



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

EXCAVACION EN LA
INGENIERIA CIVIL

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL
PRESENTA:
VICTOR MANUEL PALACIOS LICONA

MEXICO, D.F.

1993.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

EXCAVACION EN LA INGENIERIA CIVIL

C O N T E N I D O

Introducción

I.- Estudios preliminares	1
I.1. Clasificación e identificación de suelos.	1
I.2. Métodos de exploración y muestreo de suelos.	3
I.3. Tipos de excavación.	5
I.4. Equipo de excavación.	6
I.5. Acarreo del material producto de la excavación.	8
II.- Excavación en Zanjas	10
II.1. Profundidad y ancho de zanja.	10
II.2. Selección del equipo.	10
II.3. Rangos de operación de la retroexcavadora y de las zanjadora de cadena y de disco.	13
III.- Excavaciones Voluminosas	20
III.1. La Pala mecánica y la pala frontal.	21
III.1.1. Rangos de operación.	21
III.1.2. Factores a considerar para la producción.	23
III.1.3. Procedimientos de excavación.	28
III.2. El Cargador frontal.	29
III.2.1. Operación y producción.	32
III.3. La Motoescrepa.	37
III.3.1. Tracción, Agarre, Resistencia a la rodadura y a la pendiente.	41
III.3.2. Operación y producción.	42
III.4. La Dragalina.	44
III.4.1. Aplicaciones.	45
III.4.2. Rangos de Operación.	47
III.4.3. Procedimientos de excavación.	47
III.5. La Grúa con cucharón de almeja.	50

IV.- Control del nivel freático	56
IV.1. Procedimientos de drenaje e impermeabilización.	56
IV.2. Asentamientos de terreno adyacente debido al drenaje.	73
IV.3. Vibroflotación.	74
V.- Excavación en roca	76
V.1. Equipo y métodos de perforación.	76
V.2. Principios y planeación de voladuras.	85
V.2.1. Banqueo.	86
V.2.2. Patrones de voladuras.	89
V.3. Tipos de explosivos.	95
V.4. Sistemas de detonación.	97
VI.- Túneles y excavaciones subterráneas	101
VI.1. Clasificación empírica del tunelero.	101
VI.2. Túneles en suelos.	102
VI.2.1. Procedimientos de excavación.	102
VI.2.2. Manejo del agua.	109
VI.2.3. Método del Aire comprimido.	109
VI.3. Túneles en roca.	112
VI.3.1. Empleo de explosivos.	112
VI.4. Maquinaria para la excavación.	114
VI.4.1. Tipos y operación de la maquinaria para suelos.	114
VI.4.2. Tipos y operación de la maquinaria para roca.	123
VI.5. Excavación de Lumberas.	124
VI.5.1. Empleo de explosivos.	124
VI.5.2. Procedimientos mecánicos.	126
VI.6. Ventilación del túnel.	129
VII.- Ejemplos	130
Red Nacional De Fibra Optica	130
Proyecto Hidoeléctrico Aguamilpa	134
Drenaje Profundo de la Ciudad de México	140
VIII.- Conclusiones	147

Bibliografía

I N T R O D U C C I O N

Debido a la tremenda variabilidad con que se presentan los suelos y sobre todo al hecho de que los procesos naturales que los generan están totalmente fuera del control del ingeniero, es innegable que la interacción suelo-método de excavación, es un factor decisivo en el éxito de la ejecución de la mayoría de los trabajos de Construcción y de Ingeniería Civil.

De ahí que la parte fascinante de las excavaciones es el que nunca se presentan dos sitios de trabajo iguales, además de que muy pocos son completamente predecibles.

Esto hace que en toda obra en que se proyecte realizar excavaciones, se deba considerar la influencia decisiva del suelo en la elección del equipo y del proceso constructivo a practicar.

La primera publicación en la que se da una interpretación científica al suelo como elemento ingenieril, fue hecha por el Dr. Karl von Terzaghi. Sin duda, el gran mérito del Dr. Terzaghi como precursor y creador de la Mecánica de Suelos, fue su ininterrumpido esfuerzo por darle a ésta una fundamentación empírica que haga concordantes los conocimientos adquiridos con la realidad de las obras.

En el presente trabajo se ha hecho un esfuerzo por clasificar los diversos tipos de excavación, sugiriendo el equipo a emplear así como recomendando métodos de despliegue del mismo, considerando desde luego la mayor ventaja económica y vinculando siempre la maquinaria con las características y propiedades mecánicas e hidráulicas del suelo en cuestión.

Se ha incluido un capítulo completo para lo relativo al control del nivel freático, por ser éste el mayor problema que se presenta durante la excavación. Recomendando, dependiendo del suelo por excavar, métodos de drenaje e impermeabilización para controlar las filtraciones.

Por último, como ejemplos se resumen algunos proyectos, en los cuales se pretende mostrar la necesidad de considerar el suelo para una correcta selección tanto del equipo como del método de despliegue.

I ESTUDIOS PRELIMINARES

I.1. CLASIFICACION E IDENTIFICACION DE SUELOS

Debido a la infinita variedad con que los suelos se presentan en la naturaleza y a los distintos campos de la Mecánica de Suelos que deben de ser cubiertos, es evidente que un sistema de clasificación completo debe estar basado en las propiedades mecánicas de los suelos, por ser éstas esenciales para la práctica de la Ingeniería Civil; además esta base debe ser primordialmente cualitativa para normar el criterio del técnico respecto al suelo de que se trate.

El sistema de clasificación fue originalmente propuesto en 1942 por el Doctor A. Casagrande en la Universidad de Harvard; sus diversos estudios culminaron con el "Sistema de Clasificación de Aeropuertos", llamado así debido a que estaba orientado para el uso en aquel tipo de obras, posteriormente se le hicieron algunas modificaciones y ajustes para constituir el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, ampliamente usado en el mundo en la actualidad.

Este sistema de clasificación reconoce que las propiedades mecánicas e hidráulicas de los suelos de fracción fina pueden deducirse cualitativamente a partir de sus características de plasticidad, apoyándose desde luego en la carta de plasticidad. Las propiedades más importantes de las que se precisa tener datos son : características de esfuerzo como son la deformación y la resistencia, compresibilidad, permeabilidad y velocidad de variación volumétrica entre otras. Siendo la compresibilidad la que influye más para la formación de estos grupos y la cual está íntimamente ligada con las características de plasticidad, específicamente con el valor del límite líquido. La compresibilidad aumenta con el valor del límite líquido, permaneciendo los demás factores constantes.

Cabe mencionar que el principal uso de la carta de plasticidad es el de situar en ella un suelo desconocido, definiendo su plasticidad por medio del cálculo del límite líquido y del índice plástico, con lo cual, la colocación del suelo en cualquiera de los grupos definidos indicará que posee el conjunto de propiedades mecánicas e hidráulicas de ese grupo.

A continuación se presenta la tabla general 1.1. en la que aparece el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, incluyendo identificación y descripción.

Tabla 1.1.

PROCEDIMIENTO DE IDENTIFICACION EN EL CAMPO (Excluyendo los tamaños mayores de 7.6 cm (3") y basando las fracciones en pesos estimados)		SIMBOLOS DEL GRUPO (a)		NOMBRES TÍPICOS		CRITERIO DE CLASIFICACION EN EL LABORATORIO	
SUELOS DE PARTICULAS GRUESAS Más de la mitad del material pasa la malla N° 200 (Ø) (Los porcentajes de 0.075 mm de diámetro (malla N° 200) son aproximadamente los más próximos, véase el límite "a")						Coeficientes de uniformidad (C _u), Coeficientes de curvatura (C _c) $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$, mayor de 4; $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10}D_{60}}$, entre 1 y 3	
GRUESAS Más de la mitad de la fracción gruesa pasa la malla N° 4 (Para clasificar, véase el método IZC em como representante de la malla N° 4)		GW Arenas bien graduadas, mezclas de grava y arena, con poco o nada de limas		GP Arenas mal graduadas, mezclas de grava y arena, con poco o nada de limas		No satisfacen todos los requisitos de graduación para GW	
ARENAS Más de la mitad de la fracción gruesa pasa la malla N° 4 (Para clasificar, véase el método IZC em como representante de la malla N° 4)		GM Arenas limosas, mezclas de grava, arena y limo		GC Arenas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla		Límites de plasticidad abajo de la "línea A" e 1 <subp< sub=""> mayor que 4 </subp<>	
ARENAS CON FINOS Cantidad apreciable de partículas finas (1)		SW Arenas bien graduadas, arenas con grava, con poco o nada de limas		SP Arenas mal graduadas, arenas con grava, con poco o nada de limas		Límites de plasticidad arriba de la "línea A" con 1 <subp< sub=""> mayor que 7 </subp<>	
ARENAS CON FINOS Cantidad apreciable de partículas finas (1)		SM Arenas limosas, mezclas de arena y limo		SC Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla		Límites de plasticidad arriba de la "línea A" con 1 <subp< sub=""> mayor que 7 </subp<>	
ARENAS CON FINOS Cantidad apreciable de partículas finas (1)		GP Arenas mal graduadas, mezclas de grava y arena, con poco o nada de limas		GM Arenas limosas, mezclas de grava, arena y limo		GC Arenas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla	
ARENAS CON FINOS Cantidad apreciable de partículas finas (1)		SW Arenas bien graduadas, arenas con grava, con poco o nada de limas		SP Arenas mal graduadas, arenas con grava, con poco o nada de limas		SM Arenas limosas, mezclas de arena y limo	
ARENAS CON FINOS Cantidad apreciable de partículas finas (1)		SM Arenas limosas, mezclas de arena y limo		SC Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla		SC Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla	
PROCEDIMIENTO DE IDENTIFICACION EN LA FRACCION QUE PASA LA MALLA N° 40		RESISTENCIA EN ESTADO SECO (Características al compactamiento)		DILATANCIA (Reacción al agitado)		TEHACIDAD (Consistencia cerca del límite plástico)	
SUELOS DE PARTICULAS FINAS Más de la mitad del material pasa la malla N° 200 (Los porcentajes de 0.075 mm de diámetro (malla N° 200) son aproximadamente los más próximos, véase el límite "a")		Nulo a ligera		Rápida o lenta		Nulo	
LIMOS Y ARCILLAS Límite líquido menor de 50		Media a alta		Nulo a muy lenta		Media	
LIMOS Y ARCILLAS Límite líquido mayor de 50		Ligera a media		Lenta		Ligera	
LIMOS Y ARCILLAS Límite líquido mayor de 50		Ligera a media		Lenta o nula		Ligera a media	
LIMOS Y ARCILLAS Límite líquido mayor de 50		Alta a muy alta		Nulo		Alta	
LIMOS Y ARCILLAS Límite líquido mayor de 50		Media a alta		Nulo a muy lenta		Ligera a media	
SUELOS ALTAMENTE ORGANICOS		Fácilmente identificables por su color, olor, sensación esponjosa y frecuentemente por su textura fibrosa		P _t		Turba y otros suelos altamente orgánicos	

Determínese las porcentajes de grava y arena de la curva granulométrica dependiendo del porcentaje de finos (fracción que pasa la malla N° 200)

1) Si los suelos gruesos se clasifican como 1-4:

- Menos de 5% GW, GP, SW, SP
- 5% a 12% GM, GC, SM, SC
- 13% a 17% GP, GM, GC, SM, SC
- 18% o 12% GP, GM, GC, SM, SC

2) Si los suelos finos que requieren el uso de plastómetros:

- Menos de 5% GW, GP, SW, SP
- 5% a 12% GM, GC, SM, SC
- 13% a 17% GP, GM, GC, SM, SC
- 18% o 12% GP, GM, GC, SM, SC

Úsese la curva granulométrica para identificar las fracciones de suelo analizados en la columna de identificación en el campo

EQUIVALENCIA DE SIMBOLOS
 G-Grava M-Limo O-Suelos orgánicos W-Bien graduado L-Baja compresibilidad
 S-Arena C-Arcilla P-Turba P-Mal graduado M-Alto compresibilidad

COMPARANDO SUELOS A IGUAL LIMITE LIQUIDO LA LA TEHACIDAD Y LA RESISTENCIA EN ESTADO SECO AUMENTAN CON EL INDICE PLASTICO

LIMITES LIQUIDO
CARTA DE PLASTICIDAD
PARA CLASIFICACION DE SUELOS DE PARTICULAS FINAS EN EL LABORATORIO

1) Clasificaciones de frontera - Los suelos que poseen las características de dos grupos se designan con la combinación de los dos símbolos. Por ejemplo GW-GC, mezcla de grava y arena bien graduada con componente arcillosa

Ø) Todos los tamaños de los mallas en esta carta son los U.S. Standard

1.2. METODOS DE EXPLORACION Y MUESTREO DE SUELOS

El propósito fundamental de los sondeos, tanto en la etapa de proyecto así como durante la ejecución de la obra, es el de contar con la mayor cantidad de datos respecto al suelo con el que se está tratando. Estos datos permitirán al Ingeniero Proyectista conocer ampliamente las propiedades físicas del suelo, las cuales se considerarán en su análisis en el laboratorio para obtener finalmente los datos definitivos para su trabajo.

Para la obtención de resultados satisfactorios será necesario vincular dos actividades importantes, el muestreo de los suelos y las pruebas de laboratorio. Lo primero estará regido por el programa de pruebas de laboratorio, y el segundo por la naturaleza de los problemas que se suponga el suelo presentará para cada tipo de obra.

En general, para cada obra se tendrán dos tipos de sondeos: los preliminares y los definitivos, cada uno con sus respectivos métodos de muestreo, a continuación se mencionan los principales tipos de sondeo:

- 1.- Métodos de Sondeo preliminar.
 - a) Pozos a cielo abierto con muestreo alterado e inalterado.
 - b) Perforaciones con posteadora, barretones, barrenos helicoidales o métodos similares.
 - c) Métodos de Lavado.
 - d) Penetración: Estándard y Cónica.
- 2.- Métodos de Sondeo definitivo.
 - a) Pozos a cielo abierto.
 - b) Tubo de pared delgada.
 - c) Métodos rotatorios para roca.

A continuación se describirán brevemente los métodos más eficaces utilizados actualmente, omitiéndose los restantes por estar fuera del alcance de este trabajo.

En los Métodos Preliminares, la **Penetración Estándard** ha demostrado ser el que proporciona información más útil en torno al subsuelo, debido a la alta representatividad de las muestras obtenidas.

El equipo consta de un muestreador especial, denominado "penetrómetro estándar", de preferencia de media caña para extraer la muestra que le haya penetrado, el cual es hincado en el terreno por un martinete de 140 lbs de peso dejado caer de una altura de 30", contando el número de golpes necesario para hacerlo penetrar un pie. En cada avance de 2' se retirará el penetrómetro removiéndose la muestra de su interior. Hay que mencionar que previo a la ejecución de la prueba, el fondo será limpiado con posteadora o cuchara, y

el conteo de los golpes iniciará después de que se haya hincado 0.15 m el penetrómetro.

La importancia de esta prueba radica en que las correlaciones realizadas en el campo y en el laboratorio en diversos suelos, son realmente dignas de confianza.

Dentro de los métodos de sondeo definitivos, los Pozos a cielo abierto proporcionan datos más confiables del suelo, ya que éstos consisten en excavar un pozo, por el cual un técnico baja directamente a examinar y analizar los diferentes estratos y las condiciones del subsuelo. La muestra obtenida deberá protegerse con una manta y, brea o parafina, para evitar la pérdida de humedad. Desafortunadamente este método a grandes profundidades se complica por la dificultad del abatimiento del nivel freático y por el tipo de estratos que se presenten. Hay que considerar que la excavación se encarece mucho cuando se hace necesario ademar a causa de la profundidad.

En cuanto a los métodos con tubo de pared delgada, éstos se crearon básicamente para minimizar los cambios en las condiciones de la muestra "in situ", y se usan en la actualidad en suelos cohesivos principalmente.

Los estudios más recientes (M. J. Hvorslev) han demostrado que para obtener un grado de alteración mínima en las muestras, es necesario hincar el muestreador con un procedimiento estático, es decir, con presión y velocidad constante y cuidar que la relación entre el diámetro exterior e interior del tubo no sea mayor del 10%. Los tipos más comunes de muestreador de pared delgada son: el tipo Shelby y el de Pistón, ambos de media caña.

Quando el sondeo alcanza un estrato rocoso es necesario recurrir a las máquinas perforadoras a rotación con broca de diamante o del tipo Cáliz.

En las primeras, en el extremo de la tubería de perforación se coloca un corazón, el cual es un muestreador especial, y en su extremo inferior se acopla una broca de acero duro con incrustaciones de diamante industrial si el suelo es duro; en rocas de mediana dureza se emplean brocas con inserciones de carburo de tungsteno en la corona, ahora bien, si la roca es suave basta usar broca de acero duro con diente de sierra.

En las segundas, los muestreadores son de acero duro y la penetración se hace con el empleo de municiones de acero que se vacían hasta el punto de perforación a través de la tubería hueca, ya que éstas actúan como abrasivo. Estas perforadoras tienen la ventaja de que pueden construirse de tamaños tan grandes como para realizar perforaciones hasta de 3.00 m de diámetro.

El éxito en la aplicación de este método dependerá del balance de la velocidad de rotación; de la presión del agua, la cual se emplea para contrarrestar el calor generado durante la operación; y de la presión sobre la broca, respecto al tipo de roca explorado.

I.3. TIPOS DE EXCAVACION

Una vez que se han conocido las características y propiedades de los materiales que serán excavados, se procederá a determinar los volúmenes que se moverán y el alcance de las operaciones.

En la cuantificación de los volúmenes es de suma importancia considerar la cantidad debida al abudamiento del material, la cual podrá ser hasta de un 45% adicional.

El alcance de las operaciones depende de : el volumen que se moverá, la ubicación del sitio de la excavación, las dimensiones del lugar a excavar, el tipo y condiciones del suelo, y la disposición final del material excavado.

Tomando en cuenta los factores arriba mencionados, en las excavaciones se distinguen cuatro tipos básicos: en zanjas, voluminosas, en roca, y túneles. Como en la mayoría de las clasificaciones, no hay límites netos para cada división y algunas pueden caer dentro de otro tipo también.

En la excavación en zanjas el ancho de operación y generalmente la profundidad son limitadas, lo que hace que los trabajos se deban ejecutar verticalmente.

Las excavaciones voluminosas son principalmente de considerable profundidad, así como de una masa substancial de material por acarrear fuera del sitio de operaciones. Si ésta se lleva a cabo en un sitio donde se tengan edificaciones o calles adjuntas, el equipo empleado es operado contra la cara del banco desde el nivel más bajo, y el material excavado es cargado en vehículos para ser transportado fuera del sitio. Por el contrario si no se tiene ningún tipo de estructura en las cercanías y es poca la profundidad pero considerable el área, el acceso al sitio será desde varias direcciones, por lo que las paredes del banco podrán ser escarpadas casi horizontalmente en más de dos caras; el material excavado es transportado y depositado en un lugar cercano, donde será cargado y retirado del sitio por otros vehículos. Cuando el material a excavar consta primordialmente de arcillas húmedas, aluviones o sedimentos fluviales y el suelo esté muy saturado o flojo (formaciones no consolidadas), será necesario soportar las paredes mediante ademes, tablaestacas o revestimientos de concreto, y en tal caso las maniobras son ejecutadas desde las

inmediaciones y no desde el interior del pozo, dependiendo ésto del área a excavar.

El dragado consiste en la remoción de suelos de zonas subacuáticas, empleando el agua como un medio de transporte para conducir los suelos a su disposición final. Esta operación podría considerarse como una variante de la excavación voluminosa en terreno inundado suelto, y sin la presencia de agua, la excavación puede llevarse a cabo por métodos similares.

Para la **excavación en roca**, el objetivo primordial es convertir los macizos duros en partículas de agregados sueltos para que así éstos puedan ser manejados con el mismo equipo que es usado en suelos. Actualmente el uso de los explosivos ha demostrado ser el mejor procedimiento para dicha transformación.

La **excavación en túnel** es limitada en ancho y en altura y es ejecutada siempre completamente subterránea.

I.4. EQUIPO DE EXCAVACION

La clasificación del suelo y la determinación del tipo de excavación que se ejecutará son los primeros pasos para la selección del equipo adecuado, de hecho, cualquiera de los equipos básicos, entendiéndose como tales a la pala mecánica, el cargador frontal, la retroexcavadora, la draga, la grúa de cucharón de almeja y la motoescropa pueden ser usados para maniobrar en cualquier suelo y para cualquier tipo de operación. El problema real es la selección del equipo que moverá el mayor volumen de material en el menor tiempo posible, con la mínima inversión de trabajo y equipo. La tabla 1.2. ha sido preparada como una aproximación inicial a este problema.

Cabe mencionar que la tabla sugiere únicamente la maquinaria básica de excavación, por ser éstas generalmente las más accesibles. Desde luego, en los proyectos en que se pueda recurrir a la pala frontal y a las zanjadora en sustitución de la pala mecánica y de la retroexcavadora respectivamente, se deberá aprovechar la ventaja que estos equipos modernos ofrecen sobre los ya mencionados. Debido a la variedad y a la complejidad de los métodos de excavación en túneles, el estudio de los procedimientos empleados se reserva para el capítulo VI.

Donde se marque un (*) en la tabla, el equipo básico indicado puede ser usado, pero quizás se requiera de la asistencia de los explosivos o de algún procedimiento para romper los suelos altamente compactados, o bien las rocas.

Tabla 1.2.

GUIA PARA LA SELECCION DEL EQUIPO BASICO

TIPO DE MATERIAL	SIMBOLOGIA	CONTENIDO DE AGUA	ZANJAS	EXCAVACIONES VOLUMINOSAS		
				EN FOSAS	AREA EXTENDIDA	MASAS SUeltas Y ARE VERTICAL LIMITADA
GRAVA BIEN GRADUADA	GW	SECO HUMEDO	R Z.C.	P P	M M	C.A. D.
GRAVA CON ARCILLA	GC	S H	R. Z.C.	P P	M M	C.A. D.
GRAVA POBREMENTE GRADUADA	GP	S H	R. Z.C.	P P	M M	C.A. D.
GRAVA CON FINOS	GF	S H	R. Z.C.	P P	M D	C.A. D.
ARENA BIEN GRADUADA	SW	S H	R. Z.C.	P P	M M	C.A. D.
ARENA CON ARCILLA	SC	S H	Z.C. Z.C.	P P	M D	C.A. D.
ARENA POBREMENTE GRADUADA	SP	S H	R. Z.C.	P C.A.	M D	C.A. D.
ARENA CON FINOS	SF	S H	R. Z.C.	P C.A.	M D	C.A. D.
LIMO Y ARENA FINA	ML	S H	R. Z.C.	P C.A.	M D	C.A. D.
ARCILLA	CL	S H	Z.C. R.	P C.A.	M D	C.A. D.
LIMOS ORGANICOS	OL	S H	Z.C. R.	P C.A.	M D	C.A. D.
LIMO FINO	MH	S H	Z.C. Z.C.	P C.A.	M D	C.A. D.
ARCILLAS MUY PLASTICA	CH	S H	R. R.	P C.A.	M D	C.A. D.
ARCILLAS ORGANICAS	OH	S H	R. R.	P C.A.	M D	C.A. D.
TURBA	PT	S H	R. R.	P C.A.	M D	C.A. D.
ROCA	-	-	Z.D.	*D	*C.F.	-

EN DONDE: R= Retroexcavadora, Z.C.= Zanjadora de Cadena, Z.D.= Zanjadora de Disco,

P.= Pala frontal o mecánica, C.A.= Grúa con Cucharón de Almeja, M= Motoescrepa,

C.F.= Cargador Frontal, D= Dragalina.

Es importante recordar antes de transportar el equipo básico al sitio previamente seleccionado, que su tamaño debe ser lo suficientemente grande para mover el material económicamente, y lo suficientemente pequeño para satisfacer las condiciones de trabajo, así como considerar que los equipos de fuerza motriz y de montaje estarán en función del tipo de terreno de apoyo.

I.5. ACARREO DEL MATERIAL PRODUCTO DE LAS EXCAVACIONES

De todos los problemas implícitos en las excavaciones, el último es la transportación y la disposición final de los suelos y rocas que han sido removidos de sus lechos originales.

Para realizarlo los vehículos sobre neumáticos son el principal medio empleado, siendo subdivididos en dos clases: las unidades de carretera y las fuera de carretera.

Las unidades de carretera son generalmente camiones de volteo. El acarreo se hace usando avenidas y calles, por lo que su uso se restringe con las finalidades de proteger el camino por donde circula así como para salvaguardar la seguridad pública. Debido a que los caminos se clasifican de acuerdo a su capacidad de carga, el peso del vehículo cargado es la primera restricción; otra es el ancho del vehículo, el cual no debe ser mayor a 2.50 m; además las unidades no deberán derramar material en su trayecto y deberán evitar circular en circuitos de acceso controlado. De hecho, las características de las restricciones así como el número, variará dependiendo del lugar donde se empleen.

Las características distintivas de las unidades fuera de carretera son su altura, ancho y capacidad (hasta de 65 m cúbicos). El sistema de vaciado de estas unidades es el de libre volteo a pie de sitio y se emplean principalmente en obras donde el volumen de materiales manejados es muy grande, como lo es en las presas y en la minería.

Debe hacerse hincapié que el tamaño de la unidad seleccionada dependerá de la capacidad del cucharón del equipo de carga; de tres a seis descargas para llenar el volteo, representan un buen balance. La eficiencia de la unidad está basada en su tiempo de viaje, por lo que el tiempo excesivo de carga es tiempo perdido. Es decir, si la caja es muy pequeña, el tiempo de carga será muy corto y por lo tanto será necesario colocar más unidades para ser cargadas. El resultado será tiempo ocioso para el equipo cargador y como consecuencia una reducción en la capacidad diaria del equipo.

Cuando no es posible usar las unidades antes mencionadas por el alto costo que implicaría la construcción

de caminos en terrenos difíciles, se hace uso de las bandas transportadoras las cuales son utilizadas con mayor frecuencia para manejar agregados de concreto y minerales más que en excavaciones en general. Su espesor puede ser de 1/8" hasta 1" y su ancho de 12" a 72", siendo las más prácticas las de 24" y 30".

El uso de estas bandas es económico cuando los volúmenes por mover son considerables y donde el costo de las facilidades para suministrar las bandas y remover las descargas no compensan los posibles ahorros de operación y mantenimiento del camino.

La banda transportadora es generalmente construida en secciones de 500' a 2000' de longitud; en operación, ésta descarga en la subsiguiente banda y así sucesivamente, hasta llegar a su disposición final.

Tres son los factores que determinan la selección de una banda transportadora, siendo éstos: el impacto en el punto de carga, la longitud requerida de cada sección, y la abrasividad del suelo con el que se trabajará. La pendiente del terreno también influirá en esta selección.

II EXCAVACION EN ZANJAS

II.1. PROFUNDIDAD Y ANCHO DE ZANJA

La excavación en zanjas debe ser considerada sobre algunas bases diferentes respecto a otros tipos de excavación. En las excavaciones en general el interés radica en el volumen de tierra que será movido, mientras que para las zanjas, el interés principal es la longitud por excavar. Es cierto que una mayor profundidad y ancho generarán un mayor movimiento de tierras, pero sin embargo por ejemplo, tratándose de instalación de tuberías y de cables (telefónicos, eléctricos, etc.) la cuota de producción está determinada por la cantidad de elementos tendidos y no por los metros cúbicos excavados.

Es importante controlar el ancho de la zanja en relación a su profundidad, ya que desde el punto de apoyo de la excavación, esto pondría los límites en el tipo de equipo a usar.

Como no es factible controlar la profundidad de la zanja ya que ésta variará para cada proyecto, y como la mayoría de las excavaciones son ejecutadas en materiales suaves, los cuales son escarpados en talud para controlar deslizamientos o derrumbes, la solución práctica es limitar el ancho de la zanja lo máximo posible.

II.2. SELECCION DEL EQUIPO

La selección del equipo adecuado para la excavación en zanja, involucra algunos problemas que generalmente no se encuentran en la selección de otros tipos de maquinaria. Los factores a ser considerados en esta selección se pueden listar de la siguiente manera: (1) finalidad de la zanja, (2) ancho y profundidad de zanja, (3) condiciones del suelo, y (4) condiciones de la superficie del terreno.

La retroexcavadora; y las zanjadoras de disco y de cadena son los elementos más versátiles para esta tarea, por lo que su participación es frecuentemente solicitada aquí.

La Retroexcavadora.

La retroexcavadora combina algunas características de la dragalina y de la pala mecánica. Como la dragalina, ésta excava desde la superficie en que se desplaza; como la pala mecánica, tiene la habilidad de enterrar el cucharón en el suelo que esta siendo excavado. A diferencia de la dragalina y debido a la favorable posición que puede adoptar el cucharón, es posible tener un mejor control del ancho y de

la profundidad de excavación, particularmente donde los suelos no son homogéneos. A diferencia de la pala mecánica, no está bien adaptada para la carga y acarreo de materiales que serán desalojados.

El aguilón o pluma de la retroexcavadora es en "cuello de ganso" para permitir excavar lo más cercano a las orugas o a los neumáticos de apoyo a una profundidad máxima, evitando el contacto con la orilla superior de la zanja.

Una vez que se tiene seleccionada la retroexcavadora a utilizar, es importante determinar el tamaño del cucharón específicamente el ancho y para ello se deben considerar los costados, los cuales actúan como cortantes; así como el tipo de suelo a excavar.

Una de las principales funciones de estos costados es la de proteger los dientes o bordes laterales del cucharón. Tanto los costados como los dientes son hechos de manganeso, material que proporciona la dureza requerida para prevenir rompimientos y la resistencia necesaria a la abrasión, y esto porque aunque los dientes son reforzados, es más costoso reconstruir uno dañado que reemplazar un costado deteriorado.

La máxima potencia disponible de una retroexcavadora está fijada por el ancho del cucharón, por lo tanto, a un mayor ancho la fuerza por cm disponible será baja, mientras que para dientes concentrados en un ancho pequeño, la fuerza por cm será alta. Consecuentemente, en esquistos, arena, caliche o en suelos compactos mixtos (arcilla-grava-arena) un cucharón angosto será requerido; por el contrario, en terrenos sin compactar formados por arena, grava, escombros, arcilla seca o fragmentos de roca producto de voladuras, un cucharón ancho será útil, sin considerar obviamente el terminado del ancho de la zanja, el cual podrá ser obtenido haciendo cortes o traslapes según convenga.

Las Zanjadoras.

El uso de una serie continua de cucharones instalados en cadenas, cuerdas, o en cualquier otro conector flexible, es un antiguo principio en el manejo de excavaciones. Tales arreglos fueron empleados por primera vez para la excavación de minas en Inglaterra en el siglo XVI, y es muy probable que los romanos hayan conocido este artefacto siglos atrás. Sin embargo, este dispositivo no fue usado para excavar propiamente dicho, sino para subir a la superficie los materiales sueltos resultantes de una previa excavación.

Cuando la demanda en excavación de zanjas se incrementa, uno de los primeros dispositivos introducidos empleaba una cadena continua de cucharones, con el

inconveniente de que la cadena flexible no podía aplicar suficiente presión a los cucharones para penetrar los suelos compactos, ya que no importaba que tan estirada estuviera la cadena siempre sería necesaria cierta soltura para su movimiento. Aunque esta primera dificultad había sido superada, el uso de estas zanjadoras todavía encontró limitaciones en la excavación de suelos arenosos húmedos de densidad uniforme.

Un tipo de zanjadora de cucharones-continuos empleada con éxito anteriormente, poseía los cucharones asegurados a una rueda rotatoria, la cual proporcionaba la rigidez necesaria para penetrar el suelo.

En la actualidad, habiendo perfeccionado los dos mecanismos arriba descritos y basándose en el mismo principio de funcionamiento, se cuenta con zanjadoras de disco y de cadena; a diferencia de los primeros equipos, éstos incorporaron dientes rotatorios en lugar de cucharones, e integraron un aguilón horizontal para sujetar el disco y el mecanismo de cadena, de manera que éste puede subir y bajar para controlar la profundidad de excavación, con lo cual se hacen mas versátiles y agresivos en el ataque del frente.

Las zanjadoras de cadena se emplean fundamentalmente en suelos tipo A y B donde no se presenten boleos o fragmentos de roca, ya que estos elementos no pueden ser arrojados al exterior, permaneciendo siempre en juego con los dientes y la cadena, de hecho, el terreno ideal para este zanjeo, es aquel de arenas o arcillas húmedas de naturaleza homogénea, que sea capaz de permanecer vertical en sus costados durante la excavación y a la profundidad requerida; por su parte la zanjadora de disco se emplea en los suelos tipo C (en roca) y su producción dependerá de la correcta selección de los dientes cortadores y del tamaño del equipo.

Ambos tipos de zanjadora poseen la característica de que el material que esta siendo excavado lo apilan a un costado de ellos, paralelo a la cepa, ya que cuentan con una pequeña tolva y banda transportadora internas, que captan y conducen dicho material, facilitando la labor de relleno.

Dependiendo del tipo de trabajo a ejecutar, las zanjadoras de cadena podrán contar con una serie de aditamentos opcionales, como son una hoja frontal (como los bulldozer), un cucharón posterior o un martillo hidráulico (como en las retroexcavadoras), un zanco tiende-cable o un portarrollos entre otros. Además ambos tipos de zanjadoras pueden ser sobre orugas o bien sobre neumáticos.

II.3. RANGOS DE OPERACION

Los rangos de trabajo de la maquinaria de excavación son usados para determinar la conveniencia de un equipo para una actividad particular. La retroexcavadora frecuentemente emplea cucharones de diferentes tamaños, pero, a diferencia de la dragalina y de la grúa de cangilones, cuyos cucharones son elegidos por su capacidad, los usados en las retroexcavadoras lo son por su ancho.

A continuación y para proporcionar una ayuda en la selección del equipo se muestran las figuras 2.1a. y 2.1b. con los rangos de operación de dos retroexcavadoras CAT con aguilón de una pieza, y zapatas y tren de rodaje estándar.

Figura 2.1a.

225 — Área de alcance en excavación

Aguilón de una pieza, y zapatas y tren de rodaje estándar.

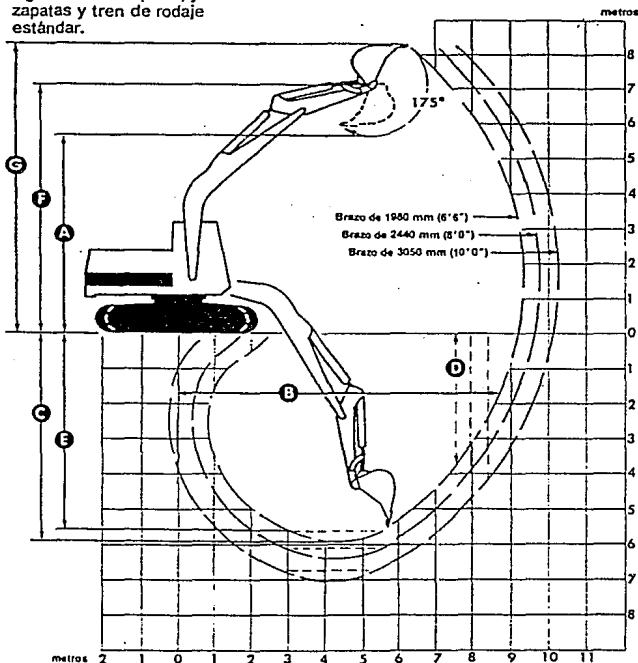


Figura 2.1a.

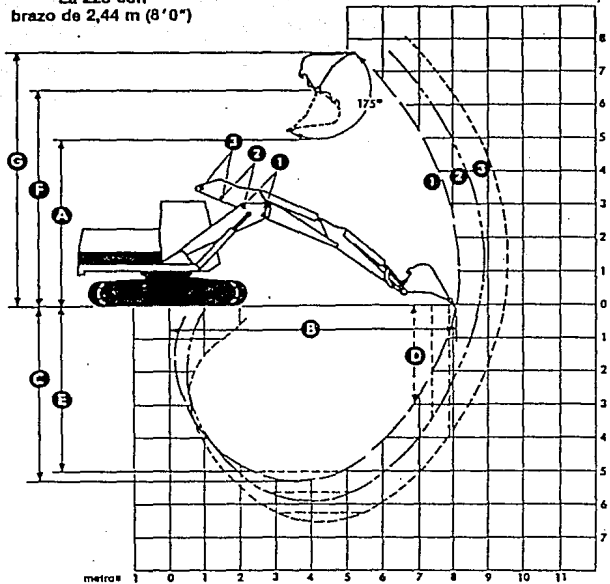
DIMENSIONES DE EXCAVACION CON AGUILON DE UNA PIEZA

Brazo	215				225							
	1800 mm	5'11"	2200 mm	7'3"	2500 mm	9'2"	1980 mm	6'6"	2440 mm	8'0"	3050 mm	10'0"
A. Altura máxima de carga, cucharón con dientes	m	pies	m	pies	m	pies	m	pies	m	pies	m	pies
B. Alcance máximo al nivel del suelo	5,46	17'11"	5,44	17'10"	5,69	18'8"	5,82	19'1"	5,79	19'0"	5,99	19'8"
C. Profund. máx. de excavación	8,43	27'8"	8,69	28'6"	9,25	30'4"	9,24	30'4"	9,58	31'5"	10,16	33'4"
D. Pared vertical máxima	5,39	17'8"	5,77	18'11"	6,38	20'11"	5,97	19'7"	6,43	21'1"	7,04	23'1"
E. Profund. máx. de corte para fondo a nivel de 2,44 m (8')	3,84	12'7"	3,86	12'8"	4,42	14'6"	3,71	12'2"	3,84	12'7"	4,11	13'6"
F. Altura máxima del pasador de giro del cucharón	5,13	16'10"	5,51	18'1"	6,17	20'3"	5,74	18'10"	6,20	20'4"	6,85	22'5"
G. Alt. máx. con los dientes del cuch. en la cima del arco.	6,81	22'4"	6,81	22'4"	7,04	23'1"	7,39	24'3"	7,40	24'2"	7,57	24'10"
	8,0	26'3"	7,93	26'0"	8,18	26'10"	8,6	28'3"	8,51	27'11"	8,69	28'6"

Brazo	235		245							
	2440 mm	8'	2900 mm	9'6"	3660 mm	12'	3200 mm	10'6"	4420 mm	14'6"
A. Altura máxima de carga, cucharón con dientes	m	pies	m	pies	m	pies	m	pies	m	pies
B. Alcance máximo al nivel del suelo	6,25	20'6"	6,35	20'10"	6,81	22'4"	7,28	23'9"	7,92	26'0"
C. Profund. máx. de excavación	10,69	35'1"	11,10	36'5"	11,91	39'1"	12,52	41'10"	14,02	46'0"
D. Pared vertical máxima	6,85	22'6"	7,32	24'0"	8,08	26'6"	8,53	28'0"	9,75	32'0"
E. Profund. máx. de corte para fondo a nivel de 2,44 m (8')	4,70	15'5"	5,33	17'6"	6,55	21'6"	5,45	17'9"	7,42	24'4"
F. Altura máxima del pasador de giro del cucharón	6,65	21'10"	7,14	23'5"	7,95	26'0"	8,35	27'4"	9,66	31'7"
G. Alt. máx. con los dientes del cuch. en la cima del arco.	8,00	26'4"	8,10	26'8"	8,56	28'2"	9,57	31'4"	10,24	33'6"
	9,45	31'10"	9,58	31'5"	10,08	33'1"	11,30	37'1"	11,92	39'11"

Figura 2.1b. DIMENSIONES CON AGUILÓN DE DOS PIEZAS

La 225 con
brazo de 2,44 m (8'0")

**CLAVE:**

- A Altura máxima de carga del cucharón con dientes.
 B Alcance máx. al nivel del suelo.
 C Profundidad máx. de excavación.*
 D Pared vertical máxima.*
 E Profundidad máx. de corte para el fondo plano de 2,44 m (8 pies)
 F Altura máxima del pasador de giro del cucharón.*
 G Altura máx. hasta los dientes del cucharón en la cúspide del arco.*

- 1 Aguilón retraído
 2 Aguilón en posición intermedia
 3 Aguilón extendido

*El ítem de rodaje de aplicación especial de la 225 disminuye, en 225 mm (8"), las dimensiones verticales bajo el nivel del suelo, y aumenta en 203 mm las dimensiones verticales sobre el suelo.

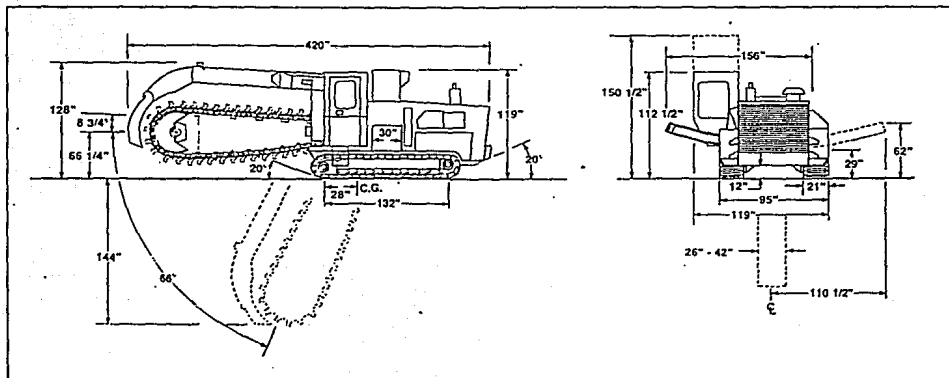
215	Brazo corto			Brazo mediano			Brazo largo		
	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)
	m pies	m pies	m pies	m pies	m pies	m pies	m pies	m pies	m pies
A	4,65 15'3"	5,03 16'6"	5,41 17'9"	4,55 14'11"	4,93 16'2"	5,31 17'5"	4,75 15'7"	5,13 16'10"	5,54 18'2"
B	7,06 23'2"	7,72 25'4"	8,36 27'5"	7,32 24'	7,95 26'1"	8,61 28'3"	7,85 25'9"	8,48 27'10"	9,17 30'1"
C	4,14 13'7"	4,75 15'7"	5,33 17'6"	4,55 14'11"	5,13 16'10"	5,74 18'10"	5,13 16'10"	5,74 18'10"	6,35 20'10"
D	2,41 7'11"	2,92 9'7"	3,48 11'5"	2,58 8'6"	3,07 10'1"	3,63 11'11"	3,10 10'2"	3,61 11'10"	4,14 13'7"
E	3,89 12'9"	4,47 14'8"	5,08 16'8"	4,27 14'	4,88 16'	5,46 17'11"	4,90 16'2"	5,51 16'11"	6,35 20'10"
F	5,97 19'7"	6,35 20'10"	6,76 22'2"	5,89 19'4"	6,28 20'7"	6,65 21'10"	6,10 20'	6,48 21'3"	6,86 22'6"
G	7,14 23'5"	7,54 24'9"	7,95 26'1"	6,96 22'10"	7,34 24'1"	7,77 25'6"	7,16 23'6"	7,57 24'10"	7,95 26'1"

225	Brazo corto			Brazo mediano			Brazo largo		
	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)
	m pies	m pies	m pies	m pies	m pies	m pies	m pies	m pies	m pies
A	5,05 16'7"	5,48 18'0"	5,92 19'5"	5,05 16'7"	5,48 18'0"	5,91 19'4"	5,30 17'4"	5,73 18'8"	6,12 20'1"
B	7,65 25'10"	8,56 28'11"	9,26 30'4"	7,95 26'10"	8,90 29'2"	9,60 31'5"	8,77 28'8"	9,45 31'0"	10,15 33'3"
C	4,63 15'2"	5,27 17'3"	5,88 19'3"	5,12 16'8"	5,76 18'9"	6,37 20'9"	5,73 18'8"	6,37 20'9"	6,97 22'9"
D	2,62 8'6"	3,14 10'3"	3,38 11'11"	2,77 9'1"	3,32 10'9"	3,78 12'4"	3,11 10'2"	3,63 11'9"	4,05 13'3"
E	4,42 14'5"	5,06 16'6"	5,67 18'6"	4,60 15'11"	5,48 18'0"	6,09 20'0"	5,48 18'0"	6,12 20'1"	6,76 22'2"
F	6,67 21'9"	7,04 23'11"	7,51 24'6"	6,64 21'8"	7,04 23'1"	7,50 24'6"	6,85 22'5"	7,04 23'10"	7,68 25'2"
G	7,89 25'9"	8,30 27'2"	8,72 28'6"	7,80 25'6"	7,95 26'11"	8,62 28'3"	7,95 26'11"	8,41 27'6"	8,56 28'10"

235	Brazo corto			Brazo mediano			Brazo largo		
	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)
	m pies	m pies	m pies	m pies	m pies	m pies	m pies	m pies	m pies
A	5,36 17'7"	5,79 19'0"	6,24 20'6"	5,46 17'11"	5,89 19'4"	6,35 20'10"	5,92 19'5"	6,35 20'10"	6,81 22'4"
B	9,12 29'11"	9,91 32'6"	10,69 35'1"	9,53 31'3"	10,31 33'10"	11,10 36'5"	10,34 33'11"	11,13 36'6"	11,91 39'1"
C	5,49 18'0"	6,17 20'3"	6,86 22'6"	5,94 19'6"	6,63 21'9"	7,32 24'0"	6,71 22'0"	7,39 24'3"	8,08 26'6"
D	3,51 11'6"	4,52 14'10"	4,70 15'5"	4,11 13'6"	4,72 15'6"	5,33 17'6"	5,26 17'3"	5,89 19'4"	6,55 21'6"
E	5,58 17'4"	5,97 19'7"	6,65 21'10"	5,77 18'11"	6,45 21'2"	7,14 23'5"	6,58 21'7"	7,26 23'10"	7,95 26'0"
F	7,16 23'6"	7,59 24'11"	8,00 26'4"	7,26 23'10"	7,69 25'3"	8,13 26'8"	7,72 25'8"	8,15 26'9"	8,56 28'2"
G	8,51 27'11"	8,97 29'5"	9,45 31'0"	8,61 28'4"	9,07 29'9"	9,58 31'5"	9,19 30'2"	9,63 31'7"	10,06 33'1"

Figura 2.2a.

DIMENSIONES DE OPERACION DE LA Z. DE CADENA T-850



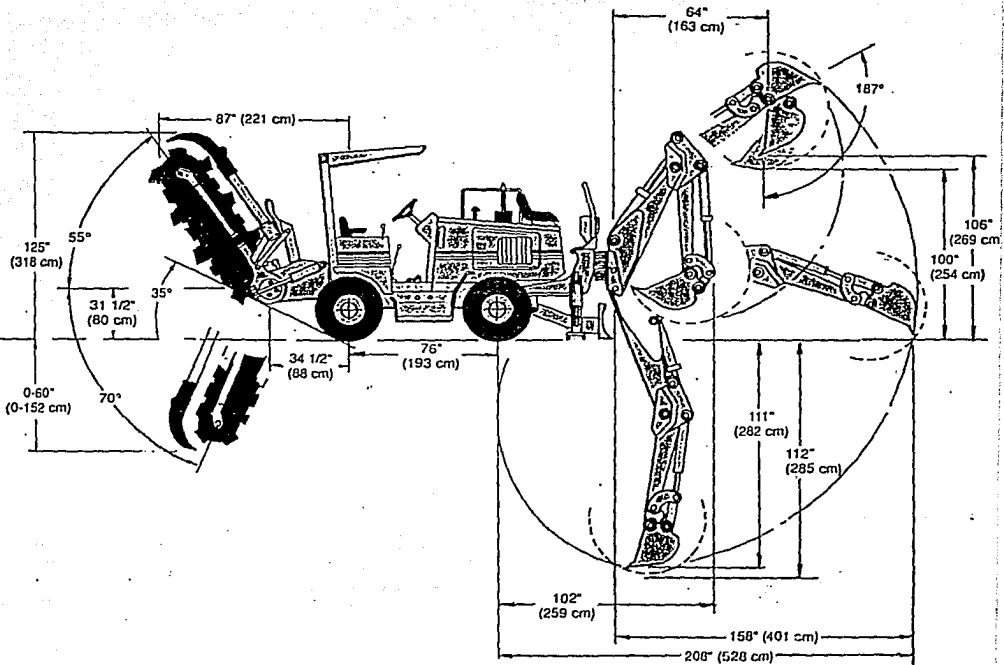
OPCIONES DE PROFUNDIDAD DE ZANJA

Aguilón de: 1.83 m (6 ft)
 2.44 m (8 ft)
 3.05 m (10 ft)
 3.66 m (12 ft)

OPCIONES DE ANCHO DE ZANJA - DOBLE CADENA

Aguilón de:	6 ft y 8 ft	=====	66, 76, 91 y 107 cm
	10 ft	=====	66, 76 cm
	12 ft	=====	66 cm

Figura 2.2b. DIMENSIONES DE OPERACION DE LA ZANJADORA
V-8050 CON ADITAMENTOS



CADENA ZANJADORA VH-1850

Ancho de zanja - 15 a 46 cm
Profundidad de zanja - 152 cm

MENSULA PARA ZANJEO LATERAL OB-1850

Desplazamiento lateral respecto al eje de la unidad 76 cm.

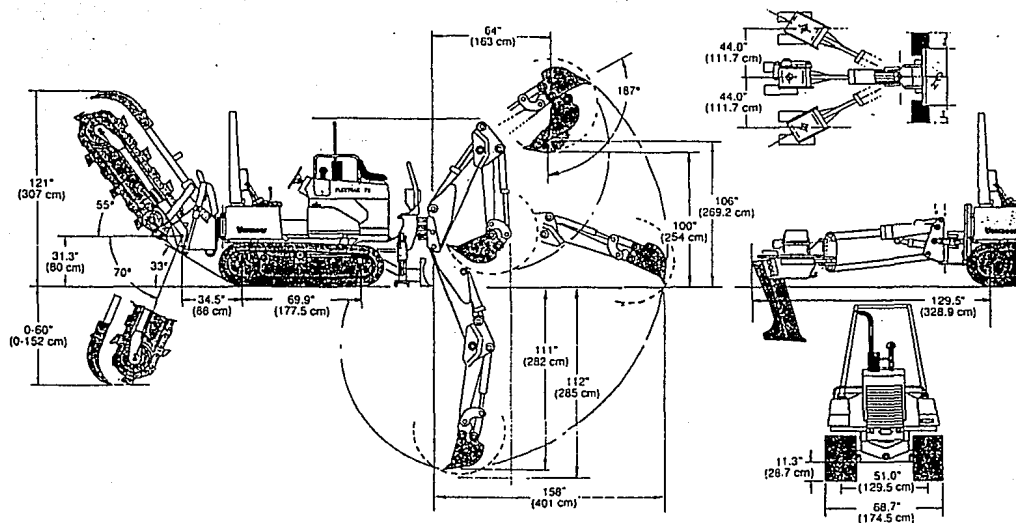
ARADO HIDRAULICO GIRATORIO VP-3650

Longitud _____ 257 cm
Profundidad _____ 91.4 cm
Giro _____ 105 cm para c/lado

DISCO PARA ROCA CRC 24

Profundidad de corte - 64 cm
Ancho de corte _____ 10-13 cm

Figura 2.2c. DIMENSIONES DE OPERACION DE LA ZANJADORA FLEXTAC 75 CON ADITAMENTOS



CUCHILLA DE RELLENO V-8000

Ancho	_____	203	cm
Altura	_____	41	cm
Angulo de acercamiento	_____	22°	
Angulo máximo de giro	_____	30°	Der./Izq.

RETROEXCAVADORA V-9300

Profundidad de excavación	-	284.5	cm
---------------------------	---	-------	----

ARADO GIRATORIO

Altura	_____	273.1	cm
Profundidad	_____	61-91.4	cm
Giro	_____	112	cm para c/lado

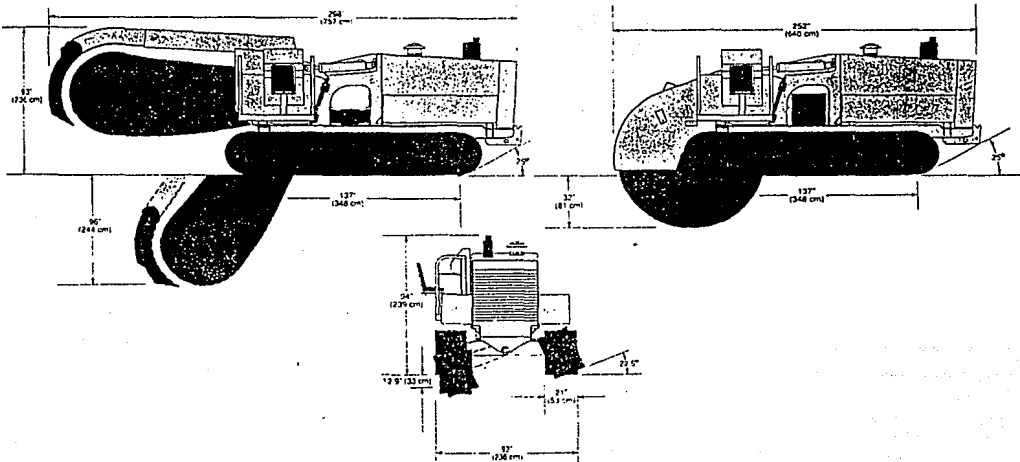
PORTARROLLO RC-3000

Diámetro max. de rollo	_____	244	cm
Ancho max. de rollo	_____	137	cm
Peso max. de rollo	_____	1360	kg

CADENA ZANJEADORA FH-1050

Ancho de zanja	_____	15 - 30.5	cm
Profundidad de zanja	_____	152	cm

Figura 2.2d. DIMENSIONES DE OPERACION DE LA ZANJADORA DE DISCO/CADENA T-665



DISCO PARA ROCA

Ancho de zanja _____ 9, 10, 13, 17, 23 y 25 cm.
 Profundidad máxima _____ 81 cm

CADENA ZANJADORA

CON POLEA LOCA DE COLA DE 40"

Profundidad _____ 112 y 183 cm
 Ancho _____ 25-46 y 61 cm

CON POLEA LOCA DE COLA DE 20"

Profundidad _____ 112, 183 y 244 cm
 Ancho _____ 25-71 cm (cadena sencilla)
 Ancho _____ 25-66 cm (doble cadena)

Viaje del aguilón hacia arriba 10°
 Viaje del aguilón hacia abajo 60°

III EXCAVACIONES VOLUMINOSAS

Como se explicó anteriormente, dentro de este grupo se pueden distinguir tres tipos de excavaciones, dependiendo fundamentalmente del volumen total que será manejado; la ubicación del sitio de la excavación; su relativo ancho, profundidad y amplitud; el tipo de suelo que será movido; y la disposición final del material excavado.

Al primer tipo la denominaremos "excavación en fosa" y podría ser definida como una excavación de considerable profundidad y substancial volumen, el cual deberá ser acarreado fuera del sitio de operaciones. Este tipo de excavación se hace generalmente contra un banco de material, dejando la fosa con paredes casi verticales. Es usado principalmente debido a las limitaciones en el área del sitio; las canteras de roca así como las minas de arena y grava pertenecen a este tipo.

En este tipo el volumen de material manejado es importante; a diferencia de en las excavaciones pequeñas, las cuales se pueden ejecutar con un buen número de equipos, sin embargo, los costos por metro cúbico serán altos debido al traslado y retiro del equipo del sitio; estos costos son absorbidos, donde una cantidad sustancial de material está involucrada, dejando la tasa de producción como virtualmente el único criterio de costo. La razón a la cual la excavación es ejecutada depende del equipo seleccionado para la labor y del suelo que será excavado.

El segundo tipo corresponde a una excavación la cual es relativamente superficial y completamente accesible desde varios lados. En estos puntos difiere del anterior tipo, donde el acceso es limitado y la profundidad es el factor importante. Además en este tipo la excavación por sí misma es secundaria, siendo el principal objetivo obtener material para rellenos y terracerías.

Sus usos primarios son en carreteras, en nivelaciones de pistas de aterrizaje, en la remoción de capas superpuestas de tierra (como en las canteras o minas a cielo abierto), y en la construcción de diques y presas de tierra. En algunos casos involucra únicamente el movimiento de material de las partes altas a las áreas bajas. En otros casos, involucra el manejo de suelos de desecho, los cuales son inadecuados como material de relleno; y en otros casos, el material es movido de un área de préstamo para subsanar las deficiencias de alguna terracería o terraplén.

Debido a que este tipo de excavación frecuentemente proporciona material para rellenos o terraplenes construidos bajo especificaciones, el movimiento de tierra empleado manejará sólo algunas clases de suelo. Únicamente aquellos

materiales que puedan ser adecuadamente compactados son de interés. Arena seca y suelta o roca fracturada no son deseables como relleno salvo que estén mezclados con aglutinantes o cementantes como lo es la arcilla. Contrariamente, los limos orgánicos y las arcillas elásticas y expansivas tampoco son adecuadas, a menos de que estén mezcladas con suelos granulares.

El tercer y último tipo podría ser definido como una excavación abundante, de suelos sueltos no consolidados; de suelos bajo el agua o de suelos tan saturados que deberá preverse el movimiento del equipo que se situará sobre esta superficie. Aquí la excavación es ejecutada generalmente desde un terreno sólido o casi sólido adyacente al área que está siendo excavada, estando ésta al mismo nivel o a un nivel superior del que lo está el material que será manejado.

III.1. LA PALA MECANICA Y LA PALA FRONTAL

La pala mecánica y la frontal son los más eficientes de los diversos equipos con que se cuenta, para excavar y cargar grandes volúmenes de tierra en fosas o bancos donde la profundidad es importante y sobre todo donde el terreno sea capaz de permanecer vertical. Esta excavará gravas cementadas y arcillas compactadas duras y secas las cuales no pueden ser eficientemente excavadas por ningún otro equipo. Además la pala mecánica carga los camiones de volteo más rápidamente y esta operación es controlada con mayor precisión.

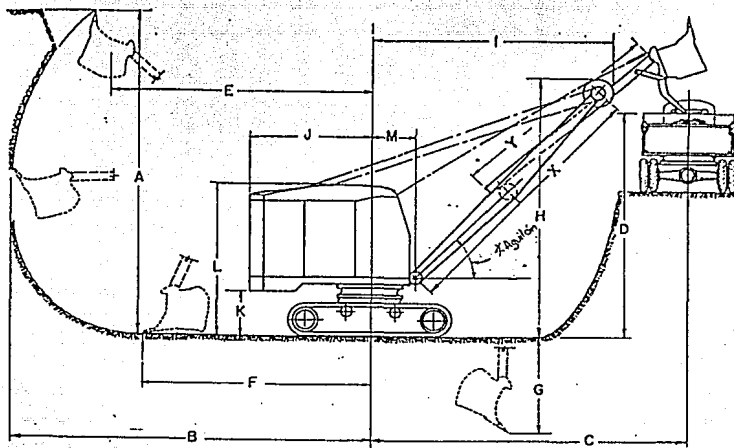
Sin embargo, la pala mecánica y la frontal no son adecuadas para excavar suelos no cohesivos, ya que como éstas operan desde el fondo del banco o fosa pueden llegar a quedar atascadas en los materiales que se han derrumbado. Suelos con buenas características de drenaje, los cuales quizás existan debajo del nivel freático, pueden ser secados suficientemente para encontrarse en esta condición, aún donde ellos no sean básicamente cohesivos. Suelos de grano fino saturados no podrán ser secados o drenados en suficiente profundidad como para dejar un banco con taludes escalonados.

III.1.1. RANGOS DE OPERACION

La selección del tamaño apropiado de la pala mecánica o frontal a usar en un determinado proyecto, depende considerablemente de las características de operación de cada uno de los diferentes equipos. La fig. 3.1. muestra algunas dimensiones representativas de los rangos de operación para diferentes tamaños de palas mecánicas en diferentes marcas.

Figura 3.1a.

DIMENSIONES DE OPERACION DE PALAS MECANICAS



DIMENSIONES DE OPERACION CON AGUILON A 45°

DIMENSIONES	CAPACIDAD DEL BOTE EN YD CUBICAS, MARCA Y MODELO							
	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	1 3/4	2	2 1/2
	LINK BELT LS-58	NORTH WEST 25	MARION 43-M	LORAIN 56	NORTH WEST 6	LINK BELT K-370	BUCYRUS ERIE 51-B	MARION 93-M
A ALTURA DE CORTE MAXIMA	6.43	6.83	7.77	7.54	7.57	8.76	8.84	8.84
B RADIO DE CORTE MAXIMO	7.34	7.90	9.45	9.30	9.98	10.19	10.59	11.51
C RADIO DE VACIADO A LA MAX. ALTUR	5.89	6.25	7.85	7.52	8.51	8.26	8.53	9.53
D ALTURA DE VACIADO MAXIMA	4.47	4.83	5.41	5.05	5.13	5.51	6.02	5.87
E RADIO DE VACIADO MAXIMO	6.48	6.91	8.38	7.98	8.76	9.09	9.3	9.98
F RADIO AL NIVEL DE PISO	4.42	5.13	5.94	5.38	6.81	6.86	6.63	7.01
G PROFUNDIDAD DE EXCAVACION	1.78	2.01	1.91	2.69	2.24	2.49	2.59	2.82
H CLARO DEL EXTREMO DEL AGUILON	5.26	5.61	6.63	6.40	7.42	7.19	7.39	8.00
I RADIO DEL EXTREMO DEL AGUILON		4.78	6.1	5.61	7.09		6.78	7.39
J RADIO DE ESTRUCTURA GIRATORIA	2.34	2.64	2.79	3.07	3.40	3.51	3.73	4.11
K CLARO LIBRE DE ESTRUCT. AL SUEL	1.07	0.94	1.04	0.99	1.09	1.02	1.12	1.14
L ALTURA DE CABINA	3.12	3.15	3.58	3.07	3.63	3.84	3.71	4.72
M DIST. DEL CENTRO DE ROTACION AL ESPARRAGO DE PIE DEL AGUILON	0.94		1.12	0.69		1.22	1.52	1.35
X LONGITUD DEL AGUILON	4.88	5.54	6.55	6.40	7.62	7.01	6.71	7.92
Y LONGITUD DE LA FLECHA DEL BOTE	3.96	4.67	4.98	5.18	5.49	4.93	5.49	5.61

Hay que señalar que muchas de las dimensiones mostradas se ven afectadas por el ángulo del aguilón, esto es, el ángulo que forma el aguilón con la horizontal. En operación, este ángulo variará de 40° a 60°, modificando las dimensiones aquí mostradas (a 45°); sin embargo cabe mencionar que el ángulo normal del aguilón será consistentemente muy cercano a 45°.

Algunas de las dimensiones dadas indican rangos máximos y no son por lo tanto los rangos dentro de los cuales la pala opera a su mayor eficiencia.

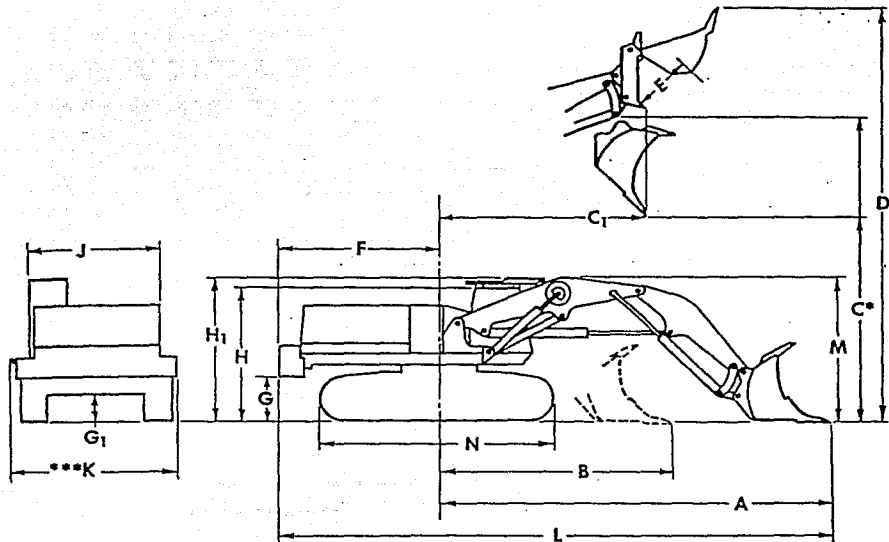
A manera de comparación se muestra la fig. 3.2. en la cual se presentan las dimensiones y los rangos de operación para dos palas frontales hidráulicas CATERPILLAR, de las cuales se mencionan a continuación sus características principales:

- Control de la posición del cucharón,
- Empuje paralelo automático y ascenso del cucharón a nivel durante cada ciclo,
- Carga rápida del cucharón y excelente retención de la carga, la cual eleva el rendimiento,
- Dos opciones de cucharón: con descarga por delante y descarga por el fondo,
- Sistema hidráulico de potencia constante, con lo cual puede concentrar toda la potencia en una sola función,
- Propulsión hidrostática con motor independiente en cada cadena, lo cual posibilita la contrarrotación, y
- Requiere mínima labor de conservación.

III.1.2. FACTORES A CONSIDERAR PARA LA PRODUCCION

Las tasas de producción de la pala frontal dependen de un número de factores: (1) de las características y dimensiones del equipo, (2) del volumen y calidad del suelo, (3) del abundamiento del suelo, (4) del tiempo en el ciclo de carga, (5) de la profundidad óptima de corte, (6) del ángulo de giro, (7) del tiempo perdido y de la experiencia del operador, y (8) de la eficiencia. Estos factores varían, no únicamente de proyecto a proyecto sino también durante el curso de una excavación. Ninguno de estos factores puede ser exactamente evaluado, pero ninguno debe ser ignorado. Los datos que se presentan en las tablas 3.3a., 3.3b. y 3.3c. se deberán considerar únicamente como una guía no como un parámetro rígido.

Figura 3.2.
DIMENSIONES DE OPERACION DE PALAS FRONTALES



	235				245			
	Desc. por delante		Desc. por debajo		Desc. por delante		Desc. por debajo	
Capacidad colmada a ras	2,3 m ³	3,0 yd ³	1,0 m ³	2,38 yd ³	3,8 m ³	5,0 yd ³	3,1 m ³	4,0 yd ³
	1,9 m ³	2,5 yd ³	1,5 m ³	1,94 yd ³	3,25 m ³	4,25 yd ³	2,6 m ³	3,44 yd ³
Ancho de corte	1,88 m	6'2.25"	1,88 m	6'2.25"	2,35 m	7'8"	2,35 m	7'8.5"
A) Alcance máx. a nivel	8,33 m	27'4"	8,13 m	26'8"	9,5 m	31'2"	9,4 m	30'9"
B) Alcance mínimo a nivel	4,95 m	16'3"	4,75 m.	15'7"	5,6 m	18'4"	5,5 m	17'11"
C) Altura máx. de descarga	5,03 m	16'6"	5,97 m	19'7"	5,61 m	18'5"	6,76 m	22'2"
C1) Alcance a la altura máx. de descarga	5,26 m	17'3"	4,75 m	15'7"	6,30 m	20'8"	5,72 m	18'9"
Altura para carga de camiones**	3,81 m	12'6"	3,81 m	12'6"	5,03 m	16'6"	5,03 m	16'6"
Alcance a la alt. de cargar camiones**	5,94 m	19'6"	6,53 m	21'5"	6,58 m	21'7"	7,19 m	23'7"
D) Altura máxima	9,17 m	30'1"	9,14 m	30'0"	10,3 m	33'8"	10,4 m	34'1"
E) Abertura máx. de la garganta del cuch.	No aplicable		1,24 m	4'1"	No aplicable		1,41 m	4'7.5"
F) Radio de oscil. del extremo trasero	3,30 m	10'10"	3,30 m	10'10"	3,8 m	12'6"	3,8 m	12'6"
G) Espac. sobre el suelo (contrapeso)	1,11 m	3'8"	1,11 m	3'8"	1,04 m	3'5"	1,04 m	3'5"
G1) Espac. libre sobre el suelo (bastidor)	584 mm	23"	584 mm	23"	736 mm	2'5"	736 mm	2'5"
H) Altura de la cabina	3,37 m	11'1"	3,37 m	11'1"	3,80 m	11'9"	3,61 m	11'9"
H1) Alt. del protector en la caída de objetos	3,53 m	11'7"	3,53 m	11'7"	3,79 m	12'5"	3,79 m	12'5"
J) Ancho de la superestructura	2,99 m	9'10"	2,99 m	9'10"	3,10 m	10'2"	3,10 m	9'10"
K) Ancho para transporte	3,60 m	11'10"	3,60 m	11'10"	3,71 m	12'2"	3,71 m	12'2"
L) Longitud para transporte	11,63 m	38'2"	11,43 m	37'6"	13,36 m	43'8"	13,31 m	43'3"
M) Altura para transporte	3,53 m	11'7"	3,55 m	11'8"	3,83 m	12'3"	3,94 m	12'3"
N) Longitud de cada cadena	5,03 m	16'6"	5,03 m	16'6"	5,56 m	18'3"	5,56 m	18'3"

* Punto inferior del estacionamiento del cucharón.

** La 235 en la carga de un camión de orcas Cat de 35 ton.
La 245 en la carga de un camión de orcas Cat de 50 ton.

*** Ancho para transporte en posición de entreví angosta, con zapatas de 610 mm (24") y los pesajes instalados. Sin los pesajes el el contrapeso, el ancho se reduce a 3455 mm (11'4"), con inclusión de las cadenas.

Tabla 3.3a.
FACTORES QUE AFECTAN LA PRODUCCION DE LA PALA MECANICA

A) FACTORES DE ABUNDAMIENTO EN SUELOS.

SIMBOLO	CLASIFICACION DESCRIPTIVA	HUMEDAD	FACTOR EN EL BOTE	FACTOR TOTAL
GP-GW-SW-SF	Gravas y arenas sin finos	Mojado o Seco	1.02	1.05
GW-SM	Gravas y arenas con finos limosos	Mojado	1.02	1.05
GC-SC	Gravas y arenas con arcilla cementante	Mojado o Seco	1.04	1.10
GM	Grava con finos limosos	Seco	1.05	1.15
ML	Limos y arenas finas	Mojado	1.05	1.15
SM-ML	Limos y arenas limosas	Seco	1.10	1.30
CL	Arcillas con limos y arenas	Mojado o Seco	1.10	1.30
OL	Limos orgánicos de baja plasticidad	Mojado	1.10	1.30
OL	Limos orgánicos de baja plasticidad	Seco	1.15	1.45
MH-CH-OH	Limos elásticos y arcillas plásticas	Mojado o Seco	1.15	1.45

B) TIEMPO DE CICLO, EN SEGUNDOS

LOS CALCULOS SON BASADOS EN UN GIRO DE 90° Y A UNA PROFUNDIDAD OPTIMA DE CORTE

CONSOLIDACION	IDENTIFICACION EN CAMPO	GOLPES POR 0.305M	CAPACIDAD DEL BOTE EN YD CUBICAS								
			1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	1 3/4	2	2 1/2	
Muy suave	Fácilmente penetrado por el puño	< 2	16	17	18	18	19	20	21	22	
Suave	Fácilmente penetrado por el pulgar	2-4	18	19	20	20	21	22	23	24	
Media	Penetrado por el pulgar fuerza moderada	5-8	20	21	22	22	23	24	25	26	
Consistente	Muescado por el pulgar	9-15	22	23	24	24	25	26	27	28	
Muy consistente	Muescado fácilmente por la uña del pulgar	16-30	24	25	26	26	28	29	30	31	
Duro	Muescado con dificultad por la uña del pulgar	> 30	26	27	28	28	30	31	32	33	

D) EFECTO DE LA PROF. OPTIMA EN LA TASA DE PRODUCCION

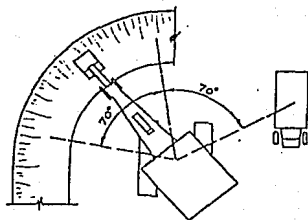
C) PROFUNDIDAD OPTIMA DE CORTE, EN METROS

CONSOLIDACION	CAPACIDADES DE LOS BOTES EN YD CUBICAS							
	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	1 3/4	2	2 1/2
Muy suave	1.37	1.68	1.83	1.98	2.13	2.29	2.44	2.59
Suave	1.52	1.83	2.13	2.29	2.44	2.59	2.74	3.05
Media	1.83	2.13	2.44	2.59	2.74	3.05	3.05	3.35
Consistente	1.98	2.29	2.59	2.74	3.05	3.35	3.35	3.66
Muy consistente	2.13	2.44	2.74	3.05	3.35	3.51	3.66	4.11
Duro	2.29	2.59	2.90	3.20	3.51	3.81	3.96	4.42

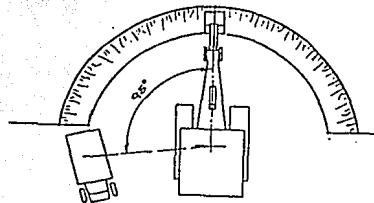
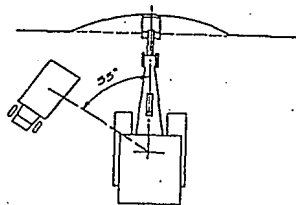
% DE PROF. OPTIMA	FACTOR DE CONVERSION
40	1.25
60	1.10
80	1.02
100	1.00
120	1.03
140	1.10
160	1.175

Tabla 3.3b.

FACTORES QUE AFECTAN LA PRODUCCION DE LA PALA MECANICA



(a) ACERCAMIENTO PARALELO

(b) ACERCAMIENTO FRONTAL
PENETRACION FINAL(c) ACERCAMIENTO FRONTAL
PENETRACION INICIALA) EFECTO DEL ANGULO DE GIRO
EN EL TIEMPO DEL CICLO

ANGULO DE GIRO EN GRADOS	FACTOR
45	0.794
60	0.863
75	0.935
90	1.000
120	1.135
150	1.265
180	1.405

B) DESGLOSE DEL TIEMPO
PERDIDO

ACTIVIDAD	%
Maniobra de Corte	3
Despalme y nivelación	4
Mantenimiento	3
Retrasos del operador	3
Reparaciones y ajustes	3
Tiempo perdido total	16

Tabla 3.3c.
FACTORES QUE AFECTAN LA PRODUCCION DE LA PALA FRONTAL

A) ELECCION DE CUCHARONES

	DESCARGA POR DELANTE	DESCARGA POR DEBAJO
Características	<ul style="list-style-type: none"> · Capacidad 25% mayor · De diseño simple y poca labor de conservación · Costo inicial más bajo 	<ul style="list-style-type: none"> · Ciclo de 10 al 15% más rápido · Mayor alcance y espacio de descarga · Más adaptable en diversas operaciones

235

Capacidad: Colmada a ras	2.3 m3 1.9 m3	3 yd3 2.50 yd3	1.8 m3 1.5 m3	2.38 yd3 1.94 yd3
Peso	2382 Kg	5250 lb	3547 Kg	7820 lb
Ancho	1.88 m	74.25"	1.88 m	74.25"

245

Capacidad: Colmada a ras	3.8 m3 3.25 m3	5.0 yd3 4.25 yd3	3.1 m3 2.6 m3	4.0 yd3 3.4 yd3
Peso	4182 kg	9220lb	5634 kg	12,420 lb
Ancho	2.35 m	92.5"	2.35 m	92.5"

B) TIEMPO DE CICLO DE LA PALA

235

245

	DESCARGA P/DELANTE	DESCARGA P/DEBAJO	DESCARGA P/DELANTE	DESCARGA P/DEBAJO
Tamaño del cucharón	2.3 m3 3 yd3	1.8 m3 2.38 yd3	3.8 m3 5 yd3	3.1 m3 4 yd3
Tipo de suelo	Rocas de voladura	Rocas de voladura	Rocas de voladura	Rocas de voladura
Angulo de giro	90%	90%	90%	90%
Area de carga	Sin obstrucciones	Sin obstrucciones	Sin obstrucciones	Sin obstrucciones
Habilidad del operador	Media	Media	Media	Media
Carga del cucharón	0.15 min.	0.13 min.	0.15 min.	0.13 min.
Giro con carga	0.07 min.	0.07 min.	0.07 min.	0.07 min.
Descarga del cucharón	0.06 min.	0.04 min.	0.06 min.	0.04 min.
Giro sin carga	0.07 min	0.07 min	0.07 min	0.07 min
Tiempo total del ciclo	0.35 min.	0.31 min.	0.35 min.	0.31 min.

C) FACTORES DE LLENADO DEL CUCHARON
(DESCARGA POR DELANTE O POR DEBAJO)

Material	Factor de llenado *
Arcilla del banco o tierra	100 a 110 %
Mezcla de rocas y tierra	105 a 115 %
Rocas de voladura mal fragmentadas	85 a 100 %
Rocas de voladura bien fragmentadas	100 a 110 %
Arcilla esquistosa o arenisca en banco	85 a 100 %

* Porcentaje de capacidad colmada del cucharón

III.1.3. PROCEDIMIENTOS DE EXCAVACION

La pala mecánica y la pala frontal están diseñadas para excavar un banco de suelo vertical al que denominaremos "frente de excavación". Donde ya exista un banco o ladera, el desarrollo del frente de ataque no es necesario. El área enfrente del banco es nivelada, ya sea por la propia pala explanando horizontalmente o bien por otro equipo como lo es un bulldozer. En la mayoría de los casos, sin embargo, el frente de excavación debe de ser desarrollado desde una superficie relativamente nivelada ya sea excavando en fosa o "rampeando".

En el "rampeo" (a), fig. 3.4., se aprovecha la habilidad de la pala para excavar debajo de su propio nivel hasta formar una rampa de acceso al nivel del trabajo. El material es cargado en camiones situados en la parte superior del banco o bien detrás de la porción ya terminada de la rampa. El máximo ancho de la rampa será dos veces la dimensión B o F. Hay que mencionar que la rampa deberá ser lo suficientemente extendida a fin de evitar una pendiente mayor del 10%. Una vez que la profundidad deseada es alcanzada la rampa se interrumpe mediante un corte de nivel hacia adelante.

El rampeo se puede hacer totalmente dentro de la fosa o desde fuera de ésta si el espacio lo permite, la rampa deberá tenderse hacia afuera de la fosa de tal manera que se pueda aprovechar para otros propósitos constructivos.

Donde debido a lo limitado del acceso, la rampa tenga que ser formada dentro de la fosa, ésta será usada para acarreo durante la excavación y para el retiro del equipo posteriormente. Las rampas de tierra son removidas más tarde por una grúa de cucharón de almeja o por cualquier otro equipo que trabaje desde la parte alta del banco.

Cuando se requiera el acceso de vehículos al fondo de la fosa ya pasado el período de excavación, rampas entibadas son frecuentemente construidas.

El área de nivel inicial al pie de la rampa puede ser extendido por cualquiera de los dos métodos: el acercamiento paralelo o el frontal. En cualquier caso, sin embargo, hasta que se ha desarrollado el espacio de trabajo en el área de nivel, la carga debe ser hecha en el banco o colocando el camión detrás de la pala abajo de la rampa. Naturalmente, ambos procedimientos reducen la producción.

En el acercamiento paralelo (b), la pala se mueve transversalmente y paralela al frente de excavación, este método es particularmente útil en cortes para carreteras, donde la continua carga de vehículos en línea recta es necesaria. La figura muestra el caso particular donde

existen dos direcciones disponibles para la carga y acarreo, lo cual es lo óptimo al trabajar con este método.

El acercamiento frontal (c), es el método más adecuado para el completo y rápido desarrollo de la excavación una vez ya que se cuenta con el espacio suficiente para las maniobras de las unidades. El ancho total del frente de excavación puede atacarse en una serie de círculos traslapados progresivamente extendidos, los radios de cada uno de ellos en la base del talud pueden ser igual a F o B (fig. 3.1. y 3.2. respectivamente), el máximo radio al nivel de piso, pero si el brazo del cucharón trabaja a su máxima extensión, entonces el radio deberá ser igual a dos tercios de B o F. El radio en la corona del talud dependerá de la pendiente en la cual el suelo permanece en reposo.

Las principales ventajas que éste método posee sobre el del acercamiento paralelo, son las siguientes:

- 1.- Permite el uso de dos o más palas simultáneamente, perfectamente organizadas con los camiones de volteo.
- 2.- Las unidades de acarreo tienen dos posiciones, en las cuales mientras una está siendo cargada la otra puede estar ubicándose en su lugar.
- 3.- El ángulo promedio de giro es más corto.
- 4.- Se corre menor riesgo de hundimiento en un derrumbe debido a que la pala no trabaja tan cerca del frente a cómo se hace en el acercamiento paralelo.

Para finalizar, cabe mencionar que una planeación inicial meticulosa es esencial para el éxito de cualquier excavación voluminosa. Las condiciones del sitio de trabajo requerirán posiblemente más tarde, alteraciones con respecto al plan original, pero a menos que un procedimiento detallado sea establecido al inicio el caos se desarrollará rápidamente. El propósito de esta planeación deberá ser, alcanzar la máxima producción en el tiempo más corto y con el equipo que se tenga disponible.

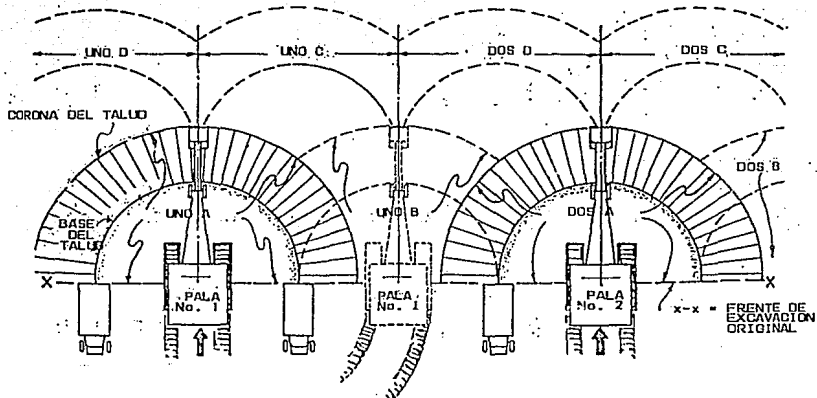
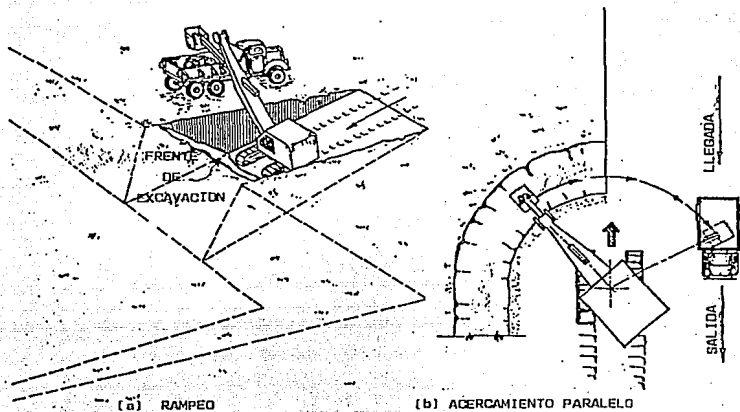
La fig. 3.5. muestra la planeación hecha para una excavación en dos niveles empleando únicamente dos palas .

III.2. EL CARGADOR FRONTAL

Como en cualquier equipo para excavación, el tipo de suelo o de material que será manejado juega un importante papel en la eficiencia del cargador frontal. Para la excavación de un suelo duro, el borde inferior del cucharón puede estar armado con dientes, aunque en terrenos blandos o formaciones sueltas esos dientes reduzcan la capacidad total de carga del cucharón.

Figura 3.4.

ACERCAMIENTOS DE EXCAVACION CON PALA



SECUENCIA PARA: PALA No. 1

- UNO A
- UNO B
- UNO C
- UNO D

SECUENCIA PARA: PALA No. 2

- DOS A
- DOS B
- DOS C
- DOS D

(C) ACERCAMIENTO FRONTAL

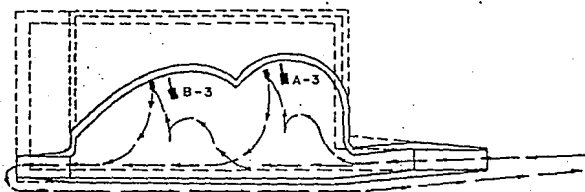
Figura 3.5.

PASOS DE EXCAVACION EN UNA FOSA DE AREA EXTENSA

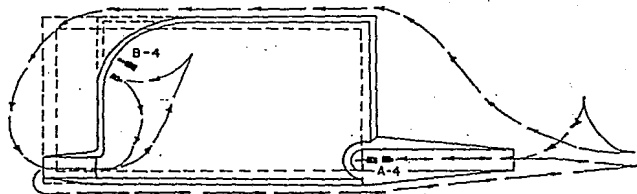
PASO No. 1



PASO No. 2

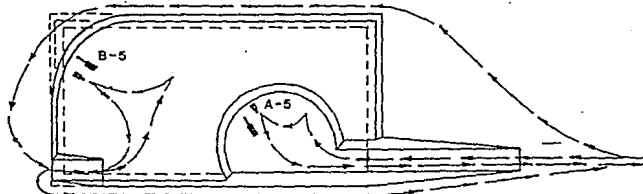


PASO No. 3

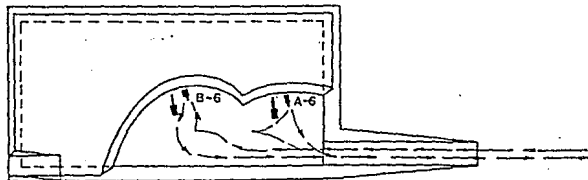


PASO No. 4

PASO No. 5



PASO No. 6



Los cargadores frontales pueden ser montados sobre orugas, o bien sobre neumáticos; como la penetración inicial en el banco depende de la fricción desarrollada entre el cargador y la superficie sobre la cual se mueve, la selección del montaje adecuado a los propósitos de la excavación, depende enormemente del tipo de material con el que se trabajará. Generalmente el cargador sobre orugas es el más empleado, sin embargo, donde exista una distancia considerable entre el sitio de ataque y el de vaciado del cucharón, la movilidad del cargador sobre neumáticos es una gran ventaja, figs. 3.6a., 3.6b. y 3.6c.

III.2.1. OPERACION Y PRODUCCION

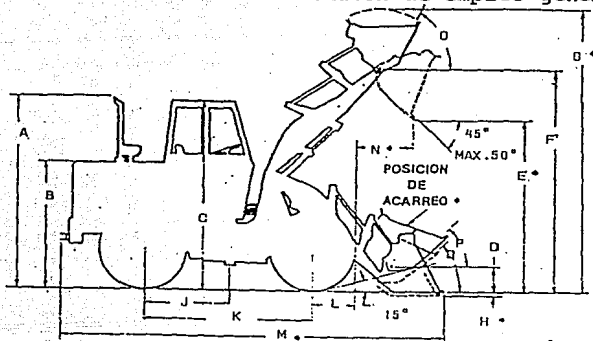
La excavación del cargador frontal es algo similar a la de la pala mecánica y la frontal, con la diferencia de que éste no es adecuado del todo para excavaciones voluminosas en general. Es muy usado en excavaciones en fosa, donde la profundidad no sea mayor de 3.0 m aproximadamente. Ya que el cargador trabaja más efectivamente al nivel de la rasante, la tendencia es que continuamente subcorte el frente. Aunque el cucharón puede ser levantado y accionado a fin de desbistar las porciones altas del frente, esto lo podría hacer sacrificando la producción, convirtiéndose consecuentemente las posibilidades de derrumbe en una seria amenaza.

Al igual que con la pala mecánica y la frontal, el cargador también trabaja contra un frente de excavación, el cual puede ya existir o tendrá que ser desarrollado por medio de una rampa; ésta puede estar dentro o fuera de la fosa final, o también como se indica en el método 1, fig. 3.7. En este método, el suelo es llevado fuera de la fosa para la carga y el acarreo; el mismo patrón se deberá seguir si el material se apila adyacente a la fosa, variando únicamente la longitud

Una razón importante por la cual la carga y acarreo se hace fuera de la fosa, es porque los cargadores sobre orugas son capaces de moverse en pendientes de hasta 30° mientras que los camiones difícilmente lo logran; la decisión de emplear este método dependerá de las limitaciones de espacio que se tengan en el sitio.

En el método 2, los camiones son cargados directamente en el frente de excavación y por consiguiente el tiempo de recorrido del cargador es mínimo. Este método puede ser usado donde la pendiente de la rampa permita la salida de los camiones de la fosa. Si se dispone de cargadores sobre neumáticos, este método es el más deseable debido a que su producción iguala la de los equipos sobre orugas.

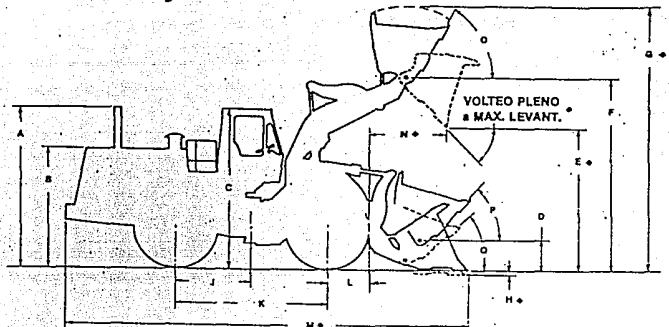
Figura 3.6a. DIMENSIONES DE LOS CARGADORES 910 A 950
* Con cucharón de empleo general.



♦ Varía según el tamaño del cucharón.
Consulte los datos de operación.

MODELOS	910		920		930		950	
	De empleo general		De empleo general		De empleo general		De empleo general	
	1.0 m3	1.25 yd3	1.34 m3	1.75 yd3	1.72 m3	2.25 yd3	2.68 m3	3.5 yd3
A	Altura con inclusión del tubo vertical de escape		2.73 m	3.10 m	3.20 m	3.15 m		
B	Altura incluyendo el compartimiento del motor		1.82 m	2.01 m	2.07 m	2.11 m		
C	Altura incluyendo el techo o cabina ROPS		3.02 m	3.05 m	3.14 m	3.15 m		
D	Altura del pasador de giro en la posición de acarreo		400 mm	370 mm	376 mm	330 mm		
E	Espacio mín. de descarga a pleno ascenso		2.44 m	2.74 m	2.79 m	2.62 m		
F	Altura del pasador de giro a pleno ascenso		3.08 m	3.55 m	3.65 m	3.71 m		
G	Altura total máxima		4.08 m	4.60 m	4.63 m	5.16 m		
H	Profundidad máx de excavación		79 mm	66 mm	88 mm	51 mm		
J	Distancia del centro de la maq. al eje trasero		1.17 m	1.27 m	1.37 m	1.46 m		
K	Distancia entre ejes		2.34 m	2.54 m	2.75 m	2.90 m		
L	Radio de las ruedas		635 mm	640 mm	680 mm	750 mm		
M	Longitud total máxima		5.74 m	5.9 m	6.27 m	6.4 mm		
N	Alcance mín. a pleno ascenso		885 mm	762 mm	860 mm	740 mm		
O	Giro máx. hacia atrás a pleno ascenso		61°	65°	65°	65°		
P	Giro máximo hacia atrás a la altura de acarreo		45.6°	44°	45°	45°		
Q	Giro máx. hacia atrás a nivel del suelo		39°	39°	40°	41°		
	Espacio libre sobre el suelo		381 mm	335 mm	338 mm	414 mm		
	Distancia entre ejes		1.65 m	1.85 m	1.93 m	2.03 m		
	Ancho incluyendo neumáticos		2.03 m	2.26 m	2.39 m	2.59 m		

Figura 3.6b. DIMENSIONES DE LOS CARGADORES 966C AL 992C



◆ Varía según el tamaño del cucharón.
Consulte los datos de operación.

966C

980C

988B

992C

992C

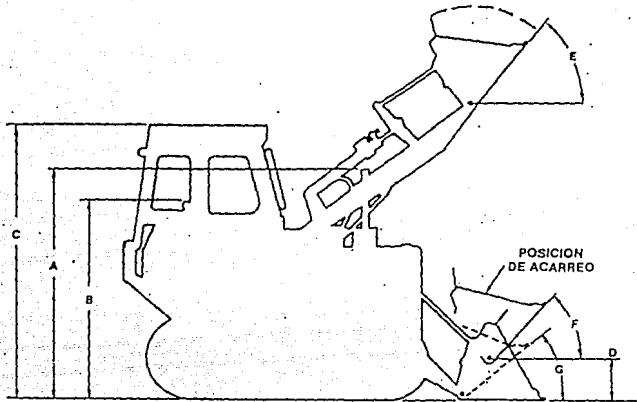
MODELOS

De empleo general
3.44 m³ 4.5 yd³De empleo general
4.0 m³ 5.25 yd³Para rocas
Cuchilla en V
con dientes
5.4 m³ 7.0 yd³Cuchilla recta
9.6 m³ 12.5 yd³De alto levant.
para rocas
Cuchilla en V
con dientes
9.1 m³ 12 yd³

	De empleo general 3.44 m ³ 4.5 yd ³	De empleo general 4.0 m ³ 5.25 yd ³	Para rocas Cuchilla en V con dientes 5.4 m ³ 7.0 yd ³	Cuchilla recta 9.6 m ³ 12.5 yd ³	De alto levant. para rocas Cuchilla en V con dientes 9.1 m ³ 12 yd ³
A Altura con inclusión del tubo vertical de escape	3.40 m	3.54 m	4.13 m	4.24 m	4.77 m
B Altura al punto superior del compartimiento del motor	2.32 m	2.56 m	2.98 m	3.48 m	3.57 m
C Altura incluyendo el techo o cabina ROPS	3.30 m	3.90 m	4.14 m	5.38 m	5.49 m
D Altura del pasador de giro en la posición de acarreo	420 mm	485 mm	660 mm	914 mm	737 mm
E Espacio mínimo de descarga a pleno ascenso	2.87 m	3.11 m	3.18 m	4.47 m	4.99 m
F Altura del pasador de giro a pleno ascenso	3.99 m	4.29 m	4.91 m	6.25 m	7.08 m
G Altura total máxima	5.53 m	5.80 m	6.93 m	8.71 m	9.33 m
H Profundidad máx de excavación	51 mm	76 mm	122 mm	68 mm	73 mm
J Distancia del centro de la maq. al eje trasero.	1.55 m	1.76 m	1.90 m	2.41 m	2.41 m
K Distancia entre ejes	3.10 m	3.53 m	3.81 m	4.83 m	4.83 m
L Radio de las ruedas	840 mm	885 mm	1.04 mm	1.37 m	1.37 m
M Longitud total máxima	7.0 m	8.6 m	10.7 m	12.7 m	13.57 m
N Alcance mín. a pleno ascenso	855 mm	1.22 m	1.68 m	2.08 m	2.08 m
D Giro máx. hacia atrás a pleno ascenso	64°	59°	62°	65°	65°
P Giro máximo hacia atrás a la altura de acarreo	45°	47.5°	50°	52°	53°
Q Giro máx. hacia atrás a nivel del suelo	40°	40°	40°	41.3°	44°
Espacio libre sobre el suelo	447 mm	417 mm	493 mm	533 mm	533 mm
Entrevía	2.16 m	2.36 m	2.59 m	3.30 m	3.30 m
Ancho incluyendo neumáticos	2.77 m	3.11 m	3.51 m	4.55 m	4.55 m

Figura 3.6c.

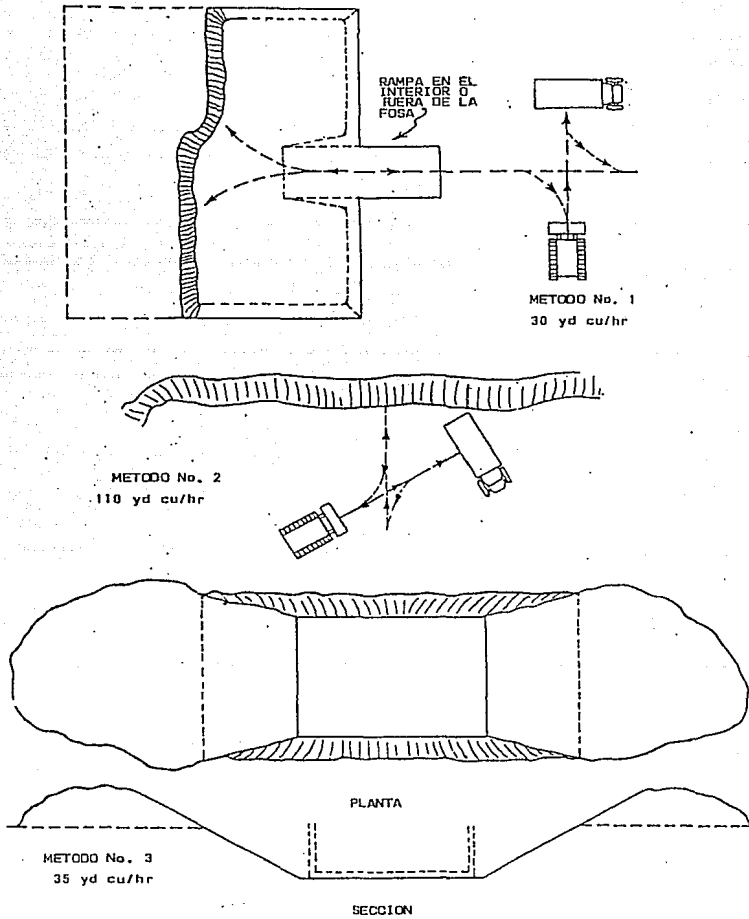
DIMENSIONES DE LAS MAQUINAS CON EL CUCHARON DE EMPLEO
GENERAL MAS PEQUEÑO



MODELOS	931B	941B	951C	955L	977L	983B
A Altura con inclusión del tubo vertical de escape	2.44 m	2.74 m	2.74 m	2.97 m	3.33 m	3.68 m
B Altura incluyendo asiento y respaldo	1.98 m	2.18 m	2.21 m	2.52 m	2.54 m	2.79 m
C Altura incluyendo el techo o cabina ROPS	2.68 m	2.87 m	2.90 m	3.28 m	3.38 m	3.66 m
D Altura del pasador de giro en la posición de acarreos	381 mm	432 mm	445 mm	450 mm	508 mm	597 mm
E Giro atrás a máximo ascenso	61°	56.5°	55°	55°	54°	56°
F Giro atrás a nivel de acarreos	45.5°	51.2°	50°	51.5°	50°	47°
G Giro atrás a nivel del suelo	40.1°	38.7°	40.8°	39.8°	39°	41°
Angulo para nivelación	60°	74°	75.2°	75°	75°	76°
Ancho sin el cucharón	1.79 m	1.98 m	1.98 m	2.19 m	2.39 m	2.90 m

Figura 3.7.

METODOS DE EXCAVACION EN FOSAS PEQUEÑAS



Cabe mencionar que los cálculos de producción pueden ser únicamente aproximaciones empíricas. Si bien la tracción del cargador toma un importante papel en el avance y el empuje, esto no garantiza que el cucharón quede siempre lleno; y aunque se impela repetidamente en el frente hasta llenarlo y colmarlo, esto consumirá un tiempo valioso. Además, en la mayoría de los casos la distancia de recorrido variará constantemente, de tal manera que hasta distancias promedio son difíciles de calcular.

El empleo de un cargador con cucharón de 1.5 yd cúbicas de capacidad, trabajando en una mezcla seca de arena-arcilla con 10% de abundamiento y una eficiencia de operación del 84%, proporcionará muy diferentes tasas de producción para cada uno de los dos primeros métodos. Suponiendo un llenado completo del cucharón en cada pasada, la producción del método uno será de alrededor de 30 yd cúbicas/hr, mientras que para el método dos será de alrededor de 110 yd cúbicas/hr.

El método 3 es usado en condiciones especiales donde no es necesario hacer otra cosa más que empujar el material excavado a un lado. El cucharón empuja hacia adelante una distancia mayor que en cualquiera de los dos métodos anteriores, haciendo un corte superficial suficiente para llenar el cucharón en el ancho de la fosa. Una vez lleno es levantado y el material es descargado alejado de las pilas acumuladas. La tasa de producción es ligeramente mayor que en el método 1, siendo ésta de alrededor de 35 yd cúbicas/hr.

III.3. LA MOTOESCREPA

Este equipo ha sido particularmente desarrollado para excavaciones relativamente superficiales de área muy extensa y pendientes muy ligeras, y sobre todo para manejar suelos previamente seleccionados. Las motoescrepas estándar; las de potencia en tandem, de empuje y tiro; y las autocargadoras encontrarán dificultad en cargar arenas secas y sueltas así como rocas en cualquier grado de trituración. De igual manera, se tendrá dificultad al descargar arcillas pegajosas húmedas, ver figs. 3.8a., 3.8b., y 3.8c.

Para una excavación de una área muy amplia, la motoescrepa y sus aditamentos es indudablemente, como ya se ha dicho, el equipo más eficiente que se ha desarrollado. Este equipo ha sido usado ampliamente en otras clases de excavaciones, incluyendo las que se realizan en fosas o bancos. Todavía con algunas limitantes, aún en el campo para el cual fue diseñada, probablemente la más severa de sus limitaciones es la que involucra la tracción y agarre.

Figura 3.8a.

ESPECIFICACIONES PARA MOTOCONDORMADORAS ESTANDARD



MODELOS	621B	631D	641B	651B
Potencia en el volante	246 Kw (330 Hp)	336 kw (450 Hp)	410 kw (550 Hp)	410 kw (550 Hp)
Peso de operación (vacía)*	29,120 kg	42,300 kg	53,970 kg	57,550 kg
Capacidad de la trilla:				
a ras	10.7 m3	16 m3	21.4 m3	24.5 m3
colmada	15.3 m3	23.7 m3	29 m3	33.6 m3
Carga especificada	21,770 kg	34,020 kg	42,640 kg	47,175 kg
Distribución del peso - vacía				
delante	70 %	69 %	69 %	67 %
detrás	30 %	31 %	31 %	33 %
Distribución del peso - cargada				
delante	55 %	54 %	54 %	52 %
detrás	45 %	46 %	46 %	48 %
Velocidad máxima (cargada)	47 km/hr	50 km/hr	51 km/hr	50 km/hr
Ancho de corte	3.02 m	3.50 m	3.45 m	3.63 m
Profundidad máx. de corte	340 mm	480 mm	405 mm	405 mm
Espesor máx. al esparcir	460 mm	425 mm	510 mm	510 mm
DIMENSIONES GENERALES				
Altura de la trilla	3.63 m	4.17 m	4.24 m	4.29 m
Distancia entre ejes	7.72 m	8.74 m	9.45 m	9.73 m
Longitud total	12.7 m	14.25 m	14.96 m	15.34 m
Ancho total	3.45 m	3.96 m	4.04 m	4.32 m
Ancho para embarque (brazo de tiro dentro de la caja)	-	3.66 m	3.58 m	3.81 m
Entrevía de la trilla	2.18 m	2.46 m	2.54 m	2.72 m
Entrevía del tractor	2.21 m	2.46 m	2.49 m	2.59 m

*Incluye el refrigerante, lubricantes, el tanque lleno de combustible, la bisera de la cabina o techo ROPS y el operador

Figura 3.8b.

ESPECIFICACIONES PARA MOTOCONFORMADORAS DE POTENCIA EN TANDEM Y DE EMPUJE Y TIRO



MODELOS	627B	637D	657B
Potencia en el volante: tractor	168 Kw (225 Hp)	336 kw (450 Hp)	410 kw (550 Hp)
tralla	168 Kw (225 Hp)	186 kw (250 Hp)	298 kw (400 Hp)
Peso de operación (vacía)*	33,250 kg	48,230 kg	66,710 kg
Capacidad de la tralla:			
a ras	10.7 m3	16 m3	24.5 m3
colmada	15.3 m3	23.7 m3	33.6 m3
Carga especificada	21,775 kg	34,020 kg	47,175 kg
Distribución del peso - vacía			
delante	59 %	63 %	60 %
detrás	41 %	37 %	40 %
Distribución del peso - cargada			
delante	50 %	51 %	49 %
detrás	50 %	49 %	51 %
Velocidad máxima (cargada)	55 km/hr	53 km/hr	53 km/hr
Ancho de corte	3.02 m	3.49 m	3.63 m
Profundidad máxima de corte	340 mm	483 mm	405 mm
Espesor máximo al esparcir	460 mm	425 mm	510 mm
DIMENSIONES PRINCIPALES			
Altura total de la tralla	3.58 m	4.16 m	4.21 m
Distancia entre ejes	7.72 m	8.74 m	10.03 m
Longitud total	13.3 m	14.8 m	15.7 m
Ancho total	3.45 m	3.96 m	4.32 m
Ancho para embarque			
(brazo de tiro dentro de la caja)	-	3.66 m	3.56 m
Entrevía de la tralla	2.18 m	2.46 m	2.67 m
Entrevía del tractor	2.21 m	2.46 m	2.59 m
DIMENS. PRINC. DE EMPUJE Y TIRO			
Peso de operación (vacía)*	34,550 kg	49,740 kg	68,700 kg
Longitud total	14.91 m	16.53 m	17.63 m
Distribución del peso - vacía			
delante	61°	63°	61°
detrás	39°	37°	39°
Distribución del peso - cargada			
delante	51°	51°	50°
detrás	49°	49°	50°

* Incluye el refrigerante, lubricantes, el tanque lleno de combustible, techo ROPS y el operador

Figura 3.8c.

ESPECIFICACIONES PARA MOTOCONFORMADORAS AUTOCARGADORAS



MODELOS	613B	623B	633D
Potencia en el volante	112 Kw (150 Hp)	246 kw (330 Hp)	336 kw (450 Hp)
Peso de operación (vacía)*	14,030 kg	32,280 kg	47,000 kg
Capacidad de la tralla:			
colmada	8.4 m3	16.8 m3	26 m3
Carga indicada	11,795 kg	22,680 kg	34,020 kg
Distribución del peso - vacía			
delante	61 %	68 %	67 %
detrás	39 %	32 %	33 %
Distribución del peso - cargada			
delante	48 %	54 %	52 %
detrás	52 %	46 %	48 %
Velocidad máxima (cargada)	39 km/hr	48 km/hr	48 km/hr
Ancho de corte	2.44 m	3.15 m	3.50 m
Profundidad máxima de corte	170 mm	330 mm	380 mm
Espaciam. de las paletas del elevador	380 mm	508 mm	610 mm
Número de paletas	16	15	13
Abertura máxima del piso	1.14 m	1.52 m	1.85 m
Espesor máximo de esparcimiento	366 mm	530 mm	510 mm
DIMENSIONES PRINCIPALES			
Altura total de la tralla	2.86 m	3.81 m	4.24 m
Distancia entre ejes	6.35 m	7.97 m	8.89 m
Longitud total	9.78 m	12.52 m	14.40 m
Ancho total	2.44 m	3.55 m	3.96 m
Ancho para embarque (brazo de tiro dentro de la caja)	-	-	3.66 m
Entrevía de la tralla	1.89 m	2.18 m	2.46 m
Entrevía del tractor	1.89 m	2.21 m	2.46 m

*Incluye el refrigerante, lubricantes, el tanque lleno de combustible, techo ROPS y el operador

III.3.1. TRACCION, AGARRE, RESISTENCIA A LA RODADURA Y RESISTENCIA A LA PENDIENTE.

En tiempos pasados la escrepa solía ser tirada por un tractor sobre orugas, la continua evolución tecnológica ha traído como consecuencia el reemplazo de los tractores sobre orugas por los de neumáticos en una combinación final de las dos unidades en un sólo equipo autoimpulsado: la Motoescrepa. Sin embargo, aún hoy en día, en los países menos avanzados el empleo de la escrepa impulsada o tirada por tractores es una práctica común.

Independientemente de cual sea el equipo de que se disponga, todos en común se ven afectados por las siguientes limitantes, de las cuales hablaremos brevemente.

La tracción se definiría como la acción de arrastrar un vehículo sobre una superficie y la fuerza ejercida para hacerlo. La tracción es la fricción desarrollada entre las orugas o neumáticos y la superficie del terreno sobre el cual se mueve. La fricción es la resistencia al movimiento relativo de dos cuerpos en contacto. La cantidad de fricción desarrollada entre un vehículo y la superficie del suelo dependerá del peso del vehículo, la rugosidad de la superficie del suelo y de la textura de la oruga o del neumático.

El coeficiente de tracción representa el porcentaje de la potencia total que puede ser convertida en fuerza motriz por medio de la fricción entre la oruga y el neumático. La fuerza de tracción es el peso del vehículo multiplicado por el coeficiente de tracción; esto es el total de kilos de tiro que pueden ser ejercidos antes de que el deslizamiento ocurra.

El tractor sobre orugas es el medio más eficiente para convertir la potencia en fuerza de tracción, ya que éste tiene la mayor área de rodamiento en contacto con el suelo. Suelos como las arcillas, los cuales pueden soportar altos esfuerzos cortantes, proporcionan más altos coeficientes de fricción que los suelos de baja resistencia al cortante como la arena.

El agarre para los tractores sobre neumáticos es la fuerza de tiro que el motor puede proporcionar a las llantas en el punto de contacto con el terreno para impulsarlo. De igual manera que en el tractor de orugas, el peso del tractor sobre neumáticos, en kilogramos, por el coeficiente de tracción, equivaldrá a la potencia tractiva disponible para el arrastre. En los tractores sobre neumáticos, cabe mencionar que es importante conocer la distribución del peso, ya que únicamente la porción actuante en las ruedas podrá ser considerada. Como se aprecia en la tabla 3.9a., el coeficiente de tracción para superficies similares, es

bastante diferente para las llantas y para las orugas. La alta concentración de carga o peso sobre una pequeña superficie de contacto, limita al tractor sobre neumáticos en suelos firmes.

La resistencia a la rodadura es la suma de las fuerzas externas opuestas al movimiento sobre el nivel del terreno (las fuerzas internas se resumen como eficiencia). La resistencia a la rodadura está compuesta de un buen número de factores: (1) la flexibilidad de las llantas bajo carga, (2) la fricción en la cara de la llanta, (3) irregularidades en la superficie del camino, y (4) el desplazamiento de la superficie del camino; estos factores serán afectados por el peso del vehículo.

Los tres primeros factores representan en conjunto un valor muy pequeño de resistencia a la rodadura, pero el cuarto factor es muy variable por lo que se le considerará aparte para determinar la resistencia a la rodadura total. El efecto del desplazamiento del camino es forzar a la llanta continuamente a superar o trepar la pequeña inclinación que se forma en el área en contacto por el peso que transmite la llanta. Cada centímetro de penetración se asume que desarrolla 5.40 Kg de resistencia por tonelada de peso del vehículo. La resistencia a la rodadura será mínima en una superficie dura, donde la penetración de la llanta no es posible.

La tabla 3.9b. lista algunos valores típicos de resistencia total a la rodadura para ciertas clases de terreno. Estos valores realzan la importancia de un continuo mantenimiento de los caminos. La potencia perdida para la resistencia a la rodadura significa circular en velocidades lentas, cambios excesivos y producción baja.

La resistencia a la pendiente es la fuerza debida a la gravedad que se resiste al movimiento de un vehículo ascendiendo una pendiente. La dirección en la que se mueve el vehículo determina si la pendiente es positiva (cuando el vehículo sube) o negativa (cuando desciende).

III.3.2. OPERACION Y PRODUCCION

La producción de la motoescrapa esta basada en un ciclo de operaciones consistentes en: (1) excavar y cargar, (2) acarreo, (3) descarga y tendido, y (4) viaje de regreso. En la excavación y la carga, los suelos y su condición en el banco son de primera importancia. Las arcillas y limos cuando están húmedos son fácilmente despalmados y cargados. En cambio cuando las arcillas están muy mojadas, la potencia tractiva y la fuerza cortante se reducen. En arcillas secas y duras será necesario rippear antes de intentar la carga, y

en algunas ocasiones la motoescrepa requerirá de un tiro o empuje adicional.

TABLA 3.9a.

TRACCION

SUPERFICIE Y CONDICION	COEFICIENTE DE TRACCION		TRACCION EN KM POR TON DE PESO DEL VEHICULO	
	ORUGAS	LLANTAS	ORUGAS	LLANTAS
Concreto (seco)	0.45	0.95	409	862
Suelo estabilizado (seco)	0.90	0.60	816	544
Suelo firme (seco)	0.90	0.55	816	499
Suelo firme (mojado)	0.85	0.45	771	408
Suelos sueltos (secos)	0.60	0.40	544	363
Suelos sueltos (mojados)	0.60	0.40	544	363
Gravas sueltas	0.25	0.36	227	327
Arenas sueltas	0.30	0.27	272	245
Arellas mojadas y fango	0.25	0.25	227	227

TABLA 3.9b.

RESISTENCIAS TIPICAS A LA RODADURA

[KG/TON]

- | | |
|--|--------|
| 1. Camino asfaltado sin penetración bajo carga, duro y liso; drenado y con mantenimiento. | 18 |
| 2. Camino revestido firme y liso; flexionante bajo carga; drenado y con mantenimiento regular. | 30 |
| 3. Camino de terracería; con baches, flexionante bajo carga, no drenado y poco mantenimiento. | 45 |
| 4. Camino de terracería con surcos; suave al viaje sin mantenimiento ni compactación. | 68 |
| 5. Terracería lodosa y suave (o en arena), sin mantenimiento | 91-182 |

La arena y grava, cuando se presentan secas y sueltas, tienden a correr delante de la cuchilla de la motoescrepa, para mejores resultados en la carga, la caja deberá ser subida y bajada. En cambio las arenas finas y húmedas son fácilmente cargadas. Las mezclas de arcilla-arena-grava deberán ser rippeadas antes de cargarse.

Los esquistos o pizarras pueden ser cargados si un equipo adecuado de tiro está disponible y sobre todo si los planos de estratificación son horizontales o paralelos a la pendiente de carga. Generalmente los esquistos y rocas suaves recubiertos deberán ser rippeados antes de cargarse. Como se ha apreciado, el empleo de los explosivos no es recomendable. Los suelos o esquistos rippeados desarrollan frecuentemente las características de las gravas y arenas secas. Por lo que se sugiere para la carga de dichos materiales, iniciar en el área desgarrada y completar la carga en el terreno intacto.

Las capacidades de la motoescrepa son a ras y colmada; capacidad a ras es el máximo volumen de líquido que la caja puede contener, la capacidad colmada será mayor que la primera, dependiendo de los aditamentos instalados en la caja.

La carga con la motoescrepa produce el mayor abundamiento en los suelos; para determinar el abundamiento el suelo deberá ser primeramente clasificado y el factor determinado. El volumen calculado en el banco por este factor será igual al volumen movido por la motoescrepa.

El peso de los suelos acarreado por la motoescrepa debe ser determinado de manera que la tracción y las resistencias a la rodadura y a la pendiente puedan calcularse. Para obtener el peso total, se debe considerar el peso de la motoescrepa por sí misma más el del material cargado.

El peso de la motoescrepa cargada además de ser importante para la determinación de la tracción y de las resistencias, debe ser revisado antes a fin de evitar la sobrecarga del equipo.

III.4. LA DRAGALINA

La dragalina es la unidad dentro de los equipos de excavación, ideal para manejar suelos sueltos y saturados en grandes volúmenes. Otros equipos como la grúa de cucharón de almeja y la draga pueden emplearse aunque con limitantes, debido a ciertos aspectos específicos de este tipo de excavación.

La dragalina opera más eficientemente desde un nivel superior al del material que está siendo excavado y

difficilmente lo hace al mismo o arriba del nivel sobre el cual se mueve. Este equipo actúa enteramente en función de la limitada penetración derivada del peso del cucharón.

Por los requisitos de espacio para operación, la dragalina rara vez será útil en áreas urbanas, pueblos o ciudades, o donde abunden las instalaciones subterráneas. Estas son precisamente las áreas en las cuales este tipo de excavación es menos probable que ocurra.

III.4.1. APLICACIONES

Algunas de las principales aplicaciones de la dragalina son aquellas relativas al manejo de materiales; consecuentemente, los usos de excavación de la dragalina no pueden ser netamente agrupados como lo pueden ser las aplicaciones de la pala mecánica o de la pala frontal, el cargador frontal o la motoescropa.

La excavación de canales y cauces (a), fig. 3.10., es posiblemente la principal función de la dragalina. Estas excavaciones, diseñadas para fines de desagüe, son frecuentemente terminadas con taludes laterales, los cuales son el resultado del empleo de este equipo. Generalmente el equipo trabaja niveles arriba del terreno que está siendo excavado. Los canales generalmente son construidos en áreas suaves o pantanosas donde existe agua o aparece conforme se avanzan los trabajos.

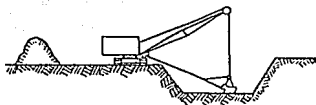
En la excavación de zanjas y trincheras (b) la dirección en que se ejecuta el trabajo es a lo largo de la línea de éstas; el suelo excavado es amontonado a los lados para extenderlo o rellenar la zanja una vez que el tubo de conducción ha sido tendido.

La excavación de suelos bajo el agua (c) es otro uso importante de la dragalina. El equipo desde una zona segura fuera del área inundada, puede alcanzar el fondo del lago o río y sacar los suelos que de otra forma requerirían drenarse primero. Las arenas y gravas son ideales para esta operación, en cambio las arcillas finas y los esquistos permanecerán en suspensión formando una emulsión que reduce la producción considerablemente.

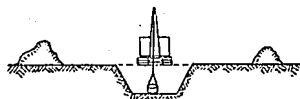
El desmonte de las capas de desperdicio (d), no únicamente en las minas a cielo abierto sino donde la cantería limitada se prevea o donde la arena y grava han de ser expuestas y extraídas para usos constructivos.

La nivelación superficial (e); únicamente cuando las motoescrapas o bulldozers no puedan desarrollar la suficiente tracción en suelos muy suaves.

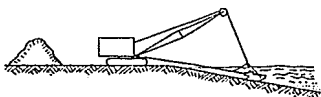
Figura 3.10. POSIBLES USOS DE LA DRAGALINA



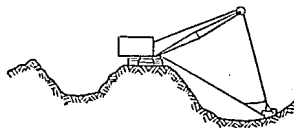
(a) EXCAVACION DE CAUCES Y CANALES



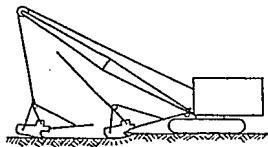
(b) EXCAVACION DE TRINCHERAS Y ZANJAS



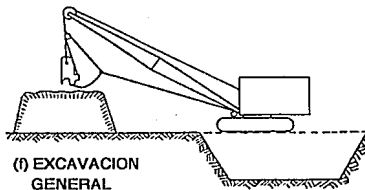
(c) EXCAVACION DE SUELOS SUBACUATICOS



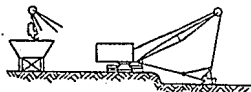
(d) DESMONTE DE CAPAS SUPERFICIALES



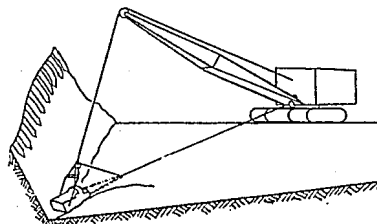
(e) NIVELACION SUPERFICIAL



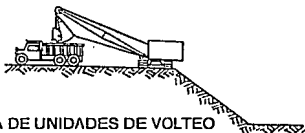
(f) EXCAVACION
GENERAL



(g) VACIADO EN TOLVAS



(h) FORMACION DE TALUDES
Y NIVELACION



(i) CARGA DE UNIDADES DE VOLTEO

Cualquier excavación en general (f), siempre y cuando el suelo permita una producción satisfactoria.

En la formación y nivelación de taludes (h), ya sea arriba o abajo del nivel en que viaja la dragalina. Debajo del nivel de circulación ésta es una simple y natural función, por el contrario, arriba del nivel se requerirá una especial habilidad para operar ya que la dragalina tiende a jalar el cucharón fuera del terreno.

El vaciado en tolvas y camiones (g e i) puede ser ejecutado, pero es operación poco eficiente debido a que el control del cucharón al final del giro no es preciso, por lo que existen muchos derrames.

III.4.2. RANGOS DE OPERACION

La selección de un equipo para un trabajo en particular, será enteramente determinada por sus rangos de operación.

Las características de los rangos de operación de una dragalina son más complejos de lo que lo son para la pala mecánica; no podemos únicamente incrementar la longitud del aguilón a voluntad, sino también debemos variar el tamaño del cucharón para cada longitud de aguilón requerida. Además el ángulo del aguilón con la horizontal puede variar pero dentro de ciertos límites. La longitud del cable en el izador y los cables de arrastre pueden ser aumentados, donde una profundidad adicional de excavación sea necesaria, reduciéndose el control del cucharón, ver fig. 3.11a.

La ilustración 3.11b. proporciona rangos de operación a una longitud estándar del aguilón (suspendido en un ángulo de 30°), con el correspondiente tamaño de cucharón recomendado por el fabricante. En la realidad, estos rangos variarán si las longitudes de los aguilonos se incrementan, si se cambian los tamaños del cucharón y si el ángulo de suspensión varía.

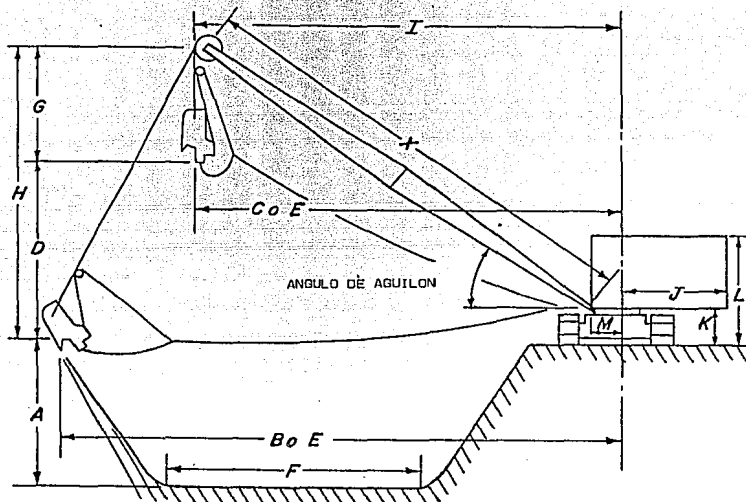
Las dimensiones A, B y F dependerán enormemente de las condiciones del suelo que será excavado. Se considera frecuentemente que el suelo con el que se tratará será blando y saturado con un ángulo de reposo pequeño.

III.4.3. PROCEDIMIENTOS DE EXCAVACION

Las operaciones de excavación con la dragalina son controladas por tres factores: (1) las condiciones del suelo que será manejado, (2) las limitaciones en excavación impuestas por el cucharón de arrastre, y (3) la disposición que se hará del material excavado.

Figura 3.11b.

DIMENSIONES DE OPERACION DE LA DRAGALINA



RANGOS TÍPICOS DE OPERACION DE LA DRAGALINA, [m]

Para las dimensiones H y M, Ver la fig. 3.1.

Dimensiones	Tamaño Nominal del cucharón, fabricante y modelo				
	3/4	1	1 1/4	1 3/4	2
	Bucyrus Erie (22B)	Marlon (43M)	Lorain (56)	Lorain (72-A)	Bucyrus Erie (51B)
	Angulo del aguilón, en grados				
	42	38	40	40	40
A Máxima profundidad de excavación	3.70	4.90	5.80	7.30	9.10
B Máximo alcance de excavación	12.20	13.70	14.02	17.40	20.70
C Radio de volteo	9.10	10.70	11.00	13.70	16.20
D Máxima altura de volteo	5.20	5.20	5.20	7.60	8.50
E Máximo radio arrojado	12.20	13.70	14.00	17.40	20.70
F Ancho del corte en el fondo	Variable				
G Longitud del cucharón	3.50	4.50	3.60	4.00	4.30
X Longitud del aguilón	10.70	12.20	12.20	15.20	18.30

Las limitaciones del suelo son inherentes a los procedimientos de excavación de suelos sueltos. Este tipo de excavación fue definida para cubrir el manejo de arenas y gravas secas y sueltas; arcillas y esquistos húmedos a mojados; y suelos en general completamente saturados o inundados. Todos estos materiales tienen un ángulo de reposo muy bajo y tienden a formar largos e inclinados bancos, ya sea durante la excavación o después de ésta. Estas características del suelo controlarán el alcance y quizá limiten la posición de las orugas en relación con la orilla superior del embanque, siendo necesario trabajar a cierta distancia de él. Este factor determina la posición del equipo y además tiende a limitar el ancho de la zanja o de lo que esté siendo excavado.

La fig. 3.12. muestra un canal o zanja de cierto ancho y profundidad siendo excavado en arcilla húmeda. El producto de la excavación será apilado en cualquier lado de la cepa. La excavación es ejecutada en capas, siendo cada una de ellas correspondientes a la profundidad del cucharón. El primer y segundo corte son hechos alternando los lados del canal, dejando el centro al último para que sirva de apoyo del cucharón para penetrar los costados de lo que será el canal final. Será impráctico ubicar nuevamente el equipo para atacar los taludes en o cerca del ángulo correcto en dirección de la zanja.

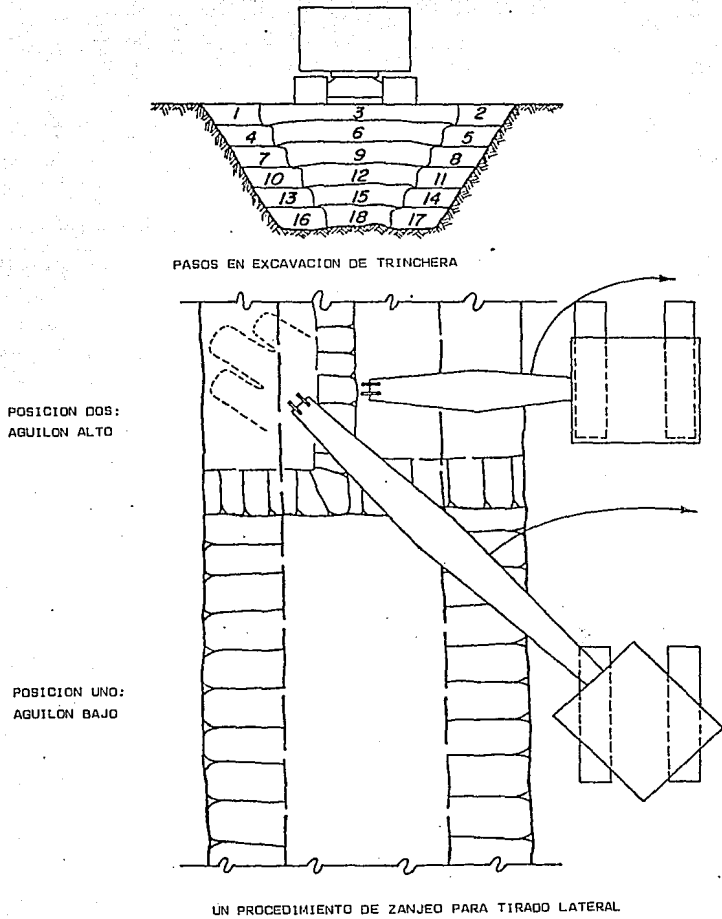
En la excavación paralela a la zanja existen bastantes alternativas posibles; una es excavar la cara posterior en diagonal como se aprecia en la figura de abajo, y posteriormente moverse y sacar el lado cercano de la nueva posición. Otro método sería cortar transversalmente canales en intervalos desde un lado y entonces sacar el material entre los canales estando todavía en una posición diagonal.

Las longitudes de movimiento de la dragalina serán mayores que las de la pala mecánica, pero la posición final del equipo después del movimiento, deberá todavía permitir al operador tener una vista clara del fondo de la fosa. Además, la dragalina deberá ser posicionada para que el cable de arrastre pueda meter las poleas guía sin quedar agarradas en la orilla superior del talud.

III.5. LA GRUA CON CUCARON DE ALMEJA

La grúa con cucharón de almeja es un equipo muy versátil si se ignoran ciertos aspectos de producción. Generalmente es usada como una unidad secundaria para rezagar detrás de máquinas más productivas. Rezagar puede entenderse como limpiar o manejar escombros o desechos, como son esquistos, arcillas o despojos húmedos.

Figura 3.12.
ZANJEO CON DRAGALINA



La grúa puede ser usada para excavar cimentaciones, como zapatas y agujeros para pilas; y zanjas, pero su tasa de producción es baja. Donde los suelos a ser excavados estén sueltos, sean blandos o saturados y requieran entablados y consecuentemente levaje vertical del material excavado, el cucharón de almeja es ideal.

El cucharón de almeja ha sido usado para desbastar bancos y taludes, para desarrollar bermas y para vaciar canales o cunetas, pero hay que mencionar que existen otros equipos más adecuados para estas tareas.

La grúa es usada enormemente para cargar camiones, ya que es posible localizar exactamente la posición del cucharón antes de descargar. Así mismo también es usado para cargar y descargar vagones de ferrocarril, llenar tolvas y para apilar.

El cucharón de almeja puede excavar o descargar arriba, abajo o al mismo nivel en que circula, aunque su rango de trabajo está limitado a un reducido círculo. El aguilón podrá ser subido o bajado, pero ya que esta operación es lenta, ésta es raramente hecha durante el ciclo de excavación.

La grúa generalmente opera con un ángulo mayor del aguilón, comparada con la dragalina, para aprovechar completamente su capacidad de levaje del cable de retención. Una vez que el cucharón ha sido llenado, la grúa de cucharón de almeja se comporta como una simple grúa levantando su carga, y su capacidad antes de la volcadura está en función del peso y del radio de operación.

Cabe mencionar que es posible tirar el cucharón de almeja para cargar y descargar, pero esto requiere una experta sincronización por lo que rara vez se recurre a esta operación.

En la fig. 3.13a. y 3.13b. se muestran las dimensiones de operación para dos modelos de grúas con cucharón de almeja CATERPILLAR; y por último en la fig. 3.14. se aprecia la tradicional grúa y su cucharón de almeja.

Figura 3.13a.

ALCANCES Y OTRAS DIMENSIONES DE OPERACION
(CON AGUILON DE DOS PIEZAS)

		215						225							
Longitud del brazo:		1800 mm 5'11"		2200 mm 7'3"		2800 mm 9'2"		1980 mm 6'6"		2440 mm 8'0"		3050 mm 10'0"			
		m	ft	m	ft	m	ft	m	ft	m	ft	m	ft		
A	Radio máx. a nivel del suelo—	Posic. alta	8,4 27'6"	8,7 28'6"	9,2 30'2"	9,4 31'0"	9,8 32'2"	10,4 34'1"	Posic. alta	8,4 27'6"	8,7 28'6"	9,2 30'2"	9,4 31'0"	9,8 32'2"	10,4 34'1"
		Posic. baja	7,9 26'1"	8,2 26'11"	8,8 28'10"	8,8 29'0"	9,2 30'11"	9,7 31'11"	Posic. baja	7,9 26'1"	8,2 26'11"	8,8 28'10"	8,8 29'0"	9,2 30'11"	9,7 31'11"
B	Profund. máx. de excavación sin alargadores	Posic. alta	5,9 19'4"	6,4 21'0"	6,9 22'6"	6,2 20'3"	6,6 21'9"	7,2 23'9"	Posic. alta	5,9 19'4"	6,4 21'0"	6,9 22'6"	6,2 20'3"	6,6 21'9"	7,2 23'9"
		Posic. baja	6,6 21'8"	7,0 23'0"	7,6 24'11"	7,2 23'9"	7,7 25'3"	8,3 27'3"	Posic. baja	6,6 21'8"	7,0 23'0"	7,6 24'11"	7,2 23'9"	7,7 25'3"	8,3 27'3"
B1*	Profund. máx. de excavación con dos alargadores (215), con tres alargadores (225)	Posic. alta	8,1 26'8"	8,6 28'1"	9,1 30'0"	9,4 30'8"	9,8 32'3"	10,4 34'3"	Posic. alta	8,1 26'8"	8,6 28'1"	9,1 30'0"	9,4 30'8"	9,8 32'3"	10,4 34'3"
		Posic. baja	8,8 28'10"	9,2 30'2"	9,8 32'0"	10,4 34'3"	10,9 35'8"	11,5 37'9"	Posic. baja	8,8 28'10"	9,2 30'2"	9,8 32'0"	10,4 34'3"	10,9 35'8"	11,5 37'9"
C**	Dist. máx. hasta el cucharón cerrado	Posic. alta	5,3 17'5"	5,4 17'9"	5,8 19'0"	6,4 20'10"	6,5 21'6"	7,0 22'11"	Posic. alta	5,3 17'5"	5,4 17'9"	5,8 19'0"	6,4 20'10"	6,5 21'6"	7,0 22'11"
		Posic. baja	4,0 13'1"	4,0 13'1"	4,2 13'9"	4,5 14'11"	4,5 14'10"	4,8 15'7"	Posic. baja	4,0 13'1"	4,0 13'1"	4,2 13'9"	4,5 14'11"	4,5 14'10"	4,8 15'7"
D**	Dist. máx. hasta el cucharón abierto	Posic. alta	5,7 18'8"	5,8 19'0"	6,2 20'4"	6,8 22'4"	7,0 23'0"	7,4 24'5"	Posic. alta	5,7 18'8"	5,8 19'0"	6,2 20'4"	6,8 22'4"	7,0 23'0"	7,4 24'5"
		Posic. baja	4,4 14'5"	4,4 14'5"	4,6 15'1"	5,0 16'5"	5,0 16'4"	5,2 17'1"	Posic. baja	4,4 14'5"	4,4 14'5"	4,6 15'1"	5,0 16'5"	5,0 16'4"	5,2 17'1"
E	Radio de espacio libre a máx. altura	Posic. alta	4,4 14'5"	4,8 15'9"	5,3 17'5"	4,3 14'2"	4,8 15'8"	5,2 17'1"	Posic. alta	4,4 14'5"	4,8 15'9"	5,3 17'5"	4,3 14'2"	4,8 15'8"	5,2 17'1"
		Posic. baja	5,6 18'4"	6,0 19'9"	6,6 21'8"	6,2 20'5"	6,7 22'1"	7,3 23'11"	Posic. baja	5,6 18'4"	6,0 19'9"	6,6 21'8"	6,2 20'5"	6,7 22'1"	7,3 23'11"
F	Espacio vertic. libre	Posic. alta	8,2 26'11"	8,3 27'3"	8,7 28'7"	9,4 30'9"	9,6 31'4"	10,0 32'6"	Posic. alta	8,2 26'11"	8,3 27'3"	8,7 28'7"	9,4 30'9"	9,6 31'4"	10,0 32'6"
		Posic. baja	6,9 22'8"	6,9 22'8"	7,1 23'4"	7,5 24'9"	7,5 24'9"	7,8 25'5"	Posic. baja	6,9 22'8"	6,9 22'8"	7,1 23'4"	7,5 24'9"	7,5 24'9"	7,8 25'5"
G	Largo del aguilón (centro de giro del aguilón a centro de giro del brazo)	Posic. alta	5,60 18'4"	5,60 18'4"	5,60 18'4"	6,22 20'5"	6,22 20'5"	6,22 20'5"	Posic. alta	5,60 18'4"	5,60 18'4"	5,60 18'4"	6,22 20'5"	6,22 20'5"	6,22 20'5"
	Pieza delant. del aguil. (extendida)	Posic. baja	5,21 17'1"	5,21 17'1"	5,21 17'1"	5,71 18'9"	5,71 18'9"	5,71 18'9"	Posic. baja	5,21 17'1"	5,21 17'1"	5,21 17'1"	5,71 18'9"	5,71 18'9"	5,71 18'9"
	Pieza delant. del aguil. (centrada)	Posic. alta	4,98 16'4"	4,98 16'4"	4,98 16'4"	5,55 18'3"	5,55 18'3"	5,55 18'3"	Posic. alta	4,98 16'4"	4,98 16'4"	4,98 16'4"	5,55 18'3"	5,55 18'3"	5,55 18'3"
		Posic. baja	4,60 15'1"	4,60 15'1"	4,60 15'1"	5,07 16'8"	5,07 16'8"	5,07 16'8"	Posic. baja	4,60 15'1"	4,60 15'1"	4,60 15'1"	5,07 16'8"	5,07 16'8"	5,07 16'8"
	Pieza delant. del aguil. (retraída)	Posic. alta	4,36 14'4"	4,36 14'4"	4,36 14'4"	4,89 16'0"	4,89 16'0"	4,89 16'0"	Posic. alta	4,36 14'4"	4,36 14'4"	4,36 14'4"	4,89 16'0"	4,89 16'0"	4,89 16'0"
		Posic. baja	3,99 13'1"	3,99 13'1"	3,99 13'1"	4,44 14'7"	4,44 14'7"	4,44 14'7"	Posic. baja	3,99 13'1"	3,99 13'1"	3,99 13'1"	4,44 14'7"	4,44 14'7"	4,44 14'7"
H	Dimensión mínima de espacio libre	Posic. alta	4,2 13'9"	4,6 15'1"	5,1 16'10"	4,5 14'11"	4,06 13'4"	5,0 16'3"	Posic. alta	4,2 13'9"	4,6 15'1"	5,1 16'10"	4,5 14'11"	4,06 13'4"	5,0 16'3"
		Posic. baja	5,4 17'9"	5,8 19'0"	6,6 21'7"	6,5 21'3"	5,97 19'7"	7,0 23'1"	Posic. baja	5,4 17'9"	5,8 19'0"	6,6 21'7"	6,5 21'3"	5,97 19'7"	7,0 23'1"
J	Altura del cucharón de almaja (abierto)	2,27 m						2,46 m							
K	Altura del cucharón de almaja (cerrado)	7'5"						8'1"							
	Sin alargadores	2,64						2,92							
	Con alargador primario	3,84						4,11							
	Con alargador primario y uno secundario	4,84						5,13							
	Con alargador primario y dos secundarios						6,12							
L	Cucharón abierto	1,78						2,05							
	5'10"						6'9"							
M	Anchura máxima del cucharón	1,51						1,55							
	4'11"						5'1"							

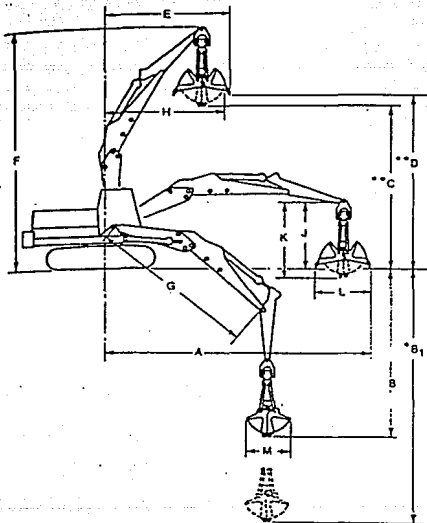
*215 — Dos alargadores: uno primario de 1,2 m (3'11") y uno secundario de 1,0 m (3'3").

**225 — Tres alargadores: uno primario de 1,2 m (3'11"), y dos secundarios de 1,0 m (3'3") cada uno.

* Estas dimensiones son sin alargadores. Se ajustan por la longitud de los alargadores: 1,2 m (3'11"), en el primario, y 1,0 (3'3") en cada secundario.

Figura 3.13b.

ALCANCES Y OTRAS ESPECIFICACIONES DE OPERACION
DE LA 215 Y 225.



ESPECIFICACIONES DE LOS CUCHARONES
(con adaptadores de punta de diente)

215 Ancho del mordisco	Litros †		SAE yardas cúbicas		CECE** capac. colmada	Peso ††	
	capacidad a ras colmada	capacidad a ras colmada	capacidad a ras colmada	capacidad a ras colmada	litros†	kg	lb
610 mm	280	340	3/8	7/16	340	990	2,180
24"							
760 mm	340	430	7/16	9/16	430	1025	2,260
30"							
810 mm	430	520	9/16	5/8	520	1080	2,380
36"							
1070 mm	520	610	5/8	3/4	610	1120	2,460
42"							
225							
610 mm	320	400	11 ft*	1/2	420	1370	3,010
24"							
760 mm	400	500	1/2	5/8	520	1430	3,150
30"							
910 mm	500	600	5/8	3/4	670	1490	3,290
36"							
1070 mm	600	700	3/4	7/8	730	1560	3,430
42"							

* So base en las normas J296 de la S.A.E. (idénticas a las de la PCSA).

† Los valores métricos corresponden a las capacidades que se calculan directamente y se redondean al múltiplo de 10 más cercano, pues no son conversiones de las capacidades nominales de la S.A.E.

** Comité del Equipo Europeo de Construcción.

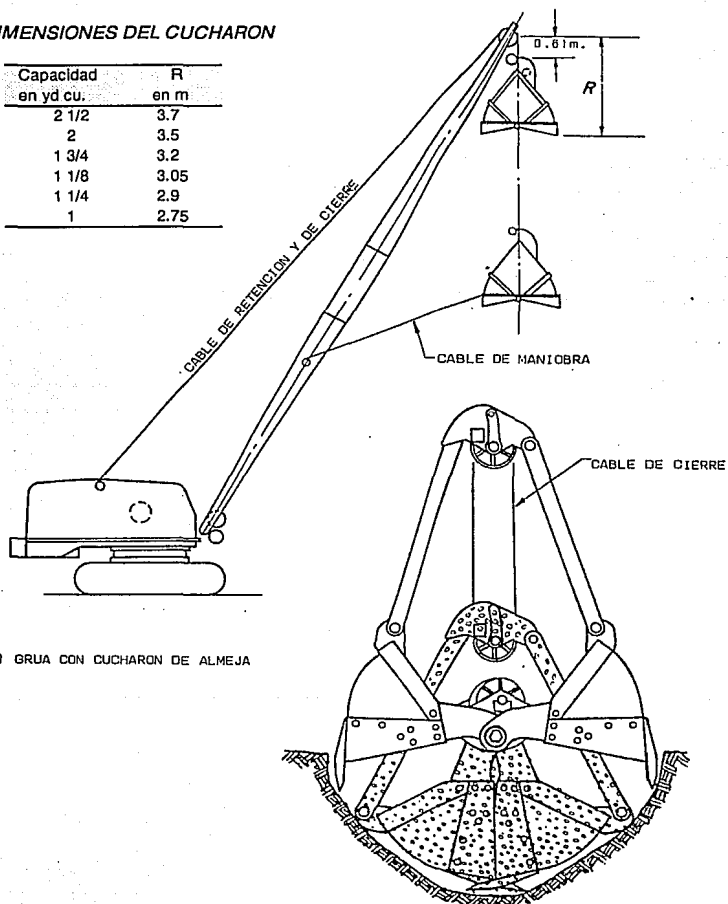
†† Incluye actuador, pasadores, eslabones, adaptador y dientes.

Figura 3.14.

LA TRADICIONAL GRUA CON CUCHARON DE ALMEJA

DIMENSIONES DEL CUCHARON

Capacidad en yd cu.	R en m
2 1/2	3.7
2	3.5
1 3/4	3.2
1 1/8	3.05
1 1/4	2.9
1	2.75



a) GRUA CON CUCHARON DE ALMEJA

b) CUCHARON DE ALMEJA-ACCION DE EXCAVADO

IV CONTROL DEL NIVEL FREÁTICO

IV.1. PROCEDIMIENTOS DE DRENAJE E IMPERMEABILIZACIÓN

En los trabajos de excavación, los procedimientos de que se dispone actualmente para el control de las filtraciones actúan sobre éstas en dos formas diferentes.

En unos casos las filtraciones se evitan por medio del bombeo, es decir, se extraen del suelo antes de que lleguen al sitio de la excavación; éstos son los llamados métodos de drenaje y permiten abatir el nivel freático en forma local. A continuación se enumeran los más importantes:

- a) Pozos punta
- b) Pozos profundos
- c) Sistema combinado de gravedad y vacío
- d) Sistema combinado de bombeo y electrólisis.

Otros procedimientos evitan la llegada del agua al sitio de la excavación, interceptándola mediante pantallas impermeables perimetrales cuando no existen estratos impermeables naturales, a éstos se les llama métodos de impermeabilización y se dispone de los siguientes:

- e) Pilotes secantes de concreto
- f) Tableros de concreto
- g) Trincheras flexibles
- h) Pantallas de inyección
- i) Aire comprimido
- j) Congelación

La elección del método depende en gran parte de las condiciones del lugar; por ejemplo, el bombeo desde pozos abiertos puede ser utilizado en la mayoría de los casos siempre y cuando el gasto que fluye hacia el interior de la excavación no sea mayor de 10 lts/seg, y no se produzca el arrastre de partículas de suelo por el agua. Estas condiciones se presentan en arcillas, limos arcillosos o arenas y gravas arcillosas, o bien, en gravas o arenas limosas con algún contenido de arcilla, la cual produce cierta cohesión entre las partículas y ofrece cierta resistencia a la erosión. Sin embargo, las fuerzas de filtración que se generan, tienden a provocar deslizamientos de los taludes, por lo que los costados de las excavaciones deberán tener pendientes muy tendidas para incrementar su estabilidad.

Por el contrario, en los suelos no cohesivos, tales como los limos no plásticos, las arenas limosas y las finas, el deslizamiento y la erosión de los taludes y del fondo de la excavación se produce aún cuando la profundidad sea apenas de 1.0 a 2.0 m bajo el nivel freático. Generándose

además debido a las filtraciones ascendentes en el fondo de la excavación, una reducción importante en la capacidad de carga y un aumento en la compresibilidad del suelo. Si el gradiente hidráulico a la salida de las filtraciones del fondo se acerca a la unidad, las partículas del suelo no cohesivo entran en ebullición y se produce la condición de arena movediza.

Ahora bien, si la excavación se realiza en suelos altamente permeables, como las gravas y arenas gruesas, se deberá poner especial cuidado, ya que el gasto de filtración se hace tan grande que se convierte en un serio inconveniente para la seguridad y la buena ejecución de la obra.

Las características y la granulometría de los suelos, influyen también en la elección del método. Los tipos de suelos en los que son aplicables los distintos métodos han sido clasificados por Glossop y Skempton, y se indican en las curvas de distribución granulométrica de las figs. 4.1a. y 4.1b., y para conocer cual será el procedimiento más conveniente, en uno de los diagramas o en ambos, se dibujará la curva granulométrica obtenida de los ensayos de tamizado.

a) Pozos punta.

En estratos permeables donde la estabilidad del suelo puede ser puesta en peligro por el empleo de los cárcamos de bombeo, el sistema de los pozos punta es el método preferido para excavaciones superficiales que no excedan de 6 a 7 m de profundidad. El objetivo de este sistema es el de generar un cono de depresión en el nivel freático, de manera que la excavación pueda tomar lugar en condiciones relativamente secas, figura 4.2a.

Este sistema consiste en una serie de tubos verticales de unos 6.0 m de longitud y 1.5" a 2" de diámetro, en cuyo extremo se acopla un tubo formado por una fina malla metálica o plástica, y en el interior de éste se aloja un tubo perforado de generalmente 0.60 m de longitud, con una válvula de pie provista en el extremo inferior. Estos tubos se hincan en el terreno con el auxilio de un chiflón de agua que circula por el propio tubo y sale por el extremo inferior, alrededor de la válvula de pie, como se muestra en el esquema 4.2b.. La separación entre pozos punta varía de 0.5 a 2.0 m, llegando difícilmente a 3.0 m. El extremo superior de los tubos se conecta a una tubería principal de 8" a 10" de diámetro, la cual se conecta a su vez a una bomba centrífuga de impulsor abierto provista de una trampa de aire y una bomba de vacío. Al crearse el vacío en la válvula de pie, cierra el extremo inferior de las puntas y el agua del suelo pasa solamente a través del cedazo, evitando el arrastre de partículas de arena y limo.

Figura 4.1a.

VARIACION DEL TAMAÑO DE LAS PARTICULAS PARA DISTINTOS
 PROCESOS DE ACHIQUE DEL AGUA DEL TERRENO
 (GLOSSOP Y SKEMPTON)

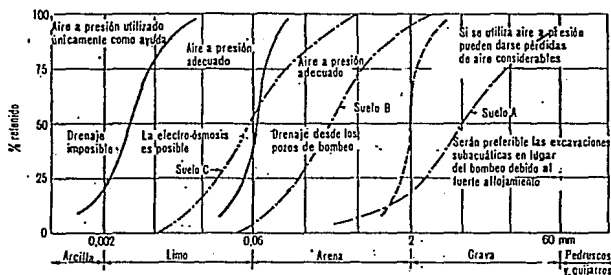


Figura 4.1b.

VARIACION DEL TAMAÑO DE LAS PARTICULAS PARA DISTINTOS
 PROCESOS GEOTECNICOS (GLOSSOP Y SKEMPTON)

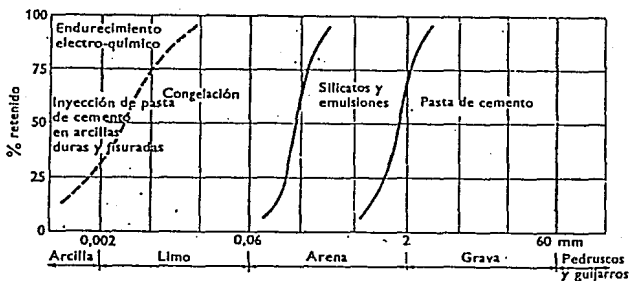
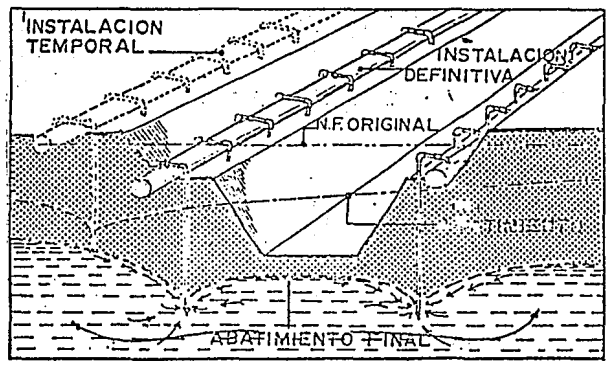


Figura 4.2a.

ABATIMIENTO DEL NIVEL FREATICO MEDIANTE POZOS PUNTA



PRIMERA ETAPA DE ABATIMIENTO Y EXCAVACION.

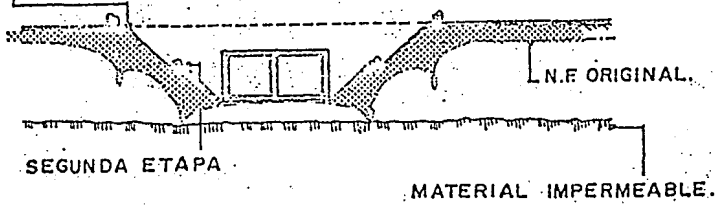
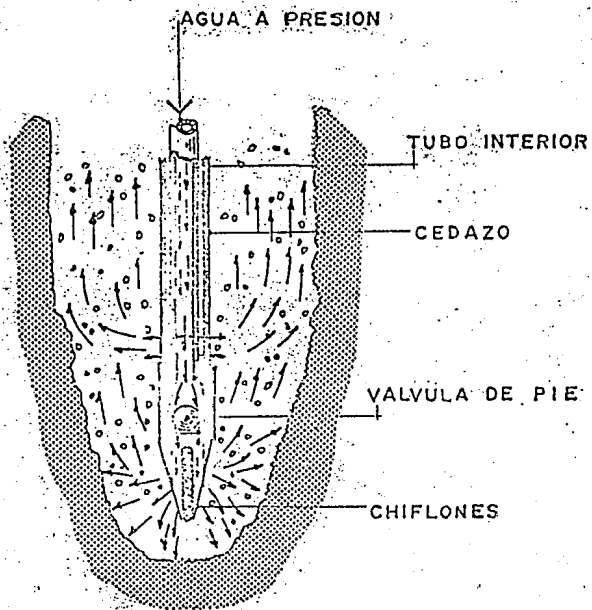


Figura 4.2b.

HINCADO DE LA PUNTA POR MEDIO DE CHIFLON DE AGUA



La separación de los pozos dependerá del gasto que se tenga que bombear por metro lineal de perímetro del sistema; considerando que cada uno es capaz de succionar un gasto de 0.5 a 2.0 lts/seg y conociendo la permeabilidad del suelo, se podrá determinar el gasto por unidad de longitud así como el diámetro y su separación.

Ahora bien, para profundidades mayores será necesario instalar varios circuitos de puntas escalonadas como se indica en la fig. 4.2c.

b) Pozos profundos.

Como una alternativa a la instalación de pozos punta escalonados y sobre todo bajo condiciones en las cuales la permeabilidad del suelo es muy alta, los pozos profundos podrían considerarse el método más eficaz. La principal diferencia radica en que una bomba sumergible es colocada en el fondo del pozo, eliminando de esta manera las limitaciones de succión; el tamaño apropiado de la bomba se elegirá acorde al flujo de agua por abatir y al diámetro del pozo formado, figuras 4.3a. y 4.3b. Este método es usado para profundidades mayores a 7.50 m y ha sido exitosamente operado a profundidades hasta de 100 m, además considerando la gama de capacidades de las bombas, las cuales actualmente se fabrican hasta para gastos mayores de 100 lts/seg, cualquier flujo de filtración a cualquier profundidad puede ser controlado, aún tratándose de excavaciones en depósitos de grava y arena gruesa y limpia, cuya permeabilidad sea mayor de 10 E-01 cm/seg; bastaría con conocer la permeabilidad media y la estratigrafía del depósito para determinar mediante el trazo de una red de flujo, el gasto por metro lineal que se obtendrá a lo largo de la línea de bombeo.

Puesto que es necesario que los conos de abatimiento se trasladen completamente a lo largo de la línea de bombeo, se requerirá que la separación entre pozos no sea mayor que la mitad de la profundidad de abatimiento deseada en la excavación. Sin embargo cuando se trata de permeabilidades mayores de 10 E-01 cm/seg, las fuertes inversiones de equipo y los altos costos de operación justificarán el empleo de algún método de impermeabilización.

c) Sistema combinado de Gravedad y Vacío

En depósitos de limos o limos arenosos cuya permeabilidad varía entre 10 E-03 y 10 E-05 cm/seg, los sistemas de bombeo no resultan del todo eficaces para los limos menos permeables, por lo que se recurre al auxilio de un sistema de vacío, el cual combinado con el equipo de bombeo genera un vacío que actúa en las paredes del pozo a

Figura 4.2c.

ABATIMIENTO MEDIANTE ETAPAS ESCALONADAS

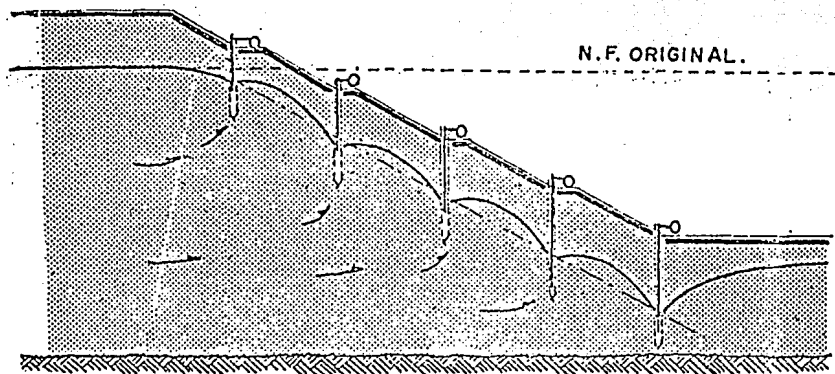


Figura 4.3a.

ABATIMIENTO MEDIANTE POZOS PROFUNDOS

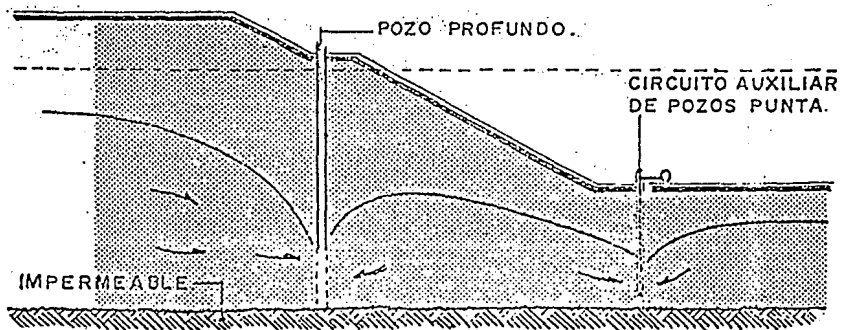
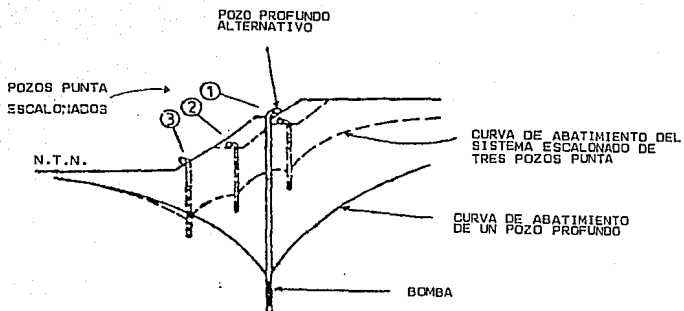
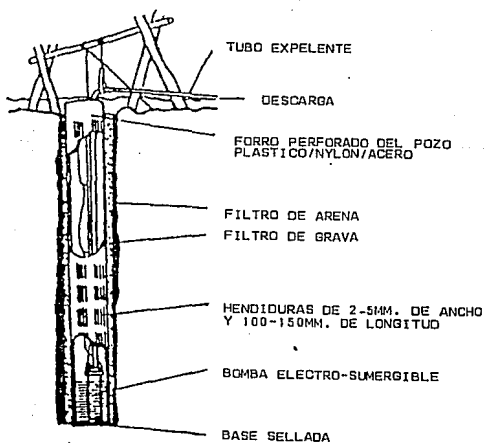


Figura 4.3b.

COMPARACION DE POZOS PUNTA Y POZOS PROFUNDOS



INSTALACION DE POZOS PROFUNDOS



través del filtro, según se indica en la figura 4.4. Este sistema aumenta el gradiente de las filtraciones hacia el pozo y desarrolla un estado de tensión en el agua de los poros del suelo, que a su vez se traduce en un aumento de la presión intergranular y por lo tanto de la resistencia al corte del suelo. De esta manera se logra eliminar las fuerzas de filtración así como aumentar el ángulo del talud reduciendo consecuentemente el volumen de tierra excavada.

En el caso de suelos estratificados que contienen capas alternadas de muy diferente permeabilidad, arenas, limos y arcillas, se requiere del empleo de pozos con filtros en toda la profundidad, independientemente del sistema de bombeo que se utilice.

d) Sistema combinado de Bombeo y Electrólisis

Cuando se tienen suelos de baja permeabilidad como las arenas, limos arcillosos y las arcillas de mediana o alta plasticidad, cuyo coeficiente de permeabilidad es del orden de 10^{-6} cm/seg o menor, el empleo del sistema de vacío es insuficiente para abatir rápidamente el nivel freático, es entonces cuando el bombeo se auxilia con la aplicación de un gradiente de potencial eléctrico, el cual acelera el flujo del agua a través de los poros del suelo y desarrolla de manera semejante al sistema de vacío, la estabilidad de los taludes y la eliminación de las fuerzas de filtración.

Los suelos cohesivos no son fácilmente erosionables y por lo tanto puede excavarlos en ellos a grandes profundidades sin necesidad de abatir previamente el nivel freático. Sin embargo, cuando la profundidad de la excavación pone en peligro la estabilidad de los taludes, el empleo de la electrólisis y el bombeo combinados se vuelve conveniente para alcanzar la profundidad de excavación deseada. Los esquemas 4.5a. y 4.5b. ilustran la instalación de este sistema, en el que se emplean pozos de bombeo cuyo ademe metálico está diseñado para servir como electrodo negativo, y hacia el cual fluye el agua del suelo que ha sido impulsada por el potencial eléctrico, creado en el terreno mediante la instalación de varillas de acero, las cuales son colocadas entre los pozos y hacen a su vez de electrodos positivos. Los pozos-cátodos y las varillas-ánodo se conectan a los bordes de un generador de corriente continua, creándose así el gradiente de potencial eléctrico. El agua inyectada en el inyector, junto con la que fue extraída del suelo, fluyen por una tubería de retorno hasta el cárcamo de la bomba centrífuga en la superficie, donde es recirculada y reinyectada para la operación continua de las bombas de pozo profundo.

En las arcillas de alta compresibilidad la distribución de los electrodos en el área de la excavación y el gradiente

Figura 4.4.

BOMBEO Y VACIO COMBINADOS

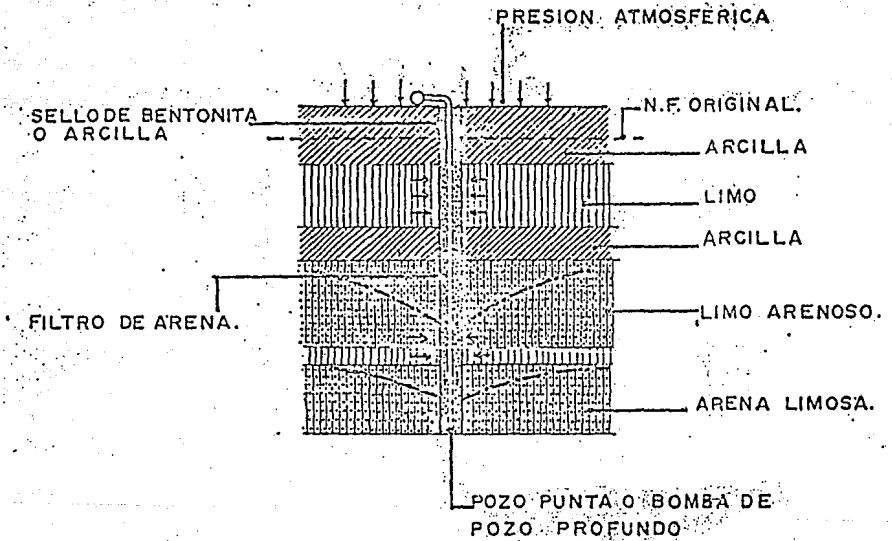
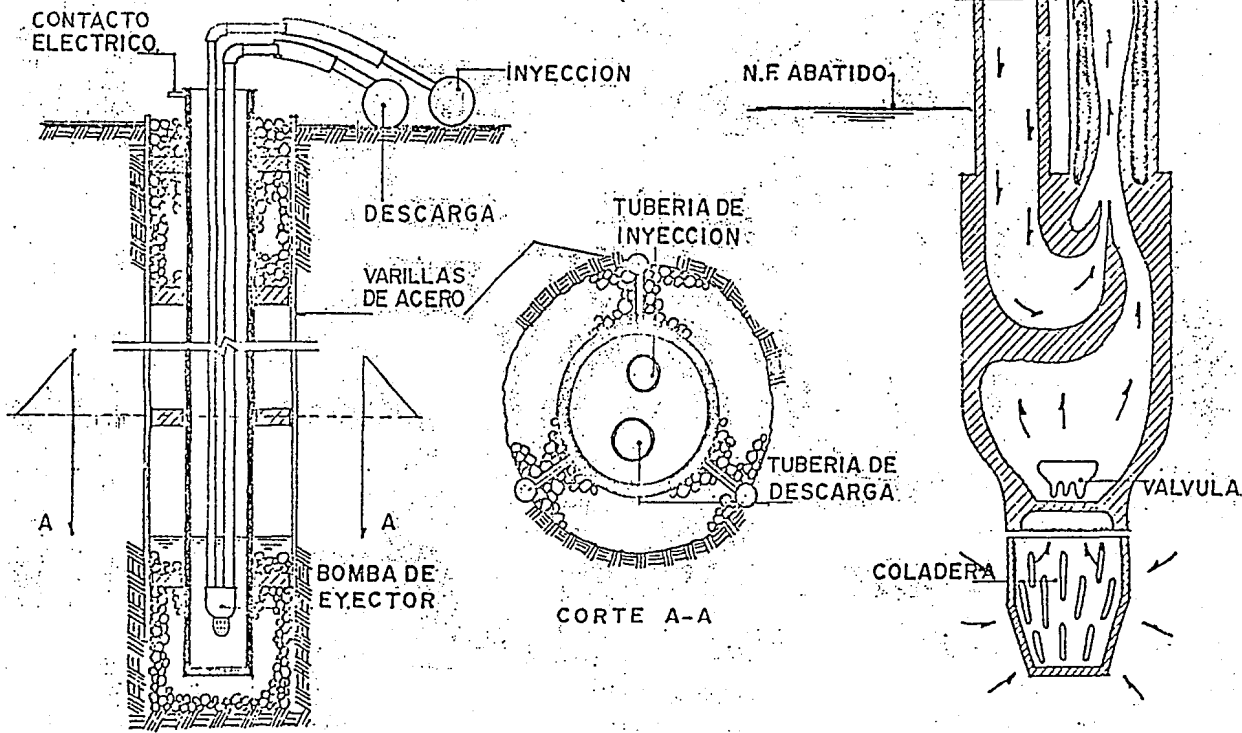


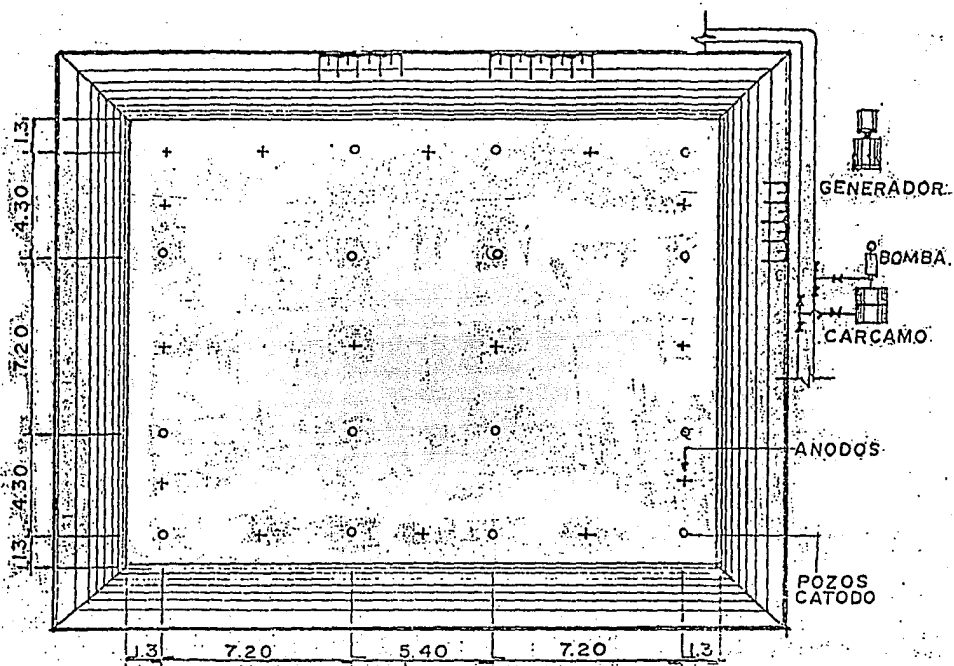
Figura 4.5a.



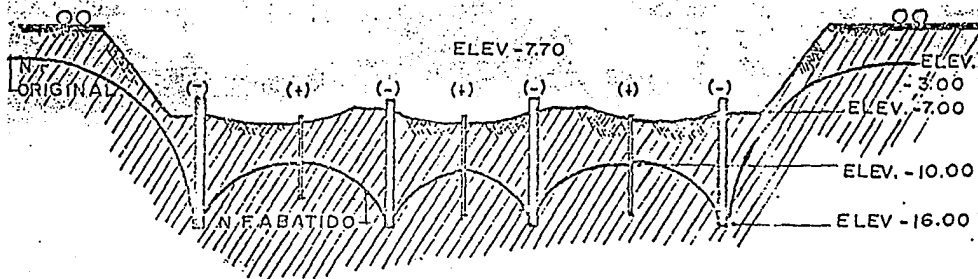
INSTALACION DE UN POZO CATODO.

DETALLE DE LA BOMBA DE EYECTOR.

Figura 4.5b.
 INSTALACION PARA ABATIMIENTO ELECTROSMOTICO EN ARCILLAS



PLANTA



PERFIL

de potencial aplicado, se diseñan de manera tal que se reduzcan al mínimo los asentamientos de la corona de los taludes y de la zona vecina a la excavación, con el fin de evitar daños a estructuras adyacentes y prevenir el agrietamiento de los taludes.

e) Pilotes secantes de concreto

Las barreras o pantallas impermeables a base de pilotes secantes se forman mediante colados "in situ", en una perforación estabilizada con lodo bentonítico. Con la ayuda de una trompa de colado o tubo tremie, el concreto de alto revenimiento, mayor de 15 cm, se deposita en el fondo de la perforación, de manera que éste vaya desplazando a la bentonita hasta sustituirla completamente. Este trabajo se ejecuta en dos etapas, figura 4.6., los pilotes tienen un diámetro de 50 a 60 cm y longitud suficiente como para que se empotren en un estrato impermeable. Claro que si no existiese un estrato de estas características a una profundidad razonable, éste se puede formar mediante inyecciones de lechadas de bentonita y cemento, o de productos químicos, a fin de evitar las filtraciones por el fondo de la excavación.

f) Tableros de concreto

Para suelos formados por depósitos fluviales con alto contenido de cantos rodados, resulta ventajoso hacer excavaciones en tableros de forma rectangular, de 3 a 6 m de longitud y de 50 a 80 cm de ancho, fig. 4.7., utilizando para ello un cucharón de almeja especialmente diseñado para este trabajo.

A medida que se vaya avanzando, la excavación deberá mantenerse llena de lodo bentonítico, a fin de estabilizar las paredes del pozo y de evitar el derrumbe de materiales. Una vez alcanzada la profundidad deseada, la zanja se rellena con concreto de alto revenimiento (mayor de 20 cm), empleando una trompa de colado hasta desplazar toda la bentonita y formar un muro de concreto. Al igual que las pantallas de pilotes, los tableros son colados alternadamente en dos etapas.

En la construcción de cimentaciones, estos muros de concreto se arman frecuentemente con acero de refuerzo, de manera que además funcionen como estructuras de contención durante la excavación y posteriormente se integren al cuerpo de la cimentación.

Figura 4.6. PILOTES SECANTES

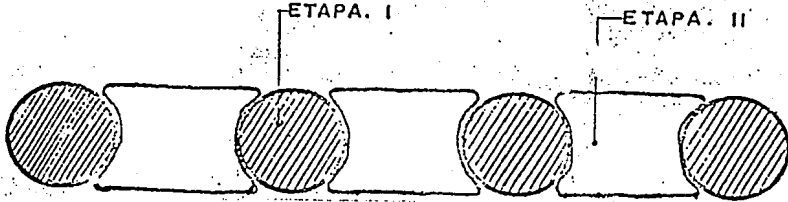
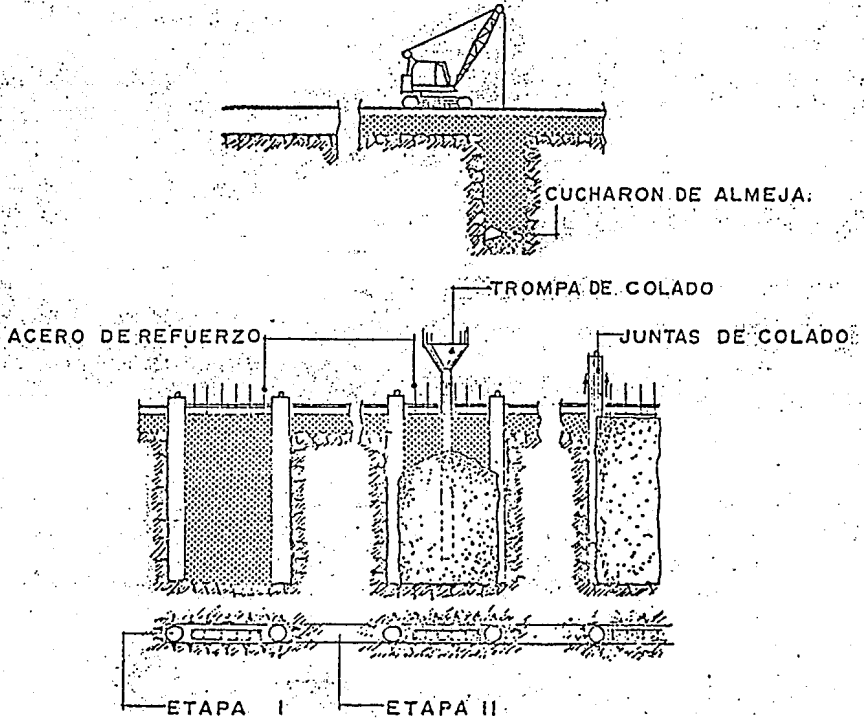


Figura 4.7. TABLEROS DE CONCRETO



g) Trincheras flexibles

Quando se necesite únicamente detener las filtraciones, las zanjas estabilizadas con lodo bentonítico pueden rellenarse con una mezcla de arena y grava bien graduadas, a la cual se le agrega de un 20 a un 25 % en peso, de arcilla de mediana o alta plasticidad; la mezcla deberá tener un revenimiento mayor de 20 cm y se vacía en la zanja de forma similar a la de los tableros de concreto.

La excavación podrá hacerse con el cucharón de almeja, o bien podrá emplearse una draga con bote de arrastre, una retroexcavadora o una zanjadora, dependiendo de la profundidad de la pantalla.

Como se ilustra en la figura 4.8., el relleno de la zanja puede también hacerse con un bulldozer desde el extremo opuesto a aquel en que se ejecuta la excavación.

h) Pantallas de inyección

Las pantallas impermeables, figura 4.9., se forman a base de inyecciones de lechadas de bentonita, de cemento con bentonita, o bien de productos químicos tales como el silicato de sodio con alcohol isopropílico o con cloruro de calcio, resinas de ligno, sulfonato de cromo u otra resina, como la AM-9.

La elección del material a emplear, dependerá de la permeabilidad del suelo; de esta manera se tiene que para los depósitos con grandes poros, como las arenas gruesas cuya permeabilidad es mayor de 10 E-01 cm/seg, se recomienda el uso de lechadas de bentonita. Sin embargo, en las arenas medianas de menor permeabilidad, las partículas de bentonita y cemento no son capaces de penetrar a través de los poros, por lo que se hace necesario entonces recurrir a los productos químicos.

El material a usar se inyecta en el terreno a través de una o varias hileras paralelas de perforación, separadas entre sí de 1.5 a 2.0 m, de tal manera que las zonas de influencia de los poros de inyección se traslapen entre sí para formar una pantalla.

Quando se encuentran depósitos con estratos de diferente permeabilidad, las pantallas de inyección se forman generalmente utilizando lechadas de bentonita y de productos químicos, para las capas de mayor y menor permeabilidad respectivamente. En el caso de que no existiera un estrato impermeable en el cual descansa la pantalla, se formará dicha capa artificialmente a base de inyecciones a través de una retícula de agujeros distribuidos en el área por excavar. La profundidad de esta

Figura 4.8.
PANTALLA FLEXIBLE

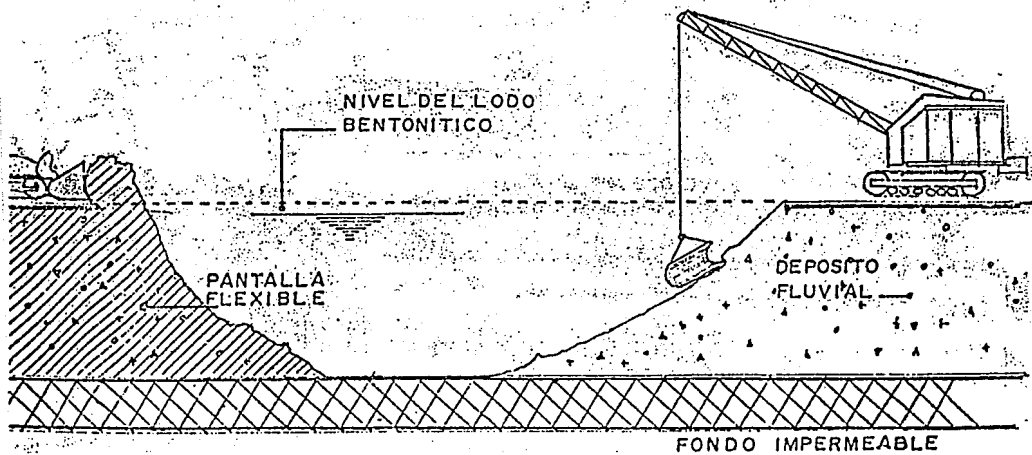
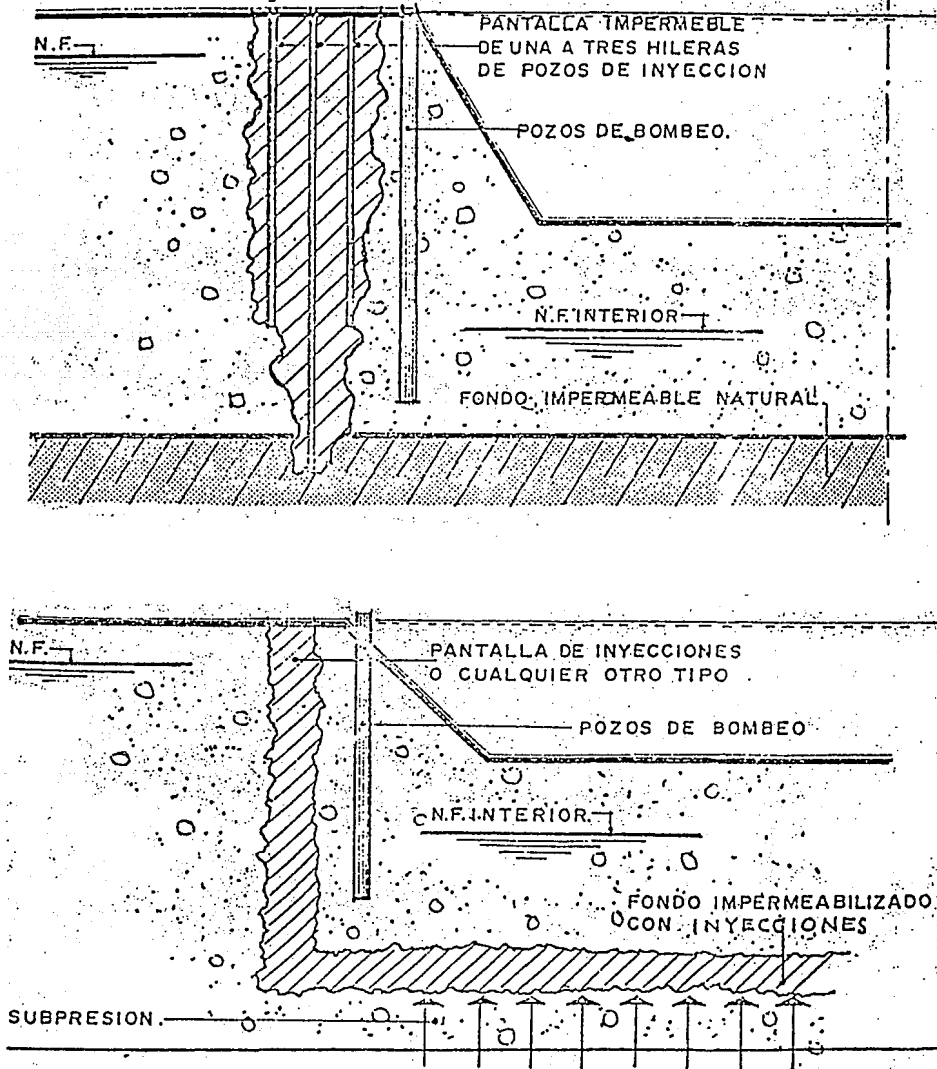


Figura 4.9. PANTALLA DE INYECCION



capa deberá ser tal que la fuerza de subpresión sea equilibrada por el peso del material que quede entre el fondo de la excavación y la capa impermeable, para evitar que ésta sea levantada por la subpresión.

i) Aire Comprimido

El principio fundamental del aire comprimido es el de crear una contrapresión desde el interior de la excavación hacia fuera, aumentando la presión del aire lo suficiente como para mantener el agua en los poros del suelo total o parcialmente y evitar así la descarga del agua. El empleo de este método ocurre generalmente en suelos granulares muy finos y en arenas arcillosas. Una descripción a detalle de este procedimiento se reserva para el capítulo VI.

j) Congelación

Cuando todos los procedimientos antes mencionados resultan impracticables, el proceso de congelación se recomienda como último recurso debido a su alto costo. Este sistema presenta los inconvenientes de un elevado costo en la instalación y mantenimiento de la planta de refrigeración y principalmente del tiempo excesivo que se requiere para congelar el terreno y los levantamientos que éste origina en determinados suelos.

Básicamente el sistema supone una distribución de taladros separados de 0.90 a 1.20 m entre sí. Estos taladros son revestidos con unos tubos de acero de 10 a 15 cm de diámetro con el fondo cerrado, introduciéndose a continuación en su interior un tubo de 3.75 a 7.00 cm de diámetro abierto en el fondo. La parte superior de ambos tubos se conecta a una tubería por la cual circula salmuera helada procedente de la planta de refrigeración. La salmuera se bombea hacia los tubos y sube por el espacio comprendido entre ellos y el revestimiento exterior, congelando así el terreno; finalmente la salmuera retorna a través de una tubería a la planta de refrigeración.

IV.2. ASENTAMIENTOS DEL TERRENO ADYACENTE DEBIDO AL DRENAJE

El descenso del nivel freático durante las excavaciones tiene como consecuencia asentamientos en las zonas circundantes, debido al aumento de la densidad del suelo, es decir, el aumento de la presión efectiva en los estratos compresibles bajo el nivel freático que se ha disminuido, provoca la consolidación de estos estratos y un asentamiento respecto al nivel del terreno natural.

En el caso de las tobas y arcillas blandas los efectos son severos, aunque se pueden tener asentamientos considerables en terreno arenosos sueltos si se permite que el nivel freático fluctúe. Para evitar problemas en arenas y gravas densas, el sistema de drenaje del terreno deberá poseer filtros eficaces que no permitan la pérdida de finos del suelo.

Contra tales efectos, se cuenta con diferentes procedimientos como son los pozos de recarga, en los cuales se bombea agua en el terreno próximo a la excavación a fin de mantener elevado el nivel freático; agua a presión artesiana bajo las excavaciones y pozos de aligeramiento entre otros.

IV.3. VIBROFLOTACION

Se denomina vibroflotación al proceso geotécnico con el cual se mejora la capacidad de carga y se reduce la compresibilidad de las arenas sueltas; el método consiste de una sólida unidad vibratoria, figura 4.10a, la cual se introduce en el suelo, figura 4.10b.. Una vez alcanzada la profundidad deseada se pone en marcha la máquina vibratoria de rotación, la cual arrastrará hacia abajo las partículas del suelo. El radio de acción del vibrador es de 1.2 a 1.5 m alrededor de él mismo, regularmente se añaden arenas para rellenar la presión cónica que aparece en la superficie. La unidad se va recuperando en capas de 30 cm haciéndola vibrar en cada una de ellas. Este proceso se repite hasta que toda la zona a tratar queda cubierta por cilindros solapados de suelo compactado.

Cabe mencionar que este método resulta muy eficaz en gravas o arenas limpias, pero también puede utilizarse en arenas limosas o arcillosas que contengan un 25% o 5% de limo y arcilla respectivamente.

Figura 4.10a. DIAGRAMA DEL VIBROFLOTADOR

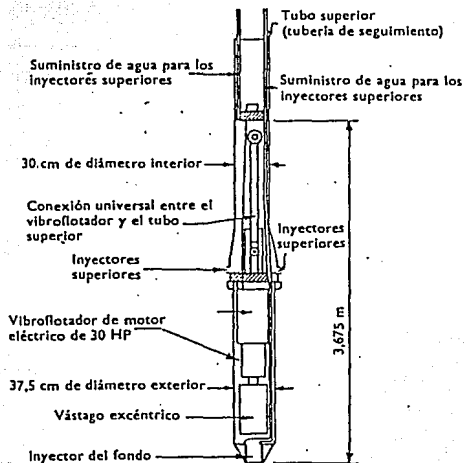
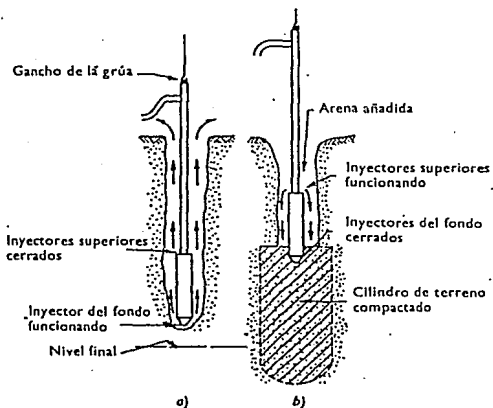


Figura 4.10b. FUNCIONAMIENTO DEL VIBROFLOTADOR



V EXCAVACION EN ROCA

V.1. EQUIPO Y METODOS DE PERFORACION

La perforación en roca es requerida en una gran variedad de proyectos de ingeniería, entre los que se encuentran:

- a) Muestreo para investigaciones geológicas
- b) Confinamiento de cargas explosivas para voladuras
- c) Anclajes en roca
- d) Grouteado

Existen básicamente tres métodos de perforación, los cuales son:

- 1) Perforación Rotatoria
- 2) Perforación Percusiva Rotatoria
- 3) Perforación Percusiva

Un cuarto método, el cual involucra un calor intenso concentrado en una parte de roca confinada es ocasionalmente usado. Otros progresos se han obtenido con el rayo laser y con el inyectado de agua a alta presión, tales métodos están en su etapa inicial y es muy probable que en un par de años se incorporen a la industria de la construcción.

SELECCION DEL METODO

Para aplicaciones tales como excavación de canteras y túneles, anclaje en rocas y grouteado, donde las perforaciones requeridas sean hasta de una profundidad máxima de 50 m con un diámetro de 100 a 150 mm, el equipo percusivo rotatorio es muy manejable y eficiente en rocas de mediana y alta dureza. Para diámetros mayores y grandes profundidades, o donde se presente roca suave o suelo, la máquina rotatoria de barrenación es lo adecuado. La perforación percusiva es muy lenta, pero debido a que es un método simple y básico algunas veces es más conveniente emplear esta técnica en la investigación de suelos para romper cualquier obstrucción de roca menor. Los méritos de estos métodos se muestran en la tabla 5.1.

V.1.1. PERFORACION ROTATORIA

La barrenación rotatoria consta básicamente de un vástago metálico sobre el cual actúa una fuerza vertical descendente, en el extremo inferior del vástago se localiza la broca que se incrustará en la superficie rocosa debido a la acción rotatoria-torcionante del eje barrenador, el cual se ubica exactamente arriba del agujero, soportado por un

mástil; las extensiones para el barreno son insertadas en el rotor cada vez que se requiere aumentar la profundidad. Para accionar la unidad usualmente se emplean motores hidráulicos o eléctricos, y raras veces a base de aire a presión. La limpieza y nivelación del agujero se puede llevar a cabo con agua o aire a presión. Por su versatilidad en la construcción las unidades son montadas en camiones generalmente.

Tabla 5.1.

METODO	TIPO DE ROCA				APLICACION NORMAL	
	SUAVE	MEDIA	DURA	MUY DURA	DIAM. MAX DE PERFORACION (mm)	PROFUNDIDAD MAXIMA (m)
Percusivo	****	****	****	****	400	Sin Limite
Percusivo Rotatorio:						
Perforadora horizontal	*	**	***	****	150	40
Perforadora vertical	***	****	****	****	200 (1)	250
Rotatorio:						
Cortante	****	****	*	-	600	5000
Triturante	***	****	****	***	600 (2)	5000
Abrasivo (Broca de diamante)	-	**	****	****	150	2000 (3)
Térmico	-	*	****	****	150	5

* = Pobre **** = Bueno

(1) Brocas disponibles hasta de 600 mm de diámetro para aplicaciones especiales

(2) Brocas de rodillo hasta de 6 m de diámetro, disponibles para tareas especiales

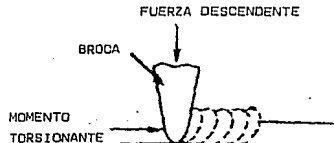
(3) Para muestreo, fuera de esto para el método triturante

METODOS DE PERFORACION ROTATORIA

a) Método Cortante

Muy adecuado para roca suave y de mediana dureza, profundidad común de barreno de 150 m y máxima de 5000 m, diámetro de barreno de 30 a 600 mm, fig. 5.2a.

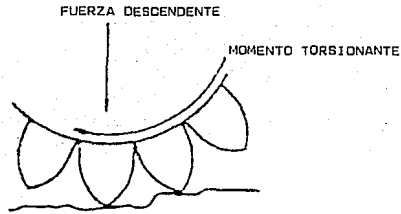
Figura 5.2a.



b) Método triturante

Muy adecuado para roca de mediana a alta dureza, pudiendo emplearse para rocas de muy alta dureza también, profundidad de barreno hasta de 5000 m y diámetro de barreno hasta de 600 mm, fig. 5.2b.

Figura 5.2b.

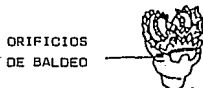


De la misma manera que el método cortante, una gran fuerza deberá aplicarse al barreno, sólo que en lugar de una punta cortante, conos de acero inclinados y encontrados entre sí dentados o con botones cubiertos de carbono de tungsteno giran en su propio eje para romper la roca. La broca tipo botón se recomienda para rocas demasiado duras y únicamente unidades montadas sobre camiones se emplean en este método, ver fig. 5.3a., en la fig. 5.3b. se muestra una broca abierta para el método cortante.

Figura 5.3a.

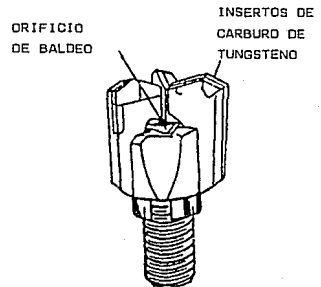


Broca de rodillos en cono



Broca dentada de rodillos

Figura 5.3b.



EQUIPO DE PERFORACION ROTATORIA

El equipo de barrenación abarca:

- i) Barreno rotatorio (generalmente manipulado hidráulicamente) con control de velocidad de rotación variable.
- ii) Sistema hidráulico o de cadena para suministrar el empuje vertical descendente al vástago barrenador y a la broca.
- iii) Mástil para levantar y soportar el vástago barrenador.
- iv) Cargador de tambor giratorio para insertar los vástagos de barrenación.
- v) Huinche para levantar el vástago y la broca.
- vi) Sujetador central, para sostener el vástago y conducirlo en línea cuando se esté barrenando.
- vii) Un vehículo para soportar el motor, el equipo de perforación, los huinches, el compresor y la bomba para el chorro de agua, fig. 5.4.

De cualquier manera, para la mayoría de las aplicaciones constructivas los equipos medianos a ligeros montados sobre neumáticos o sobre orugas son usuales, siendo los primeros muy útiles gracias a su movilidad. La mayoría de los equipos rotatorios modernos pueden adaptarse rápidamente para trabajar con suelos y rocas de diferente dureza, cambiando simplemente la broca o a la técnica Percusiva-Rotatoria.

PERFORACION CON BROCAS DE DIAMANTE (Abrasión rotatoria)

Esta técnica se usa principalmente para exploraciones mineras donde muestras de roca son requeridas para ser analizadas. Este procedimiento es adecuado para perforaciones de hasta 150 mm de diámetro y profundidades de hasta 2000 m en roca de alta dureza. El método se basa en la abrasión empleando brocas impregnadas de diamantes, y al igual que en los procedimientos anteriormente descritos, los pequeños fragmentos de la roca que ha sido fracturada deben ser continuamente desalojados por medio de un chorro líquido, que circula por el interior de la broca, para evitar obstrucciones, fig. 5.5.

La velocidad de penetración de la broca esta en función de la velocidad de rotación, del empuje vertical y de la presión del chorro limpiador. Aunque se ha demostrado que para un empuje constante la tasa teórica de penetración es proporcional a la velocidad de rotación de la broca. Así es que si el diámetro de la broca se reduce, las revoluciones por minuto se deberán incrementar para mantener una velocidad rotatoria adecuada en el radio de la superficie del diamante. La velocidad de penetración también dependerá de la dureza de la roca.

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

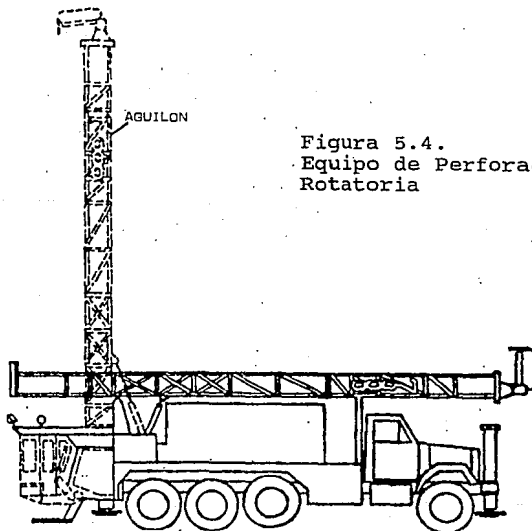
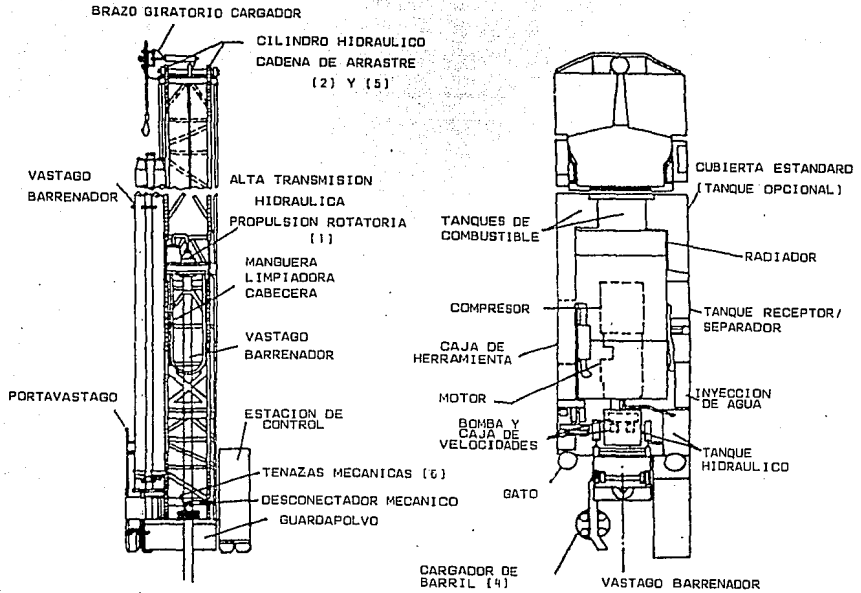
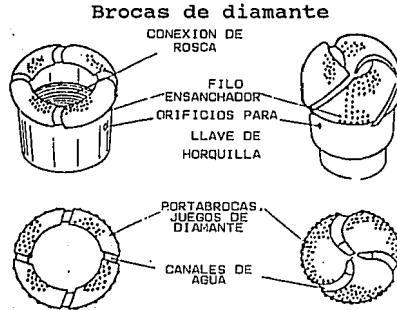


Figura 5.4.
 Equipo de Perforación
 Rotatoria

Figura 5.5.



Donde la perforación tenga que pasar a través de suelo o roca inestable, o donde el chorro limpiador sea absorbido por el terreno circundante, se requerirán tubos de revestimiento. Esto consiste básicamente en colocar después de la broca y del vástago un tubo de revestimiento con su respectiva zapata, la cual está formada por una cubierta de segmentos cortantes de diamante en su borde exterior, y liso en el interior. El diámetro interior deberá ser lo suficientemente grande como para permitir el libre paso de la broca, el vástago y la muestra.

V.1.2. PERFORACION PERCUSIVA ROTATORIA

Para rocas de mediana a alta dureza este método es favorable, porque el equipo usado es ligero y genera muy buenos valores de penetración. Este procedimiento se emplea en barrenos para voladuras, anclajes, grouteado y pozos principalmente. La ventaja de este método radica en que la acción percusiva proporciona una fuerza considerable, la cual jamás se alcanzaría aplicando la misma carga sin impacto. Los fragmentos de la roca reventada se eliminarán de la misma manera que en los anteriores métodos, es decir, mediante un chorro de agua, de lodo o espuma, o de aire a presión actuando en la base de la broca.

Los métodos empleados son básicamente dos, en el primero el barreno se localiza a nivel del suelo, mientras que en el segundo, la parte percusiva del barreno acompaña a la broca hacia abajo durante la perforación. La primera permite profundidades de hasta 40 m y diámetros de perforación de hasta 150 mm, y la segunda de 250 m y hasta 800 mm respectivamente.

EQUIPO DE PERFORACION PERCUSIVA ROTATORIA

El equipo básico consiste de los siguientes elementos, fig. 5.6a.

- i) Taladro percusivo rotatorio impulsado por aire a presión.
- ii) Mecanismo de avance de cadena para mantener la fuerza alimentadora en la broca.
- iii) Mástil para soportar y guiar el taladro.
- iv) Boquilla centralizadora para sostener el vástago barrenador.
- v) Pluma telescópica.
- vi) Orugas o similar.
- vii) Abastecedor de aire a presión.

Las orugas son usualmente seleccionadas para perforaciones superficiales y la pluma puede inclinarse o colocarse vertical, horizontal o angularmente para barrenar, tal y como se muestra en la fig. 5.6b.

La penetración del barrenado dependerá principalmente de la velocidad y peso del martillo golpeador, de la velocidad de rotación, de la longitud del filo cortante de la broca, y de la eficiencia del chorro limpiador, el cual cabe mencionar sirve también para enfriar la broca. Por lo tanto, existirá un espacio óptimo del intervalo del martilleo y de la velocidad de rotación el cual proporcionará la tasa más económica de penetración para un determinado tipo y dureza de roca.

EQUIPOS DE PERFORACION PARA TUNELES

La barrenación en las cara o en los lados de un túnel requiere de un equipo más versátil y maniobrable que el que se emplea para la perforación vertical. Para lograr altos niveles de producción regularmente es necesario hacer varias perforaciones al mismo tiempo, para lo cual se hace uso de los equipos multicabeza montados sobre rieles o sobre neumáticos según se requiera, figs. 5.7a. y 5.7b.

EQUIPO MANUAL

La perforadora manual es muy similar a la pistola neumática rompedora de concreto, la diferencia radica en la acción rotatoria de la primera. Su peso y funcionalidad para barrenados superficiales y para diámetros hasta de 30 mm y profundidades de 8 m, la convierten en una herramienta sumamente útil para trabajos pequeños.

Figura 5.6a.

Equipo de Barrenado Horizontal

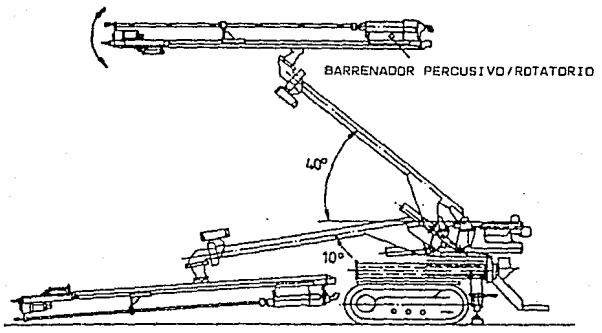


Figura 5.6b.

Movimientos de Perforación Angular

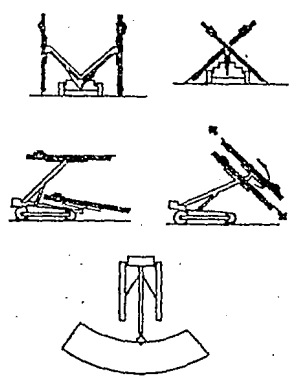


Figura 5.7a.
Equipo de perforación horizontal multicabeza sobre riel

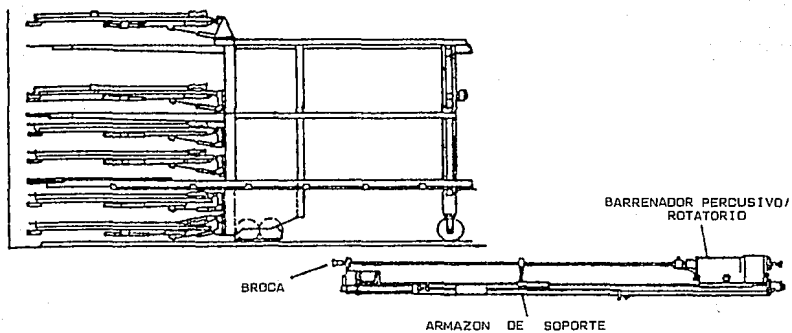


Figura 5.7b.
Equipo de perforación horizontal muticabeza sobre neumáticos

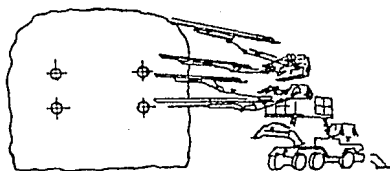
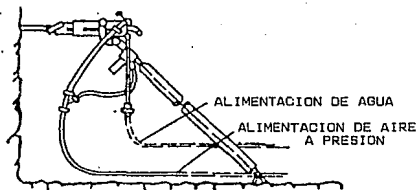


Figura 5.8. Pistola con pierna hidráulica



EQUIPO DE PISTOLA CON PIERNA HIDRAULICA

Es muy similar al equipo manual, excepto que éste emplea el empuje que ejerce una pierna hidráulica para actuar sobre la pared. Con esta herramienta se incrementa la tasa de penetración debido al excelente control que se puede ejercer en la pierna, la cual también puede accionarse en reversa para jalar el vástago barrenador en caso de que se trabe. Este equipo es muy ligero (90 kg) y está provisto de agarraderas, lo que lo hace fácilmente transportable, fig. 5.8.

V.1.3. PERFORACION PERCUSIVA

EQUIPOS OPERADOS CON CUERDA

Cuando se emplean los equipos operados con cuerda en la investigación de suelos e hincado de pilotes, algunas veces es más conveniente usar un cincel suspendido de la cuerda y operado por un malacate para pasar a través de una fisura o intrusión de roca suave.

HERRAMIENTAS MANUALES

Las pequeñas herramientas son requeridas para romper concreto, trabajos carreteros y separar mineral a mano principalmente. Son generalmente ligeros, de 30 a 40 kg y requieren hasta 2 m cu/min de aire.

V.2. PRINCIPIOS Y PLANEACION DE VOLADURAS

En teoría de voladuras, una carga explosiva situada a una profundidad B (llamada la carga) debajo de una superficie libre, se asume que arrojará el material para dejar un espacio de forma cónica con taludes a 45°, fig. 5.9a. La energía requerida para suministrar las velocidades iniciales será proporcional al producto de la masa del cuerpo del material dentro del cono, es decir, B E+03. Ahora bien, si se presentan fuerzas gravitacionales, la energía requerida para levantar la masa sobre el nivel del terreno es proporcional al producto de la masa y de la distancia movida (B), o sea, B E+04. Por último, la energía requerida para sobrepasar las fuerzas friccionantes entre la superficie del cráter y el medio en contacto es proporcional al área del cráter, es decir, B E+02.

De esta manera, el peso total de carga necesaria esta dado por:

$$Q = C2 * B E+02 + C3 * B E+03 + C4 * B E+04$$

Dónde C_2 , C_3 y C_4 son coeficientes empíricos, los cuales dependen de la altura del banco (H), de la carga (B) y de la longitud de la carga explosiva (h).

La ecuación anterior también es apropiada, además de para la carga esférica, fig. 5.9a.; para una sección de carga cilíndrica de longitud B , donde B es mucho menor que el largo total de carga (h), fig. 5.9b.

V.2.1. BANQUEO

Para desgarrar el bordo en el caso de bancos, la carga en la perforación se puede considerar formada por dos cargas parciales:

- i) Una carga esférica concentrada al fondo, fig. 5.10a.
- ii) Una carga cilíndrica a lo largo de toda la columna (olvidando los efectos finales), fig. 5.10b.

El extremo exterior se rellena con arena seca o con el material producto de la barrenación, a esta zona se le denomina de retacado.

En la práctica, la carga profunda no puede ser concentrada y tiene que ser distribuida en el barreno uniformemente de abajo hacia arriba y por lo tanto el efecto completo de la carga concentrada al fondo no se podrá obtener. Pruebas recientes indican que para este tipo de carga, el efecto en la base es de alrededor del 60% del valor teórico con carga concentrada. Sin embargo, se ha demostrado que el poder rompedor podría ser incrementado hasta casi el 90% del valor teórico, perforando el barreno a una profundidad de $0.3B$ debajo de la base y teniendo una carga profunda de $1.3B$ de altura.

La distribución de la carga completa se muestra en la fig. 5.11.

Para el caso cuando $K \leq 2B$, la carga profunda causaría un excesivo lanzamiento y el bordo por lo tanto deberá ser reducido y la carga recalculada. Alternativamente, el empleo de algún explosivo que permitiese una mayor concentración de carga profunda sería más favorable.

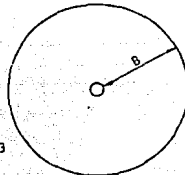
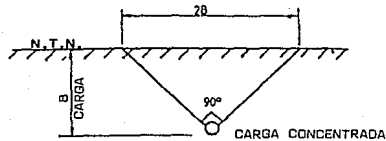
Donde se tenga una fila de barrenos, el volumen de material disponible para desalojarse en cada voladura será menor hasta en un 20% comparado con un barreno sencillo debido al traslape.

La carga requerida para un banco vertical con la base libre (fig. 5.10b.), es de alrededor del 75% lo que para una base empotrada (fig. 5.10a.); además se requerirá menor

energía para derribar el bordo (la carga) de un frente en talud debido a la amplitud del ángulo en la base.

Figura 5.9a.

Efectos de una carga concentrada

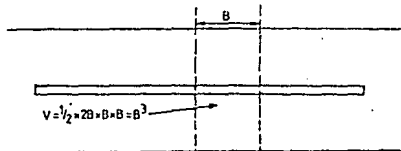
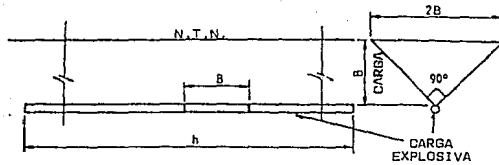


$$V = \frac{1}{2} \pi B^3 \cdot 0.08 B^3$$

PLANTA

Figura 5.9b.

Efectos de una carga cilíndrica



$$V = \frac{1}{2} \cdot 2B \cdot B \cdot h = B^3$$

PLANTA

Figura 5.10a

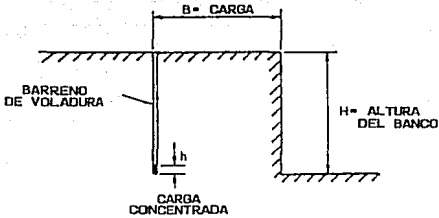


Figura 5.10b.

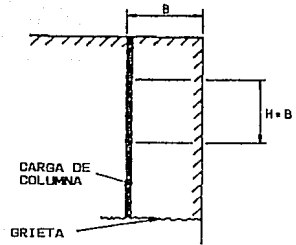
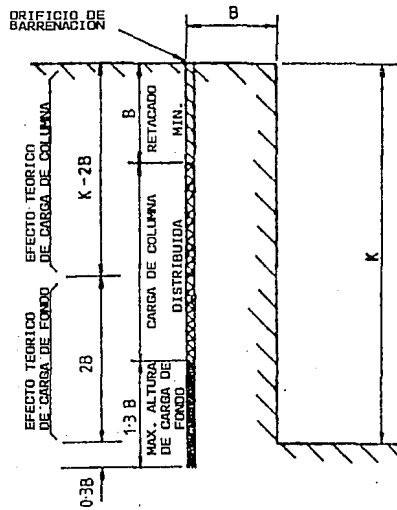


Figura 5.11.

Distribución y efecto del explosivo para la voladura por banqueo



V.2.2. PATRONES DE VOLADURAS

De entre los patrones de barrenación más frecuentes se mencionan, el rectangular, el cuadrado y en tres bolillo como los más importantes. En cualquiera de éstos las filas de barrenos son paralelas al frente de explotación, fig. 5.12. Aunque a veces son necesarios barrenos adicionales en los extremos del banco cuando se emplea el patrón en tres bolillo para dar uniformidad en las caras.

El método de voladura es ejecutado en una de las siguientes formas:

- i) Por tiros simultáneos
- ii) Por tiros con retardos

En el primero, un número de barrenos son encendidos al mismo tiempo, lo que lo hace ideal para romper grandes macizos rocosos. Esta técnica requiere menor precisión que la de retardos y una ligera variación en el espaciamiento y direccionamiento de la línea de barrenos puede ser aceptada. Aun cuando una excesiva vibración así como fisuras y sobreruptura ocurriesen en este método, no serán problemas importantes.

En el método con retardos se presentan varios tipos de distribuciones; en "V" es de los más comunes y dependiendo de las características del terreno, se fijará el número de filas con el correspondiente número de barrenos para cada una, así como el intervalo y la dirección del retardo. Algunas veces y dependiendo sobre todo de la formación y del número de barrenos por fila, es conveniente iniciar el espaciado central con dos barrenos, figs. 5.13a. y 5.13b.

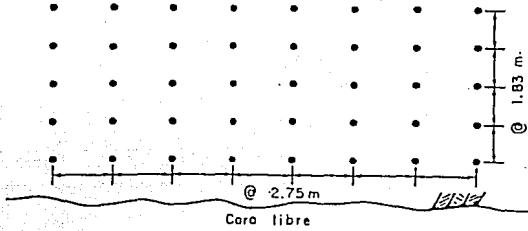
Cuando el banco posea dos caras libres puede diseñarse una voladura en escalera, fig. 5.14a, y cuando no exista suficiente espacio enfrente del banco será necesaria una distribución de retardos que confine el movimiento del material fragmentado en una zona relativamente reducida, fig. 5.14b.

Una distribución frontal, fig. 5.15., proyecta el material a una distancia mayor además de que produce bloques de mayor tamaño, se emplea por lo general con el patrón de perforación en tres bolillo. En formaciones laminadas resultará muy eficiente alternar los períodos de la primera fila.

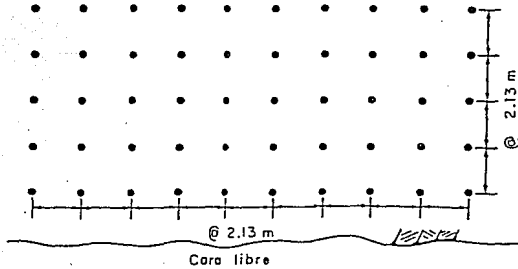
Cuando se requiera abrir un banco o para continuar un nivel inferior en una cantera, es necesario diseñar una distribución confinada con cuña central o en canal según convenga, figs. 5.16a. y 5.16b. En este tipo de distribuciones no existe una superficie lateral de liberación, ya que, la cuña se mueve verticalmente hacia arriba. Generalmente resulta necesario reducir los bordos y

espaciamientos de los primeros barrenos para facilitar la apertura de la cavidad inicial de liberación.

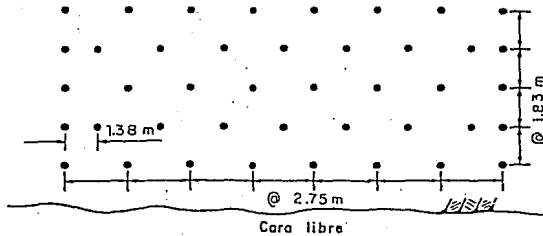
Figura 5.12.



Patrón de perforación rectangular



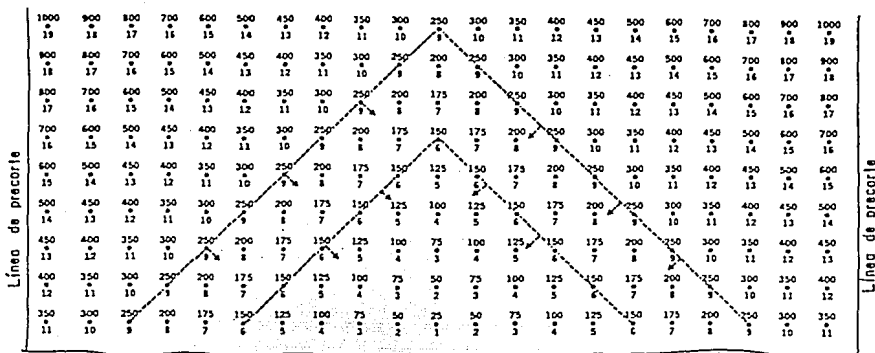
Patrón de perforación cuadrado



Patrón de perforación en tres bolillo

Figura 5.13a.

Distribución en "V" de nueve filas de 21 barrenos cada una

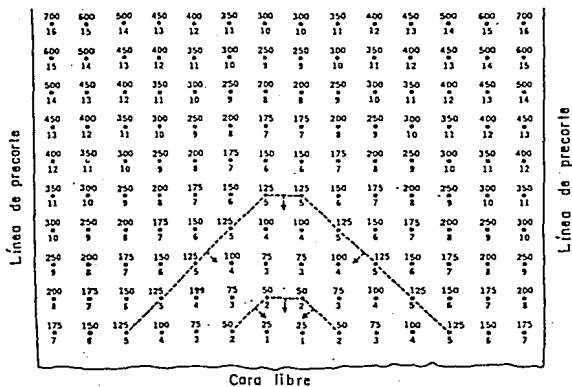


250 - Retardo en milisegundos
g - Número de retardo. MS

↑ - Dirección del movimiento

Figura 5.13b.

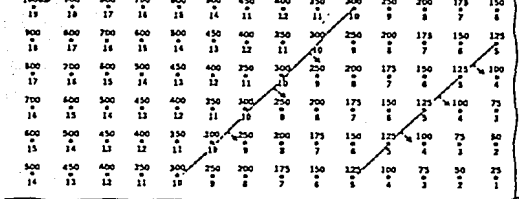
Distribución en "V" con dos retardos de 25 milisegundos



250 - Retardo en milisegundos
g - Número de retardo MS

↑ - Dirección del movimiento

Figura 5.14a. Distribución en escalera

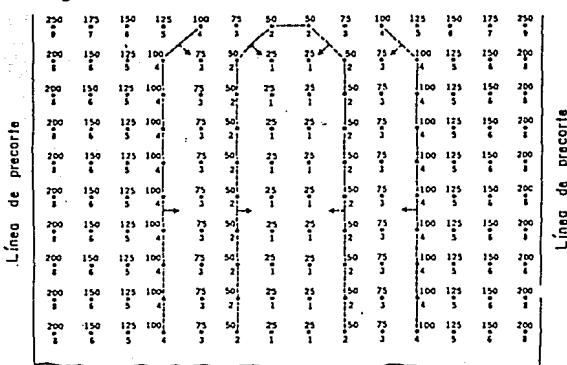


Cara libre

250 - Retardo en milisegundos
5 - Número de retardo MS

┆ Dirección del movimiento

Figura 5.14b. Distribución en canal

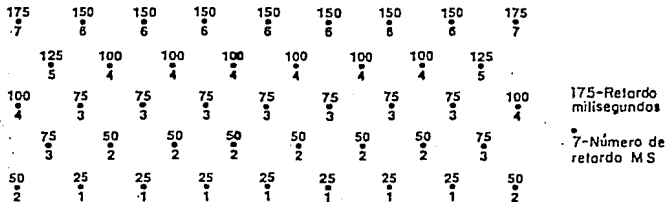


Cara libre

250 - Retardo en milisegundos
5 - Número de retardo MS

┆ Dirección del movimiento

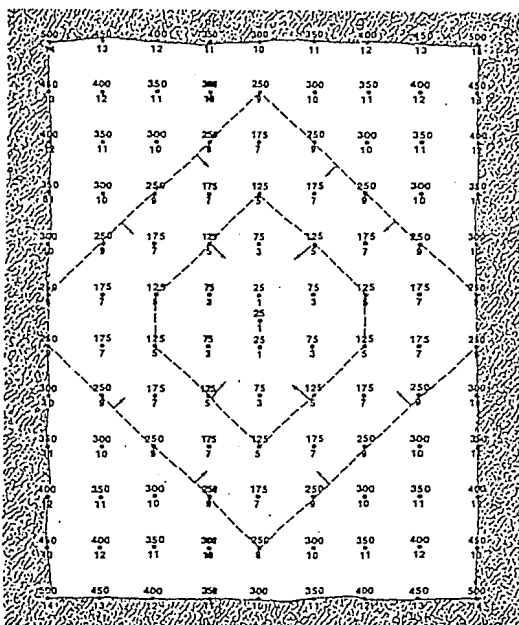
Figura 5.15. Distribución frontal



Cara libre

Figura 5.16a.

Distribución Confinada con cuña central



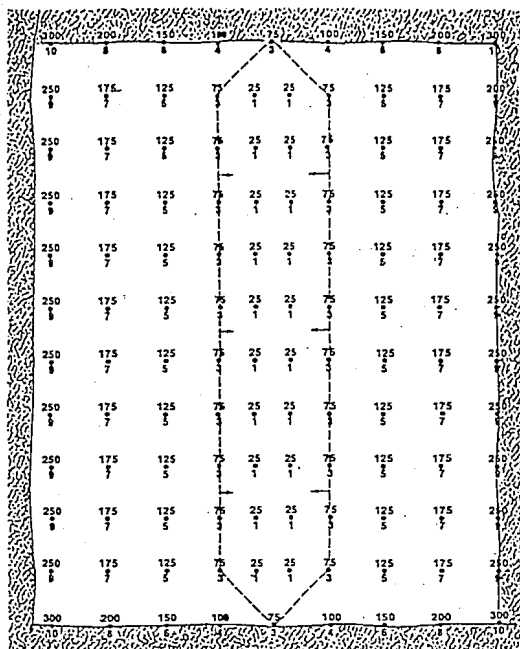
350 - Retardo en milisegundos

↓ Dirección del movimiento

11 - Número de retardo MS

Figura 5.16b.

Distribución confinada con cuña en canal



100 - Retardo en milisegundos

— Dirección del movimiento

Δ - Número de retardo MS

V.3. TIPOS DE EXPLOSIVOS

Una carga explosiva en detonación reacciona formando un gran volumen de gas a alta temperatura, la liberación del gas es casi instantánea, produciendo grandes empujes y ondas de choques, teniendo como consecuencia el desquebrajamiento de la roca adyacente y la exposición del área circundante a esfuerzos.

Muchos tipos de explosivos de variadas resistencias y tiempos de detonación han sido desarrollados, y se podrían clasificar de la siguiente manera:

- i) Explosivos lentos
- ii) Explosivos altos o rápidos
- iii) Explosivos iniciadores

i) Explosivos lentos.

El tipo más común es conocido como pólvora, la cual esta formada de un compuesto de nitrato de potasio, carbón y azufre.

La ignición de la pólvora puede lograrse con cualquier flama, chispa, alambre eléctrico o superficie caliente y con los accesorios propios para voladuras, como encendedores, estopines eléctricos y cordones detonantes. La pólvora deberá mantenerse altamente confinada a fin de maximizar el efecto de la relativa baja presión de gas producida. La velocidad de detonación es lenta, de alrededor de 600 m/s, por lo cual habrá una pequeña trituración de la roca cercana al centro de la explosión. Su efecto principal es el de reventado, causando desplazamiento y fragmentación debido a que el gas es liberado lentamente durante la reacción.

ii) Explosivos altos o rápidos.

Estos no son sensibles a la detonación por chispa ni por flama y requieren de explosivos iniciadores. Cuando son detonados, la reacción toma lugar hasta con 9000 m/s con una alta presión de gas y entonces la roca circundante es agrietada y fragmentada. De esta manera, este tipo de explosivo es idealmente apropiado para canteras y aplicaciones constructivas. Los tipos más comunes son:

- a) Nitroglicerina
 - b) Compuesto de nitrato de amonio y combustóleo (AN/FO)
 - c) Slurries:
- Los cuales tienen las siguiente propiedades:
- Densidad: Aproximadamente 1.5 kg/cm³ para las gelatinas y 1.1 para polvos.
 - Energía específica: 1000 - 2000 kcal/kg

a) Nitroglicerina

Es producida por la acción de ácidos nítricos y sulfúricos en la glicerina. El compuesto resultante es altamente sensible al impacto y a la temperatura y puede ser detonado por la acción hasta de un golpe ligero. Sustancias inertes, tales como el carbón, el nitrato de sodio o nitrocelulosa pueden ser adicionados para proveer estabilidad, pero éstos generalmente reducen la potencia del explosivo.

Los componentes explosivos de la nitroglicerina son frecuentemente referidos como dinamita cuando son compuestos de glicerina-etileno, nitratos de glicol, nitrato de amonio, astillas de madera y sustancias inertes. El compuesto tiene una consistencia seca y granular. Las dinamitas a usarse en agua son mejores gelatinizadas; las gelatinas para voladuras que contenían una mezcla de nitroglicerina y nitrocelulosa fueron muy populares anteriormente, pero en la actualidad se cuenta con gelatinas mas poderosas.

b) Nitrato de Amonio

Los explosivos basados en nitroglicerina son muy costosos y una mezcla de nitrato de amonio y combustóleo (AN/FO) representa una sustancia alternativa. El compuesto es usado principalmente en forma de polvo y puede ser vaciado directamente en el barreno. Sin embargo, un equipo cargador usando aire a presión agilizará enormemente la operación. El AN/FO no es resistente al agua por lo cual no es recomendable en perforaciones húmedas, pero esto puede ser superado utilizando una forma gelatinosa que contenga un aditivo a base de nitroglicerina.

Las gelatinas son usualmente fabricadas en estuches de papel o de cartón para facilitar el manejo y la carga.

c) Slurries

Estos consisten de partículas de aluminio o TNT (Trinitotulueno) más un componente estabilizador inerte, todo suspendido en agua. Este tipo de explosivo tiene una ligera mayor potencia que el AN/FO y puede además usarse bajo condiciones de humedad aunque es un poco más caro.

iii) Explosivos iniciadores

Debido a que los explosivos altos no son muy sensibles a la detonación por chispa o flama, un explosivo iniciador es requerido para hacer estallar la carga. Estos son extremadamente sensibles y estallables, produciendo suficiente impacto e incremento de temperatura para inducir

la reacción en el explosivo rápido. Tales explosivos son empleados en pequeñas cantidades para formar detonadores.

V.4. SISTEMAS DE DETONACION

Cordón mecha de seguridad

Consta de un núcleo de pólvora cubierto de plástico. El cordón esta diseñado para arder a una razón de aproximadamente 100 m/s y un pequeño tramo es guiado a la cápsula detonante que se encuentra ahogada en el explosivo rápido. Cuando la pólvora es en sí misma el componente explosivo, entonces la mecha será suficiente para iniciar la carga y el detonador no será requerido. Aunque la mecha de seguridad puede ser encendida por flama, es más común cuando varios tiros son disparados para unir el extremo libre de cada mecha al cordón encendedor, el cual es entonces guiado a un lugar seguro. El cordón de seguridad puede ser de lenta (3.5 m/s), moderada (33 m/s) o rápida (50 m/s) velocidad de encendido.

Cápsulas Detonantes

i) No eléctricas (fig. 5.17.)

Hechas a base de un tubo de aluminio, el cual contiene un poderoso explosivo iniciador, tal como el Pentaeritritol, y una carga de preparación de óxido conductor. Las cápsulas son fabricadas en diferentes resistencias, siendo los tamaños mas comunes el no. 6 y el no. 8 ya que proporcionan la suficiente detonación a la mayoría de los diferentes tipos de explosivos.

Con este tipo de detonador, los retardos se logran variando la longitud de la mecha de seguridad.

ii) Detonadores eléctricos (figs. 5.18a. y 5.18b.)

Son hechos también en variadas resistencias, con los explosivos iniciadores contenidos en una envoltura de aluminio o de cobre. El elemento en la cápsula es simplemente conectado por medio de cables a una fuente eléctrica, la cual subsecuentemente enciende el explosivo primario. Cabe mencionar que retardos de un rango de 8 a 8000 milisegundos pueden ser incorporados.

Mecha Detonante

Como una alternativa al uso del cordón mecha de seguridad y su asociada cápsula detonante, la mecha detonante puede ser usada para encender el explosivo principal. Este consta de un núcleo central de explosivo Pentaeritritol-Tetranitrato enrollado en cinta. La envoltura externa está hecha de hebras de yute y cubiertas

de plástico (fig. 5.19). Este tipo de mecha genera una alta velocidad de detonación (6000 m/s) y debe ser iniciada por una cápsula detonante.

La mecha se puede usar para disparar cargas simultáneas (fig. 5.20a.) o con retardos, insertándole relevadores detonantes (fig. 5.20b.). Debido a que el cordón detonante puede correr a lo largo de los cartuchos del explosivo rápido o de la pólvora en el barreno (fig.5.20c.), existe un pequeño riesgo de desincronización en la ignición, mayor que para una cápsula detonante sencilla.

En voladuras simultáneas, las cápsulas obedecerán un arreglo en series, mientras que para las cargas retrasadas el circuito deberá mantenerse después del primer tiro, y por lo tanto un circuito paralelo será requerido.

Figura 5.17.

Detonador mecha de seguridad

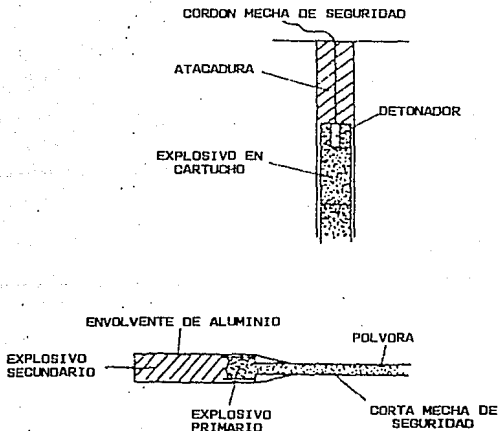


Figura 5.18a. Detonador eléctrico

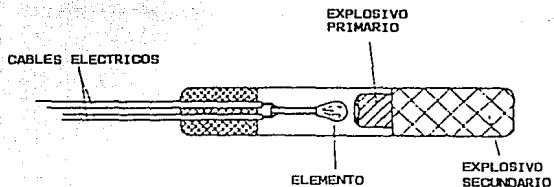


Figura 5.18b. Detonador eléctrico con retardador

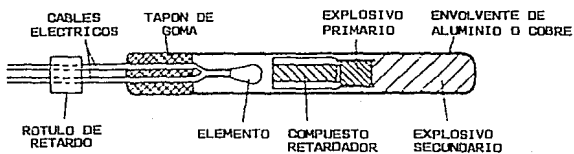


Figura 5.19.

Mecha detonante (mecha de explosivo alto)

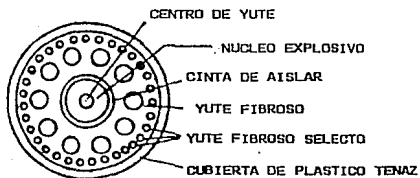


Figura 5.20a.
Arreglo de voladura simultánea con mecha detonante
CORDON MECHA DE SEGURIDAD
O ALAMBRE ELECTRICO

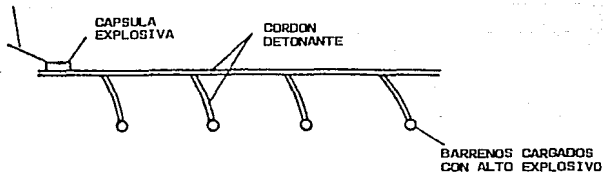


Figura 5.20b.
Arreglo de voladura retardada con mecha detonante

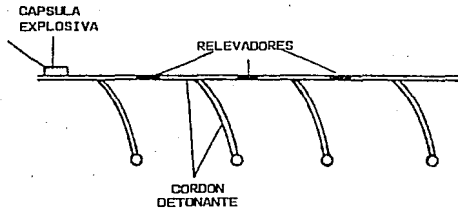
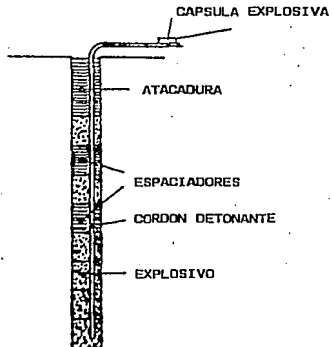


Figura 5.20c.
Distribución del explosivo y la mecha detonante



VI TUNELES Y EXCAVACIONES SUBTERRANEAS

VI.1. CLASIFICACION EMPIRICA DEL TUNELERO

Sin lugar a dudas que el conocimiento empírico obtenido a base de aproximaciones sucesivas, fue aplicado desde el principio para la construcción de túneles, acumulándose así la suficiente experiencia que permitió eventualmente establecer una interrelación entre los suelos excavados y su comportamiento durante el tuneleo.

Es interesante imaginarse sin cubrir todas las posibilidades teóricas obviamente, qué sucede con la distribución original de esfuerzos existentes en el subsuelo cuando se excava en su interior un túnel. Podemos iniciar sobre la premisa de que en cualquier punto bajo la superficie del terreno, existe un estado inicial de esfuerzos cuya magnitud y distribución dependen principalmente de la profundidad en que se encuentra, del peso propio de los materiales que yacen sobre él, de los esfuerzos tectónicos existentes en la zona y de las propiedades mecánicas del medio. Si las partículas de los materiales en los que actúan tales esfuerzos iniciales no tienen manera de desplazarse, únicamente se deformarán almacenando así energía. Cuando los materiales se localizan a gran profundidad, es posible esperar aún tratándose de rocas, que los niveles de esfuerzo alcanzados sobrepasen el límite elástico de aquellos y los convierta en una masa plástica confinada.

En tal situación, si se excava un hueco dentro de la masa de material, la energía almacenada hará que las partículas que lo forman se desplacen generándose un flujo plástico o en algunos casos el peligroso fenómeno de roca explosiva.

En cualquier caso, la excavación del hueco provocará un cambio notable en la distribución original de esfuerzos del medio, tendiendo a concentrarlos en la vecindad de la nueva superficie libre.

El material que antes ocupaba el hueco, tenía la responsabilidad de recibir y transmitir cargas inherentes a la propia masa de material, sin embargo, al desaparecer por haber sido excavado, tiene que trasladar sus responsabilidades al material vecino, produciéndose la redistribución de esfuerzos.

Ahora bien, si los materiales vecinos al hueco tienen suficiente resistencia para soportar su nueva responsabilidad de carga, puede esperarse que el hueco permanezca abierto establemente; por el contrario, si no lo soportan, el hueco tenderá a cerrarse a menos que se

coloquen elementos estructurales interactuando con la masa, de manera que garanticen la estabilidad del hueco.

Las propiedades mecánicas de los materiales, el nivel de esfuerzos dentro de la masa en relación a la resistencia de los materiales, la forma y tamaño del hueco, el proceso constructivo, la rigidez de su ademe y el tiempo que permanece sin soporte entre otros, modifica la forma de la concentración de esfuerzos antes mencionada.

De acuerdo con K. Szechy (1970), hay dos conceptos importantes relativos al estado de esfuerzos y al tuneleo, que son:

- a) Esfuerzos primarios, que existen en el medio antes de que se excave el túnel.
- b) Presión secundaria o presión de roca, que actúa sobre las paredes del túnel o del sistema (ademe-túnel) y que se desarrolla a consecuencia de la excavación del túnel.

A su vez la presión secundaria puede tener tres orígenes:

- 1.- Presión por aflojamiento de la masa original de roca.
- 2.- Presión genuina de montaña, debida al peso propio de las masas de roca sobreyacientes, o bien debido a fuerzas tectónicas.
- 3.- Presión expansiva, por aumento de volumen de la masa de roca.

El comportamiento peculiar de los materiales excavados dependerá de la forma como los afecte la "presión secundaria", y esto se refleja por ejemplo en la clasificación empírica del tunelero (tunnelman) basada en proposiciones de K. Terzaghi, los terrenos excavados pueden enlistarse en 10 categorías según (BRANDT et Al, 1970), ordenadas de la menor a la mayor posibilidad de dificultad que pueda surgir durante la excavación, fig. 6.1.

VI.2. TUNELES EN SUELOS

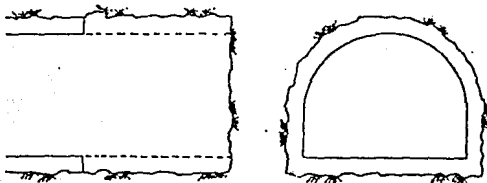
VI.2.1. PROCEDIMIENTOS DE EXCAVACION

La excavación de túneles en suelos generalmente abarca gravas, arenas, limos, arcillas y depósitos aluviales. Desde el punto de vista de comportamiento, Terzaghi ha clasificado tales terrenos dentro de las categorías: firme, desmoronable, corredizo, fluyente e hinchable. Sus propiedades y comportamiento dependerán del contenido de

Figura 6.1. Clasificación empírica del tunelero

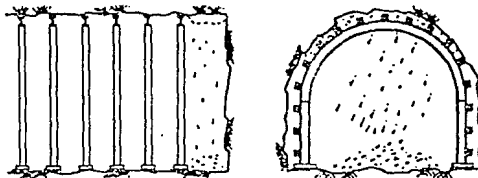
1 ^{er} DURO (HARD)

LA FRENTE DEL TUNEL PUEDE AVANZAR SIN REQUERIR SOPORTE



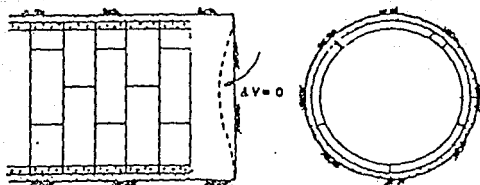
2 FIRME (FIRM)

LA FRENTE DEL TUNEL PUEDE AVANZAR SIN REQUERIR SOPORTE, Y EL REVESTIMIENTO DEFINITIVO PUEDE INSTALARSE ANTES DE QUE EL TERRENO EMPIECE A MOVERSE

3 GRANEADO LENTO
(SLOW RAVELING)4 GRANEADO RAPIDO
(FAST RAVELING)

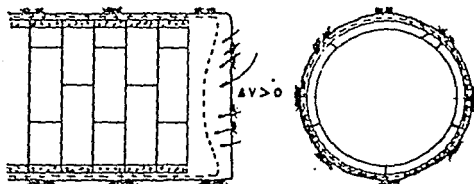
a) EMPIEZAN A DESPRENDERSE DEL TECHO O PARED, TERRONES Y HOJUELAS DE MATERIAL, TIEMPO DESPUES DE QUE EL TERRENO HA QUEDADO EXPUESTO. CUANDO EL PROCESO SE INICIA EN POCOS MINUTOS, SE LE DENOMINA "GRANEADO RAPIDO"

Figura 6.1. Clasificación empírica del tunelero



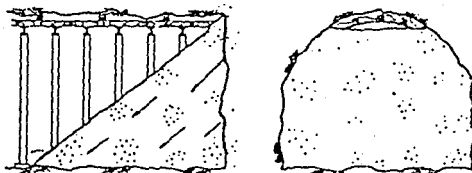
5 EXTRUSION LENTA (SQUEEZING)

EL TERRENO AVANZA LENTAMENTE HACIA EL TUNEL SIN FRACTURARSE Y SIN INCREMENTO PERCEPTIBLE DE AGUA, PUEDE PROVOCAR HUNDIMIENTOS EN LA SUPERFICIE, AUNQUE LOS MOVIMIENTOS NO SEAN MUY NOTABLES EN EL TUNEL



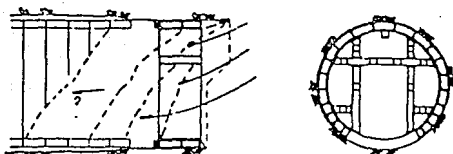
6 EXPANSIVO (SWELLING)

EL TERRENO AVANZA LENTAMENTE HACIA EL TUNEL, PERO CON UN FUERTE INCREMENTO DE VOLUMEN EN EL MATERIAL QUE RODEA AL TUNEL

7 CORRIDA COHESIVA
(COHESIVE RUNNING)8 CORRIDA
(RUNNING)

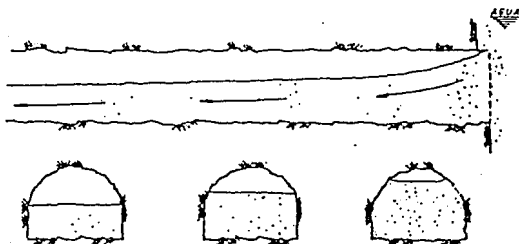
AL RETIRARSE EL SOPORTE LATERAL EN CUALQUIER SUPERFICIE CON TÁLUO MAYOR DE 34°, SE PROVOCA UNA CORRIDA DONDE EL MATERIAL SE COMPORTA COMO AZÚCAR GRANULADA, SI LA CORRIDA VA PRECEDIDA DE UN BREVE PERIODO DE GRANEOS SE LE DENOMINA CORRIDA COHESIVA

Figura 6.1. Clasificación empírica del tunelero



9 * ÉXTRUSIÓN RÁPIDA
(VERY SOFT SQUEEZING)

EL TERRENO AVANZA RÁPIDAMENTE HACIA EL TUNEL COMO FLUJO PLÁSTICO



10 FLUYENTE (FLOWING)

EL TERRENO SE MUEVE COMO UN FLUIDO VISCOSO, QUE PUEDE INVADIR LA SECCIÓN COMPLETA DEL TUNEL, SI EL FLUJO NO ES DETENIDO PUEDE LLENAR EL TUNEL COMPLETAMENTE

agua y del movimiento de ésta, su correcto manejo es un aspecto vital para el trabajo eficiente y seguro.

En suelos suaves de cualquier otra categoría que no sea la firme, alguna forma de soporte inmediato es siempre necesaria, ya sea por entibado, escudo, revestimiento permanente o una combinación de éstos. El manejo y control del agua se puede llevar a cabo de varias maneras: por bombeo, abatimiento del agua del terreno, congelamiento, inyecciones de grout y aire comprimido principalmente.

Suelos Granulares.

La arena o la grava, a menos de que estén cementadas naturalmente o por grouteo, tenderán a desplazarse en cualquier frente expuesto hasta alcanzar su ángulo de reposo; además hay que mencionar que cualquier influjo de agua es capaz de deslavar la arena fina. Este tipo de movimiento es completamente inaceptable por lo que será necesario el entibado del frente para prevenir su iniciación. La corona o arco del túnel es particularmente vulnerable al flujo de la grava, por lo que el tablaestacado es necesario para sostener la parte superior, excepto donde un escudo encofrado o un tratamiento del subsuelo sea más efectivo. Los soportes en un frente de grava compacta o arena son para prevenir la iniciación del movimiento más que para soportar cualquier empuje, debido a que en los materiales granulares compactos en ausencia de perturbación la acción de arqueo se desarrolla rápidamente delante del frente. Existe sin embargo, poca o nula cohesión y resistencia a la tensión en tal suelo, y cualquier pequeña cavidad generada ha de ser rápidamente asegurada para prevenir la pérdida de un volumen considerable. Un entablado cerrado del frente, empleando angostos maderos horizontales avanzados uno tras otro desde la parte superior hacia abajo, mantendrá al mínimo el riesgo de derrumbe del suelo expuesto.

El influjo de agua en el frente puede deslavar los finos y por consecuencia debilitar el terreno. Esto enfatiza la importancia de tablaestacados muy cerrados entre sí; pero también de contrarrestarlo subdrenando el nivel del agua por medio de un cárcamo de bombeo.

Para efectuar esto, un pozo filtrante en el fondo o ahogado desde la superficie exterior del túnel puede ser usado, o bien un dren de alivio en la sección revestida del túnel donde el terreno ya está asegurado. En casos especiales podrá emplearse el aire comprimido o inyecciones de grout. Si la arena o grava sobre la que descansa el agua se encuentra en una distancia considerable, el escudo de bentonita puede ser la mejor solución.

Limos.

Los limos son gránulos muy finos que requerirán mayor cuidado, particularmente bajo la presencia de agua, ya que sus propiedades cohesivas son muy sensibles al contenido de ésta. Es característica de los limos la existencia de un rango pequeño de humedad entre el límite plástico y el límite líquido. Si se dejan secar se vuelven quebradizos y desmoronables, y si se mojan se hacen fluidos rápidamente. Su permeabilidad es más baja que la de las arenas, pero suficiente para que el agua sea absorbida o descargada fácilmente. El aire comprimido es la ayuda más eficaz para túneles en limos. Un entibado cerrado es esencial a menos que las condiciones sean particularmente favorables, un alto contenido de arcilla en los limos y el no exceso de agua progresarán rápidamente la excavación. El grouteo es usualmente insatisfactorio debido a que no penetra en la fina estructura del poro, a no ser que un costoso grout químico de baja viscosidad pueda ser usado. La presencia de delgadas capas de limo interestratificadas con arena y grava inhibirán un grouteo efectivo. El congelamiento ha funcionado satisfactoriamente en tales condiciones.

Cabe mencionar que en los limos y arcillas orgánicos, en los cuales la materia vegetal en estado de putrefacción es un constituyente típico, las propiedades físicas difieren apreciablemente de los suelos inorgánicos siendo su permeabilidad baja y su compresibilidad alta. El contenido orgánico frecuentemente da origen a gases nocivos, especialmente: bióxido de carbono, hidrógeno sulfurado o metano; lo cual hace necesario una adecuada ventilación y el monitoreo de la incidencia, a fin de evitar el riesgo de explosión.

Arcillas.

La arcilla posee propiedades plásticas y cohesivas de gran valor, las cuales proporcionan excelentes facilidades durante la excavación, excepto donde el suelo sea muy suave o esté gravemente fisurado. Su permeabilidad es baja y excepto por la extensión de la fisura, provee un sello contra la entrada del agua. Puede sin embargo, expandirse lentamente cuando está expuesta en una excavación y ejercer un incremento en la presión activa actuante en los soportes o en el revestimiento, por lo que es crítico el tiempo ocupado en un ciclo de operaciones. La plasticidad de la arcilla le permite deformarse bajo el cambio de carga y deslizarse o levantarse en el frente lentamente en arcilla consistente, pero rápidamente en arcilla suave; la deformación ha de ser restringida dentro de un pequeño límite si la perturbación del terreno y su estructura de esfuerzos es limitada. Los entibados pesados se harán

necesarios para un frente grande sin tener que ser éstos de entablado cerrado.

La entrada de agua por las fisuras puede deslavar el material y engrandecer el paso del agua además de ablandar la arcilla. Todas las manchas de agua en un frente de arcilla deberán por lo tanto observarse con desconfianza, esto es particularmente en donde el túnel está cerca de la superficie superior del estrato de arcilla y está cubierto por arenas y gravas lubricadas por agua, como es en Londres.

El abundamiento de las arcillas es generalmente atribuible al movimiento del agua dentro del poro, en el espacio donde previamente existía esfuerzo, el cual ha sido relajado por la excavación. El agua del poro se mueve lentamente hacia el interior desde el terreno circundante, no hacia el exterior como se ha supuesto algunas veces desde la superficie expuesta. El fenómeno es particularmente significativo en arcillas sobreconsolidadas, las cuales previamente han sido sujetas a pesadas cargas por un largo período eliminando mucha del agua del poro.

En el caso extremo, la arcilla y los limos pueden ser tan suaves y plásticos que un escudo puede ser avanzado aún con el frente cerrado, o con pequeñas aberturas enrejadas a través de las cuales tanto suelo como sea necesario es arrojado al interior del túnel. En el otro extremo, la arcilla puede ser tan consistente y sana que en un túnel pequeño no se requiere soporte inmediato.

Herramientas.

Los instrumentos básicos de excavación donde los explosivos no son usados son el pico y la pala, pero con asistencia mecánica y algunas variaciones. En excavaciones en arcilla, la pala y el pico neumáticamente impulsados son las herramientas más usadas tanto como para quebrantar como para ajustar el frente de ataque. Dónde el tamaño del túnel y otras condiciones lo permitan, la operación puede ser ejecutada más eficazmente empleando el tipo de máquina que excave por medio de un cabezal multipicos rotatorio, el cual está instalado en un brazo operado hidráulicamente. La excavación continua puede llevarse a cabo utilizando un excavador de tambor o alguna máquina rotatoria similar que abarque el frente completo, o por medio de cabezas cortantes oscilatorias. El escudo de cabeza principal puede funcionar también como un instrumento de excavación, o más precisamente de desbastación.

VI.2.2. MANEJO DEL AGUA

En la mayoría de los túneles el agua está presente en el suelo que será excavado, por lo que un túnel seco es casi imposible de encontrar. El manejo y control del agua es por lo tanto una labor vital de la excavación. Es probable que el agua más que cualquier otro factor haya causado fallas o dificultades imprevistas en la construcción de túneles. No son únicamente los espectaculares problemas de inundación, como en el del túnel Támesis, el del túnel Severn y el del Lötschberg lo que enfatiza los peligros del agua y la importancia de su manejo, sino la multitud de pequeños túneles en donde costosos retrasos han sido causados por el agua así como sumersiones y daños.

El agua, como un serio problema en la construcción de túneles, requiere ser estudiado desde tres aspectos:

- 1.- Hidrología del terreno, la existente antes de la perturbación así como la modificada debida a la excavación del túnel y las operaciones auxiliares.
- 2.- Mecánica de Suelos, más particularmente los cambios en las propiedades y comportamiento del terreno provenientes de los cambios en el contenido de agua del poro y de las presiones de infiltración, y también de cualquier reacción química.
- 3.- La logística de previsión y ubicación del equipo de bombeo y de su tubería maestra.

VI.2.3. METODO DEL AIRE COMPRIMIDO

Cuando durante la excavación han de atravesarse depósitos aluviales saturados recientes, formados por gravas y arenas intercaladas con depósitos de limos plásticos o arcillas, es usual que el área muestre baja capacidad de carga y de resistencia al esfuerzo cortante, lo que da lugar a problemas de estabilidad en el frente de ataque y que aparezcan lentes de arena suelta que tiendan a tubificarse y a fluir hacia el frente.

En tales casos, es una necesidad el lograr abatir las presiones del agua al nivel de la excavación y esto puede intentarse por dos métodos; ya sea utilizando los procedimientos normales de subdrenaje, en cuya ejecución pueden presentarse problemas constructivos de difícil solución, o bien, impidiendo la descarga del agua en la galería aumentando la presión del aire dentro de la misma, es decir, creando una contrapresión de dentro hacia fuera que mantenga el agua en los poros del suelo total o parcialmente.

Actualmente el empleo del aire comprimido en excavaciones, se maneja situando una cámara de trabajo

próxima al frente de ataque y lo más corta que sea posible en su desarrollo hacia la zona ya excavada de la galería. La instalación de la cámara se facilita debido a que cuando se excava con escudo se inyecta inmediatamente un revestimiento relativamente impermeable y de soporte suficiente para cargar el suelo; de esta manera, puede colocarse cerca del frente (10 a 20 diámetros) una tablaestaca impermeable al aire, que separe la parte del túnel ya completa del área de trabajo en la que está el frente de ataque. Esta última zona es aquella en la que se inyecta el aire comprimido y la comunicación a través de la tablaestaca se efectúa por medio de compartimientos estancos al aire, a modo de esclusa. Algunas veces el área de trabajo se divide en dos compartimientos, pues el frente puede necesitar una estabilización mucho más severa que la zona siguiente en la que se está colocando el ademe debajo y detrás del escudo; es común que la presión en la segunda cámara sea en este caso del orden de la mitad de la que se da al aire en el frente de ataque. Naturalmente las dos cámaras deben estar separadas por una tablaestaca impermeable al aire y la comunicación entre ambas también deberá hacerse por cámaras estancas; la necesidad de usar dos veces estas cámaras que resultan caras y de funcionamiento lento y engorroso, es quizás la mayor limitación a este sistema de cámara doble, fig. 6.2.

La presión de aire que se inyecta y la cual deberá mantenerse en la cámara de trabajo, dependerá de la carga de agua que tenga que ser contrarrestada, de las características del suelo y del tamaño del túnel.

Dejando a un lado los inconvenientes del costo y del retardo de los ciclos operacionales, el mayor problema del empleo del aire es el que se suscita de los efectos de la descompresión en los trabajadores que laboren en el interior de la cámara. La posición de la galería hace que la presión uniforme del aire dentro de la cámara sea resistida por presiones exteriores (agua y terreno) los cuales son mayores en el techo y menores en el piso, con diferencia que depende del diámetro del escudo; esta diferencia se acota como "m" en la fig. 6.3.

Si se desea mantener todo el túnel seco, la presión de aire "Ph" en la cámara de trabajo debe ser igual, como se dijo, a la presión exterior correspondiente al piso del túnel. Esto hace que en este caso exista una presión no balanceada hacia fuera, que llega a ser igual a "m" en el techo, la cual ha de tener que ser contrarrestada por la resistencia al flujo de aire que desarrollen los estratos del suelo entre el techo del túnel y el nivel freático exterior; de otra manera habrá fuga de aire, con el correspondiente descenso de presión en el interior de la cámara y la subsecuente invasión de agua.

Figura 6.2.

Excavación de un túnel con escudo y doble cámara de aire comprimido

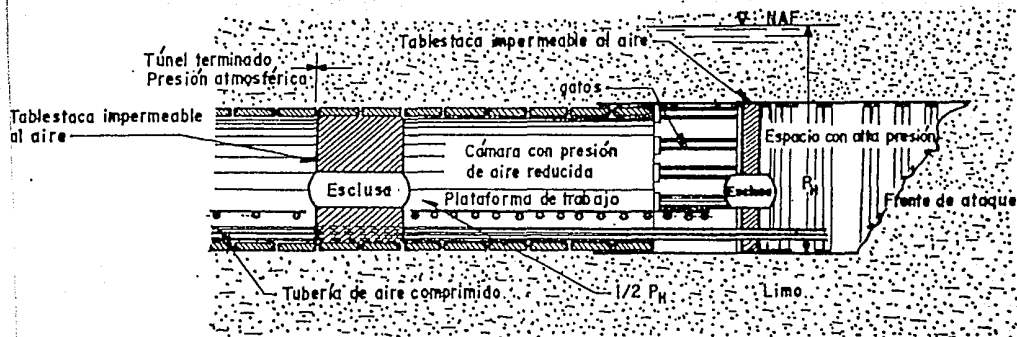
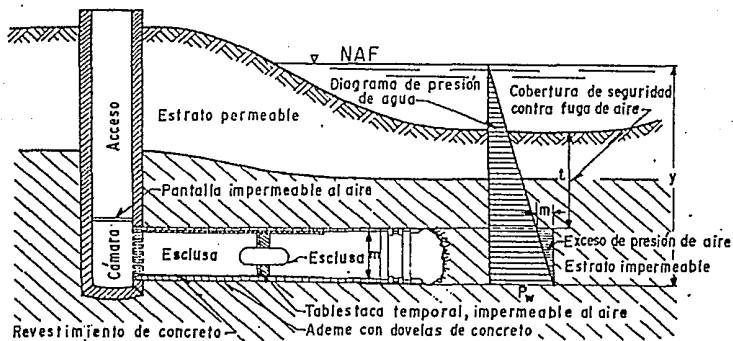


Figura 6.3.

Estados de presiones en un túnel excavado con aire comprimido y escudo



VI.3. TUNELES EN ROCA

VI.3.1. EMPLEO DE EXPLOSIVOS

Los principios de voladura en túneles son similares a los descritos anteriormente para los bancos de material. Las cargas son arregladas en un determinado patrón y liberadas en una secuencia planeada, tal y como se hace en las voladuras de corto retraso.

Los primeros huecos en la secuencia originan el debilitamiento y de esta manera proporcionan un área libre para las subsecuentes aberturas del frente. El método de los cortes en cuña y el de los cortes en perforaciones paralelas han sido los más desarrollados, siendo este último más fácil de llevar a cabo, teniendo la inconveniencia de no adaptarse bien en roca suave.

En el método de cortes en cuña, fig. 6.4., las perforaciones son arregladas regularmente de manera que faciliten el barrenado, y son ajustadas con retrasos cortos progresivos hacia fuera para formar un abanico, cuña o una sección cónica en el centro del frente, la cual de este modo es liberada primero, para proporcionar más espacios libres para las subsecuentes hileras de carga.

En los últimos años el método de los cortes paralelos, fig. 6.5., ha obtenido exitosos resultados, ya sea con un grupo cerrado de perforaciones o con un sencillo y amplio barreno (100-150 mm de diámetro). El objetivo es producir un aumento progresivo a lo largo de todo el avance. Este método posee la ventaja de poder barrenar los agujeros paralelamente uno a otro con un considerable ahorro de tiempo. Sin embargo, en roca suave o bien cuando el avance es excesivo, la roca tenderá a trabarse impidiendo así el efecto de abertura.

La longitud de avance del método seleccionado dependerá del palmo de roca que pueda permanecer sin soporte durante el tiempo requerido para la instalación de los mismos. Sin embargo, con el empleo de métodos modernos de soporte temporal tales como el anclaje de roca, el concreto espreado, el tablaestacado o ademado y el grouteo, un avance de frente completo dentro de un rango de 2 a 7 m es comúnmente obtenido. De cualquier modo la experiencia ha mostrado que el avance es usualmente no mayor que el ancho del frente.

En roca muy poco resistente, donde el sostén no pueda ser fijado sobre el frente completo antes de que el colapso ocurra, será necesario dividir el frente en secciones, por lo cual el techo será sostenido primeramente y los lados removidos en etapas.

Figura 6.4.
Arreglo de un corte en cuña/abanico para un túnel

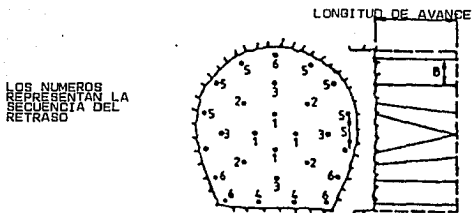


Figura 6.5.
Arreglo de un corte en paralelo para un túnel

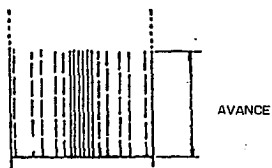
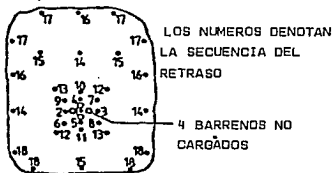
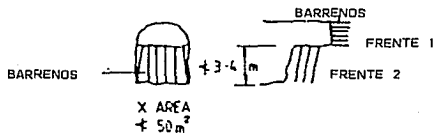


Figura 6.6.
Uso del banqueo en el tuneleo



Generalmente el tuneleo de frente completo produce los costos más bajos, pero donde el área del frente de ataque exceda los 50 m cuadrados, la perforación con el moderno barreno Jumbo multicabezal y la subsecuente voladura han obtenido mejores resultados desde un banco, como se muestra en la fig. 6.6. Cabe señalar que la altura del banco no deberá ser menor de 3 a 4 m y donde el frente exceda los 10 m de altura se deberán implantar más bancos, o bien de otra manera, en longitudes cortas del túnel en donde el diámetro o forma es inapropiado para la excavación con equipo y maquinaria, el uso tradicional de explosivos para avanzar el frente es siempre favorecido. Dependiendo de la estabilidad de la roca el frente puede ser acometido por uno de los siguientes métodos:

- i) Avance de frente completo sin revestimiento (fig. 6.7.),
- ii) avance del frente en galerías seguidas de un revestimiento completo permanente (fig. 6.8.),
- iii) avance del frente en galerías seguidas de un revestimiento parcial permanente (fig. 6.9.) e
- iv) implantaciones modernas a los métodos clásicos (ii) y (iii) (fig. 6.10.):
 - concreto esreado (fig. 6.11.)
 - anclaje de la roca (fig. 6.12.)
 - nervaduras de refuerzo y placas de revestimiento (fig. 6.13.)
 - revestimiento completo (fig. 6.14.)

Hay que mencionar que cuando el agua filtrante resulte un serio problema y por lo tanto el grouteo o congelamiento para controlarlo se hagan muy costosos, se deberá considerar el empleo del aire comprimido. En general, influjos de más de 2 a 3 litros por m cuadrado del frente del túnel requerirán contenerse.

VI.4. MAQUINARIA PARA LA EXCAVACION

VI.4.1. TIPOS Y OPERACION DE LA MAQUINARIA PARA SUELOS

ESCUDOS

Dónde el método de las placas de revestimiento no sea económico o dónde el terreno no sea capaz de permanecer sin soporte el tiempo que se requiere para montar el revestimiento permanente, la técnica del escudo es probablemente el procedimiento adecuado a seleccionar.

Este método de excavación ha sido desarrollado y modernizado de manera que su empleo es ventajoso en rocas blandas, como margas y areniscas, así como en material suelto de cualquier tipo.

Figura 6.7.

Avance de frente completo en roca sin revestimiento

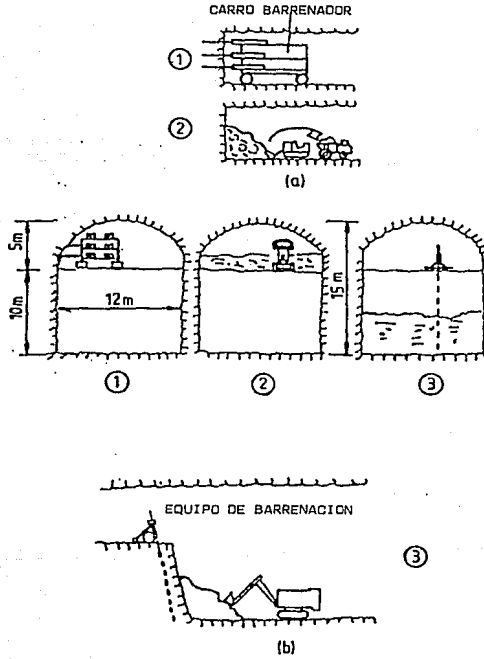


Figura 6.8.

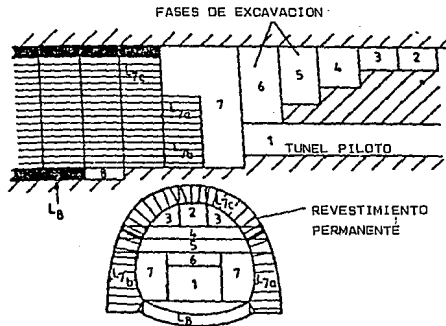
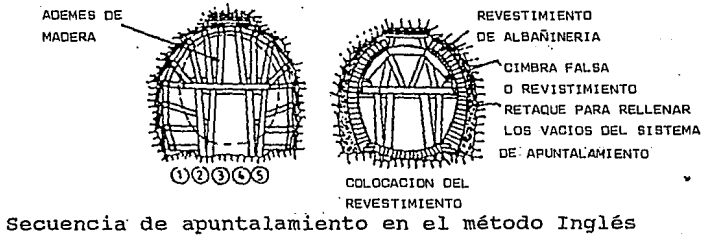
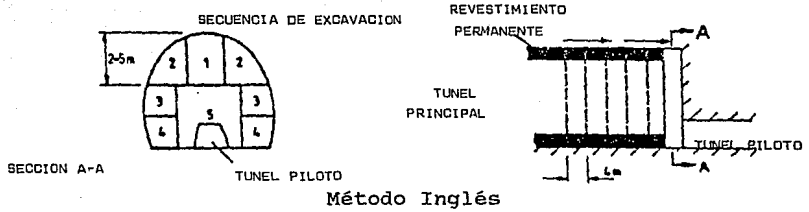
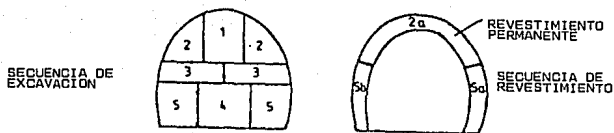


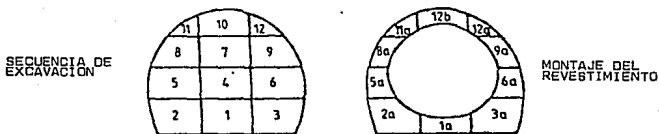
Figura 6.9.



Método Belga



Método Alemán



Método Italiano

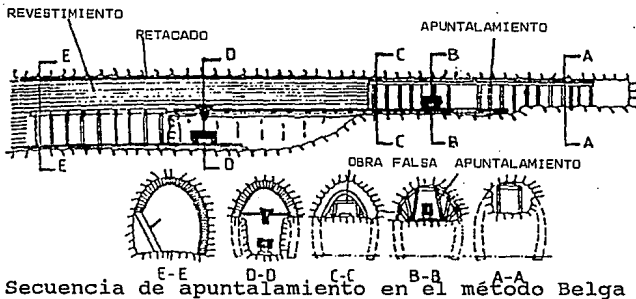


Figura 6.10. Nuevo Método Austriaco

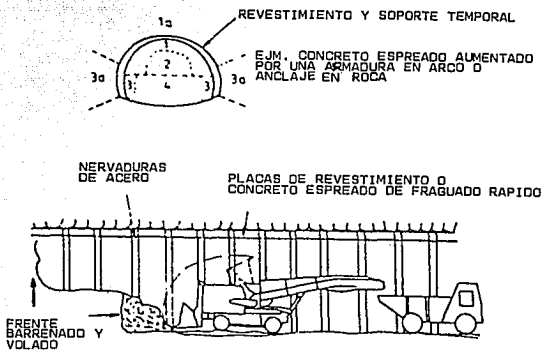


Figura 6.11. Revestimiento de concreto espreado

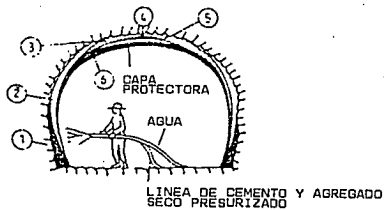


Figura 6.12. Principios del método de anclaje en roca

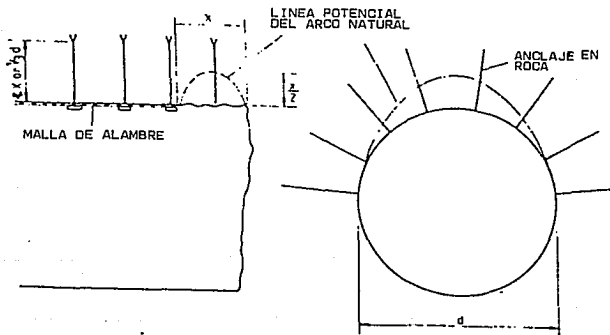
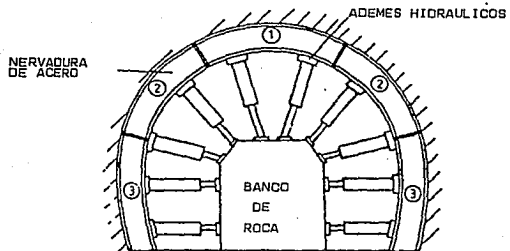
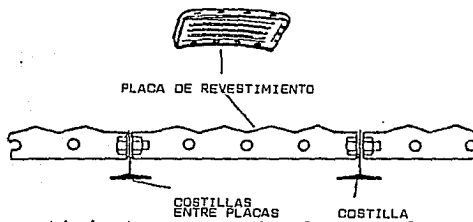


Figura 6.13.

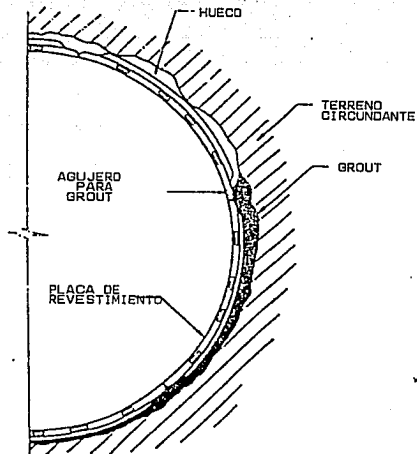


Apuntalamiento de roca muy inestable con ademes y nervaduras

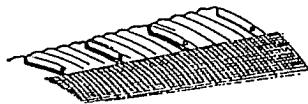


Placa de revestimiento y soporte de nervadura combinado

Figura 6.13.



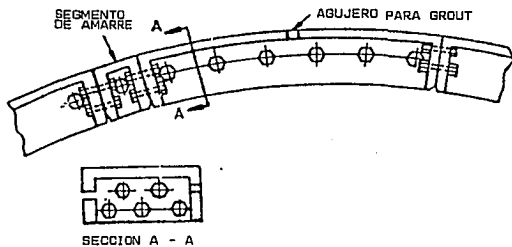
Groueteo del vacío detrás del revestimiento



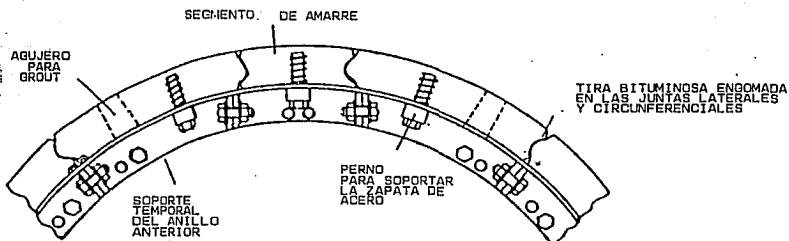
Refuerzo de las nervaduras con concreto esparcido

Figura 6.14.

Segmento de revestimiento permanente de hierro fundido



Segmento de revestimiento permanente de concreto prefabricado



Soporte temporal para revestimiento de concreto prefabricado no anclado

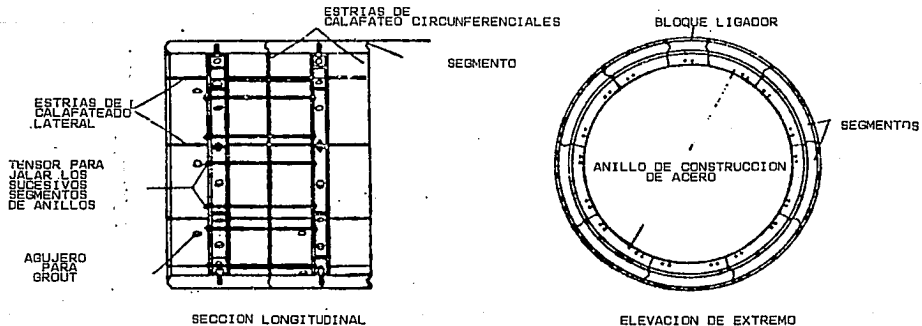
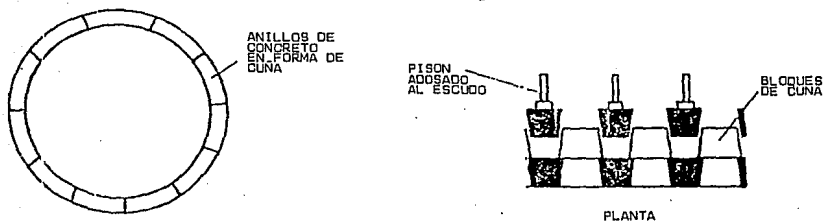
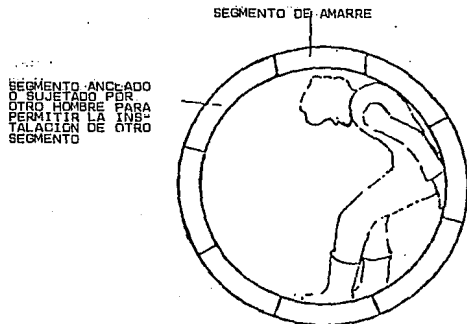


Figura 6.14.

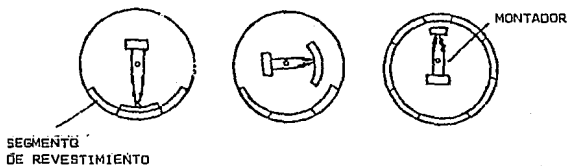
Sistema de bloques en cña empleando segmentos de revestimiento de concreto prefabricado



Método manual de posicionamiento de segmentos de revestimiento



Método mecanizado de posicionamiento de segmentos de revestimiento



El croquis de la fig. 6.15. explica el principio de excavación con escudo. Una pieza de acero anular afilado, formando el escudo acoplado a un tubo de acero cilíndrico, se aplica frontalmente contra el terreno por medio de gatos. Los gatos se apoyan sobre el último anillo formado por los segmentos de concreto armado ya montados. Después de un ciclo completo del émbolo, se retira el material aflojado, se retraen los gatos y se coloca un nuevo anillo de segmentos de concreto armado sobre el cual pueden ser apoyados de nuevo los gatos, continuando así sucesivamente.

La excavación del frente es generalmente llevada a cabo manualmente con herramientas mecánicas, o donde el costo pueda ser justificado con equipo mecánico, como lo es una retroexcavadora.

El espacio comprendido entre los anillos de concreto armado y la superficie del suelo excavado se rellena por medio de inyecciones de grout. Como el terreno no permanece nunca sin sustentación, este procedimiento es adecuado hasta para suelos sin cohesión.

EQUIPO

Tuneleadora Rotatoria.

El tuneleo en suelos granulares tales como arenas y gravas lubricadas por agua, generalmente presenta muchas dificultades a los métodos convencionales de manejo de escudos, ya que el terreno tendría que ser ampliamente grouteado y desaguado, quizá hasta recurriendo al empleo del aire comprimido. Además el frente deberá ser soportado para evitar el colapso, causando por lo tanto dificultades en la excavación y en el empuje del escudo hacia adelante. De cualquier modo, esta alternativa requiere un frente que se mantenga vertical para permitir la acción cortante y que la remoción de escombros tome lugar eficientemente. Este problema trajo como consecuencia el uso de slurry de bentonita para proporcionar el soporte, fig. 6.16. La mezcla de desechos y slurry es continuamente descargada por el centro de la cabeza cortante a un cárcamo y bombeado hacia fuera para su disposición.

VI.4.2. TIPOS Y OPERACION DE LA MAQUINARIA PARA ROCA

MAQUINAS FRESADORAS

Existen varios tipos de máquinas fresadoras que se emplean para la excavación de túneles y galerías a sección completa. Dos de los tipos tradicionalmente usados son: el de máquinas con cabezales de cinceles rodantes y el de máquinas con cabezales portacuchillas.

Las fresadoras del primer tipo son operadas como una barrena que gira sobre la roca ejerciendo a través de los cinceles rodantes una fuerza importante fig. 6.17. Según el tipo de roca, se puede elegir entre tres clases de cinceles: de botones, dentados o de platillo.

Las máquinas con cabezales portacuchillas cortan la roca mediante cinceles fresadores montados alrededor de discos rotatorios. En tanto que en el sistema con cinceles rodantes la fuerza principal actúa en el sentido del avance, en el sistema de cabezales portacuchillas las cargas principales son en el sentido de la rotación.

Los dos métodos pueden emplearse en roca de blanda a muy dura, competente o temporalmente competente, siendo el de portacuchillas el más apropiado para las rocas menos resistentes.

Los diámetros muy grandes no se perforan a sección completa sino con un túnel piloto central de cerca de un tercio del diámetro final. Posteriormente se continúa con una o más máquinas ensanchadoras, fig.6.18.

El procedimiento con perforación previa de un túnel piloto tiene las ventajas del conocimiento anticipado de las condiciones de la roca que va a ser excavada y la aspiración hacia delante del polvo producido por las ensanchadoras.

VI.5. EXCAVACION DE LUMBRERAS

VI.5.1. EMPLEO DE EXPLOSIVOS

El término lumbrera se emplea comúnmente para designar las excavaciones verticales o con pendientes de más de 45°.

El método de excavación de una lumbrera a cielo abierto es desde el punto de vista del empleo de los explosivos similar al de la excavación en túneles a sección completa, con la diferencia de que en la primera es necesario utilizar equipos especiales para subir y bajar la maquinaria de ataque y sacar el material de rezaga. Además, en la excavación de lumbreras existe la limitación del espacio y los peligros derivados de los caídos son mayores. Este método se emplea frecuentemente en lumbreras de menos de 60 m de profundidad.

En grandes obras el rezagado se efectúa mediante elevadores, montacargas u otros dispositivos.

El elevador de Alimak es otro método utilizado con frecuencia, con éste se excava de abajo hacia arriba en secciones no mayores de 2 por 2 m. Las secciones mayores se ensanchan de arriba hacia abajo. El elevador, que es operado

Figura 6.15. Excavación de un túnel con escudo

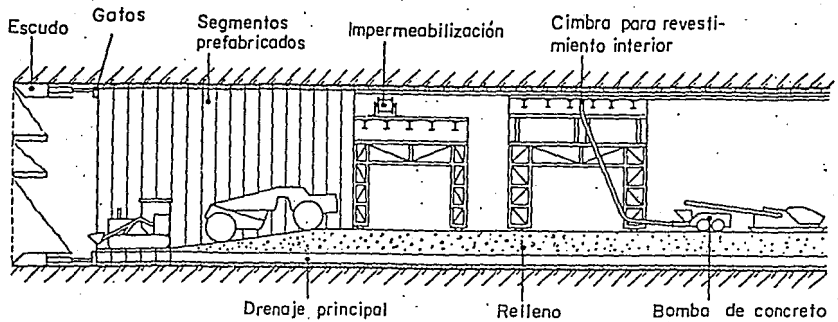


Figura 6.16. Máquina tuneleadora rotatoria para suelo suave

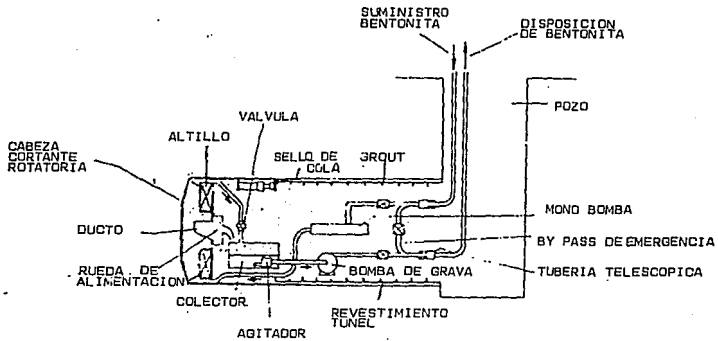
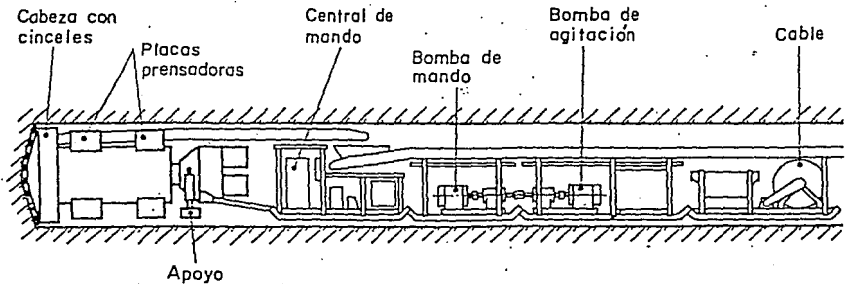


Figura 6.17. Sistema de excavación con fresadora



eléctricamente o con aire comprimido, consta de una jaula y una plataforma de trabajo las cuales se deslizan a lo largo de unas barras guía fijadas a la superficie de la lumbrera por medio de anclas. El trabajo de saneo del frente de avance, la perforación y la carga con explosivos se llevan a cabo desde una posición protegida de la jaula. Posteriormente, el elevador con el personal y el equipo se retiran hacia la galería horizontal inferior donde quedan protegidos durante la voladura. Después de la voladura se ventila y humedece minuciosamente el tramo excavado, antes de que los trabajadores suban de nuevo a prolongar el sistema de barras guía e inicien el tramo siguiente de perforación y de carga con explosivos.

Un método similar al anterior es el de la jaula Jora, en el cual la jaula de trabajo va suspendida de un cable que pasa a través de un barreno de gran diámetro, perforado antes de comenzar la excavación de la lumbrera. Esta perforación puede ser utilizada como parte de la cuña en las voladuras. Los trabajos de perforación y de carga de explosivos se realizan desde el techo de la jaula. El saneo puede ejecutarse en formas seguras desde las jaulas a través del techo. Antes de cada voladura se baja el elevador, para ser protegido en la galería inferior horizontal y se extrae el cable por el barreno central. Este barreno es también aprovechado para la ventilación.

Un sistema nuevo de excavación de lumbreras empleando explosivos, cuya aplicación se hace cada vez más frecuente, es el de los barrenos a lo largo de toda la lumbrera, después de lo cual se procede a excavar por tramos.

El mayor problema de este método es la desviación de las perforaciones, en cambio, ofrece mejores condiciones de seguridad durante la perforación y carga por efectuarse en un área más protegida.

En cuanto a la forma de las voladuras, pueden distinguirse dos variantes principales del método:

- voladura hacia un barreno central de gran diámetro y
- voladura con cuña en cráter.

VI.5.2. PROCEDIMIENTOS MECANICOS

Existen máquinas fresadoras para la excavación de túneles que pueden también emplearse para la excavación de lumbreras, fig. 6.19. Otro de los procedimientos empleados cuando puede perforarse un barreno piloto del extremo superior a una galería o cavidad inferior, es el que se esquematiza en la fig. 6.20. Con este último pueden hacerse excavaciones de 1.2 a 6.1 m de diámetro en rocas blandas a muy duras con velocidades de avance promedio de 1 m/hr.

Figura 6.18. Excavación con túnel piloto y dos máquinas ensanchadoras

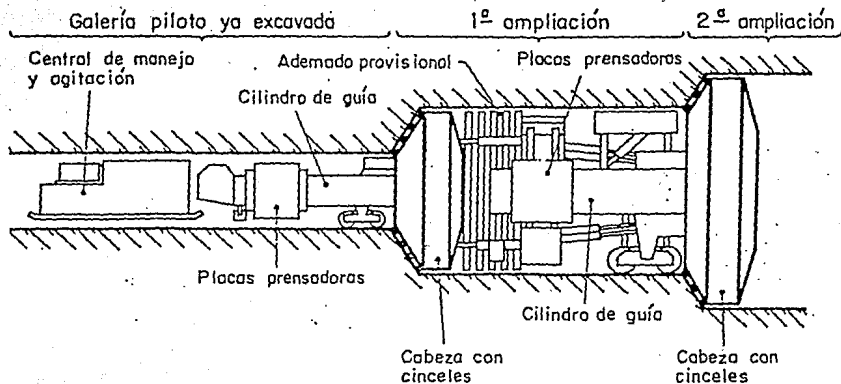


Figura 6.19. Excavación de lumbreras con máquina fresadora

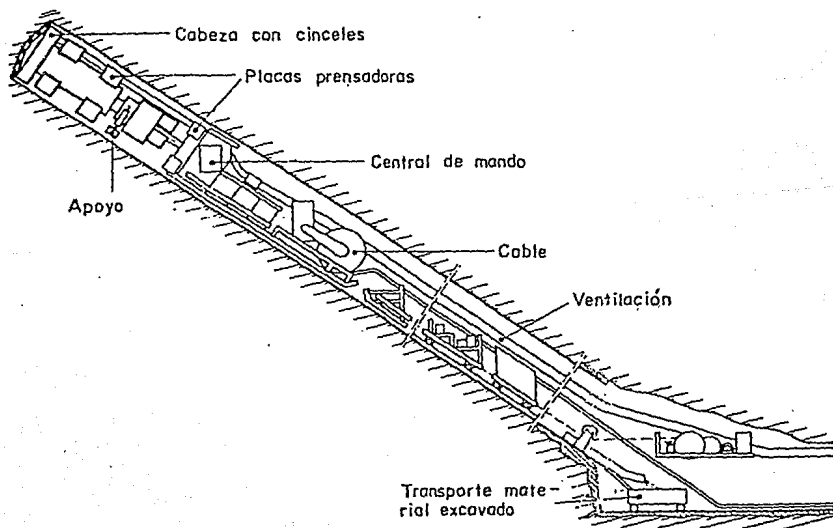
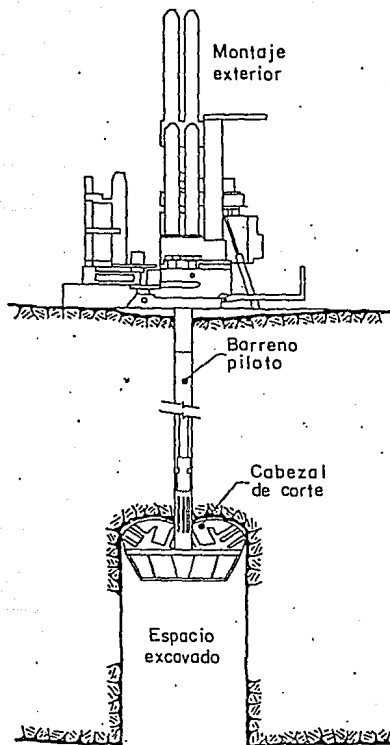


Figura 6.20.
Contrapocera con barreno piloto



VI.6. VENTILACION DEL TUNEL

El aire debe ser suministrado tanto para los trabajadores así como para la operación de la maquinaria en el túnel, de tal manera que el nivel de contenido de oxígeno no caiga debajo del 20%; también se deberá suministrar un dispositivo para extraer el dióxido de carbono producido por la exhalación, los explosivos y la combustión interna de los motores entre otros, figs. 6.21a. y 6.21b.

Se recomiendan los siguientes valores:

- Trabajadores - 2 a 5 m cúbicos/min. de aire fresco por trabajador
- Motores Diesel - 2 a 3 m cúbicos/min. por kw de energía generado
- Explosivos - Una guía práctica es:
 $Q = 10x$ el área de la sección del túnel
 en m cuadrados,
 Q es en m cúbicos/min de aire fresco.

Figura 6.21a.

Sistema de ventilación con el método de entrega de aire

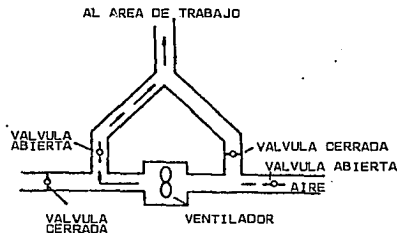
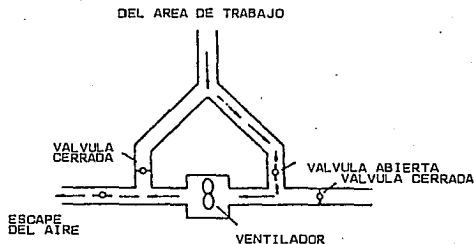


Figura 6.21b.

Sistema de ventilación con el método de extracción de aire



VII EJEMPLOS

RED NACIONAL DE FIBRA OPTICA PARA LARGA DISTANCIA

Ante la necesidad de actualizar el sistema telefónico nacional, Teléfonos de México convoca a principios de 1990 a empresas líderes en el ramo de la telecomunicación a cotizar la instalación de 13,500 km de cable de Fibra óptica, para enlazar las principales ciudades de la República Mexicana y formar así la columna vertebral de lo que será la Red Nacional de Fibra Optica para Larga Distancia.

American Telephone and Telegraph (A.T.&T.), compañía norteamericana líder mundial en el ramo, en conjunto con ICA INDUSTRIAL, empresa del GRUPO ICA, participaron en dicha licitación, y les son asignados 7,890 km, y los 5,610 km restantes de la Red Nacional les son asignados al consorcio Anglo-Frances, Alcatel-Indetel. El proyecto se ejecutará a todo lo largo y ancho de la República Mexicana en 36 meses. El alcance de los trabajos incluye la selección de ruta y levantamiento topográfico, la ingeniería de detalle y la construcción.

La fibra óptica es un medio de comunicación de punto a punto, en el cual la energía utilizada para transmitir es la luz, que es la señal portadora de la información.

Las fibras son cilindros de vidrio que la tecnología actual ha permitido estirar en grandes longitudes, hasta alcanzar el grosor de un cabello. En un extremo de estos filamentos se insertan señales de luz que se demodulan en el otro, permitiendo una transmisión digital de voz, textos e imágenes con muy alta calidad.

Los costos de la fibra óptica, comparados con los de los tradicionales conductores de cobre, son mucho más económicos, ya que se pueden transmitir alrededor de ocho mil comunicaciones en forma simultánea por una fibra, mientras que la capacidad de uno de cobre queda limitada a únicamente veinticuatro. Por lo tanto, con diez kilogramos de fibra óptica se transmite la misma cantidad de mensajes que con tres toneladas y media de cobre.

Otras características importantes del cable es la velocidad de transmisión, y el que ésta no se ve afectada por la inducción magnética.

Para instalar la fibra óptica en las áreas urbanas, se aprovechan las instalaciones de TELMEX, introduciendo en

éstas un ducto de PVC y dentro de éste el cable de fibra óptica.

En las zonas rurales la instalación del cable depende de las características propias del terreno:

- En suelos de compacidad blanda y media, el procedimiento consiste en desgarrar el terreno con un tractor D-8 equipado con ripper, para después sembrar el cable de 0.8 a 1.20 m de profundidad, mediante el uso de un aditamento semejante a un arado jalado por otro tractor D-8. Arriba del cable, a 0.5 m, se siembra una cinta de advertencia, que avisa de la presencia del cable en caso de excavaciones futuras. Dependiendo de la ruta, y como medida de protección contra los roedores, existe la variante de colocar primero un ducto de PVC, introduciéndole posteriormente el cable.

- En suelos de alta compacidad, empacados en material rocoso, se utiliza un equipo zanjeador de cadena. Una vez hecha la zanja se tiende el cable, se rellena y se coloca la cinta de advertencia.

- Cuando hay que trabajar en roca, se utiliza un equipo zanjeador de disco, siguiendo posteriormente el procedimiento antes explicado.

Además de la inmersión del cable, para poner en funcionamiento la red se requieren los siguientes trabajos:

- Compactación y limpieza del terreno utilizando un tractor.

- Adosamientos especiales en puentes existentes, para cruzar el cable por estas estructuras.

- Colocación de postes de señalamiento a lo largo de toda la ruta.

- Empalmes para acoplar un cable con otro cable, a cada 5 km aproximadamente, (longitud en carretes).

- Edificación de casetas repetidoras a cada 70 km, con instalaciones eléctricas y mecánicas para regenerar la señal.

La instalación de la fibra se deberá terminar en Marzo de 1994, y forma tan sólo la primera etapa del plan global de modernización que ha lanzado TELMEX.

El proyecto involucra aproximadamente el siguiente volumen de obra por ejecutar:

rippeo del terreno	13,500 km
excavación en suelo tipo B	4,100,000 m3
excavación en roca	800,000 m3
rellenos en cepas	5,300,000 m3

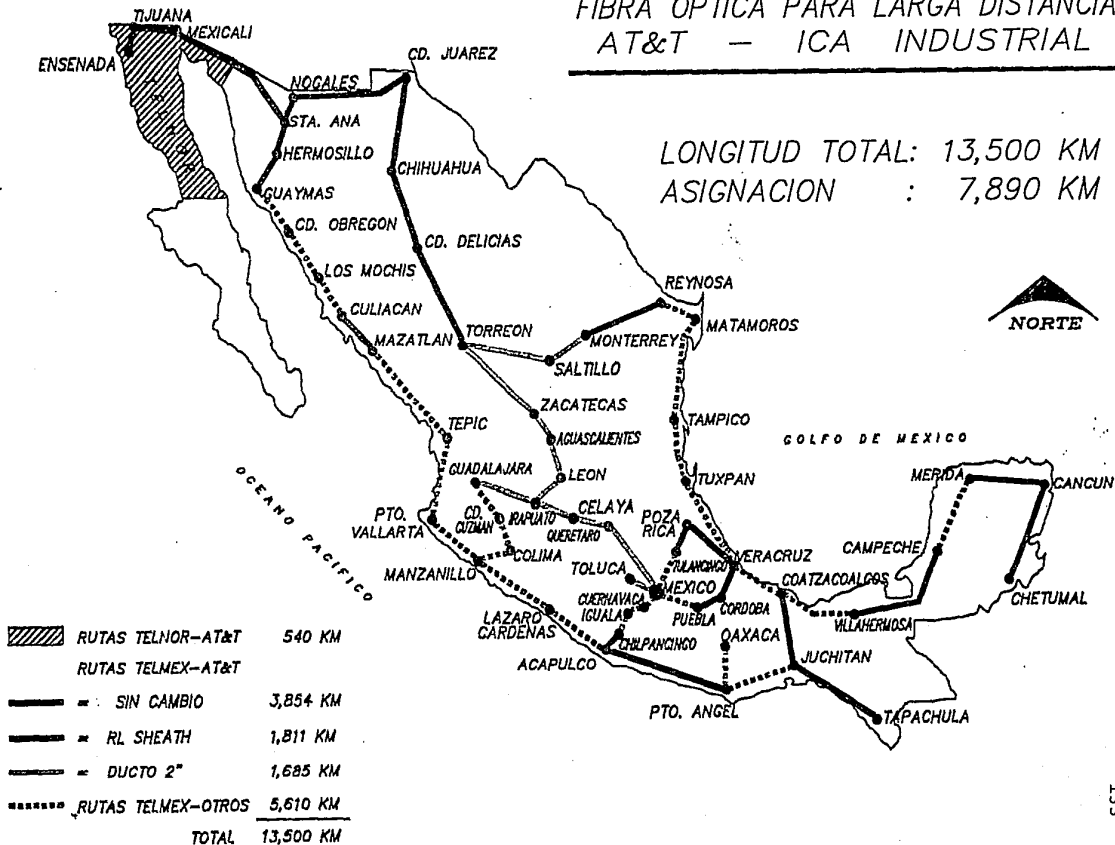
Los equipos empleados en este proyecto son los que a continuación se enlistan:

Tractor Caterpillar D-6
 Tractor Caterpillar D8N
 Zanco tiende cable Bron
 Zanjadora de Cadena Ditch-Witch
 Zanjadora de Cadena Vermeer
 Zanjadora de Disco Trencor-Jetco
 Cargadores con retro
 Retroexcavadora Cat 235
 Compresor Portátil 325
 Camión con grúa hidráulica
 Camión de Volteo de 9m cu.
 Pipas de Combustible
 Camión de Pasajeros
 Tractocamiones y Remolques
 Camioneta de lubricación
 Compactadores de rodillo

El monto aproximado del proyecto es de: \$ 750 000'000,000 equivalentes a 250'000,000 de dólares norteamericanos, financiados en su mayor parte por el Export-Import Bank (EXIMBANK) de los Estados Unidos.

PROYECTO RED NACIONAL DE FIBRA OPTICA PARA LARGA DISTANCIA AT&T - ICA INDUSTRIAL

LONGITUD TOTAL: 13,500 KM
ASIGNACION : 7,890 KM



PROYECTO HIDROELECTRICO AGUAMILPA

La Comisión Federal de Electricidad confirió a la empresa Ingenieros Civiles Asociados S. A. de C. V. la obra civil del Proyecto Hidroeléctrico Aguamilpa, la más grande obra de generación de energía que construye el gobierno a fin de garantizar al país el abasto de electricidad. Este proyecto inserta a la Ingeniería Mexicana en los más importantes avances técnicos que se conocen a nivel mundial.

Iniciado en Abril de 1989, el proyecto forma parte de un plan global de aprovechamiento hidroeléctrico del río Santiago, uno de los escurrimientos más grandes en la zona occidental de la República Mexicana, y ocupará el 4º lugar en potencia instalada y el 5º en generación media anual en el país. El embalse de Aguamilpa amortiguará las avenidas y protegerá la zona costera contra inundaciones, incorporando al sistema de riego 75,000 nuevas hectáreas que incrementarán la producción agrícola de la región.

El sitio de la cortina se ubica en la parte central de Nayarit, 50 km al noreste de su ciudad capital: Tepic, entre los municipios de Tepic y el Nayar, y sobre el río Santiago a pocos kilómetros aguas abajo de la confluencia con el río Huaynamota.

Las características generales del proyecto son las siguientes:

Hidrología:

- área de la cuenca hasta el sitio de la presa. 73,834 km²
- escurrimiento medio anual aprovechable. 6,257,000,000 m³

Vaso de Almacenamiento:

- capacidad al n.a.m.e. 232 m.s.n.m. 6,950,000,000 m³
- capacidad útil n.a.min.o. n.a.m.o. 2,575,000,000 m³
- área ocupada por el embalse al n.a.m.e. 128,000 m²

Obra de Desvío:

El recinto para construir la cortina se formará con una ataguía aguas arriba, a la elevación 118 m.s.n.m., y otra ataguía aguas abajo, a la elevación 80 m.s.n.m. Los escurrimientos del río se desviarán a través de dos túneles de sección portal de 16 x 16 m, localizados en la margen izquierda del río. La longitud total de dichos túneles será

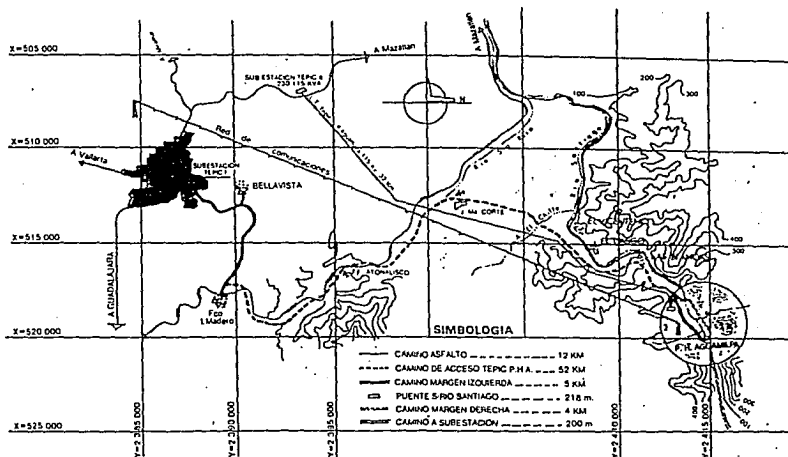
de 1,990 m y están diseñados para manejar un gasto máximo de 5,120 m³/min.

Obra de Contención:

La cortina será de enrocamiento y material aluvial con cara de concreto. Se adoptó esta solución, por la disponibilidad de materiales en el área y por el tiempo requerido para la construcción. Se desplantará en la elevación 48 y su corona (parapeto) estará en la elevación 235; es decir, su altura será de 187 m y su volumen de 13,425,000 m³. Se obtendrá, aprovechando el enrocamiento que resultará de las excavaciones, y el aluvión de bancos existentes en el cauce del río aguas abajo de la boquilla.

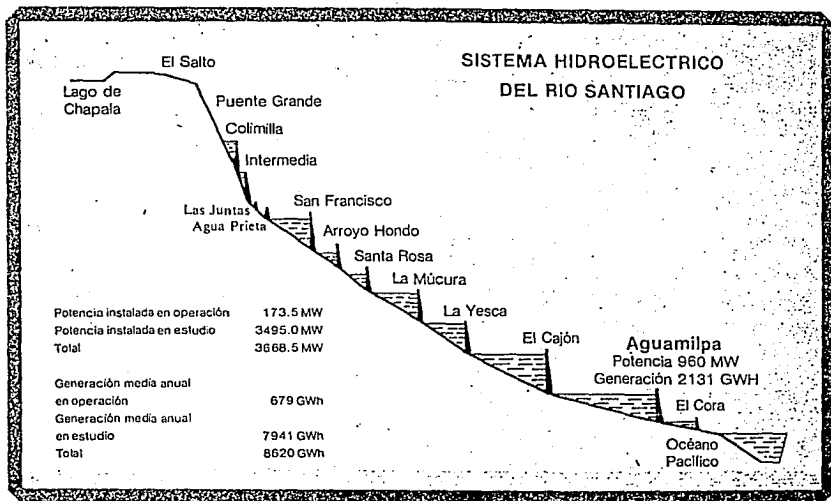
La cara de concreto tendrá un área de 105,000 m² cuadrados y se desplantará en un dentellón de apoyo o plinto perimetral. Esta losa se colará en franjas de 15 m de ancho, con espesores variables; la unión entre losas contará con un sistema de sellos que permitirá absorber los asentamientos y evitar las filtraciones.

PLANTA DE LOCALIZACION



CLASIFICACIÓN DE CENTRALES HIDROELECTRICAS POR ALTURA DE CORTINA

PRESA	RIO	ESTADO	ALTURA M	TIPO DE CORTINA
Chicoasén	Grijalva	Chiapas	251	Materiales graduados
Zimapán	Moctezuma	Hidalgo	200	Arco de concreto
Aguamilpa	Santiago	Nayarit	187	Enrocamiento y pantalla de concreto
Infiernillo	Balsas	Michoacán	149	Materiales graduados
Angostura	Grijalva	Chiapas	147	Materiales graduados
Melpaso	Grijalva	Chiapas	138	Materiales graduados
El Novillo	Yaquíl	Sonora	138	Arco de concreto
Comedero	San Lorenzo	Sinaloa	134	Materiales graduados
El Caracol	Balsas	Guerrero	128	Materiales graduados
Bacurafó	Sinaloa	Sinaloa	115	Materiales graduados
Santa Rosa	Santiago	Jalisco	114	Arco de concreto



Obras de Generación:

La casa de máquinas, que será subterránea, tendrá 22.20 m de ancho, por 133.40 m de longitud y altura máxima de 36.20 m. El agua penetrará por un canal de llamada a cielo abierto, será conducida por tres conductos a presión de 7.4 m de diámetro y 215 m de longitud, moverá las turbinas, saldrá a una galería de oscilación subterránea, luego pasará por un túnel de desfogue y finalmente se incorporará de nuevo al río. Contará con tres unidades de generación, de 320 MW cada una, con un gasto de diseño de 249 m cu/seg, para lograr una generación media anual de 2,131,000 MW/hr.

El aspecto más interesante, y que representa un cambio con respecto a otras casas de máquinas subterráneas en México, es la eliminación del piso de generadores entre los pisos de turbinas y de excitadores, ya que tanto el acceso a los fosos de turbinas como a los generadores estará en un mismo nivel, con lo que se reducirán y simplificarán las excavaciones de la casa de máquinas.

Los cuantiosos volúmenes de obra por ejecutar, así como la diversidad de equipos que se requerirán en el Proyecto Hidroeléctrico Aguamilpa se muestran en las tablas de las siguientes hojas.

La aportación media de azolves hasta el sitio permite asegurar que la presa tendrá una vida útil mayor a 100 años por este concepto, que se ampliaría con la construcción de otros proyectos aguas arriba.

La geología y geotecnia en la boquilla es de afloraciones de roca volcánica extrusiva parcialmente cubierta por depósitos de talud, suelos o aluvión.

El suelo es de color ocre, constituido por limos, arcillas, fragmentos de roca y material vegetal. Se distribuye ampliamente en la zona en forma irregular con un espesor medio de 3 m.

El aluvión está integrado por limos, arenas, gravas y bloques de gran tamaño. Su composición es heterógena y se distribuyen en los cauces del río y arroyos. Su espesor en el río varía de 2.4 m a 26.0 m, con 10.6 m en el eje de la cortina.

El importe de la obra está considerado en 1.3 billones de pesos mexicanos. Siendo la fuente de recursos respecto al total de la obra como sigue:

Recursos propios C.F.E.	32.5 %
Banco Mundial	31.1 %
Capital Privado	36.4 %

Volúmenes de obra por ejecutar

Obra de Desvío

excavaciones a cielo abierto	270,000 m cu.
excavación en túnel	472,000 m cu.
concretos	22,400 m cu.

Obras de Generación y Excedencias

excavaciones a cielo abierto	5,224,000 m cu.
excavaciones en túneles	279,800 m cu.
excavación en cavernas	109,600 m cu.
otras excavaciones en roca	700,000 m cu.
concretos	188,800 m cu.

Obras de Contención

excavaciones a cielo abierto	2,500,000 m cu.
excavación en túnel	23,165 m cu.
aluvión en cortina	8,285,000 m cu.
roca producto de excavaciones en cortina	6,200,000 m cu.
aluvión, limos y arcillas en ataguías	330,000 m cu.
roca producto de excavaciones en ataguías	612,000 m cu.

Maquinaria que se emplea en el proyecto

NO	DESCRIPCION	MODELO	CAPACIDAD
3	Retroexcavadoras O&K	RH-40D	6.0 m cu.
2	Palas hidráulicas O&K	RH-30D	4.5 m cu.
23	Tractores Caterpillar	D8N	285 hp
3	Cargadores Caterpillar	988-B	5 m cu.
3	Retroexcavadoras Caterpillar	235	2.6 m cu.
5	Cargadores Caterpillar	986	1.7 m cu.
3	Cargadores Caterpillar	955-L	1.7 m cu.
13	Volteos Pesados terex	33-07	44 ton
10	Volteos Pesados terex	R-35	35 ton
4	Cargadores Terex	90-C	5.7 m cu.
16	Volteos Pesados Euclid	R-50	50 ton
11	Vagonetas Euclid	B-70	70 ton
4	Grúas Link-Belt	LS	20-150 ton
2	Jumbos Hidráulicos Tamrock	HS-305-T	3 brazos
6	Motoconformadoras Compacto	CM-17	170 hp
2	Rodillos vibratorios Compacto	CV-27S	1350 kg
1	Planta de Trit./Crib. Telesmith	SD-824	600 tc/hr
2	Trituradoras Prim. Telesmith	1300-S	330 tc/hr
3	Plantas de concreto ORU	1040	40 m cu/hr
2	Bombas de concreto Schwing	BPL-900HRD	90 m cu/hr
4	Bombas de concreto Schwing	BP-200HRD	87 m cu/hr
5	Compresoras Atlas Copco	CA-127-E	1200 cpm
10	Compresoras Port./Est.		
	Gardner-Dever	600-A	1500 pcm
16	Compres. Port. Ingersoll-Rand	XHP-750	750 pcm
10	Compres. Est. Ingersoll-Rand	SSR-EP350	350 pcm
24	Perforadoras Ingersoll-Rand		

SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO DE LA CIUDAD DE MEXICO

El Sistema de Drenaje Profundo de la Ciudad de México constituye una de las mayores obras públicas realizadas en nuestro país, tanto por el monto de la inversión como por los volúmenes de trabajo, materiales y maquinaria que fue necesario poner en juego para la construcción de ese sistema de drenaje.

La magnitud y características del proyecto, las soluciones técnicas que lo hicieron posible, y el despliegue de talento humano y recursos materiales que exigió, han puesto de manifiesto la capacidad de la ingeniería en México.

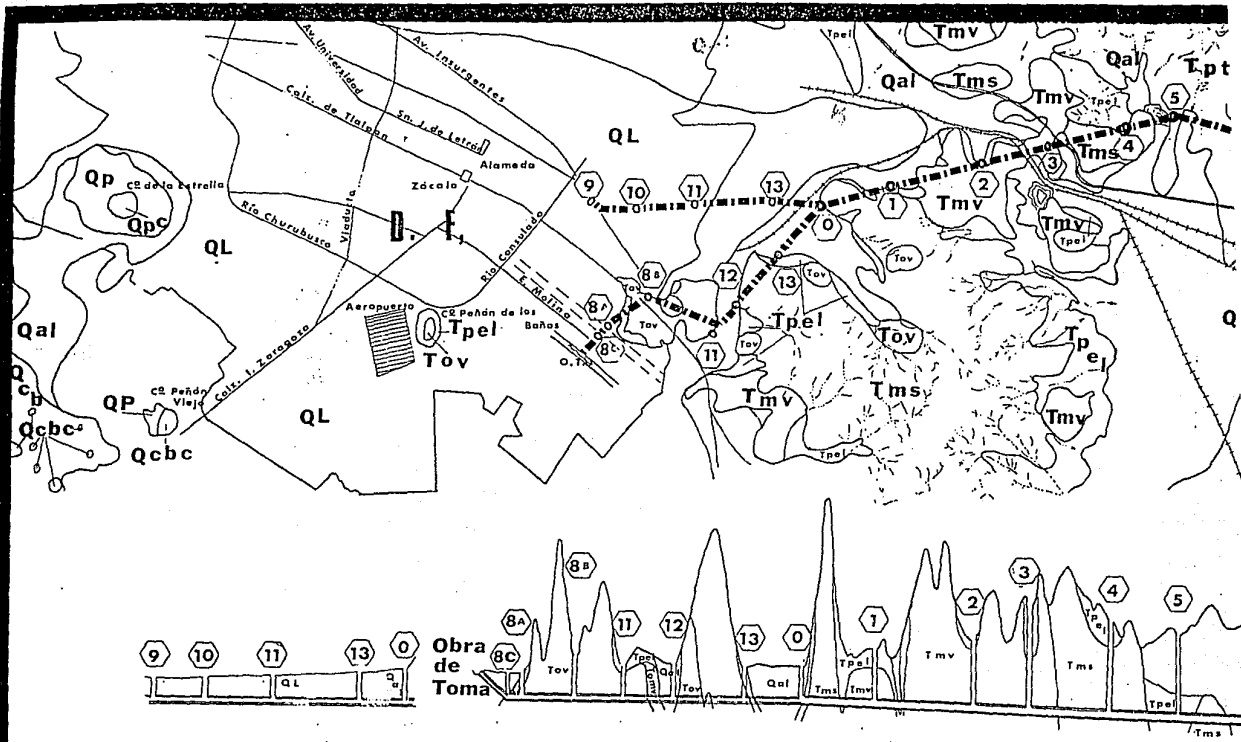
El 17 de marzo de 1967 comenzaron los trabajos de construcción de esta obra la cual se puede resumir en tres grandes conceptos:

A) Excavación de 50 km de túnel en el Emisor Central, con un diámetro terminado de 6.5 m, y de 18 km de interceptores, con un diámetro terminado de 5 m arrojando un volumen total, no abudado, de 3,500,000 m cu, obtenidos mediante el uso de 2,500 toneladas de explosivos, de 6 escudos de frente abierto y de procedimientos manuales. Las paredes de la excavación se ademaron con 25,000 ton de viguetas de acero, 250,000 m3 de concreto lanzado y 35,000 m cu de conceto en dovelas.

B) Colocación de 1,380,000 m cu de concreto, fabricado por 11 plantas distribuidas a lo largo de la obra, con un consumo de 510,000 ton de cemento, de más de 1,000,000 m cu de grava triturada y más de 670,000 m cu de arena obtenida en diferentes bancos.

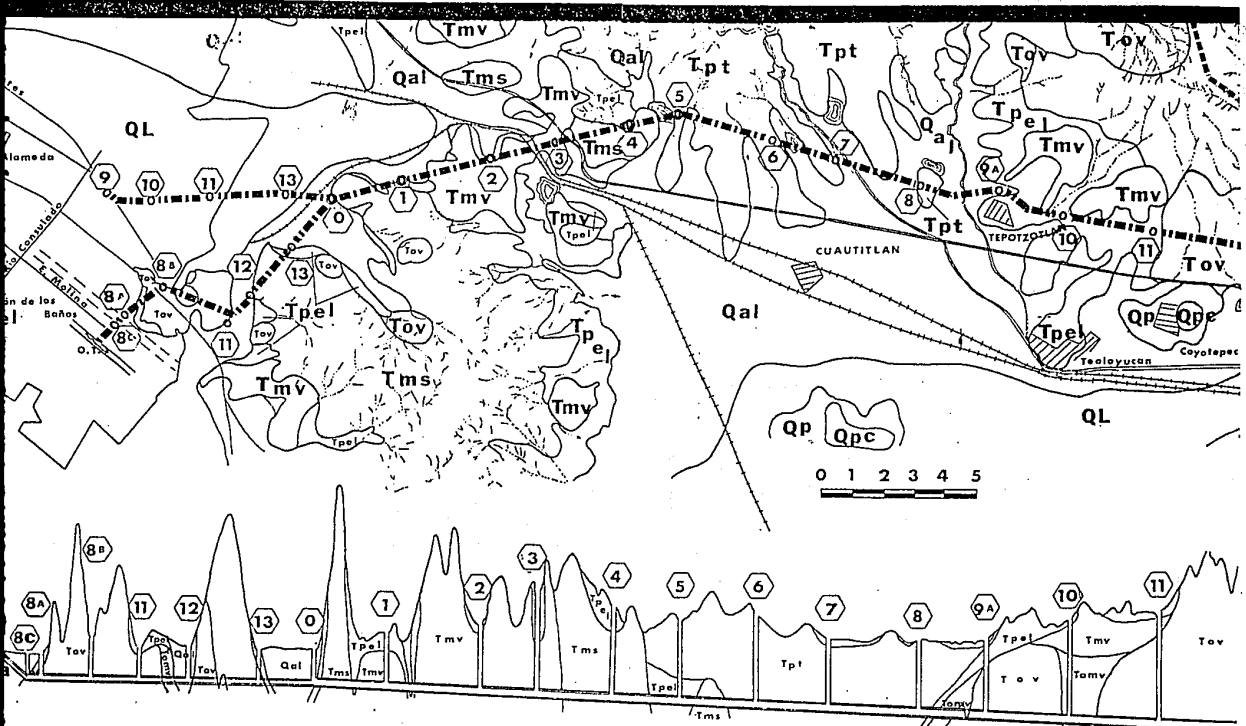
En el curso del año 1972, se excavaron 21,000 m de túnel, de los cuales 1,210 m se ejecutaron con tres escudos de frente abierto en el Interceptor Central, 3,260 m en el Interceptor Oriente, y el resto en el Emisor Central. Además se revistieron 6,700 m y se inyectaron 4,400 m.

Al iniciar el año 1973, el problema parecía reducirse a los concretos, ya que en los Interceptores operaban eficientemente 6 escudos al mismo tiempo; uno de los cuales se auxiliaba de aire comprimido, procedimiento utilizado por primera vez en el mundo en altitudes superiores a la del nivel del mar, por lo que fue necesario adecuar normas y sistemas de compresión para el caso. Sin embargo, entre las lumbreras 8 y 14 del Emisor Central se presentaron problemas geológicos y geohidrológicos muy difíciles de superar. En efecto, sólo en este tramo, el gasto producto de filtraciones llegó a 7,500 lts/seg.



Int. Central

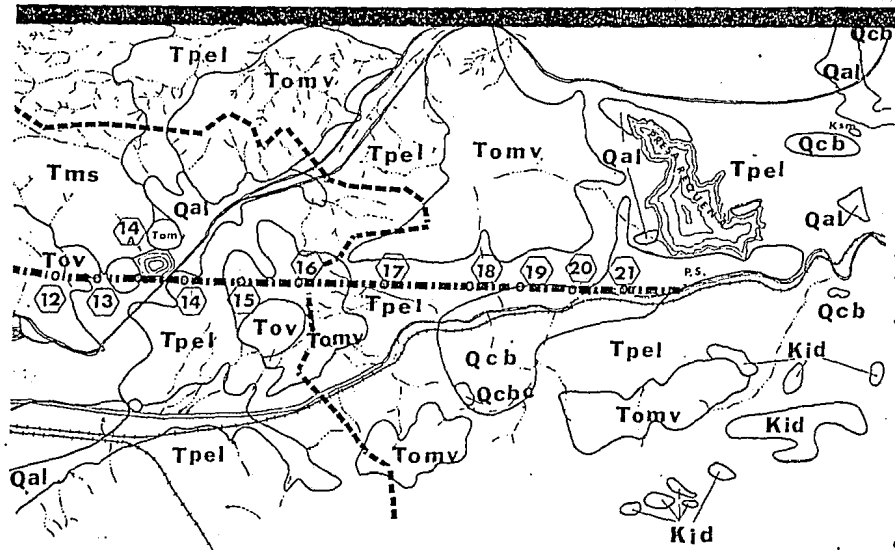
Int. Oriente



Int. Oriente

Emisor Central

parte uno



CUATERNARIO
 CENOZOICO
 TERCARIO
 CRETACICO
 MESOZOICO

Qal Depósitos Aluviales	QL Depósitos lacustres	Qcb Serie volcánica, raiuzín principal, lavas basálticas Qcbc = Conas
-----------------------------------	----------------------------------	--

Tpt Formación tarango interior Aboncos aluviales importantes, Contienen lahares, tobas y suelos.	Tpel Depósitos aluviales menores, tobas, suelos y lapómez, Horizontes pertenecen al C.
---	--

Tms Domas volcánicas.

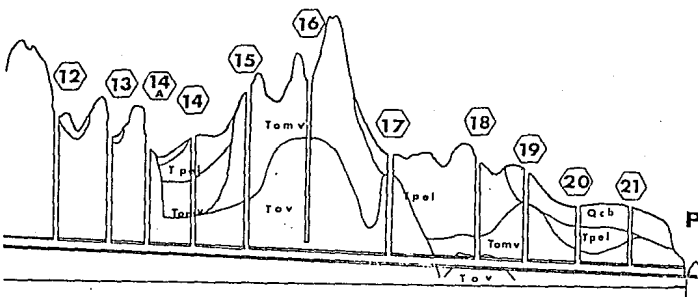
Tmv Serie Tepozotlán, andesitas

Tomv Serie Nachistongo, limos rosa y

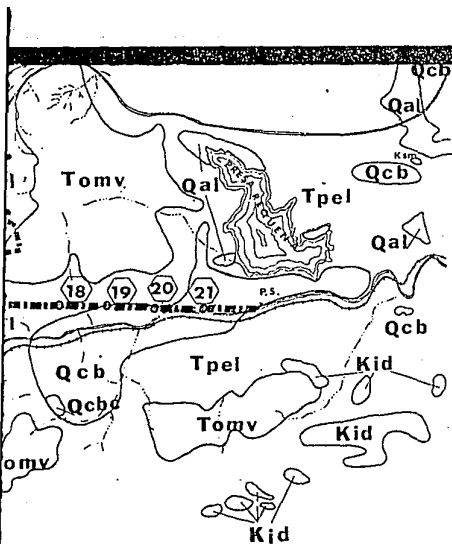
Tov Serie Huautla, basaltos, breccias y conglomerados, tobas y arenas

Ksm Formación Méndez.

Kid Formación el Doctor.



Portal de Salida



CUATERNARIO
 CENOZOICO
 TERCARIO
 CRETACICO
 MESOZOICO

Qal

Depósitos Aluviales

QL

Depósitos lacustres

Qcb

Serie volcánica Chichinautzin principalmente lavas basálticas.
Qcbc = Conos cineríficos

Qcbc

Qb

Lavas y lavas-Conos cineríficos basálticos.

Qbc

QP

Qpc

Lavas y lavas-Conos cineríficos salíticos.

Tpt

Formación tarango inferior
Abanicos aluviales importantes. Contienen lahares, tobas y suelos.

Tpel

Depósitos eluviales y abanicos aluviales menores. Contienen tobas, suelos y horizontes de gámet. Horizontes superiores pertenecen al cuaternario.

Tms

Domas volcánicas.

Tmv

Serie Tepetzotlan, andesitas no diferenciadas.

Tomv

Serie Nachistongo, limas rosa y arcillas calcáreas.

Tov

Serie Huautlaco, basaltos, brechas basálticas, y conglomerados, tobas y arenas aluviales.

Ksm

Formación Méndez.

Kid

Formación el Doctar.

SIGNOS CONVENCIONALES

Línea parte aguas

Contacto geológico definido

Contacto geológico indefinido

Fallas

Escurrimientos

Preso

Laguna

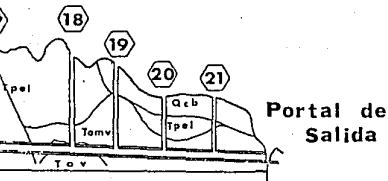
Población

Vía ferrea

Carretera

Eje del túnel

Lumbrera



PERFIL GEOLOGICO DEL SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO DE LA CD. DE MEXICO

parte dos

Así pues, el avance logrado durante ese año en excavación fue de 13,700 m, en revestimiento fue de 21,200 m y en inyección de contacto fue de 14,200 m.

Al iniciar 1974 se había logrado ya la unión de varios tramos de túnel, con la consecuente reducción de frentes de trabajo y por lo tanto de recursos. En octubre de 1974 se terminaron de excavar los 5,500 m faltantes; los 38,700 m faltantes de revestir se complementaron en mayo de 1975, y para junio del mismo año se terminó la inyección de contacto de los 48,100 m restantes.

C) Inyección de 350,000 m cu de mortero para garantizar el íntimo contacto entre terreno y revestimiento, con un consumo de 130,000 ton de cemento y de 120,000 m cu de arena.

Geología Estructural

A lo largo del Sistema de Drenaje Profundo, se encontró una gran cantidad de fallas (unas mayores que causaron problemas de estabilidad y filtraciones, y un sin número de fallas menores cuyos problemas fueron significativos únicamente en cuanto a filtraciones).

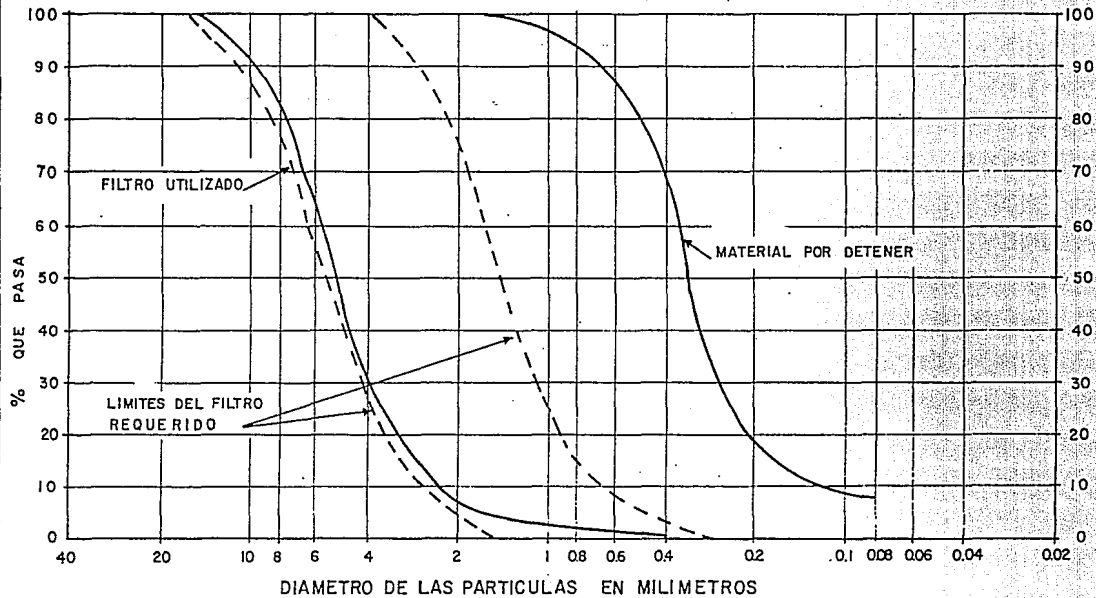
a) En el complejo volcánico que forma la sierra de Guadalupe, el rumbo de las fallas es predominantemente NNE-SSO y sus echados con ángulos casi verticales buzan alternadamente NO y SE para formar zonas de pilares y fosas tectónicas.

Debido al alto grado de erosión en que se encuentra esta sierra, sus rasgos de construcción original han quedado destruidos, siendo sumamente difícil reconocerlos, únicamente por medio de estudios de Geología Superficial.

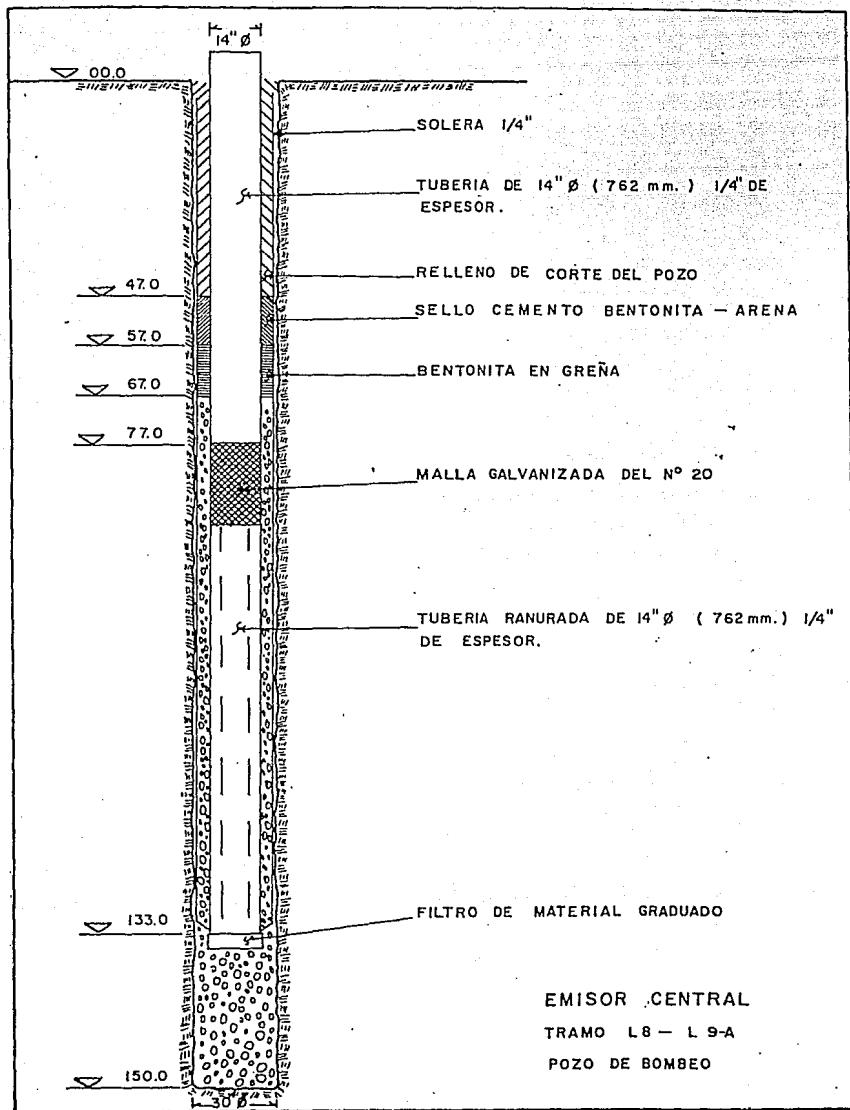
Debido a que la sierra de Guadalupe está constituida en su mayor parte por volcanes estratificados, la excavación del túnel atravesó contactos geológicos que provocaron problemas de estabilidad y filtraciones.

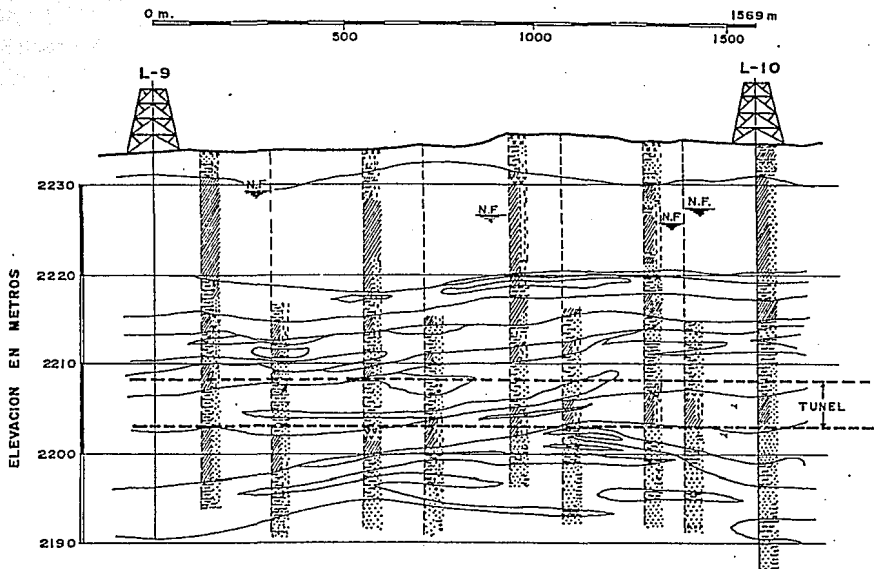
En las zonas de fallas y algunos contactos geológicos donde hubo circulación de fluidos hidrotermales, la roca presenta diversos grados de alteración química.

b) En la cuenca de Cuautitlán-Tepetzotlán la formación Tarango se encuentra afectada por una familia de fallas menores con rumbo predominante al NE-SO. Durante la excavación pudo advertirse que la inclinación de estas fallas era hacia el NO con ángulos casi verticales.



EMISOR CENTRAL
 TRAMO L 8 - L 9 A
 ESPECIFICACIONES PARA
 EL FILTRO EN LOS POZOS
 PARA BOMBEO.





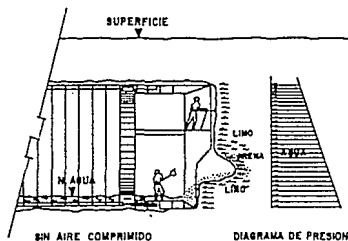
SIMBOLOGIA

-  ARCILLA
-  LIMO
-  ARENA

PERFIL ESTRATIGRAFICO

PROPIEDADES DE LOS SUELOS ATRAVESADOS

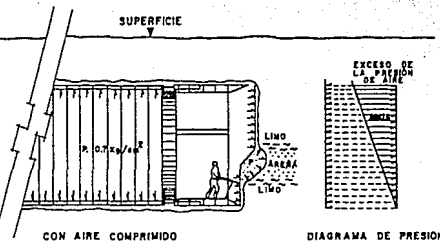
SUELO	CONTENIDO NATURAL DE AGUA	RELACION DE VACIOS	COHESION	ANGULO DE FRICCION
Arcilla	200 %	5.0	6 Ton/m ²	0°
Limo arenoso	40 "	1.2	15 "	22°
Arena limosa	30 "	1.1	7 "	32°



SIN AIRE COMPRIMIDO

DIAGRAMA DE PRESION

EN LA EXCAVACION SIN AIRE COMPRIMIDO, PUEDEN PRESENTARSE PROBLEMAS DE ABAJATE DE MATERIALES PERMEABLES BAJO UNA CARGA HIDROSTATICA O EXTRUSION EN MATERIALES BLANDOS, QUE AFECTA LA ESTABILIDAD DEL FRENTE.



CON AIRE COMPRIMIDO

DIAGRAMA DE PRESION

EL USO DE AIRE COMPRIMIDO EN LOS MATERIALES DEL FRENTE DE ATAQUE, EVITA EL FLUJO DE LOS MISMOS Y MEJORA LAS CONDICIONES DE ESTABILIDAD.

TUNEL CON AIRE COMPRIMIDO PARA EL SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO DE LA CIUDAD DE MEXICO — INTERCEPTOR CENTRAL.

EL SISTEMA DE DRENAJE, CONDUCCION Y DESCARGA, DEL CAUDAL DE AGUAS NEGRAS Y PLUVIALES SOBMANTE DE LA CIUDAD, ESTA CONSTITUIDO POR LOS INTERCEPTORES CENTRAL Y DEL ORENTE Y EL EMISOR CENTRAL, CON UNA LONGITUD TOTAL DE 80 KM.

EN UN TRAMO DEL INTERCEPTOR CENTRAL (Entre las Luaseras 5 y 10), EL TUNEL ATRAVESARA LOS MATERIALES BLANDOS DE LA DENOMINADA "ZONA DEL LAGO" DEL VALLE DE MEXICO. LA CONSTRUCCION DEL TUNEL EN ESTOS SUELOS PLANTEA, ENTRE OTROS, EL PROBLEMA DE ESTABILIDAD DEL FRENTE DE ATAQUE, CUYA SOLUCION REQUIERE DE TECNICAS ESPECIALES. PARA RESOLVER EL PROBLEMA DE EXCAVACION, SE DECIDIO UTILIZAR, EN FORMA COMBINADA, UN ESCUDO DE FRENTE ABIERTO Y AIRE COMPRIMIDO A BAJA PRESION, 0.7 Kg/cm² (Diseño SOLUM, S. A.).

EL USO DEL AIRE COMPRIMIDO, A LA ALTURA DE LA CIUDAD DE MEXICO, IMPLICA UNA REVISION CUADROSA, DEL COMPORTAMIENTO FISICO DEL ELEMENTO HUMANO, QUE SE TRADUCE EN UNA BUENAS ELECCION DEL PERSONAL.

DATOS GENERALES DEL TRAMO CON AIRE COMPRIMIDO

EL TUNEL SERA UN CONDUCTO CIRCULAR DE CONCRETO CON LAS SIGUIENTES CARACTERISTICAS:

LONGITUD DEL TRAMO _____ 18610 m.
 DIAMETRO FINAL DEL TUNEL _____ 8.0 m.
 PENDIENTE HIDRAULICA _____ 0.0003
 BASTO MAXIMO _____ 80 m²/seg.
 VELOCIDAD MAXIMA _____ 4.8 m./seg.
 PROFUNDIDAD MEDIA DE LA PLANTILLA _____ 31.0 m.

Los problemas provocados por estas fallas fueron principalmente de filtraciones provenientes de las fracturas.

c) En la Sierra de Tepotzotlán, el rumbo de las fallas volvió a ser el mismo (NE-SO). Desde el borde sur de la sierra hasta la lumbrera 11, la inclinación de las fallas buzó alternadamente hacia el NE o hacia el SO para formar, al igual que en la sierra de Guadalupe, una zona de fosas y pilares.

A partir de la lumbrera 11 hasta el borde norte de la sierra de Tepotzotlán y en la lumbrera 14A, el rumbo de las fallas fue NE-SO; pero la inclinación de todas las fallas es hacia el NO para formar una estructura de bloques basculados, con un echado promedio de 10° al SO.

d) En la sierra del Sincoque-Encinal existen dos familias de fallas, de rumbos: NE-SO y NO-SE, cuyas inclinaciones son hacia el NE y SO respectivamente. La primera de estas familias forma una estructura de bloques basculados que buzán al SE.

En el borde sur de esta sierra, entre las lumbreras 14 y 15, la inclinación del buzamiento es de 85° al SE, que combinadas con las fallas de la sierra de Tepotzotlán, forman un graben en las inmediaciones de la lumbrera 14.

No obstante todos los problemas, después de siete años de trabajos, los 68 km de túnel que integran el Sistema, fueron puestos en operación el 9 de junio de 1975, poniéndose fin a los problemas que había padecido la Ciudad de México a causa de las inundaciones, consecuencia de su topografía y geología.

CONCLUSIONES

Como conclusión, quisiera enfatizar el importante papel que juega el identificar y clasificar acertadamente las características y propiedades mecánicas e hidráulicas de los suelos, así como el de determinar correctamente la dureza y abrasividad de la roca con que se trabajará, regidos desde luego por la naturaleza de los problemas que se suponga el terreno presentará para cada tipo de obra, ya que estos factores normaran el criterio del ingeniero respecto a la maquinaria y a los equipos de fuerza motriz y de montaje más adecuados a emplear.

Los otros factores que determinarán la selección del equipo, una vez que se conocen las características y propiedades de los materiales que serán excavados, son el volumen que se moverá, la ubicación del sitio de la excavación, las condiciones del suelo y del terreno de apoyo, y la disposición final del material excavado.

No hay que perder de vista, que una adecuada determinación del alcance de las operaciones debe considerar factores extraordinarios que afectarán los valores y rendimientos originalmente calculados, como pueden ser el incremento en los volúmenes excavados debido al abundamiento; una baja producción del equipo, debido a los efectos del ángulo de giro en el tiempo de ciclo, factores de llenado de los cucharones, y la tracción y agarre entre otros.

Considerando los factores arriba mencionados, se pueden clasificar las excavaciones en cuatro tipos: en zanja, voluminosas, en roca y en túnel; como en cualquier otra clasificación, no hay límites netos para cada división por lo que algunas pueden caer dentro de otro grupo también. El empleo de cualquiera de los equipos básicos para ejecutar estos trabajos es lo más recomendable, entendiéndose como tales los más accesibles y de mayor existencia en el mercado como lo son la pala mecánica, el cargador frontal, la retroexcavadora, la draga y la grúa con cucharón de almeja. El problema real siempre será el de la selección del equipo que moverá el mayor volumen de material en el menor tiempo posible con la menor inversión de recursos.

En la excavación en roca, el objetivo primordial siempre será el de convertir los macizos en agrgados sueltos para que así éstos puedan manejarse con los equipos usados en suelos. Para llevar a cabo dicha transformación, los explosivos han demostrado ser el mejor medio.

Hago hincapié, en que el aspecto que más impacta la ejecución de una excavación es el de las filtraciones, por lo que del correcto manejo y control del nivel freático dependerá el éxito de éstas. La elección del método más adecuado para evitar dichas filtraciones estará en función de las condiciones del lugar, de los gastos de filtración y del que no se produzcan arrastres de partículas de suelo por el agua ni reducciones considerables en la capacidad de carga del terreno. La clasificación de Glossop y Skempton proporcionan una buena ayuda para la elección del metodo.

Hay que evitar siempre que se controle el nivel freático, que el descenso del mismo no ocasione asentamientos en las zonas circundantes.

Por último, creo que los proyectos elegidos como ejemplos, obras que ponen en alto el nombre de la ingeniería mexicana, son lo suficientemente representativos y muestran claramente que la selección del equipo de excavación depende fundamentalmente del tipo de excavación a ejecutar, de las características y condiciones del terreno y del tipo de obra de que se trate.

BIBLIOGRAFIA

- HARRIS, Frank (1984). Ground Engineering Equipment and Methods. Great Britain. McGraw Hill.
- CATERPILLAR tractor Co. (1980). Manual de Métodos y Equipo Caterpillar. Illinois, E.U.A. Caterpillar.
- TOMLINSON M. J. (1978). Foundation Design and Construction. London. Pitman.
- PECK, HANSON, THORNBURN (1978). Ingeniería de Cimentaciones
- CARSON, A.B. (1961). General Excavation Methods. New York, E.U.A. F.W. Dodge Corp.
- ALBERRO, A.J. (1971). Asentamientos en la cercanía de las excavaciones. IV Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones. Puerto Rico, U.S.A.
- JUAREZ E. Rico (1986). Mecánica de Suelos, Tomo I, Fundamentos de la Mecánica de Suelos. México. Limusa.
- TUNEL S.A. de C.V. (1975). Memoria Técnica de las obras del Drenaje Profundo del Distrito Federal. México. TUSA.
- AMITOS (1985). Curso Víctor Hardy 85, Tomo I, Túneles y Excavaciones Subterráneas. México. AMITOS.
- AMITOS (1987). Curso Víctor Hardy 87, Tomo I, Túneles y Excavaciones Subterráneas. México. AMITOS.
- COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD, Instituto de Investigaciones Eléctricas (1982). Manual de Diseño de Obras Civiles, Geotecnia. Procedimiento de Excavación. México. C.F.E.
- GRUPO ICA (1990). Revista Septiembre-Octubre no. 69. México
- GRUPO ICA (1992) Revista Marzo-Abril no. 78. México.
- C.N.I.C. (1991). Revista Mexicana de la Construcción no 439, Agosto. México.
- CONSTRUCCION PAN-AMERICANA (1990). Revista no 1, Septiembre. Florida E.U.A.