

2ej
108



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO**

FACULTAD DE INGENIERIA

**PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DEL MURO-PANTALLA
PRINCIPAL DEL PROYECTO HIDROELECTRICO "PEÑITAS",
CHIAPAS.**

T E S I S
Que para obtener el título de
INGENIERO CIVIL
p r e s e n t a

ARMANDO LEMUS COREA



México, D. F.

1986



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.

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DEL MURO-PANTALLA PRINCIPAL
P.H. PEÑITAS, CHIAPAS.

I N D I C E

CAPITULO I INTRODUCCION.

- 1.1. Localización del P.H. Peñitas.
- 1.2. Estudios Preliminares.
- 1.3. Descripción General de las Obras.

CAPITULO II ASPECTOS GENERALES DE LOS MUROS-PANTALLA.

- 2.1. Origen.
- 2.2. Generalidades.
- 2.3. Tipos de Muros-Pantallas.
- 2.4. Utilización de las Pantallas.

CAPITULO III PROYECTO MURO-PANTALLA DEL P.H. PEÑITAS.

- 3.1. Antecedentes.
- 3.2. Características Generales.
- 3.3. Esquema General de Construcción.
- 3.4. Programa de Trabajo.

CAPITULO IV EXCAVACION.

- 4.1. Trabajos Preliminares.
- 4.2. Brocal Guía.
- 4.3. Equipo para Excavación.
- 4.4. Excavación.
- 4.5. Lodo de Excavación.

CAPITULO V COLADO

- 5.1. Desarenado del lodo de Excavación.
- 5.2. Equipo para Preparación de Mortero Plástico.
- 5.3. Equipo para Colado.
- 5.4. Manejo del Lodo Desplazado.
- 5.5. Comportamiento del Mortero durante el Colado.
- 5.6. Recuperación de Muestras durante el Colado.
- 5.7. Seguimiento del nivel del mortero.

CAPITULO VI ESPECIFICACIONES GENERALES.

- 6.1. Control durante la Excavación.
- 6.2. Control durante el Colado.
- 6.3. Aspectos Generales.
- 6.4. Adiciones y Modificaciones.

CAPITULO VII INCIDENTES Y ACIDENTES DURANTE LA CONSTRUCCION.

7.1. Incidentes durante la Excavación.

7.2. Incidentes durante el Colado.

CONCLUSIONES.

BIBLIOGRAFIA.

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DEL MURO PANTALLA-PRINCIPAL
P.H. PEÑITAS, CHIAPAS.

CAPITULO I

INTRODUCCION

Dada la creciente necesidad de contar con fuentes de energía eléctrica en nuestro país y en virtud de las grandes ventajas que presentan las Plantas Hidroeléctricas, La Comisión Federal de Electricidad, conjuntamente con la entonces Secretaría de Recursos Hidráulicos, iniciaron en el año de 1948 los estudios en la Cuenca del Río Grijalva, encaminados a determinar su potencialidad hidroeléctrica y a lograr el aprovechamiento total de sus recursos, fijando para tales fines cuatro etapas.

La primera etapa de usos múltiples, la constituye la Planta Hidroeléctrica "Netzahualcōyotl" -

(Malpaso), es el primero de los aprovechamientos y el tercero que proporciona la cuenca a partir del sitio de su nacimiento. La construcción estuvo a cargo de la entonces Secretaría de Recursos Hidráulicos durante el período de 1959 a 1964, en su primera etapa, con capacidad instalada de 720 mw. La Comisión Federal de Electricidad, ejecutó la segunda etapa, con capacidad de 360 mw, para un total acumulado actual de 1,080 mw y un factor de planta de 0.25

El segundo aprovechamiento efectuado sobre el río, primero en la cuenca, es la Planta Hidroeléctrica "Belisario Domínguez" (Angostura), que la Comisión Federal de Electricidad realizó durante los años 1969 a 1974. El conjunto de características que reúne ésta Presa, la sitúa como el Proyecto básico para el desarrollo integral del Río Grijalva. Su almacenamiento de $18,500 \times 10^6 \text{ m}^3$ de capacidad total, permite regular un escurrimiento medio anual de 11,824 millones de M^3 . Tiene instalados 916 mw con un factor de Planta de 0.35

La tercera etapa la constituye la Planta Hidroeléctrica "Manuel Moreno Torres" (Chicoasén). La Comisión Federal de Electricidad la construyó durante el período de 1974 a 1980 en su primera etapa con capacidad de 1,500 mw, que en una segunda etapa podría elevarse a 2,400 mw. Esta planta aprovecha 190 m. de desnivel de los 246 que existen entre la descarga de

la Presa "Angostura" y el desnivel de aguas máximas de la presa "Malpaso" tiene un factor de planta de - 0.25

El cuarto aprovechamiento del "Plan Integral del Río Grijalva", con el fin de aprovechar el último escalón importante sobre el cauce principal, lo constituye el Proyecto Hidroeléctrico "Peñitas", a aguas abajo de Malpaso. Actualmente en etapa de construcción y al quedar concluido tendrá una capacidad instalada de 424 mw (generará 1,750 millones de Kwh al año). El factor de planta una vez concluido el proyecto será de 0.40

En la figura No. 1 se muestran dichos aprovechamientos y al quedar terminado el cuarto, la capacidad total instalada en la Cuenca del Río Grijalva, será del orden de 5,000 mw (5'000,000 Kw) con generación media anual de 12,500 millones de Kwh. El caudal medio anual regularizado será de 800 M3/seg.

El Proyecto y construcción de una obra hidráulica de este tipo implican una serie de problemas derivados de la realización de la estructura principal, la Cortina. El tratamiento de la cimentación de la Cortina para reducir el flujo a través de ella reviste gran importancia, ya que de ello depende la estanqueidad y funcionamiento de la Presa.

La Presa de materiales graduados que se está construyendo en el P.H. Peñitas, está desplantada sobre aluviones que alcanzan en el sitio espesores del

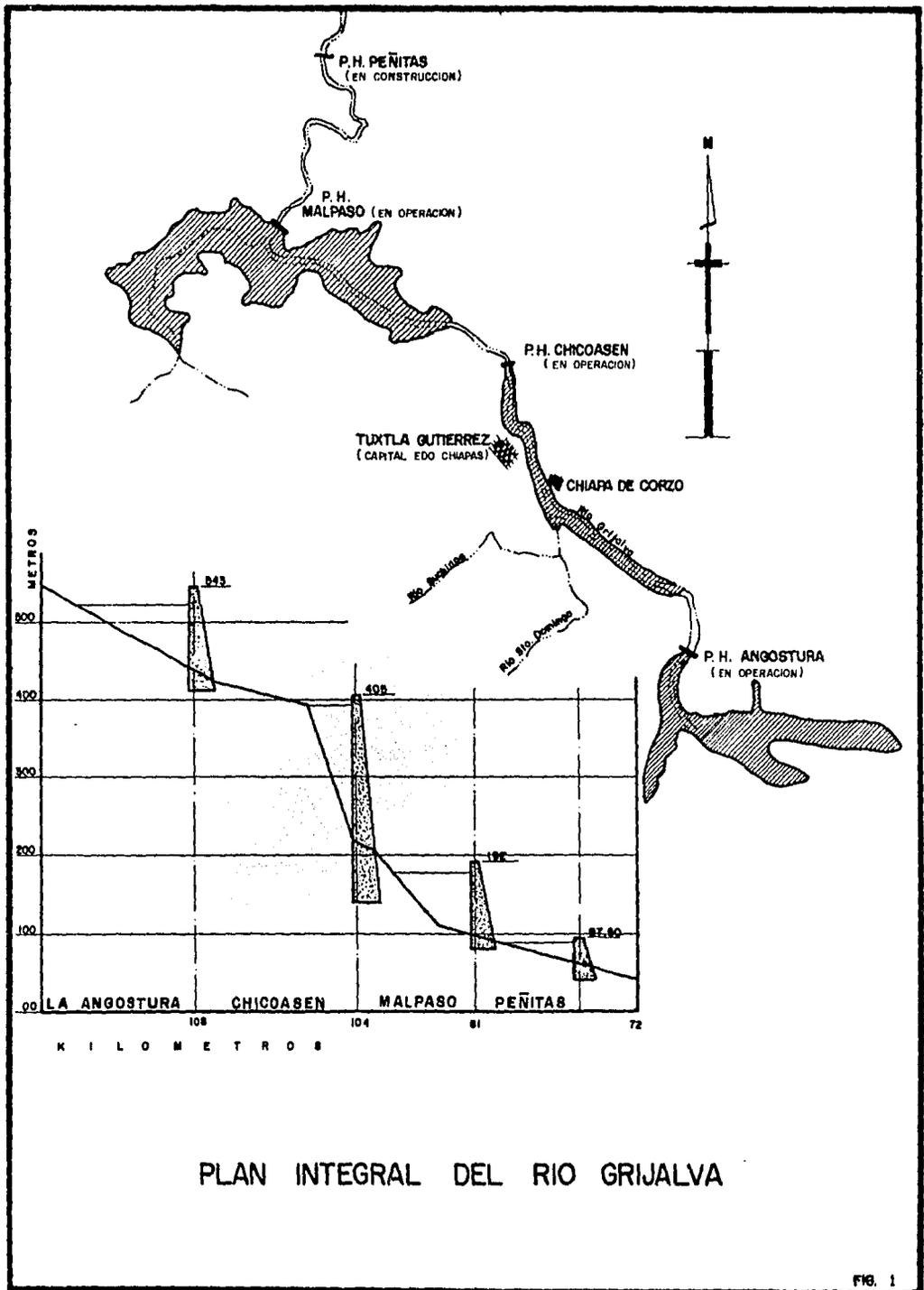


FIG. 1

orden de 55 m. Como era imposible tanto técnica como económicamente evacuar estos materiales y dada la amplitud del cauce, se optó por construir un Muro Pantalla para lograr la impermeabilización bajo la Cortina.

Esta Pantalla es sin lugar a dudas una de las estructuras ingenieriles más importantes, tanto por su complejidad técnica, como por las inversiones que requiere y los servicios que presta.

El presente trabajo describe el procedimiento constructivo del Muro-Pantalla, el cual tuvo su origen en este Proyecto y se ha modificado sobre la marcha hasta alcanzar las soluciones óptimas de construcción.

Confío en que el contenido del mismo pueda interesar y ser útil a todas aquellas personas, que de una u otra forma, se dedican al campo, no siempre fácil, de los trabajos de Tratamiento de la Roca, comunes a las distintas ramas de la Ingeniería.

1.1.- LOCALIZACION DEL P.H. PEÑITAS.

El Proyecto Hidroeléctrico Peñitas, se encuentra situado al Sureste de México en el Estado de Chiapas y en el municipio de Ostuacán, muy próximo a los límites del Estado de Tabasco; tomando como refe

rencia Tuxtla Gutiérrez, la boquilla se localiza a - 85 km al NE de ésta Ciudad. Sus coordenadas geográficas son aproximadamente 17°26' Norte y 93°28' Oeste.

El acceso más favorable que conduce al Proyecto es partiendo de la ciudad de Villahermosa, Tabasco, por carretera pavimentada pasando por las siguientes poblaciones: Cárdenas, Huimanguillo, Chontalpa, Plan de Ayala, Peñitas. Sin embargo el otro acceso que en su mayoría es terracería, tiene mayor utilización, ya que gran parte de la mano de obra que C.F.E. emplea en el Proyecto, proviene de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Este camino pasa por las siguientes poblaciones: Tuxtla Gutiérrez-Chicoasén (pavimentado), Copainalá-Tecpatán-Malpasso (terracería) y Malpasso-Peñitas (pavimentado), en la figura No. 2 se muestra el croquis de localización.

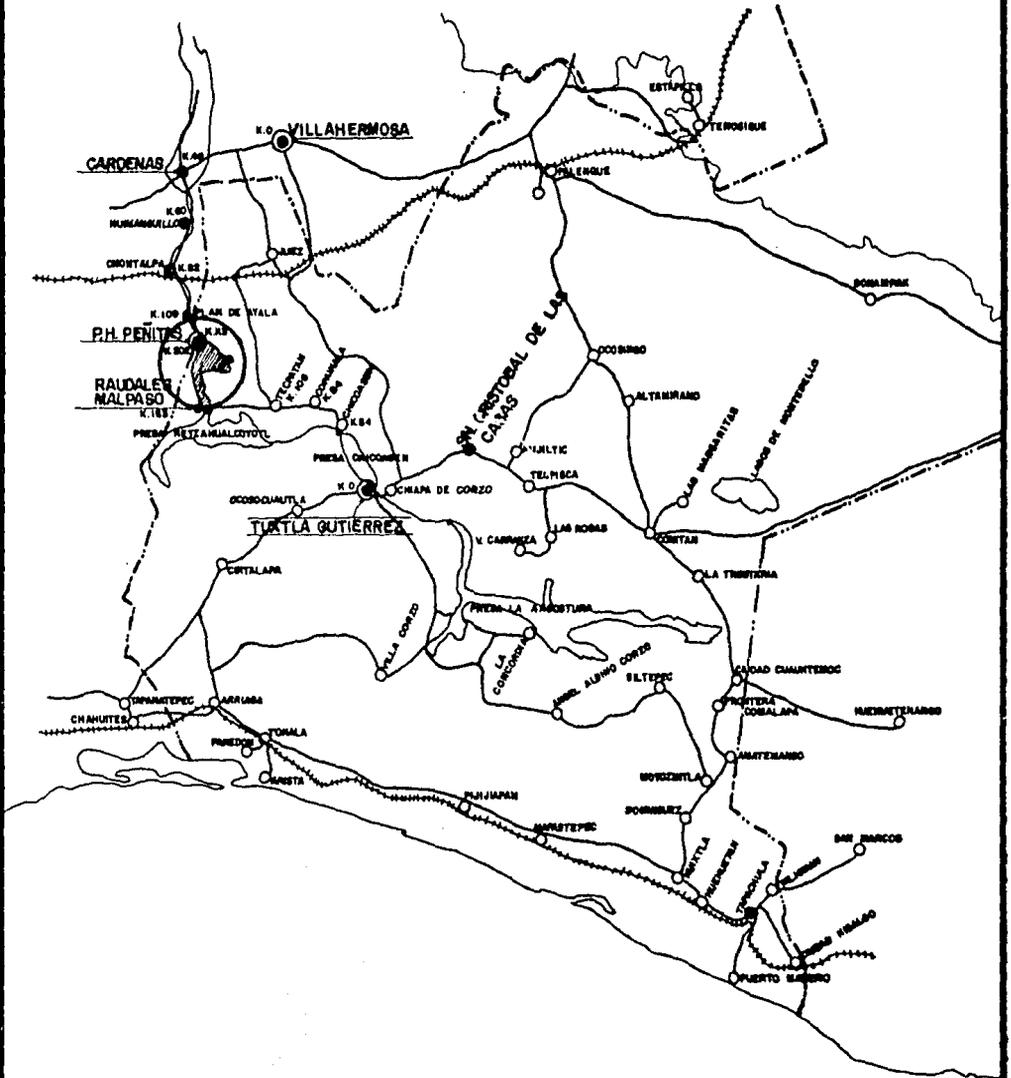
1.2.- ESTUDIOS PRELIMINARES.-

Para complementar la factibilidad del P.H. - Peñitas, se realizaron varios estudios, que apoyaron la decisión de construir el Proyecto.

O R O G R A F I A .-

La parte alta de la cuenca del Río Grijalva se encuentra limitada en gran parte por la continua-

ESTADO DE CHIAPAS



CROQUIS DE LOCALIZACION
DEL P. H. PENITAS

ción de la Sierra Madre del Sur, que se interna hacia Guatemala, constituyendo el parteaguas continental, - cuyas altitudes oscilan entre los 4,000 y 2,000 msnm.

Al internarse en territorio nacional, la parte media del Río Grijalva está alojada en la llamada Depresión de Chiapas, caracterizada por amplio valle con elevaciones que oscilan entre los 600 y 400 msnm; con suave pendiente en el cauce, aún cuando en algunos de los afluentes, tales como Tzimol, se encuentran grandes caídas, salvando fuertes desniveles.

Agua abajo de la confluencia con el Río Dorado, se encuentran la zona de pronunciados estrechamientos, denominado Cañón de la Angostura, con una longitud aproximada de 30 km, para continuar en el Valle que termina en las cercanías de Chiapa de Corzo; aguas abajo de ésta población, nuevamente se estrecha el cauce en el Cañón del Sumidero, en una longitud aproximada de 35 km, hasta las cercanías del poblado de Chicoasén.

A continuación se encuentran estrechamientos menores como el de la boquilla de Malpaso, donde se encuentra alojada la Presa Netzahualcóyotl. Finalmente aguas abajo se encuentra el estrechamiento de Peñitas, en el que principia el cono de deyección del Río y se inician las extensas planicies del Estado de Tabasco.

HIDROGRAFIA.-

Los formadores del Río Grijalva nacen en Guatemala y éste toma su nombre aguas abajo de la confluencia de los Ríos San Gregorio y San Miguel.

El alto Grijalva, desde su nacimiento, sigue una dirección general hacia el noroeste y después de unirsele el Río de la Venta en Malpaso, cambia de dirección hacia el Norte, hasta cerca de la población de Cárdenas, Tabasco, en donde se dirige al Oriente; pasando la Ciudad de Villahermosa vuelve a modificar su curso hacia el Norte, conservandolo hasta su desembocadura en el Golfo de México, cerca de la población de Frontera, Tabasco, después de unirse al Río-Usumacinta.

Los principales afluentes del Río Grijalva son, por la margen izquierda los Ríos: Salinas, Concordia, Dorado, Santo Domingo, Suchiapa, Sabinal y la Venta; por la margen derecha los Ríos: Blanco, la Angostura, Hondo, Chicoasén, Tzimbanchó, Sayula, Platanar, Pichucalco, De la Tierra, Tacotalpa, Macuspána y Tulijá.

ESTUDIOS HIDROLOGICOS.-

El régimen pluviométrico establece dos períodos bien definidos, uno que corresponde a los meses-

de Julio a Noviembre en el que tienen lugar las precipitaciones máximas como consecuencia de las perturbaciones ciclónicas que se generán en el Golfo de México y el Mar Caribe y un período de estiaje que comprende los meses de diciembre a junio.

Los escurrimientos registrados en la estación hidrométrica "Las Peñitas" sirvió de base para determinar el volumen escurrido hasta el sitio del Proyecto, la estación se encuentra situada a 3 km. aguas abajo de la boquilla. Para calcular las aportaciones al vaso de "Peñitas", se tomaron en cuenta los escurrimientos de los vasos de Angostura, Chicóasen y Malpaso y el gasto de su propia cuenca. Con los datos resultantes se hicieron simulaciones de funcionamiento del vaso de Peñitas con diferentes parámetros. De ésta manera el gasto máximo de la avenida de desvío se estimó en 7,090 m³/seg., que resultó el probable para una frecuencia de 5 a 100 años que toma en cuenta una aportación de 1,440 m³/seg. de Malpaso (Gasto máximo turbinado por 6 unidades).

La avenida máxima probable para el diseño de la obra de excedencias se determinó comparando los valores obtenidos por varios métodos probabilísticos, estudios hidrometeorológicos y envolventes de Creager, concluyendo por seleccionar el valor de 22,877 m³/seg. como gasto máximo probable para el sitio.

ESTUDIOS METEREOLÓGICOS.-

En la mayor parte de la zona donde se localiza el embalse el clima es tropical y los datos obtenidos de las estaciones hidrométricas "Las Peñitas", "Tzimbac" y "Sayula" son los siguientes:

Precipitación.- El valor promedio registrado en la estación "Las Peñitas" es de 3,247 mm.

Temperatura.- Según registros de las estaciones climatológicas "Malpaso" y "Peñitas" los valores promedios son:

Máxima	=	46°	C
Media	=	25°	C
Mínima	=	11°	C

Evaporación.- Debido a las altas precipitaciones, la evaporación no es muy grande a pesar de las altas temperaturas registradas, la evaporación media en la estación "Las Peñitas" es de 1,200 mm. para el período de 1967-80.

ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS.-

La Compañía Mexicana de Aerofoto, S. A., (C.M.A.S.A.), elaboró el levantamiento Aero-Fotográfico del Río Grijalva, abarcando desde la zona del

vaso de Malpaso hasta aguas abajo de la boquilla de Peñitas en escala 1:10,000 con curvas de nivel a cada 10 m. En C.F.E., existe una reducción a escala 1:20,000 de dicho levantamiento, con el que se elaboró la curva elevaciones-áreas-capacidades del vaso de Peñitas.

La C.M.A.S.A., restituyó para C.F.E., a escala 1:1,000 con curvas de nivel a cada metro, la zona de la boquilla y la zona de Puerto en la margen derecha C.F.E., en julio de 1975 efectuó la topografía terrestre de la zona de la boquilla escala 1:1,000 con curvas de nivel a cada metro.

ESTUDIOS GEOLOGICOS.-

Los estudios Geológicos para éste Proyecto se realizaron en el período de 1965-77 y el resultado de éstas campañas se resume a continuación:

En general las formaciones que afloran y que son de interés para el Proyecto, están constituidas básicamente por areniscas, lutitas y algunos conglomerados locales de edad terciaria. Esta formación tiene un espesor mayor de 1,000 m. y su echado general es de sur a norte y en sí por sus características litológicas constituyen un paquete impermeable que asegura la estanqueidad del vaso.

A corta distancia aguas arriba de la boquilla, se observa una zona acantilada bien alineada que hace suponer la presencia de una falla o bien que se debe a la diferencia de dureza de distintas capas asociadas con un sistema de fracturamiento que al ser erosionadas forman bloques inestables, los que al desprenderse han dado origen a los cantiles y éstas fracturas no son motivo de preocupación para el funcionamiento de la presa.

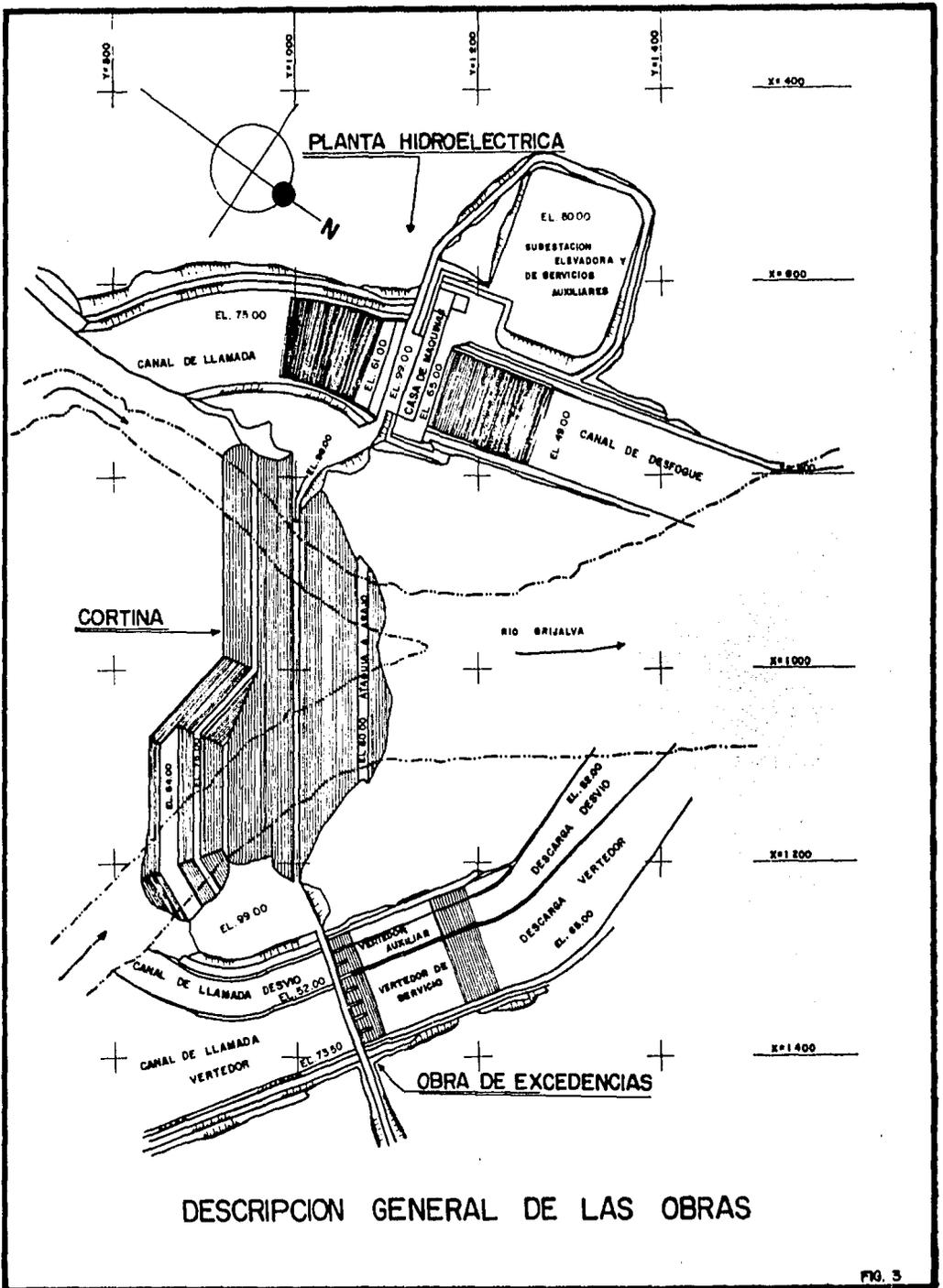
1.3.- DESCRIPCION GENERAL DE LAS OBRAS.-

El P.H. Peñitas, comprende cuatro obras principales:- Obra de Excedencias, Obra de Desvío, Planta Hidroeléctrica y Obra de Contención. Ver figura No. 3.

OBRA DE DESVIO Y DE EXCEDENCIAS

Ambas obras se localizan en la margen derecha del río y están integradas en una sola estructura que funcionará de la siguiente manera:

La Obra de Desvío está desplantada en la elev. 52, con un ancho de 45 m. en el Canal de Llamada, reduciéndolo a 35 m. por una transición en la zona de estructuras y una longitud total de 827.50 m, con una pendiente de 0.001. El desvío tendrá una capacidad de 8,700 m³/seg. con salida de 4,230 m³/seg. y velocidad de 10.1 m/seg.



DESCRIPCION GENERAL DE LAS OBRAS

Para cerrar el desvío se tiene previsto colocar un tapón de concreto en la zona de estructuras y posteriormente al cierre, rellenar con concreto el canal que funcionó como desvío, hasta la elev. 65, para formar el vertedor auxiliar, tal y como se muestra en la figura No. 4.

La obra de Excedencias tiene la función de controlar la descarga del volumen de agua que se considera excedente de la capacidad útil del vaso almacenador. Está formada por un canal de sección trapezoidal con un ancho de 144 m. a los cuales los divide un muro de 4 m. de ancho en la base y altura variable, para separar el vertedor de Servicio y el Auxiliar. La longitud del mismo es de 890 m. con una pendiente de 0.00420 y taludes de 0.25:1 y 0.5:1 en ambos lados del canal.

La capacidad del vertedor de demasías está proyectada para controlar y regular la descarga de un volumen de 18,271 m³/seg, que corresponde a una avenida de 22,877 m³/seg.

PLANTA HIDROELECTRICA.-

La Planta Hidroeléctrica se encuentra localizada en la margen izquierda del Río y está formada por las siguientes estructuras: Obra de Toma, Tubería de Conducción, Casa de Máquinas, Canal de Desfogue y Subestación Eléctrica. Tiene como principal ob

jetivo la generación de energía eléctrica, en general, funcionará de la siguiente manera: Del vaso de almacenamiento se encauza el agua a través del canal de Llamada de la Obra de Toma, de aquí se envía por medio de Tuberías de Conducción a la Casa de Máquinas para operar las unidades generadoras y finalmente restituir al Río el gasto utilizado, a través del Canal de Desfogue.- La capacidad instalada en ésta Planta será de 424 mw distribuída en 4 turbinas tipo kaplan de eje vertical, las cuales generarán 106 mw. cada una, con un gasto máximo de 339 m³/seg. por unidad.

A continuación se describen brevemente las estructuras que integran la Planta Hidroeléctrica.

La Obra de Toma está formada por un Canal de Llamada y cuatro bocatomas. El Canal de Llamada tiene un ancho promedio de 110 m. y una longitud de 358 m. de los cuales 140 m. son rampa, a partir de las bocatomas hacia aguas arriba, con una pendiente de $S=0.177$.

Las Bocatomas cuentan con sus respectivas rejillas y compuertas, tanto de servicio como auxiliares, las cuales serán operadas por servomotores y grúa pórtico. El volumen por excavar en el Canal de Llamada será del orden de 1'850,000 m³.

Las Tuberías de Conducción tendrán un a o g

tud aproximada de 34 m. con un ancho de 20 m. y una altura de 12 m, éstas tendrán una pila central con un ancho de 2.0 m. Dichas tuberías serán totalmente de concreto armado, representando toda la estructura 102,900 M3.

La Casa de Máquinas se construirá a cielo abierto con carcasas de concreto armado, para alojar 4 turbinas tipo kaplan que serán desplantadas a la elev. 21 m.s.n.m. Tendrá una longitud de 106 m, un ancho de 21 m y una altura de 29 m. El volumen de concreto a colocar será de 84,822 m3.

El Desfogue tendrá dos tipos de secciones: - la primera sección será un túnel de forma abocinada, con una longitud aproximada de 18.60 m y un ancho de 17.60 por unidad, el cual tendrá una pila central de 2.0 m de espesor, a la salida del abocinamiento se instalarán dos compuertas respectivamente en cada unidad. La segunda sección la forma un Canal trapezoidal con una longitud de 429 m y un ancho de 102 m, con taludes recubiertos de concreto lanzado. El volumen de concreto de ésta estructura es de 43,600 m3.

La Subestación que se localiza en el lado izquierdo de Casa de Máquinas, recibe los cables aislados de los transformadores de cada unidad y se interconecta al Sistema Eléctrico Nacional a través de 4 circuitos a 230 kv. En la figura No. 5 se muestra-

el perfil longitudinal por el eje de la Planta Hidroeléctrica.

OBRA DE CONTENCION.

La Obra de Contención se localiza sobre el Río Grijalva y está formada por el cuerpo principal de la Cortina, una atagüa aguas abajo formando plataforma a la elevación 60 y una preatagüa en la zona de cierre del río a la elevación 75. La estructura en general se desplanta desde la elevación 10 hasta la elevación 99, de los cuales de la elevación 55 a la 99 se encuentra el cuerpo de la Cortina y de la 60 a la 10 el Muro de concreto plástico que evitará el paso del agua a través de los aluviones. En la figura No. 6 se muestra este esquema.

Cabe señalar dentro de la Obra de Contención el plano de estanqueidad, que se construirá a lo largo del eje de todas las estructuras del proyecto, que asegurará principalmente la eficiencia del vaso, cumpliendo de esta manera con los fines de la obra.

Esta barrera impermeable estará formada por una pantalla de inyecciones a través del macizo rocoso, ya sea construida desde la superficie o bien desde las galerías, tanto en la Obra de Excedencias como en la Planta Hidroeléctrica. Por lo que respecta a la Cortina, la barrera la constituye la propia Cor

tina con su corazón impermeable, los apoyos de la misma tratados por medio de inyecciones y en su cimentación tenemos el Muro de mortero plástico. En la figura No. 6A observamos el plano de estanqueidad.

Como se comentó en la introducción, el presente trabajo precisamente se enfocará a describir el procedimiento constructivo del Muro-Pantalla, que como se ha descrito es una estructura de la que dependerá en gran parte el funcionamiento de la obra.

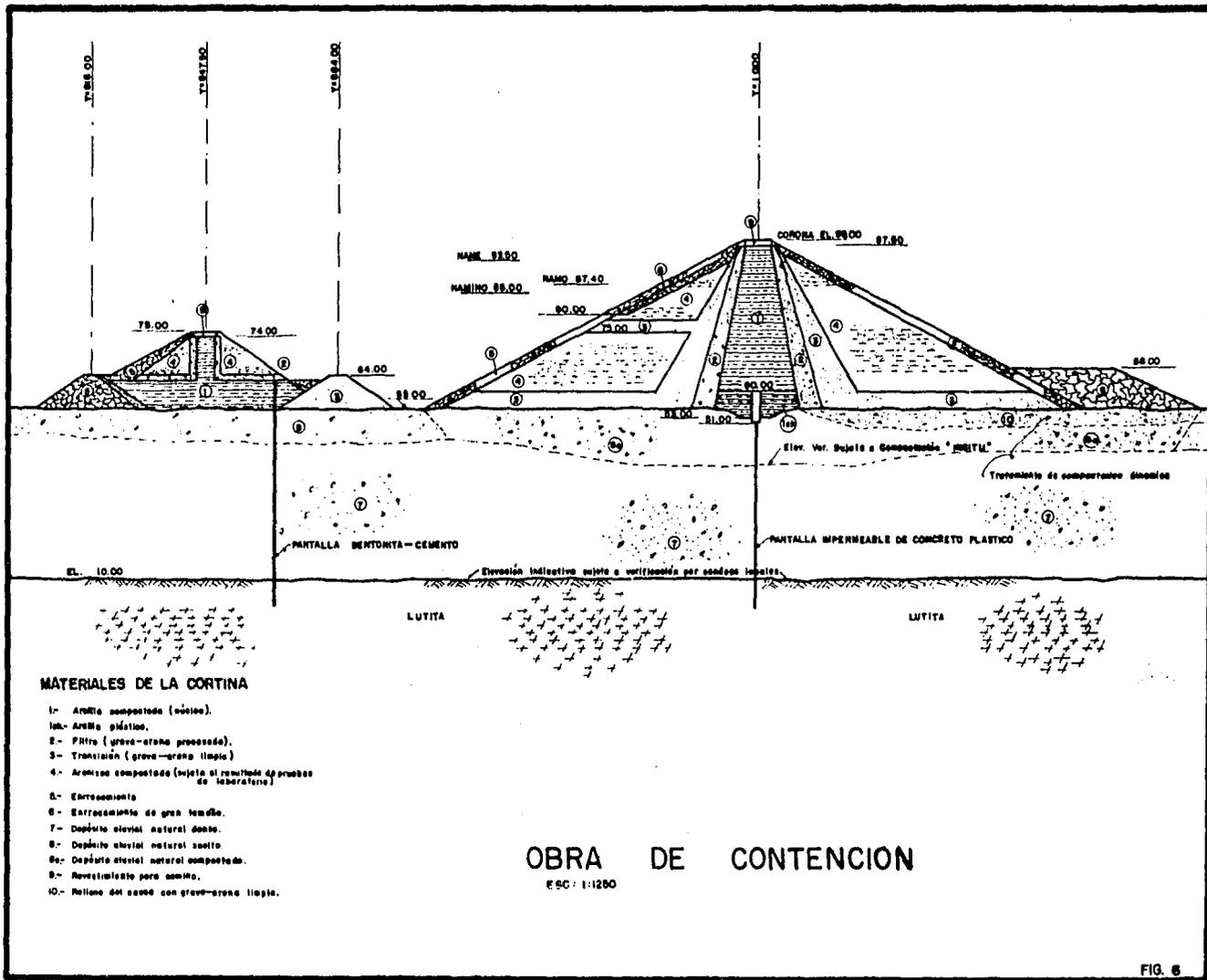


FIG. 6

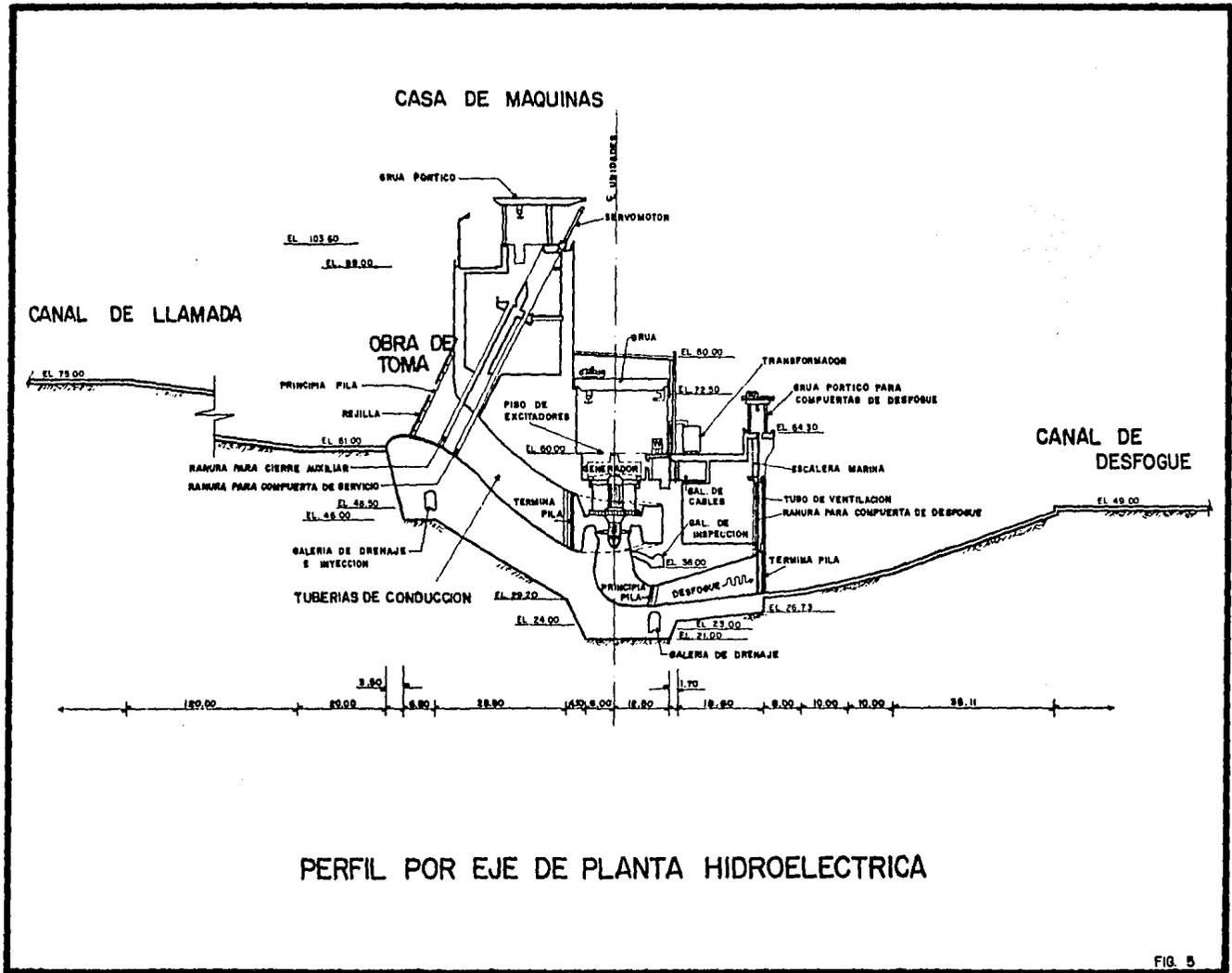
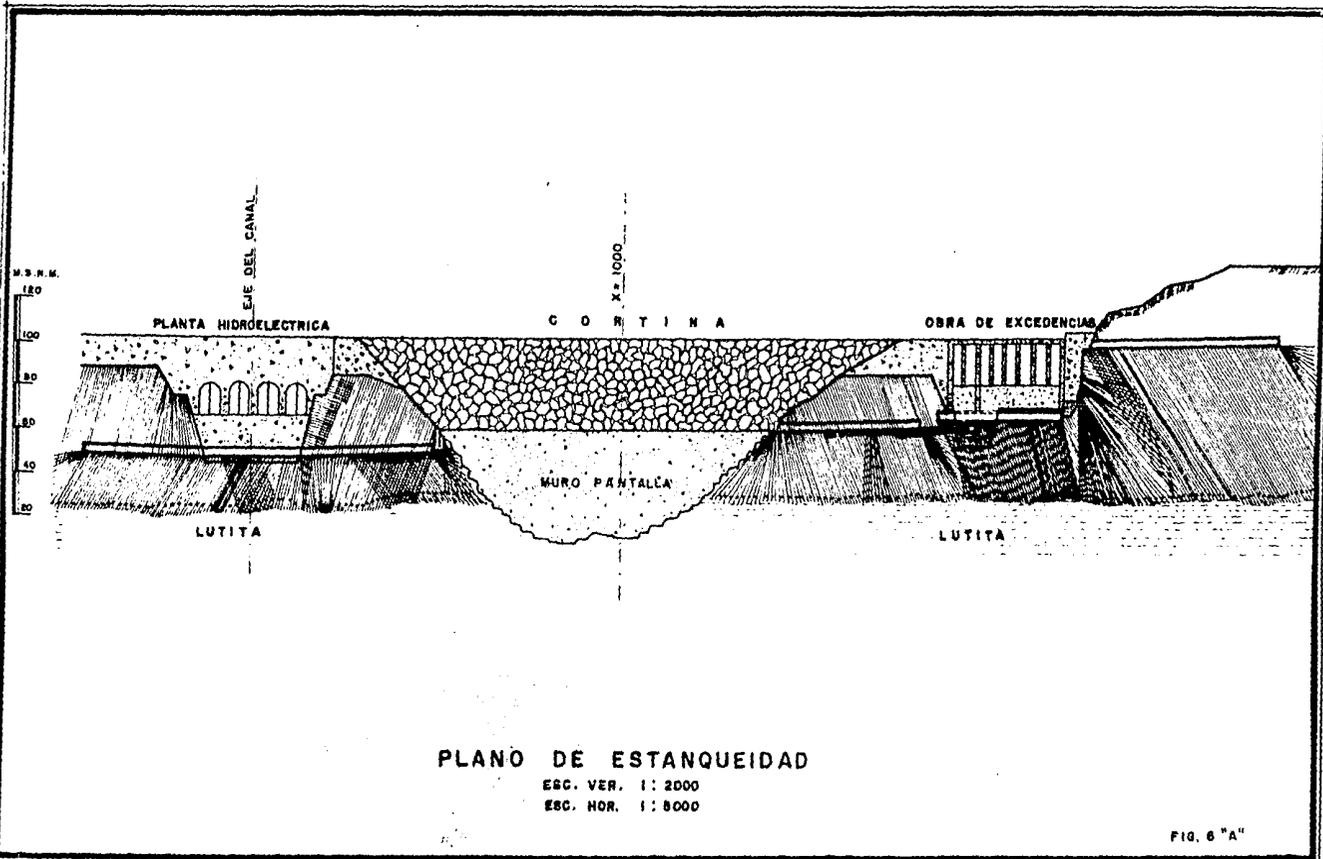


FIG. 5



PLANO DE ESTANQUEIDAD

ESC. VER. 1 : 2000
 ESC. HOR. 1 : 5000

FIG. 6 "A"

CAPITULO II

ASPECTOS GENERALES DE LOS MUROS-PANTALLA

La Técnica de ejecución de Muros-Pantalla es muy moderna y se ha desarrollado enormemente en varios sectores de la Ingeniería en los últimos años.- Este procedimiento surgió debido a la necesidad de construir proyectos que en el pasado fueron desechados, por las dificultades técnicas que presentaba la impermeabilización de las capas permeables donde se desplantaban dichas obras.

2.1.- ORIGEN.-

El auge de la moderna técnica de Construcción de Muros-Pantalla en el interior del terreno se remonta a los años 50, habiendo experimentado posteriormente un gran desarrollo en Europa.

El procedimiento tiene su origen en Italia - donde dos Ingenieros - Veder (1952) y Marconi (1953)- lo descubrieron simultáneamente.

La idea esencial consiste en ejecutar una -

trincheras profundas, utilizando lodos de perforación para estabilizar las paredes. Esta utilización era normalmente usada desde el principio de siglo en las perforaciones rotatorias, pero ciertamente fue hasta mucho más tarde que se utilizó, para perforaciones rectangulares de gran tamaño. A medida que avanza la excavación se va rellenando de lodo hasta la terminación de la misma, con la finalidad de mantenerla estable. Una vez terminada la excavación, se llena inmediatamente de concreto, colocado bajo el lodo mediante un conducto de alimentación conectado hasta el fondo de esta, este permite la ejecución continua del Muro enterrado. De ahí el nombre empleado corrientemente de Muro continuo. El lodo estabilizador es desplazado por el concreto plástico, por diferencia de densidades entre ambos.

En efecto, el nuevo sistema, además de solucionar en forma más económica y técnicamente mejor muchos de los problemas que se confiaban entonces a los métodos tradicionales, no siempre de posible aplicación, permitía en un plan práctico y económico unas realizaciones hasta aquel momento consideradas imposibles.

Al principio, el Muro enterrado en el suelo apareció como un perfeccionamiento de las pantallas realizadas con pilotes contiguos o secantes. Posteriormente la nueva técnica ha eliminado prácticamente este procedimiento.

2.2.- GENERALIDADES.

Uno de los problemas frecuentemente relacionados con la construcción de una Presa de tierra desplantada en suelos permeables es el de la creación de un núcleo debajo del cuerpo de la misma para cortar las filtraciones.

La distribución estatigráfica del terreno en los cimientos de una Presa de tierra se presenta muchas veces caracterizada por la existencia, hasta una cierta profundidad, de capas de material aluvial-permeable, y de capas subyacentes de material con buenas características de impermeabilidad, tales como formaciones de arcillas compactas o en otros casos, de la misma roca del valle.

En el caso en que la capa aluvial permeable sea de pequeño espesor, hasta unos 10 metros, se prevee normalmente en el Proyecto la evacuación del mencionado material aluvial en toda la zona afectada por la presa, apoyando la misma sobre formaciones de terreno o roca impermeable con objeto de obtener un perfecto cierre hidráulico; mientras que cuando el espesor de la capa de material aluvial es elevado 10-15 m y aún más, se presenta el problema de la creación en el terreno de un elemento impermeable (muro-pantalla o pantalla por inyecciones), como prolongación del núcleo mismo de la presa, hasta alcanzar las formaciones subyacentes que garanticen la im

permeabilidad del conjunto.

Tanto por unirse superiormente con el núcleo de la presa, como por la verticalidad de las paredes de la excavación, éste muro necesita una sección de gran importancia constituyendo así una masa de material incorporada "in situ" al terreno con características mecánicas similares que las del mismo.

La existencia de la capa freática en el material aluvial puede constituir una grave dificultad para las excavaciones, dificultad a veces insuperable si la capa freática es abundante y el coeficiente de permeabilidad del terreno es elevado y más aún si la excavación es profunda.

El empleo de los muros-pantalla en presas de tierra, permite superar eficientemente todos los problemas relacionados con la impermeabilización del terreno subyacente al cuerpo de la presa, obteniendo en definitiva las ventajas siguientes:

- La pantalla constituye una pared continua-impermeable y se puede adaptar sin dificultad al perfil de la presa, pudiendo ser, de hecho, recta, curvilínea, etc.

- Durante la excavación del muro es posible-

examinar los materiales atravesados y así comprobar la profundidad de empotramiento de la extremidad inferior de la misma en los materiales impermeables o en las formaciones rocosas del fondo.

- La existencia de una capa freática no elimina la posibilidad de construir el muro, ya que precisamente este procedimiento, permite el trabajo en presencia de una capa de agua.

- El volumen de trabajo necesario para la ejecución de la pantalla, comparado con el volumen correspondiente a una cortina realizada con métodos tradicionales, hacen patente la considerable economía que se puede alcanzar con la ejecución de aquella.

- Es posible obtener un acoplamiento entre el núcleo impermeable de la presa y la parte superior de la pantalla, haciendo en la coronación de ésta, una cabeza especial capaz de proporcionar un cierre hidráulicamente perfecto, a pesar de asentamientos del cuerpo de la presa y del terreno de apoyo.

- La realización de la pantalla no afecta en absoluto al terreno circundante; por otra parte la penetración del lodo bentonítico permite conseguir una zona impermeabilizada adyacente al muro-pantalla

que garantiza además la funcionalidad de la obra.

- La pantalla, en caso necesario, puede ir armada en toda su altura; esto es especialmente útil en aquellos lugares en que sea preciso el acoplamiento de la pantalla con otras obras o allí donde los empujes del terreno o del agua lo hagan necesario.

- Siempre es posible realizar la pantalla, aún cuando el banco de aluvión permeable, sobre el que se ha de construir la misma esté formado por material escabroso con presencia de bloques, recurriendo a procedimientos técnicos adecuados.

- La profundidad alcanzable por la pantalla es suficiente para la impermeabilización de los estratos aluviales que se suelen encontrar en la construcción de presas de tierra, incluso en las de gran altura. Ya se han ejecutado pantallas que se aproximan a los 100 metros de profundidad.

- La morfología del valle en que debe realizarse la Presa, la situación del manto impermeable, el perfil de la masa rocosa, etc; no impiden la ejecución de la pantalla, que puede por el contrario -

adaptarse a la estratigrafía del terreno subyacente, siendo también posible que el empotramiento de la pantalla siga la configuración geométrica de las capas impermeables.

Además, desde el punto de vista constructivo se puede ejecutar la pantalla incluso en aquellos casos, frecuentes en los estribos de presas, en que hayan de efectuarse los trabajos en laderas con fuertes pendientes.

- La comparación entre el tiempo de ejecución de una pantalla y el de un macizo de gran sección siguiendo los métodos tradicionales, muestra ostensiblemente la velocidad de ejecución de las pantallas, velocidad que depende evidentemente de la naturaleza de los materiales encontrados y de la profundidad; velocidad que puede variarse a voluntad según el número de equipos que se empleen.

- La ejecución de una pantalla debajo de una presa de tierra, en caso de que exista un perfil rocoso en el que deba empotrarse, puede completarse con inyecciones de mezclas de cemento que impermeabilicen la roca subyacente en la pantalla durante la construcción de la misma.

Las ventajas que se obtienen al ejecutar una pantalla en la construcción de una presa de tierra, son ventajas debidas a sus características técnicas,

funcionales y de ejecución, han llamado desde hace mucho tiempo la atención por lo que ha sido posible ejecutar pantallas en numerosas obras de todo el mundo. Resumiendo, del análisis de éstas ventajas se desprende claramente como la ejecución de una pantalla, como prolongación del núcleo impermeable de una presa de tierra, evita la realización onerosa de grandes excavaciones, elimina la necesidad de suministro de los materiales impermeables para la creación de la Cortina según métodos tradicionales, reduce las fases de trabajo y acelera los tiempos de ejecución; desde un punto de vista técnico, una pantalla realiza en definitiva, una obra de impermeabilización con solución de continuidad en el terreno, cuya estanqueidad, además de estar garantizada por la pantalla misma, lo está también por los lodos bentónicos introducidos en el terreno, formando una faja impermeable, en las dos paredes laterales, que garantizan la mencionada estanqueidad; finalmente, la ejecución de la pantalla no altera lo más mínimo la situación existente en el terreno colindante.

2.2.- TIPOS DE MUROS-PANTALLA.-

En general comentaremos que existen dos tipos de pantallas, las rígidas (concreto armado o enmasa) y las plásticas (concreto-bentonita-arcilla).

PANTALLAS RIGIDAS.-

Las primeras obras construidas empleando con creto armado o en masa, perseguían fines puramente - hidráulicos (tales como pantallas con función de núcleo impermeable para diques, presas fluviales etc.) o de excavaciones que se realicen en general, por de bajo del nivel freático. Sin embargo en el campo de las obras hidráulicas se les ha presentado a proyectistas y constructores, el problema de construir pantallas con materiales que además de asegurar la impermeabilidad, sean capaces de adaptarse a los posibles asentamientos del terreno.

Basta pensar, por ejemplo, en el caso de las pantallas empleadas como núcleo bajo presas de tierra en las que se produzca un asentamiento sensible del terreno, después de la construcción de la parte superior, a consecuencia del embalse, etc. y que, por lo tanto pueden ser sometidas a solicitaciones - tales que, si el núcleo es rígido, se puede fisurar o sufrir algún otro daño, con la consiguiente pérdida de su característica fundamental: la impermeabilidad.

PANTALLAS PLASTICAS.-

Para poder resolver este problema en cualquier caso se ha recurrido al empleo de mezclas de tres componentes: cemento, bentonita y limo o arcilla con bentonita, obteniéndose así un comportamiento del conjunto suficientemente plástico.

La creciente frecuencia con que se presentan los trabajos de este tipo, las mayores alturas de embalse y por lo tanto, las mayores dimensiones de las obras superiores; así como la gran variedad de terrenos afectados, han obligado a buscar nuevas soluciones técnicas que permitan construir las pantallas cada vez más complicadas y en mayor número con la me -
jor adaptabilidad posible a los asentamientos del terreno y procurando mejorar o al menos mantener sus -
características de impermeabilidad.

Al tratarse según se ha visto, de una transición racional y progresiva desde el empleo de mate -
riales de consistencia rígida (hormigón de cemento), pasando por otros semi-plásticos (mezclas ternarias) hasta llegar finalmente al empleo de materiales de -
alta plasticidad y tenacidad y con una cierta elasticidad de conjunto, ha resultado lógico recurrir a -
las mezclas de soluciones coloidales; a base de silicatos y reactivos orgánicos e inorgánicos, de solu -
ciones de resinas, etc.

2.4.- UTILIZACION DE LAS PANTALLAS.-

Las pantallas se han impuesto en los distintos sectores de la Ingeniería, como carreteras, fe -
rrocarriles, urbanismo, industria y obra marítima. -
Mientras que en un principio se empleaban exclusiva -
mente para constituir cortinas impermeables en el te

treno, hoy se emplean en las funciones más variadas (estructuras portantes, paredes definitivas para futuras obras, muros de contención, etc). Se pueden emplear pantallas para la solución de problemas que comprenden, la construcción de estacionamientos subterráneos, hasta la defensa de las margenes de ríos o canales; desde la realización de pozos profundos, hasta la función impermeabilizante del subsuelo en presas de tierra; desde la formación de las paredes laterales para la construcción de túneles, hasta la captación de manantiales de aguas freáticas. A continuación describiremos brevemente la utilización de los muros-pantalla en las diferentes ramas de la Ingeniería.

2.4.1.- LOS MUROS-PANTALLA EN OBRAS PUBLICAS

2.4.1.1.- CUBETAS ESTANCAS.

Los trabajos de aprovechamiento hidroeléctrico de grandes cursos de agua necesitan la excavación de grandes zanjas en terrenos permeables en que el fondo está situado a una profundidad bajo el nivel de la capa freática.

Tales zanjas no pueden ejecutarse más que al abrigo de una pantalla estanca anclada en una capa de terreno impermeable. Cuando no existe una capa de tales características a una profundidad razonable, es preciso completar la pantalla periférica con un

fondo estanco obtenido mediante inyecciones. Se realiza entonces lo que se llama una cubeta estanca y puede estar formada por una pantalla de tablestacas y un fondo inyectado. Si el hincado no es posible a causa de la profundidad o de la naturaleza del terreno, las pantallas periféricas pueden ejecutarse también por inyecciones.

2.4.1.2.- DELANTALES DE PRESAS.

En la construcción de delantales que apoyan sobre aluviones o terrenos blandos, los muros pantalla pueden reemplazar ventajosamente las pantallas de tablestacas o las realizadas mediante inyecciones.

Tienen con relación a la primera solución, la ventaja de poder atravesar obstáculos tales como bloques de piedra y permitir un anclaje definitivo en un eventual estrato rocoso (será necesario naturalmente el uso del trépano).

Con relación a las inyecciones, la ventaja de los muros-pantalla es la certeza absoluta de un cierre con discontinuidades.

2.4.1.3.- OBRAS DE VIALIDAD, ALCANTARILLAS Y GALERIAS.

La solución de los muros-pantalla será interesante cuando las zonas deban atravesar zonas edifica-

ias. Se evitarán así los inconvenientes del hincado de tablestacas y del descenso del nivel freático (que pueden provocar asentamientos importantes en la vecindad). En terrenos acuíferos se podrá realizar eventualmente un fondo inyectado entre las dos pantallas. En estos casos se prevé normalmente reforzarla obra mediante dos muros transversales provisionales. La excavación se realiza entonces en una serie de recintos estancos. En general, se colocan separadores horizontales apoyando sobre los dos muros-pantalla opuestos a medida que se va excavando. Naturalmente son posibles otras soluciones. A veces se puede ejecutar la cubierta de la obra en primer lugar y luego excavar un túnel.

Según los casos, los muros-pantalla se incorporan definitivamente a la obra o bien no tienen otra misión que la de sostenimiento de la excavación y eventualmente la estanqueidad.

2.4.1.4.- RECINTOS CILINDRICOS.-

Para ciertas obras debe ser interesante realizar una atagüa cilíndrica con muro-pantalla. Al mismo tiempo su forma simplifica los problemas de impermeabilización. Sin embargo, no se podrá, excepto para pequeños diámetros del recinto, calcularlo como bóveda. En efecto, es preciso no olvidar que, a pesar de todas las precauciones que se puedan tomar du

rante la ejecución, quedará siempre una delgada capa de bentonita entre la junta de los paneles. Por otra parte, la estructura no es la adecuada para resistir empujes disimétricos. Por éste motivo, a medida que se excava el interior del recinto, se construyen un cierto número de anillos de concreto armado sobre los que se apoyarán los paneles del muro.

2.4.1.5.- MUROS DE GRAN INERCIA.

En ciertos casos, principalmente cuando el muro-pantalla actúa como muro de contención, puede ser interesante aumentar su inercia. Para ello puede aumentarse su espesor, pero un método más eficaz y económico es el de darle al panel una forma de T. Se obtienen así muros con gran inercia.

2.4.2.- LOS MUROS PANTALLA EN LOS TRABAJOS DE INSTALACIONES URBANAS.

2.4.2.1.- EL METODO LLAMADO "MURO MILAN".

Este procedimiento constructivo se puso a punto durante los trabajos del Metro de Milán. Actualmente se utiliza corrientemente para la construcción de subterráneos relativamente poco profundos bajo una avenida. Su ventaja reside en el hecho de que con este sistema se perturba muy poco el tránsito de vehículos.

En una primera fase, se construyen los muros pantalla que servirán posteriormente de soporte lateral a la excavación. Después se cuela la losa de cobertura que una vez terminada, permite restablecer completamente la circulación. Los trabajos de excavación y de construcción de la obra se ejecutan a continuación bajo la calzada en servicio.

2.4.2.2.- PASOS SUBTERRANEOS.

Los Muros-Pantalla pueden utilizarse ventajosamente en la construcción de pozos subterráneos. Se empieza por ejecutar el muro y la losa en la mitad de la avenida, quedando la otra mitad abierta al tránsito. Después se desvía la circulación por encima de la losa construída y se ejecuta la otra mitad. La obra propiamente dicha se construye siguiendo el método del Muro-Milán.

2.4.2.3.- ESTACIONAMIENTOS.-

El creciente aumento de vehículos en las grandes ciudades ha dado lugar a dificultades de estacionamiento bien conocidas. Es necesario por tanto la construcción de estacionamientos subterráneos en las zonas más congestionadas. Estos estacionamientos están situados, en general, directamente bajo la avenida y rodeados por edificaciones.

Se comprenden perfectamente las dificultades que se presentan durante la excavación pues, evidentemente, no es posible interrumpir la circulación.

En numerosos casos, la utilización de muros-pantalla resuelve una buena parte de los problemas, permitiendo realizar las excavaciones, al abrigo de una pantalla resistente e impermeable. A veces, la naturaleza del terreno y la presencia de agua subterránea, impone el método como la única solución posible.

2.4.3.- LOS MUROS PANTALLA EN LA EDIFICACION

Actualmente para conseguir permisos de edificación en las grandes ciudades, es frecuente que se exija la condición de construir un cierto número de plazas de garaje en proporción con el número de apartamentos. Esta condición entraña la necesidad de aprovechar el subsuelo para garaje y a veces en varias plantas. La importancia del subsuelo aumenta cada vez más en las construcciones modernas.

Se presenta el problema de la ejecución de excavaciones profundas junto a edificaciones existentes. Estas excavaciones a veces deben hacerse por debajo del nivel freático. En la casi totalidad de los casos la cota de excavación es inferior a la de las cimentaciones colindantes. La técnica de los muros -

pantalla presenta en éstos casos ventajas evidentes:

-Permite evitar los recalces de las construcciones vecinas hasta el fondo de la excavación.

-En el caso en que exista agua, protege la excavación.

-Sirve de cimentación a las cargas periféricas.

Tiene, sin embargo, un inconveniente: en efecto, el muro-pantalla tiene que construirse adosado a los muros existentes, lo que hace perder un poco de espacio que, para terrenos pequeños, puede representar una pérdida. Como consecuencia de ello se procura que el espesor del muro sea el mínimo posible (alrededor de 0.40 m.).

2.4.4.- LOS MUROS-PANTALLA COMO ELEMENTO DE CIMENTACION.

2.4.4.1.- C A J O N E S .

En ciertos casos es posible sustituir los cajones de cimentación (para las pilas de puentes, por ejemplo) por recintos cerrados mediante muros-pantalla. Estos recintos pueden tener cualquier forma, -

principalmente circular o rectangular.

2.4.4.2.- OTROS ELEMENTOS.

Cada vez más se tiende a sustituir los pilotes por paneles de muros-pantalla. Se pueden ejecutar así apoyos de mayor sección: En efecto, un panel de 0.80 m. de espesor y de 5 m. de longitud equivale prácticamente a cuatro pilotes de 1.20 m. de diámetro. Para absorber cargas concentradas muy grandes se pueden realizar por éste método cimentaciones más económicas. Otras ventajas de los paneles es su gran capacidad de carga longitudinal, que permite absorber los momentos debidos a esfuerzos inclinados.

CAPITULO III

MURO PANTALLA DEL P.H. PEÑITAS.

Considerando la importancia que representa - para la obra en conjunto la impermeabilización de la cimentación de la cortina y conociendo el espesor y características de este depósito aluvial altamente permeable, se proyectó construir un Muro-Pantalla sobre el eje de la Cortina, para controlar y reducir - el flujo de agua a través de la cimentación.

En este capítulo se detallan las características generales del Muro-Pantalla del P.H. Peñitas, - así como el esquema y programa general de construcción.

3.1.- ANTECEDENTES.

La presa de materiales graduados del P.H. Peñitas, está actualmente en fase de construcción sobre el río grijalva.

Esta presa tendrá un nivel de coronación a cota 99, desplantandose aproximadamente a cota 55, ya que los resultados satisfactorios obtenidos por la compactación dinámica permiten colocar la Cortina por encima de un terraplén a elev. 55. La impermeabilización de la Cortina se realizará por medio de un núcleo de arcilla que se encuentra centrado respecto a los dos taludes de aguas arriba y aguas abajo, cuyas pendientes son de 2:1.

La cimentación de la presa está constituida por acarreo del río, cuyo espesor por encima de un estrato de lutita subyacente, es del orden de 55 metros. El acarreo de la zona actual de trabajo está formado por arena de gruesa a media, normalmente ligada con limo arcilloso de baja compacidad, entremezclada con grava de hasta \emptyset 10 cm. Este acarreo encuentra a la profundidad de 20 y 30 metros, estratos cementados y por arriba de la lutita del fondo, un espesor de aproximadamente 3 metros, bloques de basalto y granodiorita entre mezclados con arena. Ver figura No. 6.

En un viejo emplazamiento de la obra han si-

do ejecutados en correspondencia al eje de la presa - sondeos, midiendo en ellos las permeabilidades con - pruebas Lefranc, refrendadas posteriormente con pruebas de micromolinete. Estos ensayos nos indican que - la permeabilidad del acarreo es del orden de 1×10^{-2} cm/seg, llegando en algunas zonas al valor de 1×10^{-3} cm/seg.

Conociendo las características del material - existente, el considerable espesor del aluvión y la - imposibilidad económica que significa la remoción de toda la profundidad de éste material para el desplante de la Cortina y los problemas para el control de - las aguas subálveas durante el mismo proceso; se decidió ejecutar en correspondencia al eje de la presa, - una pantalla plástica continua, que deberá cortar el acarreo y lograr la impermeabilización bajo la Cortina hasta empotrarse en lutita, para asegurar la estabilidad conjunta de la obra.

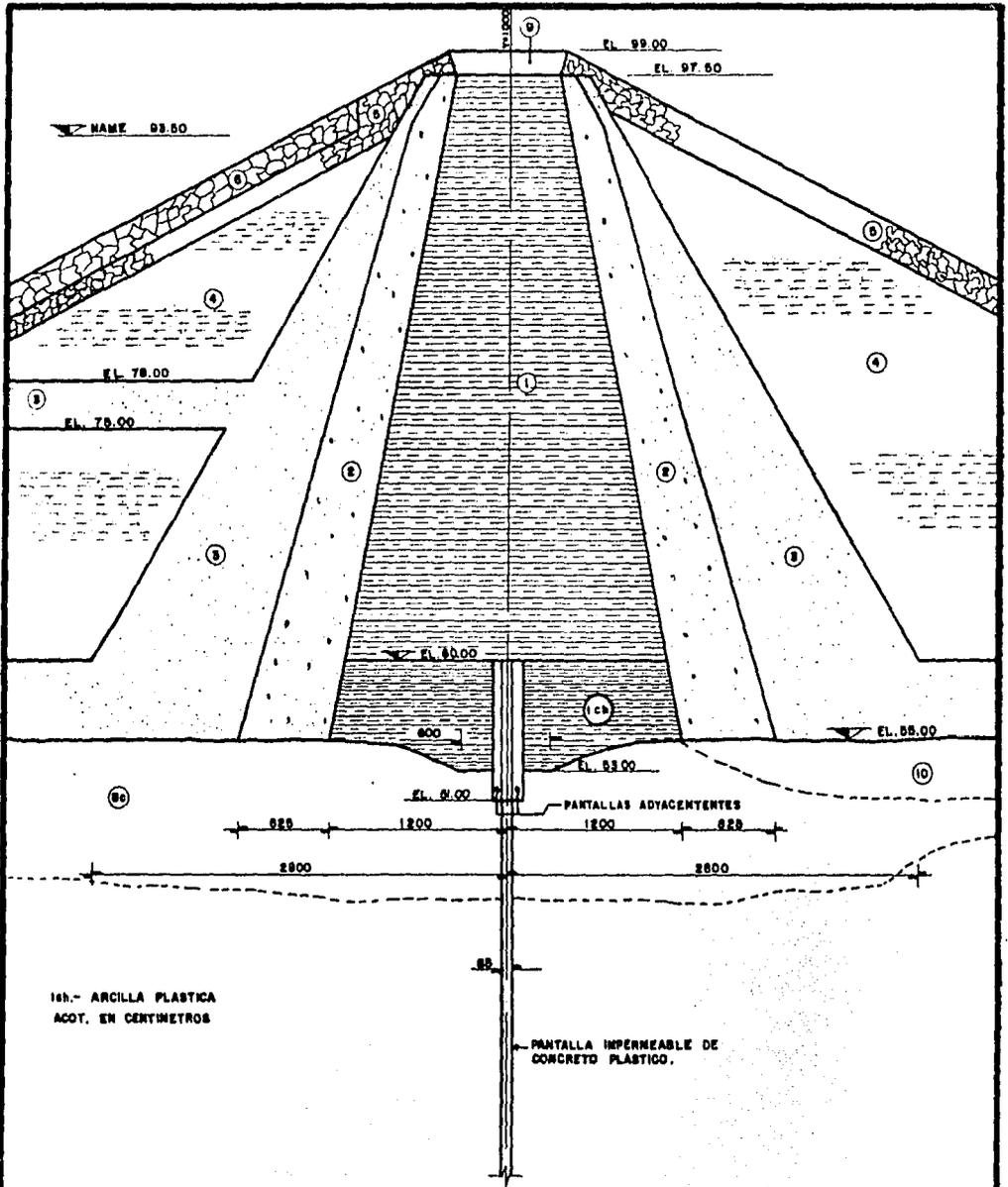
Se destaca en este trabajo que la Superintendencia del Tratamiento de la Roca, del P.H. Peñitas, - dependiente de la Coordinadora Ejecutiva de Construcción Sureste de Comisión Federal de Electricidad; basándose en la técnica de muros-pantalla descubierta - en Europa, implementó un procedimiento constructivo - muy original, adaptado a las necesidades de la obra, - para construir el Muro-Pantalla del P.H. Peñitas.

3.2.- CARACTERISTICAS GENERALES.

El Muro-Pantalla constituye la prolongación del material impermeable de la Cortina, debiendo mantener continuidad en toda su extensión hasta empotrarse en la roca "in situ" que subyace a los aluviones.

Aunque con anterioridad se había considerado la construcción de un Muro de Concreto, se decidió ejecutar una Pantalla de Concreto Plástico para reducir los efectos de interacción, ya que el módulo de deformación de una pantalla plástica puede ajustarse más al de los depósitos aluviales compactados, que el de un muro de concreto.

Para reducir el gradiente hidráulico en el contacto con el núcleo de la presa, se ancló la pantalla plástica un mínimo de 5 m, dentro del corazón impermeable de arcilla. Para lograr esto se excavó una zanja de 2 m. de profundidad (elev. 55 a 53) y de 6 m. de ancho y se relleno con arcilla plástica (CH) en todo el ancho del núcleo, sobre elevando 3 m. adicionales hasta alcanzar la elev. 58; para proteger éstos materiales, se relleno con aluvión hasta la elev. 60, que representa la plataforma de trabajo desde donde se construye la pantalla plástica. Para reforzar la zona crítica de interconexión Pantalla-Cortina, se ejecutarán dos pantallas cortas de 10 m de profundidad adyacentes a la principal. En la figura No. 7 se muestra el esquema de lo anterior.



DETALLE DE CONEXION CON EL NUCLEO DE LA CORTINA

ESQ: 1 33 1/3

El muro tiene un espesor de 0.65 m, un módulo de deformación variable $E = 3,000$ y $5,000 \text{ kg/cm}^2$ y una resistencia a la compresión a los 28 días entre $f'c = 6-10 \text{ kg/cm}^2$, esta resistencia asegura que no se manifieste el fenómeno de erosión por tubificación y el aplastamiento de la mezcla por los empujes del terreno. La elección de la mezcla es simplificada por la particular técnica de excavación que se emplea, reduciéndose a la búsqueda de las características finales (módulo elástico y resistencia a la compresión, principalmente) y a las características de trabajabilidad necesarias en la fase de colocación de la mezcla y de la necesidad de expulsar el lodo final de excavación, por la diferencia de densidades entre el lodo y el concreto plástico.

3.3.- ESQUEMA GENERAL DE CONSTRUCCION.

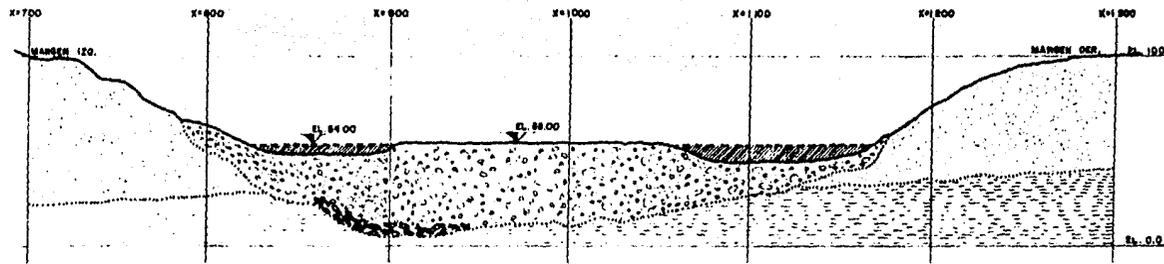
En este subcapítulo se presenta una visión general del procedimiento de construcción del Muro Pantalla, se incluyen varios croquis para complementar la información.

3.3.1.- PERFIL ORIGINAL DEL CAUCE POR $Y=1000$

La boquilla del cauce del río se manifiesta por dos corrientes separadas por un playón amplio, de la cual la principal corre cargada hacia la margen derecha. Ver figura No. 8.

3.3.2.- PERFIL GEOLOGICO POR EJE DE PANTALLA

Uno de los trabajos preliminares de gran im-



-  CAUCE ORIGINAL
-  ARENISCA
-  ALUVION
-  LUTITA
-  BASALTO

PERFIL ORIGINAL DEL CAUCE POR Y=1 000
 ESC: 1:2 000

portancia para la construcción del Muro-Pantalla, es la determinación con la mayor aproximación posible, del perfil geológico por el eje de pantalla. Para conocer la profundidad de la roca impermeable y las características del acarreo existente, se ejecutaron a lo largo del eje de pantalla una serie de barrenos con recuperación de muestras, en los cuales se determinó de acuerdo a la muestra obtenida, el perfil geológico. Estas perforaciones se ejecutaron con máquina rotatoria; en la figura número 8, se muestra dicho perfil.

3.3.3.- PREPARACION DE LA PLATAFORMA IZQUIERDA A ELEV. 60 PARA CONSTRUCCION DE I ETAPA.

Una vez desmontada el área del playón, se procedió a cerrar el brazo izquierdo para desviar la corriente y encauzar todo el río por el brazo derecho, con la finalidad de construir el Muro-Pantalla en dos etapas; partiendo del cantil izquierdo (X=780) hasta (X=1010), para la I etapa.

Primeramente se conformó una plataforma a elev. 55, para realizar el tratamiento de compactación dinámica y posteriormente se sobre elevó hasta la elev. 60. La plataforma de trabajo se construyó a la elev. 60 con el fin de establecer una sobre presión del lodo de excavación con respecto al agua y de ésta manera evitar continuos desprendimientos durante el proceso constructivo del muro-pantalla. Ca-

be recordar que el nivel freático se encuentra en la elev. 54 m.s.n.m. Ver figura No. 9.

3.3.4.- LOCALIZACION DE POZOS GUIA.-

La perforación de pozos guía de \emptyset 60 cm. a cada 2.50 m. de separación facilitan el trabajo de la almeja y proporcionan un buen control en la verticalidad de los tableros. Ver figura No. 10.

3.3.5.- DIVISION DE TABLEROS TRIPLES PARA LA CONSTRUCCION DE LA I ETAPA.

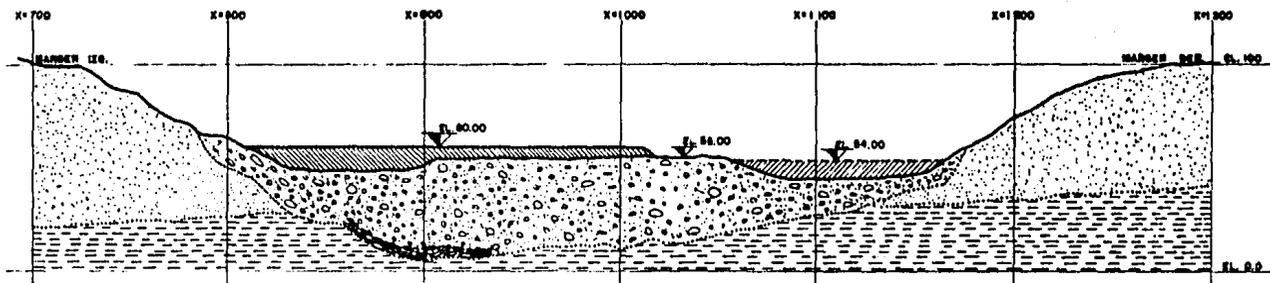
Cada tablero lo forman 3 paneles de 2.50 m. cada uno, tomando como base los ejes de los pozos. En la figura No. 11 se muestra el perfil longitudinal por eje de tableros triples para la I etapa (hasta el panel No. 88).

3.3.6.- PREPARACION DE PLATAFORMA DERECHA PARA CONSTRUCCION DE II ETAPA.

Al terminar la construcción de la I etapa del Muro-Pantalla se procederá de igual forma que en el subcapítulo 3.3.3, para la II etapa. Ver figura No. 12.

3.3.7.- DIVISION DE TABLEROS TRIPLES PARA CONSTRUCCION DE II ETAPA.

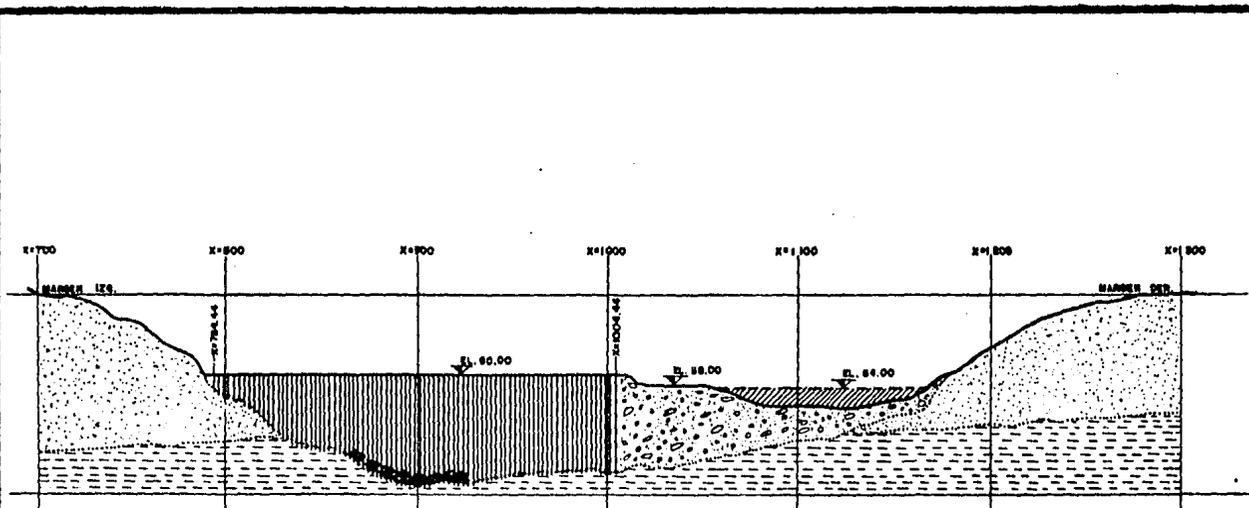
En la figura No. 13, se muestra el perfil longitudinal por eje de tableros para la II etapa (hasta el panel No. 155).



 CAUCE ORIGINAL
 RELLENO CON MAT. DE ALUVION

CONSTRUCCION DE PLATAFORMA A EL. 60.00 PARA I ETAPA

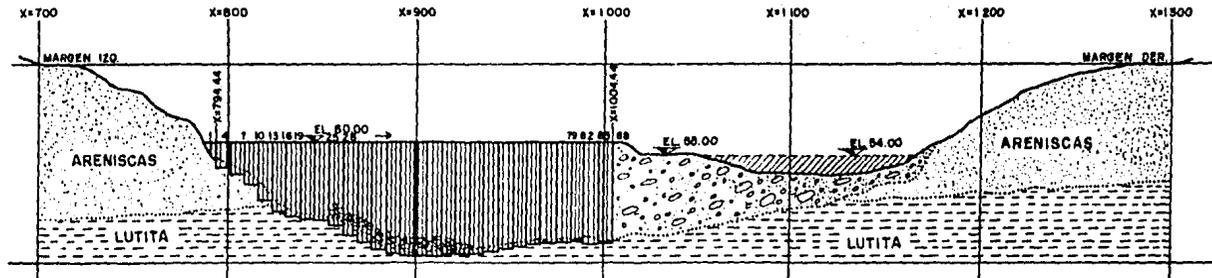
ESC: 1 : 2 000



 GAMCE ORIGINAL

LOCALIZACION DE POZOS GUIA DE 60 Cm. ϕ A CADA
2.50 Mts. DE SEPARACION

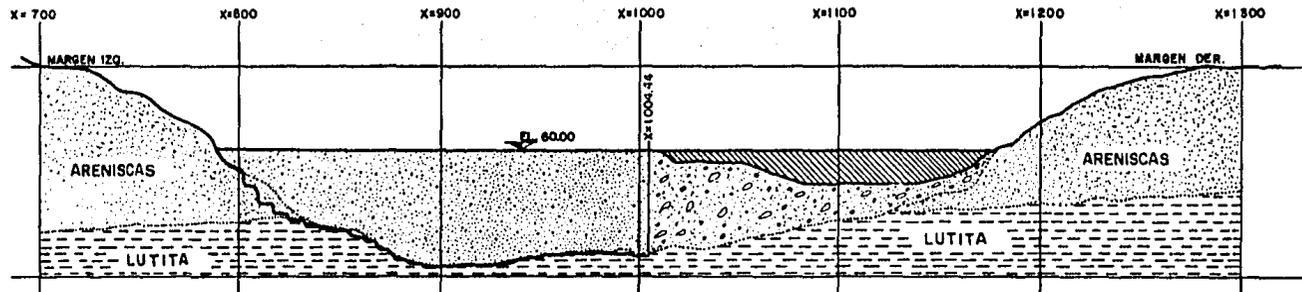
ESCALA 1:2500



CAUCE ORIGINAL

DIVISION DE TABLEROS TRIPLES PARA CONSTRUCCION
DE LA I ETAPA

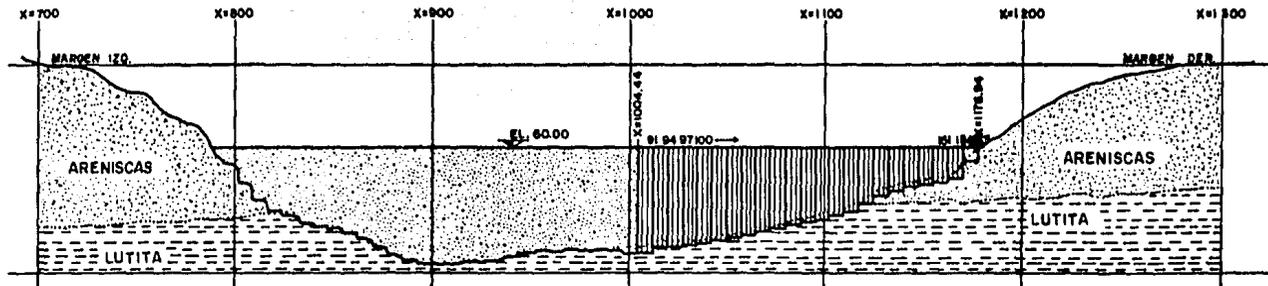
ESC: 1 : 2500



-  RELLENO CON MAT. DE ALUVION
-  MURO-PANTALLA EJECUTADO I ETAPA

PREPARACION DE PLATAFORMA DERECHA PARA CONSTRUCCION
DE LA II ETAPA

ESC: 1:1 & 500



 MURO EJECUTADO I ETAPA

DIVISION DE TABLEROS TRIPLES PARA CONSTRUCCION DE LA II ETAPA

ESC: 1 : 2 500

3.3.8.- MURO PANTALLA TERMINADO.-

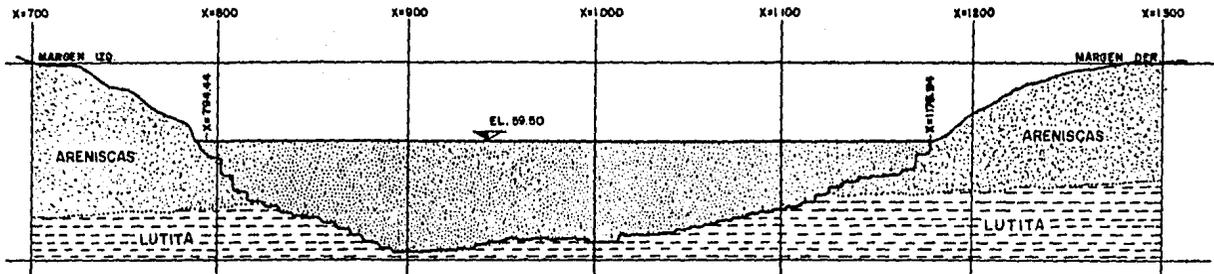
Una vez ejecutada la II etapa del Muro-Pantalla, en la figura 14 se muestra el perfil longitudinal por eje de Pantalla terminada.

3.3.9.- EJECUCION DE TABLEROS PRIMARIOS DE 8.10 M. DE LONGITUD.

Para integrar el Muro-Pantalla, se excavan tableros triples alternados de 8.10 m de longitud, es decir dejando un tablero triple sin excavar, a continuación de uno excavado. Sumando a los dos paneles extremos del tablero primario el empotramiento de 60 cm. de ambos pozos guía, tenemos 8.10 metros de longitud total por tablero. Ver figura No. 15.

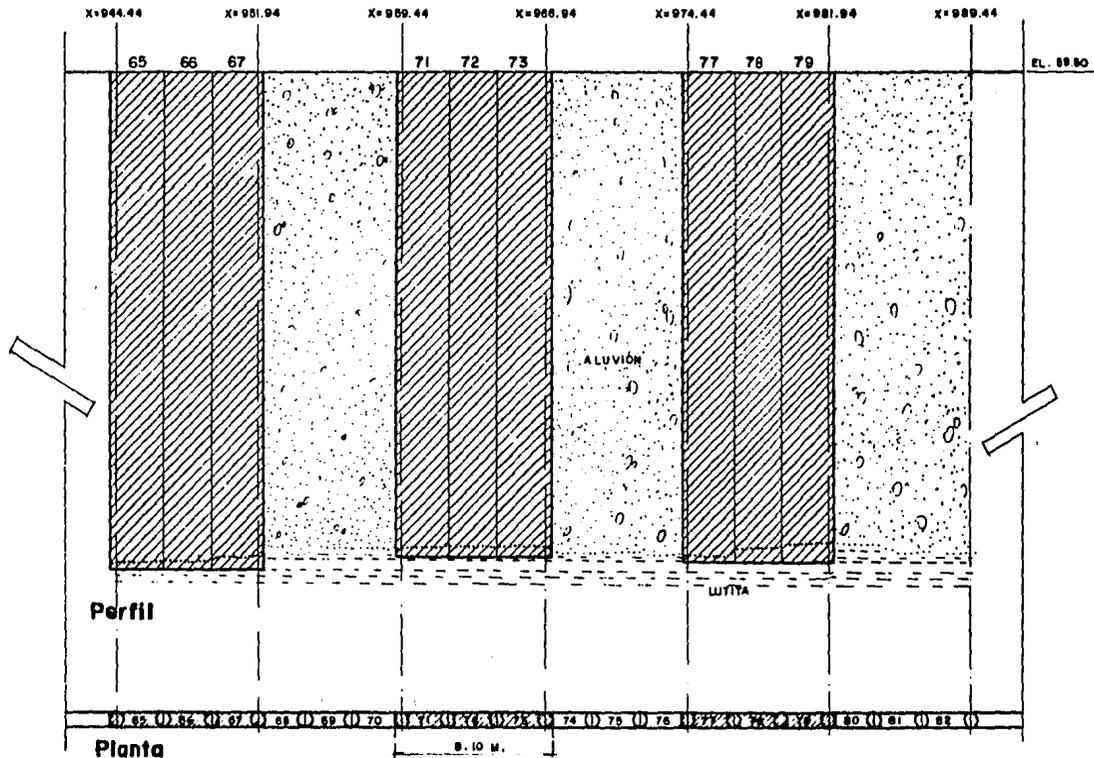
3.3.10.- PERFORACION DE POZOS LIGA DE Ø 60 CM. EN TABLEROS SECUNDARIOS PARA ASEGURAR CONTINUIDAD EN EL MURO PANTALLA.

En los tableros triples de cierre, los barrenos guía de los extremos que han sido utilizados por una vez para la excavación de los tableros ya colados, son perforados para una segunda utilización como guías durante la excavación y para garantizar la continuidad en los colados adyacentes. Esta secuencia se muestra en la figura No. 16.



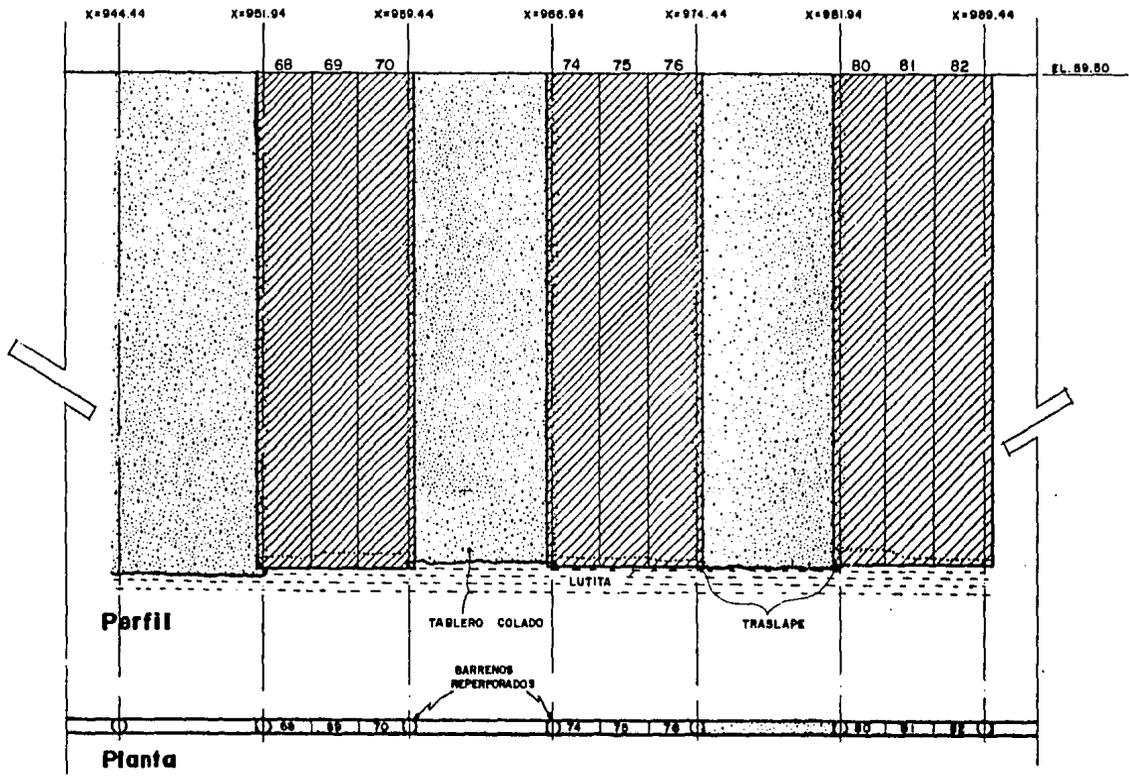
MURO - PANTALLA TERMINADO

ESC: 1 : 2 500



EJECUCION DE TABLEROS PRIMARIOS DE 8.10 Mts. DE LONGITUD

ESC: HORZ. 1:250, VERT. 1:500
(Perfil)



REPERFORACION DE POZOS DE LIGA DE 60 cm. Ø TABLEROS SECUNDARIOS
 PARA ASEGURAR CONTINUIDAD EN EL MURO PANTALLA

ESC: HORZ. 1 : 200 , VERT. 1 : 800
 (Perfil)

3.4.- PROGRAMA DE TRABAJO.

Para ejecutar Muros-Pantalla se requiere de una gran mecanización, donde el equipo en general representa una parte muy importante del costo. Es pues, indispensable de una buena preparación y planificación.

Como se cuenta en el proyecto con dos equipos de excavación, primeramente se estableció un programa de ejecución de tableros. En este plan se indican todos los tableros a realizar para la I y II etapa, con su orden de ejecución y equipo que lo ejecutará. También se consideró la posibilidad de modificar el orden de ejecución de los tableros en el caso de una dificultad técnica imprevista (pérdida de lodo, trabajos del cincel para atravesar un obstáculo no previsto, etc).

Este programa de construcción se realizó tomando en cuenta el desarrollo real de los trabajos, considerando que al utilizar lodo de excavación la zona de trabajo estará muy sucia y se presentarán problemas para la circulación del equipo complementario.

En las figuras 17 y 18 se presentan estos programas considerando rendimientos y volúmenes de Proyecto.

En los siguientes capítulos se describen las fases de construcción del diafragma impermeable: La excavación y el colado.

PROGRAMA DE CONSTRUCCION II ETAPA

1 9 8 4

DESCRIPCION	EXC. m ³	COL. m ³	REND. m ³ /DIA	JULIO							AGOSTO							SEPTIEMBRE							OCTUBRE							NOVIEMBRE							DICIEMBRE																
				27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52																										
TABLEROS	MURO PANTALLA PRINCIPAL																																																						
89 90 91											1																																												
92 93 94																		2																																					
95 96 97											2																																												
98 99 100																									2																														
101 102 103																		2																																					
104 105 106																									1																														
107 108 109																		2																																					
110 111 112																																1																							
113 114 115																									2																														
116 117 118																																2																							
119 120 121																									1																														
122 123 124																																1																							
125 126 127																		1																																					
128 129 130																																1																							
131 132 133											1																																												
134 135 136																		1																																					
137 138 139											1																																												
140 141 142																		1																																					
143 144 145				1																																																			
146 147 148											3																																												
149 150 151											1																																												
152 153 154											3																																												
155				3																																																			

Torre Almeja No.1 , Torre Almeja No. 2 , Draga Almeja No.3

FIG. 18

CAPITULO IV.

E X C A V A C I O N .

En este capítulo describiremos las etapas de la excavación; desde los trabajos preliminares y preparativos para iniciar este procedimiento, hasta lo que es propiamente la técnica de la excavación. También se analizará el equipo y el lodo de excavación, elementos muy importantes en este proceso.

4.1.- TRABAJOS PRELIMINARES.

Para poder iniciar la etapa de excavación es necesario realizar ciertos trabajos, que apoyarán el buen desarrollo y efectividad de esta técnica, mismos que se describen a continuación.

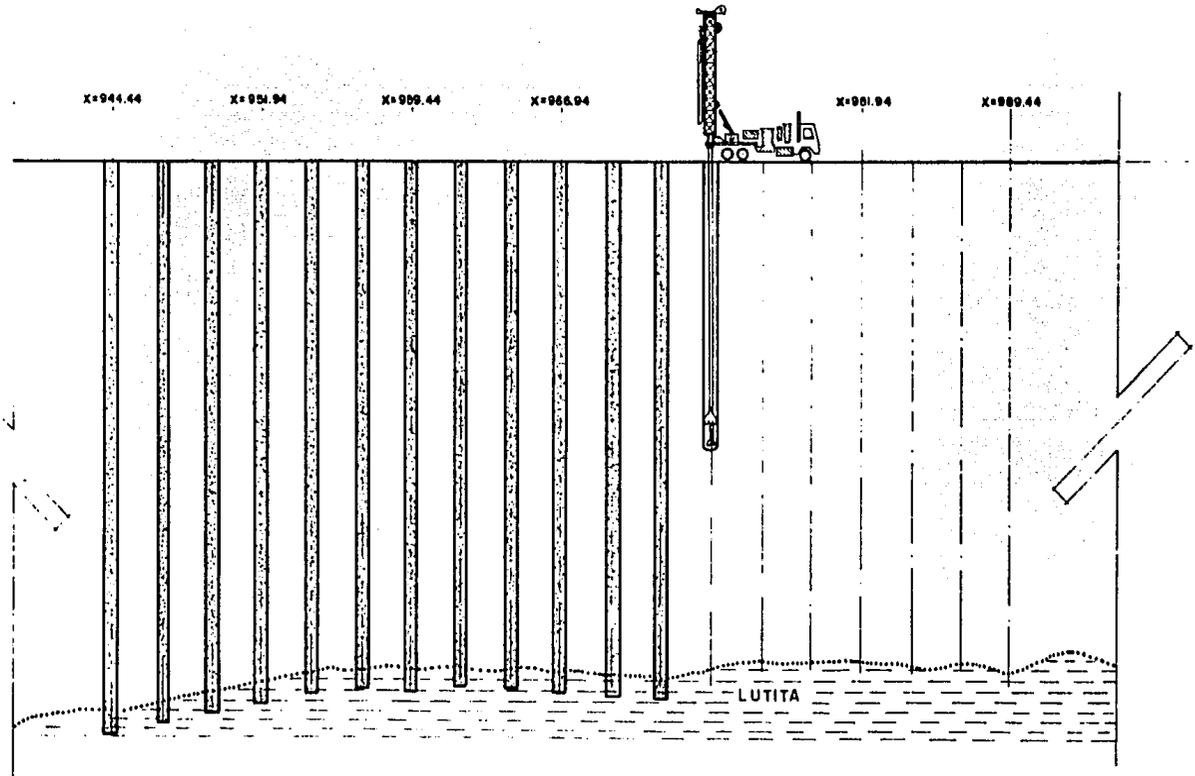
4.1.1.- LOCALIZACION TOPOGRAFICA DEL MURO PANTALLA.

Para localizar en el campo cualquier tablero, se marcan preferentemente bases de referencia sobre el eje de la Cortina para fijar el eje del Muro-Pantalla, ambos coinciden en toda su longitud. De esta manera se construyen mojoneras que señalan el límite y número de todos los tableros. El mismo control se lleva para marcar los puntos correspondientes a los pozos guía.

4.1.2.- PERFORACION DE POZOS GUIA.

La perforación de los pozos guía de 60 cm. de diámetro se ejecuta con una máquina rotatoria, iniciándose con un barreno piloto de un diámetro de 30 cm para mejor control de la verticalidad y en un segundo paso se amplía a 60 cm, manteniendo la guía del barreno piloto. En los dos casos se utiliza broca de múltiples conos con botones de tungsteno.

Con la profundidad exacta a la que se encuentra la roca "in situ", la perforación empotra en ella del orden de 2 m. Durante la perforación se utiliza lodo bentonítico y al final, se rellena el pozo con una lechada estable de baja resistencia para evitar su azolve por "caídos". Ver figura No. 19.



PERFORACION DE POZOS GUIAS

ESC: HORZ. 1:250, VERT. 1:500

4.1.3.- COLOCACION DE RIELES Y DURMIENTES.

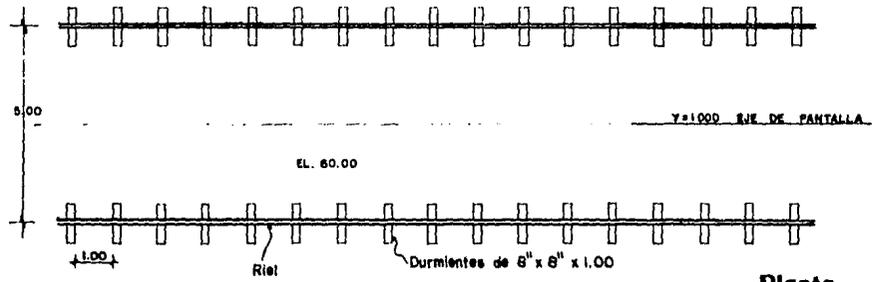
Tomando como base el eje de la pantalla, se localizan topográficamente a ambos lados del mismo, los ejes donde se colocarán los rieles sobre los que se desplazará libremente el equipo de excavación.

Los rieles de 9 m. de longitud perfectamente alineados descansarán sobre durmientes de 8"x8"x1.0 m de longitud, la separación entre paños de durmientes es de 1.0 m. Los rieles se sujetan firmemente a los durmientes por medio de clavos de acero de 10 cm de longitud. Ver figura 20.

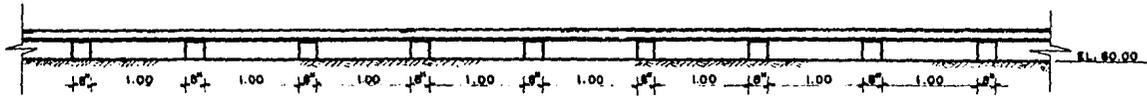
4.2.- BROCAL GUIA.

La construcción del brocal guía corresponde a la primera etapa de la excavación. Tiene la finalidad de retener los rellenos sueltos superficiales para estabilizar las paredes de la parte superior de la zanja, sobre todo a causa de los movimientos del nivel del lodo durante la excavación, que provocarían una erosión importante en caso de no contar con el brocal. Además sirve de guía inicial al equipo de excavación y facilita enormemente la limpieza del table ro al finalizar el colado.

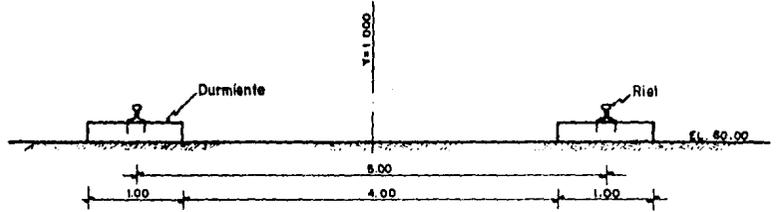
Se decidió utilizar brocales formados por tableros metálicos por su rápida colocación y fácil ex-



Planta
ESC 1:12.5

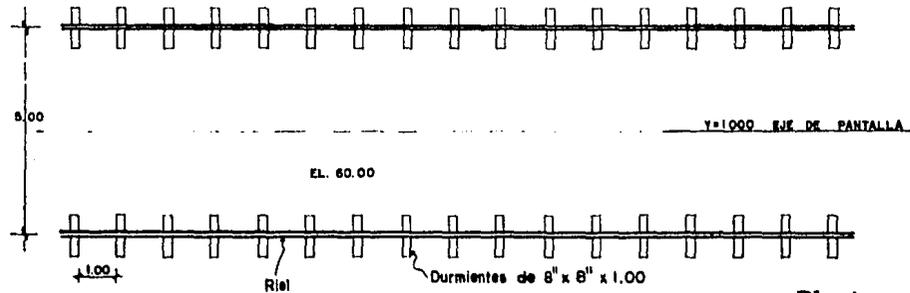


Corte Longitudinal
ESC 1:50

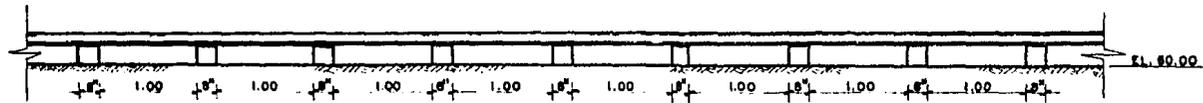


Corte Transversal
ESC 1:50

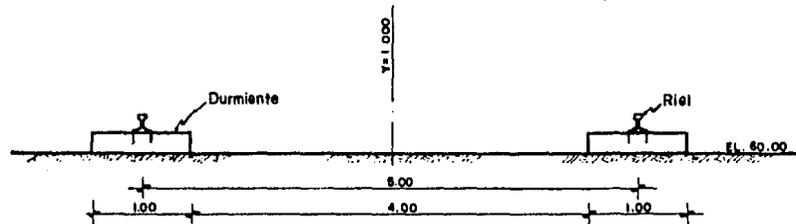
COLOCACION DE RIELES Y DURMIENTES PARA SOPORTE DE EQUIPO DE EXCAVACION



Planta
ESC 1:12.5



Corte Longitudinal
ESC 1:50



Corte Transversal
ESC 1:50

COLOCACION DE RIELES Y DURMIENTES PARA SOPORTE DE EQUIPO DE EXCAVACION

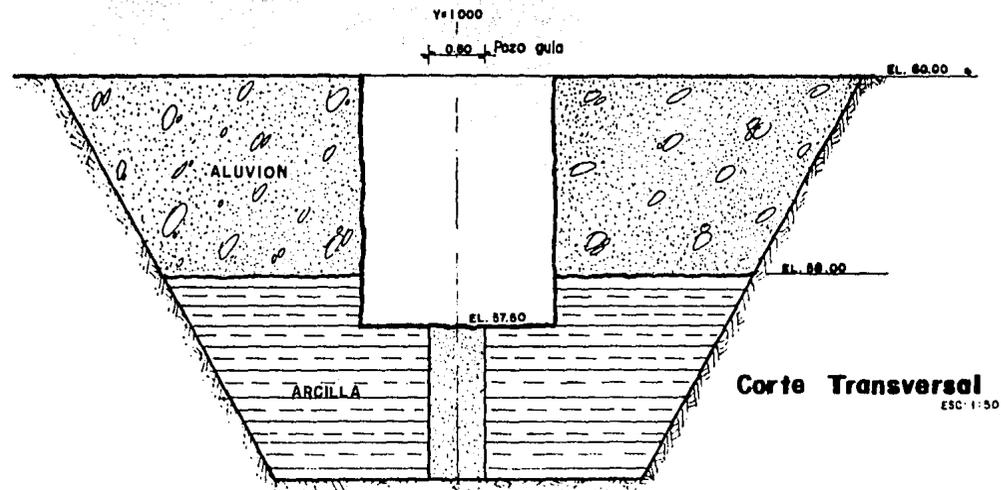
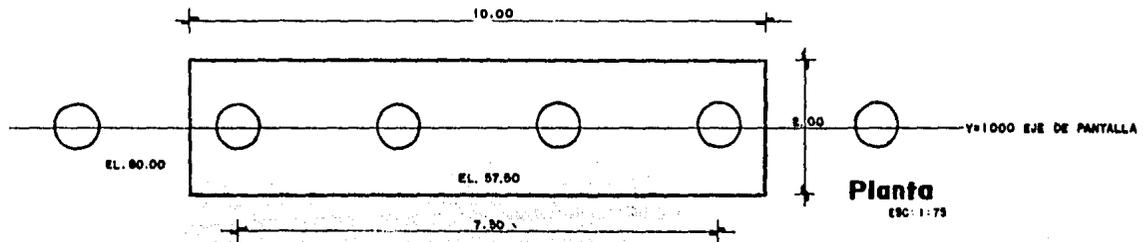
tracción al finalizar el colado; contra el inconveniente del brocal de concreto armado, por su alto costo y la dificultad para demoler el mismo al finalizar los trabajos.

Las dimensiones de la cimbra metálica se diseñaron de tal modo que esta quedará perfectamente empujada con la arcilla que liga a la cortina y al muro-pantalla. Las actividades que involucran la construcción del brocal guía son las siguientes:

4.2.1.- TRAZO Y EXCAVACION.

Se localiza topográficamente aquel tablero que se va a ejecutar y sobre el terreno se traza y marca el brocal. En la figura No. 21 se observan las dimensiones del brocal (10m x 2m x 2.5m), el cuál comprende 3 paneles de 2.50 m cada uno, incluyendo los pozos guía de ambas cabeceras, totalizando 8.10 m de longitud. La excavación se realiza propiamente con una retroexcavadora y tiene una profundidad de 2.50 m. Para determinar la altura de la zanja se consideró lo siguiente:

En el perfil de la figura 21 se observa que la plataforma de trabajo se encuentra a la elev. 60 y la arcilla que liga al Muro-Pantalla con la cortina llega a la elev. 58; entonces con una profundidad de 2.50 m, el brocal se está empotrando 0.50 m en la ar-



TRAZO Y EXCAVACION DE ZANJA PARA BROCAL GUIA

cilla y de esta manera aseguramos que el brocal no se erosionará en el fondo.

4.2.2.- COLOCACION DE CIMBRAS METALICAS Y SEPARADORES MECANICOS.

Simultáneamente a la excavación de la zanja, se arman dos tableros de cimbras metálicas, con 3 piezas cada uno de 3 m x 2.5 m. La altura de la cimbra obedece a la conveniencia explicada en el subcapítulo anterior. Estas cimbras están diseñadas para resistir empujes de hasta 2 toneladas por metro cuadrado.

Una vez armados los tableros, se colocan en la zanja mediante una grúa controlando topográficamente su posición, la separación entre paños interiores de cimbra es de 1.0 m.

Se consideró este ancho de cimbra ya que la almeja tiene un espesor de 0.65 m y la holgura de 0.175 m en ambos lados es para que la almeja trabaje libremente sin dañar la cimbra.

Como siguiente paso, se colocan tres separadores mecánicos distribuidos en los ejes de cada panel; estos separadores que se ajustan al ancho de la cimbra, proporcionan una seguridad adicional de estabilidad al brocal. Finalmente, en los extremos de los tableros se colocan unas compuertas metálicas para ais-

lar el correspondiente tramo de pantalla por ejecu -
tar, formando un cajón de 9.0m x 1.0m x 2.50m, como -
lo muestra la figura No. 22.

4.2.3.- RELLENO Y COMPACTACION DE ARCILLA.

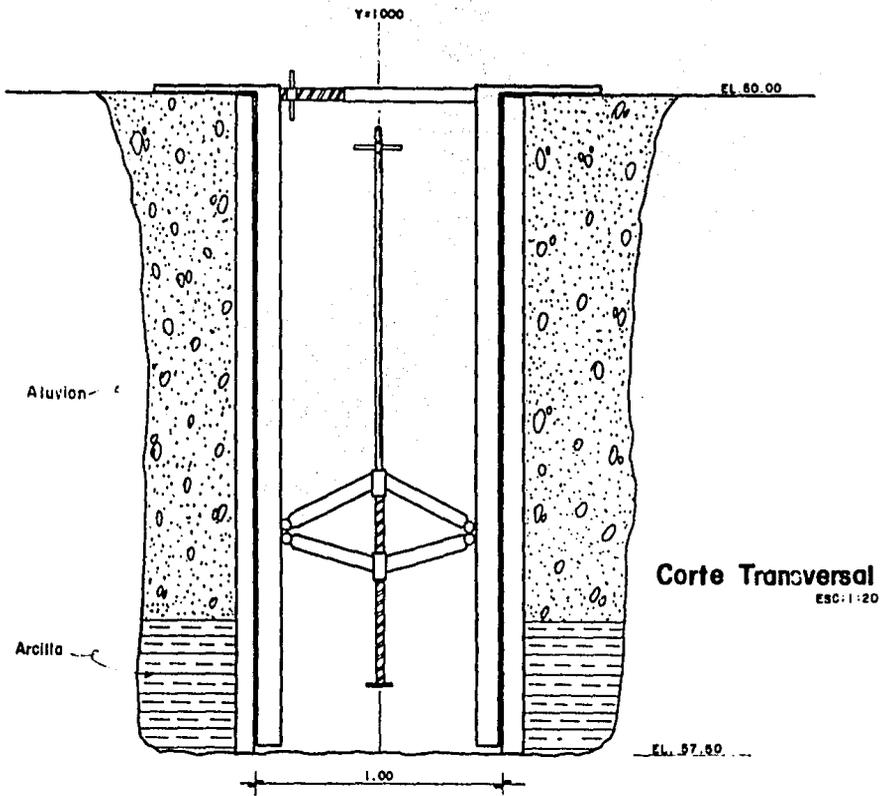
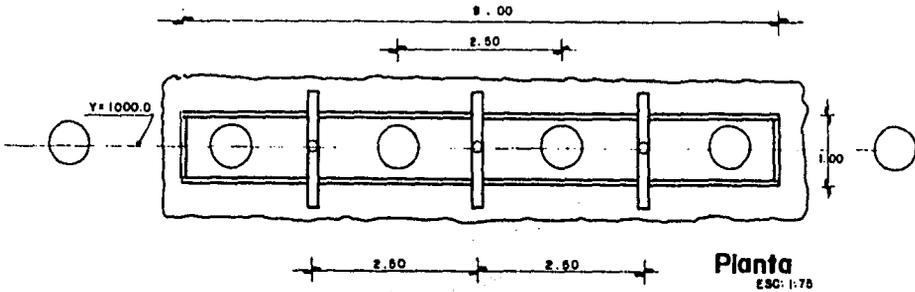
Una vez que está colocada la cimbra metálica,
se procede a rellenar y compactar con arcilla la so -
bre excavación alrededor de la misma, la compactación
de la arcilla se realiza con pisonetas neumáticas. Al
aislar el brocal metálico con arcilla en todas direc -
ciones se asegura la impermeabilización y estabilidad
del mismo.

4.2.4.- ANCLAJE DEL BROCAL.

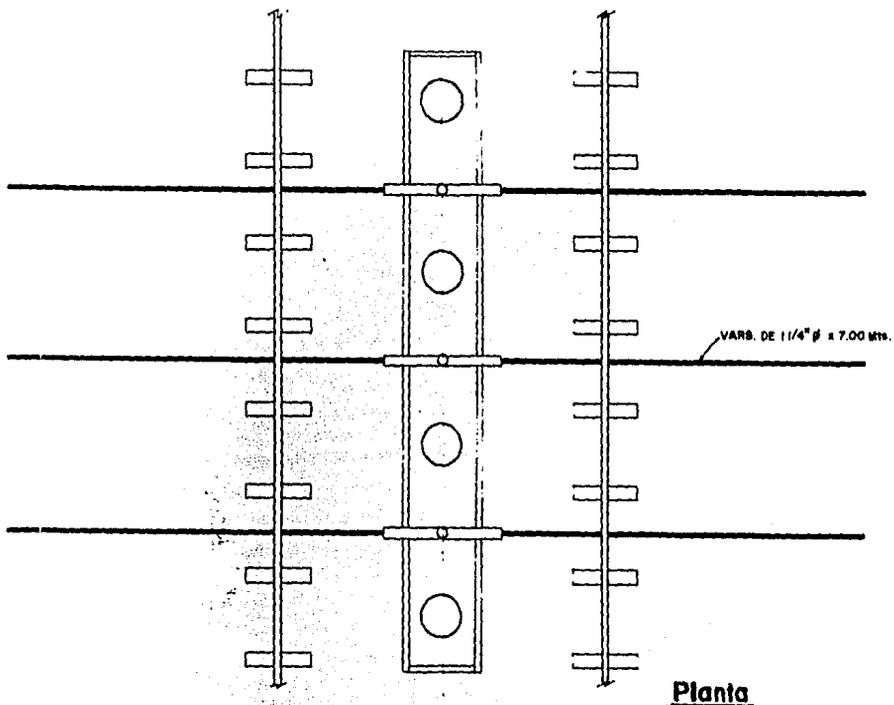
Para finalizar la construcción del brocal -
guía, se colocan anclas aguas arriba y aguas abajo -
del brocal, las cuáles proporcionan mayor seguridad -
al mismo. La distribución de las anclas se muestra en
la figura No. 23.

4.3.- EQUIPO PARA EXCAVACION.

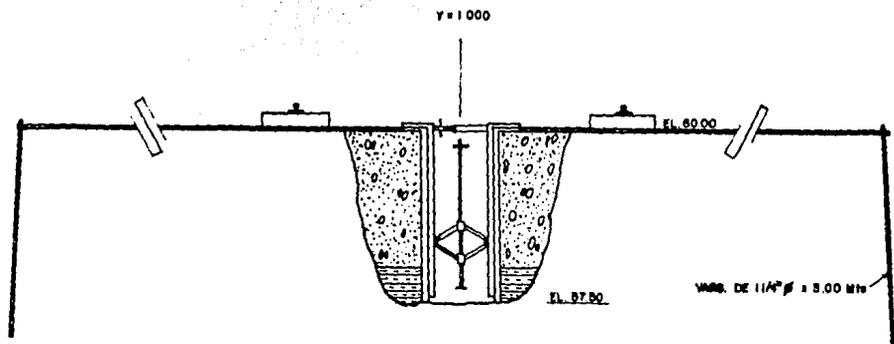
Conocidas las características del material -
por excavar, la profundidad hasta la que se encuentra
la roca impermeable y el tiempo disponible para ejecu -
tar el muro, los técnicos de la C.F.E. del P.H. Peñi -
tas, estudiaron el proyecto y diseñaron en obra la -



COLOCACION DE CIMBRA Y SEPARADORES MECANICOS



Planta



Corte Transversal

DISTRIBUCION DE ANCLAJE DEL BROCAL GUIA

ESC: 1:75

torre que acciona la almeja, misma que fué construida y montada en el sitio. Posteriormente se construyeron varias almejas en el proyecto.

La excavación de la zanja destinada al Muro - se ejecuta mediante una almeja puramente mecánica, - suspendida por dos cables a la torre de manutención.

4.3.1.- ALMEJA MECANICA.

La almeja mecánica maniobra por medio de dos cables, uno es el cable de suspensión y el otro el cable que acciona el cierre mediante un polipasto localizado en el interior de la almeja. La cuchara de la almeja tiene las valvas con los bordes de ataque semi circulares y están equipados con dientes que facilitan la penetración en el terreno así como su disgregación.

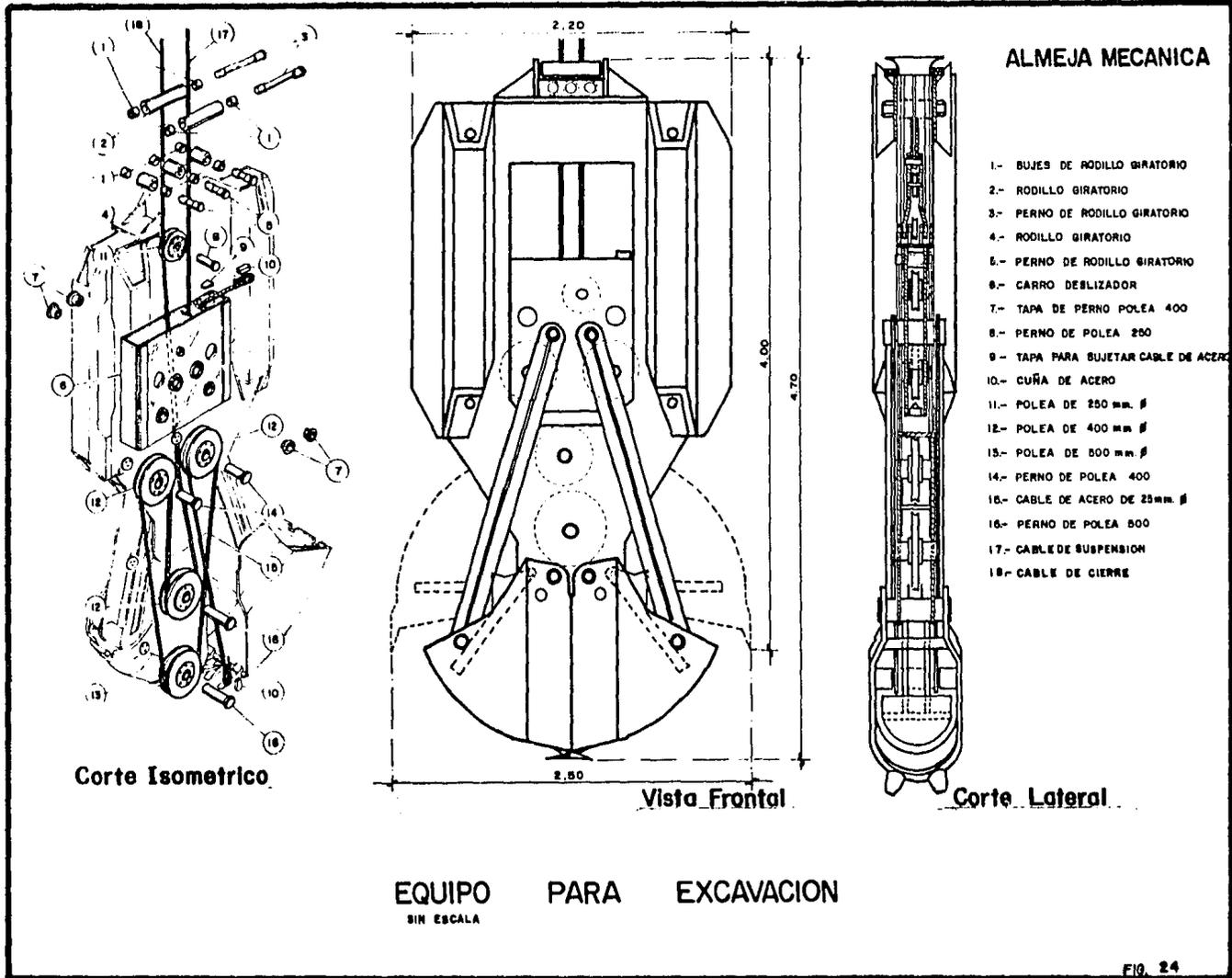
El cierre de las valvas es relativamente estanco, si no el lodo arrastraría el material de excavación y la cuchara se vaciaría; para esto se dispone de agujeros en las cucharas que permiten que escurra el lodo, al menos parcialmente, sin pérdida apreciable del material de la excavación. El material extraído por la almeja descarga a una tolva móvil, que a su vez descarga a un camión volteo para transportar el material al sitio indicado para tal fin. La capacidad de la almeja es de 680 lts.

Para conseguir guiar la cuchara en un plano vertical e impedir su rotación alrededor del cable de suspensión, la cuchara está provista de una guía de ancho sensiblemente igual al de las valvas, con una longitud de 3 m. En la figura No. 24 se muestran las partes y dimensiones de la almeja. El peso de la almeja es de 4 tons.

El defecto común de la almeja es el desgaste muy grande de las piezas mecánicas que trabajan en un medio esencialmente abrasivo. El desgaste de los cables, de las poleas, los dientes y la cuchara principalmente, es muy importante, y precisa de trabajos de reparación constante y muy laboriosa.

4.3.2.- TORRE TIPO MINERA.

La torre puede fijarse en el sitio indicado durante el tiempo necesario para profundizar el tablero hasta lo deseado, en caso necesario, puede retirarse del sitio para regresar posteriormente sin perder alineamiento ni cadenamamiento exacto, ya que se desliza sin ningún problema sobre los rieles alineados a ambos lados del eje del muro. En efecto, el diseño de la torre contempló entre otros detalles, un rápido desplazamiento sobre el eje del muro, mediante las seis ruedas que soportan la estructura.



ALMEJA MECANICA

- 1.- BUJES DE RODILLO GIRATORIO
- 2.- RODILLO GIRATORIO
- 3.- PERNO DE RODILLO GIRATORIO
- 4.- RODILLO GIRATORIO
- 5.- PERNO DE RODILLO GIRATORIO
- 6.- CARRO DESLIZADOR
- 7.- TAPA DE PERNO POLEA 400
- 8.- PERNO DE POLEA 200
- 9.- TAPA PARA BUJETAR CABLE DE ACERO
- 10.- CUÑA DE ACERO
- 11.- POLEA DE 250 mm. Ø
- 12.- POLEA DE 400 mm. Ø
- 13.- POLEA DE 500 mm. Ø
- 14.- PERNO DE POLEA 400
- 15.- CABLE DE ACERO DE 25mm. Ø
- 16.- PERNO DE POLEA 500
- 17.- CABLE DE SUSPENSION
- 18.- CABLE DE CIERRE

Corte Isometrico

Vista Frontal

Corte Lateral

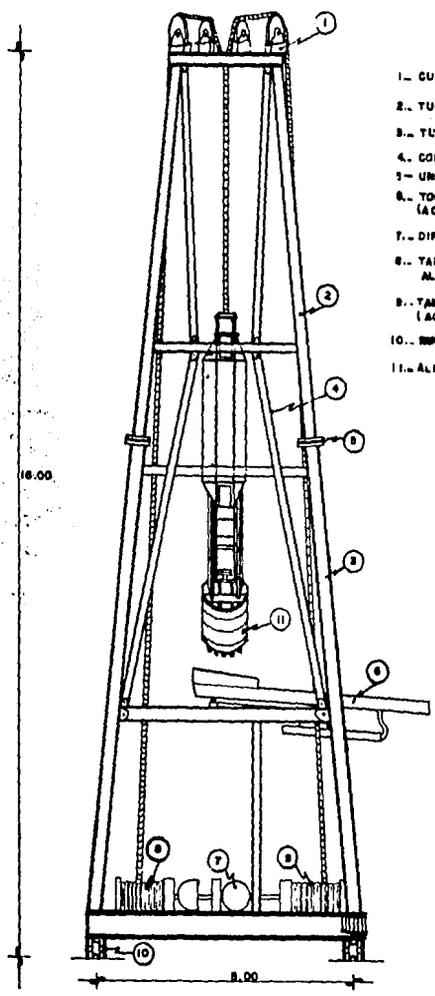
EQUIPO PARA EXCAVACION
SIN ESCALA

En las figuras No. 25 y 26 observamos que la estructura de la torre la integran tubos de alta resistencia de diferentes diámetros (10", 8" y 6") y las uniones entre estos tubos son del tipo "flanque".

El mecanismo de la torre funciona mecánica y neumáticamente. El sistema mecánico principal está formado por un diferencial al que se unen en los extremos dos tambores, en uno se arrolla el cable de suspensión y en el otro el cable de cierre de la almeja. Este diferencial es accionado por otro de menor capacidad, que a su vez está conectado a un motor de gasolina de 8 cilindros, que es la fuerza motriz del conjunto.

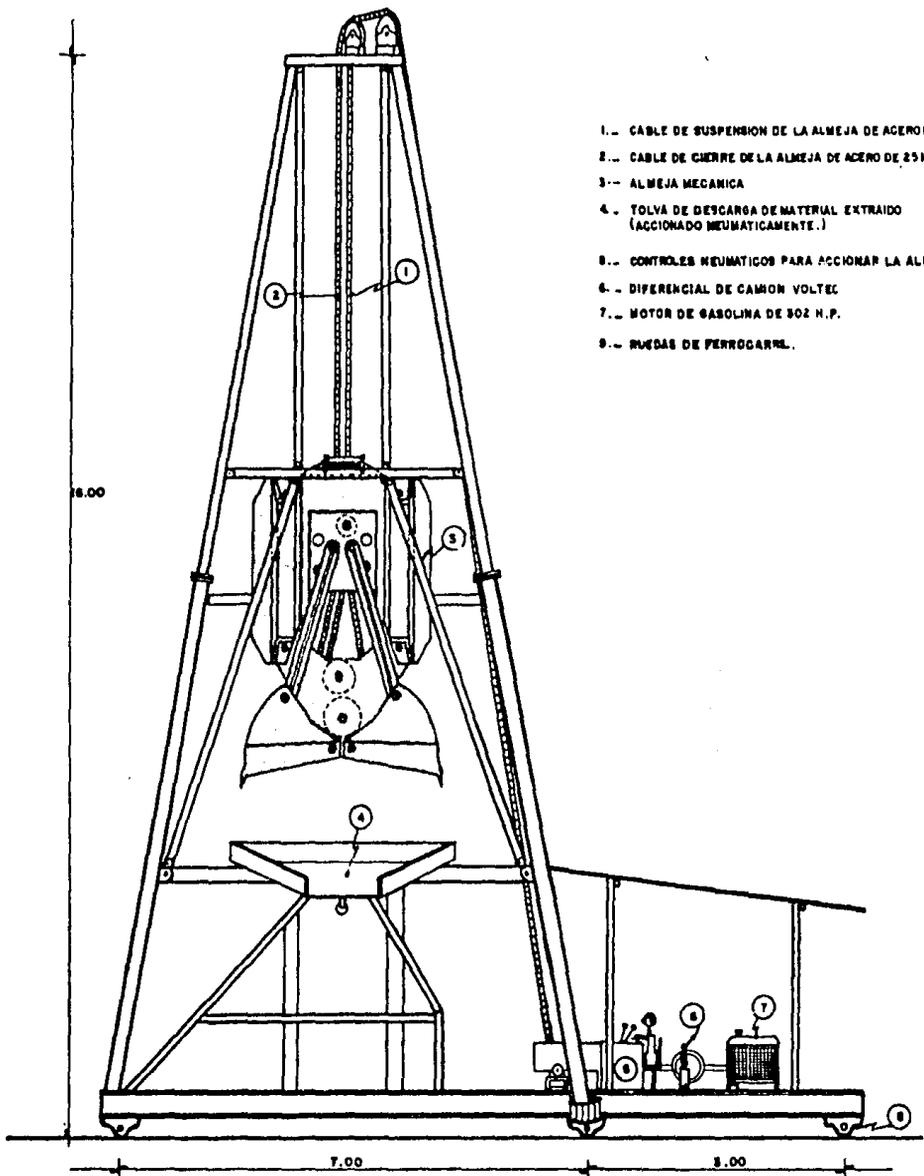
El sistema neumático controla directamente la operación de la almeja, esto es, controla el ascenso o descenso de la almeja, o bien, el cierre de la almeja. Ambos mecanismos están adaptados entre sí por medio de un juego de balatas instalados en cada tambor, y que se controlan con las válvulas y pedales donde el operador controla este mecanismo.

La presión máxima con la que trabaja el sistema neumático es de 11 kg/cm^2 , la cual está regulada con un compresor eléctrico montado en la torre.



- 1.- CUADRO SUPERIOR DE POLZAS DE 60MM. D.º #
- 2.- TUBO CED. 80 DE 200 MM. DE #
- 3.- TUBO CED. 80 DE 250 MM. DE #
- 4.- CONTRAVIENTOS DE 100 MM. DE #
- 5.- UNIONES ATORNILLADAS TIPO "FLANCH."
- 6.- TOLVA DE DESCARGA DEL MATERIAL EXTRAÍDO (ACCIONADA NEUMATICAMENTE)
- 7.- DIFERENCIAL DE CAMION CAPACIDAD 30 TON.
- 8.- TAMBOR PARA CABLE DE SUSPENSION DE LA ALMEJA (ACERO DE 28 MM. DE #)
- 9.- TAMBOR PARA CABLE CIERRE DE LA ALMEJA (ACERO DE 49 MM. DE #)
- 10.- INMEDIATA DE FERROCARRIL.
- 11.- ALMEJA MECANICA.

TORRE MINERA
VISTA TRANSVERSAL



- 1.- CABLE DE SUSPENSIÓN DE LA ALMEJA DE ACERO DE 25 MM ϕ
- 2.- CABLE DE HIERRO DE LA ALMEJA DE ACERO DE 25 MM ϕ
- 3.- ALMEJA MECÁNICA
- 4.- TOLVA DE DESCARGA DE MATERIAL EXTRAÍDO (ACCIONADO NEUMÁTICAMENTE.)
- 5.- CONTROLES NEUMÁTICOS PARA ACCIONAR LA ALMEJA
- 6.- DIFERENCIAL DE CAMIÓN VOLTEC
- 7.- MOTOR DE GASOLINA DE 302 H.P.
- 8.- RUEDAS DE FERROCARRIL.

TORRE MINERA
VISTA LONGITUDINAL

Vale la pena comentar nuevamente que el diseño y montaje de la torre lo realizó personal de CFE, del P.H. Peñitas. Así mismo, las partes que integran los mecanismos mecánicos de la torre, son piezas de equipos dados de baja.

4.4.- E X C A V A C I O N .

Las etapas ejecutadas durante el proceso de excavación se realizan de igual manera tanto para los tableros primarios como para los secundarios. Estas consisten en excavar primeramente los paneles extremos del tablero en cuestión hasta una profundidad de 20 m. y al final excavar el panel central también a la misma profundidad. Este orden de ejecución obedece a la importante razón siguiente: En caso de que la almeja se atascara por cualquier motivo, se puede liberar hacia el lado libre jalandola con una grúa; lo que no sucede si los paneles extremos se excavan hasta su profundidad total en una sola etapa, pues si surgiera el problema de atascamiento, difícilmente se podría liberar la almeja en esta posición.

Posteriormente la excavación continúa de 5 en 5 m., siguiendo el mismo orden descrito anteriormente, hasta empotrar en la roca impermeable. De esta manera, el proceso de excavación se divide en las siguientes etapas.

4.4.1.- EXCAVACION DEL TABLERO A 20 M.

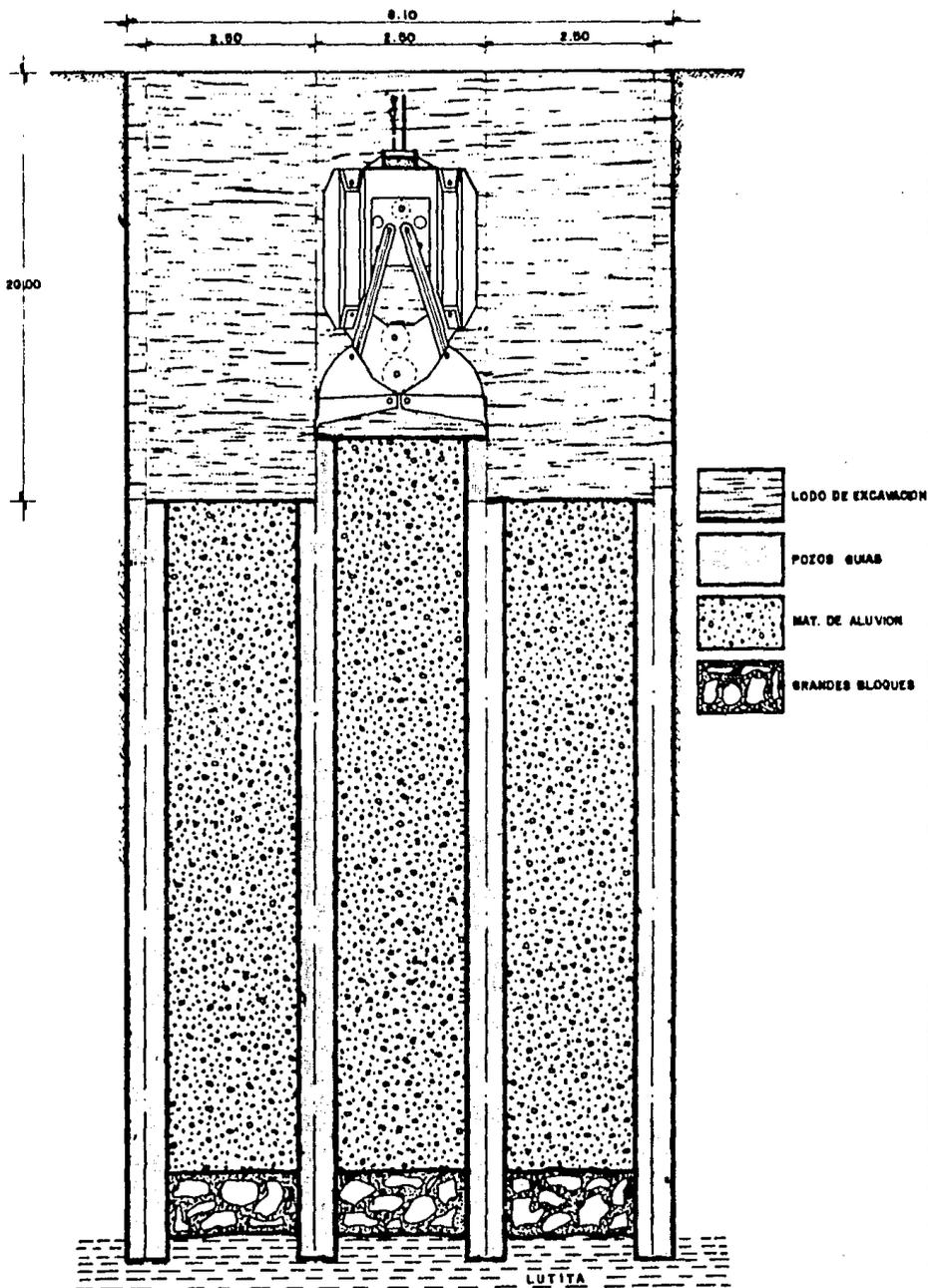
Inicia la excavación colocando el equipo en un extremo del tablero, profundizando primeramente los paneles laterales y después el panel central hasta 20 m; esto con la finalidad de mantener condiciones de trabajo simétricas para que la almeja no tienda a inclinarse hacia ningún lado y además, en caso de atascamiento, se pueda liberar hacia el extremo libre. Ver figura No. 27.

4.4.2.- PROFUNDIZAR 5 M CADA PANEL HASTA LA ZONA DE GRANDES BLOQUES.

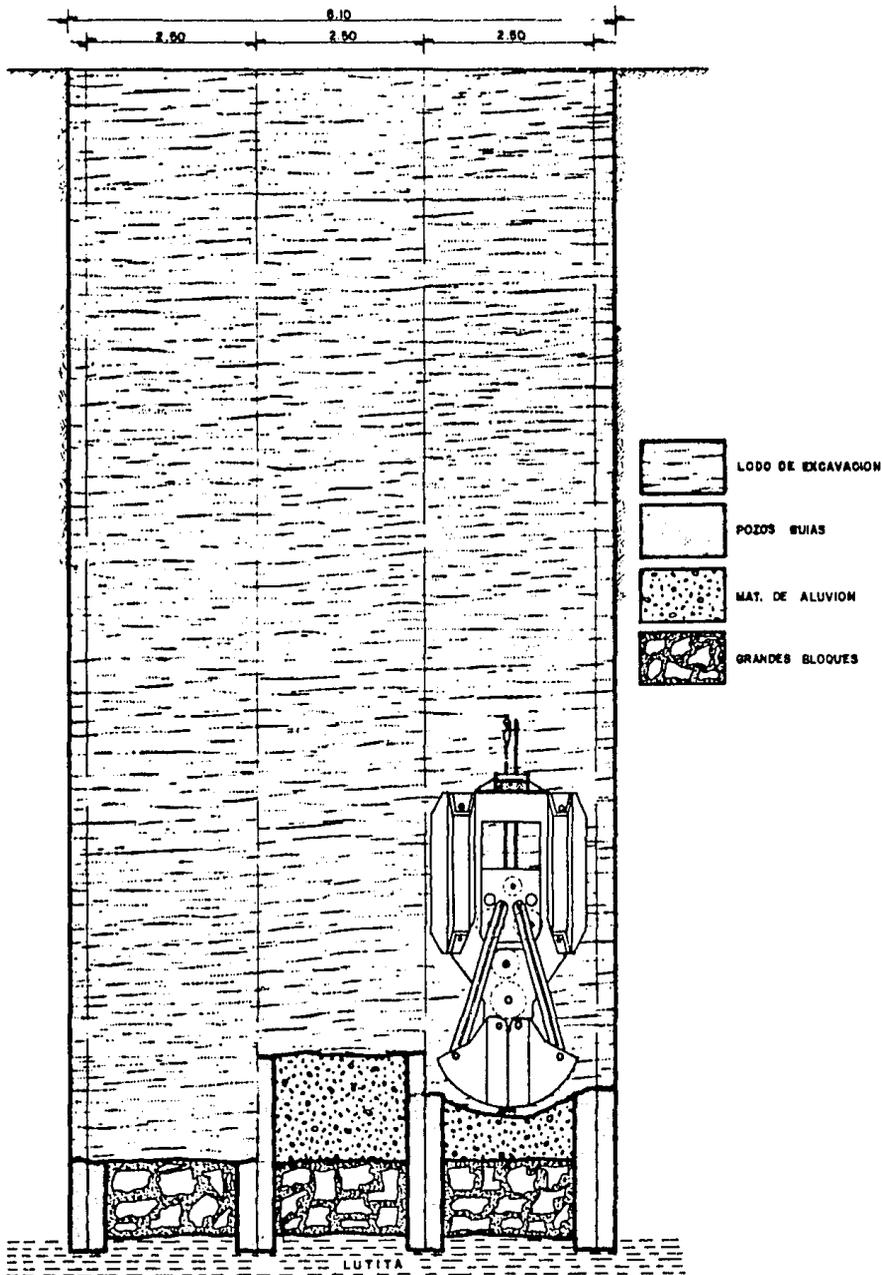
Una vez que tenemos el tablero a 20 m de profundidad, se continúa excavando cada panel profundizando 5 m, a fin de que la almeja en ningún caso quede confinada lateralmente; ya que la dificultad para rescatar la almeja en caso de atascamiento, aumenta conforme el tablero se va profundizando. La secuencia de excavación se mantiene hasta el fondo, esto es, primeramente los paneles extremos y al final el central; con este orden se empareja la excavación en toda la longitud del tablero, suspendiendo la misma en el momento de detectar la zona de los grandes bloques. Ver figura No. 28.

4.4.3.- DEMOLICION ADICIONAL EN ZONA DE BOLEOS O GRANDES BLOQUES.

Como se mostró en el perfil geológico, en la-



EXCAVACION DEL TABLERO A 20 Mts.
 ESC: HORIZ. 1:75, VERT. 1:250



PROFUNDIZAR 5 Mts. CADA PANEL
HASTA ZONA DE GRANDES BLOQUES

ESC: HORZ. 1:75 , VERT. 1:250

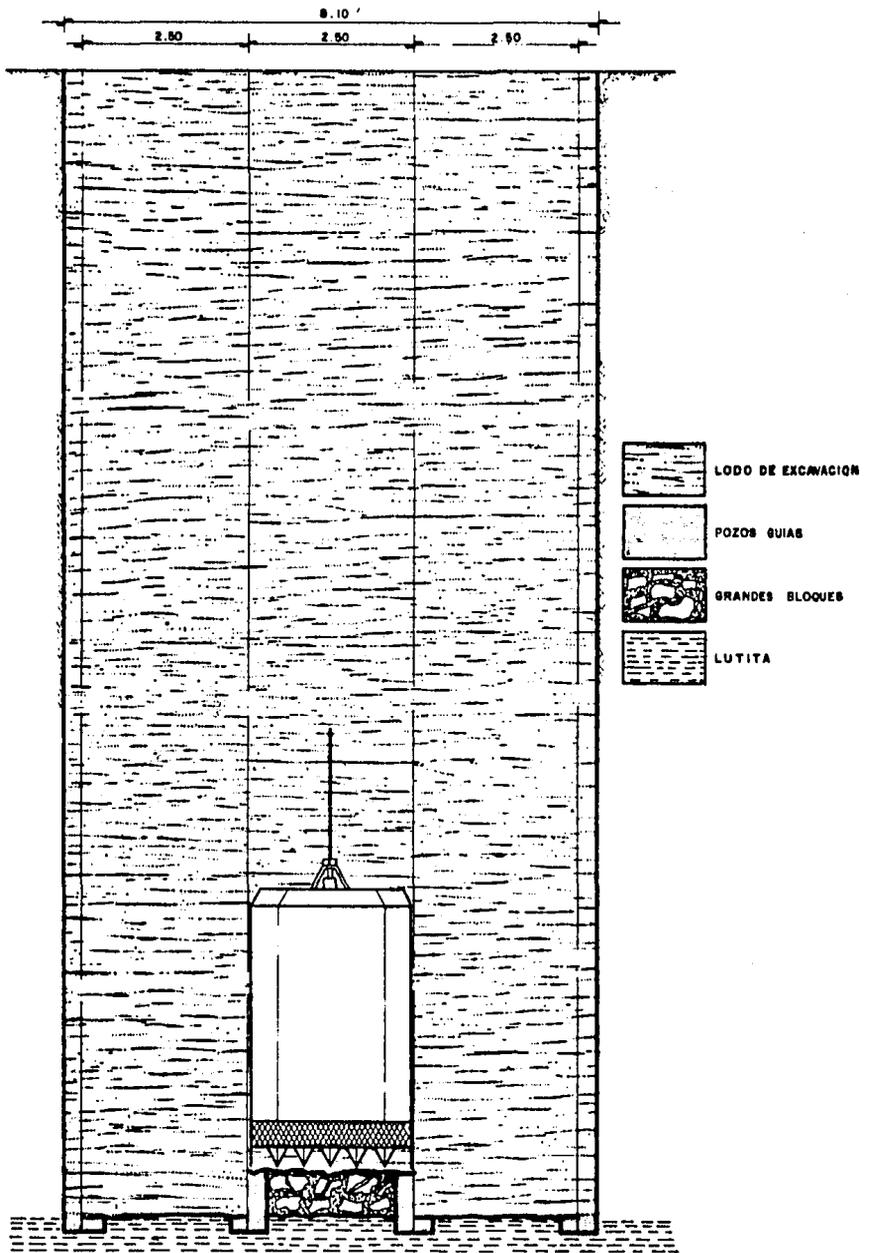
parte central del eje de pantalla se localiza una zona de boleos de gran tamaño, aproximadamente a una profundidad de 50 a 55 m. Para pasar este estrato se pueden utilizar los siguientes procedimientos:

Primeramente por medio de un cincel - trépano de 6 ton. de peso, que accionado mediante una draga golpea los boleos hasta fragmentarlos. Otro método consiste en utilizar una perforadora a percusión, la cual por medio de un trépano de 800 kg, golpea continuamente el bloque de basalto. En caso de que ambos métodos no den resultado, se utiliza la máquina rotaria para barrenar todo el fondo de esta zona conflictiva. Ver figura No. 29.

La excavación del estrato de grandes bloques es la más riesgosa y lenta, ya que si no se fragmentaron completamente estos bloques, cuando la almeja esté rezagando puede quedar atascada con uno de ellos al tratar de desprenderlo.

4.4.4.- EMPOTRAMIENTO EN ROCA IMPERMEABLE.

Una vez que se detecta la roca "in situ", se suspende la excavación, ya que la almeja no puede fragmentar este material. Se utiliza un cincel esbelto con punta de 3.5 ton. de peso, que es sostenido -



DEMOLICION ADICIONAL EN ZONA DE BOLEOS
 ESC: HORZ. 1:75 , VERT. 1:250

con una draga y golpea varias veces el fondo del tablero para triturar la lutita; posteriormente se coloca la almeja para rezagar el material triturado, repitiendo esta operación hasta que la excavación se ha empotrado 1.0 m. en lutita. Ver figura No. 30.

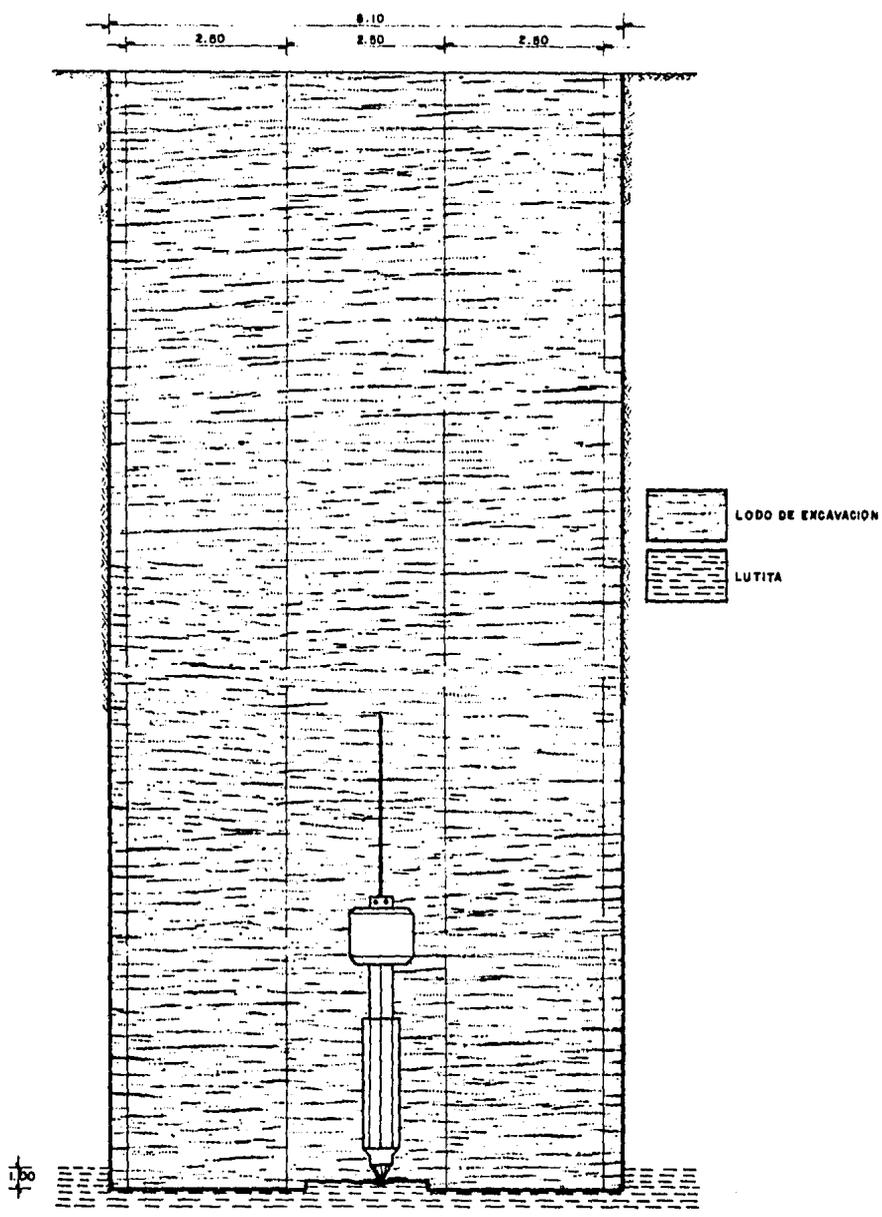
4.4.5.- LIMPIEZA DE EXTREMOS Y "PICOS" DEL TABLERO.

Antes de dar por terminada la excavación se verifica con la almeja la unión entre cada panel donde se forman "picos" de material, que la almeja no puede extraer desde su posición correcta. Asimismo, la limpieza del material contaminado de ambos extremos del tablero, se realiza colocando una placa metálica atornillada al cincel-trépano y se raspan dichas cabeceras totalmente, para desprender este material tal como lo muestra la figura No. 31. Esta operación se repite hasta que la pared queda vertical y limpia de material contaminado. Finalmente, con la almeja se realiza una limpieza en todo el tablero.

4.5.- LODO DE EXCAVACION.

Desde que inicia la excavación se introduce lodo bentonítico que sustituye al material extraído con la finalidad de mantener estables las paredes del tablero.

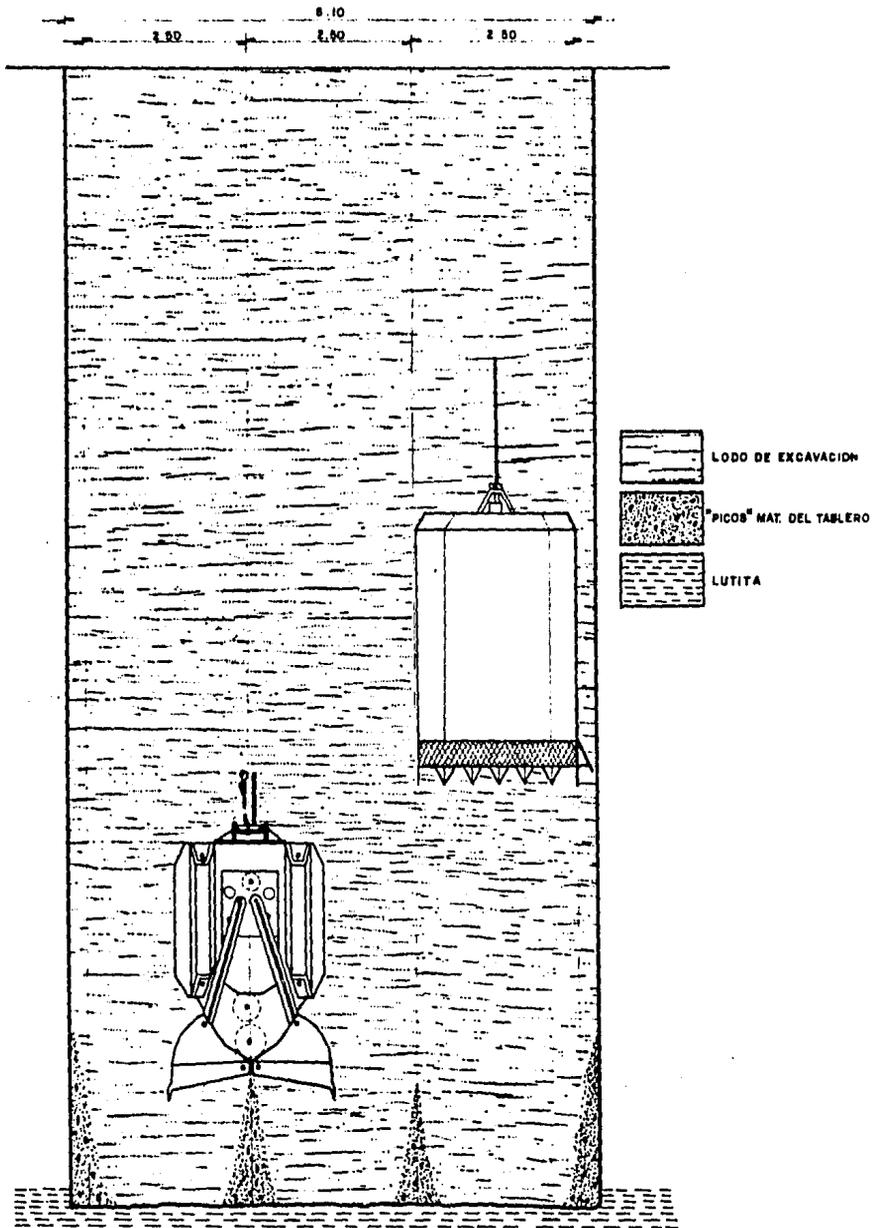
El lodo estabilizador es esencialmente una



EMPOTRAMIENTO EN ROCA IMPERMEABLE

EBC: HORZ. 1:75, VERT. 1:200

FIG. 30



LIMPIEZA DE EXTREMOS Y "PICOS" DEL TABLERO

ESC: HORZ. 1:75, VERT. 1:200

suspensión acuosa de una arcilla especial: la bentonita. Es una arcilla que posee propiedades especiales y principalmente un hinchamiento muy importante en presencia de agua. Una mezcla enérgica permite obtener suspensiones coloidales muy estables con concentraciones relativamente pequeñas.

Las bentonitas utilizadas para la excavación sufren normalmente tratamientos químicos (cambio de iones) y mecánicos (molienda muy enérgica) que acentúan sus propiedades más interesantes. Estas son principalmente.

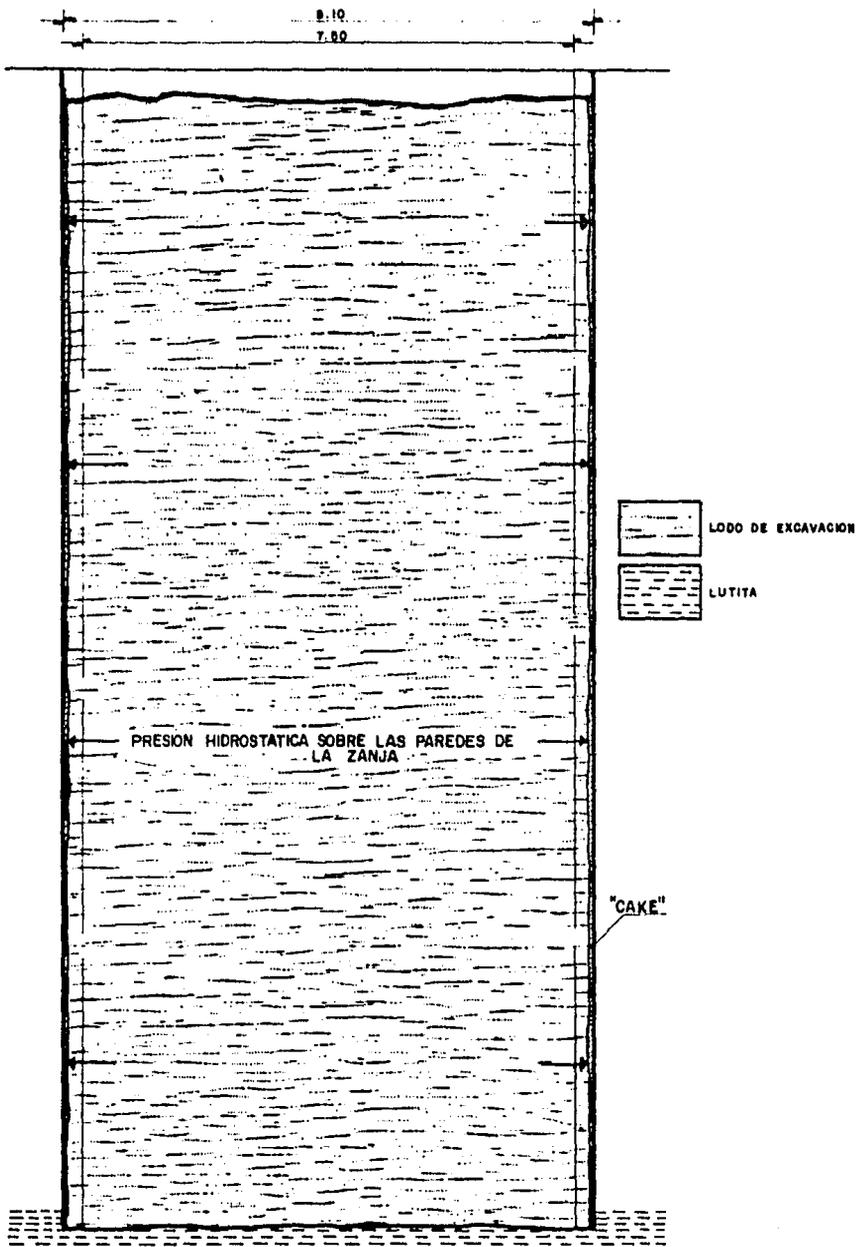
-La estabilidad de la suspensión, que se traduce en ausencia de decantación durante períodos prolongados.

-La propiedad de formar una película de arcilla muy poco permeable y muy delgada, al entrar en contacto con una superficie porosa.

-La Tixotropía: Este fenómeno obedece a que las partículas de arcilla tienden a orientarse y formar una cierta estructura, la cual se destruye por el movimiento. Por este motivo, el lodo, líquido cuando se haya en movimiento, se convierte en un gel cuando está en reposo y este gel se puede destruir nuevamente por agitación.

El lodo se debe vaciar en el interior de los tableros excavados hasta alcanzar un nivel superior - al nivel freático, con el objeto de generar un gra - diente de presiones sobre las paredes de la excava - ción que ayude a mantenerlas estables. El gradiente - además producirá infiltraciones del lodo hacia el in - terior de las paredes, por lo que debe controlarse la proporción agua-coloides, con el objeto de que dicha - infiltración sea mínima. Al producirse la infiltra - ción, se va formando en la frontera lodo-suelo una pe - queña película de pequeño espesor de moléculas de lo - do que constituye una verdadera membrana impermeable - y resistente, conocida en la terminología inglesa co - mo "Cake". La Tixotropía del lodo al pasar a gel y - las fuerzas electroquímicas y de tensión capilar que - se generan entre lodo y suelo en la frontera de los - dos materiales durante el filtrado, contribuyen a la - formación de esta película y a la adquisición de su - resistencia. Esta resistencia se suma a la presión hi - drostática del lodo, para estabilizar las paredes de - los tableros excavados. Ver figura No. 32.

A medida que progresa la excavación, el lodo - se contamina con finos del terreno, aumentando su den - sidad y alterando su viscosidad, por lo que se mantie - ne bajo control el proporcionamiento adecuado del lo - do que se continúa añadiendo hasta terminar la exca - vación.



ESTABILIDAD DE LA ZANJA MEDIANTE LODO BENTONITICO Y FORMACION DE LA PELICULA DE LODO ("CAKE") EN LA FRONTERA LODO - SUELO

ESQ: HORZ. 1:75 , VERT. 1:200

Otras propiedades que juegan un papel importante en la calidad de los lodos y por lo tanto en su utilización más económica, son sus características - tanto físicas como mecánicas, por lo que adicionalmente deberán conocerse los valores correspondientes a - su viscosidad, densidad, contenido de arena, su PH. y volumen de agua en prueba de infiltrado.

Todas estas propiedades se controlan en campo, para establecer la relación agua-bentonita recomendable y se verifican periódicamente en el laboratorio, las muestras obtenidas que se están manejando.

CAPITULO V

C O L A D O .

El colado de un tablero debe efectuarse tan rápido y continuamente como sea posible, es una condición importante para su buena ejecución. El estado del lodo en el momento del colado es muy importante. En todo caso es indispensable que no tenga una viscosidad, ni un contenido de arena demasiado altos: Es preciso asegurarse que el fondo de la excavación esté completamente limpio y exento de depósitos procedentes de la decantación del lodo. Si el lodo está muy contaminado al final de la excavación, es preciso desarenarlo, eventualmente fluidificarlo y, en último caso, sustituirlo.

El procedimiento adoptado generalmente para colar los Muros-Pantalla es a través del tubo sumergido. La columna de mortero se compone de tubos del mismo diámetro y longitud, los cuáles se ensamblan por medio de roscas en los extremos que permiten un atornillado y desatornillado rápido.

La columna se baja al fondo de la excavación y en su parte superior se coloca un embudo para in -

troducir el mortero. De esta forma el mortero llega al fondo y debido a su mayor densidad empuja al lodo hacia arriba. A medida que va penetrando el mortero y se eleva su nivel en la excavación, se hace más difícil la colocación del mismo en el tablero, por lo que es necesario ir sacando tubos de la columna, procurando que siempre permanezca sumergida en el mortero una longitud tal que no se mezcle este con el lodo que se va desplazando. Durante el colado se controla el llenado del tablero en distintos puntos mediante una plomada. Toda anomalía en el llenado indica algún incidente (por ejemplo un desprendimiento). Es conveniente establecer para cada tablero una gráfica, indicando las elevaciones alcanzadas por el mortero para los distintos volúmenes puestos en el sitio. Su análisis permitirá hacerse una idea a priori de la calidad del tablero y la situación de eventuales ensanchamientos (sobre espesores del muro realizado en relación al ancho teórico de la excavación).

El comportamiento del mortero durante el colado es bastante complejo y se explicará esta etapa en el subcapítulo correspondiente. A continuación se desglosan las etapas de un colado.

5.1.- DESARENADO DEL LODO DE EXCAVACION.

Es importante señalar que la ejecución de un buen colado depende en gran parte del lodo. Esto es, a medida que avanza la excavación, el lodo se va contaminando a tal grado que al finalizar ésta el lodo alcanza valores de densidad mayores a lo especificado (1.30 kg/dm^3). En casos como este en que la diferencia de densidades no es suficiente (menor de 0.5 kg/dm^3) para que el mortero desplace satisfactoriamente al lodo de excavación, es necesario reducir la densidad del lodo, mediante el desarenado.

Se probaron varios métodos para desarenar, - utilizando el sistema Air Lift con hidrociclones, - hasta adoptar el que mejor dió resultado que fué el de sustituir totalmente el lodo de excavación por un lodo nuevo antes del colado. Este método consiste en lo siguiente: El proceso de cambio de lodo se realiza mediante una tubería de $6''\emptyset$ que se introduce hasta el fondo de la excavación, la cual tiene conectada en la punta una boquilla para conducir aire comprimido, el aire se inyecta con una presión tal que venza la columna de lodo del tablero, para que se empiece a succionar el material contaminado del fondo y lo descargue en la superficie. Simultáneamente a éste desalojo, en la superficie se adiciona lodo limpio para mantener el nivel. Ver figura 33.

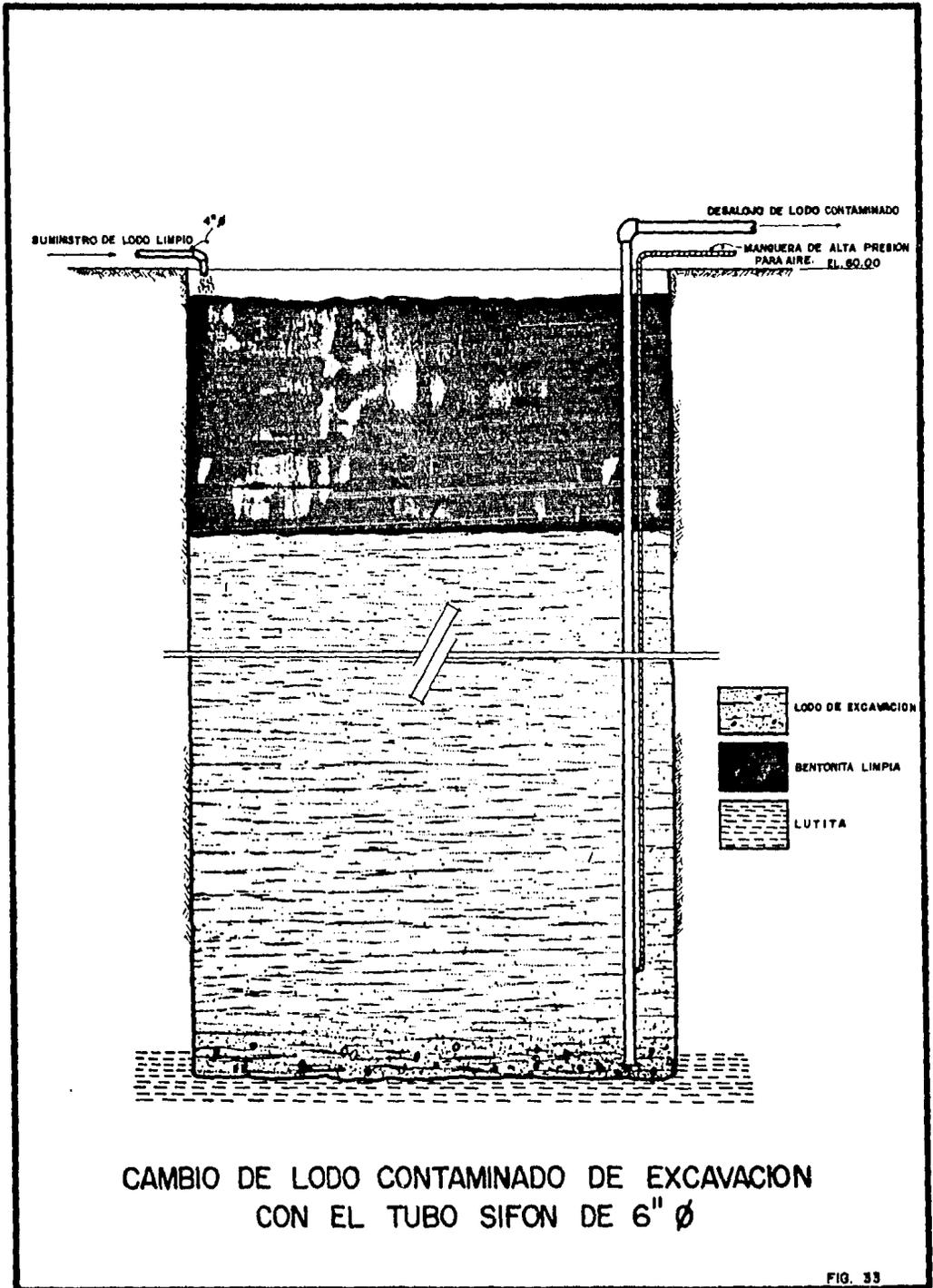


FIG. 33

La tubería se desplaza horizontalmente a lo largo del tablero para lograr mejor limpieza del fondo. Se suspende el cambio de lodo cuando se verifica que del fondo del tablero se extrae lodo limpio. Este proceso tiene una duración de 8 a 12 hrs, dependiendo del volumen por cambiar.

5.2.- EQUIPO PARA PREPARACION DE MORTERO PLASTICO.

Se cuenta en la obra con una planta de mezclados cercana al sitio de trabajo. Cada paso, desde la preparación del lodo bentonítico, hasta la colocación del mortero en su sitio, requiere del equipo especializado que se describe a continuación.

5.2.1.- PREPARACION DEL LODO BENTONITICO.

Se cuenta con mezcladores de alta velocidad de dos tipos: Un turbo agitador convencional y otro constituido por una bomba centrífuga de 3600 rpm. Los mezcladores son alimentados por elevadores de tornillo sinfín abastecidos con bentonita manualmente. El agua se agrega mediante tanques aforados de acuerdo a la relación A/B que se desee. El lodo preparado se envía a tanques elevados para su hidratación total, manteniéndose en agitación mediante la inyección de aire en el fondo de los depósitos.

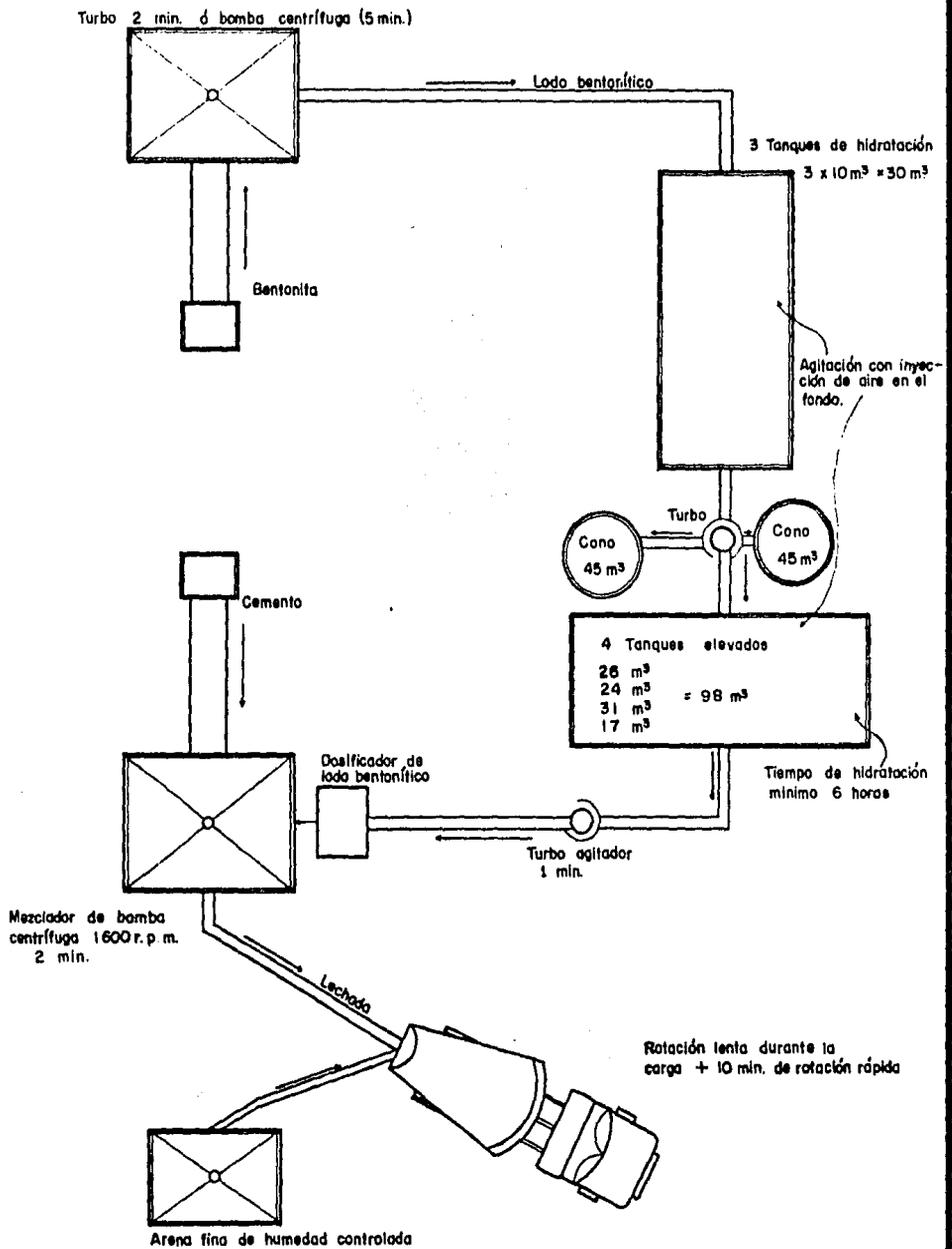
5.2.2.- PREPARACION DE LECHADA.

Se prepara la lechada con un mezclador provisto de una bomba centrífuga, el cemento se alimenta con dos elevadores de tornillo sinfín abastecidos manualmente y el lodo se agrega dosificado por medio de un tanque aforado. En este paso se agrega el agua libre que resulte, una vez considerada la humedad de la arena que se utilizará en el paso siguiente.

5.2.3.- PREPARACION DE MORTERO.

Una vez preparada la lechada se conduce con la misma bomba por tubería hasta la tolva dosificada de arena, en donde se vierte en un camión olla revolvedora que recibe simultáneamente la arena. La dosificación de la arena se efectúa por volumen en una tolva de 1 m^3 de capacidad. Se tiene otra tolva receptora, alimentada por banda desde la tolva de llegada de los camiones de volteo, que a su vez los carga un traxcavo de un banco de arena localizado en el sitio.

El llenado del camión olla revolvedora se efectúa en dos pasos, de 2.5 m^3 de mortero cada uno, los 5 m^3 de mortero se envían al sitio del colado para el control en el tiempo de mezclado. En la figura No. 34 se observa este proceso de preparación.



ETAPAS DE PREPARACION DEL CONCRETO PLASTICO

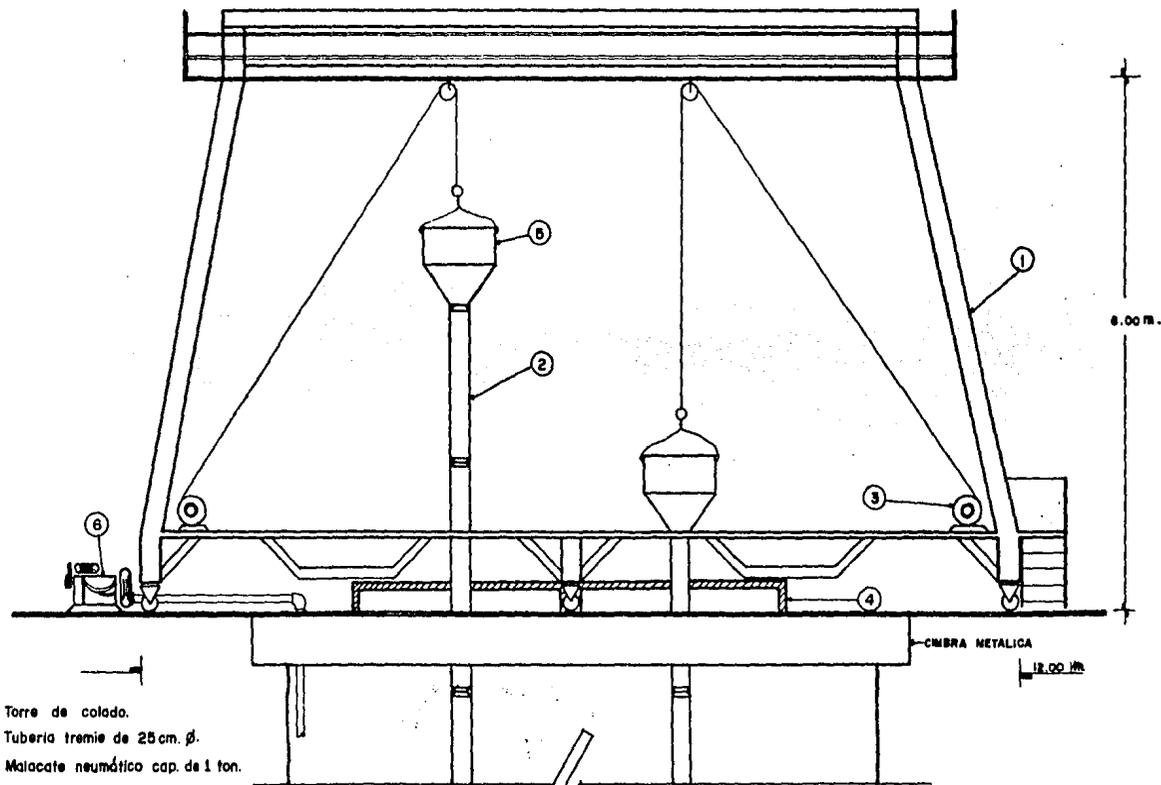
5.3.- EJECUCION DEL COLADO.

Se cuenta con una torre para colado, con asiento para dos tuberías tremie de 25 cm de diámetro, cada columna tiene una tolva receptora y por ellas se conduce el mortero hasta el fondo del tablero. La torre cuenta con dos malacates neumáticos para las maniobras de introducción o retiro de los tubos tremie, además se tiene el auxilio de una grúa para cualquier eventualidad.

Los tramos de la tubería tremie son de 3.0 m de longitud, con rosca y cuerda en ambos extremos para integrar la columna requerida. Ver figura No. 35.

5.4.- MANEJO DEL LODO DESPLAZADO.

Una vez iniciado el colado, se utiliza una bomba centrífuga para arenas, que mantiene el nivel del lodo por abajo del brocal del tablero. El lodo desplazado se envía a un cárcamo de sedimentación y almacenamiento en donde una segunda bomba del mismo tipo lo envía a un hidrociclón que elimina hasta las arenas finas. El lodo desarenado se almacena en un tanque elevado, donde se reactiva con la adición de bentonita si se requiere, utilizando un turbo mezclador y se mantiene en agitación inyectando aire en el fondo. Con la misma bomba para arenas se envía el lodo al tablero que se encuentra en excavación, a través de una tubería para su utilización. Ver figura No. 36.



- ① Torre de colado.
- ② Tubería tremie de 25 cm. Ø.
- ③ Malacate neumático cap. de 1 ton.
- ④ Rampa metálica para acceso de olla-revolvedora.
- ⑤ Tolva.
- ⑥ Bomba centrífuga para manejo del lodo desplazado

EQUIPO PARA EL COLADO

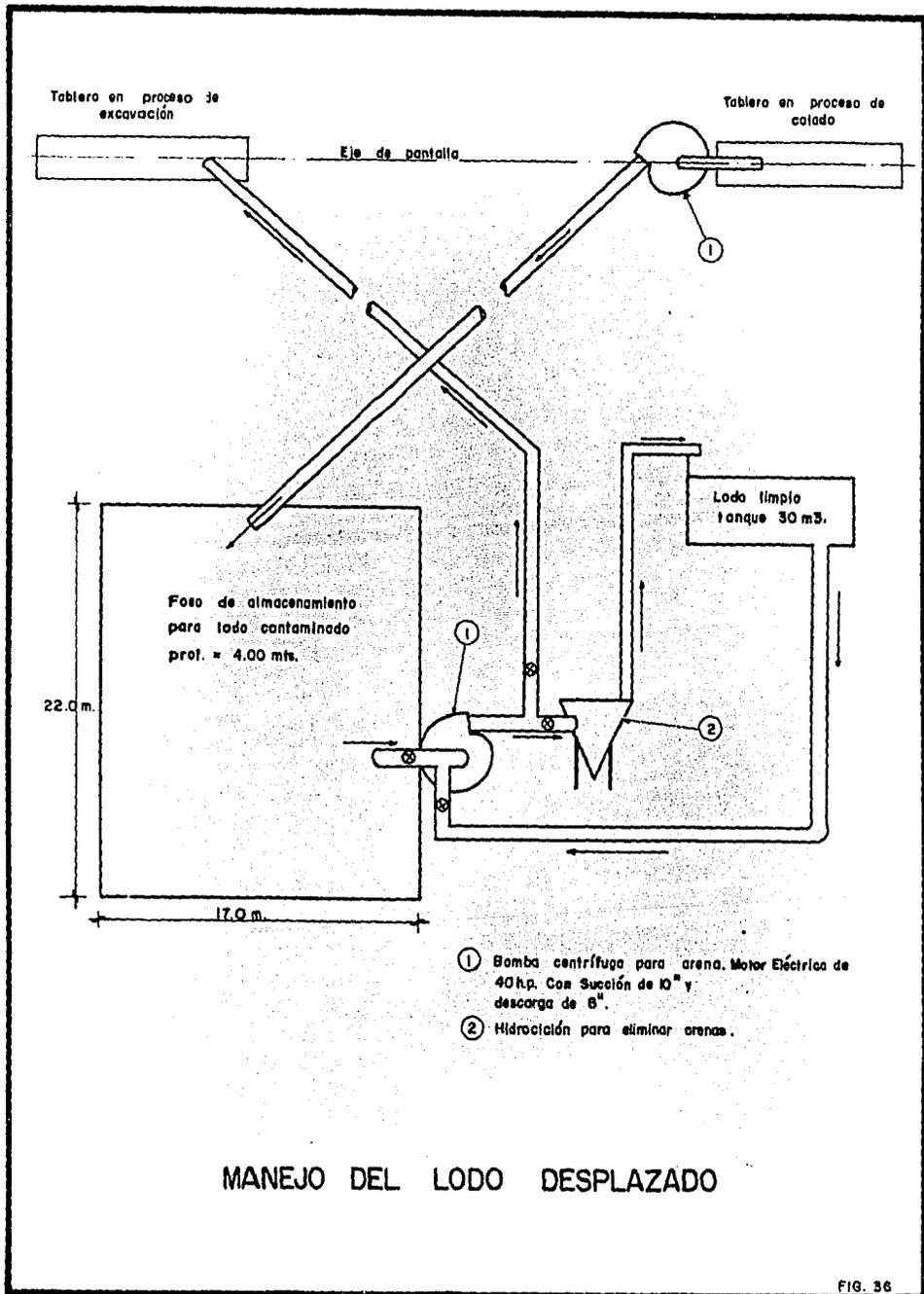
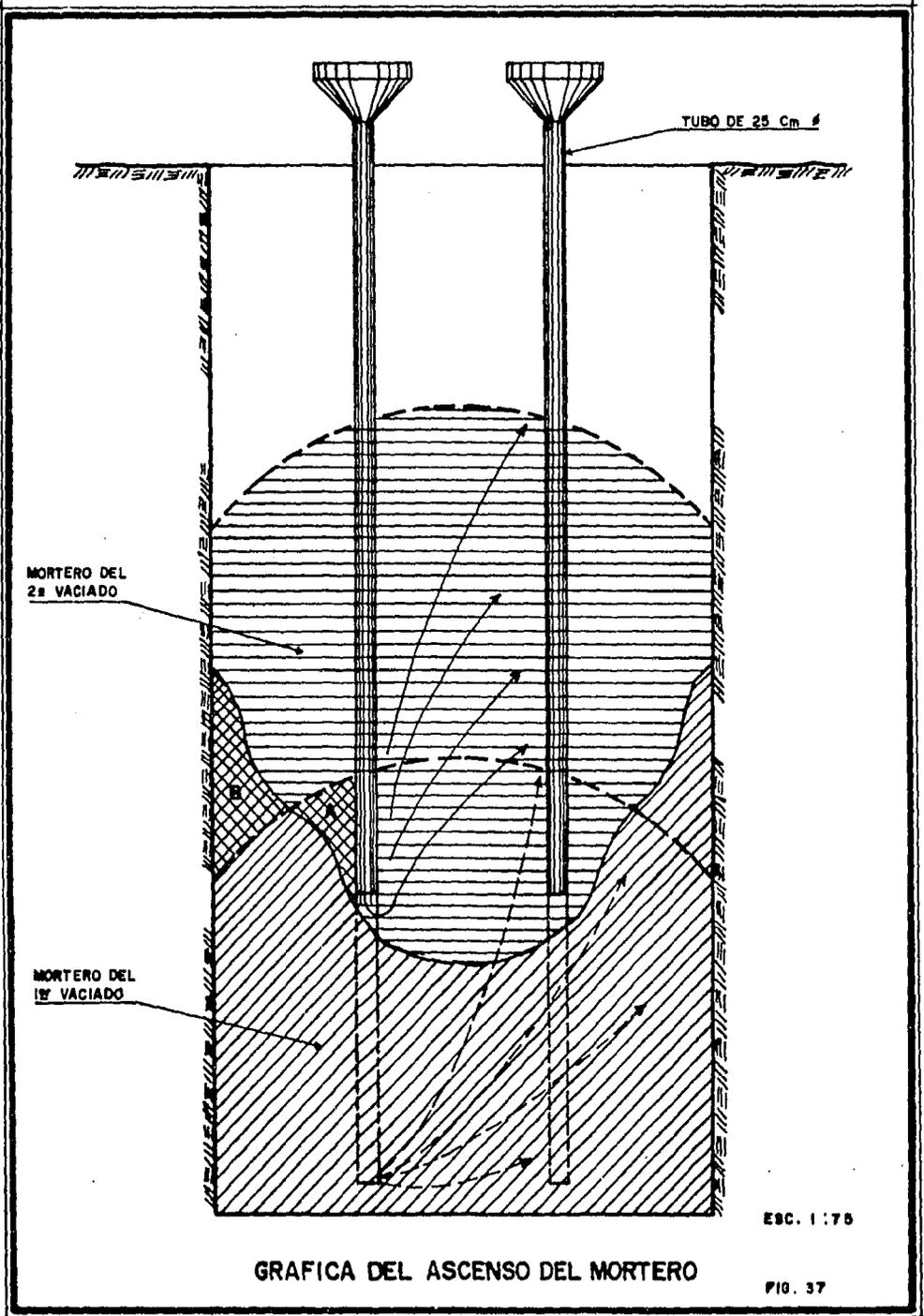


FIG. 36

5.5.- COMPORTAMIENTO DEL MORTERO DURANTE EL COLADO.

Desde un punto de vista reológico se puede considerar que el mortero plástico se comporta como una sustancia de gran viscosidad dotada además de una cierta rigidez sometida a las condiciones de tixotropía. Esta rigidez explica que la penetración del mortero en el tablero no se produzca simplemente ascendiendo en ella, sino que se realiza siguiendo un esquema más complejo representado en la figura 37. El mortero puesto en obra en primer lugar, estando la tubería en el fondo, llena la excavación siguiendo trayectorias parecidas a las representadas por las flechas a trazos. Cuando después de un primer vaciado, se eleva la tubería, la superficie del mortero toma la forma indicada así mismo a trazos. El mortero del segundo vaciado empuja al primer mortero, que se halla en la zona "A" alrededor de los tubos, hacia la zona "B" en el borde del tablero, pues el movimiento que sigue es el de las flechas de trazo continuo. Es inexacto, por tanto, decir que el primer mortero puesto en obra se encuentra al acabar el colado en el cabezal del panel.

Este mortero tenderá a encontrarse en las uniones entre tableros, es decir, en las juntas. Esto es debido a la rigidez del mortero que es menor alrededor de los tubos debido a los movimientos más importantes que sufre. En las zonas alejadas del tubo el mortero endurece más rápidamente y no cambia de sitio.



5.6.- RECUPERACION DE MUESTRAS DURANTE EL COLADO.

Durante el proceso de colado y para verificar la homogeneidad del mortero colocado, se recuperan muestras, proporcionando inmediatamente información más oportuna, para que en caso de detectar algún incidente, aplicar las medidas procedentes.

Primeramente se recuperaba en fresco una columna de mortero, introduciendo un ademe de perforación de 6 cm de \emptyset provisto de una válvula check en el extremo, utilizando una máquina rotaria para hincar el ademe al final del colado, pero se encontraron problemas en cuanto a la longitud recuperada, mucho menor que lo previsto; por lo que se cambió el hincado a mano, auxiliándose con el malacate de la perforadora rotaria, para tramos parciales a lo largo del proceso de colado.

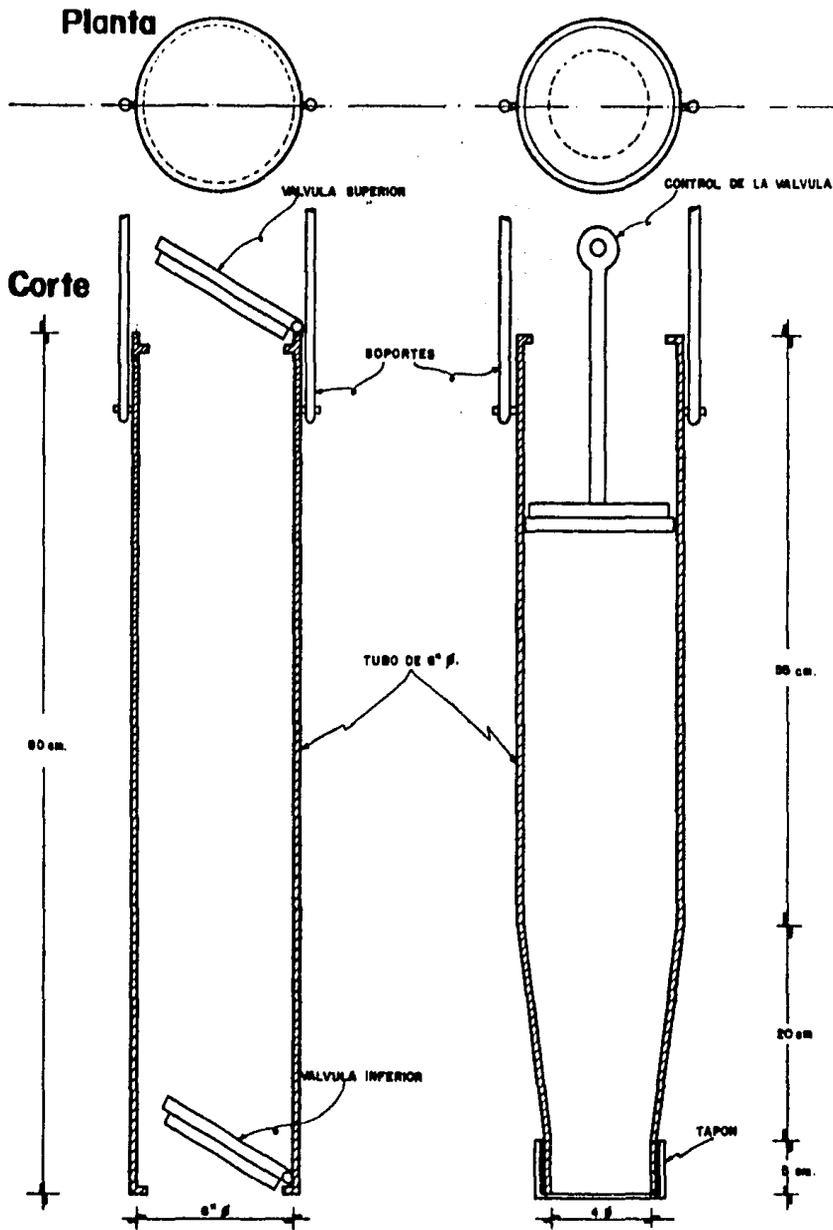
5.7.- SEGUIMIENTO DEL NIVEL DEL MORTERO.

Previamente al colado, se conocen las dimensiones del tablero, por lo que teóricamente se calcula cuánto asciende el mortero al ir vaciándolo progresivamente en la excavación. Este progreso del colado se verifica físicamente mediante muestreadores-suspendidos en una cinta metálica graduada; el mues-

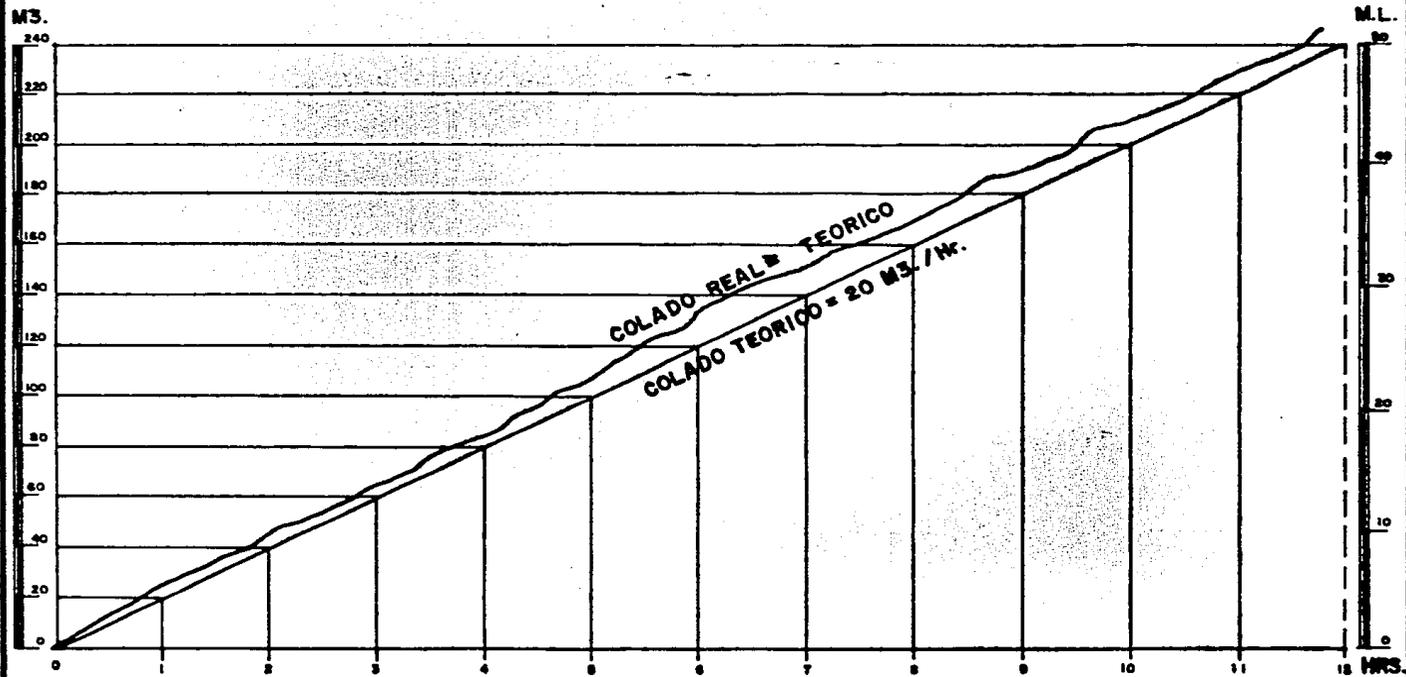
treador es accionado desde la superficie para obtener la altura y muestra del mortero, generalmente ésta operación se realiza al vaciar cada 10 m^3 de mortero. La capacidad de los muestreadores es de 8 lts. con un peso (vacíos) de 20 kg. Ver figura 38.

Con los datos obtenidos mediante este muestreo; se dibuja una gráfica del ascenso real del mortero, contra en ascenso teórico del mismo; esto es con la finalidad de conocer en cualquier momento alguna eventualidad que se presente durante el colado, para tomar las medidas que el caso amerite. Recordemos que el volumen real colocado en todos los casos siempre debe ser mayor o igual que el volumen teórico. En la figura No. 39 se observa dicha gráfica.

De igual forma, con los datos de ascenso del mortero obtenidos mediante los muestreadores y la longitud conocida de las columnas de tubería, se procede al retiro de tubos tremie, tratando que siempre queden alojados en el mortero como mínimo 6 mts., para evitar la contaminación entre el mortero colocado y el lodo desalojado. En los anexos 1 y 2 se muestra el orden y el programa de retiro de la tubería de colado, citando como ejemplo el colado del tablero 59-60-61.



SEGUIMIENTO DE NIVEL DEL MORTERO
 ESC: 1:8



**GRAFICA DEL COMPORTAMIENTO DEL MORTERO
DURANTE EL COLADO**

ESC. VER. M3. = 1:2000
 ESC. VER. M.L. = 1:400
 ESC. HOR. HRS = 1:50

A N E X O 1

ORDEN DE COLOCACION DE TUBERIA PARA COLADO DEL TABLERO 59-60-61.

P A N E L 59

P A N E L 59

No. de Tubo	Longitud	Long. Acum.	No. de Tubo	Longitud	Long. Acum.
2	- 5.96 M	- 5.96 M	1	- 5.25 M	- 5.25 M
4	- 3.12	- 9.08	3	- 3.10	- 8.35
6	- 3.08	- 12.16	5	- 3.10	- 11.45
8	- 3.07	- 15.23	7	- 3.06	- 14.51
10	- 3.08	- 18.31	11	- 3.08	- 17.59
12	- 3.11	- 21.42	13	- 3.09	- 20.68
14	- 3.09	- 24.51	15	- 3.08	- 23.76
16	- 3.04	- 27.55	17	- 3.14	- 26.90
18	- 3.08	- 30.63	19	- 3.08	- 29.98
20	- 3.14	- 33.77	21	- 3.15	- 33.13
22	- 3.13	- 36.90	23	- 3.10	- 36.23
24	- 3.06	- 39.96	25	- 3.11	- 39.34
26	- 3.06	- 43.02	27	- 3.11	- 42.45
28	- 3.08	- 46.10	29	- 3.06	- 45.51
30	- 3.14	- 49.24	31	- 3.14	- 48.65
32	- 3.14	- 52.38	33	- 3.14	- 51.79
34	- 1.78	- 54.16	35	- 1.78	- 53.57
36	- 1.30	- 55.46	37	- 1.60	- 55.17

Continua Anexo 1

De la hoja anterior tenemos:

	P A N E L 59		PANEL 61
Longitud total de tubería colocada	55.46 M	---	55.17 M
Contacto Geológico Aluvión Lutita	53.15	---	51.75
Emportamiento en lutita	<u>1.10</u>		<u>2.25</u>
Profundidad Final.	54.25 M	---	54.00 M

Si la altura de la torre para colado es 1.60 M, entonces -
la profundidad de colado es:

54.25 M	54.00 M
<u>1.60</u>	<u>1.60</u>
55.85 M	55.60 M

Por lo tanto la separación de las tuberías del fondo de la
excavación será:

55.85 M	55.60 M
<u>55.46</u>	<u>55.17</u>
0.39 M	00.57 M

Estos datos los vaciamos al formato del programa para el -
retiro de tubos de colado, que se muestra en la siguiente hoja -
(anexo 2).

CAPITULO VI

ESPECIFICACIONES GENERALES.

En vista de la importancia que tiene para la seguridad global de la obra; por sus funciones y localización, siendo la durabilidad una de las características más importantes del muro impermeable, estas condiciones obligan a mantener un estricto control durante las etapas de excavación y colado, por lo que se han establecido las especificaciones que estrictamente debe cumplir cada operación para su aceptación, las cuales se detallan a continuación:

6.1.- CONTROL DURANTE LA EXCAVACION.

6.1.1.- LOCALIZACION DE LOS TABLEROS.

La localización de los tableros en la superficie se realizará mediante topografía, verificando su alineamiento, cadenamiento y elevación en cada barrenogüa de \varnothing 60 cm al colocar la máquina rotaria-T-4, y en cada tablero individual al construir el brocal. La tolerancia aceptada es de \pm 2 cm.

Se dejarán marcas, mojoneras u otra referen-

cia, para la localización rápida de cualquier tablero.

El ejecutor está obligado a mantener visible la parte alta de los tableros colados para permitir la verificación de la continuidad en superficie.

La longitud de un tablero triple será de 8.10 m, es decir que incluye totalmente a los barrenos gufa extremos, por lo que el brocal debe permitir la entrada de la almeja en dicha longitud, lo que proporciona una distancia de traslape de 60 cm. para garantizar la continuidad entre colados de tableros primarios y de cierre.

6.1.2.- PROPIEDADES DEL LODO DE EXCAVACION.

Tanto la fluidez como la densidad del lodo utilizado para estabilizar las paredes, se mantendrán durante todo el proceso dentro de los límites siguientes:

Fluidez al Cono Marsh : Mayor a 40 seg.

Densidad : Entre 1.10 y 1.25 kg/dm³.

El laboratorio de mezclas mantendrá un control rutinario de las mencionadas propiedades, y dará las indicaciones para la corrección cuando proceda.

6.1.3.- VERTICALIDAD DE BARRENOS GUIA.

Todos los barrenos guía de \emptyset 60 cm. se medirán con péndulo invertido para formar un registro de la desviación respecto a la vertical; la máxima lectura es de 33 cm con la plomada de 12 kg. de peso y en caso de presentarse se repetirá la observación con plomada de pequeño diámetro, (6 kg. de peso) con lo que el intervalo de lectura se amplía a 55 cm.

Los barrenos extremos de cada tablero triple constituyen la junta o traslape entre 2 tableros, y se perforan en 2 ocasiones, por lo que se tendrán 2 lecturas con el péndulo invertido, en cada barreno - junta; la diferencia, entre la 1.^a y la 2.^a lectura debe ser como máximo de 32 cm. tanto normalmente a la pantalla como hacia el tablero de cierre.

6.1.4.- EMPOTRAMIENTO EN EL FONDO.

La elevación a la que se encuentra la roca - "In situ" es determinada por la Residencia de Geología mediante recuperación de núcleos y verificada durante la excavación identificando el material extraído por la almeja.

La excavación se suspenderá cuando se haya excavado una profundidad adicional de 50 cm. si el material es sano y resistente, o de 1.0 m cuando el-

material es suave; en este último caso se excavará - como máximo un empotramiento de 2.0 m.

Es responsabilidad del Geólogo de la obra fijar el contacto con toda precisión y dictaminar sobre el estado de la roca, por lo que, independientemente de horario, el ejecutor le dará aviso en cuanto se llegue a la profundidad indicada inicialmente, lo que permitirá comprobar el dato.

La profundidad a que se encuentra el contacto del aluvión con la roca intacta, así como la profundidad total excavada se deberán incluir en la orden de colado.

6.1.5.- VERTICALIDAD DE LOS TABLEROS.

Para verificar que la almeja ha seguido a los barrenos guía en toda su longitud, se efectuarán mediciones con el péndulo invertido, con una lectura en cada tablero individual; las lecturas de los tableros extremos correspondientes a colados primarios se compararán con las lecturas del tablero adyacente del colado de cierre, siendo tolerable como en el caso de los barrenos guía, una diferencia de 32 cm.

En los casos en que la diferencia de lecturas sea mayor, se programará una excavación adicional de liga, pudiendo ser un barreno de 60 cm. ó un-

tablero de 2.50 m. con barrenación guía en los extremos, de acuerdo a la magnitud de la discontinuidad. Esta excavación adicional se programará para el momento más oportuno, ya se después del colado de cierre ó como ampliación de la excavación del tablero de cierre.

6.1.6.- CONTINUIDAD ENTRE LOS TABLEROS.

Antes de extender la orden de un colado de cierre se harán las comparaciones de las lecturas obtenidas con el péndulo invertido tanto en los barrenos \emptyset 60 cm que constituyen la liga, como en los tableros extremos. Además, se procederá a escarificar las paredes extremas del tablero a fin de eliminar el lodo contaminado con arena que se adhiere al mortero de los tableros primarios; para ésta operación se adosará lateralmente a la almeja una paleta metálica, que raspará la superficie hasta muestrear sólo mortero.

Estas operaciones se reportarán en la orden de colado.

Las tolerancias mencionadas antes deberán ser respetadas en todos los casos.

6.1.7.- DESARENADO DEL LODO DE EXCAVACION.

Una vez terminada la excavación, se procede-

rã a muestrear el lodo a cada 10 m. de profundidad y en el fondo, determinandose su fluidez, densidad y contenido de arena. De acuerdo con los resultados y con la velocidad de sedimentación detectada, se procederã a desarenar introduciendo una tubería de succión hasta el fondo, pudiendo retornar el lodo desarenado al nivel más conveniente para corregir la densidad. No es recomendable bajar la densidad del lodo del límite inferior de 1.10 antes mencionado, por lo cual se verificarã a intervalos regulares el valor de la densidad a la profundidad ya indicada. En el caso de que el valor de la densidad se encuentre bajo y a la vez se detecte sedimentación importante en el fondo, el retorno del lodo desarenado se llevarã hasta el fondo y se procederã a eliminar el azolve moviendo horizontal y verticalmente la tubería de succión.

6.1.8.- SUSPENSION DEL AZOLVE CON AIRE.

En los casos en que por alguna razón no sea posible desarenar el lodo de excavación, y la velocidad de sedimentación tenga valores tolerables (1 m. en 4 horas), se podrã utilizar la inyección de aire en el fondo del tablero para evitar la decantación de la arena suspendida. El aire se introducirã mediante tubería ó manguera, equipada con manómetro en la parte superior, y con una tubería en "T" de 1.5 m con perforaciones en la parte inferior, que se bajarã hasta el fondo para efectuar el barrido del azolve.

La presión se mantendrá como máximo 0.5 kg/cm^2 arriba de la necesaria para vencer la columna de lodo, excepto si hay obstrucción, en cuyo caso se puede aumentar momentaneamente para restituir el flujo, a la vez que se mueve verticalmente la "T".

Se verificará la profundidad regularmente para asegurar que el aire no haya causado caídos importantes en las paredes (en cuyo caso se rezagará con la almeja) y momentos antes de iniciar el colado se suspenderá la inyección de aire, y se extraerán las "Tes".

Se instalarán 2 "Tes" simétricamente colocadas para cubrir la longitud de 8.10 m. del tablero triple.

6.1.9.- ESPESOR DE AZOLVE.

En todos los casos se tratará de lograr la limpieza total del fondo mediante desarenado y aplicación de aire; por diversas razones (pequeños desprendimientos, excesivo tiempo entre el retiro del desarenador y el colado etc.), se produce alguna sedimentación antes de iniciar el colado, y el espesor tolerable, que deberá verificarse continuamente, está relacionado con la longitud de empotramiento real, es decir: La longitud-excavada en la roca "in situ" menos el espesor del azolve; el empotramiento real será como mínimo de 50 cm

si la roca es sana y de 80 cm. a 1.0 m. cuando se -
tenga roca muy alterada, de ahí la conveniencia de -
excavar entre 1.0 m y 2.0 m. después del contacto, -
para disponer de un volumen para azolve sin afectar-
la calidad del empotramiento.

6.2.- CONTROL DURANTE EL COLADO.

6.2.1.- EMISION DE ORDEN DE COLADO.

Una vez terminada la excavación y cumplidas -
las especificaciones referentes a longitud de empo -
tramiento, ubicación, verticalidad ó diferencia res -
pecto a los tableros de primera etapa si se trata de
un tablero de cierre, así como propiedades del lodo-
de excavación, calidad y disponibilidad de materia -
les para el colado, estado y disponibilidad de equi -
po, además de personal apropiado y suficiente, se au
torizará el colado del tablero, mediante una orden -
firmada por el Residente de Mecánica de Rocas ó el -
Jefe de Control de Calidad; debe aparecer la firma -
del Geólogo Residente avalando el empotramiento sufi
ciente y la profundidad del contacto aluvión-roca.

6.2.2.- PROPORCIONAMIENTO DEL MORTERO.

Se especificó un mortero con una resistencia
de 10 kg/cm² en la prueba de compresión simple a los

28 días y con un módulo de deformabilidad de 5000 - kg/cm².

Por necesidades del procedimiento debe tener una densidad mayor a 1.7 kg/dm³ y agua libre de 3 % - máximo en la prueba de sedimentación.

La mezcla siguiente satisface los requeri - mientos:

Relación	cemento/agua	C/A	=	0.35
"	bentonita/cemento	B/C	=	0.30
"	arena/cemento	Ar/C	=	4.41
	Plastiment			0.3% del cemento.

Nota : Todas las relaciones son en peso.

Se ha autorizado la siguiente mezcla, cuando haya problemas para manejar el lodo bentonítico por-excesivo espesamiento:

Relación	cemento/agua	C/A	=	0.35
"	bentonita/cemento	B/C	=	0.235
"	arena/cemento	: Ar/C	=	4.50
	Plastiment			0.3% del cemento.

El lodo preparado con relación 10:1 (A/B, en peso) y se añade en éste último caso aditivo SIKA -

MENT en un 15% del peso de la bentonita.

Con la disponibilidad de la bentonita con L.L. = 300 de fabricación controlada, se eliminará el segundo proporcionamiento y se tratará de aumentar la relación B/C al máximo para tener una mezcla definitiva.

El personal de Control de Calidad fijará oportunamente las correcciones de agua libre, de acuerdo con las determinaciones del contenido de humedad de la arena que se efectúen, y llevará el control de cada paso de la preparación del mortero, como se describe en seguida:

6.2.3.- CONTROL DE CALIDAD DEL LODO BENTONITICO.

El lodo bentonítico que se empleará en el mortero se sujetará a las verificaciones siguientes:

6.2.3.1.- PROPORCIONAMIENTO ADECUADO.

Se debe dar aviso a Control de Calidad antes de preparar lodo bentonítico, a fin de que el personal encargado verifique y registre las cantidades mezcladas de agua y bentonita, así como el tiempo de agitación, la hora en que se envía a hidratación, y determine propiedades índice.

6.2.3.2.- PROCESO DE PREPARACION.

En un agitador de alta velocidad se colocará el agua, la bentonita y se mezclarán durante 3 min.- como mínimo, después de lo cual se enviarán a tanques de hidratación.

6.2.3.3.- TIEMPO DE HIDRATACION.

Sólo podrá emplearse lodo bentonítico completamente hidratado, con un mínimo de 7 horas, de tiempo de hidratación y en caso de duda se procederá a determinar las propiedades índice para verificar su estabilización. Por ésta razón, se debe disponer de tanques de hidratación con volumen suficiente de lodo preparado e hidratado, antes de iniciar un colado.

6.2.3.4.- PROPIEDADES INDICE.

Se determinarán 2 propiedades básicas: La densidad y la fluidez Marsh.

La densidad refleja fielmente la exactitud del proporcionamiento, por lo que deberá ser igual a la densidad teórica, con una tolerancia de $\pm 1\%$.

La fluidez determinada en el cono Marsh permite seguir el proceso de hidratación y refleja la

calidad de la bentonita utilizada; como la disponible hasta la fecha ha sido de calidad muy variable, se ha fijado un intervalo muy amplio de aceptación (45 seg - 60 seg.), mismo que será más controlado con la bentonita LL- 300.

6.2.3.5.- ALMACENAMIENTO DEL LODO PRE PARADO.

El lodo se almacenará en tanques libres de óxido y protegidos contra deshidratación y caída de agua de lluvia ó impurezas que afectan su calidad ó proporcionamiento. En el fondo de los tanques de almacenamiento se colocará una tubería con perforaciones, por la cuál se inyectará aire para mantener el lodo en agitación.

En caso de variación notable en las propiedades del lodo almacenado un tiempo considerable, se deberá reactivar utilizando un turbo-agitador para recircularlo.

6.2.3.6.- EMPLEO DE ADITIVOS.

Cuando por variación de la calidad de la bentonita, se presenten problemas para el manejo del lodo correctamente proporcionado y mezclado, Control de Calidad indicará el porcentaje de aditivo dispersante SIKAMENT que deba añadirse.

Queda excluido, salvo especial comunicado al respecto, el empleo de cualquier aditivo distinto al indicado.

6.2.4.- CONTROL DURANTE LA FABRICACION DE LECHADA.

Como se mencionó en la secuencia de preparación del mortero, el primer paso consiste en fabricar lechada agua-cemento-bentonita, de acuerdo a las especificaciones siguientes:

6.2.4.1.- MATERIALES UTILIZADOS.

Cemento.- Se empleará cemento portland tipo-II ó portland puzolana, que cumpla con las especificaciones normales para su uso en concreto en lo referente a temperatura, ausencia de grumos, edad, superficie específica, adquisición de resistencia inicial y final etc.

Agua.- Se acepta el agua obtenida mediante un pozo, de la cuál se anexa análisis químico, siempre y cuando mantenga sus características. Ver figura No. 40.

Bentonita.- Se utilizará bentonita sódica - marca perfobent, que ha sido probada para definir la mezcla idónea; una vez establecido el empleo de la bentonita LL=300, se fijarán propiedades índice que-



COORDINADORA EJECUTIVA DE CONSTRUCCION SURESTE

LABORATORIO QUIMICO ANALISIS DE AGUA

PROCEDENCIA: <u>P. H. PEÑITAS</u>	FECHA: <u>82/06/18</u> <u>82/06/19</u>
SITIO DE MUESTREO: <u>AMI-1</u>	NUMERO DE REPORTE: <u>22</u>
SOLICITANTE: <u>LABORATORIO DE MEZCLAS</u>	NUMERO DE MUESTRA: <u>107</u>
	NUMERO DE EXP.: <u>1</u>

ANALISIS FISICO

COLOR: <u>INCOLORO</u>	TEMPERATURA (°C) = <u> </u>	PH = <u>6.2</u>
SOLIDOS VOLATILES (Mg/l) SUSPENDIDOS: <u>NO PRACTICADO</u>	SOLIDOS TOTALES (Mg/l) VOLATILES: <u>NO PRACTICADO</u>	
SOLIDOS SEDIMENTABLES: $\left(\frac{\text{MG}}{\text{LITRO}} \right)$ <u>0</u>	SOLIDOS TOTAL: $\left(\frac{\text{MG}}{\text{LITRO}} \right)$ <u>430</u>	

ANALISIS QUIMICO

DETERMINACION	RESULTADO	TERMINOS	DETERMINACION	RESULTADO	TERMINOS
ALCALINIDAD	304.2	$\frac{\text{MG}}{\text{LITRO}}$ CaCO ₃	SULFATOS	36	$\frac{\text{MG}}{\text{LITRO}}$ SO ₄
ACIDEZ	153.225	$\frac{\text{MG}}{\text{LITRO}}$ CaCO ₃	FOSFATOS		$\frac{\text{MG}}{\text{LITRO}}$ PO ₄
DUREZA TOTAL	334.7	$\frac{\text{MG}}{\text{LITRO}}$ CaCO ₃	CALCIO	74.19	$\frac{\text{MG}}{\text{LITRO}}$ Ca
DUREZA DE CALCIO	185.47	$\frac{\text{MG}}{\text{LITRO}}$ CaCO ₃	MAGNESIO	38.72	$\frac{\text{MG}}{\text{LITRO}}$ Mg
DUREZA MAGNESIO	159.22	$\frac{\text{MG}}{\text{LITRO}}$ CaCO ₃	FIERRO	4	$\frac{\text{MG}}{\text{LITRO}}$ Fe
CARBONATOS	0.0	$\frac{\text{MG}}{\text{LITRO}}$ CO ₃	SODIO	12.4	$\frac{\text{MG}}{\text{LITRO}}$ Na
BICARBONATOS	371.30	$\frac{\text{MG}}{\text{LITRO}}$ HCO ₃	POTACIO	4	$\frac{\text{MG}}{\text{LITRO}}$ K
CLORUROS	12	$\frac{\text{MG}}{\text{LITRO}}$ CL			

OBSERVACIONES: ES UN AGUA DURA, CON ALCALINIDAD DEBIDA A BICARBONATOS ELEVADA EL CONTENIDO DE FIERRO ES TAMBIEN ELEVADO.
(UTILIZADA PARA PREPARAR EL MORTERO PLASTICO)

ANALIZO

JEFE DE SECCION

QFB GLORIA P. CASTRO GARCIA

ING. NATIAS MORENO M

JEFE DE LABORAT. QUIMICO

ING. JORGE CORIA CABRERA

FIG. 40

deberá cumplir para ser utilizada en el proporcionamiento usual.

Debe cumplir con las normas elementales de limpieza, adecuado almacenamiento y manejo etc.

6.2.4.2.- PROPORCIONAMIENTO.

El lodo bentonítico será medido en un tanque aforado que permita un rápido y fácil acceso al inspector y/o al operador, y que proporcione un error máximo del 2 %.

En forma similar será cuantificada el agua libre, cuyo volumen es diferente para cada colado, ya que constituye la corrección por el agua incluida en la arena. Por ello, se marcará el índice correcto antes de iniciar la fabricación para cada colado.

El cemento se adicionará por sacos, verificando la entrada completa a la tolva en cada revolución.

6.2.4.3.- SECUENCIA DE MEZCLADO.

Los materiales se colocarán en el agitador en el orden siguiente: agua, lodo bentonítico, cemento.

6.2.4.4.- TIEMPO DE AGITACION.

Como mínimo se agitará la mezcla durante 3 - minutos.

6.2.4.5.- PROPIEDADES.

A la mezcla terminada se le muestreará para determinar densidad, fluidez al cono marsh y sédimentación.

La densidad deberá ser la teórica, con una tolerancia de + 3%, que puede atribuirse al peso variable de cada saco de cemento.

La fluidez al cono Marsh no puede acotarse - actualmente por ser muy amplia la variación de la - fluidez del lodo bentonítico; con el uso de la bentona LL=300 se podrá fijar el intervalo de aceptabilidad, que será proporcionado oportunamente.

6.2.4.6.- TIEMPO DE VIDA UTIL.

Si por falla del equipo o problemas de cualquier otro tipo, se tuviera que mantener en el agitador una lechada preparada, el tiempo permitido será de 75 minutos, después del cual deberá tirarse. Si dentro del plazo permitido la lechada alcanzara temperaturas iguales o mayores a 40°C, deberá eliminarse.

6.2.5.- CONTROL DURANTE LA FABRICACION DEL MORTERO.

6.2.5.1.- CARACTERISTICAS DE LA ARENA.

Está autorizado el empleo de arena media a fina, bien graduada, sin contaminación de materia orgánica, arcillas ó limos, lo que se logra mediante lavado y clasificación en planta; debe evitarse en lo posible el empleo de arena tal como se extrae de los bancos, ya que originan problemas en el mezclado. En la figura 41 se muestra la curva granulométrica.

6.2.5.2.- DISPONIBILIDAD DE ARENA.

Antes de iniciar un colado, deberá existir en la planta una cantidad de arena mayor a la que se requerirá, siendo además de la misma procedencia.

6.2.5.3.- CONTENIDO DE HUMEDAD.

Unas horas antes de iniciar un colado, se determinará el contenido de humedad de la arena, tomando 2 ó más muestras representativas del volumen almacenado; después del muestreo se deberá mantener la arena cubierta, para evitar variaciones importantes por lluvia ó evaporación.

Una vez conocido el contenido de humedad, Control de Calidad indicará la cantidad de agua li -



COORDINADORA EJECUTIVA DE CONSTRUCCION SURESTE

P. H. PEÑITAS

CURVAS GRANULOMETRICAS

DE: LA ARENA PARA LA PREPARACION DEL MORTERO PLASTICO

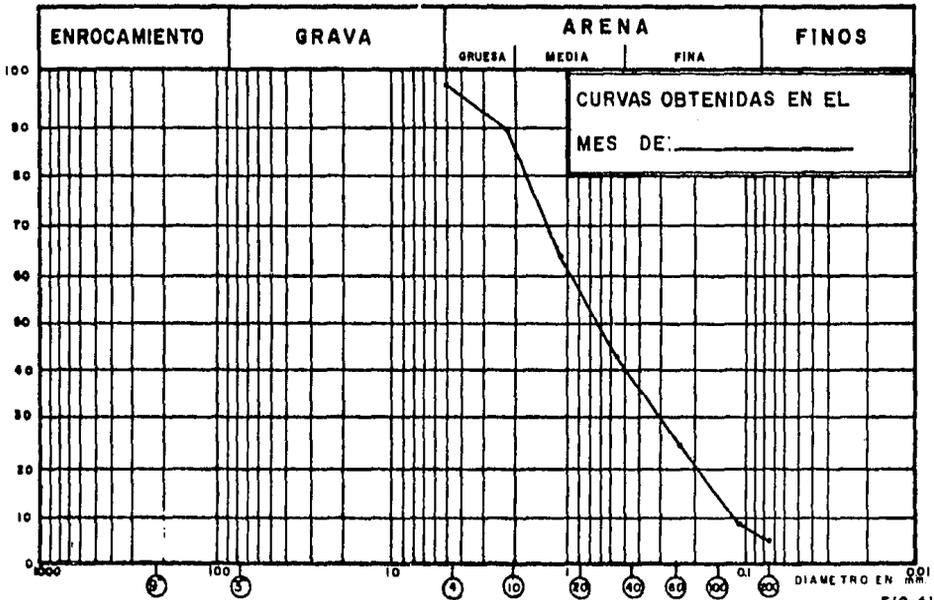
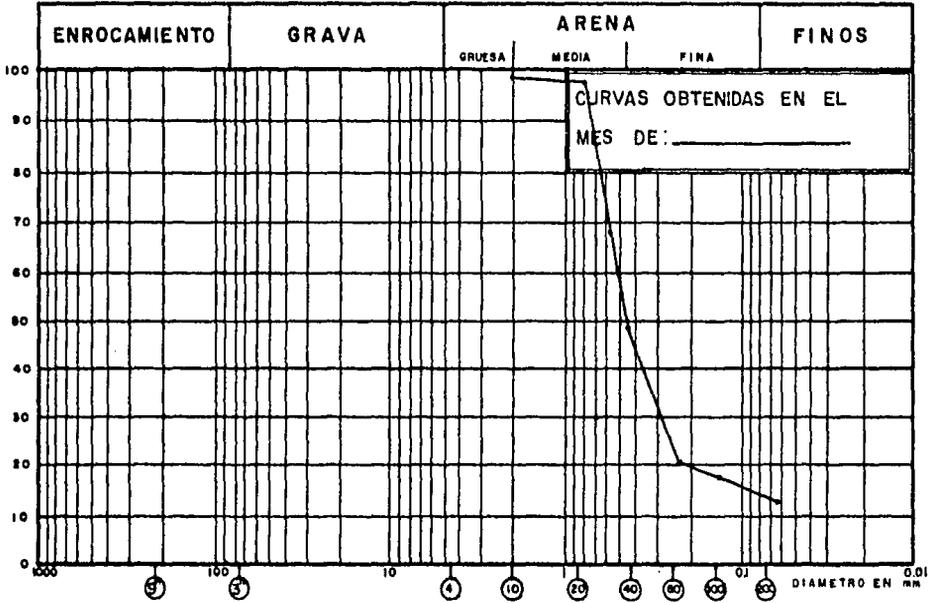


FIG. 41

bre en el agitador de lechada, y se fijará la marca en la tolva dosificadora de arena, de acuerdo a la relación peso volumétrico - contenido de humedad proporcionada por el Laboratorio de Concreto.

6.2.5.4.- PROPORCIONAMIENTO.

El mortero se integra mediante un volumen conocido de lechada y un peso de arena, medido por volumen en la tolva dosificadora. Se verificará el número de revolturas de lechada que se incluyen, así como el nivel correcto de arena en la tolva y el número de tolvas que se descargan a la olla de mezclado. Deberá alternarse la adición de lechada con la adición de arena, para facilitar el mezclado.

6.2.5.5.- TIEMPO DE MEZCLADO.

Durante el tiempo en que se agregan los materiales, la olla revolvedora se mantendrá en rotación lenta, al igual que en el tránsito hacia el sitio del colado. Una vez estacionado junto al tablero, aplicará rotación rápida durante 10 minutos como mínimo, después de lo cual podrá subir las rampas de acceso para descargar el mortero.

Si durante la descarga aparecieran cantidades apreciables a simple vista de arena apelmazada, formando grumos de más de 5 cm. de diámetro, se aplicará un tiempo adicional de agitación de 1 min. y se reini -

ciará la descarga, procediéndose en ésta forma cuantas veces sea necesario.

6.2.5.6.- PROPIEDADES.

Del mortero que se está descargando al table ro se tomarán muestras suficientes para determinar densidad, fluidez, sedimentación y fabricar cilindros para determinación de resistencia en compresión simple y módulo de deformabilidad a 28 días y 90 días.

Los valores aceptables para las pruebas inmediatas son:

Fluidez	(cono mecasol)	4 seg-5 seg.
Densidad		1.69 -1.80 kg/dm ³ .
Sedimentación	(agua libre)	3 % Máx.

6.2.6.- CONTROL DURANTE EL PROCESO DE COLADO

6.2.6.1.- VOLUMEN INICIAL.

Para iniciar la descarga de mortero al table ro, deberán encontrarse en el sitio 3 ollas revolventoras con el mortero en agitación, (5 m³ cada una) - si se trata de un tablero triple; si se trata de un tablero sencillo, se iniciará el colado cuando se tengan 2 ollas listas para descargar.

6.2.6.2.- LONGITUD DE AHOGAMIENTO.

Se deberá llevar un registro detallado de número de tubos y longitud de cada uno que se haya introducido al tablero. El extremo final ó "Zapata" - del tubo tremie deberá colocarse a 50 cm. del fondo, como máximo, para evitar la mezcla de un volumen importante de lodo con el mortero inicial.

Después de iniciado el colado, se llevará un registro del número de ollas que han descargado dentro del tablero, indicando el tiempo utilizado; la - secuencia de extracción de tubos se apegará a un programa que se presentará al inicio del colado, con el cuál se asegurará que el ahogamiento del tubo Tremie dentro del mortero sea como mínimo de 6.0 M.

6.2.6.3.- VERIFICACION DEL ASCENSO DEL MORTERO.

El programa a que se refiere el inciso anterior se formulará considerando el volumen teórico - del tablero; como el volumen real puede ser diferente por varias razones, se llevará una verificación - rutinaria a cada 2 m de ascenso teórico, introduciendo para ello un muestreador hasta 1.5 m encima del - nivel previsto, que deberá obtener sólo lodo de excavación. Si ello ocurre, se tratará de hacer bajar el muestreador hasta el mortero para afirmar la detec -

ción, aunque por la alta densidad en dicha zona es una operación dificultosa.

6.2.6.4.- VERIFICACION DE LA HOMOGENEIDAD DEL COLADO.

Durante el proceso de colado, se introducirá un tubo de ademe, con válvula check en el fondo, para obtener una muestra del tramo de mortero no fraguado que se encuentra formando el frente de avance ó émbolo que empuja al lodo de excavación.

Esta recuperación se hará cuando se tengan los primeros 5 m de mortero en el fondo, y después a cada 10 m de ascenso teórico.

El material recuperado será colocado en tubo de polietileno transparente, identificando el número de tablero y profundidad a que corresponde.

El personal de Control de Calidad revisará de inmediato la muestra recuperada, para que en caso de detectar bolsas de arena ó lodo contaminado dentro de la columna de mortero, se proceda a la aplicación de medidas correctivas o en última instancia a la suspensión del colado.

Las muestras embolsadas se enviarán al Laboratorio de Mezclas, en donde se hará una inspección-

minuciosa y se esperará la ocurrencia del fraguado y adquisición de resistencia, después de lo cuál se so meterán algunos tramos a prueba de compresión simple y se deshechará el resto.

Las observaciones y resultados de las pruebas se llevarán en un registro adecuado que permita una rápida localización y correlación con los resultados de las pruebas aplicadas a las probetas fabricadas con mortero tomado de las ollas revolvedoras.

6.2.6.5.- SUSPENSION TEMPORAL DEL COLADO.

Si por cualquier causa se interrumpe la regularidad de la introducción de mortero al tablero durante un lapso mayor de 1 hora, se pondrá especial atención en el reinicio para garantizar que el ascenso del mortero continúa en forma pareja. Puede ser necesario sacar tramos de tubería para lograr que ba je el mortero fresco, pero en todo caso debe respetarse la longitud de ahogamiento mínima (6.0 m), y en estos casos la entrada del mortero debe ser fácil, ya que de lo contrario, indica la formación de un ta pón semifraguado que se rompería repentinamente en las cercanías del tubo y a lo largo de él, permitiendo el flanqueo de la capa más densa de lodo contaminado con arena, misma que quedaría inclu idamente en el cuerpo del tablero.

Si persisten dudas sobre las condiciones dejadas por la interrupción, se procederá a obtener muestras por lo menos en 2 sitios, cuando el espesor del mortero fresco sea de 2.5 m., bajando el muestreador 5 m abajo del nivel teórico, para eliminar la posibilidad de incluir una "ventana" de lodo y arena.

6.2.6.6.- DETERMINACION DE LA SALIDA DEL MORTERO.

Para finalizar el colado, se deberá verificar que el volumen introducido sea igual o mayor que el volumen teórico del tablero y que la salida del mortero con las características correctas sea pareja.

Para esto, se tomarán muestras al centro y en los extremos del tablero y se determinará la densidad, que debe corresponder con la medida al mortero de las ollas revolvedoras. Debe desalojarse manualmente la capa de mortero contaminado con arena que antecede al mortero de diseño, suspendiéndose el colado cuando se hayan hecho las verificaciones de densidad y el aspecto del mortero sea uniforme, libre de grumos y terrones.

Para lograr lo anterior puede ser necesario introducir un volumen adicional apreciable (5 m^3), dado que en la fase final los extremos se atrasan y se produce un levantamiento y salida de mortero en

la parte central y/o junto a los tubos tremie, siendo necesarios desperdiciar el volumen mencionado para lograr la homogenización de la parte alta del tablero.

6.2.7.- PROPIEDADES MECANICAS A LARGO PLAZO.

6.2.7.1.- RESISTENCIA EN COMPRESION SIMPLE Y MODULO DE DEFORMABILIDAD.

Se mencionó en el inciso de propiedades que se obtendrán muestras a cada 10 ollas preparadas. Con éste material se llenarán 6 cilindros por cada muestreo, destinandose como sigue:

- 2 para prueba en compresión simple a 28 días.
- 2 para prueba en compresión simple a 90 días.
- 1 para determinación de módulo de deformabilidad a 28 días.
- 1 para determinación de módulo de deformabilidad a 90 días.

Las pruebas se efectuarán en el Laboratorio de Mezclas, conforme a procedimientos estandarizados y se llevará un registro de resultados, así como gráficas esfuerzo - deformación unitaria que permitan la comparación rápida de resultados correspondientes a diferentes tableros.

Con base en estos resultados, el Departamento de Estudios Experimentales aceptará o rechazará - los tableros colados, indicando en este último caso lo procedente; por esta razón no se establecen aquí los rangos de aceptabilidad de estos parámetros.

6.3.- ASPECTOS GENERALES.

6.3.1.- L I M P I E Z A .

El área de trabajo se mantendrá libre de escombros, tablas, lodo de excavación, mortero sobrante, etc., todo lo cual debe ser retirado cada vez - que termine un colado y/o una vez por semana como mínimo, si las maniobras diversas ocasionan acumula - ción de lodo, material sobrante, etc.

Los tramos ya colados deben ser claramente - visibles sobresaliendo de la superficie del terreno, y en donde ya se hayan terminado las dos etapas de - colado (primarios y de cierre), se podrá verificar en superficie la continuidad de la pantalla, mante - niendola descubierta, limpia y con un señalamiento - para evitar tránsito o maniobras con equipo pesado - sobre ella.

6.3.2.- CONTAMINACION DEL MATERIAL DE LA CORTINA.

Aunque se colocara en toda el área de traba-

jo una capa de grava-arena de 1.0 m de espesor, se evitará el flujo de lodo de excavación sobre la superficie, hacia la zona de filtros y transición, colocando para ello bordos de grava-arena dentro de las trazas de la arcilla, eliminando a la mayor brevedad el material bentonítico que pudiera escapar de dichos bordos.

6.3.3.- PERSONAL ENCARGADO DE LA EJECUCION.

En el frente de trabajo deberá encontrarse por lo menos una persona por turno, capacitada para ordenar a los operadores las modificaciones que procedan cuando se detecte una flata de cumplimiento de especificaciones en el procedimiento.

6.3.4.- PERSONAL ENCARGADO DE LA SUPERVISION

Control de Calidad, mantendrá personal de supervisión y laboratorio en forma continua, para asegurar el cumplimiento de especificaciones; este personal notificará de inmediato al responsable en el sitio, por parte del ejecutor, de cualquier anomalía que se presente y reportará a su jefe inmediato a la brevedad posible. Durante las operaciones de colado, se distribuirán supervisores en cada paso del proceso y se encontrará en el sitio o disponible las 24 horas, dentro de la obra, personal directivo de Control de Calidad, quien en caso de faltas graves a

especificaciones, o problemas de cualquier índole - que modifiquen básicamente el procedimiento a los resultados finales, dictaminará sobre las medidas correctivas, sugeridas o no por el ejecutor y en última instancia aceptará o rechazará la continuación - del colado.

6.3.5.- MODIFICACIONES AL PROCEDIMIENTO ESTABLECIDO.

Cuando por modificación, innovación o cambio del equipo, el ejecutor presente otra alternativa de procedimiento para alguna de las operaciones ya descritas, Control de Calidad estudiará los detalles, - consecuencias, ventajas etc., recurriendo cuanto sea necesario al Departamento de Estudios Experimentales por vía telefónica, para que a la mayor brevedad se autorice una prueba en el sitio o se rechace explicando el porqué.

En caso afirmativo, y con un resultado positivo de la prueba, Control de Calidad integrará el - nuevo procedimiento al proceso constructivo y formulará las especificaciones para su control, con visto bueno del Departamento de Estudios Experimentales.

Queda prohibido el ensayo de procedimientos - no autorizados en el lugar de trabajo; en todo caso, el ejecutor solicitará áreas en donde afinar procedi

mientos nuevos, sin interferir ó afectar al proyecto original ó al terreno bajo el trazo.

6.3.6.- AUTORIZACIONES ESPECIALES.

El topógrafo de Control de Calidad emitirá las autorizaciones para iniciar las perforaciones que ejecuta la máquina rotatoria, una vez verificada la posición y verticalidad de la misma. Procederá en ésta forma también en los casos en que se solicite barrenación con recuperación, que es ejecutada por personal de Geología.

El personal encargado de las mediciones con el péndulo invertido autorizará por escrito el colado de los barrenos guía, \emptyset 60 cm., con lechada estable, una vez efectuada la medición respectiva a satisfacción. Especial cuidado se tomará en los barrenos que constituyen una junta entre dos colados y que como ya se ha mencionado, serán perforados y medidos en dos ocasiones.

6.4.- ADICIONES Y MODIFICACIONES.

6.4.1.- DESARENADO DE BARRENOS GUIA.

Una vez terminada la perforación de los barrenos \emptyset 60 cm, por la máquina T-4, hasta la profundidad adecuada, se recirculará el lodo por el desare

nador a fin de bajar la densidad a un valor de 1.1., que permita la introducción del péndulo invertido y se desaloje fácilmente al introducir por el fondo - una lechada estable con densidad de 1.15.

Considerando la geometría y dimensiones del barreno, debe permanecer estable el tiempo necesario para efectuar la medición de verticalidad, con un lodo relativamente ligero en su interior.

6.4.2.- DESARENADO DEL LODO DE EXCAVACION.

Como alternativa a lo indicado en la especificación 6.1.7, una vez terminada la excavación, se procederá a extraer el lodo de excavación contaminado con arena, introduciendo para ello tubería de succión hasta el fondo, adicionando simultáneamente lodo nuevo por la parte superior del tablero para mantener el nivel.

La tubería de succión debe desplazarse vertical y horizontalmente durante todo el proceso, para evitar la acumulación de azolve hasta un espesor que obligue a introducir nuevamente la almeja, con riesgo de ocasionar desprendimientos de las paredes.

La sustitución del lodo podrá ser parcial ó total dependiendo de la evolución en los valores de densidad y contenido de arena.

El límite inferior de la densidad podrá reducirse a 1.10, siempre y cuando se tomen precauciones para evitar transmitir al terreno vibraciones ó sollicitaciones importantes (tránsito de maquinaria) y se mantenga un continuo control de la profundidad del tablero hasta el inicio del colado.

6.4.3.- EMPLEO DE ADITIVOS RETARDANTES DEL FRAGUADO.

Se utilizará sólo aditivos retardantes autorizados por el Departamento de Estudios Experimentales, que colocará un sello de Control de Calidad en los envases aprobados.

El proporcionamiento del aditivo será fijado por Control de Calidad de acuerdo al volumen del tablero y siguiendo las recomendaciones del Laboratorio de Concreto de la Obra, para garantizar un retardo de 18 a 20 horas.

A N E X O .

1.- Propiedades de los materiales.

	Dens. de Solidos.
Cemento	3.04
Arena	2.62
Bentonita	2.23

2.- Proporcionamiento de campo (2.5 m³).

Cemento	500.0 KG.
Lodo Bent. 10:1	1,225.0 LT.
Arena	2,252.5 KG.
Agua libre	254.0 LT.
Plastiment	1.5 KG.

CAPITULO VII

INCIDENTES Y ACCIDENTES DURANTE LA CONSTRUCCION.

En este capítulo se tratará sobre el difícil tema de las vicisitudes de la técnica de los Muros - Pantalla. Así mismo se comentarán las soluciones adoptadas en cada caso durante las etapas constructivas del Muro-Pantalla del P.H. Peñitas.

7.1.- INCIDENTES EN LA EXCAVACION.

7.1.1.- PERDIDA DEL LODO.

El incidente más frecuente es la pérdida de lodo bentonítico que pone en peligro la estabilidad de la zanja, esta pérdida de lodo se puede calificar como natural. Se presentó frecuentemente, dadas las características permeables del manto de aluvión.

En general se consiguió evitar esta pérdida, espesando el lodo o adicionando colmatantes (arena,-

serrín de madera, etc). Esta disminuyó después de ejecutar los tableros primarios, pues el lodo perdido durante el proceso constructivo de estos tableros, llegó a saturar en mayor o menor grado al terreno. Adicionalmente en la planta de mezclados se preparaban y almacenaban grandes cantidades de lodo, para que en el momento de presentarse este problema, se llenara inmediatamente la zanja con el lodo almacenado.

Las pérdidas accidentales son más peligrosas y se producen por ejemplo cuando la excavación se encuentra con una antigua canalización cuya existencia se ignoraba. La zanja puede vaciarse totalmente de lodo en unos instantes. El desprendimiento es casi inmediato. Es preciso entonces rellenar la zanja, buscar las causas de la pérdida, suprimirlas y volver a empezar. Hasta la fecha no se ha presentado este fenómeno.

El relleno puede hacerse con el mismo material de la excavación pero es mejor añadir una cierta cantidad de cemento para conseguir mejor cohesión y evitar un nuevo desprendimiento al rehacer la excavación. Se emplea generalmente un concreto pobre o grava cemento. Otra solución consiste en inyectar el terreno con un mortero a base de arcilla y cemento.

7.1.2.- ATRAPAMIENTO DEL EQUIPO.

En ciertos terrenos, como margas, arcillas, lutitas o basalto, se corre el riesgo de que se atrape el equipo de excavación. Existe ante todo un problema de lodo. El filtrado (cake) debe reducirse al mínimo, ya sea por la utilización de una bentonita de gran calidad, ya sea mediante la adición de productos químicos.

Las maniobras de rescate adoptadas en el P.H. Peñitas en caso de atrapamiento del equipo de excavación, fueron las siguientes: Ante todo, el rescate debe realizarse inmediatamente, ya que períodos largos favorecen la formación del "cake", además el material grueso que se mantenía en suspensión al bajar y subir la almeja o cincel, con el transcurso del tiempo tiende a depositarse en el fondo, ocasionando con esto que se inmovilize aún más el equipo.

Se retira del sitio la torre de excavación para despejar el área de maniobra y mediante una grúa de 70 ton. de capacidad se tensan los dos cables del equipo, jalando varias veces hacia el lado libre para tratar de liberarlo (Ver subcapítulo 4.4.2. Proceso de excavación). Estos "tirones" se realizan con mucho cuidado, sin sobrepasar la resistencia a la tensión de los cables de acero que suje-

tan al equipo, que es aproximadamente de 30 ton. cada uno.

Si se observa que no se recupera la almeja o el cincel después de varios intentos, para evitar la rotura de los cables, se procede a pescar el equipo con ganchos en forma de "L" o "T" fabricados con placa de $1\frac{1}{2}$ " \emptyset , los cuáles se suspenden con cables de acero de 1" \emptyset mediante una draga. Una vez que sujetan el equipo se repite la operación con la grúa - cuantas veces sea necesario, hasta rescatar el equipo.

En situaciones en que la maniobra se prolongue más tiempo, se procede a cambiar el lodo contaminado del fondo por medio del tubo sifón de 6" \emptyset , tratando con esto de extraer el material alojado en la periferia del equipo.

7.1.3.- LAS DESVIACIONES.

Las desviaciones de la excavación son debidas a la heterogeneidad del terreno. A pesar de los pozos guía perforados por la máquina rotaria, la almeja siempre tiende a desviarse hacia la zona de terreno más blando. Esta desviación existirá siempre, pero tiene proporciones variables según sea la verticalidad de los pozos guía o del cuidado que tenga el operador durante su trabajo.

Cuando el terreno contiene estratos más du -
ros con una cierta pendiente, la desviación será sis -
temática y en el sentido de esta pendiente. La des -
viación puede ser aleatoria y provocada, por ejemplo
por una piedra grande, por una zona más blanda o por
el contrario por una zona más dura.

En la misma almeja existe una disimetría. En
efecto, al tener que solaparse los dientes, con las -
valvas cerradas, cada una de ellas tiene los dientes
dispuestos de forma distinta con relación al eje de -
excavación. Esta disimetría puede provocar a veces -
una rotación de la almeja, la solución consiste en -
girar la almeja de vez en cuando.

Es bien importante suspender la excavación -
en el momento en que se detecta cualquier desvia -
ción; ya que si existe esta y se continua la excava -
ción, aparte de que peligra la almeja de quedar atra -
pada por estar trabajando inclinada y no verticalmen -
te, el proceso de rectificación del tablero se difi -
cultaría más. Las desviaciones son bien visibles, ya
que en condiciones normales de operación los cables -
de la almeja trabajan verticalmente como plomada y -
al presentarse cualquier desviación, los cables tien -
den hacia esta.

Las desviaciones pueden ser transversales o -
longitudinales al eje del Muro y en ambos casos se -

utiliza el cincel-trépano, que accionado mediante una draga, rectifica los tableros. Esta operación se repite hasta que se verifica con la almeja que nuevamente está centrado el tablero. En las figuras Nos. 41 y 42 se muestran las desviaciones.

7.2.- INCIDENTES EN EL COLADO.

La mayor parte de los incidentes del colado son debidos a la falta de plasticidad del mortero, o a un suministro irregular del mismo. La calidad del lodo juega un papel importante.

Para comprender esto, es preciso conocer que, en presencia del cemento, una suspensión de bentonita tiene tendencia a flocular y formar una masa espesa que puede alcanzar la consistencia del mortero. Esta masa es tanto más consistente cuanto más arena contiene el lodo. Esta capa, que a veces es un verdadero mortero de bentonita-cemento, que se forma al contacto del mortero con el lodo, explica que en el caso en que por la razón que sea el tubo que conduce el mortero salga de la masa de mortero fresco, exista una discontinuidad pura y simple del mortero del tablero. La figura 43 muestra el esquema de este fenómeno. Se trata de un defecto muy grave que puede tener consecuencias desastrosas.

Las inclusiones de lodo provienen esencial -

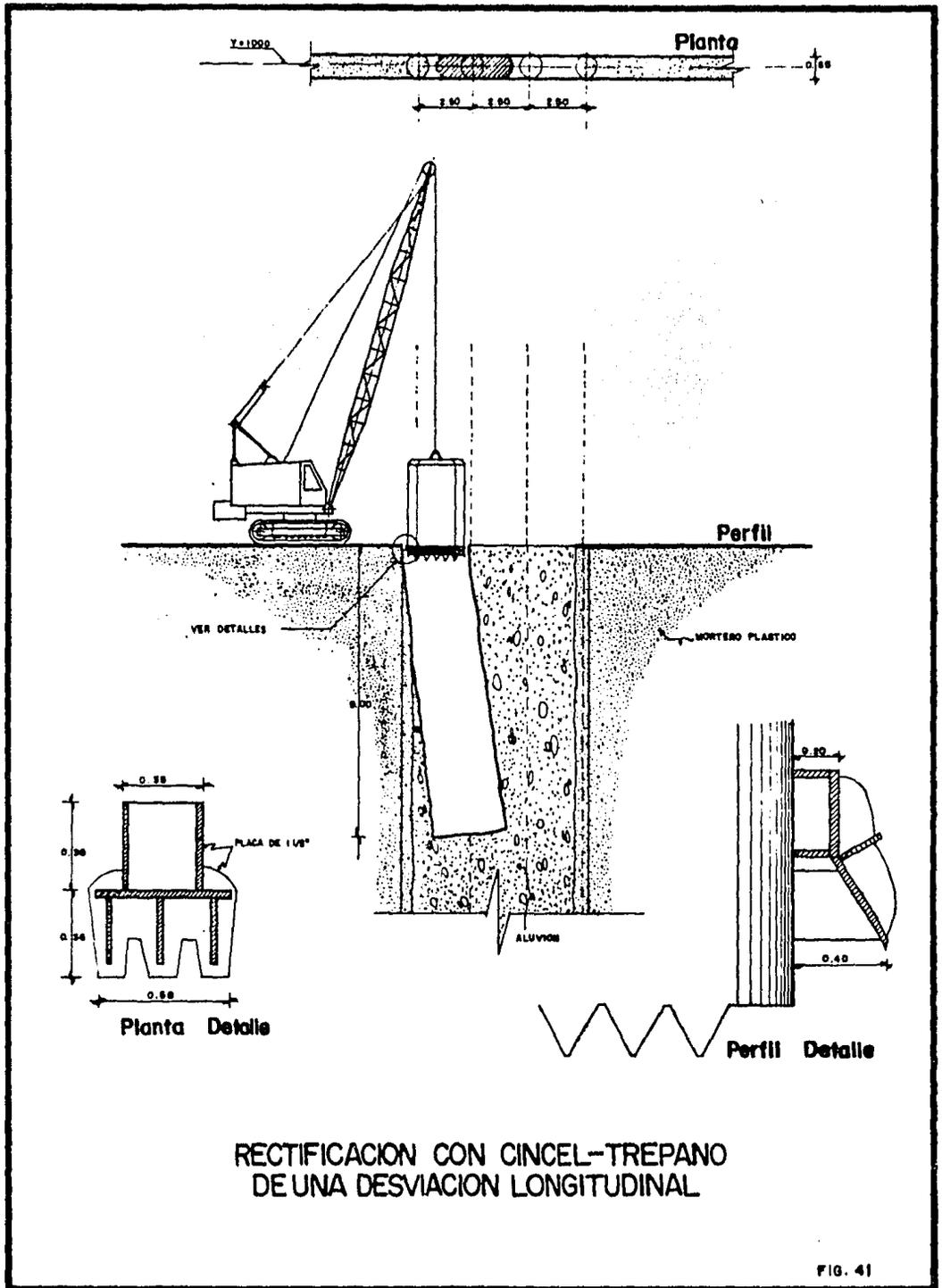
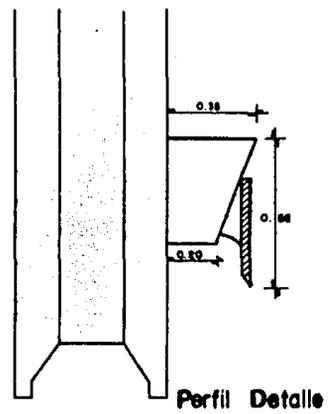
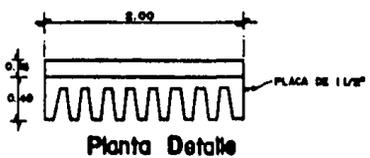
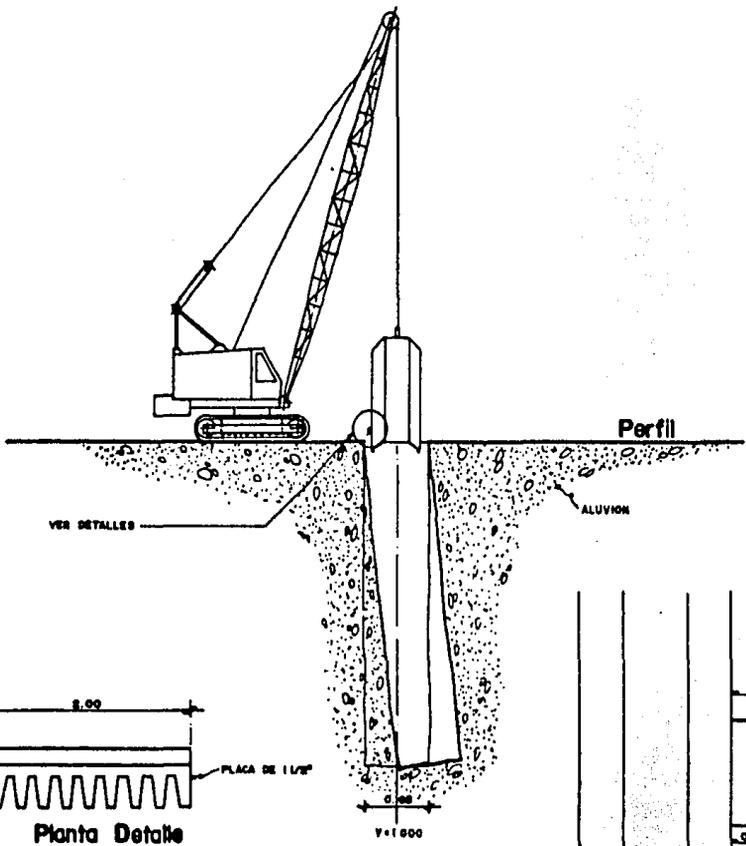
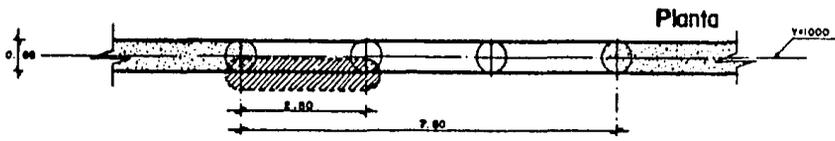
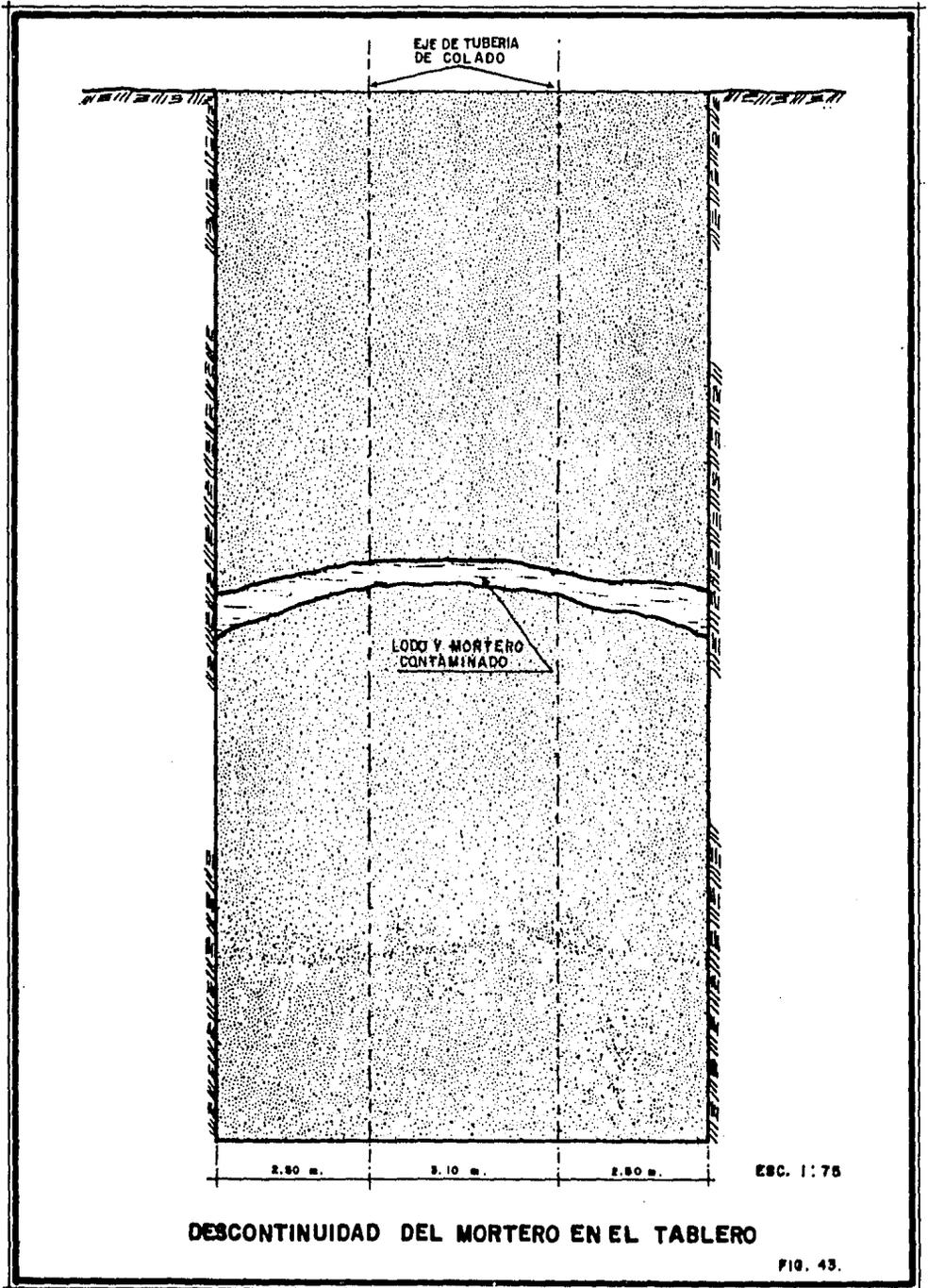


FIG. 41



RECTIFICACION CON CINCEL-TREPANO
DE UNA DESVIACION TRANSVERSAL



mente de un lodo de mala calidad que al flocular forma un material demasiado rígido que no llega a ser desplazado por el mortero, o bien de un mortero insuficientemente plástico o mal mezclado, cuya colocación es irregular. Las dos causas pueden conjugarse.

Las juntas de mala calidad son debidas a depósitos importantes de lodo floculado insertados entre dos tableros sucesivos. Se forman, en general, en el momento del colado del segundo tablero. El motivo de este defecto es también la mala calidad del lodo, el mortero no suficientemente plástico, o una combinación de las dos causas.

Un incidente muy desagradable que se puede producir durante el colado es que el mortero empiece a descender por el tubo con dificultades, entonces el operario le imprime una serie de sacudidas verticales por medio del malacate al que esta suspendida la tubería. Este movimiento, teniendo en cuenta la tixotropía del mortero, licúa el ya colocado alrededor del tubo, que, al ofrecer una menor resistencia, es empujado por el mortero fresco que encuentra así un camino más fácil a lo largo del tubo, para salir a la superficie.

Otro problema crítico es la imposibilidad de extraer la tubería durante el colado. El riesgo de -

que ocurra esto es tanto mayor cuanto mayor sea la profundidad del tablero. Puede estar producido por varias causas: o bien se ha empezado demasiado tarde a tirar del tubo, o bien por la razón que sea ha existido un endurecimiento prematuro del mortero (una sola preparación mal dosificada puede a veces provocar el incidente).

Por último, mencionaremos el problema de la inclinación de las tuberías que conducen el mortero. En efecto, esto se presenta casi al final del colado, observándose que las tuberías tienden a inclinarse hacia las cabeceras del tablero. Durante el transcurso del colado se verifica que el vaciado del mortero sea simultáneo en ambas columnas, para que el ascenso del mismo sea uniforme en todo el tablero. Este fenómeno puede ocurrir por lo siguiente: el mortero que se colocó inicialmente en el tablero, después de transcurrido un cierto tiempo, empieza a fraguar y como las columnas están sumergidas en este, el mismo mortero semifraguado durante su ascenso, desvía las tuberías.

La solución es levantar varias veces la tubería con el malacate, y tratar de enderezarla o sacar uno o dos tubos y repetir la operación anterior, cuidando que la columna siempre quede ahogada en el mortero para evitar cualquier contaminación.

Toda una serie de incidentes debidos a la ex cavación y el colado se presentan frecuentemente du- rantes estas etapas; no se comentan en esta exposi - ción, ya que los problemas que originan son de menor importancia.

C O N C L U S I O N E S .

La técnica de mejora de las características de la roca mediante el Muro-Pantalla, ha sido ampliamente utilizado en los últimos años en considerables obras de todo el mundo.

Los capítulos anteriores han mostrado la con veniencia de utilizar este método para tratar las ci mentaciones de obras cuyo manto sea permeable, se ha justificado ampliamente, tanto técnica como económicamente, por lo que seguramente esta técnica continuará teniendo bastante auge entre los organismos que se dedican al Tratamiento de la Roca.

De este trabajo se concluye que la técnica fue adecuadamente aplicada para resolver el problema del flujo de agua bajo la cortina de Peñitas. La medición de niveles piezométricos aguas abajo de la pantalla, así como la extrapolación de resultados considerando el vaso lleno, han mostrado que la eficacia del muro es satisfactoria en estas condiciones normales de operación.

El haber ejecutado el Muro-Pantalla de Peñi-

tas dejó como resultado una experiencia que aumentó la tecnología de la Ingeniería Mexicana en el Tratamiento de cimentaciones, ya que por las dimensiones de este muro, aunque en principio es similar al del metro de la Cd. de México, lo hacen completamente diferente, por la variedad de problemas encontrados durante la construcción.

El procedimiento constructivo si no es sencillo, es manejable desde el punto de vista práctico de la Ingeniería.

Es importante contar con especificaciones previas al inicio de la construcción de cualquier obra. En este caso se cumplió esta condición, lo cual redundó en un beneficio en la calidad del Muro Pantalla, ya que se logró cumplir con las especificaciones en un alto porcentaje.

B I B L I O G R A F I A .

- 1.- Muros Pantalla. G. Schneebeli.
- 2.- Slurry Walls. Petros P. Xanthakos.
- 3.- Icos en los Trabajos del Subsuelo.
- 4.- Presas de Tierra y - Enrocamiento. Raúl J. Marsal y Daniel Resendiz Núñez.
- 5.- Plan Integral del - Río Grijalva. Comisión Federal de Electricidad. -