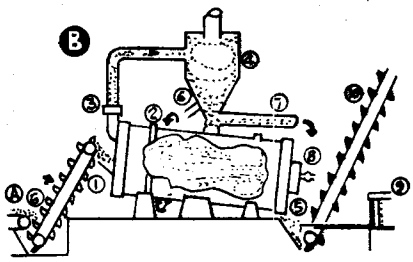


Fig. No. 2

B.- Sección del Secador y del Colector de Polvo.

A6- Elevador de Fríos.

1.- Extremo del Cargador del Secador

2.- Secador Rotativo

3.- Abanico que desarrolla la succión

4.- Colector de Polvo (ciclón)

5.- Compuerta Ajustable del Control del Vertedor de Polvo

6.- Vertedor del exceso de polvo

7.- Retorno uniforme del polvo al Elevador de calientes

8.- Quemador y extremo de descarga del - Secador

9.- Aparato indicador de temperaturas

10.- Elevador de calientes

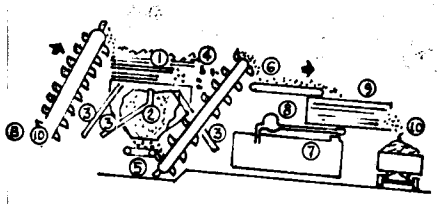


Fig. No. 3

C.- Sección de Dosificación y mezclado de materiales calientes

B-10.- Continuación del elevador de calientes

1.- Cama de cribas.

2.- Tolva para los agregados calientes

3.- Tubos vertedores de sobrantes

4.- Rechazo de temaños mayores

5.- Alimentador de agregados proporcionados (tipo de correa de transmisión)

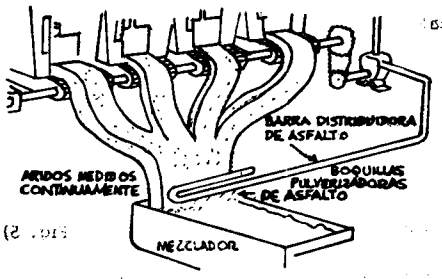
6.- Colector elevador de agregados al -- sistema de mezclado

7.- Tanque de almacenamiento de asfalto

8.- Bomba para el asfalto, motor y sistema de alimentación

9.- Mezclador amasador

10.- Mezcla completa que se descarga en los camiones


BARRA DISTRIBUIDORA
DE ASFALTO
BOQUILLAS
PULVERIZADORAS
DE ASFALTO
ARIDOS MEDIDOS
CONTINUAMENTE
MEZCLADOR

De allí es llevado por un segundo elevador de cangilones (9), hasta las cribas vibratorias (10), para ser separado por tamaños depositándose en las tolvas de material caliente (11), por las compuertas (12) de estas tolvas se extrae de cada una, la cantidad que fija la granulometría de proyecto y adicionando por la válvula (13), el cemento asfáltico caliente. Los materiales ya dosificados, así como el cemento asfáltico pasan al -- mezclador (14) en donde se homogeniza la mezcla y se descarga el camión que la ha de transportar.

Esto es una muy breve síntesis del funcionamiento de una planta de tipo contínuo.

En este tipo de plantas contínuas, el material procedente de las tolvas de almacenaje en caliente se dosifica por medio de compuertas regulables que descargan sobre los alimentadores de material caliente. Todos los materiales son transportados al mezclador en forma contínua.

El asfalto también afluye en forma contínua, y se regula con un sistema de bombeo conectado con el mecanismo de dosificación (Fig. 5), de tal manera que se obtiene una relación constante entre la cantidad total de los agregados pétreos y el producto asfáltico empleado, esto en forma independiente de la velocidad de producción.

CALIBRACION DE LA PLANTA.

Los principales pasos para iniciar la producción de mezcla con este equipo son los siguientes:

1.- Ajuste de las compuertas de las tolvas de almacenamiento de agregados pétreos fríos, a fín de que estos pasen al secador en las proporcio-

nes requeridas.

2.- Determinación de la cantidad de material que debe pasar al mezclador desde cada una de las tolvas de agregados calientes, y de la cantidad de producto asfáltico.

Ajuste de las compuertas de agregados en frío.

Generalmente hay dos tipos de alimentadores para agregados en frío:

1).- Alimentadores Alternativos (Cangilones) y

2).- Alimentadores de Correa (Bandas transportadoras)

La cantidad que suministra un alimentador alternativo, en kilogramos por minuto, puede calcularse por la ecuación.

$$C_t = WHRLUE$$

En donde:

W = Anchura de la compuerta, en metros

H = Altura de la compuerta, en metros

L = Carrera de alimentador, en metros

R = Carreras por minuto

C_t= Capacidad teórica, en kilogramos por minuto

U = Peso de los agregados, en kilogramos por M3.

E = Rendimiento

Los kilogramos por minuto que se suministran por un alimentador de correa se determinan por la siguiente ecuación.

$$C_t = WHSUE$$

En donde:

S = Velocidad de la correa, en metros por minuto

En la práctica es factible determinar la abertura de las compuertas de las tolvas por tanteos, no siendo indispensable las ecuaciones citadas; de tal manera que las áreas correspondientes a los distintos agregados sean proporcionales a los porcentajes requeridos.

Es muy importante la calibración de los alimentadores en frío, y es una maniobra fácil de realizar. Cuando el material se lleva al secador por medio de transportadores de banda, sólo es necesario ajustar la compuerta de una tolva en la posición en que se espera suministre la cantidad correcta de material, se cierran las otras tolvas y se pone en marcha la planta. Cuando ha funcionado durante un minuto, aproximadamente, se separa y pasa el material contenido en el transportador de banda en una distancia media por ejemplo 3 m., y se convierte la cifra a Kg/m. Esta, multiplicada por la velocidad de la cinta en M. por minuto, dá Kg. por minuto entregados por la tolva con esa abertura particular de la compuerta. Se convierte a Tons. p/h y por centímetro de abertura de compuerta y se calcula la proporción a número exacto de centímetros a que debe abrirse la compuerta para suministrar la cantidad deseada de tons./h.

Ya efectuado lo anterior, se pone nuevamente la planta en marcha durante un minuto aproximado, después que los agregados han empezado a caer en las tolvas de materiales calientes, se vacían las tolvas y se continúa con la planta en marcha unos minutos más para volverlos a llenar hasta la mitad cuando menos, procediéndose al muestreo de los distintos agregados en caliente para el análisis granulométrico.

M U E S T R E O.

Previo al muestreo de las tolvas deben de verterse aproximadamente 500 Kgs. de cada una de ellas, ello con el fín de establecer un flujo de pétreos regulado, una vez efectuado lo anterior, se suelta la palanca de una de las tolvas y se toma una muestra de 20 Kg., por lo menos del material que cáe. Se repite esta operación con las otras tolvas, este tipo de plantas tienen - por lo general dispositivo bastante accesible para efectuar los muestreos, es muy conveniente dejar siempre la planta en funcionamiento durante algunos minutos antes de llevar a cabo el muestreo.

ANALISIS DE LAS MUESTRAS.

Cada una de las muestras debe de cuartearse cuidadosamente hasta obtener las cantidades mínimas de material adecuadas para los estudios de laboratorio.

Como regla general, la muestra procedente de la tolva de finos, después - del cuateo debe ser de 500 gr., las muestras de tolvas de un tamaño aproximado de 1/4" de 1,000 gr., y las muestras de las tolvas conteniendo agregados mayores, de 2,000 gr. Una vez hecho lo anterior, se procede al análisis granulométrico de cada una de estas, se anotan los resultados y con estos se calcula la granulometría combinada, la que una vez determinada se- presenta gráficamente.

En cada tolva existe siempre algún material menor que el tamiz de menor -- abertura representado por ella, esto se debe a que cierta cantidad de los -- materiales más finos es siempre arrastrada a la tolva siguiente por los agre

PRIMER AJUSTE.

Malla No.	PORCENTAJE QUE PASA. Tolva No.3 3/4" a 3/8" Total	30%	Tolva No. 2 3/8" a No.10 Total	40%	Tolva No. 1 Menor No.10 Total	30%	Granulometría Combinada	Granulometría de Trabajo.	Proyecto	Tolerancias. Especificadas.
3/4"	100.0	30.0	100.0	40.0	100.0	30.0	100.0	100	100	± 5
1/2"	58.2	17.5	100.0	40.0	100.0	30.0	87.5	88	94	± 5
3/8"	10.1	3.0	100.0	40.0	100.0	30.0	73.0	73	85	± 5
1/4"	0.1	1.8	84.2	33.7	100.0	30.0	65.5	65	76	± 5
No. 4	2.0	0.6	68.5	27.4	100,0	30.0	58.0	58	68	± 4
No. 10	0.5	0.2	21.0	8.4	100.0	30.0	38.6	39	44	± 3
No. 20	0.4	0.1	16.0	6.4	77.5	23.2	29.7	30	35	± 3
No. 40	0.3	0.1	11.0	4.4	55.1	16.5	21.0	21	24	± 1
No. 60	0.2	0.1	8.6	3.4	42.9	12.9	16.4	16	19	± 1
No. 100	0.1	- . -	4.8	1.9	19.8	5.9	7.8	8	10	± 1
No. 200	0.0	- . -	3.2	1.9	9.1	2.7	4.0	4	6	± 1
Contenido de Cemento asfáltico									5.2	± 0.26 (0.06CA)

SECRETARIA DE OBRAS PUBLICAS
DIRECCION GENERAL DE SERVICIOS TECNICOS
DEPARTAMENTO DE LABORATORIOS

REPORTE DE CONCRETO ASFALTICO

TERIAL MEZCLA 30% - 40% - 30% EXPEDIENTE A-5
AYE NUM. 1 MUESTRA NUM. 1-2-3 FECHA RECIBO 23-JULIO 73
IADA POR FECHA INFORME 24 JULIO 74
XCEDENCIA
PRIMER AJUSTE

PRUEBAS SOBRE MATERIAL PETREO

SIFICACION PETROGRAFICA

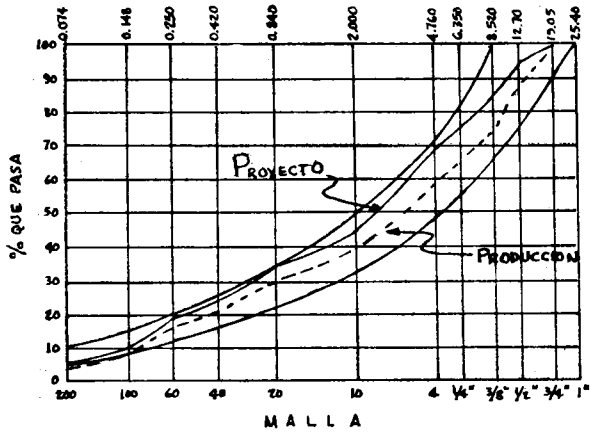
O VOL. SUELTO, Kg/m³.

PASA MALLA, %

	PRODUCCIÓN	PROYECTO
1"	100	100
"	88	94
"	73	85
"	65	76
4	58	68
10	39	44
20	30	35
40	21	24
60	16	19
100	8	10
200	4	6

NSIDAD
SORCION, %
SGASTE, %
RTICULAS ALARGADAS, %
RTICULAS EN FORMA DE LAJA, %
UIVALENTE DE ARENA

GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA



RACTERISTICAS DEL ASFALTO

PO
MPERATURA RECOMENDABLE
APLICACION
NETRACION

PRUEBAS EN LA MEZCLA ASFALTICA

CONT. OPT. DE ASFALTO (%) 5.2 %
PESO VOL. MAX. EN MEZCLA COMPACTA (Kg/m³)
AFINIDAD CON EL ASFALTO

GRADO DE COMPACTACION EN CARPETA %
CONT. ASFALTO EN MEZCLA 4.8
PERMEABILIDAD DE LA CARPETA

OBSERVACIONES :

EL LABORATORISTA	EL JEFE DEL LABORATORIO	EL JEFE DEL LABORATORIO REGIONAL

AJUSTE FINAL

Malla No.	PORCENTAJE QUE PASA									
	Tolva No. 3 3/4" a 3/8"		Tolva No. 2 3/8" a No.10		Tolva No. 1 Menor No. 10		Granulometría Combinada.	Granulometría de Trabajo	Proyecto.	Tolerancias Especificadas.
	Total	30%	Total	40%	Total	30%				
3/4"	100.0	19.0	100.0	40.0	100.0	32.0	100.0	100	100	± 5
1/2"	58.2	11.0	100.0	49.0	100.0	32.0	92.0	92	94	± 5
3/8"	10.1	1.9	100.0	49.0	100.0	32.0	82.9	83	85	± 5
1/4"	0.1	1.1	84.2	41.2	100.0	32.0	74.3	74	76	± 5
No. 4	2.0	0.4	68.5	33.6	100.0	32.0	66.0	66	68	± 4
No. 10	0.5	0.1	21.0	10.3	100.0	32.0	42.4	42	44	± 3
No. 20	0.4	0.1	16.0	8.0	77.5	24.8	32.9	33	35	± 3
No. 40	0.3	0.1	11.0	5.4	55.1	17.6	23,1	23	24	± 1
No. 60	0.2	-.-	8.6	4.2	42.9	13.9	217.9	18	19	± 1
No. 100	0.1	-.-	4.8	2.3	19.8	6.3	8.6	9	10	± 1
No. 200	0.0	-.-	3.2	1.6	9.1	2.9	4.5	5	6	± 1
Contenido de Cemento asfáltico									5.2	± 0.26 (± 0.05 CA)

SECRETARIA DE OBRAS PUBLICAS

DIRECCION GENERAL DE SERVICIOS TECNICOS

DEPARTAMENTO DE LABORATORIOS

REPORTE DE CONCRETO ASFALTICO

MATERIAL: MEZCLA 19%-49%-32%
EXPEDIENTE: A-5
ENSAYE NUM.: 2
MUESTRA NUM.: 4-5-6
FECHA RECIBO: 24 JULIO 73
ENVIADA POR:
FECHA INFORME: 25 JULIO 73
PROCEDENCIA: AJUSTE FINAL

PRUEBAS SOBRE MATERIAL PETREO

CLASIFICACION PETROGRAFICA:

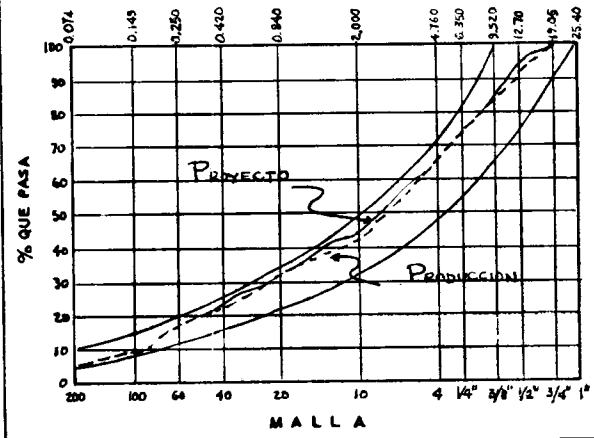
PESO VOL. SUELTO, Kg/m³:

QUE PASA MALLA, %

"	PRODUCCION	PROYECTO
3/4"	100	100
1/2"	92	94
3/8"	83	85
1/4"	74	76
No. 4	66	68
" 10	42	44
" 20	33	35
" 40	23	24
" 60	18	19
" 100	9	10
" 200	5	6

DENSIDAD:
ABSORCION, %:
DESGASTE, %:
PARTICULAS ALARGADAS, %:
PARTICULAS EN FORMA DE LAJA, %:
EQUIVALENTE DE ARENA:

GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA



CARACTERISTICAS DEL ASFALTO

TIPO:
TEMPERATURA RECOMENDABLE DE APLICACION:
PENETRACION:

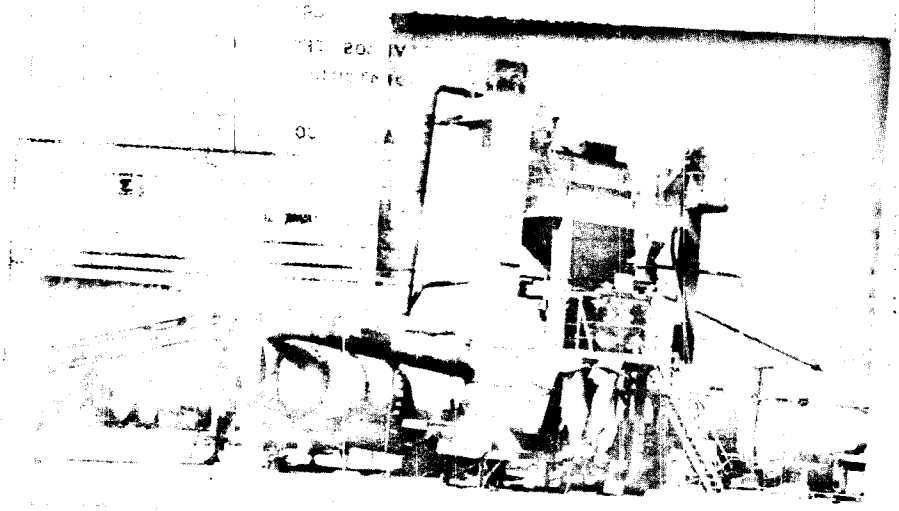
PRUEBAS EN LA MEZCLA ASFALTICA

CONT. OPT. DE ASFALTO (%): 5.2 %
PESO VOL. MAX. EN MEZCLA COMPACTA (Kg/m³):
AFINIDAD CON EL ASFALTO:

GRADO DE COMPACTACION EN CARPETA %:
CONT. ASFALTO EN MEZCLA: 5.0 %
PERMEABILIDAD DE LA CARPETA:

OBSERVACIONES:

EL LABORATORISTA	EL JEFE DEL LABORATORIO	EL JEFE DEL LABORATORIO REGIONAL



gados mayores. Este efecto aumenta cuando disminuye el tamaño del tamiz. Por esta razón no deben o no se emplean en una planta de elaboración de mezcla en caliente, tamices menores del Núm. 10.

En la tabla ejemplo puede observarse que el material, salvo en lo que se refiere al de los tamices 100 y 200, puede combinarse ajustándose muy estrechamente a la fórmula de dosificación en planta. Como regla general,

los análisis combinados de la tolvas en caliente, darán en - estos, porcentajes correspondientes a mezclas de agregados - más gruesos que los que se obtendrían de la granulometría de extracción. Esto se debe, a que es imposible separar los -- agregados de tamaños correspondientes a las mallas 100 y 200, que están adheridas a la piedra, esto en un análisis por vía seca y que sí se separan cuando el análisis se efectúa por - lavado, bien con agua, cuando el material aún no se mezcla - con el producto asfáltico o con algún disolvente cuando el - análisis se efectúa ya a la mezcla producida.

Ajuste de la Producción de la planta.

A diferencia del empleo de plantas de producción discontínua, el procedimiento de ajuste solo se altera, en función de que- se considera como una bacha, una vuelta del cuenta vueltas - incorporado a la planta. Se representa la curva que relacio na los Kg., por vuelta, con la abertura de la compuerta por - medio de datos obtenidos de una calibración de la planta, - - realizada según las instrucciones del fabricante. Se cita el siguiente ejemplo: Suponiendo que queremos poner la planta - a punto de producir 100 ton. p/h. empleando el análisis granu lométrico correspondiente al de la tabla ejemplo. El primer paso consiste en determinar la cantidad de asfalto por añadir en litros por minuto.

Ya que el contenido en este caso es 5.2%; 5.2/100 x 100 /60 x 1,000= 86.5 Kg/min., deduciendo que el producto asfáltico empleado tenga un

peso específico de 0.93 kg., a la temperatura de empleo, la - cantidad requerida sería para una producción de 100 tons. p/h. de mezcla = 86.5/0.93 o sea, 93 lts./min.

Dado que la velocidad de la bomba en este tipo de plantas se regula mediante engranajes intercambiables, se debe encontrar en la información del fabricante cual es la dosificación de - asfalto más aproximada a la calculada que podemos obtener con las combinaciones de los engranajes existentes. Suponiendo,- que encontramos que la dosificación es de 094 Lts/Min., colocaremos en la bomba los engranajes que combinados puedan dar este caudal.

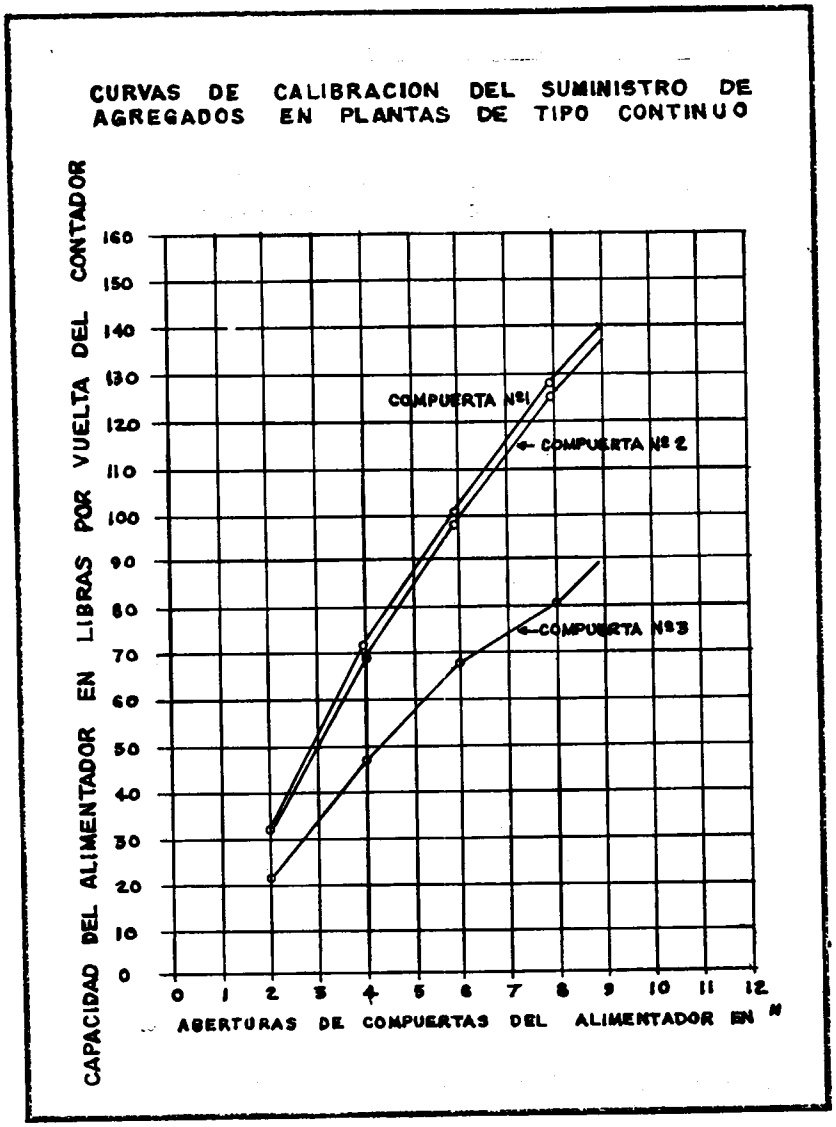
Lo anterior producirá una ligera alteración en el ritmo a que debe de producirse la mezcla. Convertimos los 94 lts. a Kg/- P Min. 94 x 0.93 = 87.5 Kg/Min. El peso total de áridos a -- emplear por minuto se obtendría así:

$$\frac{0.948}{0.052} \times 87.5 = 1{,}590 \text{ kg/min.}$$

De los datos del fabricante se deduce el número de vueltas por minuto del contador de revoluciones; suponiendo que este valor sea de 15.28, los Kg. de agregados requeridos por vuelta, se -- calculan así:

$$\frac{1{,}590}{15.28} = 104 \text{ kg/vuelta}$$

A continuación se calibra cada tolva de agregados en caliente obte-- niéndose una curva como las representadas en la gráfica y se procede a calcular la abertura necesaria en cada tolva según la Tabla siguiente:


CURVAS DE CALIBRACION DEL SUMINISTRO DE AGREGADOS EN PLANTAS DE TIPO CONTINUO
CAPACIDAD DEL ALIMENTADOR EN LIBRAS POR VUELTA DEL CONTADOR
160
150
140
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
COMPUERTA Nº1
COMPUERTA Nº 2
COMPUERTA Nº3
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
ABERTURAS DE COMPUERTAS DEL ALIMENTADOR EN "

Tolva	Kilogramos por vuelta	Abertura en cm.
3	0.19 x 104 = 20	3.4
2	0.49 x 104 = 51	6.2
1	0.32 x 104 = 33	3.5

Ya a partir de este punto pueden hacerse cambios diferenciales. Los cálculos se efectúan sobre los kg. de agregados por vuelta, y se modifican las aberturas de las tolvas por medio de la curva de la gráfica de calibración de suministro.

Es muy frecuente que al comenzar el funcionamiento normal de una planta, la granulometría de la mezcla tome un aspecto algo distinto del obtenido en las mezclas de prueba. Con el objeto de mantener el producto dentro de los lineamientos del diseño, es conveniente efectuar pequeños cambios en las aberturas de las tolvas. Estos cambios deben de llevarse a cabo con extremo cuidado y por pequeños incrementos; antes de cualquier modificación, se requiere la seguridad de que se hace en la dirección adecuada. No es correcto efectuar ningún cambio basándose en un único ensaye, conviene efectuar un mínimo de tres, a fín de estar seguro de que la variación no está basada en una muestra no representativa.

Por lo anterior, es muy importante que la toma de muestras sea en extremo cuidadosa, en especial en mezclas con agregados con tamaños máximos de 3/4" ó más, ya que unas piedras suplementarias del tamaño mayor pueden hacer que el resultado del ensaye caiga fuera de los límites de la fórmula de dosificación en planta por exceso de gruesos, o inversamente

la falta de unas de estas piedras pueden hacer que el ensaye indique que los agregados se salen de la fórmula de dosificación en planta por defecto de agregados gruesos.

Es muy común no obtener resultados satisfactorios en la prueba inicial, por ello después de haber empezado la producción normal, es frecuente que una de las tolvas de agregados fríos empiece a rebozar, mientras que es necesario esperar para que una ó más de las otras, se llenen. Para corregir lo anterior, deben hacerse gradualmente pequeños cambios en las tolvas en frío hasta obtener un funcionamiento adecuado de la planta.

La naturaleza de variación de resultados, puede deducirse de la naturaleza del exceso o deficiencia en la capacidad de las tolvas, por ejemplo: si la tolva de agregados que pasan por la malla No. 10, reboza, mientras que es necesario esperar a que se llene la tolva de agregados de 3/8", disminuiremos ligeramente la abertura de la tolva C de agregados fríos, aumentando proporcionalmente la abertura de la tolva A.

Como otro ejemplo, podría citarse el siguiente:
Suponiendo que la tolva de agregados gruesos reboza, pero que las otras dos funcionan correctamente, En este caso se está suministrando en conjunto un exceso de material, de manera que será necesario reducir ligeramente la dosificación de la tolva A de agregados fríos y no será necesa-

rio modificar la de las otras. Cuando deba de aumentarse o disminuirse la alimentación en conjunto por exigencias del funcionamiento, se modifica la abertura inicial de cada tolva en la misma proporción hasta que se obtiene el volumen total necesario. No es recomendable hacer dos correcciones a la vez; por ejemplo: Si se sabe que la alimentación total es escasa y que la dosificación de agregados en una tolva es ligeramente excesiva, es preferible corregir primero el volumen total y hacer después una nueva corrección en las proporciones de agregados de las diversas tolvas.

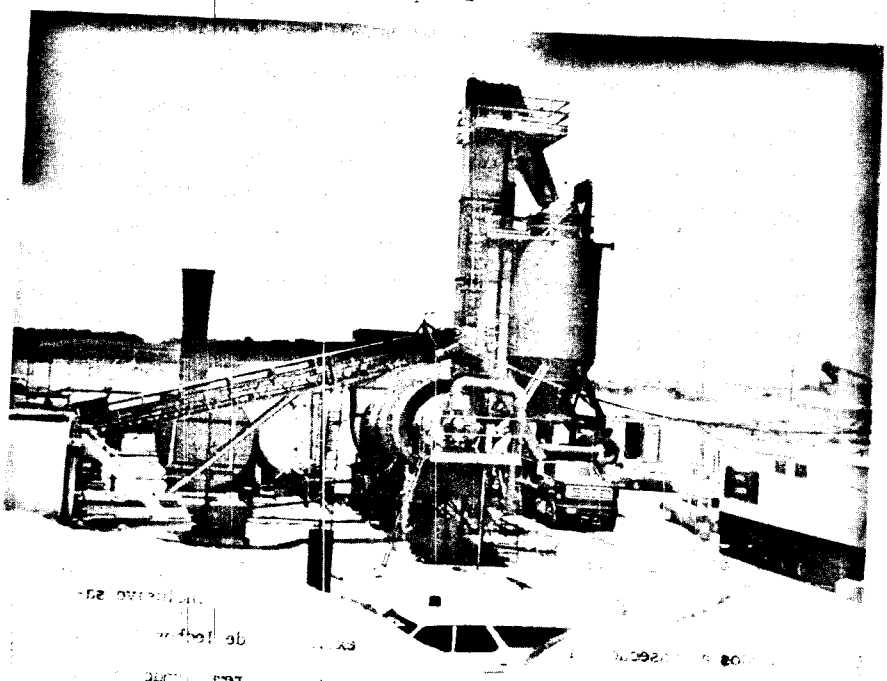
Es relativamente frecuente no poder producir una mezcla en planta con los materiales de alimentación en frío que se usan, especialmente cuando las tolerancias son relativamente estrechas, como en nuestro ejemplo. En tal caso deben tomarse muestras de los almacenamientos, determinar su granulometría y obtener una nueva fórmula de dosificación en planta, si esta fórmula produce una granulometría que cumple con las especificaciones generales y tiene características satisfactorias, no hay motivo para cambiar la fórmula de dosificación de modo que el productor pueda mantenerse dentro de los límites de aquella con los agregados de que dispone. Es común que incidentes como el que acabamos de indicar procedan de un mal muestreo de los agregados en frío.

Es indiscutible la importancia del estricto control de la alimentación en frío de cada tipo de agregados, la alimentación de estos al secador, de-

be regularse de tal manera que el caudal de cada tipo de ellas sea uniforme y lo más próxima posible a la cantidad exacta necesaria para mantener las tolvas de agregados calientes bien llenas, pero sin rebozar, La irregularidad del caudal de cualquiera de los materiales fríos es perjudicial de dos maneras distintas para el buen funcionamiento de la planta. Si se sobrecargan las mallas de uno de los tamaños, disminuye el rendimiento del cribado y se produce generalmente un exceso de arrastre de unos agregados por otros.

El exceso o defecto de uno de los materiales fríos puede dar lugar a que una de las tolvas de agregados en caliente, reboce o se vacíe. una tolva rebozante significa pérdida de calor y vacía, disminuye la capacidad de la planta. En ambos casos, los gastos de funcionamiento de la planta aumentan.

En el caso relativamente frecuente de agregados húmedos o inclusive saturados a consecuencia de lluvias o por su extracción de lechos de río, puede eliminarse gran parte de la humedad superficial removiendo las capas superiores y empleando la parte que se ha ventilado en mayor proporción. En el caso de usar contínuamente agregados mojados, uno de los mejores métodos para asegurarse del empleo de material estrictamente seco, es utilizar dos secadores en serie. De esta forma puede lograrse el máximo de rendimiento de la planta, sin duda alguna sobre el perfecto secado de los agregados.



Ejemplo de Ajuste de la producción de planta contínua.

Datos:

Producción requerida 100 Ton. por hora

Porcentaje de cemento asfáltico con respecto al peso de la mezcla.

CA = 5.2%

Peso específico del cemento asfáltico = 0.93 Kg/lt.

(a la temperatura de empleo)

De la calibración de las tolvas se tienen los siguientes porcentajes:

Tolva No. 3	19%
Tolva No. 2	49%
Tolva No. 1	32%

Solución:

1o.- Se determina la cantidad de asfalto necesaria por minuto.

Producción de mezcla : 100 Ton/hora = $100 \frac{\text{Ton.}}{\text{hora}} \times \frac{(1{,}000\text{Kg})\ \text{hora}}{60\ \text{min.}}$

P. mezcla = 1666 Kg/min.

% de cemento asfáltico = 5.2% = 0.052 (expresado en forma decimal).

Cantidad de cemento asfáltico = 1666 x 0.052

C. de cemento asfáltico = 86.6 Kg/min.

Haciendo la transformación a Lts/min.

$86.6\ \text{Kg/min.} = 86.6 \frac{\text{Kg.}}{\text{min.}} \times \frac{1\ \text{Lt.}}{0.93\ \text{Kg.}}$

C. de C Asfáltico = 93 lts./min.

2.- Selección de la combinación de engranajes.

Dado que el gasto de la bomba para asfalto, en este tipo de plantas, se regula mediante engranajes intercambiables, se debe encontrar en la información que proporciona el fabricante, (catálogo o manual de operación de la planta), cual es la combinación de engranajes de la que se pueda obtener la cantidad de asfalto que más se aproxime a la requerida.

De los datos de fabricante, se pueden obtener las siguientes cantidades de asfalto por minuto.

90 Lts./min. para combinación de engranajes A

94 Lts./min. para combinación de engranajes B

98 Lts./min. para combinación de engranajes C

Para este caso escogeremos la combinación de engranajes "B" que nos dá 94 Lts./min.

Lo anterior producirá una ligera alteración en la dosificación calculada, ya que solo necesitamos 93 Lts./min. por lo que es indispensable hacer una corrección a los cálculos originales.

3.- Corrección.

a).- Convertimos 94 Lts/min. a Kg/min.

$$\frac{94\ \text{Lts.}}{\text{min.}} = \frac{94\ \text{Lts.}}{\text{min.}} \times \frac{0.93\ \text{Kg.}}{\text{Lt.}}$$

$$94\ \frac{\text{Lts.}}{\text{min.}} = 87.5\ \frac{\text{Kg.}}{\text{min.}}$$

b).- Calculamos la cantidad de material pétreo por minuto que será necesario para conservar el mismo porcentaje de cemento asfáltico en la mezcla. Para 1666 Kg/min., (100 ton./hora) de mezcla y 5.2% de cemento asfáltico, necesitamos 86.6 Kg/min. de cemento asfáltico. Qué cantidad de mezcla necesitamos producir para tener 5.2% de cemento asfáltico y 87.5 Kg/min. de cemento asfáltico.

$$\frac{X \text{ Kg/min. de mezcla}}{100\% \text{ de mezcla}} = \frac{87.5 \text{ Kg/min. de C. Asf.}}{5.2\% \text{ de C. Asf.}}$$

$$X \text{ Kg/min. de mezcla} = \frac{87.5 \text{ Kg/min.}}{5.2\%} \times 100\%$$

Mezcla = 1682 Kg/min.

100% de mezcla - 5.2% de C. Asf. = 94.8% de material pétreo.

Mat. pétreo = 1682 Kg/min. x 94.8%

Mat. pétreo = 1682 x 0.948 Kg/min.

Mat. pétreo = 1594.5 Kg/min.

Resultado;

Cemento asfáltico = 5.2% del peso total de la mezcla 87.5Kg/min.

Mat. pétreo = 94.8% del peso total de la mezcla 1594.5 Kg/min.

Mezcla 1682 Kg/min.

$$\text{Mezcla} = 1682 \frac{\text{Kg.}}{\text{min.}} \times \frac{60 \text{ min.}}{1 \text{ hora}} \times \frac{1 \text{ ton.}}{1000 \text{ Kg.}}$$

Mezcla = 101 ton/hora. Comprobación de la producción.

La producción práctica resultó un poco mayor que la requerida originalmente de 100 ton/hora.

4.- Determinación de las cantidades en Kg/min, que es necesario dosificar de cada tolva, para producir la cantidad de mezcla calculada.

De los datos que proporciona el fabricante se puede obtener el número de vueltas del alimentador de áridos calientes (vuelta/minuto); si en este caso dicho valor es de 15.28, los kilogramos de material pétreo por vuelta se calcula así:

Mat. Pétreo = 1594.5 Kg/min.

Por cada vuelta = $1594.5 \frac{Kg.}{min.} \times \frac{1\ min.}{15.28\ vueltas}$

Por cada vuelta = $104 \frac{Kg.}{vuelta}$

A continuación se calibra cada tolva de material pétreo caliente, por separado, haciendo variar la abertura de la compuerta y midiendo la cantidad de material que se obtiene en Kg/vuelta, para cada abertura en cm. La calibración de las tolvas de material caliente, se puede representar gráficamente (ver ejemplo de gráfica) a escala aritmética, teniendo en el eje horizontal la abertura de la compuerta en cm. (o pulgadas) y en el eje vertical la cantidad en Kg/vuelta (o lbs./vuelta) que sale de dicha compuerta.

En este ejemplo la gráfica de calibración tiene como unidades libras por vuelta y pulgadas.

Para poder utilizar esta gráfica, hacemos la transformación de Kg/vuelta a libras/vuelta.

$104\ Kg/vuelta = 104 \frac{Kg.}{vuelta} \times \frac{1\ libra}{0.454\ Kg.} = 104\ Kg/vuelta = 229\ libras/vuelta$

Los porcentajes de material de cada tolva son los siguientes:

Tolva No.	Porcentaje	Libras/Vuelta
1	32%	0.32 x 229 = 73.3
2	49%	0.49 x 229 = 112.2
3	19%	0.19 x 229 = 43.5
		229.0 Lbs/vuelta.

La abertura de cada tolva se obtendrá de la gráfica de calibración.

Tolva No.	Lbs/Vuelta	Abertura en pulgadas
1	73.3	4.0
2	112.2	7.0
3	43.5	3.8

Ya a partir de este punto pueden hacerse cambios diferenciales, los cálculos se efectúan sobre los Kg. de agregados por vuelta, y se modifican las aberturas de las tolvas por medio de la curva de la gráfica de calibración de suministro.

Es muy frecuente que al comenzar el funcionamiento normal de una planta, la granulometría de la mezcla tome un aspecto algo distinto del obtenido en las mezclas de prueba. Con el objeto de mantener el producto dentro de los lineamientos del diseño, es conveniente efectuar pequeños cambios en las aberturas de las tolvas. Estos cambios deben de llevarse a cabo con extremo cuidado y por pequeños incrementos; antes de cualquier modificación, se requiere la seguridad de que se hace en la dirección adecuada. No es correcto efectuar ningún cambio basándose en un único ensaye, conviene efec

tuar un mínimo de tres, a fin de estar seguro de que la variación no está basada en una muestra no representativa.

Por lo anterior, es muy importante que la toma de muestras sea en extremo cuidadosa, en especial en mezclas con agregados con tamaños máximos de 3/4" ó más, ya que unas piedras suplementarias del tamaño mayor, pueden hacer que el resultado del ensaye caiga fuera de los límites de la fórmula de dosificación en planta por exceso de gruesos, o inversamente, la falta de unas de estas piedras puede hacer que el ensaye indique que los agregados se salen de la fórmula de dosificación en planta por defecto de agregados gruesos.

Es muy común no obtener resultados satisfactorios en la prueba inicial, por ello después de haber empezado la producción normal, es frecuente que una de las tolvas de agregados fríos empiece a rebozar, mientras que es necesario esperar para que una ó más de las otras se llenen. Para corregir lo anterior, deben hacerse gradualmente pequeños cambios en las tolvas en frío, hasta obtener un funcionamiento adecuado de la planta.

La naturaleza de variación de resultados, puede deducirse de la naturaleza del exceso o deficiencia en la capacidad de las tolvas, por ejemplo:
Si la tolva de agregados que pasan por la malla No. 10, reboza, mientras que es necesario esperar a que se llene la tolva de agregados de 3/8", disminuiremos ligeramente la abertura de la tolva C de agregados fríos, aumentando proporcionalmente la abertura de la tolva A.

Como otro ejemplo, podría citarse el siguiente.

Suponiendo que la tolva de agregados gruesos reboza, pero que las otras dos funcionan correctamente, en este caso se está suministrando en conjunto un exceso de material, de manera que será necesario reducir ligeramente la dosificación de la tolva A de agregados fríos y no será necesario modificar la de las otras. Cuando deba de aumentarse o disminuirse la alimentación en conjunto por exigencias delfuncionamiento, se modifica la abertura inicial de cada tolva en la misma proporción hasta que se obtiene el volúmen total necesario. No es recomendable hacer dos correcciones a la vez; por ejemplo: Si se sabe que la alimentación total es escasa y que la dosificación de agregados en una tolva es ligeramente excesiva, es preferible corregir primero el volúmen total y hacer después una nueva corrección en las proporciones de agregados de las diversas tolvas.

Es relativamente frecuente no poder producir una mezcla en planta con los materiales de alimentación en frío que se usan, especialmente cuando las tolerancias son relativamente estrechas, como en nuestro ejemplo. En tal caso deben tomarse muestras de los almacenamientos, determinar su granulometría y obtener una nueva fórmula de dosificar en planta, si esta fórmula produce una granulometría que cumple con las especificaciones generales y tiene características satisfactorias, no hay motivo para cambiar la fórmula de dosificación de modo que el productor pueda mantenerse dentro de los límites de aquella con los agregados de que dispone. Es común que incidentes como el que acabamos de indicar, procedan de un mal muestreo de los agregados en frío.

Es indiscutible la importancia del estricto control de la alimentación en frío de cada tipo de agregados, la alimentación de estos al secador, debe regularse de tal manera que el caudal de cada tipo de ellas sea uniforme y lo más próxima posible a la cantidad exacta necesaria para mantener las tolvas de agregados calientes bien llenas, pero sin rebozar La irregularidad del caudal de cualquiera de los materiales fríos, es perjudicial de dos maneras distintas para el buen funcionamiento de la planta. Si se sobrecargan las mallas de uno de los tamaños, disminuye el rendimiento del cribado y se produce generalmente un exceso de arrastre de unos agregados por otros.

El exceso o defecto de uno de los materiales fríos puede dar lugar a que una de las tolvas de agregados en caliente, reboze o se vacíe, una tolva rebozante significa pérdida de calor y vacía, disminuye la capacidad de la planta. En ambos casos, los gastos de funcionamiento de la planta aumentan.

En el caso relativamente frecuente de agregados húmedos o inclusive saturados a consecuencia de lluvias o por su extracción de lechos de ríos, puede eliminarse gran parte de la humedad superficial removiendo las capas superiores y empleando la parte que se ha ventilado en mayor proporción. En el caso de usar contínuamente agregados mojados, uno de los mejores métodos para asegurarse delempleo de material estrictamente seco, es utilizar dos secadores en serie, De esta forma puede lograrse el máximo de rendimiento de la planta, sin duda alguna sobre el perfecto secado de los agregados.

PROBLEMA:

1.- Determinar los desperdicios que se tendrán al usar una curva granulo métrica de proyecto y conocida la del material original.. Dibujar las curvas con los datos anexos.

2.- Hacer el ajuste o calibración teórica de una planta de producción discontínua, con los siguientes datos:

Tolva No.	Material que pasa malla	Material retenido en malla.
1	1/4"	
2	1/2"	1/4"
3	3/4"	1/2"

Supondremos que la granulometría de proyecto exige los siguientes porcentajes:

Material	% de Proyecto
1	68
2	17
3	15

Al efectuarse la granulometría en cada tolva, se obtuvo la siguiente contaminación:

Material	Tolvas No. 1	2	3
1	100%	13%	
2		87%	8%
3			92%

a.- Calcular los porcentajes que será necesario extraer de cada tolva, de manera que se aproveche al máximo el material que se encuentre en cada tolva.

b.- Calcular los desperdicios que habría de cada material si la capacidad de las tolvas para cada una de estas, es la misma.

TRABAJO COMPLEMENTARIO.

I. - CONOCIDAS LAS GRANULOMETRIAS DE TRES MATERIALES, QUE SEGUN ESTUDIOS PREVIOS, REUNEN CARACTERISTICAS ACEPTABLES PARA SU EMPLEO EN LA ELABORACION DE CONCRETO ASFALTICO, DETERMINE LAS PROPORCIONES EN QUE SE DEBERAN USAR PARA OBTENER LA CURVA GRANULOMETRICA DE PROYECTO.

MALLA No.	PORCENTAJE QUE PASA. MAT. "A"	MAT. "B"	MAT. "C"	PROYECTO
3/4	100	100		100
1/2	72	96		88
3/8	50	91		75
1/4	32	80		60
No. 4	23	66		51
No. 10	11	42	100	35
No. 20	6	26	99	24
No. 40	4	20	77	18
No. 60	3	16	22	10
No.100	2	11	4	7
No.200	1	7	2	5

II.- Describa los pasos que serían necesarios dar para calibrar una planta de producción continua, semejante a la del ejemplo, de tal manera que se puedan producir 140 Ton./Hr. siendo el contenido óptimo de asfalto 5.5 %.

III.- Si en este mismo caso, la planta cuenta con tres tolvas de igual capacidad para agregados en frio y la proporción resultante de agregados, requiere cantidades muy diferentes entre sí, de cada uno de los materiales, que solución propondría usted para obtener la mayor eficiencia de la planta?

B I B L I O G R A F I A

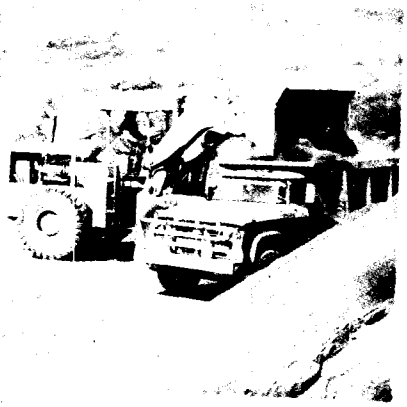
ESPECIFICACIONES GENERALES DE CONSTRUCCION S.O.P.
PARTES IV, VIII Y IX.

PAVIMENTOS ASFALTICOS
MARTIN Y WALLACE
EDITORIAL AGUILAR

ELABORACION DEL CONCRETO ASFALTICO (APUNTES).
ING. ALFONSO GRACIA SAENZ RICO.

EL CONCRETO ASFALTICO (APUNTES).
DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCION DE LA DIVISION
DE CAMINOS DEL ESTADO DE CALIFORNIA, E.U. DE N.A.

MANUAL DEL ASFALTO.
THE ASPHALT INSTITUTE
COLLEGE PARK
MARYLAND, U.S.A.



SELECCION DE EQUIPO DE CONSTRUCCION

DESARROLLO DE UN PROBLEMA

ING. FERNANDO FAVELA LOZOYA

El problema ha sido simplificado para facilitar su uso didáctico.

EL GERENTE DE UNA EMPRESA PIDE AL SUPERINTENDENTE QUE ANALICE EL EQUIPO MAS CONVENIENTE PARA REALIZAR UN MOVIMIENTO DE-- TIERRAS.

SE TRATA DE MOVER 800,000 M^3, DE UN BANCO DE PRESTAMO A UN TIRADERO.

LA EMPRESA CUENTA CON 6 MOTOESCREPAS TEREX TS-14 Y 2 CARGADORES MICHIGAN DE 3 1/2 YD^3, LOS DOS TIPOS DE MAQUINAS EN PER-- FECTAS CONDICIONES.

EL GERENTE INDICA AL SUPERINTENDENTE QUE LA EMPRESA NO ESTA EN POSIBILIDADES DE ADQUIRIR MAS ACTIVO FIJO.

LA LONGITUD DE ACARREO ES DE 370 METROS.

CALCULO DEL COSTO POR M^3 DE ACARREO EN MOTOESCREPA TEREX TS - 14

DATOS :

MATERIAL	LIMO ARENOSO SECO
PESO VOLUMETRICO EN BANCO	1600 KG/M^3
ALTITUD S.N.M.	2000 M
LONGITUD DE ACARREO	370 M (4% PENDIENTE FAVORABLE)
CALIDAD DEL CAMINO	REVESTIDO
COEFICIENTE DE ABUNDAMIENTO	1.25 O SU RECIPROCO 0.8
CAPACIDAD DE LA MOTOESCREPA COLMADA	15 M^3
PESO DE LA MAQUINA VACIA	24.1 TON
PESO DE LA MAQUINA CARGADA	24.1 + 1.6 x 0.8 x 15 = 43.3 TON
COSTO DIRECTO HORA MAQUINA	$ 1,330.65

(VER LA SIGUIENTE HOJA)

MOTOESCREPAS DE TIRO Y EMPUJE

CONSTRUCTORA X	Máquina: Motoescrepa	Hoja No: 1/2
	Modelo: Terex TS-14	Calculó: DMS
OBRA: Movimiento de Tierras	Datos Adic:	Revisó : F.F.L.
		Fecha : Mayo 1979

DATOS GENERALES

Precio adquisición: $ 5'195,830.00
Equipo adicional - Llantas 355,000.00
Valor inicial (Va): 4'840,830.00
Valor rescate (Vr): 10 % =$ 519,583.00
Tasa interés (i) : 18 %
Prima seguros (s): 2 %

Fecha cotización: Mayo/79
Vida económica (Ve): 5 años
Horas por año (Ha): 2000 hr/año
Motores Diesel de 160 HP.
Factor operación: 0.70
Potencia operación: 2 x 0.70x160 HP. op.
Coeficiente almacenaje (K): 0.10
Factor mantenimiento (Q): 0.75

I. CARGOS FIJOS.

a) Depreciación: $D = \frac{Va - Vr}{Ve} = \frac{4840830 - 519583}{10\ 000} = \$\ 432.12$

b) Inversión : $I = \frac{Va + Vr}{2\,Ha} i = \frac{4840830 + 519583}{2 \times 2000} \times 0.18 = 241.22$

c) Seguros : $S = \frac{Va + Vr}{2\,Ha} s = \frac{4840830 + 519583}{2 \times 2000} \times 0.02 = 26.80$

d) Almacenaje : $A = KD = 0.10 \times 432.12 = 43.21$

e) Mantenimiento : $M = QD = 0.75 \times 432.12 = 324.09$

Suma Cargos Fijos por Hora $ 1,067.44

Hoja No. 2/2

II. CONSUMOS.

a) Combustible : E = e Pc
Diesel : E = 0.20 x 224 HP. op. x $ 1.00 /lt. =$ 44.80
Gasolina: E = 0.24 x _____ HP. op. x $ _____ /lt. =

b) Otras fuentes de energía : _____ =

c) Lubricantes: L = a Pe
Capacidad carter: C = 2 x 16 litros
Cambios aceite : t = 100 horas

$$a = C/t + \begin{cases} 0.0035 \\ 0.0030 \end{cases} \times 224 \text{ HP. op.} = 1.1 \text{ lt/hr.}$$

L = 1.1 lt/hr x $ 11.50 /lt. = 12.65

d) Llantas: $Ll = \frac{Vll}{Hv}$ (valor llantas) / (vida económica)

Vida económica: Hv = 2 500 horas

$$Ll = \frac{355\ 000}{2\ 500 \text{ horas}} = 142.00$$

Suma Consumos por Hora $ 199.45

III. OPERACION.

Salario base : $ 240.00
Salario real - operador : 382.55
_____ : _____
_____ : _____
Sal/turno-prom: $ 382.55
Horas/turno-prom.: (H)

H = 8 horas x 0.75 (factor rendimiento) = 6.00 horas

$$\text{Operación} = O = \frac{S}{H} = \frac{\$\ 382.55}{6.00 \text{ horas}} = \$\ 63.76$$

Suma Operación por Hora $ 63.76

COSTO DIRECTO HORA - MAQUINA (HMD) $ 1,330.65

S O L U C I O N

A. RESISTENCIA AL RODAMIENTO : 15 kg/por cada tonelada de máquina por cada 2.5 cm de penetración.

Penetración en camino revestido: 5 cm

$$15 \times \frac{5}{2.5} = 30 \text{ kg/ton M}$$

Sumando 20 kg/ton M por deformación de llantas, fricciones internas, -- etc., tendremos :

RESISTENCIA AL RODAMIENTO = 30 + 20 = 50 kg/ton M

B. RESISTENCIA POR PENDIENTE: 10 kg/ton M por cada 1%

Para el tramo en estudio :

4% x 10 = 40 kg/ton M

C. RESISTENCIA TOTAL DE IDA = 50 - 40 = 10 kg/ton M

D. RESISTENCIA TOTAL DE REGRESO = 50 + 40 = 90 kg/ton M

E. RESISTENCIA TOTAL DE LA MAQUINA

a) Máquina cargada = 10 x 43.3 = 0.4 ton

b) Máquina vacía = 90 x 24.1 = 2.2 ton

F. CORRECION POR ALTITUD: $\frac{500 \text{ m} \times 1\% \text{ por cada } 100\text{m}}{100} = 5\%$

por tanto, habrá que multiplicar las resistencias totales por 1.05

a) Máquina cargada = 0.4 x 1.05 = 0.4 ton

b) Máquina vacía = 2.2 x 1.05 = 2.3 ton

Con estos datos, se entra a la gráfica proporcionada por el fabricante, la cual se anexa al final del problema.

G. VELOCIDADES:

a) Máquina cargada = 37 km/h (6a. velocidad)

b) Máquina vacía = 26 km/h (5a. velocidad)

H. VELOCIDADES MEDIAS: 0.65 x VELOCIDAD

a) Máquina cargada = 25 km/h

b) Máquina vacía = 17 km/h

I. TIEMPOS :

a) Máquina cargada = 0.9 min

b) Máquina vacía = 1.3

Tiempo fijo = 1.3

Total = 3.5 min

J. COSTO DEL METRO CUBICO DE MATERIAL MOVIDO, EN BANCO :

Tiempo total = 3.5 min

Número de viajes por hora = $\frac{60}{3.5}$ = 17.1

Capacidad de la motoescrepa en banco = 15 x 0.8 = 12 m^3

Producción = 17.1 x 12 = 205.2 m^3/h

$$\text{Costo por } m^3 = \frac{\text{Costo horario}}{\text{Producción real}} = \frac{1330.65}{205.2 \times 0.75} = \underline{\underline{8.65}}$$

CALCULO DEL COSTO POR M^3 DE ACARREO USANDO CARGADOR FRONTAL MICHIGAN MODELO 8-111-A Y CAMIONES

DATOS :

MATERIAL	LIMO ARENOSO SECO
PESO VOLUMETRICO	1600 KG/M^3
ALTITUD S.N.M.	2000 M
LONGITUD DE ACARREO	370 M
CAMION ALQUILADO A	\$ 4.50 + 3.00/M^3 ABUND.
COEFICIENTE DE ABUNDAMIENTO	1.25 O SU RECIPROCO 0.8
CAPACIDAD DEL CUCHARON	3.5 YD^3
COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA	\$ 851.66

(DESARROLLADO EN LA HOJA SIGUIENTE)

CONSTRUCTORA X	Máquina: Cargador Frontal	Hoja No: 1/2
	Modelo: Michigan	Calculó: EMS
OBRA: Movimiento de Tierras	Datos Adic: 3.5 yd^3	Revisó: F.F.L.
		Fecha: Mayo 1979

DATOS GENERALES

Precio adquisición: $ 2'757,976.00
Equipo adicional - Llantas 163,143.00
Valor inicial (Va): 2'594,833.00
Valor rescate (Vr): 10% = $ 275,797.60
Tasa interés (i): 18%
Prima seguros (s): 2%

Fecha cotización: Mayo/79
Vida económica (Ve): 5 años
Horas por año (Ha): 2000 hr/año
Motores Diesel de 290 HP.
Factor operación: 0.70
Potencia operación: 203 HP. op.
Coeficiente almacenaje (K): 0.10
Factor mantenimiento (Q): 1.00

I. CARGOS FIJOS.

a) Depreciación: $D = \frac{Va - Vr}{Ve} = \frac{2594833 - 275798}{10\ 000} = \$\ 231.90$

b) Inversión: $I = \frac{Va + Vr}{2\,Ha} i = \frac{2594833 + 275798}{2 \times 2000} \times 0.18 = 129.18$

c) Seguros: $S = \frac{Va + Vr}{2\,Ha} s = \frac{2594833 + 275798}{2 \times 2000} \times 0.02 = 14.35$

d) Almacenaje: $A = KD = 0.10 \times 231.90 = 23.19$

e) Mantenimiento: $M = QD = 1.00 \times 231.90 = 231.90$

Suma Cargos Fijos por Hora $ 630.52

II. CONSUMOS. Hoja No. 2/2

a) Combustible : E = e Pc
Diesel : E = 0.20 × 203 HP. op. × $ 1.00/lt. =$ 40.60
Gasolina: E = 0.24 × ____ HP. op. × $ ____ /lt. =

b) Otras fuentes de energía : _____ =

c) Lubricantes: L = a Pe
Capacidad carter: C = 30 litros
Cambios aceite : t = 100 horas

a = C/t + {0.0035 / 0.0030} × 203 HP. op. = 1.0 lt/hr.

L = 1.0 lt/hr × $ 11.50 /lt. = 11.50

d) Llantas: Ll = VII (valor llantas) / Hv (vida económica)
Vida económica: Hv = 1500 horas
Ll = 163 143 / 1 500 horas = 108.76

Suma Consumos por Hora $ 160.86

III. OPERACION .

Salario base : $ 225.00
Salario real - operador : 361.65
_____ : _____
_____ : _____
Sal/turno-prom: $ 361.65
Horas/turno-prom.: (H)
H = 8 horas × 0.75 (factor rendimiento) = 6.00 horas

Operación = O = S/H = $ 361.65 / 6.00 horas =$ 60.28

Suma Operación por Hora $ 60.28

COSTO DIRECTO HORA - MAQUINA (HMD) $ 851.66

S O L U C I O N

CAPACIDAD DEL CUCHARON = 3.5 x 0.76 = 2.7 M^3

FACTOR DE CARGA = 1.0

VOLUMEN POR CICLO = 2.7 M^3 x 0.8 = 2.1 M^3/CICLO

TIEMPO DEL CICLO (CICLO BASICO) 35.0 SEG = 0.58 MIN

$$\frac{35 \text{ SEG}}{60 \text{ SEG}} = 0.58 \text{ MIN}$$

$$\text{CICLOS/HORA} = \frac{60 \text{ MIN/HORA}}{0.58 \text{ MIN/CICLO}} = 103 \text{ CICLOS/HORA}$$

PRODUCCION = 2.1 M^3/ CICLO x 103 CICLOS/HORA

= 216 M^3/H

$$\frac{851.66}{216 \times 0.75} = 5.26$$

COSTO ACARREO

$$\frac{4.50}{0.8} = 5.63$$

COSTO TOTAL

CARGA —— 5.26

ACARREO— 5.63

10.89

QUINCE DIAS DESPUES, EL SUPERINTENDENTE LLEGA CON EL GERENTE A PLANTEARLE LA SOLUCION Y SE ENCUENTRA CON QUE EL GERENTE - LE ENVIA LOS CARGADORES, A PESAR DE LA DEMOSTRACION DE LA -- BONDAD DEL USO DE LAS MOTOESCREPAS Y EL FUERTE AHORRO EN DINERO. A INSISTENCIA DEL SUPERINTENDENTE CONFIESA QUE SE -- COMPROMETIO A RENTAR LAS MOTOESCREPAS PUESTO QUE LE SIGNIFICAN UNA GANANCIA INTERESANTE.

EL SUPERINTENDENTE QUE CREE EN AL TOMA DE DECISIONES CUANTITATIVA OBTIENE DEL GERENTE LOS SIGUIENTES DATOS:

GANANCIA NETA DE MOTOESCREPA/MES = 20,000

TIEMPO DE EJECUCION: 2 x 6 x 2 x 25 x 1 62 = 97,200 M^3/MES

$$\frac{800\ 000}{97,\ 200} = 8.2 \text{ MESES}$$

GANANCIA TOTAL = 8.2 x 6 x 20,000= 984,000

GANANCIA / M^3 $= \frac{984,000}{800,000} = 1.23$

RESTANDO AL COSTO DE CARGADOR + CAMIONES 1.23 TENDREMOS COMO COSTO NETO, TOMANDO EN CONSIDERACION LA UTILIDAD DE LA RENTA:

10.89 - 1.23 = 9.66

LAS TRES ALTERNATIVAS SERIAN ASI :

MOTOESCREPAS	8.65
CARGADOR Y CAMIONES ALQUILADOS	10.89
CARGADOR Y CAMIONES ALQUILADOS RENTANDO MOTOESCREPAS	9.66

EL INGENIERO VA CON EL GERENTE A DEMOSTRARLE QUE SU DECISION ES MALA. SIN EMBARGO EL GERENTE LE DICE QUE DESCONFIA DE SU CALCULO DE DURA -- CION DE LA OBRA, PUES NO HA CONSIDERADO TIEMPOS DE DESCOMPOSTURA.

EL SUPERINTENDENTE ANALIZA CON DIFERENTES FACTORES SU TIEMPO DE EJE-- CUCION.

No. DE HORAS TRABAJADAS	FACTOR EFICIENCIA	COSTO REAL	TIEMPO DE EJECUCION (MESES)
300	0.75	9.66	8.2
* 280	0.75	9.57	8.8
260	0.75	9.47	9.5
240	0.75	9.34	10.3
220	0.75	9.21	11.2
200	0.75	9.04	12.3
180	0.75	8.83	13.7
160	0.75	8.58	15.4

* Ejemplo de cálculo :

2 x 280 x 162 =90,720

$$\frac{800\ 000}{90\ 720} = 8.8 \text{ MESES}$$

$$8.8 \times 6 \times 20\ 000 = 1'056,000$$

$$\frac{1\ 056\ 000}{800\ 000} = 1.32$$

$$10.89 - 1.32 = 9.57$$

ESTO ES UN EJEMPLO DE ANALISIS DE SENSIBILIDAD.

PARA QUE CONVENGA EL ALQUILER NECESITA TARDARSE 15.4 MESES O SEA 7 MESES MAS U 88% MAS DEL TIEMPO PLANEADO.

EL GERENTE DUDA PERO CASI CON SEGURIDAD SE INCLINARA POR SU DECISION ORIGINAL.

AL SUPERINTENDENTE SE LE OCURRE QUE YA QUE ESTA OBLI - GADO A OCUPAR CAMIONES ¿QUE SUCEDE SI COMPRA LA EMPRE- SA LOS CAMIONES?

HACE EL SIGUIENTE ANALISIS.

CALCULO CON CAMIONES DE LA EMPRESA

DATOS :

MATERIAL	LIMO ARENOSO
PESO VOLUMETRICO	1600 KG/M3
ALTITUD S.N.M.	2000 M
LONGITUD DE ACARREO	370 M (4% PENDIENTE FAVORABLE)
CALIDAD DEL CAMINO	REVESTIDO
COEFICIENTE DE ABUNDAMIENTO	1.25 O SU RECIPROCO 0.8
CAPACIDAD DEL CAMION	6 M3
COSTO DIRECTO HORA-CAMION	187.84
VELOCIDAD PROMEDIO DE IDA	15 KM/H
VELOCIDAD PROMEDIO DE REGRESO	30 KM/H

TIEMPO DEL CICLO

DE IDA : $t = \frac{370 \times 60}{15000} = 1.5$ MIN

DE REGRESO : $t = \frac{370 \times 60}{30000} = 0.74$MIN

TOTAL = 2.24MIN

CONSTRUCTORA X	Máquina: Camión Volteo	Hoja No: 1/2
	Modelo:	Calculó: FMS
OBRA: Movimiento de Tierras	Datos Adic: Cap.=6.00 m^3	Revisó : F.F.L.
		Fecha : Mayo 1979

DATOS GENERALES

Precio adquisición: $ 375,000.00
Equipo adicional - Llantas (6) 23,364.00
Valor inicial (Va): 351,636.00
Valor rescate (Vr): ___ % =$
Tasa interés (i) : 18 %
Prima seguros (s): 2 %

Fecha cotización: Mayo/79
Vida económica (Ve): 5 años
Horas por año (Ha): 2000 hr/año
Motores Diesel de 210 HP.
Factor operación: 0.70
Potencia operación: 147 HP. op.
Coeficiente almacenaje (K): 0.10
Factor mantenimiento (Q): 0.90

I. CARGOS FIJOS.

a) Depreciación: $D = \frac{Va - Vr}{Ve} = \frac{351\,636 - 0}{10\,000} = \$\ 35.16$

b) Inversión : $I = \frac{Va + Vr}{2Ha} i = \frac{351\,636 + 0}{2 \times 2000} \times 0.18 = 15.82$

c) Seguros : $S = \frac{Va + Vr}{2\,Ha} s = \frac{351\,636 + 0}{2 \times 2000} \times 0.02 = 1.76$

d) Almacenaje : $A = KD = 0.10 \times 35.16 = 3.52$

e) Mantenimiento : $M = QD = 0.90 \times 35.16 = 31.64$

Suma Cargos Fijos por Hora $ 87.90

II. CONSUMOS. Hoja No. 2/2

a) Combustible : E = e Pc
Diesel : E = 0.20 x 147 HP. op. x $ 1.00 /lt. =$ 29.40
Gasolina: E = 0.24 x ____ HP. op. x $ ____ /lt. =

b) Otras fuentes de energía : _____ =

c) Lubricantes: L = a Pe
Capacidad carter: C = 6 litros
Cambios aceite : t = 70 horas

a = C/t + {0.0035 / 0.0030} x 147 HP. op. = 0.60 lt/hr.

L = 0.60 lt/hr x $ 11.50 /lt. = 6.90

d) Llantas: Ll = Vll (valor llantas) / Hv (vida económica)
Vida económica: Hv = 1500 horas
Ll = 23,364 / 1 500 horas = 15.58

Suma Consumos por Hora $ 51.88

III. OPERACION .

Salario base : $ 180.00
Salario real - operador : 288.36
_____ : _____
_____ : _____
Sal/turno-prom:$ 288.36
Horas/turno-prom.: (H)
H = 8 horas x 0.75 (factor rendimiento) = 6.00 horas

Operación = O = S/H = $ 288.36 / 6:00 horas =$ 48.06

Suma Operación por Hora $ 48.06

COSTO DIRECTO HORA - MAQUINA (HMD) $ 187.84

TIEMPO DEL CICLO DEL CARGADOR $\frac{35 \text{ SEG}}{60 \text{ SEG}} = 0.58$ MIN

PARA CARGAR UN CAMION DE 6 M^3 SON NECESARIOS 3 CICLOS DE - OPERACION DEL CARGADOR; ES DECIR, SON NECESARIOS ----------

0.58 MIN x 3 = 1.74 MIN PARA CARGAR 6.0 M^3

TIEMPO DE DESCARGA = 30 SEG = 0.5 MIN

TIEMPO TOTAL DEL CICLO DEL CAMION = 2.24 + 1.74 + 0.5 = 4.48 MIN

NUMERO DE VIAJES POR HORA

$$\frac{60 \times 0.75}{4.48} = \frac{45}{4.48} = 10.04$$

VOLUMEN POR HORA 10.04 x 6.0 = 60.24 M^3

COSTO POR M^3 $\frac{187.84}{60.24 \times 0.8} = 3.90$

NUMERO DE CAMIONES

PRODUCCION DEL CARGADOR 216 x 0.75 = 162 M^3

$$\frac{162}{48.19} = 3.36 = 4 \text{ CAMIONES}$$

POR CONCEPTO DE CAMIONES ESPERANDO, EL FACTOR ES:

$$\frac{4}{3.36} = 1.19$$

3.90 x 1.19 = \$4.64

COSTO DEL ACARREO MAS CARGA

ACARREO = 4.64

CARGA = 5.26

TOTAL = \$9.90

LE RESULTAN PUES LAS SIGUIENTES ALTERNATIVAS

A) MOTOESCREPAS	8.65
B) CARGADOR Y CAMIONES ALQUILADOS	10.89
C) IGUAL A B) RENTANDO MOTOESCREPAS	9.66
D) CARGADOR Y CAMIONES PROPIOS	9.90
E) IGUAL A D) RENTANDO MOTOESCREPAS	8.67

EL SUPERINTENDENTE LLEVA ESTOS DATOS AL GERENTE QUIEN LE RESPONDE QUE NO PUEDE COMPRAR LOS CAMIONES PORQUE LE PARECE QUE NO VA A PODER USARLOS DESPUES. EL SUPERINTENDENTE QUE TRATA DE USAR SUS CONOCIMIENTOS EN ESTADISTICA ANALIZA LOS DATOS DE CAMIONES QUE USO LA EMPRESA Y SE ENCUENTRA CON QUE EL TOTAL DE CAMIONES SE HA USADO EN LA SIGUIENTE FORMA.

No. CAMIONES	VENDIDOS AL FINAL DEL AÑO	PROBABILIDAD
13	1	0.16
27	2	.34
15	3	.20
12	4	.15
12	5	.15
79		1.00

ENCUENTRA TAMBIEN QUE SE HAN VENDIDO EN LA FORMA SIGUIENTE

	% VALOR DE ADQUISICION
1	50
2	35
3	25
4	20

CON ESTO ENCUENTRA LOS VALORES DE DEPRECIACION REAL POR HORA DEL CA - MION

SI SE VENDE AL FINAL DEL AÑO	VALOR DEPRECIADO	No. HORAS	DEPRECIACION POR HORA
1	175,818	2000	87.91
* 2	228,563	4000	57.14
3	263,727	6000	43.95
4	281,309	8000	35.16
5	351,636	10 000	35.16

* 351,636 x 0.65 = 228,563

COSTO DE HORA MAQUINA

AÑO	COSTO/HORA	COSTO ACARREO	PROBABILIDAD	
1	240.59	5.94	.16	0.95
2	209.82	5.18	.34	1.76
* 3	196.63	4.86	.20	0.97
4	187.84	4.64	.15	0.70
5	187.84	4.64	.15	0.70
		VALOR ESPERADO		5.08

(NO SE HA TOMADO EN CUENTA EL AUMENTO EN INTERESES DE LA INVERSION)

* 187.84 - 35.16 + 43.95 = 196.63

ACARREO ESPERADO	- 5.08
CARGA	5.26
	10.34
- UT. MOTOESCREPAS	1.23
	9.11

LAS ALTERNATIVAS SON

A)	MOTOESCREPAS	8.65
B)	CARGADOR Y CAMIONES ALQUILADOS	10.89
C)	IGUAL A B) RENTANDO MOTOESCREPAS	9.66
D)	CARGADOR Y CAMIONES PROPIOS (5 AÑOS USO)	9.90*
E)	IGUAL A D) RENTANDO MOTOESCREPAS	8.67*
F)	CARGADOR Y CAMIONES PROPIOS (USO ESTADISTICO)	10.34
G)	IGUAL A F) RENTANDO MOTOESCREPAS	9.11

* CONDICIONADOS.

EL GERENTE POR FIN ACEPTA LA PROPOSICION DEL SUPERINTENDENTE. EL SUPERINTENDENTE SIGUE CON LA PLANEACION DE SU TRABAJO Y PIENSA SI NO PODRIA PAVIMENTAR EL CAMINO Y ASI PODER INCREMENTAR LA VELOCIDAD Y DISMINUIR LA INVERSION EN LA COMPRA DE 8 CAMIONES.

CONSIDERA QUE LOS CAMIONES SE AMORTIZARAN TOTALMENTE EN LA EMPRESA.

CAMIONES Y CARGADOR PARA CAMINO

PAVIMENTADO

VELOCIDAD DE IDA 20 KM/H

VELOCIDAD DE REGRESO 35 KM/H

DE IDA : $t = \frac{370 \times 60}{20\ 000} = 1.11$ MIN

DE REGRESO: $t = \frac{370 \times 60}{35\ 000} = 0.63$

TOTAL = 1.74 MIN

TIEMPO TOTAL DEL CICLO = 1.74 + 1.74 + 0.5 = 3.98 MIN

NUMERO DE VIAJES POR HORA $\frac{45}{3.98} = 11.31$

VOLUMEN POR HORA 11.31 x 6 = 67.86 M^3

COSTO POR M^3 $= \frac{187.84}{67.86 \times 0.8} =$ S 3.46

NUMERO DE CAMIONES $= \frac{\text{PRODUCCION DEL CARGADOR}}{\text{VOL. POR HORA X COEF. DE ABUNDAMIENTO}}$

$\frac{162\ M^3}{54.29} = 2.98 = 3$ CAMIONES

POR CONCEPTO DE CAMIONES ESPERANDO, EL FACTOR ES :

$$\frac{3}{2.98} = 1.01$$

$$3.46 \times 1.01 = 3.49$$

COSTO DEL ACARREO MAS CARGA

ACARREO	=	3.49
CARGA	=	5.26
		$ 8.75

- UT. MOTOESCREPAS	$ 1.23
	$ 7.52

AL COTIZAR EL PAVIMENTO ENCUENTRA QUE UNA EMPRESA QUE SE DEDICA A ESE TIPO DE TRABAJO LE PLANTEA UN PRESUPUESTO DE $ 600,000.00. EL COSTO POR M^3 ES DE

$$\frac{600,000}{800,000} = 0.75$$

EL COSTO TOTAL ES PUES

	7.52
+	0.75
	$ 8.27

LA ALTERNATIVAS SON

A)	MOTOESCREPAS	8.65
B)	CARGADOR Y CAMION ALQUILADO	10.89
C)	IGUAL A B) RENTANDO LAS MOTOESCREPAS	9.66
D)	CARGADOR Y CAMIONES PROPIOS (5 AÑOS USO)	9.90
E)	IGUAL A D) RENTANDO LAS MOTOESCREPAS	8.67
F)	CARGADOR Y CAMIONES PROPIOS (USO ESTADISTICO)	10.34
G)	IGUAL A F) RENTANDO MOTOESCREPAS	9.11
H)	CARGADOR Y CAMIONES PROPIOS PAVIMENTADO EL CAMINO Y RENTANDO MOTOESCREPAS	8.27

EL SUPERINTENDENTE MUESTRA SUS ALTERNATIVAS AL GERENTE, DICIENDOLE QUE ES CLARO QUE LE CONVIENE PAVIMENTAR EL CAMINO.

EL GERENTE LE DICE QUE SI BIEN LOS DATOS DEMUESTRAN LA BONDAD DE LA PAVIMENTACION, EL NO ESTA DE ACUERDO EN INVERTIR, AL INICIAR LA OBRA, $ 600,000 QUE NO RECUPERARA SINO HASTA LA TERMINACION DEL TRABAJO, PUES ASI REZA EN EL CONTRATO.

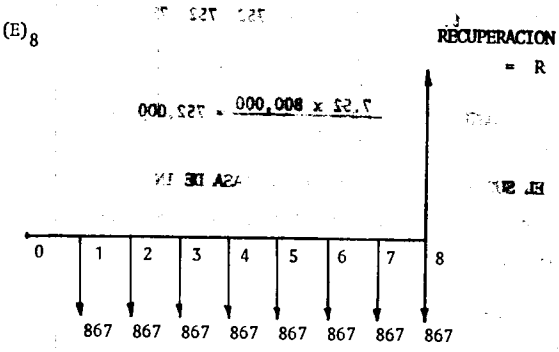
EL SUPERINTENDENTE CONSIDERA QUE SI HAY DIFERENCIA EN LOS DOS SISTEMAS DE EGRESO, POR LO QUE DECIDE REALIZAR UN ESTUDIO DE VALOR ACTUALIZADO.

HACE UNA COMPARACION ENTRE LAS ALTERNATIVAS E Y H HACIENDO USO DEL METODO DE VALOR ACTUALIZADO.

COMO LA RECUPERACION ES AL FINAL Y ES LA MISMA EN EL TIEMPO Y EN SU VALOR, NO LA CONSIDERA PARA FINES DE COMPARACION.

SUPONE QUE LA OBRA DURARA 8 MESES Y QUE LOS EGRESOS POR COSTO DIRECTO SERAN LINEALES; LE RESULTAN ASI LAS SIGUIENTES GRAFICAS DE INGRESOS-EGRESOS.

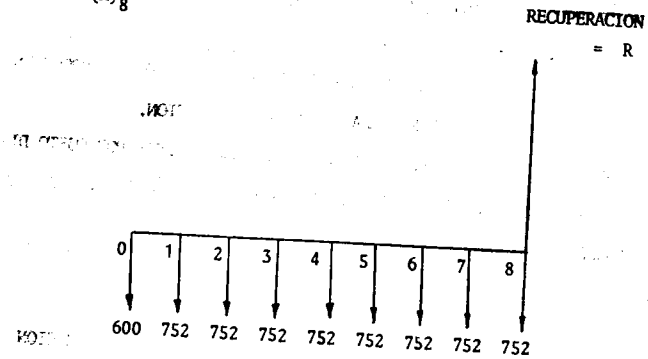
CASO $(E)_8$



EN MILES DE PESOS

$$\text{COSTO/MES} = \frac{8.67 \times 800{,}000}{8} = 867{,}000$$

CASO $(H)_8$



$$\text{COSTO/MES} = \frac{7.52 \times 800{,}000}{8} = 752{,}000$$

EL SUPERINTENDENTE SUPONE UNA TASA DE INTERES MINIMA ACEPTABLE DE - 1% MENSUAL. USANDO LA TABLA DE LOS APUNTES OBTIENE LOS SIGUIENTES- VALORES ACTUALIZADOS.

CASO $(E)_8$ INTERES 1%

867,000 x 7.652 = 6'634,284.00

CASO $(H)_8$ INTERES 1%

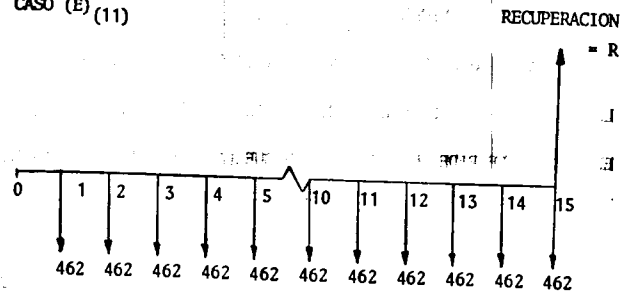
600,000 + 752,000 x 7.652 = 6'354,304.00

LE CONVIENE SELECCIONAR LA ALTERNATIVA DE COSTO ACTUALIZADO MINIMO, QUE SIGUE SIENDO LA (H).

EL GERENTE LE RECUERDA QUE EL PIENSA QUE SE VA A TARDAR 15 MESES -- EN EL TRABAJO.

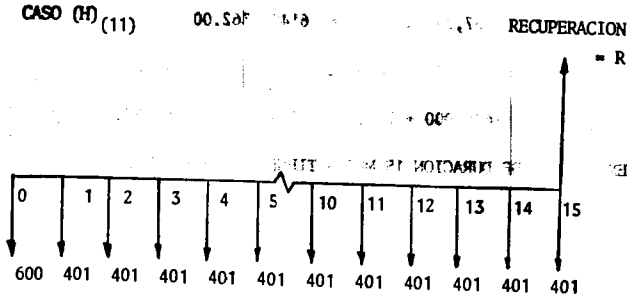
EL SUPERINTENDENTE SUPONE LOS 15 MESES Y OBTIENE LO SIGUIENTE -----

CASO (E)$_{(11)}$



$$\text{COSTO/MES} = \frac{8.67 \times 800,000}{15} = 462,400.00$$

CASO (H)$_{(11)}$



$$\text{COSTO/MES} = \frac{7.52 \times 800,000}{15} = 401,066.66$$

SUPONIENDO EL MISMO INTERES Y COMO EN EL CASO ANTERIOR QUE GASTOS Y RECUPERACIONES SE VERIFICAN AL FIN DE MES, Y USANDO LA TABLA DE VALORES ACTUALIZADOS OBTENDREMOS :

CASO (E)$_{11}$ 1% MENSUAL

$$462,400 \times 13.865 = 6'411,176.00$$

CASO H_{11} 1% MENSUAL

600,000 + 401,066.66 x 13.865 = 6'160,789.00

LE SIGUE CONVINIENDO SELECCIONAR LA ALTERNATIVA H.

EL GERENTE LE PIDE QUE EN VISTA DE QUE LAS CONDICIONES DE LA EMPRESA NO SON MUY BUENAS, LE ANALICE QUE SUCEDERIA SI SE OBLIGA A PAGAR 18% DE INTERES ANUAL: 1 1/2% MENSUAL.

EN EL CURSO DE DURACION 8 MESES TIENE LOS SIGUIENTES VALORES ACTUALIZADOS.

CASO E_8 INTERES 1 1/2% MENSUAL

867,000 x 7.486 = 6'490,362.00

CASO H_8 INTERES 1 1/2% MENSUAL

600,000 + 752,000 x 7.486 = 6'229,472.00

EN EL CASO DE DURACION 15 MESES TIENE LOS SIGUIENTES VALORES

CASO E_{11} INTERES 1 1/2% MENSUAL

462,400 x 13.344 = 6'170,266.00

CASO H_{11} INTERES 1 1/2% MENSUAL

600,000 + 401,066.66 x 13.344 = 5'951,833.00

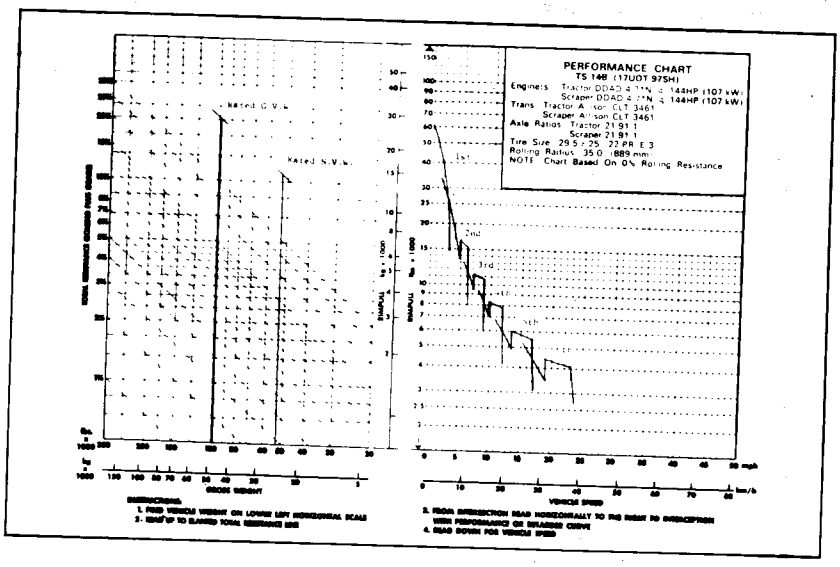
CON TODOS ESTOS DATOS EL SUPERINTENDENTE HACE LA SIGUIENTE TABLA.

	COSTO ACTUALIZADO		
	CASO E	CASO H	E - H
DURACION 8 MESES INTERES 1%	6'634,284.00	6'354,304.00	279 980
DURACION 8 MESES INTERES 1 1/2%	6'490,362.00	6'229,472.00	260 890
DURACION 15 MESES INTERES 1%	6'411,176.00	6'160,789.00	250 387
DURACION 15 MESES INTERES 1 1/2%	6'170,266.00	5'951,833.00	218 433

LA DIFERENCIA E-H ES SIEMPRE POSITIVA POR LO QUE EN TODOS LOS CASOS CONVIENE LA SOLUCION H, PUESTO QUE EL COSTO ACTUALIZADO ES MENOR.

PODEMOS DECIR QUE LA SALIDA ES POCO SENSIBLE A LOS CAMBIOS EN ----- TIEMPO E INTERES, DENTRO DE LOS RANGOS ESTUDIADOS. PODREMOS PUES - CON UNA CONFIANZA RAZONABLE PROCEDER A PAVIMENTAR EL CAMINO.

ATENCION. AL SIMPLIFICAR LA SOLUCION DEL PROBLEMA SOLO SE HAN - - CONSIDERADO DECISIONES A NIVEL DE COSTO DIRECTO.


PERFORMANCE CHART
TS 14B (17UDT 975H)
Engines: Tractor DDAD 4 71N @ 144HP (107 kW)
Scraper DDAD 4 71N @ 144HP (107 kW)
Trans: Tractor Allison CLT 3461
Scraper Allison CLT 3461
Axle Ratios: Tractor 21.91:1
Scraper 21.91:1
Tire Size: 29.5 x 25 22 PR E 3
Rolling Radius: 35.0 (889 mm)
NOTE: Chart Based On 0% Rolling Resistance
Rated G.V.W.
Rated S.V.W.
1st
2nd
3rd
4th
5th
GROSS WEIGHT
VEHICLE SPEED
mph
km/h

LECTURA RECOMENDADA

ECONOMIC DECISION MODELS. FOR ENGINEERS AND MANAGERS.

Autor.- James L. Riges

Editorial.- Mc Graw-Hill.

Teoería general de decisiones, con ejemplos de toma de decisiones en el área financiera. Problemas de valor actualizado. Decisiones -- con riesgo e incertidumbre. Fácil de leer; los ejemplos son sencillos.

INGENIERIA DE SISTEMAS.

Autores - Varios.

Editorial - Cámara Nacional de la Industria de la Construcción.

A través de ejemplos se ven aplicaciones de la Ingeniería de Sistemas y modelos de Investigación de Operaciones a problemas comunes -- en la Industria de la Construcción.

PROBABILITY, STATISTICS AN DECISION FOR CIVIL ENGINEERS.

Autores - Jack R. Benjamín
C. Alun Cornell

Editorial - Mc Graw-Hill

Elementos de probabilidad, modelos probabilísticos. Decisiones - con abundantes ejemplos de aplicación a problemas de Ingeniería Civil.

TEORIA Y CALCULO ELEMENTAL DE LAS DECISIONES.

Autores - Herman Chernoff.
Lincon E. Moses.

Editorial - Compañía Editorial Continental.

Probabilidades, estadística, utilidad, incertidumbre, modelos pro_

A N E X O I

VALUACION DE INSUMOS

Al considerar los insumos y su costo, así como sus beneficios, estamos realmente tomando en cuenta los flujos de ingresos y recuperaciones, sin embargo tanto los ingresos como las recuperaciones, se verifican a través del tiempo y vamos a ver que el factor tiempo tiene gran importancia.

Ya que nuestro objetivo es el económico, al valuar insumos y productos utilizamos como medio de valuación una unidad monetaria, sin embargo el valor de la unidad monetaria es función del tiempo, y dado que la corriente de beneficios y costos ocurre a lo largo del tiempo, no es posible compararlos y plantear la necesidad de uniformizar sus valores antes de proceder a la suma.

Los procedimientos usados para uniformizar este valor se basan en las fórmulas de interés compuesto, para utilizar estas fórmulas se consideran una tasa de pérdida de valor que se denomina tasa de actualización y también tasa de interés mínima aceptable.

INTERES COMPUESTO

Llamando "F" al valor futuro de un Capital, "C" al interés compuesto, colocado a una tasa " i " durante " n " número de años, tendremos que el capital acumulado al final del enésimo intervalo es $C(1+i)^n$. Tomando la notación arriba indicada.

$$F = C\,(1+i)^n$$

Donde repitiendo " i " es la tasa de interés usada, y " n " es el número de intervalos de tiempo que componen el período comprendido entre hoy (Capital "C") y el futuro (Capital "F"). Al factor $(1+i)^n$ le llamaremos "Factor de valor futuro".

Despejando "C" tendremos

$$C = \frac{F}{(1+i)^n}$$

Que nos dá el valor actualizado de un capital "F" futuro a "n" intervalos de tiempo a partir de hoy. Al factor $\frac{1}{(1+i)^n}$ se le llama "Factor de valor actualizado"

Estos factores se encuentran tabulados en los libros de interés compuesto o de Ingeniería Económica para diferentes valores de "i" y de "n". Al final del capítulo se presenta una tabla de los factores de valor actualizado como ejemplo.

Utilizando estas fórmulas de interés compuesto es posible uniformizar valores de Capitales que se usan o reciben a través del tiempo, de modo que sean comparables y puedan utilizarse para poder tomar una decisión.

EL METODO DEL VALOR ACTUALIZADO

Consiste en obtener los valores presentes equivalentes a los capitales futuros, tanto de ingresos como de recuperaciones. Se utiliza por supuesto la fórmula del interés compuesto, multiplicando a cada valor futuro por el factor de valor actualizado correspondiente. Cuando se usan simultáneamente egresos y recuperaciones en una alternativa, en general se asocian a ellos signos contrarios; signo positivo para las recuperaciones y signo negativo para los egresos.

El valor actualizado equivalente será egreso o recuperación actualizado si la suma algebraica resulta negativa o positiva respectivamente. Generalmente se actualizan por separado los beneficios y los costos, pues para comparar las diversas alternativas, se usan como criterio de comparación, no solo el resultante final de la suma algebraica, sino el cociente de los beneficios sobre costos actualizados, otro procedimiento conveniente dependiendo de la naturaleza del problema.

Estos métodos son tanto más importantes en la forma de decisiones en la construcción cuanto mayor sea el tiempo de ejecución de la obra, puesto que las diferencias entre los capitales no actualizados y actualizados será mayor.

Al tomar decisiones dentro del ambito de la empresa, sí es muy importante considerar la variación con el tiempo del valor del dinero, ya que la empresa efectúa sus operaciones a lo largo de tiempos considerablemente largos.

TABLAS DE INTERES COMPUESTO
FACTORES DE ACTUALIZACION

	1%		12%	
No.	Pago Simple	Serie Uniforme de pagos	Pago Simple	Serie Uniforme de pagos
1	0.9901	0.990	0.8929	0.893
2	0.9803	1.970	0.7972	1.690
3	0.9706	2.941	0.7118	2.402
4	0.9610	3.902	0.6355	3.037
5	0.9515	4.853	0.5674	3.605
6	0.9420	5.795	0.5066	4.111
7	0.9327	6.728	0.4523	4.564
8	0.9235	7.652	0.4039	4.968
9	0.9143	8.566	0.3606	5.328
10	0.9053	9.471	0.3220	5.650
11	0.8963	10.368	0.2875	5.938
12	0.8874	11.255	0.2567	6.194
13	0.8787	12.134	0.2292	6.424
14	0.8700	13.004	0.2046	6.628
15	0.8613	13.865	0.1827	6.811
16	0.8528	14.718	0.1631	6.974
17	0.8444	15.562	0.1456	7.120
18	0.8360	16.398	0.1300	7.250
19	0.8277	17.226	0.1161	7.366
20	0.8195	18.046	0.1037	7.469
21	0.8114	18.857	0.0926	7.562
22	0.8034	19.660	0.0826	7.645
23	0.7954	20.456	0.0738	7.718
24	0.7876	21.243	0.0659	7.784
25	0.7798	22.023	0.0588	7.843
26	0.7720	22.795	0.0525	7.896
27	0.7644	23.560	0.0469	7.943
28	0.7568	24.316	0.0419	7.984
29	0.7493	25.066	0.0374	8.022
30	0.7419	25.808	0.0334	8.055
31	0.7346	26.542	0.0298	8.085
32	0.7273	27.270	0.0266	8.112
33	0.7201	27.990	0.0238	8.135
34	0.7201	27.703	0.0212	8.157
35	0.7050	29.409	0.0189	8.176
40	0.6717	32.835	0.0107	8.244
45	0.6391	36.095	0.0061	8.283
50	0.6080	39.196	0.0035	8.305
75	0.4741	52.567		
100	0.3697	63.029		

PRUEBA DEL MODELO

Es muy conveniente que al desarrollar un modelo, para que represente convenientemente el sistema se pruebe continuamente mientras se está construyendo.

Al terminar el modelo se realizan pruebas para garantizar su propiedad. Si el modelo tiene deficiencias, es decir las salidas, no corresponden a la realidad del sistema, pueden deberse a que no se seleccionaron adecuadamente las variables dignificativas, o bien las relaciones entre variables no corresponden a la realidad.

Pueden también probarse el modelo a través de pruebas parciales o restringidas de las soluciones propuestas siempre que esto sea posible.

SENSIBILIDAD

Sensibilidad de un sistema en general se refiere al cambio o cambios en los parámetros del sistema (coeficiente o en su caso entradas).

La sensibilidad tiene especial importancia, pues le indica al ingeniero como se comporta una decisión cuando las condiciones cambian por alguna razón.

El estudio de la sensibilidad es muy importante para formar la decisión, puede ser que una decisión tenga alta sensibilidad, esto sea vulnerable a pequeños cambios de las variables controlables. Cuando esto sucede es muy conveniente realizar una investigación que nos asegure la validez de los datos que están siendo evaluados.

SELECCION DE LA VIA DE ACCION

Cualquiera que sea el sistema de comparación de alternativas, desde simple intuición hasta el uso de complicados modelos matemáticos, hay que tomar encuenta ciertas condiciones que influyen importantemente en la decisión.

En primer lugar la persona o personas que van a tomarla. En general la valuación en términos del objetivo no forma algunas varia--

bles en consideración, o puede ser que se consideren variables no significativas algunas variables de carácter probabilístico. Una persona con propensión a no tomar riesgos en un caso de los anteriores, tomará una decisión diferente a una persona que toma riesgos. Esto es una característica psicológica del sujeto que va a tomar la decisión y conviene tomarlo en cuenta.

De todos modos hay que repasar las variables que se consideraron no significativas, pues hay variables que para ciertos valores no son significativas, pero que en otros rangos si lo son. Un repaso en función de la valuación de las alternativas es pues conveniente.

También es frecuente que la valuación se realice bajo certeza, cuando en prácticamente todos los problemas de Ingeniería se presentan bajo riesgo o incertidumbre. En el momento de tomar una decisión, conviene también repasar cuáles son las condiciones en que realmente se presenta el problema.

El análisis de sensibilidad es también muy conveniente, pues nos indicará como se comporta una solución ante variaciones en las condiciones planteadas.

En general todos estos puntos son analizados y pesados al tomar la decisión, cualquiera que sea el procedimiento de valuación de alternativas que se haya seguido.

GENERALIDADES

En todos los problemas a que se enfrenta el Ingeniero Civil existe un grado de incertidumbre principiando por la información que recibe, las condiciones del medio ambiente, etc.

El concepto probabilidad es conocido por todo el mundo y su definición ha variado en el transcurso del tiempo. La definición matemática de la probabilidad no pertenece a este curso y en su lugar se puede hablar de probabilidad como la frecuencia relativa de éxito en un experimento, de forma que es el cociente del número de eventos favorables dividido entre el número total de eventos del experimento. De esta definición se puede de inmediato concluir que la probabilidad variará entre cero y uno incluyendo ambos valores, pero que no puede tomar ningún otro valor menor de cero o mayor de uno.

Certeza probabilista es la que se tiene con respecto a un fenómeno o evento cualquiera con probabilidad de ocurrencia = 1. (Evento seguro).

Sin embargo, dentro de los sistemas - obra es muy difícil encontrar eventos cuya probabilidad de ocurrencia sea uno. Esto nos dirige hacia la utilización de técnicas que tomen en cuenta el aspecto probabilista de los fenómenos que maneja. Esto no quiere decir que el ingeniero trate todos los problemas en forma probabilista, sino que cuando menos tenga en cuenta el aspecto probabilista y lo utilice cuando el problema por su importancia se lo exija.

Antes de hacer referencia a las técnicas que ayudan al ingeniero a hacer frente a los problemas probabilistas, comentaremos brevemente los aspectos de riesgo e incertidumbre.

Muy relacionados con los aspectos de probabilidad están los conceptos de riesgo e incertidumbre. En realidad ambos reflejan el punto de vista probabilista de los problemas y no hay distinción clara entre ambos conceptos. Mientras algunos autores los consideran equivalentes, otros establecen una distinción, la que adoptaremos aquí: El análisis del riesgo lo utilizaremos en aquellos casos en que existan eventos probabilistas, pero sus características (la más importante es la distribución de probabilidad) se conocen; mientras que la incertidumbre existe en aquellos casos en que no se conocen las características probabilistas de un fenómeno.

ANEXO II

SINTESIS SOBRE PROBABILIDAD

por

S. ZUÑIGA B.

En el presente trabajo se hace una síntesis sobre algunos conceptos de probabilidad, enunciándolos someramente y sin demostración. Para hacerlos más claros frecuentemente se recurre a dar ejemplos.

Experimento:

Es una acción mediante la cual se obtiene un resultado y se realiza la observación de éste.

Experimento Aleatorio:

Experimento cuyo resultado no se puede predecir antes de que se realice el experimento.

Ejemplo 1.- Tirar un volado, antes de tirarlo no se conoce si el resultado es águila o sol.

Experimento Determinista:

Experimento cuyo resultado se puede predecir antes de que se realice el experimento.

Ejemplo 2.- Sumar 2 números pares, se conoce de antemano que el resultado va a ser un número par.

Eventos Elementales:

Son los resultados más simples de un experimento.

Ejemplo 3. - Al tirar un dado y observar el "número resultante" los eventos elementales son seis: 1, 2, 3, 4, 5, 6. El evento "cae par" no es un evento elemental ya que se puede expresar mediante los eventos 2, 4, 6.

Espacio de Eventos:

Es la totalidad de eventos elementales de un experimento.

Ejemplo 4.- Al tirar un dado, el espacio de eventos es el conjunto de los seis eventos elementales s = 1, 2, 3, 4, 5, 6.

Eventos Elementales igualmente posibles:

Cuando al realizar un experimento aleatorio no existen factores que favorezcan la aparición de un evento elemental, se dice que estos son igualmente posibles.

Probabilidad Clásica:

Supóngamos que es finito el número de eventos elementales "n" de que está compuesto el espacio de eventos asociado a un experimento aleatorio y además que todos son igualmente posibles. Si un evento A del espacio de eventos está compuesto por "m" eventos elementales, entonces la probabilidad de que el evento A se verifique está definida por la relación:

$$P(A) = \frac{m}{n}$$

en donde:

m = número de eventos elementales en A
n = número de eventos elementales en el espacio de evento.

Los valores entre los cuales varía la probabilidad de que se verifique un evento son:

$$0 \leqslant P(A) \leqslant 1$$

Si la probabilidad de un evento es muy cercana a cero se dice que el evento es prácticamente imposible.

Por el contrario, si la probabilidad de un evento es muy próxima a uno se dice que el evento es prácticamente seguro.

La probabilidad de que no se verifique el evento A es: $P(A) = 1 - P(A)$.

Ejemplo 5.- Si se extrae al azar una bola de una urna que contiene 6 bolas rojas, 4 blancas y 5 azules, encontrar la probabilidad de que la bola extraída:

a) Sea roja a) $P(R) = \frac{6}{15}$

b) Sea blanca b) $P(B) = \frac{4}{15}$

c) No sea roja c) $P(R) = 1 - \frac{6}{15} = \frac{9}{15}$

Probabilidad Condicional :

Se representa por $P(B/A)$ y se interpreta como la probabilidad de que el evento B se verifique, con la condición de que previamente el evento A se haya verificado.

Ley de Adición de Probabilidades:

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B)$$

en donde:

$P(A \cup B)$ es la probabilidad de que se verifique a y/o B.

$P(A \cap B)$ es la probabilidad de que se verifique A y B.

Si los eventos A y B se excluyen mutuamente: $P(A \cup B) = 0$

entonces:

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B)$$

Ejemplo 6.- A partir del ejemplo 5, cual es la probabilidad de que la bola extraída sea roja o blanca.

$$P(R \cup B) = P(F) + P(B) = \frac{2}{5} + \frac{4}{15} = \frac{10}{15} = \frac{2}{3}$$

Ley Condicional de Probabilidades :

$$P(A \cap B) = P(A)\ P(B/A)$$

Ejemplo 7.- Si de la urna del ejemplo 5 se extraen sucesivamente 2 bolas, ¿cuál es la probabilidad de que una sea roja y la otra blanca?.

$$P(R \cap B) = P(R)\ P(B/R)$$
$$= \left(\frac{6}{15}\right)\left(\frac{4}{14}\right)$$

Variable Aleatoria (v.a.) :

Si x es una variable mediante la cual se pueden representar los resultados de un experimento aleatorio, entonces se dice que "x" es una variable aleatoria.

Ejemplo 8.- Sea el experimento aleatorio tirar dos dados y el resultado que interesa es la suma de los números asociados a las caras que caen hacia arriba, los valores de esos resultados se pueden representar mediante una variable que toma los siguientes valores:

$$x = \left[2,\ 3,\ 4,\ 5,\ 6,\ 7,\ 8,\ 9,\ 10,\ 11,\ 12\right]$$

Tipos de Variable Aleatoria:

a) Discreta.- La v.a. está definida en el intervalo (a,b) y solo toma ciertos valores de ese intervalo.

Ejemplo 9.- Tirar un dado, la v.a. está definida en el intervalo (1,6) y solo toma los valores 1, 2, 3, 4, 5, 6.

b) Continua.- La v.a. está definida en el intervalo (a,b) y toma cualquier calor comprendido en dicho intervalo.

Ejemplo 10.- Medir la altura de k estudiantes, la v.a. puede tomar cualquier valor entre la altura de la persona más pequeña y la de la más alta.

VARIABLE ALEATORIA DISCRETA (v.a.d.)

Distribución de Probabilidad:

Si x es una v.a.d. con valores $x_1, x_2, x_3, \ldots, x$ y se conoce la probabilidad de que se verifiquen cada uno de ellos $P(x_i)$, con la condición de que $\sum P(x) = 1$, el conjunto de valores $P(x_i)$ recibe el nombre de distribución de probabilidad.

Ejemplo 11.- La distribución de probabilidad de la v.a.d. definida en el problema 8 es:

x	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
P(x)	1/36	2/36	3/36	4/36	5/36	6/36	5/36	4/36	3/36	2/36	2/36

Esperanza Matemática:

Cualquier función h(x) de la v.a.d. x es una v.a.d. que puede tomar los valores $h(x_1), h(x_2), \ldots, h(x_n)$. La esperanza matemática de h(x) se define como:

$$E\left[h(x)\right] = \sum_{i=a}^{b} h(x_i)\ P(x_i)$$

Momento respecto al origen:

Se establece cuando $h(x) = x^n$, entonces:

$$E\left[x^n\right] = \sum_{i=a}^{b} x_i^n\ P(x_i)$$

Si $n = 1$, se obtiene la media de la v.a.d. y se representa por:

$$\mu x = E\ x = \sum_{i=a}^{b} x_i P(x_i)$$

Ejemplo 12.- Para el caso de los dados (problema 8) se tiene:

$$\mu x = 2(1/36) + 3(2/36) + 4(4/36) + 6(5/36) + 7(6/36) + 8(5/36) + 9(4/36) + 11(2/36) + 12(1/36) = 252/36 = 7$$

Momento con respecto a la media: se define cuando $h(x) = (x - \mu_x)^n$, entonces:

$$E\left[(x - \mu_x)^2\right] = \sum_{i=a}^{b} (x_i - \mu_x)^n\ P(x_i)$$

Si $n = 2$, se obtiene la variancia de la v.a.d. x y se representa por:

$$O_x^2 = E\left[(x - \mu_x)^2\right] = \sum_{i=a}^{b} (x_i - \mu_x)^2\ P(x_i)$$

Ejemplo 13.- La variancia de la v.a.d. en el caso del problema 8 es:

$$O_x^2 = (2-7)^2(1/36) + (3-7)^2(2/36) + (4-7)^2(3/36) + (5-7)^2(4/36) + (6-7)^2(5/36) + (7-7)^2(6/36) + (8-7)^2(5/36) + (9-7)^2(4/36) + (10-7)^2(3/36) + (11-7)^2(2/36) + (12-7)^2(1/36) = 35/6$$

Desviación Estándar: Se define como la raíz cuadrada de la variancia y se representa por: $O = \sqrt{\sigma^2}$

Ejemplo 14.- La desviación estándar en el caso del problema 8 es:

$$O = \sqrt{35/6} = 2.42$$

Variable Aleatoria Continua (v.a.c.) :

Densidad de Probabilidad. - Para este caso se define la distribución de probabilidad por medio de una función f(x), llamada densidad de probabilidad, la que debe cumplir con las siguientes restricciones.

a) $f(x) \geq 0 \; \forall x$

b) El área bajo la curva definida por la función f(x) y el eje de las abscisas debe valer uno.

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(x)\, dx = 1$$

c) La probabilidad de que la v.a.c. tome un valor en el intervalo (c,d) está dada por:

$$P(c \leq x \leq d) = \int_c^d f(x)\, dx$$

Distribución de Probabilidad Acumulada:

La d.p.a. F(x) de la v.a.c. x está definida por :

$$F(x) = P(x \leq a) = \int_{-\infty}^{a} f(x)\, dx$$

Esperanza Matemática de una v.a.c. :

$$E\left[h(x)\right] = \int_{-\infty}^{\infty} h(x)\, f(x)\, dx$$

Momento de orden n:

$$E\left[x^n\right] = \int_{-\infty}^{\infty} x^n f(x)\, dx$$

Si n = 1, se define la media de la v.a.c. x

$$x = E\left[x\right] = \int_{-\infty}^{\infty} x\, f(x)\, dx$$

Momento de orden n con respecto a la media:

$$E\left[(x-\mu_x)^n\right] = \int_{-\infty}^{\infty} (x-\mu_x)^n f(x)\, dx$$

Si n = 2, se define la variancia de la v.a.c.x

$$E\left[(x-\mu_x)^2\right] = \int_{-\infty}^{\infty} (x-\mu_x)^2 f(x)\, dx$$

DISTRIBUCIONES TEORICAS DE UNA VARIABLE

a) Variables discretas:

1. Distribución Binomial o de Bernoulli.

Supóngamos efectuar "n" experimentos independientes tales que el resultado de cada uno de ellos es un éxito o un fracaso; la probabilidad de un éxito es p y la de fracaso es q, siendo p + q = 1. En tal

caso se dice que se tienen n pruebas de Bernoulli con probabilidad "p" de éxito.

Al realizar un experimento de Bernoulli, la probabilidad de que se presenten x éxitos consecutivos seguidos por (n − x) fracasos es:

$$\overbrace{\underbrace{pppp\ldots p}_{x}\underbrace{qqq\ldots q}_{n-x}} = p^x q^{n-x} \qquad (1)$$

La probabilidad de obtener precisamente x éxitos y (n−x) fracasos con otro orden de ocurrencia, está dada también por la expresión (1).

La probabilidad de que se presenten x éxitos y (n−x) fracasos en cualquier orden será la suma de las probabilidades de todas las combinaciones posibles de n elementos de los cuales x son éxitos y (n−x) fracasos.

Lo anterior puede expresarse por :

$$P(x) = {}_nC_x\, p^x q^{n-x}$$

que recibe el nombre de distribución de Porbabilidad Binomial.

La media en esta distribución de probabilidad es:

$$\mu_x = E\left[x\right] = \sum x\, P(x) = \sum x\, {}_nC_x\, p^x q^{n-x} = np$$

$$\mu_x = np$$

La variancia queda definida por :

$$\sigma_x^2 = E\left[(x-\mu_x)^2\right] = \sum (x-\mu_x)^2 P(x)$$

$$= \sum (x-\mu_x)^2\, {}_nC_x\, p^x q^{n-x} = npq$$

$$\sigma_x^2 = npq$$

2. Distribución de Paisson.

Si la v.a.x. designa el número de éxitos de una sucesión de pruebas de Bernoulli y se considera n suficientemente grande y p suficientemente pequeña.

$$np = \lambda \qquad n \geqslant 50 \qquad p \leq 0.10$$

$$f(x) = e^{-\lambda} \frac{\lambda^x}{x}$$

expresión que define la d.p. de Poisson.

La media y la variancia son :

$$\mu_x = E\left[x\right] = \sum \left(e^{-\lambda} \frac{\lambda^x}{x}\right) x = \lambda$$

$$\sigma_x^2 = E \quad (x - \mu_x)^2 = \sum_{i=0} (x - \lambda)^2 \; e^{-\lambda} \frac{\lambda^x}{x} = \lambda$$

b) Variables Continuas.

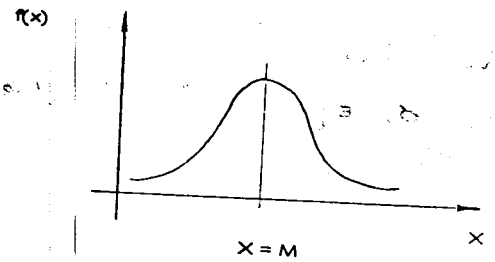
1. Distribución Normal.

Una variable casual que se encuentra frecuentemente en la práctica es una v.a. continua cuya d.p. es la distribución normal.

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\; S} e^{-\frac{(x-m)^2}{2S^2}}$$

rango en el cual se encuentra definida la v.a.

La función anterior tiene la siguiente representación geométrica:



La media de la distribución es $\mu_x = m$

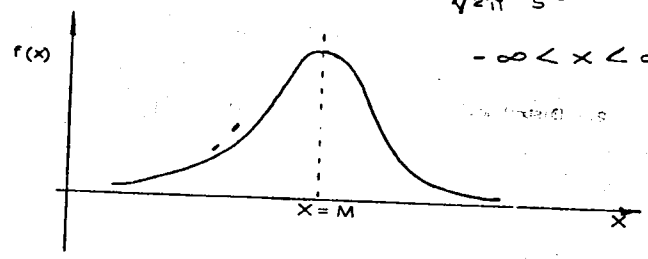
La variancia de la distribución es $\sigma_x^2 = S^2$

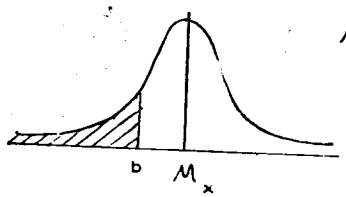
Dadas m y S^2 es posible calcular que x tome valores menores o mayores que un cierto número o bien que quede comprendida entre dos valores, por ejemplo :

DISTRIBUCION NORMAL

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\ S} e^{-\frac{(x-m)^2}{2S^2}}$$

$$-\infty < x < \infty$$

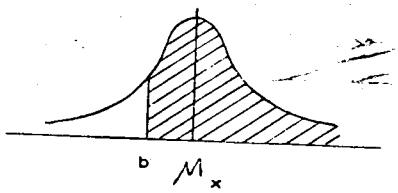




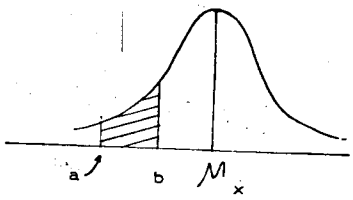
$M_x = m$

$T^2 = S^2$

$$P(x < b) = \int_{-\infty}^{b} f(x)\,dx$$



$$P(x > b) = \int_{b}^{\infty} f(x)\,dx$$



$$P(a \leq x \leq b) = \int_d^b f(x)\,dx$$

2.- Distribución Gamma y Exponencial.

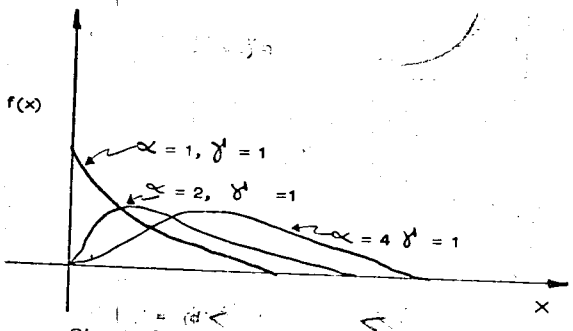
Se dice que la v.a.x. tiene distribución gamma si su d.p. es de la forma :

$$f(x) = \frac{1}{\gamma \alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha - 1} e^{-\frac{x}{\gamma}}$$

$$x > 0, \alpha < 0, \gamma > 0$$

$\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty x^{\alpha - 1} e^{-x}\,dx$ recibe el nombre de función gamma.

$$\mu_x = \alpha \gamma \qquad \sigma_x^2 = \alpha \gamma^2$$



Si = 1 a la función gamma se le llama distribución exponencial.

$$f(x) = \frac{1}{\gamma} e^{-\frac{x}{\gamma}}$$

$$x = \gamma \qquad \sigma_x^2 = \gamma^2$$

NOTA: Sacado del libro Ingeniería de Sistemas de la Cámara Nacional de la Industria de la Construcción.

ANALISIS DE DECISIONES

BAJO RIESGO

por

F. J. JAUFFRED

Howard señala que :

1. EL PROCESO DE TOMAR DECISIONES SE ENCUENTRA EN LA MAYORIA DE LOS PROBLEMAS TECNICOS, GUBERNAMENTALES Y DE NEGOCIOS.

2. USUALMENTE EL TOMAR DECISIONES REQUIERE EL ESTUDIO DEL RIESGO Y DE LA INCERTIDUMBRE.

3. EL RIESGO Y LA INCERTIDUMBRE SE ESTUDIAN FORMALMENTE MEDIANTE LA TEORIA DE LA PROBABILIDAD.

4. LA PROBABILIDAD ES UN ESTADO DE LA MENTE, NO DE LAS COSAS.

5. AL ASIGNAR PROBABILIDADES DEBE TOMARSE EN CUENTA TODA LA EXPERIENCIA ANTERIOR DISPONIBLE.

6. EL TOMAR DECISIONES REQUIERE TANTO LA ASIGNACION DE PROBABILIDADES COMO DE VALORES.

7. SOLO PUEDEN TOMARSE DECISIONES CUANDO SE DISPONE DE UN CRITERIO PARA SELECCIONAR ENTRE ALTERNATIVAS.

8. SIEMPRE DEBEN CONSIDERARSE LAS CONSECUENCIAS AL FUTURO DE LA DECISION TOMADA HOY.

9. AL TOMAR DECISIONES SE DEBE DISTINGUIR ENTRE UNA BUENA DECISION Y UN BUEN RESULTADO.

Una buena decisión es aquella basada en la lógica, en el conocimiento de la incertidumbre de la utilidad y preferencias de los ejecutivos.

Un buen resultado es aquel que reporta beneficios esto es, uno altamente valorado.

Tomando una buena decisión se asegurará un alto porcentaje de buenos resultados.

El Análisis de Decisiones es el procedimiento lógico para la evaluación de los factores que influencian una decisión.

Proceso del Análisis de Decisiones :

I. Fase Determinista
Es indispensable contestar a las siguientes preguntas:

1. ¿Cuál es la decisión a tomar?

2. ¿Qué cursos de acción se encuentran a nuestro alcance?

3. ¿Cómo vamos a determinar cuáles cursos de acción son buenos y cuáles malos?

4. Suponiendo que tuviera una bola de cristal a su alcance ¿ Qué preguntas numéricas haría con objeto de medir los beneficios de un posible resultado?

5. Construya una matriz de pagos.

6. ¿Cómo se compara el beneficio que recibiré en el futuro con el recibido hoy? (valor presente etc....).

Ya que se ha completado la fase determinista, conviene jugar con las variables de estado, llevándolas separado y conjuntamente a los valores extremos en su rango de variabilidad. Se observa cual de las alternativas es siempre mejor que cualquier otra. De ocurrir esto se dirá que la primera domina a la segunda; esta primera se elimina.

Con este análisis de sensibilidad se identifican las variables de estado para las que el resultado es sensible y se les llama críticas.

II. Fase Probabilista

1. Esta fase principia asignando probabilidades a las variables de estado críticas.

2. Encontrar la incertidumbre en beneficios para cada alternativa implicada por la relación funcional a las variables de estado críticas y la distribución de probabilidad en esas variables de estado críti

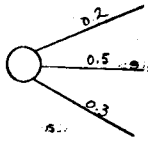
cas para la alternativa. A esta distribución de probabilidad del beneficio, se le llama la lotería del beneficio para la alternativa.

3. Ahora se considerará la manera de elegir entre las alternativas con diferente lotería de beneficio. Para ello combiene emplear las distribuciones acumuladas de probabilidad buscando dominancia estocástica.

III. Fase Posóptica

Aquí se principia encontrando el equivalente en pesos de eliminar la incertidumbre en cada una de las variables de estado, consideradas separadas o conjuntamente. Esto conduce a la siguiente etapa que consiste en diseñar el programa más simple para conseguir información cuando ya se ha encontrado que es conveniente conseguir más información.

Una lotería está definida por varias decisiones aleatorias cada una con su probabilidad y su pago.



= 0.2,00; 0.5, -20; 0.3, 10

El equivalente de la certeza para esta lotería es:

$$60\,(0.2) + (-20)\,(0.5) + 10\,(0.3) = 12 - 10 + 3 = 5$$

y representa el monto mínimo que se pide por permitir que sea otro el que juegue la lotería.

Fundamentos de la lotería de la Utilidad

Considérense los premios A, B, C, en una lotería

a) Notación

A preferido a B se representa mediante $A > B$

A indiferente a B se presenta mediante $A \sim B$

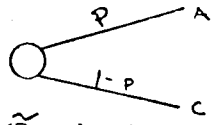
A no preferido a B se representa mediante $B \gtrsim A$

B preferido a A se representa mediante $A > \propto B$

b) La ley de la transitividad expresa que si $A > B$, $B > C$ entonces $A > C$.

c) La ley de la continuidad expresa que si para una lotería se tiene que A B C, entonces

$B \sim [p, A; (1-p), C$ $\quad \tilde{B} =$



En particular para algún p si $B \sim B$ ($\tilde{B}$ es el equivalente de la certeza para dicha lotería).

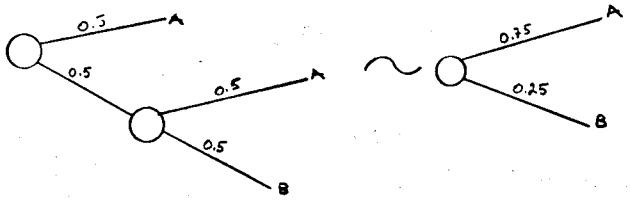
d) La ley de la sustitutabilidad expresa que en cualquier lotería B puede ser sustituído por B.

e) La ley de la monotonocidad expresa que si $A > B$ entonces

$$[p, A; (1-p), B] > [p^1, A; (1-p^1), B]$$

Si y sólo sí $p > p^1$

f) La ley de decomposición expresa que una lotería compuesta es indiferente a su descomposición en loterías simples:



Se entiende por función utilidad u (x) una con las siguientes características:

1. Dadas tres loterías L_1, L_2, L_3

a) Si $L_1 > l_2$

entonces

$u(L_1) > u(L_2)$

b) si $L_3 \sim (1-p), L_1; p, L_2$

entonces

$u(L_3) = (1-p)\, u(L_1) + p\, u(L_2)$

2. Cualquier transformación lineal de la función u(x) produce igual utilidad de las loterías.

Sea $u^1(x) = \alpha + \beta \mu(x)$

a) Puesto que

$u(L_1) > u(L_2)$ cuando $L_1 > L_2$

entonces

$u^1(L_1) > u^1(L_2)$ cuando $L_1 > L_2$

b) Puesto que

$u(L_3) = (1-p)\ u(L_1) + p\ u(L_2)$

cuando $L_3 \sim \left[(1-p),\ L_1;\ p,\ L_2\right]$

Entonces una posible función utilidad es $u(x) = a + b\,x$

En efecto, si

A) $X_1 > X_2$

$u(X_1) > u(X_2)$

b) si $X_3 \sim \left[p,\ X_1;\ (1-p),\ X_2\right]$

entonces

$u(X_3) = p\ u(X_1) + (1-p)\ u(X_2)$

entonces:

$a + b\,X_3 = p\,(a + b\,X_1) = (1-p)\,(a + b\,X_2)$

$X_3 = p\,X_1 + (1-p)\,X_2$

Cumple con las condiciones especificadas y la recta es una función utilidad.

NOTA: Sacado del libro Ingeniería de Sistemas de la Cámara Nacional de la Industria de la Construcción.

METODOS PARA LA SELECCION DE EQUIPO

USO DE MODELOS

Ing. José Piña Garza.

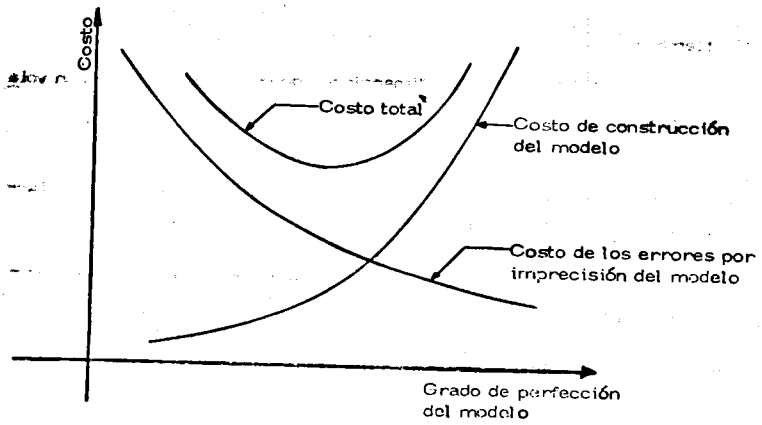
- Concepto de modelo
- Clasificación de modelos

  Por la forma de representación

  - Descripción escrita (hablada)
  - Económicos
  - Lógicos (diagramáticos)
  - Analógicos
  - Simbólicos (matemáticas)

  Por el uso

  - Comunicación
  - Análisis
  - Predicción
  - Control
  - Entrenamiento
- Modelo versus realidad



- Actitud ante el uso de modelos matemáticos
- Preparación matemática del ingeniero

	Materia	Créditos
1	Matemáticas I	9
2	Matemáticas II	9
3	Matemáticas III	9
4	Matemáticas IV	9
5	Algebra Lineal	9
6	Computación Numérica	9
7	Probabilidad y Estadística	9
8	Ingeniería de Sistemas I	6
9	Ingeniería de Sistemas II	6
	Total de Créditos	75

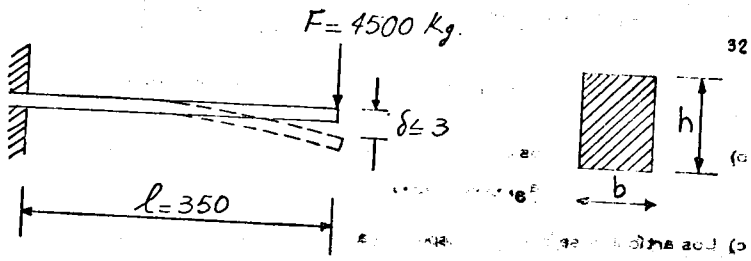
- Objetivos de la formación matemática del ingeniero
- Evolución de las herramientas para el manejo matemático de problemas
- Concepto de sistemas
- Limitaciones para el empleo del instrumental matemático
- Dimensionamiento económico de los problemas de movimiento de tierras
- Costo y valor de la información

Problema :

Se desea determinar las dimensiones de una viga de madera en voladizo de 3.50 m de longitud, sujeta a una carga en el extremo libre de 4.5 ton.

En atención a las características de trabajo se requiere un desplazamiento vertical menor de 3 cm en el extremo libre.

Se deberá especificar una sección rectangular en que la relación base/peralte sea de 1:1.5



$$\delta_{max} \geq \frac{F\ell^3}{3EI} \qquad I = \frac{bd^3}{12}$$

$$\delta_{max} \geq \frac{4F\ell^3}{Ebh^3} \qquad \frac{b}{h} = \frac{1}{1.50}\ ; \quad b = 0.67h$$

$$\delta_{max} \geq \frac{6F\ell^3}{Eh^4}$$

$$h \geq \sqrt[4]{\frac{6F\ell^3}{E\,\delta_{max}}}$$

$$f_{máx} \geq \frac{6M}{bh^2} \qquad \text{para } h \leq 40\,cm.$$

$$f_{máx} \geq \frac{9F\ell}{h^3}$$

$$h \geq \sqrt[3]{\frac{9F\ell}{f_{máx}}}$$

$$f_{max} = \frac{6M}{Kbh^2} \qquad K = 0.81\left(\frac{h^2+363}{h^2+223}\right)$$

Minimizar costo $\quad C = S \cdot \ell h b$

"Problema de Transporte"

a) Se tienen n orígenes posibles de un determinado artículo.

b) En cada uno de ellos se produce una cantidad conocida de artículos:

$$a_1, a_2, a_3, \ldots, a_i, \ldots, a_n$$

c) Los artículos se deben transportar a m diferentes destinos.

d) En cada destino se requiere una cantidad definida de tales artículos:

$$b_1, b_2, b_3, \ldots b_j, \ldots, b_m$$

e) Se conoce el costo unitario c_{ij} que resulta de obtener un artículo en cada uno de los j destinos según cada uno de sus n posibles orígenes.

El problema consiste en :

f) Determinar la cantidad X_{ij} de artículos que conviene enviar de cada uno de los orígenes i a cada uno de los destinos j, de tal manera que el costo total de transporte sea mínimo.

g) Suponiendo que existe una variación lineal de costo de producción y transporte en función del número de unidades requeridas, o sea que si el costo de producir y enviar un artículo del origen i al destino j es c_{ij} el costo de entregar X_{ij} artículo será $c_{ij}X_{ij}$

Formulación del modelo matemático

Variables x_{ij} $\quad i=1,2,\ldots\ldots n$, $j=1,2,\ldots\ldots m$. $\quad m \cdot n$ variables

Función objetivo

$$\text{Minimizar } z = \underbrace{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} c_{ij}\, x_{ij}}_{\text{costo total de transporte.}} \qquad (1)$$

Sujeta a las restricciones:

$$\underbrace{\sum_{i=1}^{n} a_i}_{\text{Total de disponibilidades}} = \underbrace{\sum_{j=1}^{m} b_j}_{\text{Total de requerimientos}} \qquad (2)$$

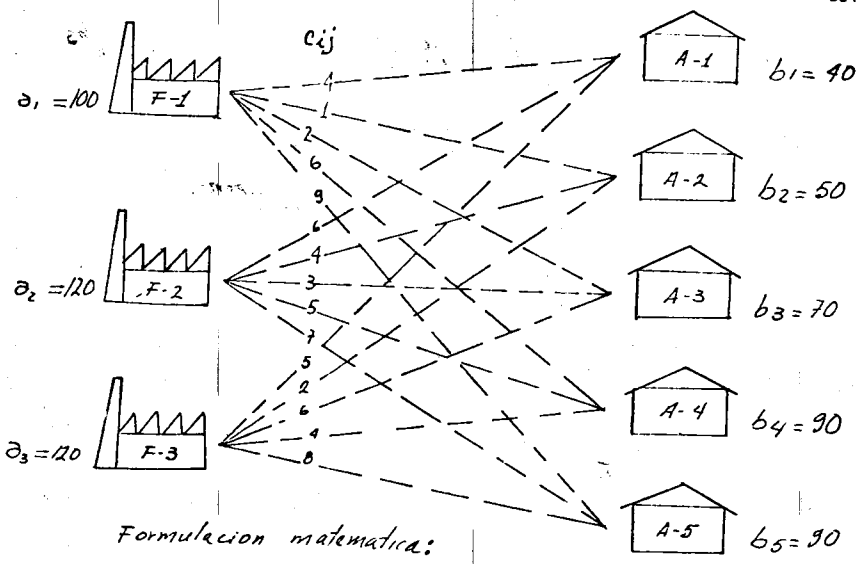
$$\underbrace{\sum_{j=1}^{m} x_{ij}}_{\text{Cant. enviada del origen } i \text{ a todos los destinos}} = \underbrace{a_i}_{\text{cant. disp. en el origen } i} \quad \text{para } i=1,2,\ldots,n \qquad (3) \text{ a } (n+2)$$

$$\underbrace{\sum_{i=1}^{n} x_{ij}}_{\text{Cant. recibida en el destino de todos los orígenes}} = \underbrace{b_j}_{\text{cant. requerida en el destino } j} \quad \text{para } j=1,2,\ldots,m \qquad (n+3) \text{ a } (n+m+2)$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad \text{para } i=1,2,\ldots,n;\ j=1,2,\ldots m \qquad (n+m+3) \text{ a } (n+m+3+m)$$

(No tiene sentido físico que las variables adquieran valores negativos).

Ejemplo:



Formulacion matematica:

(1) Minimizar: $Z = 4X_{11}+X_{12}+2X_{13}+6X_{14}+9X_{15}+6X_{21}+4X_{22}+3X_{23}+5X_{24}+7X_{25}+5X_{31}+2X_{32}+6X_{33}+4X_{34}$

Sujeta a las restricciones.

(2) $\sum_{i=1}^{n} a_i = \sum_{j=1}^{m} b_j \qquad 100+120+120 = 40+50+70+90+90 = 3$

(3) $X_{11}+X_{12}+X_{13}+X_{14}+X_{15} =$

(4) $X_{21}+X_{22}+X_{23}+X_{24}+X_{25} = 1$

(5) $X_{31}+X_{32}+X_{33}+X_{34}+X_{35} =$

(6) $X_{11} + X_{21} + X_{31} =$

(7) $X_{12} + X_{22} + X_{32} =$

(8) $X_{13} + X_{23} + X_{33} =$

(9) $X_{14} + X_{24} + X_{34} =$

(10) $X_{15} + X_{25} + X_{35} =$

Solución factible

Destinos.

Orígenes	1 (40)	2 (50)	3 (70)	4 (90)	5 (90)	
1 (100)	40 4 160	50 1 50	10 2 20	— 6 —	— 9 —	230
2 (120)	— 6 —	— 4 —	60 3 180	60 5 300	— 7 —	480
3 (120)	— 5 —	— 2 —	— 6 —	30 4 120	90 8 720	840

X_{ij}
C_{ij}
$C_{ij} X_{ij} \rightarrow \Sigma.$

Total de costo 1550

Solución óptima

Destinos

Orígenes	1 (40)	2 (50)	3 (70)	4 (90)	5 (90)	
1 (100)	40 4 160	20 1 20	40 2 80	— 6 —	— 9 —	260
2 (120)	— 6 —	— 4 —	30 3 90	— 5 —	90 7 630	720
3 (120)	— 5 —	30 2 60	— 6 —	90 4 360	— 8 —	420

Total de costo 1400

Disposicion de datos

X_{ij} C_{ij} $C_{ij} X_{ij}$

$\longrightarrow \sum_{j=1}^{5} C_{ij} X_{ij}$

En las dos últimas décadas los avances en el procesamiento electrónico de información y en la tecnología asociada al tema, han sido fundamentales para el desarrollo de nuevos procedimientos de solución de problemas en infinidad de actividades relacionadas con el trabajo intelectual, siendo la Ingeniería uno de los campos en que su influencia es de la mayor trascendencia.

Como objeto de señalar una de las innumerables formas en que la investigación de Operaciones y el Cómputo Electrónico, pueden intervenir en la consideración de decisiones de una Empresa Constructora se presenta una metodología en la selección del equipo necesario para efectuar movimientos de terracerías en la construcción de un camino.

Se pretende con ello despertar inquietudes para utilizar estas técnicas que representan ventajas económicas de fundamental importancia; las referencias bibliográficas que se citan al final del texto fueron elegidas bajo el mismo criterio.

En la presentación de esta metodología se ha seguido el siguiente esquema que consta de cuatro capítulos:

1) Se plantea formalmente el "problema de transporte" que consiste en determinar las cantidades de objetos que es necesario enviar desde cada uno de los puntos donde se obtienen o producen, hacia cada uno de los puntos donde se requieren o utilizan, de tal forma que el costo total de transporte sea el mínimo posible.

2) Se plantea el problema de la determinación de los movimientos de terracerías en la construcción de un camino en términos del problema de transporte, por lo que su solución óptima se encuentra en la solución al mencionado problema de transporte.

3) Para aclarar el procedimiento anterior se muestra un ejemplo para un tramo del camino Tijuana-Matamoros y se compara con los resultados obtenidos por los métodos tradicionales.

4) Finalmente se plantea en base a la aplicación ordenada y sistemática de la solución anterior, un procedimiento para determinar el equipo de movimientos de terracerías en la construcción de un camino de tal forma de encontrar el menor costo posible.

En el desarrollo de este artículo se ha procurado omitir notaciones y procedimientos matemáticos complicados con objeto de lograr una mayor facilidad en la comprensión del concepto que se desea exponer.

A. Problema de Transporte.

El planteamiento del problema de transporte es el siguiente:

a) Se dispone de un total de unidades de un determinado artículo localizados en n diferentes orígenes,

b) existen en cada uno de esos orígenes las siguientes cantidades de este artículo: a_1, a_2, ... a_j, a_n;

c) los artículos se enviarán a m diferentes destinos,

d) requiriéndose en cada uno de esos destinos las -- cantidades b_1, b_2, ... b_j, ... b_m;

e) además se conoce el costo unitario cij que resulta de producir y/o enviar un artículo de cada origen i a cada destino j, esto es, se conoce lo que cuesta obtener un artículo en cada uno de los m - destinos según cada uno de sus n orígenes posibles.

La solución al problema consiste en:

f) Determinar las cantidades xij de ese artículo que se deben enviar de cada uno de los orígenes i a - cada uno de los destinos.

g) De tal manera que el costo total de transporte sea mínimo, o sea, que el problema consiste en minimizar la "función objetivo":

$$Z = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} C_{ij} X_{ij}$$

sujeta esta solución a las siguientes hipótesis o - restricciones:

h) Hay una variación lineal en el costo de transporte en función del número de unidades transportadas, o sea que si el costo de enviar una unidad del origen i al destino j es cij, entonces el costo de enviar xij unidades será xij cij.

l) El total de artículos disponibles en los n orígenes debe ser igual al total de artículos requeridos en los m destinos, esto es

$$\sum_{i=1}^{n} a_i = \sum_{j=1}^{m} \quad , \text{ y en consecuencia}$$

m) La cantidad enviada desde cada origen i será igual a la cantidad a ; disponible, y la cantidad recibida en cada destino j será igual a la cantidad b, requerida.

El problema de Transporte planteado por Hitchcok (1941) e independientemente por Koopmans (1947) y resuelto por G.B. Dantzig (1947) queda enmarcado dentro de los problemas de programación lineal relativos a la distribución o uso eficiente de un conjunto de recursos limitados y relacionados entre sí, buscando generalmente maximizar los beneficios derivados de su utilización o minimizar los costos de su aprovechamiento; se caracterizan por el gran número de soluciones que satisfacen las condiciones básicas planteadas, debiéndose seleccionar entre ellas a la que, de mejor manera, satisface el objetivo deseado.

Para un problema de esta naturaleza la cantidad de soluciones posibles y la dificultad para evaluarlas en forma adecuada, impide pensar en aplicar las técnicas de programación lineal para obtener su solución, si no se cuenta con un computador electrónico que realice este trabajo; las primeras soluciones favorables para problemas de este tipo se obtuvieron en 1952 con el uso de la máquina SEAC del Nacional Bureau of Standards (E.U.A.), a partir de entonces esta técnica se ha convertido en una importante herramienta de las matemáticas modernas, aplicable a una gama amplísima de actividades y el algoritmo que la resuelve se ha programado para una gran cantidad de computadores.

B. **Movimiento de Terracerías como un Problema de Transporte.**

Analizando el problema de movimiento de terracerías se observa que puede ser planteado como "Problema de Transprte" de acuerdo con las siguientes consideraciones siguiendo cada uno de los incisos presentados en el capítulo anterior.

En efecto:

a) El artículo que va a ser transportado son m^3 de tierra que se encuentran en cada uno de los cortes del camino a construir, así como también en "todos" los posibles bancos de material con lo que se integran los n orígenes de nuestro problema

b) se conoce el volumen de m^3 disponibles tanto en cada uno de los cortes por efectuar, como en cada uno de "todos" los posibles bancos, esto es, se conocen las cantidades a_i de m^3 disponibles en cada origen i,

c) los m^3 de tierra servirán para la construcción de terraplenes, por lo que serán requeridos en cada una de la m secciones de terraplén que se presenten en el proyecto

d) se conocen las cantidades b_j de m^3 que se necesitan en cada una de las m secciones de terraplén,

e) se conoce el costo unitario c_{ij} que resulta de enviar un m^3 de tierra de cada corte i (o sección de corte) a cada una de las secciones de terraplén j y además puede evaluarse el costo de obtención y envío de un m^3 de tierra de cada banco también a cada sección de terraplén. Obsérvese que este costo está en función del equipo que pretende emplearse

en la construcción del camino y de la distancia que existe entre el punto de origen y el de destino del material; a reserva de abundar posteriormente en estos temas, para efecto de continuar la exposición supóngase que el costo de recibir un m^3 de tierra en cada sección de terraplén según cada uno de sus n posibles orígenes puede obtenerse fácil y rápidamente.

La solución de nuestro problema de movimiento de terracerías consiste entonces en:

f) determinar las cantidades x_{ij} de m^3 de tierra que hay que enviar y/o obtener de cada corte y cada banco de materia i, a cada sección de terraplén j;

g) de tal manera que el costo total de transporte sea mínimo o sea hacer mínima la función objetivo.

$$Z = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} c_{ij} x_{ij}$$

Por otra parte, se observa con ciertas tolerancias razonables y de acuerdo con las consideraciones que a continuación se indican, que nuestro problema cumple con las hipótesis y restricciones del problema de transporte, esto es:

h) dentro de las limitaciones del análisis, podemos considerar que si el costo de enviar un m^3 de tierra del origen i al destino j es c_{ij} el costo de enviar x_{ij} m^3 será c_{ij} x_{ij},

i) como el total de m^3 de tierra disponible en los cortes y en los bancos siempre será superior a los m^3 de tierra requeridos para la formación de terraplenes, se crea un terraplén ficticio para lograr que

$$\sum_{i=1}^{n} a_i = \sum_{j=1}^{m} b_j$$

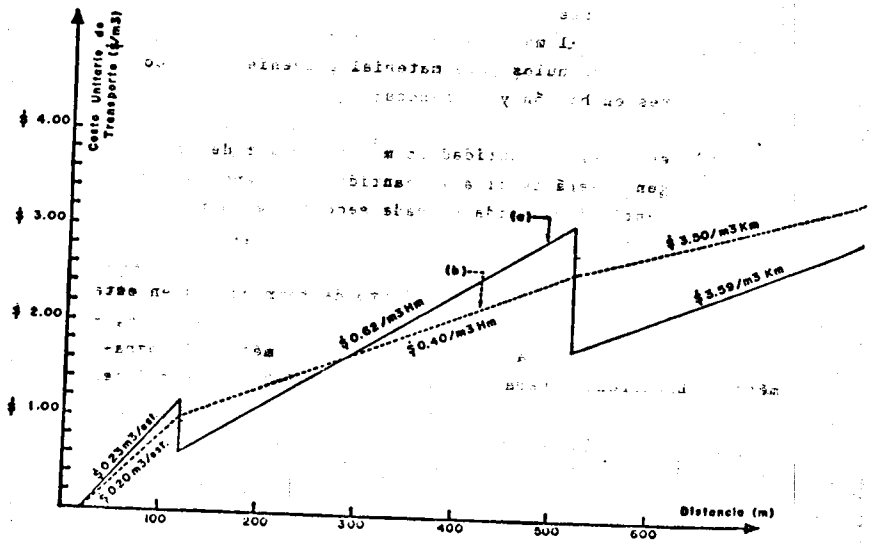
asignándole costos nulos de transporte a ese -- terraplén con lo cual se incluye en la solución la posibilidad de no utilizar material proveniente de los bancos a menos de que sea conveniente, puesto que si la solución indica el envío de material de bancos a este terraplén ficticio, ello implica que esos volúmenes no son utilizados. Para cubrir la posbilidad de desperdiciar material de corte y compensar esos volúmenes con material de banco, pueden crearse tantos terraplenes ficticios como desperdicios posibles existan, cumpliendo siempre con la restricción de igualdad - entre oferta y demanda y asignando los costos de transporte por acarreo de desperdicio que procedan, si el material proviene de cortes en cajón, y costos nulos para material proveniente de cortes en balcón y de bancos;

m) entonces la cantidad de m^3 por enviar de cada origen i será igual a la cantidad a_i disponible y la cantidad recibida en cada sección de terraplén j será igual a la cantidad requerida b_j.

El planteamiento del movimiento de terracerías en esta forma parece ser bastante laborioso y tal vez incosteable, - pero si enmarcamos esta solución dentro del método Fotogramétrico Electrónico para proyecto de Vías Terrestres existen

te en la Secretaría de Obras Públicas y también desarrollado en diversas empresas consultoras, observamos que la mayor parte de los datos son ya obtenidos a través de procesos de cómputo electrónico y que quedan almacenados en memorias auxiliares (discos o cintas magnéticas) para su procesamiento posterior con los datos complementarios proporcionados por el proyectista de vías terrestres o el contratista de construcción. En realidad la única información que necesita proporcionarse, es la relativa a los costos de transporte tal como se indica en la Fig. No. 1 y la ubicación y el volumen disponible de todos los posibles bancos de material así como también la ubicación y el volumen máximo depositable de las zonas de posible desperdicio; datos que en cualquier caso tanto el proyectista como el constructor deben conocer para orientar en forma adecuada sus decisiones.

Fig. 1 Costos Unitarios de Transporte de Terracerías.



C. Ejemplo.

Para ilustrar el procedimiento descrito se desarrolla a continuación un ejemplo tomado del proyecto del camino Tijuana-Matamoros, tramo El Porvenir-Ojinaga, del Km. 28+800 al -- Km. 29+640.

En la Fig. No. 2 se muestra el diagrama de curva masa que contiene además los movimientos definidos por el proyectista así como los volúmenes de corte y terraplén. Como complemento a lo anterior el proyectista indica que se podría - disponer de material de un banco ubicado a 500 m. der. de la estación 33+000. Los volúmenes disponibles en los cortes y en el banco, así como los requeridos para terraplén se muestran en la tabla No. 1.

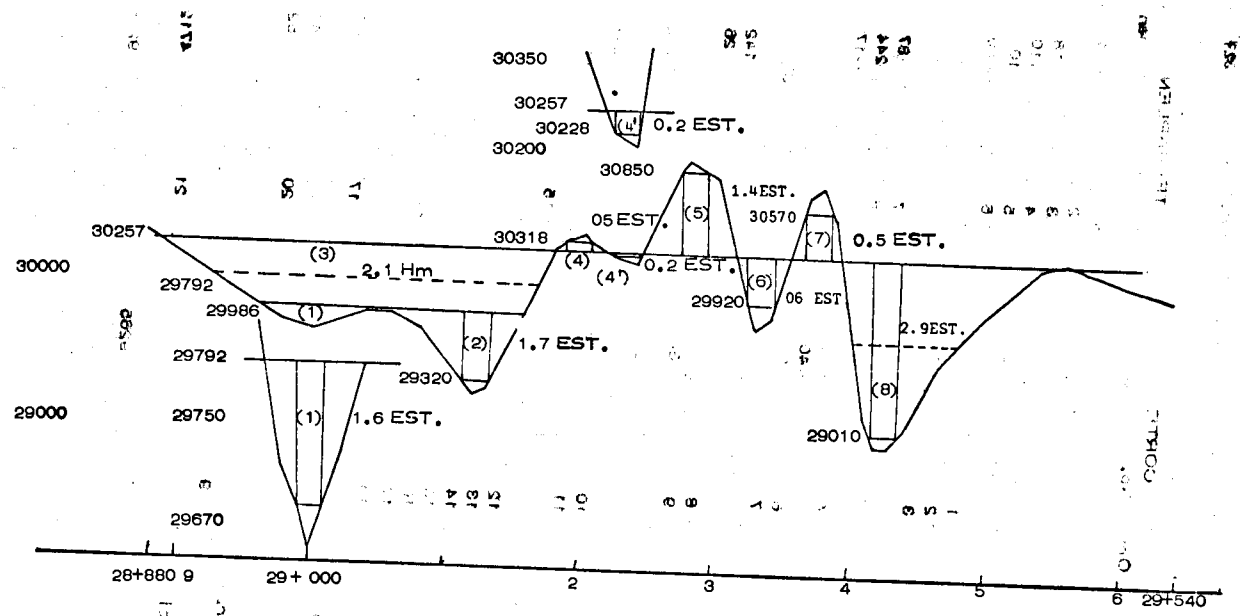
Se observa que arbitrariamente cada estación de corte ha sido considerada como un origen y cada estación de terraplén como un destino; mientras mayor sea el número de cortes y terraplenes, mayor será la precisión de los resultados, -- pero también será mayor el costo de su procesamiento; dependiendo del computador disponible para efectuar el proceso y de los costos asociados a su operación, podrá definirse fá-- cilmente el número en el que habrá de dividirse cada corte y cada terraplén para obtener en función de la precisión recomendable la solución al problema de movimientos. Para dimen-- sionar esta idea cabe aclarar que en un problema de transporte con 75 orígenes y 75 destinos se resuelve en un computador de "mediana" capacidad en un tiempo no mayor de 15 minutos y que cubre con buena aproximación un tramo de 5 Km. de longi-- tud.

Se observa por otra parte en la tabla No. 1 que se ha creado un terraplén ficticio de 4712 m^3 de capacidad requerida para igualar la oferta y la demanda.

Los costos de transporte proporcionados por el proyectista son indicados en la Fig. No. 1 (a) correspondientes a los precios unitarios según las Especificaciones de la Secretaría de Obras Públicas. Estos costos fueron modificados según se indica en la Fig. No. 1 (b) para ser congruentes con el proyecto convencional, toda vez que los precios S.O.P., simplificados para su fácil aplicación y que consideran implícitamente el procedimiento tradicional para determinar movimientos de terracerías, ocasionarían soluciones incorrectas ya que, como puede deducirse de la gráfica No. 1 (a) el costo de transporte a una distancia de 130 m (por ejemplo) es menor que el costo de transporte a una distancia de 90 m, a lo cual es cierto solo bajo determinadas condiciones de utilización de equipo. De estos costos unitarios de transporte se obtiene la matriz de costos C que se muestra en la tabla NO. 2; obsérvese que los costos de transporte asociados al terraplén ficticio son nulos.

Con estos datos se procedió a su procesamiento en un computador CDC 3300 mediante la programación del algoritmo "de la esquina noroeste" de Dantsig obteniéndose los resultados que se muestran en la tabla No. 3 y que representan gráficamente en la Fig. No. 3.

Se observa de estos resultados que las diferencias son poco significativas; al respecto es necesario considerar que los volúmenes de movimientos de terracerías son mucho mayores que las del ejemplo y que una comparación realmente de validez implicaría la realización de un estudio estadístico de cierta importancia para determinar cual es el porcentaje promedio de "deficiencia" del proyectista con respecto al óptimo.



CURVA MASA Y MOVIMIENTO DE TERRACERIAS (CONVENCIONAL)

VOLUMEN DE TERRAPLEN, CORTE Y BANCOS

UBICACION		CORTE Origen No.	CORTE Volumen	TERRAPLEN Destino No.	TERRAPLEN Volumen
28+880	a 28+900				
28+900	a 28+920			1	124
920	940			2	154
940	960			3	118
960	980			4	110
28+980	29+000			5	102
29+000	29+020	1	57	6	50
020	040	2	70		
040	060	3	2		
060	080				
28+080	29+100			7	87
29+100	29+120			8	244
120	140	4	203	9	217
140	160	5	406		
160	180	6	392		
29+180	29+200	7	126		
29+200	29+220				
220	240			10	142
240	260	8	386	11	26
260	280	9	344		
29+280	29+300				
29+300	29+320			12	122
320	340			13	780
340	360	10	580	14	217
360	380	11	359		
29+380	29+400				
29+400	29+420			15	985
420	490	12	161	16	849
440	460	13	367		
460	480	14	252		
29+480	29+500	15	201		
29+500	29+520	16	189		
520	540	17	136		
540	560	18	34		
560	580				
29+580	29+600			17	67
29+600	29+620			18	60
29+620	29+640			19	47
				20	52
Bcu a 500 m der. de est. 33 + 000		19	5000		
Terraplén ficticio				21	4712
Sumas iguales			9265		9265

FUNCION OBJETIVO 433626

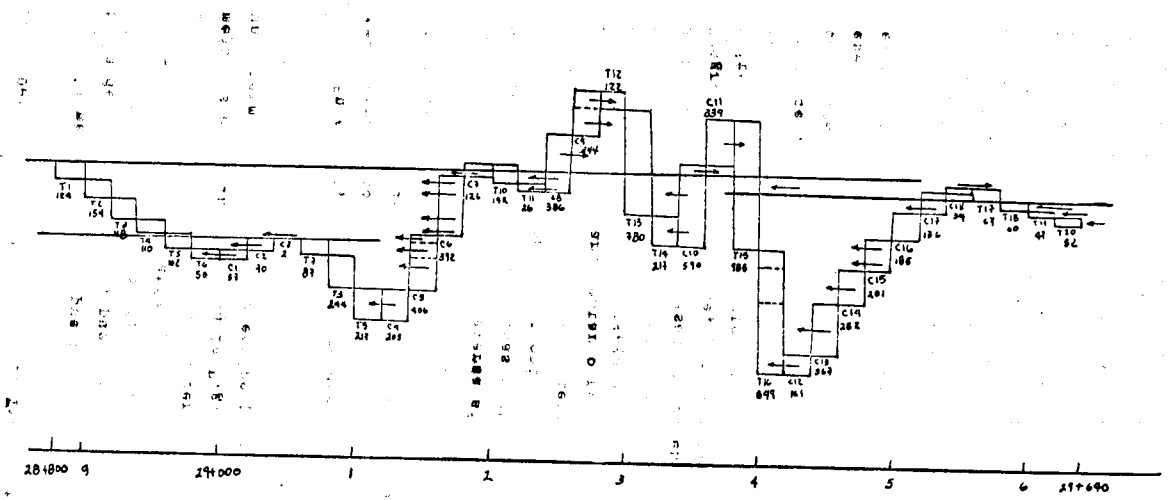
COSTOS UNITARIOS DE TRANSPORTE[32]

Terraplén/Corte		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	124	100	108	116	148	156	164	172	196	204	236	244	267	274	281	288	295	302	309	1081
2	154	80	100	108	140	148	156	164	188	196	228	236	260	267	274	281	288	295	302	1074
3	118	60	80	100	132	140	148	156	180	188	220	228	252	260	267	274	281	286	295	1067
4	110	40	60	80	124	132	140	148	172	180	212	220	244	252	260	267	274	281	288	1060
5	102	20	40	60	116	124	132	140	164	172	204	212	236	244	252	260	267	274	281	1053
6	50	0	20	40	108	116	124	132	156	164	196	204	228	236	244	252	260	267	274	1046
7	87	40	20	0	40	60	80	100	124	132	164	172	196	204	212	220	228	236	244	1018
8	244	60	40	20	20	39	60	80	116	124	156	164	188	196	204	212	220	228	236	1011
9	217	80	60	40	0	20	40	60	108	116	148	156	180	188	196	204	212	220	228	1004
10	142	132	124	116	60	40	20	0	20	40	108	116	140	148	156	164	172	180	188	969
11	26	140	132	124	80	60	40	20	0	20	100	108	132	140	148	156	164	172	180	962
12	122	164	156	148	116	108	100	80	20	0	40	60	108	116	124	132	140	148	156	941
13	780	172	164	156	124	116	108	100	39	20	20	40	100	108	116	124	132	140	148	934
14	217	180	172	164	132	124	116	108	60	40	0	20	80	100	108	116	124	132	140	927
15	985	204	196	188	156	148	140	132	108	100	20	0	20	40	60	80	100	108	116	906
16	849	212	204	196	164	156	148	140	116	108	40	20	0	19	40	60	80	100	108	899
17	67	274	267	260	228	220	212	204	180	172	140	132	108	100	80	60	40	20	0	843
18	60	281	274	267	236	228	220	212	188	180	148	140	116	108	100	80	60	40	20	836
19	47	288	281	274	244	236	228	220	196	188	156	148	124	116	108	100	80	60	40	829
20	52	295	288	281	252	244	236	228	204	196	164	156	132	124	116	108	100	80	60	822
21	4712	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	9265	57	70	2	203	406	392	126	386	344	580	359	161	367	252	201	189	136	34	5000

FUNCION OBJETIVO 433626

SOLUCION AL PROBLEMA DE TRANSPORTE

Terraplén/Corte		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	124	0	0	0	0	0	48	76	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	154	0	0	0	0	0	154	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	118	0	0	0	0	0	118	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	110	0	0	0	0	38	72	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	102	7	70	2	0	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	50	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	87	0	0	0	87	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	244	0	0	0	0	244	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	217	0	0	0	116	101	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	142	0	0	0	0	0	0	50	92	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	26	0	0	0	0	0	0	0	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	122	0	0	0	0	0	0	0	0	122	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	780	0	0	0	0	0	0	0	268	222	290	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	217	0	0	0	0	0	0	0	0	0	217	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	985	0	0	0	0	0	0	0	0	0	73	359	161	0	160	0	0	103	0	129
16	849	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	367	92	201	189	0	0	0
17	67	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33	34	0
18	60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	60
19	47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	47
20	52	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	52
21	4712	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4712
	9265	57	70	2	203	406	392	126	386	344	580	359	161	367	252	201	189	136	34	5000



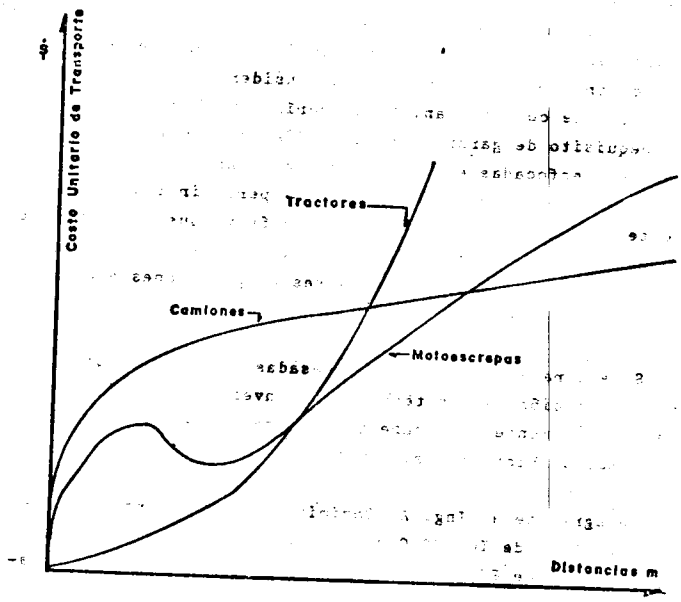
Compensación de terracerías por medio del problema de transporte

D. Determinación del Equipo de Transporte.

El método descrito puede ser importante para el proyectista de Vías Terrestres, pues le permite encontrar la solución óptima en base a los datos de que dispone, pero puede ser mucho más significativo para el constructor si procede iterativamente proporcionando diferentes datos de costos semejantes a los indicados en la Fig. No. 4 representativos de un determinado conjunto de equipo para realizar el movimiento de terracerías.

En efecto, en un momento dado y en función de un contrato específico de construcción, un conjunto de cargadores y camiones, pudiera ser más conveniente que un conjunto de motoescrepas y los costos para el primer caso son menores en distancias relativamente grandes que los correspondientes para el segundo caso y viceversa si las distancias son menores. Esto, aunado a las muchas combinaciones que pueden formarse de acuerdo con la disponibilidad de maquinaria, los criterios de depreciación establecidos en la empresa, la alternativa de comprar, rentar o rentar con opción a compra, integra nuevamente una infinidad de posibles soluciones de las que hay que encontrar la mejor. Para ello podría plantearse un método de selección basado quizá en los principios de la Programación Dinámica que, por sencillez de exposición, se omite, pero que para efectos de comprensión del concepto basta con mencionar la posibilidad de comparar el costo que resulta de utilizar diversos equipos de construcción, encontrándose para cada conjunto de equipo la mejor forma de efectuar ese movimiento, que lógicamente será distinto al propuesto en el proyecto.

Fig. 4.- Costos Unitarios del Movimiento de Terracerías para Diversos Equipos de Construcción.



A este respecto cabe mencionar los comentarios del Ing. Fernando Espinosa (4) en cuanto a la conveniencia de la Secretaría de Obras Públicas para no presentar en los proyectos de Caminos y Ferrocarriles los procedimientos de construcción para movimientos de terracerías, dejando en libertad al contratista de someter a la consideración de la S.O.P. los que más le convinieran, y que serían aprobadas con el único requisito de garantizar la calidad de los materiales. Estas ideas enfocadas en las Especificaciones de Construcción por unidad de obra terminada, pueden repercutir trascendentalmente en los concursos de construcción ya que las empresas que cuenten con la tecnología necesaria estarán en condiciones ventajosas para presentar mejores proposiciones económicas.

Se espera que las ideas expresadas puedan inducir una mayor utilización de las técnicas de investigación de operaciones y finalmente solo cabe una invitación a consultar las referencias bilbiográficas.

Se agradece al Ing. A. Casimiro Z., al Departamento de Vías Terrestres de ICATEC Consultores, así como al Ing. Dagoberto Flores de PSI la colaboración prestada en la elaboración de este artículo.

SIMULACION

Otra clasificación de modelos

determinísticos — estático
estocásticos — dinámic

- Concepto de Simulación
- Metodología

Definición de objetivos
Obtención y revisión de datos, análisis del problema
Diseño del experimento
Construcción del modelo
Validación (calibración del modelo)
Simulación
Análisis e interpretación de resultados

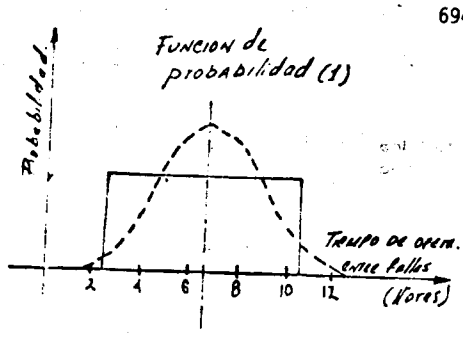
Problema de selección de equipo

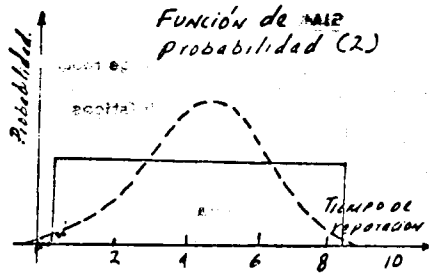
Se necesita efectuar un movimiento de tierras en un volumen de 400,000 m^3 de un banco a un tiradero; la longitud de acarreo es de 1 200 m.

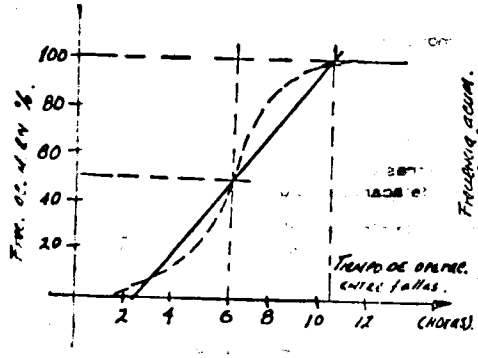
Se ha analizado el problema y se recomienda efectuar el movimiento utilizando un cargador Michigan de 3 1/2 yd^3 y 8 camiones fleteros, cuando se presenta una opción interesante que conviene analizar.

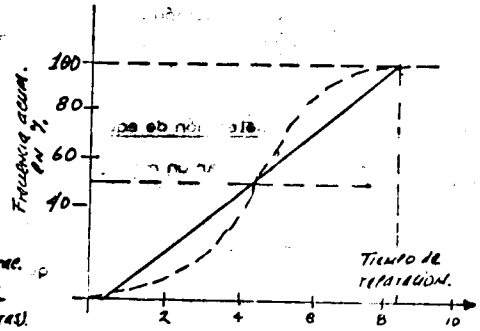
Características de la opción.

- Cargadores de la misa capacidad a un costo horario efectivo de ----- $ 160.00/hr vs $ 200.00/hora del primero.
- Los cargadores son defectuosos; el tiempo promedio entre fallas es de 6.5 horas según función de probabilidad (1) y el tiempo de compostura promedio es de 4.5 horas según función de probabilidad (2). Esta información se garantiza ampliamente.
- En compensación, el fabricante ofrece enviar sin costo para el constructor, otro cargador igual por el cual sólo se pagará el costo horario efectivo, de manera que cuando uno esté descompuesto entra el otro en operación.
- El fabricante también ofrece proporcionar a un mecánico y cubrir las reparaciones que surjan durante el desarrollo del trabajo.
- El constructor tiene la obligación con los fleteros de pagar $ 60.00/hora en caso de descompostura del cargador, en compensación por tiempo de espera.









1º	2º	3º	OPERACION	REPARACION
A	A	A	3	1
		S	4	2
	S	A	5	3
		S	6	4
S	A	A	7	5
		S	8	6
	S	A	9	7
		S	10	8

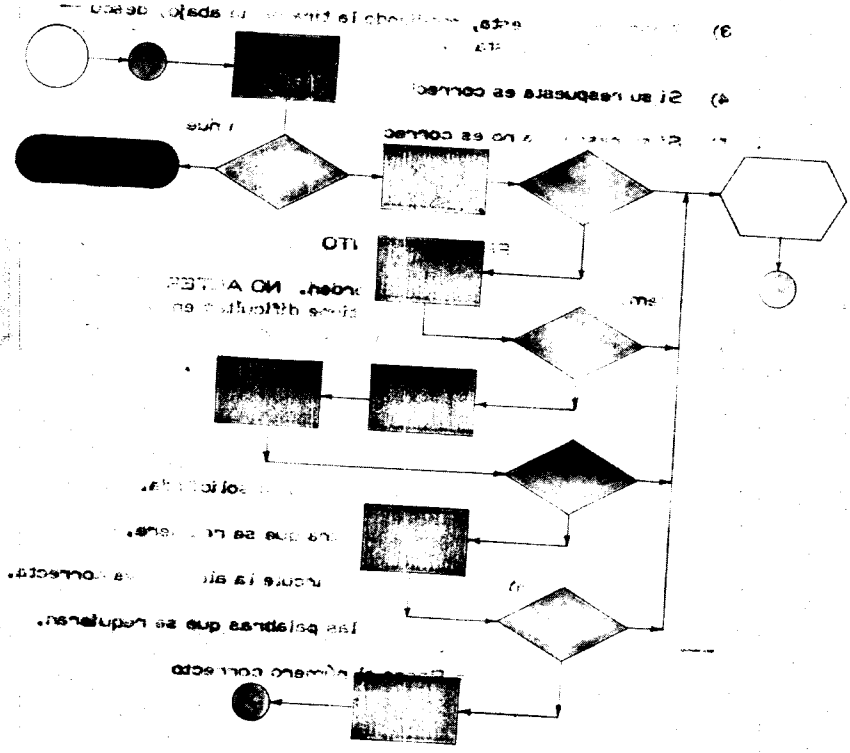
SIMULACION

CARGADOR	EN OPERACION			EN REPARACION			ESPERE	ESPERA CAMIONES			
	INICIO	TIEMPO OPERAC.	SUSP.	INICIO	TIEMPO REPAR.	TERM.		INICIO	TERM.	TIEMPO ESPER.	COSTO
A											
B											
A											
B											
A											
B											
A											
B											
A											
B											
A											
B											
A											
B											
A											
B											

Bibliografía

1. Invitación a la Investigación de Operaciones - A. Koufmann Arnold.
2. Principles of Operations Research - Harrey M. Wagner Prentice-Hall, Inc.
3. New Power for Management (Computer Systems and Management Science) - David B. Hertz - Mc Graw Hill.
4. Introduction to Operations Research - C.W. Churchman, R.L. Ackuft, E.L. Arnoff - John Wiley
5. El Desafío Amencono - J.J. Servan Schreiber - Plaza 8c Jams S.A.
6. Las Técnicas Modernas de Fotogrametría y Cómputo Electrónico Aplicadas al Diseño de Carreteras en México - Gerardo Cruickshank García - Revista Fotogrametría, Fotointerpretación y Geodesia No. 2, Nov-Dic 1970
7. Movimiento de Terracerías y Costo Mínimo - José Piña G.-Revista Ingeniería Civil

CONTROL



INSTRUCCIONES

La primera parte de estos apuntes utiliza el sistema denominado EDUCACION PROGRAMADA. Rogamos al lector atender las siguientes instrucciones para obtener el mejor aprovechamiento :

1) Cubriendo la columna de la derecha con la tira que se anexa, lea cada uno de los temas.

2) Escriba la respuesta en el espacio marcado o en una hoja por separado, cuando así se requiera. (Es esencial que no se concrete usted a pensar la respuesta, DEBE ESCRIBIRLA).

3) Revise su respuesta, moviendo la tira hacia abajo, descubriendo la respuesta correcta en la columna de la derecha.

4) Si su respuesta es correcta pase al siguiente tema.

5) Si su respuesta no es correcta, lea el tema nuevamente y trate de comprender por qué está usted equivocado.

PROCEDIMIENTO

Cada tema deberá ser resuelto en orden. NO ALTERE EL ORDEN, a menos que así se le indique. Si tiene dificultad en un determinado punto debe regresar al lugar donde este punto apareció por primera vez y revisar los temas relacionados con él.

CONVENCIONES

_____ = Escriba la palabra solicitada.

_____ = Anote la letra que se requiere.

...(si/no) = Subraye o circule la alternativa correcta.

_____ = Escriba las palabras que se requieran.

( ) = Ponga el número correcto

EL CONTROL

ING. JOSE CARREÑO ROMANI

1.- GENERALIDADES.

1.- Control es el proceso que determina que también se está llevando a cabo una actividad valorizándola y si es necesario aplicando las medidas correctivas apropiadas, de manera que la ejecución esté de acuerdo con lo planeado. (sin respuesta)

2.- La comparación entre lo planeado y lo ejecutado es lo que constituye la base del _____ y la determinación del estándar o patrón que es la esencia de dicha comparación, es el primer paso a seguir. control

3.- El control es pues, un _____ que requiere de la determinación del _____, en primer lugar y después de la comparación el estándar planeado y el trabajo ejecutado y por último el de llevar a cabo la acción correctiva en caso necesario. proceso, estándar

4.- La identificación de los objetivos que se realiza en la función de la _____ norma el primer paso del control que consiste en la _____ de los _____. planeación, determinación, estándares

5.- Entonces la definición de la cantidad de trabajo a realizar en una jornada, es lo que constituye la determinación de un _____ para la valuación del desempeño del trabajador. La definición de un modelo de comportamiento o acción es lo que constituye un estándar (sí/no) ____. estándar, sí

6.- La valorización de lo ejecutado y lo planeado, sería una etapa de la comparación entre el estándar y lo que se está realizando. En caso de que exista una diferencia entre lo _____ y lo _____ es cuando se debe tomar la _____. planeado, ejecutado, acción correctiva

7.- Principio de Control.- Para que un _____ sea efectivo debe cubrir y regular el funcionamiento planeado. Es decir se debe buscar y lograr que la actividad se esté realizando de acuerdo con lo _____. control, planeado

8.- Se analizarán en seguida los diferentes tipos de modelos, patrones o como los hemos llamado _____ que son más usados: Cantidad, Calidad, Uso del tiempo y Costo.

estándares

9.- La determinación del volumen medio esperado de producción, de acuerdo a la actuación de los empleados más eficientes es lo que define un estándar de _____.

cantidad

10.- El especificar las sumas de dinero a gastar en la adquisición de materias primas o publicidad es lo que implica un _____ _____.

estándar de costo

11.- El establecimiento de un programa a seguir en la realización de ciertas actividades constituye la implantación de un estándar de _____ _____.

uso del tiempo

12.- Por último, el definir las tolerancias que se pueden especificar en la realización de las actividades que permiten lograr los objetivos organizacionales es lo que define un estándar de ___ _____.

calidad

13.- Para poder comparar los resultados obtenidos se cuenta con los estándares de _____, _____, _____ y _____ que nos indican si podremos o no lograr, por ese medio, los _____ de la empresa.

cantidad, calidad, uso del tiempo, costo

objetivos

14.- El establecimiento de puntos estrátegicos de control nos permite el lograr una mejor ___ _____ entre el estándar definido y lo que se está realizando. Cuando surgen diferencias en la comparación se dice que existe una excepción.

comparación

15.- El control administrativo es más fácil concentrando la atención sobre las excepciones o variaciones entre lo planeado y lo _____ _____ es lo que nos dice el Principio de Excepción. Se puede decir que donde el Principio de _____ es válido, debemos colocar un punto _____ de control.

ejecutado o realizado

excepción

estratégico

16.- Lo anterior significa que el esfuerzo control está dirigido a los lugares donde una _____ tiene lugar, es decir en el punto donde lo realizado no se conforma con el _____ o patrón definido.

excepción

estándar

17.- En los sitios de excepción es donde se debe colocar un _____ de control y donde se debe aplicar el tercer paso del proceso control, es decir la toma de la acción _____.

punto estratégico

correctiva

18.- La determinación de los sitios donde existe una _____ es básica para lograr un buen control, ya que el incluir todas las facetas de una empresa en él, consume demasiado tiempo y esfuerzo, por lo que resulta muy costoso.

excepción

19.- El concentrar el control en _____ estratégicos ahorra tiempo y esfuerzo y es una práctica muy unida al Principio de _____. Cuando al comparar estándares y funcionamiento no existe ninguna desviación o _____ el control de esa actividad pasa a segundo término y solo requiere de revisiones periódicas.

puntos

excepción

excepción

20.- En resumen: La _____ surge cuando al comparar el funcionamiento o resultados obtenidos y los _____ existe alguna diferencia y es el sitio donde debemos establecer un _____ de control y llevar a cabo la toma de la _____ correctiva.

excepción

estándares

punto estratégico

acción

DISPOSITIVOS DE CONTROL.

21.- Una vez establecidos los estándares y que se han medido y comparado éstos con los resultados para poder llevar a cabo la acción _____ se utilizan varios _____ de control que son :

correctiva

dispositivos

- Presupuesto
- Informes estadísticos de control
- Análisis del punto no pérdida-no ganancia
- Reportes especiales de control
- Auditoría interna

22.- El presupuesto es el _____de control que se utiliza con más frecuencia. Cuando el presupuesto sirve para corregir y revisar el trabajo que se está ejecutando forma parte del proceso de_____mientras que su determinación como recurso para el logro de objetivos lo hace parte del proceso de la función - _____.

dispositivo

control

planeación

23.- El presupuesto entonces es de gran importancia como dispositivo de_____y como parte integrante del proceso de la_____ _____. La definición del estándar costo es base común para coordinar las actividades de la empresa y forma parte del dispositivo_____ _____.

control

planeación

presupuesto

24.- El dispositivo que se basa en la determinación de los costos, es el de_____. Pero el dar importancia a la reducción de costos solamente, puede tener como consecuencia - que esto afecte al estándar (cantidad/calidad/uso del tiempo)_____.

presupuesto

calidad

25.- El segundo dispositivo de control consiste en la elaboración de reportes periódicos de las actividades realizadas, con el fin de estudiar la historia de la marcha de la empresa y es lo que implican los_____.

informes estadísticos

26.- El hecho de que los informes_____ _____ de control sirvan de base para que se les compare con otros informes previos, significa que es importante que se elaboren en forma - (continua/no continua)_____.

estadísticos

continua

27.- El análisis del punto no pérdida no ganancia es otro de los_____ que más se usa. El uso de gráficas que muestran el porcentaje de utilización de una planta contra ingresos y gastos pueden utilizarse para el análisis del punto_____ _____.

dispositivos de control

no pérdida - no ganancia

28.- La determinación de las utilidades o pérdidas de la empresa, es otro ejemplo de lo que se puede lograr al utilizar el dispositivo de_____ _____ _____

análisis del - punto no pérdida no ganancia

29.- Los reportes especiales de control son el cuarto dispositivo de _____. Estos los que investigan casos particulares en un tiempo y lugar definido. son

control, reportes especiales

30.- De acuerdo a lo anterior estos reportes se realizan en forma (continua/no continua) _____ y por el hecho de referirse a situaciones particulares donde se presume existe alguna desviación, constituyen una aplicación directa del Principio de _____.

no continua

excepción

31.- Cuando se realizan investigaciones periódicas, sobre actividades generales se está utilizando el dispositivo de _____ de control. En cambio investigaciones acerca de los procedimientos, funcionamiento de un área específica de trabajo se usan para elaborar _____.

informes estadísticos

reportes especiales

32.- El último dispositivo de control mencionado es el de la _____ interna. Así por ejemplo cuando la central de adiestramiento del personal revisa las operaciones de las unidades subsidiarias se está llevando a cabo una _____.

auditoría

auditoría interna

33.- Los cinco _____ son: presupuesto, informes estadísticos de control, análisis del punto no pérdida-no ganancia, reportes especiales de control y auditoría interna.

dispositivos de control

34.- Los dos dispositivos que tienen que ver con los análisis monetarios, costos y flujo de fondos son: _____ y el _____.

presupuesto, análisis del punto no pérdida-no ganancia

35.- El dispositivo que se elabora en forma no continua y que está relacionado con el Principio de Excepción es el de _____ de control.

reportes especiales

36.- Los dispositivos que se realizan en áreas extensas y en forma más o menos periódica son: la _____ y los _____ de control.

auditoría interna, informes estadís

37.- Para que en toda empresa no se pierda la continuidad en el flujo de las actividades es necesario que se utilicen como forma de control, los _____ antes mencionados. **dispositivos**

2.- SISTEMAS DE CONTROL Y CONTROL DE LA ACTUACION HUMANA

38.- Los sistemas de control son aquellos que se utilizan para determinar si los objetivos y metas de la organización definidos en la función _____ se están ejecutando correctamente. Dichos sistemas se auxilian de los _____ de control para cumplir su cometido. **planeación** **dispositivos**

39.- El control centralizado es el _____ de control que se lleva a cabo en áreas específicas de una empresa. Así el control de presupuestos departamentales a cargo del staff de finanzas es lo que constituiría un _____. **sistema** **control centralizado.**

40.- El control personal es el que incluye el chequeo y correcciones que realiza un supervisor a un trabajador o grupo de ellos. Así el sistema de control que se realiza en áreas más específicas y es de primera línea primordialmente es el de control _____. **personal**

41.- Los sistemas de _____ y control _____ son los que se deben ejercer de acuerdo a las teorías clásicas de la Administración. Es lógico pensar que los datos así obtenidos fluyen hasta (los niveles superiores/los niveles más bajos) _____. **control centralizado** **personal** **los niveles superiores**

42.- El tercer sistema es el auto-control. El individuo que instituye cambios en sus propios métodos de trabajo con el fin de lograr mayor éxito está practicando el _____. **auto-control**

43.- La supervisión realizada por los niveles altos de la empresa sobre áreas extensas de trabajo es lo que implica un _____. El perfeccionamiento del individuo debido a un supervisor que checa su trabajo constituye la meta a alcanzar del _____. El deseo de superación personal, la automotivación y la iniciativa del individuo para ir perfeccionando sus métodos de trabajo son consecuencia del _____.

control centralizado

control personal

auto-control

44.- Desde el punto de vista de la Teoría y (unidad anterior) el sistema de control mejor es el _____. Según la Teoría X que establece que el hombre es incapaz de lograr nada por sí mismo, sería necesario el uso de los controles _____ y _____.

auto-control

centralizado

personal

45.- Porque fomenta el sentido de responsabilidad y brinda una cierta libertad en la elección de los métodos de trabajo y estrategias a seguir el sistema de control ideal sería el _____.

auto-control

CONSECUENCIA DE LA APLICACION DE LOS SISTEMAS DE CONTROL

46.- El éxito de los _____ de control se basa, en que sean aceptados por los individuos a quienes se aplica. Por desgracia los estudios del comportamiento humano han demostrado que el hombre generalmente (acepta/rechaza), _____ los sistemas de control.

sistemas

rechaza

47.- Los sistemas de control producen en el hombre un rechazo que se traduce en un incumplimiento del deber. El _____ o resistencia a dichos sistemas se debe generalmente a las siguientes causas:

1) El control tiende a romper la imagen propia de la persona.

2) El no aceptar los objetivos de la empresa.

3) La creencia de que los estándares exigidos son demasiado altos.

rechazo

4) No gustarle que se asigne el control a determinados grupos de la organización.

48.- El hecho de que la mayoría de los reportes o informes de control, acusan sólo las deficiencias en la actuación de la persona, hacen que sean (aceptados/rechazados)_____ ya que tienden a _____la imagen de la propia persona. — rechazados romper

49.- Ahora suponiendo que el individuo acepta el control como un medio para corregir sus deficiencias es necesario, además, que los objetivos de los sistemas de control le hagan sentir que valen la pena. — (sin respuesta)

50.- Así otra de las razones por las que se rechazan los sistemas de control es porque existe incompatibilidad entre los_____ de la persona y los de la organización. — objetivos

51.- Si un empleado siente que lo que le están exigiendo es demasiado para sus aptitudes o habilidades, puede deberse a que los_____ _____son muy altos y por ello (admite/no admite)_____que se le controle. — estándares — no admite

52.- Por ejemplo la fijación de volúmenes de venta a un vendedor basados en su desempeño anterior es más fácilmente (aceptada/rechazada) _____ ___que si se aplica un volumen estándar sin tener en cuenta la experiencia. — aceptada

53.- Se establecio que un individuo rechaza los_____de control cuando no le gusta, que para tal efecto, hayan asignado a un determinado_____. Es de esperarse que un control ejercido por los mismos compañeros se (acepta/rechaza)_____ en tanto que un control proveniente de un staff de "afuera" sea aceptado/rechazado)_____ _____. — sistemas — grupo — acepta — rechazado

54.- Se han visto hasta ahora, las razones por las que se_____un sistema de control, que trae como consecuencia un incumplimiento del deber. Un individuo no cumple con su_____ante la percepción del peligro. — rechaza — deber

55.- Cuando aquellos a quienes se aplica un sistema de control sienten que éste constituye una amenaza para ellos, se dice que hay_____ _____. — percepción del peligro

56.- La percepción del_____ nace cuando se insiste en el castigo en vez de la ayuda y del apoyo para alcanzar las metas y/o los_____ _____cuando existe falta de confianza en las relaciones entre superior y subordinado, personal staff y de línea, etc. — peligro / objetivos

57.- Las amenazas y castigos, así como la falta de confianza o comunicación entre los jefes y los _____es lo que hace que aparezca la_____ _____y con ello la falta de_____ _____del deber. — subordinados / percepción del peligro / cumplimiento

58.- Se puede concluir que los sistemas de control tienden a provocar y a acentuar la conducta que tratan de evitar que es la falta de_____ _____ la razón de ello es que las presiones para cumplir con el deber en una atmósfera de falta de ----- _____en las relaciones y de castigos hacen percibir el_____. — cumplimiento del deber / confianza / peligro

59.- Desgraciadamente la ausencia del peligro no garantiza el cumplimiento del_____. El cumplimiento del deber puede lograrse con sentido de dedicación a la causa. — deber

60.- Como ya vimos el objeto de todo control es lograr la determinación de un_____ o patrón para evaluar el trabajo. Entonces el éxito del control consiste en la determinación del nivel del estándar apropiado, ni muy alto porque puede ser inalcanzable y por ello_____ ni tan bajo que no se logran las metas y los ---- _____ organizacionales. — estándar / rechazados / objetivos

61.- Sin embargo la reacción favorable del individuo no estará determinada por la meta-objetivo en sí sino por la percepción que de ella tenga de acuerdo a sus sentimientos, necesidades y actitudes de ahí que el estudio de las Ciencias del _____humano son básicas en la administración. — comportamiento

62.- El cumplimiento del deber, según se dijo en el cuadro 59, se logra con sentido de _____ a la causa y ello se logra cuando el individuo logre la _____ de las metas u objetivos.

dedicación

percepcion

63.- Mayor será la _____ a la causa cuando más compatibles sean las _____ u _____ de la empresa con los sentimientos, inquietudes, aspiraciones y necesidades del hombre que en ella trabaja.

dedicación
metas
objetivos

64.- Teniendo en mente estas ideas, se puede entrar al estudio de lo que está constituyendo el sistema de control moderno y que se basa en lograr una mayor _____ a alcanzar las metas y objetivos de la empresa. A este sistema se le conoce por sistema orgánico de control.

dedicación

65.- El sistema _____ de control viene siendo la forma de promover una mayor _____ a la causa de la empresa basado en la idea de que imponiendo a los demás determinados objetivos y normas atractivas se logra su aceptación.

orgánico

dedicación

66.- El establecimiento de los _____ y las _____ debe hacerse en base a una exploración conjunta y abierta de la realidad. Así la exposición y discusión de los criterios de la empresa para competir con éxito en cualquier ocasión son la base para el _____ de los objetivos y las normas.

objetivos
normas

establecimiento.

67.- Esto puede parecer engorroso y lento, pero se basan en la convicción de que el tiempo empleado en lograr la identificación de los objetivos, actividad propia de la función _____ estará compensado de sobra con el tiempo que se ahorrará en la solución de problemas posteriores.

planeación

68.- Así definidos en forma concreta y conjunta todos los objetivos, metas y normas a seguir y por haber sido determinados con el concurso de todos los miembros de la empresa, teniendo en cuenta todos los puntos de vista y sugerencias, será (fácil/difícil) _____ poderse dedicar por entero a la causa.

fácil

69.- El sistema orgánico de control basado en lo antes expuesto tendría una aplicación -------- (igual/muy distinta)_____ a los sistemas convencionales, ya que si se ha logrado la entera_____al logro de los _____, lo primero, para realizar un_____efectivo, será proporcionar ayuda a los subsistemas (departamentos) en su esfuerzo por alcanzar los niveles acordados en común.

muy distinta
dedicación
objetivos
control

70.- La función de las unidades administrativas en el sistema_____ será la de proporcionar a cada uno de los niveles de la empresa la información relativa a su funcionamiento para que pueda utilizarla a este fin.

orgánico de control

71.- Así cada subsistema tendrá que dar cuenta de sus actividades al sistema inmediato superior, periódicamente indicando el desarrollo alcanzado, la exposición de los problemas encontrados y de los planes para resolverlos. Ello elimina la utilización de grupos especiales de control que nacen (más caro/más barato)_____ el control.

más caro

72.- Con ello también se evita en gran parte la vigilancia directa, en el sentido estricto de la palabra, ya que el problema no consiste en obtener un cumplimiento pasivo, sino en capacitar a todas las secciones a lograr los _____ propuestos.

objetivos

73.- Así el sistema_____ _____, motiva al empleado a ir corrigiendo sus errores y a ejercer sobre sí mismo un _____control de sus movimientos. El auto-control es la mejor manera de responsabilizar al individuo y lograr el_____ de su deber y su mayor_____ a tratar de alcanzar los objetivos de la empresa.

orgánico de control
auto
cumplimiento
dedicación

74.- El_____-control desarrollado en base al estudio de situaciones particulares, producto, a su vez de las necesidades e inquietudes del individuo y que se ejerce por medio de informes de subsistemas al sistema superior, a base de confianza y sinceridad es lo que constituye el -- _____ de control.

auto
sistema orgánico

CONTROL DE CANTIDADES

El controlar las cantidades es muy usual en la Industria de la Construcción. Conocida desde la planeación la cantidad de una obra determinada por unidad de tiempo (hora, día, mes) que se requiere producir es muy fácil utilizar esa cantidad planeada como estándar. A medida que se desarrolla la obra pueden irse afinando los estándares.

En el proceso de planeación se determina primero un estándar ideal o teórico, esto es la cantidad de obra que puede producirse con un 100% de eficiencia, luego se aplican factores producto de la experiencia para llegar al estándar práctico, o de otra manera, si se tienen datos estadísticos de obras anteriores con el mismo proceso productivo pueden tomarse estos datos para determinar los estándares reales o prácticos.

Establecidos los estándares por unidad de tiempo se procede a establecer los puntos de control; normalmente se van controlando las cantidades por lapsos acordes con el control contable de la obra. Así pueden establecerse controles diarios, semanales o mensuales.

La ventaja de ligar el control de cantidades a la contabilidad de costos es que se tendrán puntos de control iguales para cantidades y costos lo cual es muy útil puesto que la producción real en un determinado plazo junto con el costo real nos dará el costo por unidad de obra ejecutada que es un dato que interesa primordialmente al constructor.

Otra característica del control de cantidades es que los puntos de control son diferentes dependiendo del nivel jerárquico que toma decisiones usando el control. Así por ejemplo en una planta de agregados el jefe de la planta recibe un informe de producción por turno, el superintendente de pavimentación recibiría un informe condensado de producción semanal y el superintendente general este mismo informe pero mensual. Estos sucede desde luego si no hay desviaciones significativas. Si las hay el sistema de control debe ser capaz de alertar hasta un nivel que pueda tomar las decisiones que corrijan aquellas fallas del proceso que estaban provocando una falta de producción respecto a los estándares.

Esto se hace en diferentes formas. El superintendente de pavimentación puede por ejemplo decirle al jefe de la planta que debe avisarle si la producción de cualquier turno de 8 hrs. es inferior en 10% al estándar por turno. El superintendente general podrá enterarse si la producción semanal es 10% inferior al estándar semanal. Esto desde luego facilita la operación organizada de control.

Es muy común que al reporte de control se le añadan una serie de datos estadísticos que sirvan para tomar decisiones en caso de que exista alguna desviación.

Siguiendo el ejemplo de la planta de agregados el reporte debería contener aquellos datos que permitan conocer las causas de alguna posible desviación. Por ejemplo el número de horas paradas de la máquina por cualquier causa indicando dichas causas o no, demoras causadas por deficiencias en el suministro, deficiencias en el almacenamiento, fallas en el personal, etc.

Si todos estos datos se llevan a lo largo del trabajo esto permitirá que además de llevar el control y facilitarse las decisiones se pueda revisar periódicamente las causas de las demoras para poder, por ejemplo, replanear el proceso o si es conveniente, fijar estándares más altos en beneficio de la economía de la obra modificando el proceso completo, parte del proceso o simplemente aumentando el estándar en función de la experiencia acumulada si parece lo indicado.

En realidad el control es un proceso de retroalimentación, este es, un sistema que toma muestras, las compara con el estándar y en caso de desviaciones significativas actúa sobre el proceso de producción para regresarlo a la producción planeada.

El reporte de control permite pues a los diferentes funcionarios que manejan el proceso tomar decisiones. Estas decisiones son de diferente tipo y podríamos dividirlas en dos :

a) Decisiones de Emergencia.

b) Decisiones Preventivas.

Como ejemplo de decisiones de emergencia podría mencionarse el hecho de que una máquina trituradora tenga problemas mecánicos y esto origine una producción inferior al estándar. Otro ejemplo sería que una máquina se descompongа por rotura de una pieza. En estos casos la decisión inmediata será proceder a la reparación.

Como ejemplo de decisión preventiva puede mencionarse la siguiente: las horas perdidas por descompostura de una máquina, tienen tendencia a aumentar. Analizando la causa pueden presentarse varios casos :

a) La máquina está fuera de la vida económica

b) El mantenimiento es defectuoso

c) La operación es defectuosa

d) Algún mecanismo de la obra tiene un efecto importante

El atacar este problema y tomar decisiones respecto a él sería una decisión preventiva si se toma antes de que ésta causa de demora provóque que la producción quede abajo del estándar.

Es costumbre que para poder tomar estas acciones preventivas se usan cartas de control, que indiquen en forma gráfica y durante lapsos grandes las variaciones reales del comportamiento de la producción, demoras, etc.

CONTROL DE COSTOS

Este sistema de control es muy usual en lo que a construcción se refiere, ligado íntimamente al control de cantidades como ya se indicó.

Este control consiste en ordenar en diferentes cuentas los costos correspondientes a los insumos que se van utilizando en la obra.

El conjunto de estas cuentas se denomina catálogo de cuentas de costos, y pueden dividirse de acuerdo con las necesidades del control. Así por ejemplo puede llevarse una cuenta de costos para producción de agregados, otra cuenta de costos para elaboración de concreto asfáltico, una más para colocación de concreto revestido, etc., es usual que se subdividan estas cuentas de costos en sub cuentas, en función del tipo de insumo, así pues cada una de estas cuentas podría llevar las siguientes sub cuentas :

a) Obra de Mano
b) Materiales
c) Maquinaria
d) Acarreos
e) Destajistas

El control de costos compara las cantidades erogadas por cada una de las cuentas y sub cuentas con las supuestas y cuando hay una desviación importante tomará una decisión para corregir esta desviación.

El estándar en el caso de control de costos puede elaborarse a base de presupuestos mensuales o, relacionando un control de cantidades con el de costos en base a los costos unitarios supuestos en la planeación.

Así por ejemplo se puede presuponer cuánto se va a gastar en una determinada empresa por concepto de maquinaria para agregados, y usar esta cantidad como estándar y contra ella comparar el costo real. Puede también fijarse un costo unitario como estándar por m3 de agregado por ejemplo y con los datos reales de cantidades de costos dividiendo la cantidad erogada realmente en el mes entre la cantidad producida realmente en el mes en m3 tendríamos el costo unitario real que se compararía con un costo unitario supuesto. En ambos casos, si hay desviaciones se deberá contar con un mecanismo en la organización de la obra que tome decisiones de inmediato para corregir las deficiencias que presente el mecanismo de producción, con objeto de hacer que el costo real sea igual o menor que un costo estimado.

La información del control de costos se puede presentar en base a listados que nos indican las cantidades realmente erogadas en cada una de las cuentas y sub cuentas, se puede presentar en gráficas, o pueden presentarse exclusivamente aquellos costos que se disparan del presupuesto (control por excepción).

Como se puede ver estas cuentas de costos pueden sofisticarse y pueden ampliarse hasta llegar a un control muy detallado. La experiencia en construcción indica que es muy difícil llegar a un gran detalle ya que normalmente en los datos de campo se originan errores que hacen inutil este control tan detallado. Es más frecuente que se tengar cuentas por actividades generales y en caso de tener que tomar una decisión se hace un análisis de detalle de esa cuenta particular dividiéndola con el criterio del ingeniero en sub cuentas.

La contabilidad de costos implica una buena organización contable de la obra, ya que esta contabilidad de costos deberá estar ligada a la contabilidad general de la empresa para que dé siempre datos reales.

Desde luego se deberán llevar cuentas de los costos directos, así como de indirectos y gastos generales de la empresa con objeto de tener siempre un panorama completo y tomar decisiones que conduzcan a la obra y a la empresa al objetivo cuantitativo predefinido.

Los estándares deben modificarse y revisarse continuamente, ya que es muy frecuente que haya variaciones en el proyecto en las cantidades de obra y en los métodos de construcción que evidentemente modifican el estándar.

Para llevar adecuadamente el control de costos es indispensable que el ingeniero que hace uso de este control tenga conocimientos básicos de contabilidad, lo que le permitirá interpretar adecuadamente los resultados de las diferentes cuentas que tiene que supervisar.

Existen diferentes métodos para llevar el control de costos, que usan desde sistemas manuales hasta computadoras electrónicas, en general el uso de computadoras está restringido a aquellas áreas de trabajo en donde se tenga una máquina cercana, ya que la transmisión de datos masivos por teléfono o radio no ha sido resuelta satisfactoriamente en México. Esto es muy importante ya que la información debe ser oportuna para que las decisiones que se tienen que tomar en base a esa información también lo sean.

CONTROL PRESUPUESTAL

El control presupuestal permite llevar el control de cantidades y costos al mismo tiempo, y desde luego permite tomar las decisiones que se requieran tanto en el área de producción como en otras áreas tales como compras, manejo financiero, cobranzas, etc.

Para poder llevar un control presupuestal se requieren los siguientes requisitos.

Un sistema de planeación que permita la elaboración de un presupuesto completo que servirá de estándar para el control.

Un sistema idóneo de contabilidad y costos de la empresa.

En general puede decirse que un sistema integrado de control presupuestal en una empresa de construcción tiene limitaciones e inconvenientes que algunas veces anulan a las indudables ventajas que tiene el sistema.

Entre los inconvenientes que presenta pueden mencionarse :

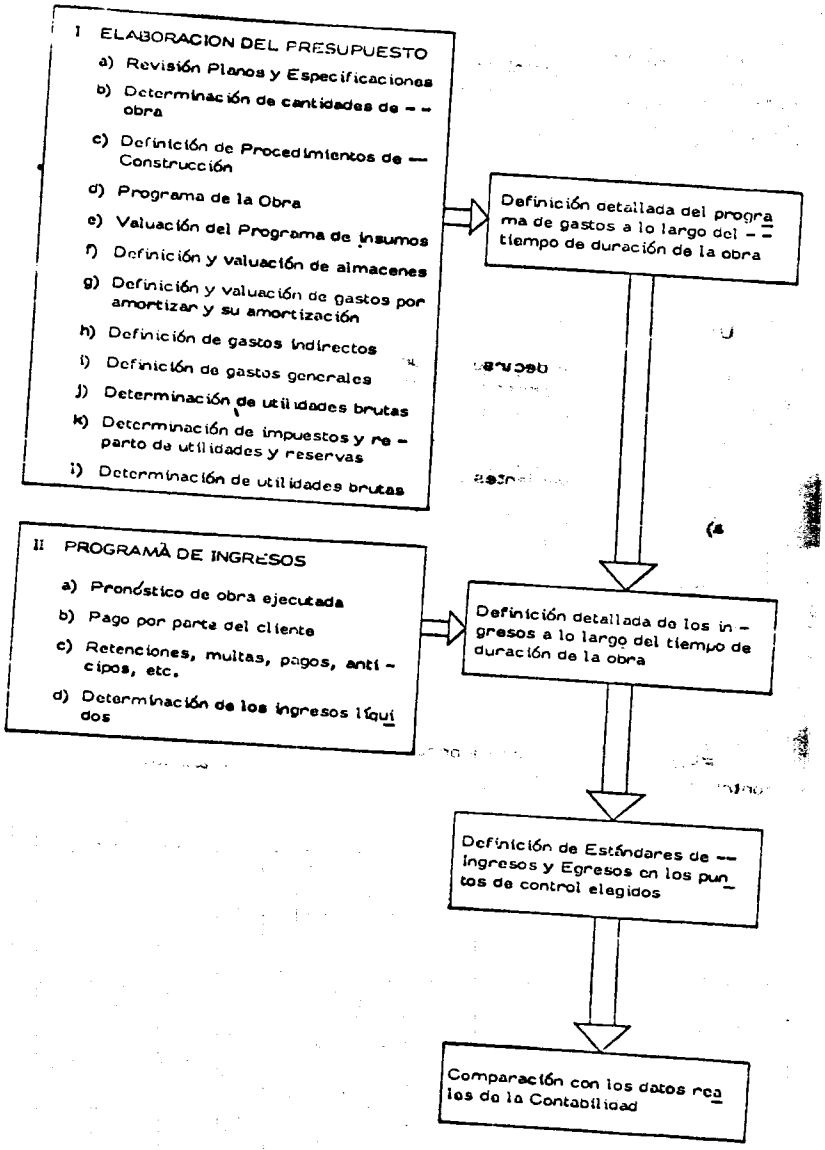
a) Los presupuestos deben modificarse contínuamente debido a las variaciones en programas y volúmenes que tienen la mayor parte de las obras de construcción en nuestro país.

b) Al implantar el sistema no se deben esperar resultados completos a corto plazo.

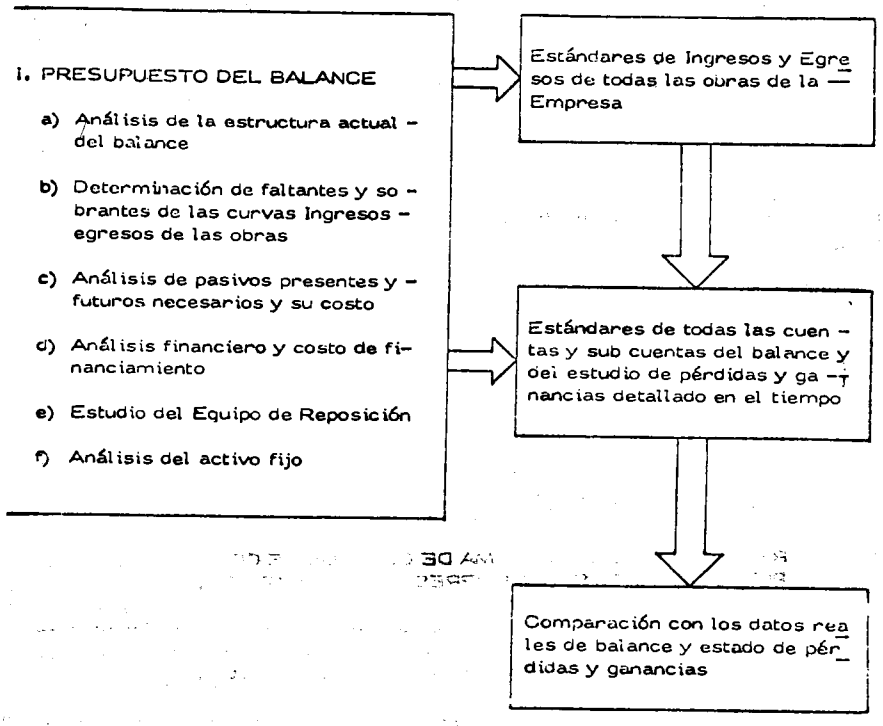
c) Existen obstáculos psicológicos importantes, pues el cambio de sistema significa una modificación en los hábitos del personal.

Existen gran número de procedimientos diferentes para llevar el control presupuestal, desde sistemas que se operan manualmente hasta los que hacen uso de las computadoras.

El control presupuestal a nivel de obra podría definirse como sigue:



El control presupuestal a nivel de empresa podría esquematizarse así:



Como en los casos anteriores desviaciones significativas origi-nan de inmediato decisiones correctivas.

CORRECCION DE DESVIACIONES

El establecimiento de los medios adecuados para corregir las desviaciones de los estándares es probablemente la etapa más importante de todo control.

Si el "aviso" no es oportuno y no llega rápidamente a la persona capaz de tomar las decisiones correctivas se pierden total o parcialmente las ventajas del control.

La empresa puede mejorar sistemas de construcción modificar su organización para definir mejor las funciones y responsabilidades de cada puesto, mejorando así la coordinación de sus actividades, o modificar los sistemas de dirección de la empresa, en función de los reportes de control devidamente evaluados.

Como consecuencia del control de costos, puede reducirse la inversión real y mejorar la rentabilidad de la obra, o aumentar los beneficios del contratista, generalmente muy por encima del gasto necesario para ejercer el control. Cuando la decisión para ejecutar una obra se ha basado en hipótesis falsas respecto a los costos, el control de éstos generalmente revela prontamente este hecho, permitiendo así una oportuna reevaluación y corrección de los planes. Por supuesto que el control de costos no puede corregir los defectos en los estimados de costos, pero la misma experiencia derivada del control permitirá realizar estimados cada vez mejores.

REQUISITOS DE UN SISTEMA DE CONTROL DE COSTOS, DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LA EMPRESA CONSTRUCTORA.

Los textos de administración señalan diversas exigencias para que un sistema de control opere adecuadamente. Se analizará cada una de ellas con referencia especial al control de los costos.

1. Los controles deben reflejar la naturaleza y las necesidades de la actividad. El sistema para controlar los costos de ingeniería de proyecto será indudablemente distinto del que se use para controlar los costos de construcción. Los sistemas e instrumentos adecuados para controlar los costos de construcción de una planta industrial son diferentes de los que deben usarse en la construcción de una presa. Los costos de operación y mantenimiento requieren

procedimientos de control especiales, y lo mismo puede decirse de los costos de producción en serie. Por lo tanto, los catálogos de cuentas de costos y los sistemas de información correspondientes tienen que diseñarse para las necesidades de cada empresa y las características de cada tipo de obras.

2. Los controles deben indicar rápidamente las desviaciones. Ya se hizo notar anteriormente la importancia del "tiempo de respuesta" de un sistema de control. Los sistemas de contabilidad tradicionales generalmente tienen un tiempo de respuesta exageradamente largo; debido a que tienen que satisfacer diversos requisitos legales, además de servir para el control financiero de la empresa, deben ser meticulosamente exactos y reportar únicamente transacciones completamente terminadas y debidamente documentadas. Por lo tanto, su funcionamiento es lento y un tanto inflexible. El control de los costos requiere el establecimiento de un sistema de información más ágil y flexible, que permita conocer rápidamente las desviaciones de los planes y apreciar con igual rapidez los efectos de las medidas correctivas. El procesamiento electrónico de datos constituye una valiosa herramienta para lograr sistemas de control de respuesta rápida. Es importante, sin embargo, que exista una fuente de datos común para el sistema contable y el de control de costos, de tal manera que exista armonía y complementación entre ellos.

3. Los controles deben mirar hacia adelante. A este respecto debe también señalarse que los sistemas contables están generalmente orientados al pasado, es decir, tienen el carácter de registros de las transacciones realizadas en el pasado. Por lo tanto, se concluye como en el punto anterior, que es necesario establecer sistemas de control de costos orientados al futuro o lo que es lo mismo, capaces de predecir las consecuencias de las desviaciones de los planes. Los sistemas de programación y control de obras por redes de actividades constituyen instrumentos idóneos para proyectar hacia el futuro el efecto de las desviaciones presentes.

4. Los controles deben señalar las excepciones en los puntos estratégicos. Se hace referencia aquí al principio de control por excepción, según el cual el ejecutivo debe concentrar su atención en los casos de excepción, es decir, en aquéllos en que lo logrado se aparta de las normas o planes establecidos. Los sistemas de programación por ruta crítica, al señalar claramente la secuencia de actividades cuyo cumplimiento es crítico para la consecución de la meta pre-fijada, facilitan la identificación de los puntos estratégicos. Para poder apreciar las desviaciones significativas en los costos, es indispensable que los presupuestos-

y estimados de costo sean enteramente congruentes con el programa de obra aprobado y se elaboren mediante un análisis de las secuencias de operaciones por realizar. Podrá así advertirse fácilmente cuándo el costo se aparta en forma inconveniente del presupuesto y de los estándares prefijados.

5. Los controles deben ser objetivos. Es necesario subrayar aquí nuevamente la importancia de basar el control de costos en un buen estimado de costo. Sin él, la apreciación que pueda hacerse respecto a los costos observados en la obra se convierte en un proceso totalmente subjetivo y de escasa significación. Cuando el estimado de costo se integra con el programa de obra, de tal manera que se fija un costo directo para cada actividad, el control de costos adquiere máxima objetividad y oportunidad.

6. Los controles deben ser flexibles. Con frecuencia, diversas circunstancias fuera de control del ejecutivo hacen que se tenga que cambiar los planes. Los sistemas de control de costos deben poder adaptarse fácilmente a estos cambios sin perder su validez y utilidad. Sucede en ocasiones que al elaborar un programa por CPM, se pretende darle un carácter estático e inflexible, que lo hace obsoleto rápidamente, debido a que no se ha previsto su frecuente revisión y actualización, de acuerdo con los cambios impuestos por las circunstancias. Los estimados de costo deben mantenerse consecuentemente actualizados para que siempre señalen en forma realista las metas alcanzables.

7. Los controles deben reflejar el modelo de organización. En toda buena organización las responsabilidades de los diferentes niveles ejecutivos y de los diferentes puestos están perfectamente definidos. Es indispensable que los sistemas de control provean a cada ejecutivo de una información congruente con sus responsabilidades. Se infiere la necesidad de establecer reportes de costos adecuados a cada nivel administrativo. Así por ejemplo, el reporte que reciba el responsable de una fase de la obra será más detallado y más específico que el que reciba el superintendente general de la misma, y el que éste reciba, más detallado y menos general que el que se dé al gerente de la empresa constructora.

8. Los controles deben ser económicos. Deben distinguirse claramente el volumen de información y el valor de la información. Dar mayor número de datos no significa necesariamente mejorar la información; por el contrario, en muchas ocasiones el exceso de información provoca incertidumbre, indecisión e incapacidad para interpretar adecuadamente la gran cantidad de datos que se reciben. Por lo tanto, hay que establecer un equilibrio adecua -

do entre la cantidad de datos que conviene generar y el costo de procesarlos y distribuirlos para convertirlos en información utilizable. En general sólo debe proporcionarse la información indispensable para que cada ejecutivo pueda tomar las decisiones que le competen.

9. Los controles deben ser comprensibles. Los reportes de costos deben tener siempre una interpretación fácil y presentarse en forma inmediatamente utilizable. Resultan de poca utilidad los datos de costos que el ejecutivo deba tadavía procesar y analizar para que adquieran significado.

10. Los controles deben indicar una acción correctiva. Ya se expresó anteriormente que si no hay acción correctiva no existe control. Por lo tanto, los informes de costos deben presentarse de tal manera que se puedan apreciar claramente las causas de las desviaciones, los responsables de las mismas y las medidas que puedan adoptarse para corregirlas.

EL EQUIPO DE CONSTRUCCION EN EL PROCESO INFLACIONARIO

Ing. José Piña Garza

El proceso inflacionario que atraviesa nuestro país desde hace algunos años incide directamente en la Industria de la Construcción ocasionando alteraciones importantes en los precios de adquisición de maquinaria, en los costos unitarios y, consecuentemente, en los criterios de operación y selección de equipo.

El objetivo de este tema es la presentación de algunos conceptos que conviene tomar en cuenta para la determinación de costos en el uso del equipo de construcción ante este proceso inflacionario.

De hecho todos en nuestro medio percibimos los efectos de la inflación. Un ejemplo concreto en equipos de construcción lo tenemos en el tractor D-8 cuyas características no han variado en los últimos años; podemos afirmar, por tanto, que se trata de un mismo producto. Los precios de adquisición con el transcurso del tiempo se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 1(a).

AÑO	PRECIO U.S. DLLS.	PRECIO $ MEX.	INDICE DE PRECIOS
1972	72,000	900,000	20.49
1973	73,000	913,000	20.78
1974	113,000	1'413,000	32.16
1975	125,000	1'563,000	35.58
1976	127,000	1'588,000 (1)	36.15
		2'489,000 (2)	56.66
1977	143,000	3'218,000 (3)	73.25
1978	145,000	3'335,000 (4)	75.92
1979	166,000	3'818,000	86.91
1980	191,000	4'393,000	100.00

Tipo de cambio
(1) 1 U.S. DLLS. = 12.50 $ Mex.
(2) 1 U.S. DLLS. = 19.60 $ Mex.
(3) 1 U.S. DLLS. = 22.50 $ Mex.
(4) 1 U.S. DLLS. = 23.00 $ Mex.

La evolución durante los últimos meses es por demás significativa según se ilustra en la tabla 1(b).

Tabla 1(b). Variaciones en el precio de un tractor D8K en los últimos meses.

FECHA	VALOR DE ADQUISICION U.S.DOLARES	ARANCEL %	ARANCEL IMPORTE U.S.DLLS.	VALOR DE IMPORTACION U.S. DLLS.	TIPO DE CAMBIO	IMPORTE ADQUISICION	GASTOS IMPORTACION (5%)	TOTAL ADQUISICION
enero 1981	201,580	10%	20,158	221,738	23.34	5'175,365	258,768	5'434,133
julio 1981	212,760	25%	53,190	265,950	24.57	6'534,392	326,720	6'861,112
octubre 1981	218,080	25%	54,520	272,600	25.20	6'869,520	343,476	7'212,996
enero 1982	223,260	50%	111,630	334,890	26.50	8'874,585	443,729	9'318,314
febrero 1982	223,260	50%	111,630	334,890	37.50	12'558,375	627,919	13'186,294
marzo 1982	223,260	20%	44,652	267,912	47.25	12'658,842	632,942	13'291,784

Es evidente la pérdida del valor adquisitivo con el transcurso del tiempo; además observamos que dicha pérdida es diferente si se mide en pesos o en dólares, lo que pone de manifiesto una mayor pérdida del valor adquisitivo en México que en Estados Unidos.

Por lo que se refiere a nuestra moneda, el Banco de México elabora periódicamente los índices de precios al consumidor (tabla 2) que pretenden medir la pérdida en el valor adquisitivo, revaluando el precio de adquisición de una canasta representativa de bienes y servicios a los precios de mercado y dividiendo el importe así obtenido entre el que resulte de aplicar los precios constantes de un determinado año base. Observamos que dicha pérdida es también diferente de la que se aprecia para el caso concreto del tractor D-8.

A fin de lograr una comprensión respecto a las causas del fenómeno, es pertinente plantear el diagrama de circulación económica (fig. 1) que esquematiza los principales componentes del sistema de economía mixta vigente en nuestro país. Muestra en primer término a los organizadores de la producción (empresas o personas) que se encargan de producir los bienes o proporcionar los servicios que se ofrecen en el mercado de bienes y servicios.

Para producir tales bienes y servicios, los organizadores de la producción requieren de mano de obra y de capital que los obtienen a cambio de un salario y de una renta; además requieren de los insumos y bienes de capital que adquieren de otros productores, que a su vez requirieron de mano de obra y capital para producirlos.

La mano de obra y el capital son los factores de la producción que ofrecen sus propietarios, las familias de una sociedad, en el mercado de factores.

(El análisis clásico considera a los recursos naturales, cuando son susceptibles de apropiación, como un tercer factor de la producción, para

Tabla 2

B A N C O D E M E X I C O S.A.
SUBDIRECCION DE INVESTIGACION ECONOMICA Y BANCARIA
SISTEMA CENTRAL DE INFORMACION..SIE-BANXICO

TITULO DE LA SERIE...SU0911 INDICE GENERAL DE PRECIOS AL MAYOREO 210 ARTICULOS EN LA CD.DE MEXICO
BASE 1979 100

FUENTE DE INFORMACION..

HOJAS DE TRABAJO DEL
INDICE GENERAL DE PRECIOS AL MAYOREO
210 ARTICULOS EN LA CD. DE MEXICO

SERIE DE TIEMPO CON PERIODICIDAD MENSUAL

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1930	3.303	3.372	3.423	3.354	3.320	3.372	3.303	3.303	3.303	3.354	3.251	3.096
1931	3.234	3.200	3.146	3.079	2.976	2.890	2.656	2.804	2.684	2.580	2.529	2.546
1932	2.563	2.460	2.477	2.512	2.580	2.735	2.942	2.838	2.770	2.804	2.838	2.873
1933	2.787	2.770	2.804	2.821	2.787	2.959	3.010	2.959	2.942	2.924	2.924	2.976
1934	3.010	3.045	3.062	3.146	3.062	3.010	3.045	3.010	3.045	2.993	2.976	3.028
1935	3.062	3.028	3.045	3.010	2.976	2.993	3.028	3.028	3.079	3.045	3.028	3.010
1936	3.010	3.010	3.045	3.114	3.131	3.148	3.217	3.286	3.406	3.406	3.440	3.372
1937	3.561	3.612	3.630	3.733	3.784	3.974	3.991	3.922	3.922	3.922	3.905	3.784
1938	3.905	4.008	4.006	4.025	4.077	4.077	4.060	4.042	4.146	4.146	4.111	3.991
1939	4.042	4.006	3.991	4.025	4.025	4.060	4.077	4.126	4.180	4.215	4.111	4.025
1940	4.060	4.126	4.197	4.197	4.180	4.146	4.163	4.077	4.025	4.042	4.025	4.042
1941	4.146	4.197	4.232	4.266	4.387	4.438	4.404	4.421	4.455	4.507	4.524	4.490
1942	4.559	4.645	4.731	4.799	4.885	4.885	4.868	4.817	4.851	4.903	4.989	5.040
1943	5.109	5.315	5.436	5.694	5.918	6.004	5.711	6.004	6.055	6.072	6.210	6.279
1944	6.330	6.537	6.743	7.016	7.122	7.225	7.397	7.380	7.449	7.517	7.552	7.517
1945	7.517	7.535	7.638	7.644	7.965	7.999	6.068	8.137	8.119	8.119	8.274	8.343
1946	8.377	8.498	8.721	8.625	8.997	9.117	9.134	9.255	9.599	9.736	9.857	9.822
1947	9.994	9.891	9.736	9.771	9.771	9.633	9.444	9.461	9.599	9.668	9.771	9.719
1948	9.736	9.994	10.012	9.994	10.355	10.373	10.424	10.751	10.620	10.941	10.837	10.751
1949	10.803	10.837	11.009	11.233	11.371	11.405	11.594	11.525	11.766	11.852	11.783	11.749
1950	11.525	11.663	12.179	12.294	12.262	12.196	12.262	12.489	12.667	13.074	13.297	13.435
1951	13.796	14.364	15.035	15.413	15.774	16.032	15.660	15.551	15.740	15.809	16.136	16.086

Con da Tabela 2

1953	15.499	15.379	15.465	15.516	15.740	15.671	15.876	15.626	15.946	16.067	15.843	15.843
1954	15.843	15.895	16.050	16.480	17.271	17.495	17.512	17.649	17.598	18.011	18.200	18.423
1955	18.561	18.750	19.129	19.335	19.301	19.421	19.714	19.920	19.920	20.126	20.212	20.161
1956	20.470	20.660	20.642	20.763	20.625	20.453	20.230	20.281	20.281	20.144	20.350	20.505
1957	20.625	20.642	20.763	21.055	21.279	21.245	21.537	21.698	21.743	21.761	21.743	21.778
1958	22.053	21.984	22.122	22.346	22.518	22.466	22.414	22.311	22.001	22.173	22.466	22.569
1959	22.604	22.586	22.707	22.707	22.500	22.518	22.500	22.569	22.208	22.397	22.569	22.638
1960	22.793	22.610	23.360	23.842	23.756	23.739	23.911	23.997	24.117	23.842	23.756	23.859
1961	23.928	23.894	23.842	23.997	23.997	24.014	23.945	23.773	23.704	23.772	23.842	23.859
1962	23.773	23.911	24.117	24.307	24.272	24.307	24.444	24.496	24.616	24.513	24.513	24.410
1963	24.358	24.461	24.461	24.496	24.565	24.461	24.530	24.444	24.427	24.341	24.324	24.496
1964	24.788	25.253	25.201	25.339	25.407	25.425	25.666	25.941	25.579	25.545	25.803	25.855
1965	25.734	25.838	25.924	26.044	26.061	26.096	25.975	25.906	26.010	25.992	25.906	25.906
1966	25.992	25.975	25.924	26.078	26.078	26.182	26.354	26.508	26.508	26.594	26.629	26.646
1967	26.852	27.024	27.076	27.042	26.870	26.732	26.921	27.024	27.231	27.317	27.265	27.110
1968	27.179	27.179	27.403	27.609	27.816	27.592	27.523	27.661	27.747	27.661	27.713	27.661
1969	27.781	27.816	27.885	27.936	27.902	28.022	28.297	28.315	28.745	28.899	28.676	28.779
1970	28.899	29.106	29.347	30.069	30.276	30.310	30.258	30.276	30.430	30.000	30.121	30.344
1971	30.603	30.689	30.861	31.170	31.136	31.308	31.273	31.291	31.256	30.981	31.094	31.170
1972	31.187	31.359	31.531	31.669	31.675	31.927	31.996	32.082	32.202	32.288	32.323	32.839
1973	33.475	33.923	34.267	34.869	36.124	36.159	37.070	37.896	39.100	39.720	39.892	41.130
1974	42.489	43.969	44.915	45.155	45.155	45.276	45.809	45.758	45.844	46.033	46.188	46.618
1975	47.065	47.615	47.656	48.389	49.336	50.436	51.021	50.987	51.073	51.520	52.243	52.662
1976	54.376	55.081	55.690	56.140	57.008	57.507	58.952	58.762	62.426	67.656	73.212	77.117
1977	78.872	80.231	81.761	84.118	85.959	86.795	87.387	89.829	90.294	90.105	90.122	91.068
1978	92.358	94.353	96.263	97.519	99.996	101.337	102.490	102.266	101.423	102.593	103.901	105.500
1979	109.216	111.521	112.914	113.446	116.338	117.593	118.915	120.827	122.496	124.784	125.042	126.539
1980	133.368	136.507	138.613	137.596	142.024							

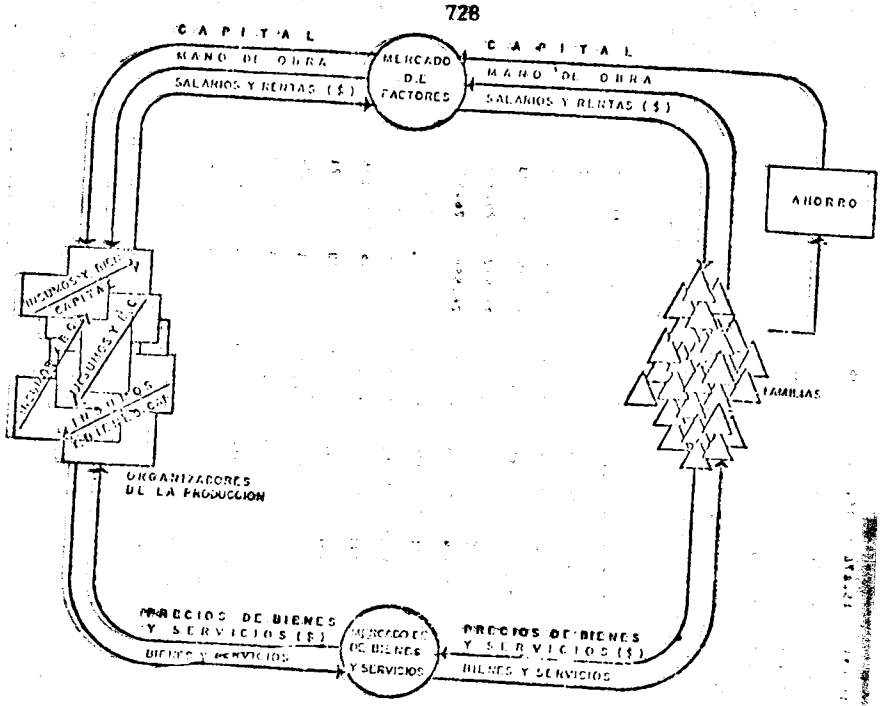


DIAGRAMA DE CIRCULACION ECONOMICA

Fig 1 CIRCUITO BASICO

efectos de esta presentación se los considera incorporados al capital suponiendo la intercambiabilidad entre los elementos que lo forman).

Con el ingreso logrado a cambio de los factores de producción, las familias adquieren en el mercado de bienes y servicios los que requieren para satisfacer sus necesidades, pagando por ellos el precio fijado en el mercado, importe que finalmente reciben los organizadores de la producción por haber proporcionado tales bienes y con el cual pagan a su vez los factores utilizados.

No todo el ingreso de las familias se destina a la adquisición de bienes y servicios, parte de él se destina al ahorro que es la base de la formación de nuevo capital. Con ello se cierra el circuito básico de circulación económica.

El diagrama se complementa (fig.2) con la intervención del Estado, que recibe ingresos vía impuestos, tanto de los organizadores de la producción como de las familias, con los cuales ocupa factores y adquiere bienes para proporcionar servicios institucionales que, por sus características, por su naturaleza o por su redituabilidad, no deben o no pueden ser proporcionados por las empresas privadas.

El sistema debe permanecer en equilibrio; esto es, el total del ingreso logrado por las familias en un cierto período (una vez descontado el ahorro) tiende a ser igual al importe total de los bienes y servicios producidos en el mismo período.

El diagrama permite comprender las causas y efectos del proceso inflacionario si se considera que el sistema tiende a mantener el equilibrio entre el ingreso y el gasto. Las leyes de oferta y la demanda mantienen este equilibrio, toda vez que si se presenta un excedente en el ingreso, las familias demandan más bienes y servicios de los que los productores proporcionaron, logrando con ello la escasez de productos y el correspondiente incremento en los precios, de manera que el total del

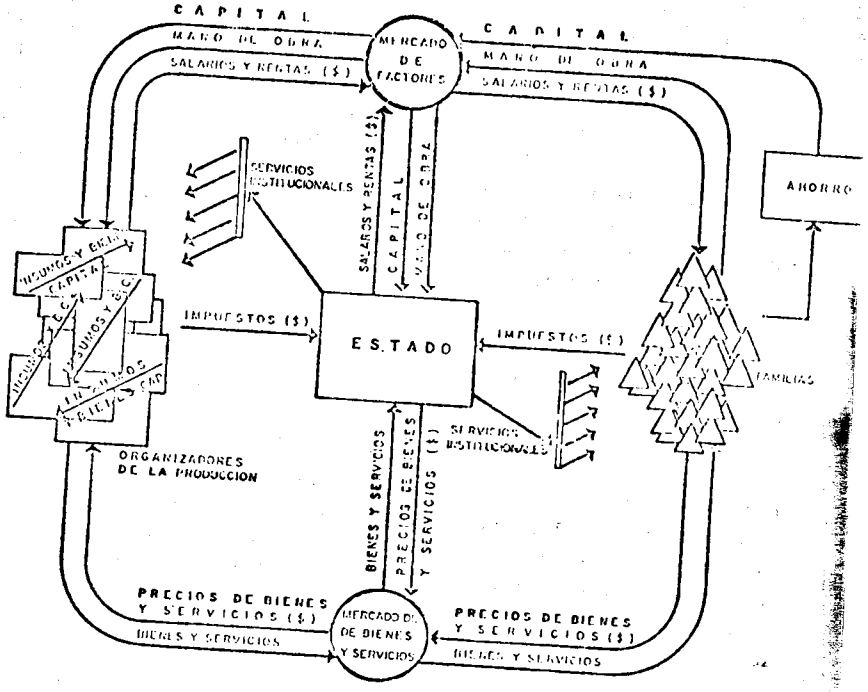


DIAGRAMA DE CIRCULACION ECONOMICA

Fig 2 INTERVENCION DEL ESTADO

ingreso destinado a la adquisición de bienes y servicios se equilibre con el valor de los productos disponibles en el mercado. De manera semejante, si los productores ofrecen más bienes y servicios de los que las familias pueden adquirir normalmente, se presenta un fenómeno de abundancia con el respectivo abatimiento de precios, que origina por una parte, la disminución del ritmo de producción, y por otra, que nuevamente el total del ingreso destinado a la adquisición de bienes y servicios se equilibre con el valor de los productos disponibles en el mercado.

Cuando se presenta un desequilibrio temporal en el mercado de bienes y servicios, ya sea por exceso de gasto público no soportado por el correspondiente incremento en producción (emisión de moneda por arriba de lo razonable), o bien cuando con el mismo esfuerzo se obtiene menor producción (como ocurrió en 1973 en el sector agropecuario a nivel mundial aunado a la crisis petrolera) se origina un claro fenómeno de escasez, el cual motiva la elevación de precios.

Ante la elevación de precios, los propietarios de los factores demandan y generalmente obtienen un mayor pago con la intención de satisfacer las necesidades que venían cubriendo con su ingreso anterior. Los organizadores de la producción se ven precisados a transferir al precio de venta el importe adicional que pagaron por los factores utilizados, con lo que se cierra el circuito y nuevamente se produce una elevación de precios originando que los propietarios de los factores exijan un nuevo incremento de salarios y rentas, estableciéndose el círculo elevación de salarios-elevación de precios. Es importante observar que la inflación puede continuar a pesar de haber desaparecido el detonante que la motivó inicialmente.

El sistema económico es un producto de la evolución sociológica; sin embargo, la administración pública ha intentado controlarlo con el propósito de modificar su comportamiento, de manera que puedan cumplirse con algunos objetivos de carácter socioeconómico.

Es preciso reconocer que, entre otros aspectos, el proceso inflacionario limita la inversión en organizaciones de producción y, en consecuencia, limita el crecimiento económico y las oportunidades de empleo, dificulta las relaciones con economías externas por la falta de consistencia monetaria en el mercado internacional, de ahí que la administración pública intervenga para estabilizar el proceso con diversas medidas, entre las que se pueden mencionar: la reducción del gasto público y su orientación al fomento de actividades productivas, la modificación de la política impositiva para evitar la especulación con bienes raíces, la creación de nuevos impuestos sobre ingresos extraordinarios, las restricciones y controles sobre precios, etc.

No todas las medidas tienen el efecto deseado por lo que generalmente se presenta en forma simultánea un proceso de recesión, que se manifiesta en un alto grado de desempleo motivado por el cierre de entidades productivas que no pueden transferir al precio de venta los incrementos de costo, ya sea por las restricciones de precios o por la falta de demanda ocasionada a su vez por lo reducido del ingreso.

Con la reducción de la demanda de bienes y servicios por los trabajadores sin empleo, otras empresas se ven obligadas a cerrar sus líneas de producción generando más desempleo y nuevamente se tiene un círculo por falta de demanda-abatimiento de producción-desempleo-falta de demanda.

Se deben considerar adicionalmente las relaciones con economías externas (fig.3) a las cuales recurren los organizadores de la producción y las familias para adquirir insumos y bienes de capital, así como bienes y servicios, cuyo intercambio debe compensarse con la exportación de otros bienes para que el sistema permanezca en equilibrio, con la posibilidad de que, como ocurre en nuestro país, el déficit en la balanza de pagos se tenga que cubrir con empréstitos del exterior, aunados a la aceptación de inversiones extranjeras.

Ahora bien, cuando el proceso inflacionario de un país presenta índices

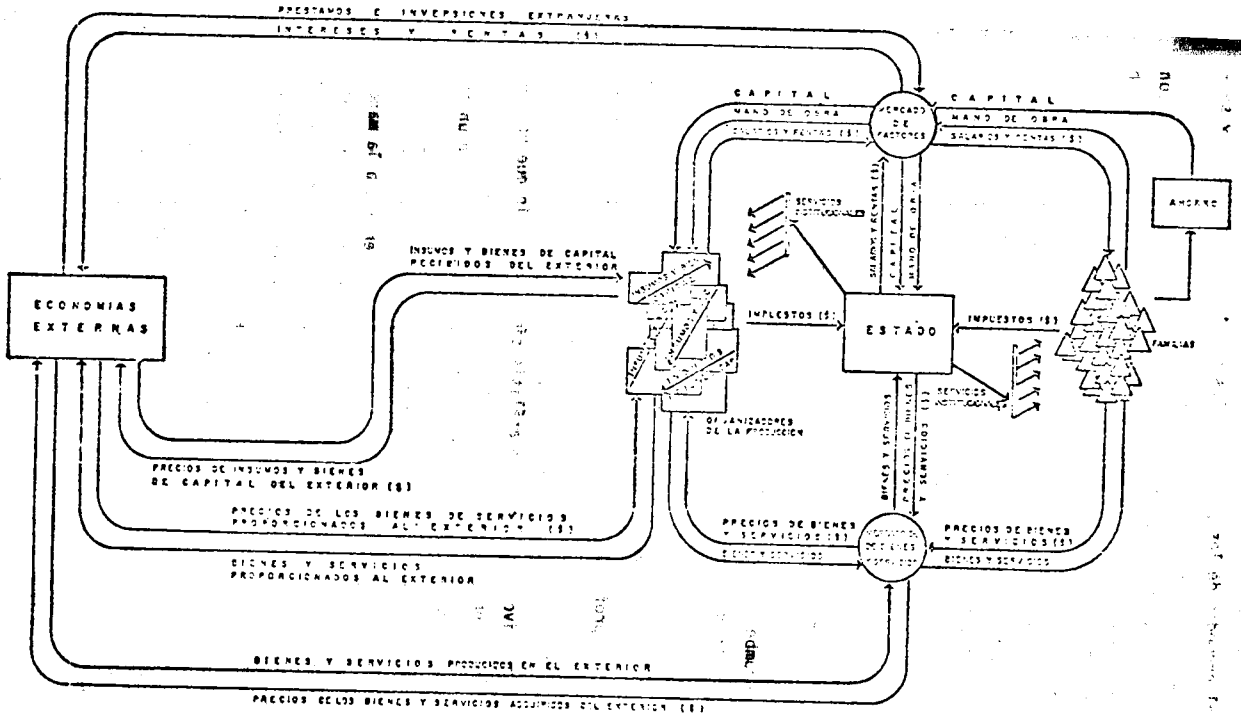


DIAGRAMA DE CIRCULACION ECONOMICA

Fig 3

superiores al promedio de los países con los que intercambia bienes y servicios, esto es, cuando sus precios se incrementan con mayor rapidez, dicho país se ve obligado a cambiar la paridad de su moneda (devaluarla) con respecto a la escala monetaria vigente en el mercado internacional, ya que de no hacerlo, los productos elaborados dentro del sistema productivo del país serán cada vez más costosos que en otros sistemas, ocasionando con ello la cada vez menor venta de productos al exterior y simultáneamente la cada vez mayor adquisición (legal e ilegal) de productos del exterior por parte de personas y empresas del propio sistema, acelerando el desequilibrio en la balanza de pagos que sólo puede ser compensado con mayores inversiones extranjeras y empréstitos. Si por otro lado, por razones políticas (a veces inexplicables) se sostiene artificialmente la paridad cambiaria, además de acelerar el proceso de desequilibrio por adquisición de bienes del exterior, se llega rápidamente al límite del endeudamiento y se suspenden las inversiones por falta de competitividad, presentándose entonces el derrumbe económico del país en cuestión con repercusiones que resultan profundamente negativas. (Ejemplo: México en septiembre de 1976 y febrero de 1982).

No es fácil detener la inflación, puesto que existen elementos distorsionantes que crean profundas confusiones, y que mantienen la tendencia inflacionaria.

A título ilustrativo se presenta un análisis simplista de lo que ocurre en los precios de una supuesta organización de producción que con la misma tecnología produce, en dos épocas distintas, igual cantidad de un mismo producto.

La distribución del ingreso en 1970 ($50') se destina en 30% a la mano de obra, 60% al capital y 10% en impuesto de ventas, mientras que en 1981, suponiendo un costo de mano de obra equivalente a siete veces el de 1970 y un capital de sólo seis veces el de 1970, implica una distribución de 16% para el factor trabajo y de 74% para el capital, y resultando un precio 13 veces mayor que el de 1970, (fig. 4).

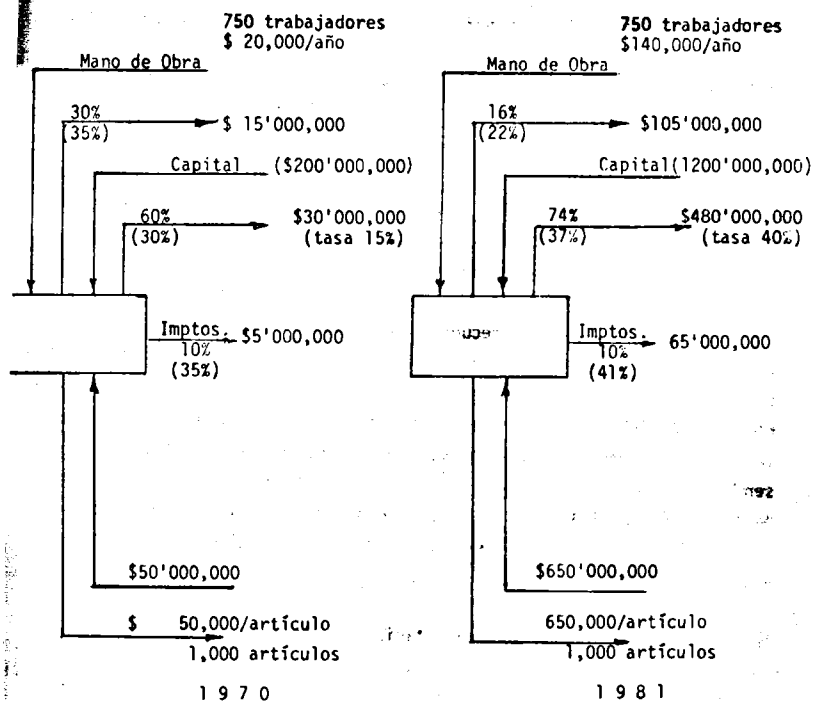


Fig. 4 - Ejemplo de distribución del producto.

De este análisis cabría suponer un mayor beneficio para los organizadores de la producción en favor del capital y en detrimento del factor trabajo; pero si se analiza después de impuestos, resulta que también el Estado es beneficiario de la inflación al incrementar su participación del 35% al 41%. Pero si adicionalmente se considera el efecto inflacionario, se tiene entonces que el rendimiento del capital considerado como utilidad, además de que no alcanza a superar las tasas de interés bancario, resulta insuficiente aún para no disminuir en términos reales el capital del año anterior.

Análisis de este tipo son frecuentes para cuantificar precios en las unidades de producción que generalmente conducen a conclusiones equivocadas; el origen fundamental de la confusión es el proceso inflacionario que amerita cuidadosas consideraciones para precisar el efecto que verdaderamente puede ocasionar en los precios. El análisis que a continuación se presenta trata de ilustrar una manera de conocer estos efectos en lo relativo a los costos de equipos de construcción; se considera previamente la discusión de los conceptos de rendimiento real y rendimiento aparente de capital.

Tal diferencia surge en los propietarios de capital por encontrar un mejor "valor de oportunidad" para el patrimonio, que en muchos casos han logrado formar a través de un gran esfuerzo en un período de prolongado tiempo, y que conviene precisar a través de un ejemplo.

Supongamos a una persona que ha logrado mediante el ahorro, un capital de $10'000,000 y se encuentra ante la decisión de dónde invertir su patrimonio, para lo cual considera tres alternativas:

1) Invertir en valores de renta fija a largo plazo en un banco del país con rendimiento de 45% anual.

2) Invertir en valores de renta fija en dólares y en un banco extranjero con rendimiento de 18% anual.

3) Invertir en la construcción de un edificio de departamentos con rendimiento de 15% anual, menos gastos de administración y mantenimiento.

Esta persona está consciente del proceso inflacionario y ha estimado la tasa de inflación para nuestro país en 40%, e igualmente ha estimado la tasa de inflación en dólares en 10%, con lo cual ha formado las siguientes tablas (ver tablas 3, 4 y 5) que muestran los rendimientos reales de su capital para las alternativas. Lo importante de las tablas es que aclaran la diferencia entre rendimiento real y rendimiento aparente del capital invertido.

De estas alternativas elegiría obviamente la última que representa el (mejor) valor de oportunidad para su inversión, y que corresponde al mayor rendimiento real, aun cuando el rendimiento aparente sea el menor de las alternativas consideradas.

Pasemos ahora al análisis de la inversión en maquinaria de construcción; en el cálculo correspondiente se ha supuesto una inflación de 40% y se establece como premisa el "deseo" de obtener un rendimiento real de 10% sobre el capital invertido. Cualquier variación en estas cifras podrá introducirse fácilmente, sobre todo si se cuenta con una computadora electrónica para efectuar el proceso de cálculo con los nuevos datos.

Para evitar confusiones se supone una división explícita de la operación de la empresa (y por lo tanto sus procedimientos administrativos y contables) agrupando por una parte todo lo relativo a equipo de construcción y por otro a las actividades propiamente de construcción.

Esta división es conveniente en cuanto a que permite distinguir hasta qué grado las utilidades de la empresa se origina en la actividad constructora "per se", de las que se derivan del rendimiento al capital invertido en el equipo, además de que presenta ventajas en cuanto a manejo de información, responsabilidad y autoridad para tomar decisiones, tanto por

CASO 1.- VALORES DE RENTA FIJA A LARGO PLAZO (45%)

AÑO	CAPITAL A PRECIOS CTES.	CAPITAL A PRECIOS CORRIENTES 40%	RENDIMIENTO DE CAPITAL 45%	CANTIDAD QUE REINVIERTE 40%	CANT. DISP.SIN (SIN IMPS.) 5%
1	10'000	10'000	4'500	4'000	500
2	10'000	14'000	6'300	5'600	700
3	10'000	19'600	8'820	7'840	980
4	10'000	27'440	12'348	10'976	1'372
5	10'000	38'416	17'287	15'366	1'921
6	10'000	53'782	24'402	21'513	2'689
7	10'000	75'295	33'883	30'119	3'764
8	10'000	105'414	47'436	42'165	5'271
9	10'000	147'579	66'411	59'031	7'380
10	10'000	206'610	92'975	82'645	10'330
11	10'000	289'255	130'165	115'702	14'463
12	10'000	404'957	182'230	161'982	20'248
13	10'000	566'939	255'123	226'776	28'347
14	10'000	793'715	357'172	317'486	39'686
15	10'000	1 111'201	500'040	444'480	55'560

CASO 2.- VALORES DE RENTA FIJA EN DOLARES (18% ANUAL)

AÑO	CAPITAL A PRECIOS CTES.	CAPITAL A PRECIOS CORRIENTES 10%	RENDIMIENTO DE CAPITAL 18%	CANTIDAD QUE REINVIERTE 10%	CANTIDAD DISPONIBLE 8%	TASA DE CAMBIO	CANT.DISP. (SIN IMPS.)
1	208.3	208.3	37.5	20.8	16.7	48.00	800
2	208.3	229.1	41.2	22.9	18.3	61.09	1,120
3	208.3	252.0	45.4	25.2	20.2	77.75	1,568
4	208.3	277.2	49.9	27.8	22.1	98.96	2,195
5	208.3	305.0	54.9	30.5	24.4	125.95	3,073
6	208.3	335.5	60.4	33.5	26.9	160.29	4,303
7	208.3	369.0	66.4	36.9	29.5	204.01	6,024
8	208.3	405.9	73.1	40.6	32.5	259.65	8,433
9	208.3	446.5	80.4	44.7	35.7	330.46	11,806
10	208.3	491.2	88.4	49.1	39.3	420.59	16,529
11	208.3	540.3	97.2	54.0	43.2	535.30	23,140
12	208.3	594.3	107.0	59.4	47.6	681.29	32,397
13	208.3	653.7	117.7	65.4	52.3	867.09	45,355
14	208.3	719.1	129.4	71.9	57.5	1,103.57	63,497
15	208.3	791.0	142.4	79.1	63.3	1,404.55	88,896

CASO 3.- EDIFICIO DE DEPARTAMENTOS

AÑO	VALOR EDIF. A PRECIOS CTES.	VALOR EDIF. A PRECIOS CORRIENTES 40%	RENDIMIENTO DE CAPITAL 15%	GASTOS DE ADMON. Y MANTO 5 %	CANT. DISPONIBLE (SIN IMPS.) 10%
1	10'000	10'000	1'500	500	1'000
2	10'000	14'000	2'100	700	1'400
3	10'000	19'600	2'940	980	1'960
4	10'000	27'440	4'116	1'372	2'744
5	10'000	38'416	5'762	1'921	3'841
6	10'000	53'782	8'067	2'689	5'378
7	10'000	75'295	11'294	3'765	7'531
8	10'000	105'414	15'812	5'271	10'541
9	10'000	147'579	22'137	7'379	14'758
10	10'000	206'610	30'992	10'331	20'661
11	10'000	289'255	43'388	14'463	28'925
12	10'000	404'957	60'743	20'248	40'495
13	10'000	566'939	85'041	28'347	56'694
14	10'000	793'715	119'057	39'686	79'371
15	10'000	1,111'201	166'680	55'560	111'120

lo que respecta a la maquinaria, como por lo que se refiere a la actividad constructora.

En consecuencia supondremos que la División Maquinaria proporcionará a la División Construcción el equipo que requiera esta última, sobre bases prestablecidas que señalen claramente el pago de todos los conceptos por utilización del equipo, incluyendo el rendimiento al capital invertido en el mismo, a fin de que la División Construcción se preocupe exclusivamente por generar la utilidad correspondiente al capital de trabajo necesario para cumplir con las condiciones, especificaciones y programas del contrato de construcción, que debe ser cuando menos equivalente al valor de oportunidad resultante de un rendimiento real de 10% con inflación de 40 y que equivale a un 54% anual aprente (1.10 X 1.40 = 1.54).

Analicemos ahora el rendimiento al capital invertido en el equipo a partir de los pagos que debe efectuar la División Construcción, mediante una revisión de los conceptos incluidos en la determinación de tarifas del equipo, básicamente por lo que se refiere a (a) Depreciación y (b) Capital Invertido, extrapolando la determinación de los cargos por concepto de seguros, almacenaje y mantenimiento que no representa mayor dificultad.

a) Depreciación

Por lo que respecta a depreciación debe entenderse el concepto en cuanto a que es la cantidad que debe pagarse por la pérdida del valor en el equipo a consecuencia del desgaste por su utilización, con el fin de ir constituyendo una reserva que permita adquirir un equipo "igual" al término de su vida económica.

Tradicionalmente este concepto se calcula mediante la expresión:

$$D = \frac{Va - Vr}{Ve}$$

donde: Va = Valor de adquisición (sin considerar equipo adiconal)

Vr = Valor de rescate

Ve = Vida económica

Ejemplo: Motoescrepa Terex TS-14

Valor total = $ 10'500,000

Llantas = 1'500,000

Va $ 9'000,000

Vr = $1'050,000

Ve = 10,000 horas

de donde:

$$D = \frac{9'000,000 - 1'050,000}{10,000} = \$795.00/\text{hora}$$

Revisemos ahora si con la tarifa anterior podemos adquirir una escrepa al final de su vida económica, suponiendo que la tasa de inflación será del 40% anual (y constante) durante los próximos cinco años.

Plantcamiento A

Año (final)	Horas de trabajo anual	Aportación a la reserva	Valor acumulado en la reserva
1	2,000	$1'590,000	$1'590,000
2	2,000	1'590,000	3'180,000
3	2,000	1'590,000	4'770,000
4	2,000	1'590,000	6'360,000
5	2,000	1'590,000	7'950,000

Valores de adquisición y rescate al quinto año:

Valor total	9'000,000	$(1+0.40)^5$	=	$ 48'404,000
Valor de rescate	1'050,000	$(1+0.40)^5$	=	5'647,000
Valor que debiera existir en reservas				$ 42'757,000
Valor existente				7'950,000
Déficit				$ 34'807,000

Es evidente que la reserva no permite la adquisición de un nuevo equipo al término de su vida económica, podíamos incluso haber obviado el cálculo anterior ante el razonamiento de que si la inflación es de 40%, también la tarifa debe ser creciente en el mismo porcentaje. Revisemos este caso.

Plantcamiento B

Año (final)	Horas trabajo anual	Tarifa precios ctes.	Tarifa precios crrtes.	Aport. a la reserva	Valor acumulado en reserva	
1	2,000	$795.00	$ 795.00	1'590	1'590	
2 (1)	2,000	795.00	1,113.00	2'226	3'816	(2'226)
3 (2)	2,000	795.00	1,558.20	3'116	6'932	(5'342)
4 (3)	2,000	795.00	2,181.40	4'363	11'295	(9'705)
5 (4)	2,000	795.00	3,054.07	6'108	17'403	(15'813)
(5)	(2,000)	(795.00)	(4,275.70)	(8'551)		(24'364)

Entre paréntesis se indican los valores si desde el primer año ya se aplica la tarifa con un incremento de 40%.

Observamos que en ninguno de los dos casos anteriores se llega a satisfacer tampoco la premisa básica de la reserva de depreciación.

Es lógico entonces que surja la inquietud de plantear el problema al revés; es decir que se determine primero el monto que debe tenerse en la reserva al término de cada año y se calcule en consecuencia la tarifa de depreciación.

Planteamiento C

Año (final)	Valor en la reserva a precios ctes.	Valor en la reserva a precios crrtes.	Aportación a la reserva en el año	Tarifa	Incremento anual en la tarifa %
1	1'590	2'226	2'226	1,113.00	-
2	3'180	6'233	4'007	2,003.50	80.0
3	4'770	13'089	6'856	3,428.00	71.1
4	6'360	24'433	11'344	5,672.00	65.5
5	7'950	42'757	18'324	9,162.00	61.5

Lo que está muy lejos de representar una solución puesto que resulta imposible justificar o negociar incrementos en precios del orden de 80% ante una inflación reconocida de sólo el 40%, aun en contratos con clásusulas de escalación.

Debemos reconocer que los resultados son poco satisfactorios a pesar de que el importe acumulado en la reserva nos permita adquirir un nuevo equipo al término de su vida útil, porque hemos olvidado considerar el rendimiento del capital incluido en la reserva.

Para determinar la tarifa correcta recurriremos al concepto básico de depreciación que está implícito de la expresión:

$$D = \frac{Va - Vr}{Ve}$$

señala que el capital inicialmente invertido en el equipo se va recuperando con su operación y transformándose en reserva, el cual tiene un rendimiento, por lo que parte del mismo -40%- debe aplicarse a la reserva para no disminuir su valor en términos reales (como se hizo en los ejemplos previos del problema de inversión) de modo que el remanente sea el rendimiento real, o neto, del capital considerado en esa reserva.

Para el cálculo partimos de la premisa básica del Planteamiento C, cuantificando el monto que debe tenerse en la reserva al término de cada año, pero reconociendo que parte de esa reserva se va a constituir con la tarifa de depreciación y otra parte con la recapitalización de la reserva proveniente de los rendimientos del capital representado en dichas reservas. El cálculo se muestra en la siguiente tabla y resulta una tarifa creciente también al 40% anual.

Planteamiento D

Año	Acumulado en la reserva al año i	Acumulado en la reserva al inicio del año i	Reinvers. p/mant. valor en reserva (40%)	Incremento de reserva en año i (IR_i)	Aportación Depreciación (A_i)	Valor Medio Aportación	Rendimiento Aportación	Tarifa Depreciación
1	2'226	0		2'226	1'855	928	371	$ 928.0(
2	6'233	2'226	890	3'117	2'598	1'299	520	1,298.0(
3	13'089	6'233	2'493	4'363	3'636	1'818	727	1,818.0(
4	24'433	13'089	5'236	6'108	5'090	2'545	1'018	2,545.0(
5	42'757	24'433	9'773	8'551	7'126	3'563	1'125	3,563.0(

$$IR_i = A_i + \frac{A_i}{2} r \; ; \; r = 0.40; \quad IR_i = 1.2A; \; A_i = 0.8333 \; IR_i$$

Obsérvense que se obtienen valores consistentes con el cálculo de la tarifa mediante la expresión $D = \frac{Va - Vr}{Vr}$ efectuándose anualmente la escalación en los respectivos valores.

Planteamiento E

Año	Va pr.cts.	Vr pr.cts.	Factor de actualización	Va pr.corr.	Vr pr.corr.	Va-Vr pr.corr.	$D = \frac{Va-Vr}{Ve}$	D del plant. E
1	9'000	1'050	$1.40^{0.5}$	10'649	1'242	9'407	$ 940.70	$ 928.00
2	9'000	1'050	$1.40^{1.5}$	14'909	1'739	13'169	1,316.90	1,298.00
3	9'000	1'050	$1.40^{2.5}$	20'872	2'435	18'437	1,843.70	1,818.00
4	9'000	1'050	$1.40^{3.5}$	29'221	3'409	25'812	2,581.20	2,545.00
5	9'000	1'050	$1.40^{4.5}$	40'909	4'773	36'136	3,613.60	3,563.00

Las variaciones en la tarifa según el Planteamiento (D) con respecto a las del Planteamiento (E), se deben a la división por períodos

de capitalización, no existiendo de hecho diferencia entre ellas.

La conclusión fundamental de este análisis es en el sentido de que la fórmula empleada es válida (sin considerar impuestos), a condición de que se apliquen los valores apropiados y se considere también la revaluación de reservas.

Debemos señalar que esta revaluación de activos tiene implicaciones contables y fiscales importantes y que afectan el valor mismo de la tarifa, las cuales deben analizarse en el contexto total de la empresa, en especial porque a partir de enero de 1982 las empresas constructoras han dejado de disfrutar el tratamiento particular que hasta ahora habían tenido, consistente en el pago de un 3.75% sobre el volumen de obra como impuesto al rendimiento de capital.

Debemos señalar también que esta tarifa presupone un rendimiento uniforme del equipo durante su vida económica, pero en caso de que se desee reflejar en dicha tarifa el rendimiento diferencial del equipo, basta con determinar el correspondiente valor que debe existir en la reserva (columna 2 de la tabla del Planteamiento D a precios corrientes) para efectuar el cálculo de tarifas, con independencia de las implicaciones contables y fiscales adicionales que tiene el tratamiento de las reservas sobre esta base.

Pasemos ahora a analizar la tarifa por inversión o rendimiento de capital, para ver posteriormente el aspecto fiscal.

b) Inversión

Hasta ahora no se ha contemplado el rendimiento al capital invertido en el equipo, el cual es un capital decreciente en el tiempo puesto que mediante la tarifa de depreciación se transfiere el capital del equipo a la reserva; esta reserva debe invertirse al valor de oportunidad y sólo nos hemos preocupado de que parte de ese rendimiento

aparente se aplique a la reserva para no disminuir su valor en términos reales, pero no incluye el capital invertido en el equipo.

La expresión por medio de la cual se calcula esta tarifa

$$I = \frac{Va + Vr}{2\ Ha}\ i$$

implica de hecho que se calcule el valor medio del capital durante la vida económica $\frac{Va + Vr}{2}$, el cual se multiplica por la tasa de interés deseado, lo que proporciona el rendimiento al capital, y se divide entre las horas trabajadas en el año.

Revisemos la aplicabilidad de la expresión para determinar el rendimiento del capital suponiendo que cuando menos debemos obtener el 10% en términos reales que equivale al (1.40 X 1.10 - 1.0) X 100 = (1.54 - 1.0) X 100 = 54% en términos monetarios.

Para ello recurrimos a la tabla siguiente:

Año	Valor remanente precios constantes	Valor medio a pr. ctes.	Factor de actualización	Valor remanente a precios corrientes	Valor medio a pr. corrs.	Rendimto. esperado (10%)
	9'000		1.40 0.0	9'000		
1		8'205	1.40 0.5		9'708	971,100
	7'410		1.40 1.0	10'374		
2		6'615	1.40 1.5		10'958	1'095,800
	5'820		1.40 2.0	11'407		
3		5'025	1.40 2.5		11'653	1'165,300
	4'230		1.40 3.0	11'607		
4		3'435	1.40 3.5		11'153	1'115,300
	2'640		1.40 4.0	10'142		
5		1'845	1.40 4.5		8'386	836,800
	1'050		1.40 5.0	5'647		

Se aplica la tasa de 10% que corresponde al rendimiento real, toda vez que no es necesario preocuparse por revaluar el equipo, ya que éste se revalúa automáticamente en función de los precios de mercado -como en el caso del edificio de departamentos previamente planteado- y por tanto no debe pensarse en aplicar un mayor interés para destinarlo a dicha revaluación, dado también que por fuera se está calculando otra tarifa para mantenimiento.

El resultado obtenido en la última columna no nos permite obtener la tarifa por el capital invertido, por ser obviamente decreciente al considerarle como una función lineal de dicho capital. La determinación de la tarifa es un problema clásico de análisis de flujo de efectivo en el transcurso del tiempo que se resuelve mediante la determinación de un valor futuro que sea equivalente con el flujo de tarifas creciente.

Se utilizará el valor futuro de los rendimientos de capital, empleando ahora la tasa del 54% anual por tratarse de valores monetarios que sí requieren una tasa de revaluación de 40% anual para dejar un remanente real de 10%; el cálculo se muestra en la siguiente tabla:

Año	Aportación en el año	Valor inicial	Valor final	Valor medio	Rendimiento
1	971,100	0	971,100	485,600	262,200
2	1'095,800	1'233,300	2'329,100	1'781,200	961,800
3	1'165,300	3'290,900	4'456,200	3'873,600	2'091,700
4	1'115,300	6'547,900	7'663,200	7'105,600	3'837,000
5	836,800	11'500,200	12'337,000	11'918,600	6'436,000
		18'773,000			

Para obtener el mismo valor futuro esperado (18'773,000) con un flujo creciente de 40% anual, establecemos primero el valor futuro con una tarifa unitaria y después establecemos la proporcionalidad correspondiente.

Año	Tarifa	Aportación anual	Valor inicial	Valor final	Valor medio	Rendimto.
1	1,000.00	2'000.0	0	2'000.0	1'000.0	540.0
2	1,400.00	2'800.0	2'540.0	5'340.0	3'940.0	2'127.6
3	1,960.00	3'920.0	7'467.6	11'387.6	9'427.6	5'090.9
4	2,744.00	5'488.0	16'478.5	21'966.5	19'222.5	10'380.2
5	3,841.60	7'683.2	32'346.7	40'029.9	36'188.3	19'541.7
			59'571.6			
1	315.13	630.3	0	630.3	315.1	170.1
2	441.19	882.4	800.4	1'682.8	1'241.6	670.5
3	617.66	1'235.3	2'353.3	3'588.6	2'971.0	1'604.3
4	864.73	1'729.5	5'192.9	6'922.4	6'057.7	3'271.1
5	1,210.62	2'421.2	10'193.5	12'614.7	11'404.1	6'158.3
			18'773.0			

De esta forma las tarifas que se muestran en la segunda columna de la tabla anterior nos proporcionan, al final de la vida económica del equipo, el mismo valor futuro de $18'773,000 que obtendríamos de aplicar una tarifa de rendimiento real de 10% al capital remanente en el equipo, valuado a precios crecientes.

De manera semejante a lo obtenido para la tarifa de depreciación, estas tarifas son similares a las que se obtienen por medio de la expresión $I = \frac{Va + Vr}{2\ Ha}\ i$; aplicando los valores afectados por los respectivos coeficientes de escalación.

Año	Va pr. ctes.	Vr pr. ctes.	Factor actualización	Va pr.corrs.	Vr pr.corrs.	Va + Vr	Tarifa I
1	9'000,000	1'050,000	$1.40^{0.5}$	10'640,000	1'242,000	11'891,000	297.30
2	9'000,000	1'050,000	$1.40^{1.5}$	14'908,000	1'739,000	16'648,000	416.20
3	9'000,000	1'050,000	$1.40^{2.5}$	20'872,000	2'435,000	23'307,000	582.70
4	9'000,000	1'050,000	$1.40^{3.5}$	29'221,000	3'409,000	32'630,000	815.70
5	9'000,000	1'050,000	$1.40^{4.5}$	40'909,000	4'773,000	45'682,000	1,142.00

Las diferencias en este caso también se deben a la división por períodos anuales en los que se efectúa la capitalización de los intereses al rendimiento del capital.

La conclusión es la misma que para la tarifa de depreciación, en el sentido de que la expresión para el cálculo de la tarifa para inversión es correcta, a condición de que se apliquen los valores apropiados. Difiere en que no es necesario revaluar el activo o sea el valor remanente del equipo- a menos que se desee "reflejar razonablemente, de acuerdo a las normas generalmente aceptadas en contabilidad" el verdadero valor de los activos en equipo no depreciados, con las implicaciones contable y fiscales correlativas.

c) Aspectos fiscales

Los cálculos hasta aquí expuestos serían válidos bajo el tratamiento fiscal que hasta el año pasado disfrutaron las empresas constructoras, pues bastaba con multiplicar por un factor de 1.0375 para determinar el precio por concepto de los elementos analizados (no incluye reparto de utilidades); sin embargo, debe considerarse que a partir de enero de 1982, tanto el rendimiento aparente de la reserva (que no el real) como el rendimiento del capital quedan seriamente afectados por el nuevo tratamiento fiscal.

Para analizar este efecto fiscal ante el proceso inflacionario consideremos el balance y el estado de resultados de la división de maquinaria en las cuentas fundamentales que son afectadas por la aplicación de tarifas de depreciación y de inversión, exclusivamente por lo que se refiere a la máquina en cuestión.

En la página (30) se tiene el balance inicial y final del primer año de operación de la motoescrepa tomada como ejemplo; se obser-

BALANCE AÑO UNO (Inicio)

ACTIVO		PASIVO Y CAPITAL	
Activo Fijo	9'000	Capital	
		Cap. social	9'000
Suma Activo	9'000	Suma Pasivo y Capital	9'000

BALANCE AÑO UNO (Final)

ACTIVO			PASIVO Y CAPITAL	
Activo Circulante				
Pago RD		1'855		
Intereses RD(ARD)		371		
(Dif.54%-40%)		130		
Pago I } r=10%		630		
Inter.I }		170		
Suma Activo Circulante		3'156		
Activo Fijo				
Va	9'000		Capital	
RD	1'590		Cap. social	9'000
			Utilidad	1'566
Suma Activo Fijo		7'410		
SUMA ACTIVO		10'566	SUMA PASIVO Y CAPITAL	10'566

van en el activo los movimientos contables debidos a la aplicación de las tarifas de acuerdo con análisis presentado previamente (pago por concepto de depreciación en $1'855,000 y por concepto en inversión en $630,100) con los rendimientos monetarios asociados, así como lo correspondiente al pasivo por utilidad en el ejercicio.

En la parte superior de la página (32) se presenta el balance al inicio del segundo año de operación que corresponde al final del primer año con los siguientes ajustes, de acuerdo a los conceptos considerados en el análisis previo:

- Se integra la nueva reserva de depreciación ($1'855,000 + $371,000 = $2'226,000) que no incluye ninguna utilidad sobre capital invertido.

- De los valores monetarios considerados en el activo circulante se sustrae lo correspondiente a la reserva de depreciación, siendo la cantidad remanente el rendimiento del capital invertido tanto en el equipo como en la reserva.

- Se revalúa el equipo no depreciado de acuerdo a la inflación de 40% originalmente supuesta (de $7'410,000 a $10'374,000).

- Se calcula el pasivo tanto por lo que respecta a utilidad como a capital derivados de los tres ajustes previamente señalados.

Este sería el resultado de acuerdo con la antigua política fiscal; ahora consideremos los estados de resultados, parte inferior página (32), suponiendo que se paga 8% de reparto de utilidades y 42% de impuesto sobre las utilidades -en un volumen total de utilidades superior a los dos millones de pesos- lo que dejará una utilidad

BALANCE AÑO DOS (Inicio)

ACTIVO		PASIVO Y CAPITAL	
Activo Circulante			
Reserva Dep.(1'590)	2'226 (2)		
Invers.	930 (3)		
Suma Activo Circulante	3'156 (1)		
Activo Fijo		**Capital**	
Valor rem (7'410)	10'374 (4)	Cap. social	12'600
		Utilidad Neta E.A.	930
Suma Activo	13'530	Suma Pasivo y Capital	13'530

ESTADO DE RESULTADOS

Ventas	RD	1'855		2'775	
	Inv.	630		943	
	Suma	2'485		3'718	
Costo ventas		1'590		1'590	
Utilidad bruta		895		2'128	
Menos otros gastos					
Más otros ingresos					
Intereses RD (ARD) (Dif.54%-40%)		371	501	555	750
Intereses I		130		195	
Utilidad base (imp)		170		254	
		1'566		3'132	
Part.utilidades	8%	125		251	
Impto.	42%	658		1'315	
Utilidad a repartir		783		1'566	

BALANCE AÑO DOS (Inicio)

ACTIVO		PASIVO Y CAPITAL	
Activo Circulante			
Reserva Depr.	2'226		
Invers.	147		
Suma Activo Circulante	2'373		
Activo Fijo		Capital	
Valor rem.	10'374	Cap. social	12'600
		Utilidad neta	147
Suma Activo	12'747	Suma Pasivo y Capital	12'747

2'485 X -1'590 = (371+130+170)X = 3'132 ; X = 1.496

BALANCE AÑO UNO (Final)

ACTIVO			PASIVO Y CAPITAL	
Activo Circulante				
Pago RD		2'775		
Interés RD		750		
Pago I		943		
Intereses I		254		
Suma Activo Circulante		4'722		
Activo Fijo			Capital	
Va	9'000		Capital social	9'000
RD	1'590		Utilidad	3'132
Suma Activo Fijo		7'410		
Suma Activo		12'132	Suma Pasivo y Capital	12'132

IMPORTANTE:

Tasa de inflación	40% anual
Rendimiento cap.aparente	54% anual
Rendimiento neto real	10% anual

real de sólo $147,000, significativamente inferior a la requerida para tener un rendimiento de 10% anual sobre el capital invertido, según se muestra en el balance inicial del segundo año de operación, parte superior página (33), una vez que se han efectuado los mismos ajustes aplicables al balance previo.

Por lo tanto si se desea una utilidad aparente de $1'566,000 después de impuestos, equivalente a una utilidad real de $930,000, se requiere incrementar las aportaciones de las tarifas de depreciación y de inversión que se muestran en la segunda columna del estado de resultados y en el balance final del año uno, lo que permitiría entonces efectuar los ajustes de acuerdo a las consideraciones del análisis previo para obtener el balance inicial en el segundo año de operaciones conforme al criterio de rendimiento deseado. (Parte inferior pág. 33).

De estos resultados se desprende que para tener un rendimiento real de 10% con inflación de 40% anual (rendimiento aparente de 54% anual) y dada la nueva política fiscal, se requiere multiplicar las tarifas por un factor de 1.496. La modificación en rendimientos reales deseados y tasas de inflación distintas, requerirían, evidentemente, un nuevo cálculo de tarifas y de impuestos. (No incluye corrección por Artículo 51 de la Ley del Impuesto Sobre la Renta).

Con los razonamientos hasta aquí expuestos concluye lo relativo al análisis de los costos de equipo ante el proceso inflacionario; se espera que la discusión de estas ideas permita formarse una concepción de la mecánica monetaria, para tomar acertadamente las decisiones relativas a la adquisición y uso de equipo de construcción.

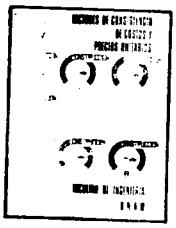
OTRAS PUBLICACIONES DEL DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCION

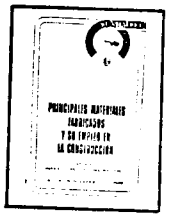
INTRODUCCION AL PROCESO CONSTRUCTIVO

Constituye el primer capítulo del programa de Construcción I. Relaciona la construcción con los demás campos de la Ingeniería. Resalta la importancia de la toma de decisiones. Presenta la construcción como un proceso de transformación.

FACTORES DE CONSISTENCIA DE COSTOS Y PRECIOS UNITARIOS

Se presentan las bases de la teoría de precios unitarios. Se analizan con detalle los elementos que integran el costo unitario. Contiene ejemplos de aplicación.



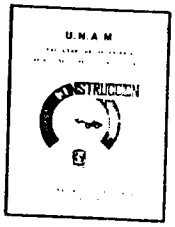


PRINCIPALES MATERIALES FABRICADOS Y SU EMPLEO EN LA CONSTRUCCION

Adaptado al curso de Construcción I. Se estudian la obtención, tratamiento, propiedades y utilización de los siguientes materiales: Cementos, Yeso, Cal, Puzolanas, Asfaltos, Materiales Metálicos, Productos Cerámicos y Pinturas.

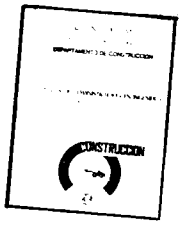
BREVE DESCRIPCION DEL EQUIPO USUAL DE CONSTRUCCION

Incluye los mecanismos y elementos básicos de la maquinaria utilizada en construcción, así como su descripción, clasificación y aplicaciones.



TECNICAS MODERNAS DE PRODUCCION DE AGREGADOS

Contiene una breve descripción de los equipos utilizados en la producción de agregados pétreos, complementándose con ejemplos numéricos de aplicación.



APUNTES DE ADMINISTRACION DE EMPRESAS DE INGENIERIA

El texto es programado y contiene las principales teorías que se han desarrollado en administración aplicándolas posteriormente, a casos prácticos.

APUNTES QUE SE ENCUENTRAN EN PROCESO:

- PROGRAMACION Y CONTROL DE OBRAS
- ESTRUCTURAS METALICAS

SERIE: MATERIALES DE CONSTRUCCION

TOMO I.- LAS ROCAS