

35

2EJ



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LOS MUROS
PANTALLA FLEXOIMPERMEABLE DE LAS ATAGUIAS
DE LA PRESA REGULADORA SAN RAFAEL

FALLA DE ORIGEN

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A :
BENJAMIN CARBAJAL JAIMES

ASESOR: ING. MIGUEL MORAYTA MARTINEZ



MEXICO, D.F.

JUNIO 1995

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-1-180/94

Señor
BENJAMIN CARBAJAL JAIMES
Presente.

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

**"PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LOS MUROS PANTALLA FLEXO-
IMPERMEABLE DE LAS ATAGUIAS DE LA PRESA REGULADORA SAN RAFAEL"**

- I. INTRODUCCION
- II. ASPECTOS GENERALES DE LA OBRA
- III. TIPOS DE MUROS PANTALLAS Y SU UTILIZACION
- IV. ESPECIFICACIONES Y MODIFICACIONES
- V. MURO PANTALLA FLEXO-IMPERMEABLE
- VI. CORTINA DE INYECCIONES SUBYACENTE AL MURO PANTALLA
- VII. PROBLEMAS CONSTRUCTIVOS PRESENTADOS
- VIII. CONCLUSIONES

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

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

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, a 5 de diciembre de 1994.
EL DIRECTOR.


ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

JMCS/RCR*nlI

**PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LOS MUROS PANTALLA FLEXO-
IMPERMEABLE DE LAS ATAGUIAS DE LA PRESA REGULADORA SAN RAFAEL
NAY.**

I) INTRODUCCION

II) ASPECTOS GENERALES DE LA OBRA

III) TIPOS DE PANTALLA Y SU UTILIZACION

IV) ESPECIFICACIONES Y MODIFICACIONES

V) MURO PANTALLA FLEXO-IMPERMEABLE

VI) CORTINA DE INYECCIONES SUBYACENTE AL MURO PANTALLA

VII) PROBLEMAS CONSTRUCTIVOS PRESENTADOS

VIII) CONCLUSIONES

INDICE

CAPITULO 1	INTRODUCCION.....	1
CAPITULO 2	ASPECTOS GENERALES DE LA OBRA.....	2
	2.1 Generalidades	
	2.2 Localización	
	2.3 Fisiografía	
	2.4 Hidrografía	
	2.5 Topografía	
	2.6 Geología del sitio	
	2.7 Fracturamiento	
	2.8 Descripción de las obras	
	2.8.1 Obra de contención	
	2.8.2 Obra de toma	
	2.8.3 Obra de control y excedencias	
	2.8.4 Obra de desvío	
	2.8.4.1 Ataguías	
	2.8.5 Infraestructura	
CAPITULO 3	TIPOS DE PANTALLAS Y SU UTILIZACION.....	17
	3.1 Definición de pantalla	
	3.2 Factores que intervienen en la selección del tipo de pantalla	
	3.3 Estudios preliminares que conducen a la evaluación del problema	
	3.4 Estudios de campo	
	3.4.1 Topografía y características de la roca en que se apoya el depósito	
	térreo	
	3.4.2 Estratigrafía y clasificación de los suelos en la cimentación y el	
	empotramiento	
	3.4.3 Permeabilidad por estratos y global del depósito térreo y de la	
	roca basal	
	3.5 Investigaciones de laboratorio	
	3.6 Investigaciones de gabinete	
	3.7 Tipos de pantalla	
	3.7.1 Tablestacado	
	3.7.2 Dentellones	
	3.7.3 Trincheras de material compactado	
	3.7.4 Delantales impermeables	
	3.7.5 Combinación de alternativas	
	3.7.6 Pantallas totales y parciales	
	3.8 Características de pantallas construidas en Mexico	
	3.9 Utilización de las pantallas	
	3.9.1 Las pantallas en las obras hidráulicas	

3.9.2 Las pantallas en las obras urbanas

CAPITULO 4 ESPECIFICACIONES Y MODIFICACIONES.....30

4.1 Especificaciones de la inyección

4.1.1 Operaciones en la inyección

4.1.2 Equipo

- a) perforadoras
- b) Mezcladoras
- c) Inyectores
- d) Medidores de gastos
- e) Tuberías y conexiones
- f) Manómetros
- g) Obturadores

4.1.3 Estaciones para la preparación e inyección de mezclas

4.1.4 Materiales para la inyección

- a) Agua
- b) Cemento
- c) Aditivos

4.1.5 Terminos usuales

- a) Tramo
- b) Etapa
- c) Sección
- d) Presión de inyección
- e) Presión de rechazo
- f) Progresiones ascendentes

4.1.6 Operaciones comunes al proceso de inyectado

4.1.7 Fabricación de las mezclas de inyección

4.1.8 Mezclas de inyección

- a) Para la roca

4.1.9 Propiedades de la mezcla

- a) Viscosidad en cono Marsh
- b) Decantación
- c) Cohesión
- d) Coeficiente de filtrado y cake
- e) Resistencia a la compresión simple.

4.1.10 Procedimiento de inyección en roca

4.1.11 Terminado de la inyección de un barreno

4.1.12 Retaque final de barrenos inyectados

4.1.13 Comunicación entre barrenos

4.2 Especificaciones para la construcción del muro pantalla de concreto plástico

4.2.1 Generalidades

4.2.2 Alineamiento

4.2.3 Excavación

4.2.4 Colado

- a) Preparativos
 - 4.2.5 Concreto plástico
 - 4.2.6 Colocación
 - 4.2.7 Preparación en el muro para la posterior inyección de la roca basal.
- 4.3 Modificaciones.

CAPITULO 5 MURO PANTALLA PLASTICA FLEXOIMPERMEABLE.....48

- 5.1 Programa de obra
- 5.2 Trabajos preliminares
- 5.3 Brocal guía
- 5.4 Equipo de excavación
- 5.5 Excavación
 - 5.5.1 Uso del trepano
- 5.6 Programa de avance real
- 5.7 Mezcla autofraguante
 - a) Planta donde se prepara la mezcla
- 5.8 Control de calidad de la mezcla
 - 5.8.1 Fluidéz
 - 5.8.2 Densidad
 - 5.8.3 Resistencia a la compresión simple
- 5.9 Control de la excavación
 - 5.9.1 Control de la ubicación
 - 5.9.2 Control en el nivel de la mezcla de excavación
 - 5.9.3 Control de la verticalidad
 - 5.9.4 Corrección en caso de principio de desviación
 - 5.9.5 La profundidad de excavación y afine de la roca
 - 5.9.6 Control de la continuidad de la pantalla
- 5.10 El muro pantalla de la ataguia de aguas arriba
- 5.11 El muro pantalla de la ataguia de aguas abajo
- 5.12 Personal que trabajo en la construcción de la pantalla
- 5.13 Precio unitario para el muro pantalla

CAPITULO 6 CORTINA DE INYECCIONES SUBYACENTE A LA PANTALLA...72

- 6.1 Procedimiento constructivo para la inyección de la pantalla o cortina de inyecciones
 - 6.1.1 La inyección para consolidación e impermeabilización
 - 6.1.2 La inyección de contacto
 - 6.1.3 Mezcla estable e inestable
 - 6.1.4 Inyección por tramos
- 6.2 Equipo utilizado
 - 6.2.1 Mezcladores
 - 6.2.2 Inyectores de doble piston

- 6.2.3 Manómetros
- 6.2.4 Obturador
- 6.3 Central de inyección móvil
- 6.4 Preparación del barreno
- 6.5 La mezcla de inyección
- 6.6 Control de las inyecciones en el campo
- 6.7 Formato utilizado
- 6.8 Cortina de inyecciones en la ataguía de aguas arriba
- 6.9 Cortina de inyecciones en la ataguía de aguas abajo
- 6.10 Precios unitarios para la inyección de la roca basal
- 6.11 Personal que trabaja en la inyección.

CAPITULO 7 PROBLEMAS CONSTRUCTIVOS PRESENTADOS.....86

- 7.1 En la construcción del muro pantalla
 - 7.1.1 Profundidades de excavación
 - 7.1.2 Empotramiento deficiente
 - 7.1.3 Presencia de caídos rocosos
 - 7.1.4 Perdida de mezcla
- 7.2 Problemas durante la inyección de la roca basal
 - 7.2.1 Durante la perforación
 - 7.2.2 Durante la inyección
 - 7.2.3 Con respecto a los manómetros
 - 7.2.4 Mezclas inadecuadas.

CAPITULO 8 CONCLUSIONES.....91

Bibliografía

CAPITULO 1 INTRODUCCIÓN

La presente tesis trata el tema de las pantallas , las cuales se utilizan en las obras civiles y se usan como barreras para disminuir las filtraciones bajo las estructuras de contención , ya sean cortinas o ataguías , para este caso estas pantallas se construyeron como parte de las ataguías las cuales junto con el canal de desvío forman parte de la obra de desvío , la ataguía de aguas arriba encauza el río hacia el canal de desvío , la ataguía de aguas abajo sirve para darle al río su cauce normal .

El tema de tesis es " Procedimiento constructivo del muro pantalla" , aunque el titulo solamente se refiera a los muros pantallas , creo apropiado anexarle también el de la cortina de inyecciones que aunque es otro tipo de pantalla , es parte fundamental del muro pantalla, para que ambas pantallas puedan funcionar como una sola barrera impermeable continua , homogénea y empotrada en el estrato rocoso.

Es básicamente una recopilación de información obtenida durante el transcurso de los trabajos , iniciando con los datos generales en donde se incluye lo relacionado a la topografía , geología del sitio , hidrología , fracturamiento , además de incluir una descripción breve de las obras que comprenden todo el proyecto

Considero necesario presentar además una descripción de los diferentes tipos de pantallas utilizadas en las obras hidráulicas y también todos los estudios preliminares que se deben hacer en el sitio elegido para el proyecto para hacer una elección atinada sobre el tipo de pantalla que nos conviene construir.

Además , se incluyen las especificaciones de construcción para el muro pantalla y de la cortina de inyecciones , seguidas de sus procedimientos constructivos respectivos los cuales difieren de las especificaciones pero están dentro de su factibilidad técnica , por lo cual no altera el comportamiento de dichas estructuras

CAPITULO 2

ASPECTOS GENERALES

2.1 Generalidades

El proyecto de la presa San Rafael se localiza sobre el río Santiago, a 16.8 Km aguas abajo del proyecto hidroeléctrico Aguamilpa, su objetivo es cambiar el régimen de la descarga de agua de la central , al requerido para el riego de una superficie de 124,100 ha. localizadas en las márgenes del río Santiago y del río San Pedro, hasta donde se extenderán los beneficios de la regulación ofrecida por el embalse de Aguamilpa.

El dimensionamiento del embalse se estableció a partir de las necesidades de riego definidas por la Comisión Nacional del Agua (CNA) y que consideran una extracción máxima de 187.5 m³/s durante las 24 hr del día , de los cuales 91.5 m³ /s, serán conducidos a la zona de riego ubicada en las margenes del río San pedro ; 96.0 m³ /s se destinarán para satisfacer las demandas de riego del bajo río Santiago. Se incluyen en este caudal , 50.0 m³ /s requeridos para propósitos de conservación ecológica

El eje del proyecto San Rafael se eligió considerando las características geológicas y topográficas de un conjunto de siete sitios analizados desde ambos puntos de vista. El identificado como el "El venado" ofrece condiciones adecuadas para la construcción de las obras y satisface la capacidad requerida para el cambio de régimen de las extracciones de Aguamilpa, teniendo en cuenta los niveles de desfogue con los que operará la central y que deberán ser respetados para no provocar afectaciones a las unidades y a la producción de energía eléctrica.

2.2 Fisiografía

El área del proyecto San Rafael se ubica en la subprovincia de sierras de pie de monte, perteneciente a la provincia sierras sepultadas, en el límite con las subprovincias sierras costeras de Sinaloa- Nayarit . La primera, presenta una etapa de madurez temprana y se observa constituida por cerros y lomas altas de formas subredondeadas, que contrastan con algunos rasgos más jóvenes , cortadas por arroyos en forma de "V" ; la segunda subprovincia presenta una etapa de madurez tardía , con aspecto plano y estrecho, y en ella se observan lomas de poca altura y llanuras planas.

2.3 Hidrografía

En la cuenca propia del proyecto se presenta el sistema de drenaje característico de la región, manifestado por una serie de arroyos localizados en ambos márgenes, siendo estos tributarios del cauce principal del río Santiago. El régimen hidrológico de estas corrientes superficiales se puede considerar de características torrenciales, con avenidas en la época de lluvias y con estiajes severos. El afluente más importante que llegará al vaso de San Rafael es el denominado arroyo del Chilte, que confluye por la margen izquierda.

2.4 Topografía

Se cuenta con un levantamiento aereofotogramétrico del cauce del río Santiago en escala 1:5,000 y con un levantamiento topográfico en escala 1:1,000 realizada por la Secretaría de Recursos Hidráulicos, en el año de 1973, en la zona del eje del proyecto; sin embargo, al llevar a cabo algunas verificaciones en el campo se detectaron incongruencias en las elevaciones y en la configuración del terreno, por lo que se optó por desechar este levantamiento y realizar trabajos adicionales para sustentar convenientemente el proyecto de las obras. Entre ellas puede citarse:

- Traslado de los sistemas de coordenadas y de elevaciones utilizados en el proyecto de Aguamilpa a la zona del proyecto San Rafael.

- Apoyo a los trabajos geológicos y geofísicos.
- Configuración topográfica para elaborar un plano en escala 1:1,000, con curvas de nivel a cada metro, en una área aproximada de 8.56 ha.

2.5 Geología del sitio

La margen derecha del eje El Venado esta constituido por dacita en su parte inferior a la que le sobreyace riodacita , su contacto es transicional, por lo que no existe discontinuidad entre ellas.

Por su similitud se les agrupa representándolas como una sola unidad. Se encuentra cubierta por suelos residuales, con espesores de 1.5 a 3.5 m, hacia los arroyos laterales esta cubierta se engrosa , apareciendo aisladamente depósitos de talud.

La margen izquierda esta constituida , en general , por dacita-riodacita; en la parte baja muy cerca del cauce del río, se identificó la presencia de un cuerpo hipabisal (dique traquiandesítico) , que no fue mapeado por lo reducido de su afloramiento y por la cubierta de suelo residual que lo rodea . En la parte superior, (elev. 75 m) destaca la presencia de un afloramiento de brecha riolitica , que está coronando a la dacita-riodacita desde la elev. 75 m. hasta la elev. 175 m.

La roca en esta margen presenta una mayor alteración, comparativamente con la contraria, llegando a tener un espesor alternado hasta de 4 m. , principalmente entre las cotas 50 y 65 m. , repitiendose esta condición desde la cota 75 m. hacia la parte alta de esta margen. El suelo residual tiene en general, espesores de 1 a 2.5 m , el cual se incrementa a partir de la elev. 78 m. a valores de 3 y 6 m. , en forma perpendicular al eje la cubierta del suelo residual incrementa su grosor en la cercanía de los arroyos.

Mediante geofísica se determinó un espesor decomprimido de la roca variable entre 6 y 8 m.

En el cauce del río Santiago se detecto un espesor de 20.8 m. de material aluvial al que le subyace roca, que en sus primeros 7.1 m. se encuentra muy fracturada; por abajo de esta profundidad el fracturamiento disminuye significativamente. Debido al alto espesor de acarreo detectado con el sondeo, se realizaron varias secciones de geofísica para tratar de detallar con

mayor precisión esta zona; se elaboró un esquema de las isópacas de los acarrees en el que se aprecia que la zona detectada de gran espesor de acarreo tiene una forma alargada con dirección NW-SE, lo que parece indicar que el río aprovechó, para labrar su cauce, una zona de cizalla producida por la presencia de estructuras (fallas) con esta dirección.

En total, en el eje, se perforaron cuatro sondeos con las características que a continuación se indican:

SONDEO	UBICACION ¹	RECUPERACION (%)	INDICE DE LA CALIDAD DE LA ROCA (%)	PERMEABILIDAD (UL)
1	margen izquierda elev. 54.29 m	91.8	67.1	2 a 13
2	margen derecha elev 78.61 m	98.9	77.4	2 a 9
3	cauce elev. 48.95 m	99.2 ²	63.7 ²	-----
4	margen derecha elev. 57.84 m	93.6	70.0	2 a 9
1 ³	margen izquierda elev 54.29m	98.3	65.3	-----
2 ³	margen derecha elev. 51.26 m	96.6	75.1	-----

* La elevación no corresponde al lecho del río ya que se colocó la máquina sobre un promontorio de grava y arena.

² Valor obtenido en roca fija

³ Estos sondeos se realizaron a 185 m aguas abajo del eje El Venado, en un eje conocido como CNA.

Con los estudios de geofísica se determinaron las siguientes características y parámetros de la roca (ignimbrita-riodacita):

$$\begin{aligned} \rho &= 2.6 \text{ g/cm}^3 & \nu &= 0.3 \\ V_p &= 4,000 \text{ m/s} & E &= 306 \text{ kg/cm}^2 \\ V_s &= 2,100 \text{ m/s} & G &= 116 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

La calidad de la roca fue establecida a partir de los parámetros obtenidos en función del R.Q.D (índice de la calidad de la roca) ,permeabilidad, velocidades de propagación de ondas elásticas y resistividades, tipificándola como una roca de regular a buena calidad.

Con los resultados obtenidos en el estudio de este sitio se puede determinar que es el que tiene las mejores condiciones, desde el punto de vista geológico, para admitir cualquier obra civil, sin dejar de puntualizar que se deberá tener un seguimiento geológico durante su construcción, para prevenir cualquier eventualidad

UNIDADES GEOFISICAS	CORRELACION GEOLOGICA	VELOCIDAD (m/s)	RESISTIVIDAD Ω -m	ESPESOR MAXIMO (m)	CALIDAD ESTIMADA
U1	U1A Suelo (Qre) Talud (Qt)	300-595	56-210	3	Mala
	U1B Aluvion (Qal)	320-2,350	19-600	22	Mala
U2	U2A Ignimbrita dacita	555	70-120	5	Mala
	U2B (Tm-Igrd)	1,020-1,120	56-563	11.5	Regular
	U2C Dacita (Tm-d)	3,285-4,500	45-712	indefinido	Bueno

Con el objeto de observar los niveles de agua en las laderas , las perforaciones de cinco sondeos se habilitarán como pozos de observación , tres en la margen derecha y los dos restantes en la izquierda ; los de la margen derecha (sondeos 2 y 4 del eje El Venado), así como el sondeo efectuado aguas abajo en el eje conocido como CNA manifiestan niveles del agua superiores al río en 15 y 9 m. para los dos primeros, y de 1 m para el tercero.

En la margen izquierda se habilitarán los sondeos N° 1 del eje El venado y el de misma denominación del eje CNA; en el primero de ellos se tiene una carga del agua de 3.5 m superior

al río y en el segundo de solamente 0.6m.

2.7 Fracturamiento

El fracturamiento presente en las rocas se encuentra generalmente, y en menor proporción abierto y relleno por sílice, con espesores inferiores a los 5 cm ;presenta formas irregulares, longitudes de 1 a 10 m y sus planos son generalmente rugosos y alabeados . Mediante técnicas estereográficas se aislaron tres sistemas principales de fracturas:

SISTEMA	MARGEN DERECHA		MARGEN IZQUIERDA	
	Rumbo	Echado	Rumbo	Echado
1	N 2° E	86° al SE	N 4° E	86° al SE
2	N 32°W	86° al SE	N 24° W	86° al NE
3	N 40°W	86° al SW	N 14° W	86° al N E

Los resultados permiten afirmar que la margen derecha esta formada por rocas dacíticas en su parte inferior, a las que les sobreyacen riodacitas que se encuentran cubiertas por suelos residuales con espesores de 1.5 a 3.5 m . Mediante métodos geofísicos se estimó que el espesor de la roca descomprimida en esta margen varía de 6 a 7 m.

La margen izquierda está constituida, en general , por dacitas-riodacitas. En la parte baja , cerca del cauce del río, se identificó un cuerpo hipabisal (dique traquiandesítico) que intrusionó al cuerpo extrusivo.

2.8 Descripción de las obras

El conjunto de obras que aquí se describen integran el proyecto de la Presa Reguladora San Rafael , Nayarit.

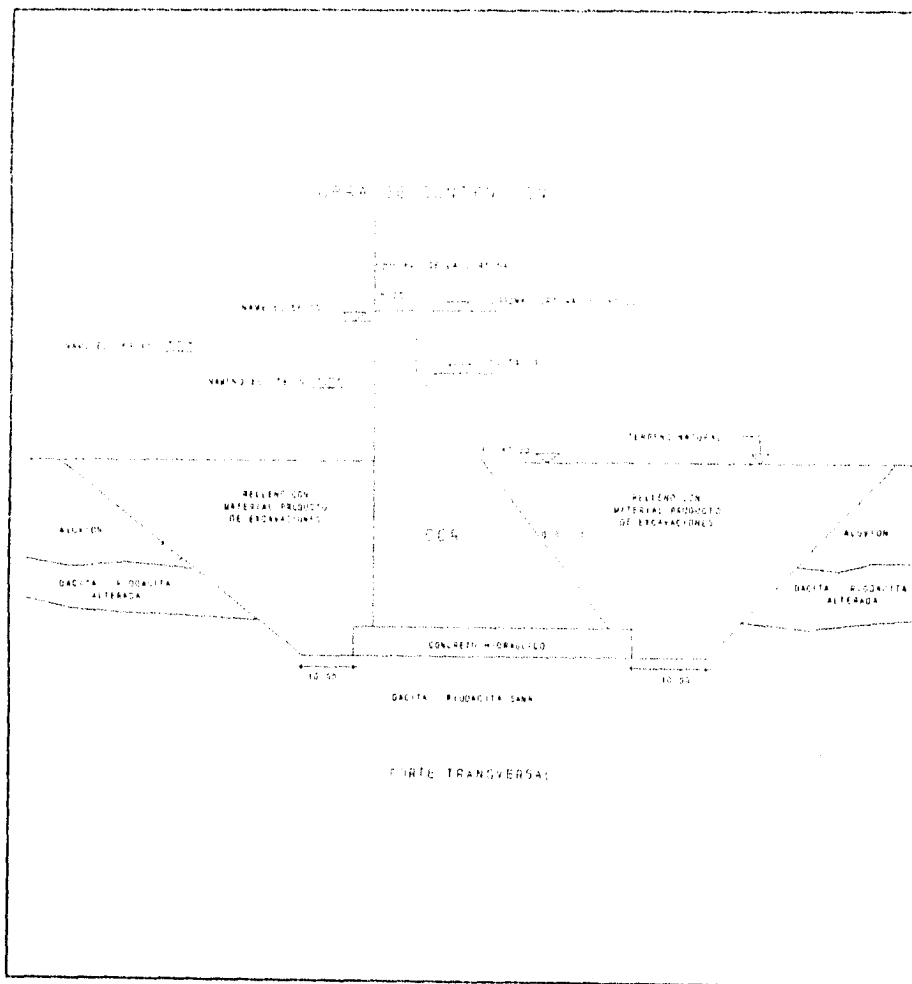
Las principales obras del proyecto son:

- 1.- Obra de Contención
- 2.- Obra de Toma
- 3.- Obra de Control y Excedencias
- 4.- Obra de Desvío
- 5.- Ataguías
- 6.- Infraestructura

A continuación se describen cada una de ellas .

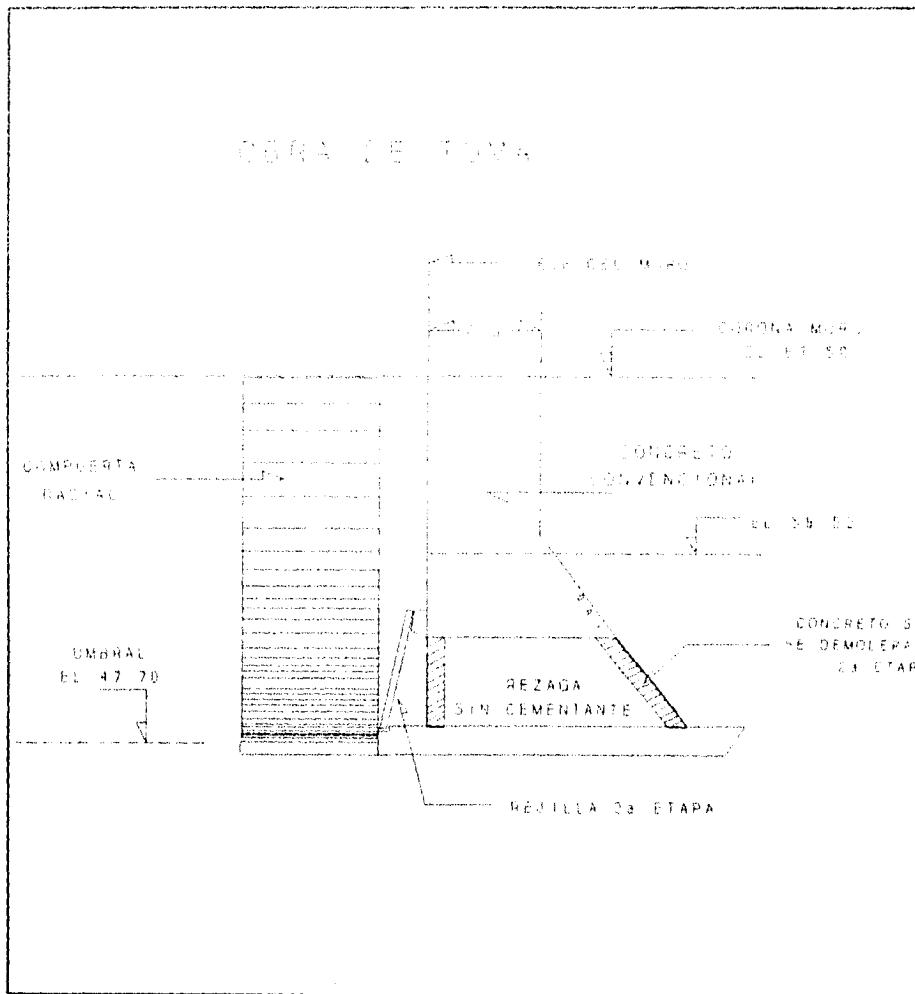
2.8.1 Obra de contención

La obra a que se refiere esta especificación , consiste en una presa de sección gravedad, la cual se desplató en el lecho rocoso del cauce (elev. 19 msnm en la parte más profunda) , dicha presa se construyó con concreto compactado con rodillo (CCR) y tiene una elevación en la corona de 67.50 msnm (metros sobre el nivel del mar)



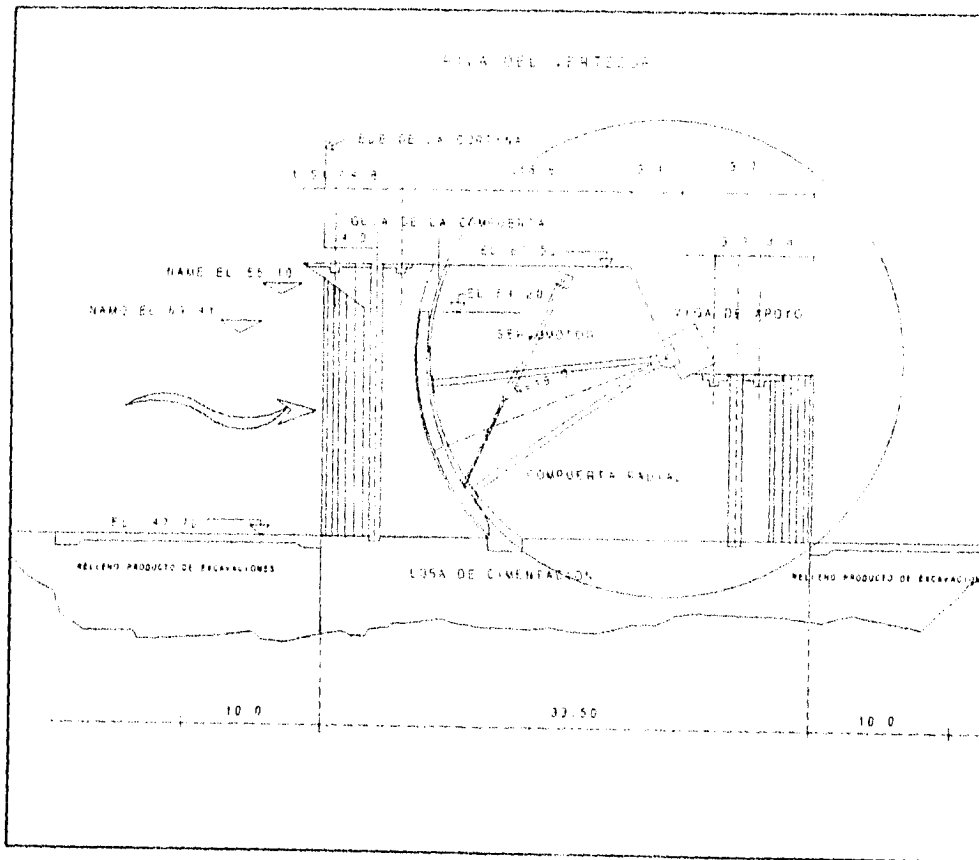
2.8.2 Obra de toma

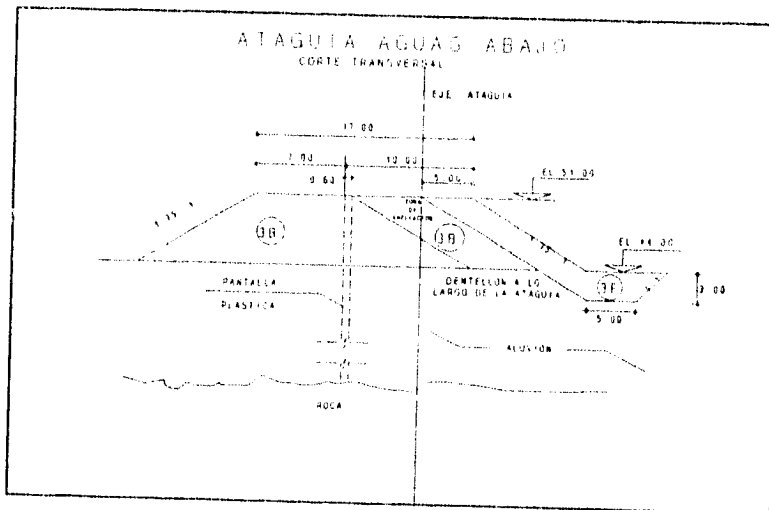
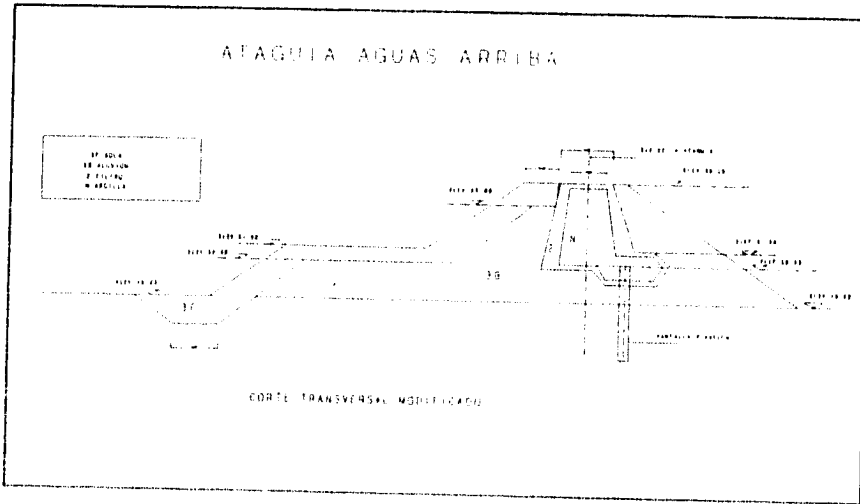
La obra de toma se ubica en la margen derecha y esta integrada por un canal de llamada excavado a cielo abierto, se conecta con la obra de excedencias por medio de un muro radial de concreto hidraulico, consta de cuatro compuertas verticales; pilas de dimensiones similares; puente de maniobras y de acceso a la presa;



2.8.3 Obra de control y excedencias

La obra de control y excedencias, se alojará en la margen derecha y constará de: una estructura de control con seis compuertas radiales; pilas de dimensiones similares; puente de maniobras y de acceso a la presa.

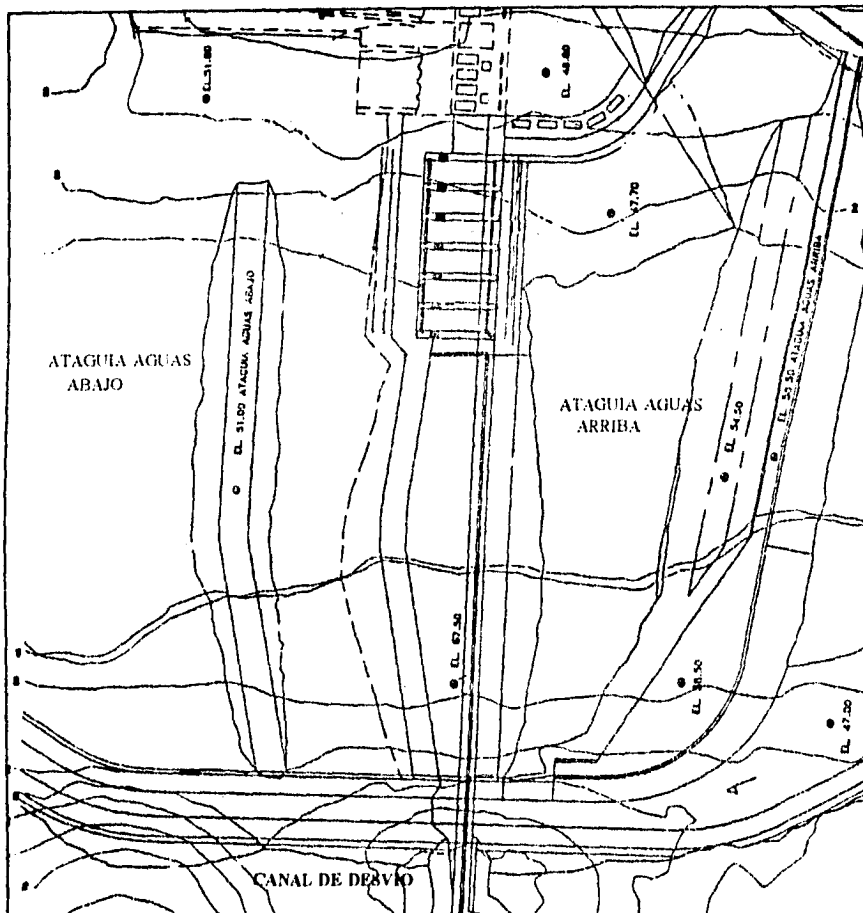




2.8.5 Infraestructura

El conjunto de obras que a continuación se describen integran la infraestructura de la presa , y son las siguientes:

- 1.- Camino en margen derecha.
- 2.- Camino en margen izquierda
- 3.- Campamentos.



En esta ilustración se puede observar al conjunto de estructuras que componen la obra de desvío , formada por las dos atagüas y el canal de desvío labrado en la ladera de la margen izquierda , de la presa San Rafael Nay.

CAPITULO 3 TIPOS DE PANTALLAS Y SU UTILIZACION

3.1 Definición de pantalla

Este termino se emplea para designar cualquier tipo de estructura cuya finalidad principal es la reducción del flujo de agua a través de la cimentación .

Por lo general se construyen de concreto , metálica ,de tierra o formada por inyecciones Son algunos ejemplos de pantallas : los diafragmas , dentellones , trincheras o delantales de suelo compactado

3.2 Factores que deben tomarse en cuenta para la selección del tipo de pantalla

Por lo general hay que ser muy cuidadosos en el momento de elegir la pantalla apropiada dada la naturaleza del problema al que nos enfrentamos , ya que se trata de obras que requieren mucha seguridad , por lo que siempre tenemos que tener presente los siguientes factores el valor del agua , el peligro de tubificación , la estabilidad de las laderas o del cauce , la permanencia de los materiales que constituyen la pantalla , los efectos mecánicos de esta en la presa o ataguías y el costo de las diversas soluciones posibles.

3.3 Estudios preliminares que conducen a la evaluación del problema

Con la información que se obtiene de los trabajos preliminares , se cuenta con los elementos necesarios para analizar las alternativas , para poder tomar una decisión correcta sobre el mejor tipo de pantalla que se ha de construir.

A continuación se describen brevemente cada uno de los estudios preliminares.

3.4 Estudios de campo

La información básica que debe obtenerse en el campo se puede agrupar como:

3.4.1 topografía y características de la roca en que se apoya el depósito térrico

La determinación del perfil de la roca basal se realiza mediante sondeos , a base de perforaciones con maquina rotatoria y con recuperación de muestras lavadas , el número de perforaciones es limitado y se localizan a todo lo largo del eje supuesto de la presa o de los ejes de las ataguías , toda esta información se complementa con exploraciones sísmicas.

Con la información obtenida , se tiene una idea mas o menos precisa del perfil rocoso ,

de esta roca se obtiene su calidad y en particular su alteración y fracturamiento , así como también de la naturaleza de los materiales sobrepuestos.

Debido a las condiciones naturales de cada lugar donde se pretende construir una obra , no es posible establecer reglas precisas sobre la exploración y los detalles geológicos locales juegan un papel muy importante en las decisiones que se tomen al respecto.

3.4.2 Estratigrafía y clasificación de los suelos en la cimentación y empotramiento.

Definidas las fronteras de la roca basal ,es importante identificar los estratos o lentes que forman el depósito térreo , por lo que es necesario realizar perforaciones con muestreo y el uso de técnicas costosas , por eso en casos de formaciones constituidas por estratos de arena o materiales más finos se puede recurrir a la prueba de penetración estándar , para complementar la información obtenida de las perforaciones y evaluar debidamente los resultados de ambas pruebas .

Las técnicas para la obtención de muestras representativas pueden ser muy elaboradas y demandan personal experimentado y equipos especiales .

En estratos cohesivos , los muestreadores pueden ser del tipo Shelby , o los de pistón fijo móvil.

Los depósitos de arena y grava ofrecen serias dificultades para obtener de ellos muestras inalteradas , o sea corazones que no solo contengan todos los componentes de la formación , sino que conserven su estructura natural , lo relacionado a los componentes se logra utilizando perforadoras de circulación inversa , para lograr obtener su estructura se ha llegado a utilizar la congelación cuando el estrato esta sumergido , o la inyección de productos bituminosos u otros cementantes , a fin de inspeccionar directamente los depósitos aluviales , el objetivo es estimar la cantidad y tipo de productos para tratar tales formaciones.

Este aspecto de los estudios de depósitos térreos es costoso y lento , pero constituye la base para decisiones atinadas sobre el tipo de pantalla que conviene construir.

3.4.3 Permeabilidad por estratos y global del depósito térreo y de la roca basal.

Para conocer la permeabilidad se recurre a la realización de ensayos in situ , cuando el depósito térreo esta compuesto de arena fina o bien graduada y limo , se recurre a la prueba

Lefranc : tiene el defecto de ser puntual y solo permite estimar la permeabilidad en dirección horizontal , por otra parte es muy sencilla y puede realizarse en las mismas perforaciones de exploración o muestreo.

Cuando el depósito esta formado por grava uniforme y boleos dispuestos en forma erratica y se espera alta permeabilidad , se puede utilizar el procedimiento de Thiem , que consiste en hacer un pozo central rodeado de piezómetros colocados en forma radial a diferentes distancias para medir los niveles piezometricos alterados por la extracción del agua por el pozo.

El coeficiente de permeabilidad así determinado depende de la trayectoria del flujo provocado por la prueba y puede llegar a no ser muy representativo sin embargo se acerca al valor real.

La distorsión de las curvas de igual elevación piezometrica permiten anticipar la presencia de corrientes subalveas y la distribución de la presión neutral en las diferentes estaciones de observación , proporcionan datos que permiten localizar aproximadamente capas más permeables dentro de la formación del terreno.

3.5 Investigaciones de laboratorio

Obtención de las propiedades indice: es usual obtener la granulometria de muestras inalteradas cuando se trata de materiales gruesos en cambio se utiliza la prueba de Attenberg para caracterizar los suelos plásticos.

Para conocer la compresibilidad del depósito térreo se recurre a la prueba de compresión triaxial , en algunos casos se determina el coeficiente de permeabilidad utilizando las propiedades indice obtenidas de las muestras inalteradas de las formaciones naturales y especimenes representativos

3.6 Investigaciones de gabinete

Para definir con más precisión el problema de una cimentación o empotramiento permeable , deben realizarse una serie de estimaciones con base en redes de flujo , modelos de filtración o bien , métodos aproximados como los que se proponen más adelante.

Modelos de filtración: se usan modelos de arena en los que se reproduce la topografía de la roca basal y el depósito de suelo , la permeabilidad puede no estar a escala , pues lo que

interesa es la distribución de presiones neutrales (provocadas únicamente por el empuje del agua)

Redes de flujo: se utilizan para estimar gastos de filtración y gradientes críticos y proporciona la distribución de presiones neutrales necesarias para el análisis de estabilidad de las estructuras ; las redes de flujo son representaciones gráficas de la ecuación de Laplace que gobiernan el flujo de agua en un medio poroso , homogéneo e isotrópico.

Gastos de filtración: también con la utilización de gráficas propuestas por Alberro (1970) se pueden estimar la cantidad de agua que fluye en un depósito permeable y se puede aplicar a delantales , pantallas parciales , cortinas de inyecciones , diafragmas de concreto o metálicas.

Para el caso de una presa con delantal de arcilla , Dachler (1936) obtuvo la sig. ecuación para el gasto de filtración

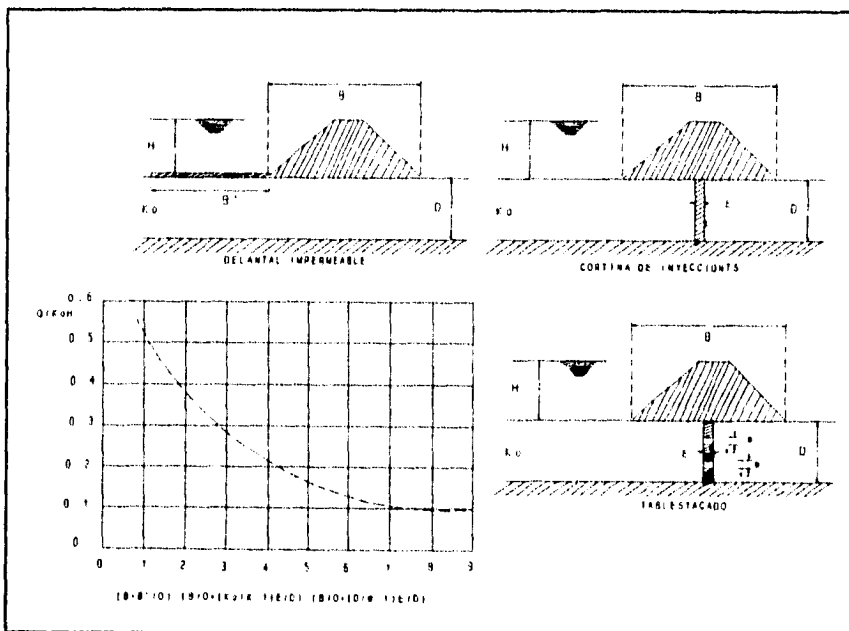
$$Q_0/K_0H = 1/[0.88 (B+B'/D)]$$

Cuando la cimentación permeable es interceptada en todo su espesor por una trinchera o una pantalla de inyecciones , es posible aplicar la solución desarrollada por Ambrasey

$$Q_0/K_0H = 1/\{0.88+B/D+[K_0/K-1]*(E/D)\}$$

Finalmente para la alternativa de una pantalla de concreto o de un tablestacado de permeabilidad intrínseca despreciable , pero con defectos .

$$Q_0/K_0H = 1/\{0.88+B/D+[D/W-1]*(E/D)\}$$



De la gráfica se concluye que el gasto de filtración es el mismo en un delantal de arcilla que en una cortina de inyecciones con tal que $B'=(K_0/K-1)*E$, suponiendo que $K_0/K=50$, lo cual es fácil lograr cuando K_0 es relativamente alto , resulta $B'=49 E$, con base en espesores aceptables de E y de costos , es posible determinar en que casos es más conveniente construir una pantalla de inyecciones que un delantal.

De donde: Q_0 = gasto de filtración

K_0 = permeabilidad del terreno de cimentación

H = carga de agua en el embalse

B =ancho de la presa , en m.

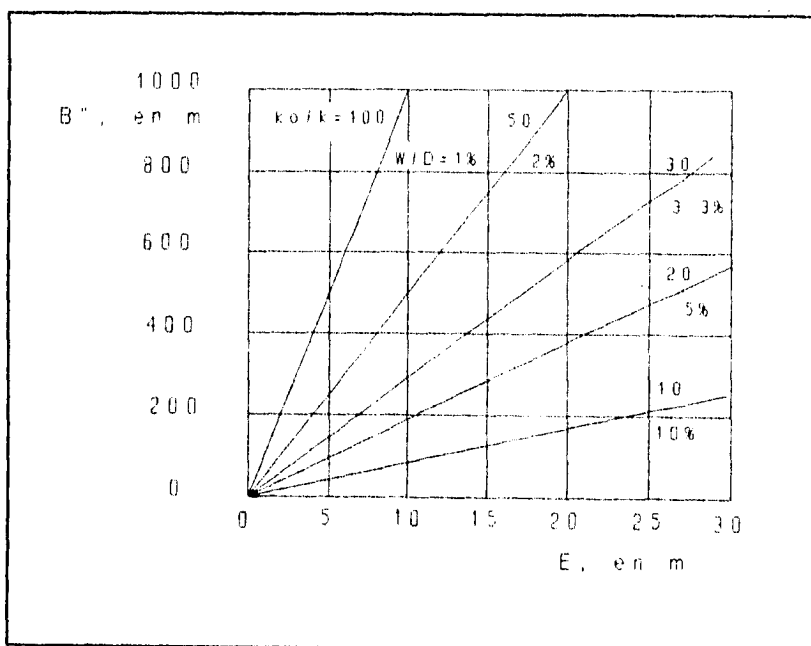
B' = longitud del delantal , en m

D = espesor del depósito permeable de la cimentación, en m

K =permeabilidad del terreno inyectado o del material de relleno de la trinchera

E = espesor de la pantalla o trinchera

W = área total de desperfectos por unidad de longitud de la pantalla o tablestacado



Relación entre el espesor de la cortina de inyecciones o trinchera , longitud del delantal y área de defectos de un tablestacado para el mismo gasto de filtración.

De esta figura se infiere que un delantal de arcilla es preferible a una cortina de inyecciones cuando la permeabilidad K_0 de la cimentación es pequeña .

Si la relación B/D es baja , para reducir en forma notoria el flujo de filtración se necesita construir un delantal de gran longitud o una cortina de inyecciones gruesa y de K_0/K alto, o bien un diafragma de concreto o metálico con área de defectos W , pequeña.

La gráfica anterior , justifica también los motivos por los que se ha abandonado prácticamente el uso de tablestacado . Los defectos que pueden producirse durante el hincado (rotura de uniones y disloque de las tablestacas) , así como los que ocurren por interacción con los materiales adyacentes y asentamientos diferenciales , son causas de que W crezca en forma notoria , sin embargo , recientemente se han intentado reparar esos defectos mediante inyección de bentonita y cemento , aguas arriba de los tablestacados , lo que promete incrementar apreciablemente la efectividad de los tablestacados.

Cuando no se realiza un tratamiento especial bajo el contacto de la pantalla , el flujo que pasa a través de la zona de roca alterada o agrietada puede ser del mismo orden de magnitud que el que filtra directamente por la pantalla.

Cuando la supresión es excesiva aguas abajo de la pantalla , existe peligro de tubificación para reducir el peligro es necesario disminuir K o W , o bien aumentar B o E , si lo anterior no es factible , deberá protegerse del arrastre del material superficial mediante la instalación de drenes invertidos o pozos de alivio con filtro adecuados aguas abajo de la pantalla.

3.7 Tipos de pantallas

En esta parte se describen los distintos tipos de pantallas que se usan para interceptar o reducir el flujo de filtraciones a través de la cimentación y los empotramientos de una presa . El objeto es destacar sus características principales , limitaciones constructivas , defectos típicos ,etc.

3.7.1 Tablestacado

El tipo más usual es el construido con tablestacado de acero , son recomendables cuando el depósito térrico está integrado por suelos que no contienen boleos o fragmentos de gran tamaño (derrumbes) pues a estos últimos se les atribuye dislocamientos o rotura de las uniones durante

el hincado. Esta se ha convertido en una acción menos aleatoria con la utilización de martinets vibratorios y el empleo de agua a presión para atravesar estratos de arcilla. Además se ha ensayado con aparente éxito el empleo de inyección de bentonita y otros cementantes aguas arriba del diafragma en las uniones del tablestacado.

También se han construido diafragmas de arcilla-cemento inyectado en el hueco producido por la hincia previa de una tablestaca maestra, que se extrae al mismo tiempo que se introduce a presión la mezcla impermeabilizante.

Se utiliza en ocasiones el tablestacado de madera con resultados aceptables siempre y cuando permanezca sumergido en el agua.

3.7.2 Dentellones

Se pueden formar con:

a) cortina de inyecciones de productos impermeabilizantes: se proyectan para cortar las filtraciones y en teoría deberían soportar todo el empuje hidrostático sobre su cara de aguas arriba, para formar la cortina se requieren barrenos dispuestos en varias filas, a distancias que varían de 2 a 3 m. protegidos con camisa para prevenir derrumbes. Se usa frecuentemente el tubo de manguitos, que permite desarrollar inyecciones a diferentes profundidades sin importar el orden y de acuerdo a las necesidades, se aplican presiones desde 0-100 kg/cm², para lograr introducir la mezcla por las más pequeñas fisuras.

Se inyecta la mezcla prevista con base a la porosidad del terreno a cada elevación, se inyecta generalmente con mezcla compuesta de arcilla, bentonita, cemento y aditivo (silicato de sodio) en caso de tener que rellenar grietas grandes se utiliza arena fina.

Es usual realizar el inyectado de confinamiento en las perforaciones exteriores; emplear mezclas menos viscosas, en las intermedias y reservar la línea central para las lechadas más penetrantes de agua-cemento, o de geles.

Las cortinas de inyecciones se utilizan generalmente para impermeabilizar depósitos de aluvión hasta profundidades de 100 m, pero también se aplica a derrumbes de ladera y ha formaciones rocosas fisuradas.

Este método nos proporciona una reducción de permeabilidad del orden de 50 - 100 veces en la zona de la cortina de inyecciones, si la permeabilidad es alta (más de 50 unidades Lugeon

aprox.) la inyección es absolutamente necesaria para limitar el caudal de filtraciones , este se vuelve muy costoso cuando la permeabilidad del aluvión es baja ($k < 10^{-3}$ cm/s) ; se requiere equipo adecuado de perforación e inyección y personal con mucha experiencia en este tipo de trabajos , y un control permanente de presiones , volúmenes de lechada y tipo de lechada.

b) Pantalla formada por pilotes secantes de concreto : se construyen excavando agujeros de 60 cm. de diámetro ; las paredes se estabilizan mediante el uso de lodos bentoníticos y el colado de concreto de abajo hacia arriba , se realiza con tubos tremie o trompas de elefante , según sea la profundidad . Los agujeros se inician con la ayuda de una guía en su superficie , la cuchara trabaja por percusión y en ocasiones se emplea el trepano cincel para cortar boleas ; en presencia de derrumbes o bloques de roca se recurre a los explosivos .

De este modo se han alcanzado profundidades de 100 m , con equipo adecuado y personal experimentado se ha logrado disminuir las fallas en las uniones.

Una variante del sistema anterior es la de los paneles de concreto de 2 a 5 m de long. y de 60 a 90 cm de ancho con juntas inyectadas ; se usa un tubo de acero para formar una buena superficie de liga entre los paneles y facilitar la excavación del terreno en los extremos . La extracción de material se realiza con cuchara de almeja y las paredes se estabilizan con lodo bentonítico.

La combinación de panel y pilote es otra posibilidad que se recomienda para grandes profundidades , pues resulta más fácil controlar la verticalidad de los pilotes (desviaciones de 15 cm en 100 m) , después excavar con una cuchara especial guiada por ellos y finalmente colar los tramos faltantes .

Cuando el depósito térreo es de 25 m o menos , existe la posibilidad de construir una trinchera de lodos o slurry trench . El espesor de esta pantalla varía de 1 a 3 m , y la excavación se realiza con draga mecánica , su limitación en profundidad está condicionada por el peso de la cuchara , la compacidad del material a excavar y la presencia de grandes boleas los cuales son destruidos con el trepano o explosivos . La estabilidad de las paredes se logra con lodo bentonítico .

El relleno está formado por una mezcla bien graduada de arena , grava y arcilla o bentonita , que se coloca con draga mecánica desplazando al lodo . No se emplea suelo más fino por razones de compresibilidad . La preocupación principal en esta modalidad de pantallas , es

la segregación del material de relleno.

3.7.3 Trincheras de material compactado

En general se requiere una excavación de grandes proporciones , en las que el bombeo de las filtraciones y la estabilidad de los taludes interiores son los factores determinantes del costo. Tiene la ventaja de que la construcción se realiza con equipo convencional , la roca basal se inspecciona visualmente y es susceptible de tratamiento con inyecciones , colados parciales de concreto , embarrado de lechada , etc. El material de relleno y su colocación deben cumplir con especificaciones similares a las del corazón impermeable .

Por razones de espacio en el sitio y del tiempo , este tipo de pantalla puede resultar inadecuado , a pesar de las ventajas de comportamiento y buena ejecución que ofrece.

3.7.4 Delantales impermeables

En cimentaciones o empotramientos térreos de gran profundidad pero de permeabilidad relativamente baja , la solución más sencilla y confiable es el delantal de arcilla construido sobre el terreno natural como prolongación del corazón impermeable hacia aguas arriba , previa limpia del material vegetal y nivelación para regularizar la superficie . La longitud del delantal depende de la longitud del embalse y la permeabilidad de la cimentación , se han construido pantallas de este tipo hasta de 1 km de largo , en algunos casos extraordinarios se recurre a la colocación de enrocamiento en capas , rellenando los vacíos con suspensiones de suelo areno- limoso inyectados a presión debajo del agua.

Para controlar los gradientes de salida en esta solución , casi sin excepción se instalan drenes o pozos de alivio al pie de la presa , aguas abajo.

3.7.5 Combinación de alternativas

Si se construye un dentellon de concreto o lodo , y la roca donde se empotra se encuentra muy fracturada , es necesario dejar preparativos (tuberías) para tratar con inyecciones la base , en la medida que se juzgue necesario para evitar filtraciones entre la roca y la pantalla.

Cuando la alternativa es una cortina de inyecciones , el tratamiento se prolonga hacia la roca subyacente . Esta forma de tratamiento es normal en trincheras de material compactado el

cual se realiza al terminar la excavación y descubrir la roca.

A veces se usa el inyectado de aluviones para reducir la compresibilidad de estos junto a una pantalla de concreto.

3.7.6 Pantallas totales y parciales

Con excepción del delantal de arcilla , que casi siempre constituye una pantalla parcial las otras soluciones se proyectan para que intercepten totalmente el manto permeable bajo la presa , sin embargo se han construido pantallas parciales atendiendo a causas particulares del proyecto.

Los resultados de algunos estudios permiten concluir que las pantallas parciales son poco eficientes para interceptar las filtraciones en depósitos terrosos homogéneos ; pero ciertas condiciones geológicas en la cimentación , razones de estabilidad de la presa o el riesgo de tubificación pueden hacer atractiva esta alternativa.

3.8 Características de pantallas construidas en México

Presa y Estado	Rio	D max (m)	H (m)	B (m)	Tipos de pantalla	B' ó E (m)	Gasto (lts/seg)	Observaciones
Rodriguez Sonora	Sonora	>50	17	465	Delantal impermeable	300	1800	Filtros invertidos aguas abajo
El palote Gto	Los Gomez	>25	12	50	Delantal impermeable	20	70	galeria filtrante, delantal natural dep. lamoso 3m
Alvaro Obregon Sonora	Yaqui	35	47	125	Trinchera con material compactado	-----	-----	Max. caudal bombeado durante excavacion 1 m ³ /seg

El tunal Durango	Tunal	22	47	125	Trinchera con material compactado	-----	-----	Max. caudal bombeado durante excavación 200 lts
El bosque Michoacan	Zitacuaro	100	64	110	Cortina de inyecciones	6	4,000	Cimentación formada por lava en bloques
Las tortolas Durango	Nazas	140	29	40	Dentellon de lodos	3	450	Profundidad del dentellón ,20 m
Jose M. Morelos Mich.-Gro	Balsas	90	50	28	Paneles de concreto	0.6	Despreci able	Area de la pantalla Ap= 15,160 m2
El infiernillo Michoacan	Balsas	22* 14**	20	100 40	Pilotes secantes	0.6	6	Ap=1180 m2 Ap=530 m2
El novillo Sonora	Yaqui	32* 28**	30	40 20	pilotes secantes	0.6	0.6	Ap= 1760 m2 Ap= 530 m2
Santa rosa Jalisco	Santiago	30* 18**	25	40 20	pilotes secantes	0.6	40	Ap= 1120 m2 Ap=750 m2

* Atagua aguas arriba

** Atagua aguas abajo

3.9 Utilización de las pantallas

3.9.1 Las pantallas en las obras hidráulicas

Este tipo de obras se realiza para poder trabajar en el desplante de las estructuras que componen un proyecto hidráulico , por lo que se construyen pantallas impermeabilizantes tanto aguas arriba como aguas abajo , para posteriormente excavar el recinto y realizar el desplante.

Otro ejemplo es el de una cubeta estanca el cual puede estar formado por una pantalla de

tablestacado 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 realizarse también por inyecciones.

Las dificultades en la realización de las cubetas estancas mediante inyecciones son siempre mayores en la ejecución de las pantallas periféricas que para el fondo , el motivo es la anisotropía del terreno.

La utilización de las pantallas para realizar las cortinas verticales representa en estas condiciones una solución perfecta tanto desde el punto de vista técnico como económico.

En la construcción de ataguías los muros pantallas pueden reemplazarse ventajosamente a las pantallas de tablestacados o las realizadas mediante inyecciones , tienen con relación a la primera la ventaja de poder atravesar estratos con boleos y permitir un anclaje definitivo en la roca basal (con la ayuda del trepano) , con relación a las inyecciones , la ventaja absoluta es la certeza de un cierre sin discontinuidades.

3.9.2 Las pantallas en las obras urbanas

El método llamado del "muro milan" ; este procedimiento constructivo se utiliza para la construcción de obras subterráneas relativamente poco profundas bajo la calle . Su ventaja reside en que este sistema perturba muy poco la circulación.

Se realiza en dos etapas:

- 1) Se construye una de las pantallas y después la semilosa de cobertura , no es necesario ocupar más que la mitad de la calle , dejando la otra mitad a disposición del tráfico.
- 2) Se restablece la circulación sobre la semilosa construida y se ejecuta la segunda pantalla y a continuación la otra mitad de la losa , durante esta fase solo se ocupa la otra mitad de la calle.

Este procedimiento constructivo tiene pues la ventaja de construir un subterráneo que ocupe la totalidad de la calle , sin que por ello se interrumpa la circulación , además de la reducción al mínimo de las perturbaciones creadas por la obra a las construcciones colindantes y también la de la ejecución de las excavaciones al abrigo de una pantalla de contención impermeable.

La losa de cobertura se cuela directamente sobre el suelo con lo cual se consigue un considerable ahorro en el cimbrado ; es suficiente prepara el terreno antes del colado dejando una superficie lisa y bien nivelada por medio de un lecho de arena compactada.

El armado de la pantalla tiene previstos aceros de espera para el empalme con la losa de

cubierta así como para las distintas plantas y la cimentación.

a) estacionamientos subterráneos : se construyen por lo general en las grandes ciudades donde casi siempre faltan lugares de estacionamientos , una forma de construir sin causar muchos problemas es utilizando el método del muro milan , que además tiene la ventaja de que las pantallas sirvan como barreras impermeables para reducir las filtraciones hacia dentro del estacionamiento.

CAPITULO 4 ESPECIFICACIONES Y MODIFICACIONES

4.1 Especificaciones para la inyección

En esta parte de las especificaciones se describen las normas que deberán seguirse para la inyección de contacto muro pantalla - roca basal y para la inyección de consolidación .

Este tratamiento a base de mezclas de cemento , tiene la finalidad de consolidar e impermeabilizar la roca , bajo el desplante de las estructuras.

4.1.1 Operaciones en la inyección

- a) Suministro de personal (mano de obra) , herramientas , equipo y materiales necesarios
- b) Operación de perforaciones , reperforaciones y lavado de barrenos.
- c) Operaciones necesarias para la inyección , tales como instalación de estaciones de preparación de mezclas , instalación de tuberías necesarias , pruebas de permeabilidad , sellado de barrenos , etc.
- d) Operaciones necesarias de limpieza durante y al final de estos trabajos
- e) Mantener el sistema de comunicación necesario y llevar la documentación necesaria del trabajo que se ejecute.

4.1.2 Equipo

El equipo que se utilice para las operaciones de la inyección de las mezclas , deberá ser revisado con frecuencia y en su caso , aprobado por la supervisión y será del tipo, capacidad y condiciones mecánicas apropiadas para la ejecución de dichas operaciones.

a) Perforadoras

Se utilizarán perforadoras de percusión o percusión-rotación para ejecutar barrenos en roca con diámetro de 2 1/4" y 3".

b) Mezcladoras

Deberán ser de los siguientes tipos:

- 1) Mezcladoras de alta velocidad del tipo de bomba centrífuga (turbomezcladores con 1250 r.p.m. como mínimo), con tanques de abastecimiento con capacidad mínima de 150 litros, que tenga una malla para retener los grumos, papeles e impurezas que pueda contener el cemento.
- 2) Mezcladores de baja velocidad (agitador de 60 r.p.m.) con aspas que giren lentamente y en las que se depositan las mezclas previamente preparadas en los turbomezcladores para mantenerlas en agitación de tal manera que la operación de inyectado sea continua. La capacidad mínima de estos agitadores será de 200 litros.

c) Inyectores

- Bombas de doble pistón accionadas por gato hidráulico y capacidad de inyección variable de 0 a 60 litros por minuto y presión ajustable de 0 a 40 kg/cm², como mínimo.
- Bombas para inyección de mezclas con gasto de 100 litros por minuto de 5 kg/cm² de presión. Se recomienda el uso de bombas de tipo "moyno".
- Bombas de tipo "moyno" para bombear y transportar mezclas espesas y pesadas.

Para usar estas bombas "moyno" en inyecciones de bajo consumo y presión, será necesario el uso de líneas de retorno y ajustar su velocidad de rotación adaptando un dispositivo que transforme la velocidad fija del motor eléctrico a una velocidad variable de rotación ajustable de 0 a 350 r.p.m.

d) Medidores de gasto

Pueden ser con mecanismo de reloj o bien con recipientes calibrados.

e) Tuberías y conexiones

Deberán resistir una presión de 1.5 veces la presión de trabajo de las bombas de inyección.

f) Manómetros

Deberán estar calibrados y protegidos contra el golpe hidráulico y su capacidad será de 1.5 veces la presión de rechazo especificada . El contratista deberá contar con medios para verificar el estado de los manómetros en la obra.

Los manómetros usados deberán revisarse frecuentemente . Todo manómetro inexacto deberá ser reemplazado.

El protector del manómetro deberá ser de paso integral para garantizar un buen funcionamiento.

g) Obturadores

Podrán ser neumáticos , mecánicos o de copas de cuero , dependiendo de las condiciones del sitio de inyección y de la presión de trabajo.

4.1.3 Estaciones para la preparación e inyección de mezclas

Las estaciones de preparación de mezclas deberán estar ubicadas en sitios accesibles para el fácil aprovisionamiento de materiales y deberán también tener espacio suficiente y condiciones ambientales adecuadas para almacenar y conservar en buen estado los materiales que se utilizarán en la fabricación de la mezcla . Por otro lado , deberán estar localizadas en sitios estratégicos que permitan surtir a las estaciones de inyección con el menor recorrido posible de las mezclas. Desde estas estaciones se enviarán las mezclas por gravedad o bombeo , hacia las estaciones de inyección , las cuales se instalarán cerca de los barrenos , de tal manera que la circulación de las mezclas a través del sistema de inyección sea continua y permita un control

sensible de las presiones mediante una válvula de alivio colocada cerca del barreno , sobre una tubería de retorno . En algunos casos , podrá eliminarse la tubería de retorno con la condición de que se tenga una circulación continua de mezclas. Las mezclas podrán prepararse en las estaciones de inyección , si reúnen las características y condiciones mencionadas anteriormente para ambas estaciones.

La ubicación de las estaciones deberá ser aprobada por la supervisión.

4.1.4 Materiales para la inyección

a) Agua

El agua que se utilice para la fabricación de las mezclas de cemento será suministrada por el contratista y analizada y aprobada por laboratorio de inyecciones de la supervisión.

Deberá ser limpia , con bajo contenido de sales y sólidos disueltos , libre de materia orgánica y exenta de grasa , ácidos , aceites y sustancias alcalinas.

b) Cemento

El contratista será responsable del suministro , manejo , control , almacenamiento en silos y utilización del cemento.

Se usará cemento Portland puzolana tipo IP norma ASTM C 595 con puzolana de buena calidad (actividad puzolanica con cal mayor a 55 kg/cm^2) y que en porcentaje sea de 15 a 40% , con contenido de alcalis menor de 0.6 % , finura (pasa la malla No. 200) de 98 % como mínimo , superficie específica Blaine de $4500 \text{ cm}^2/\text{gr}$ como mínimo . Este cemento debe inhibir la reactividad álcali -sílice y ser resistente al ataque de los sulfatos.

No se permitirá el empleo de cemento húmedo o parcialmente fraguado . Se deberá proteger el cemento contra los agentes atmosféricos y no deberá tener grumos.

c) Aditivos

Superfluidizante de concreto , producto sintético adicionado de estabilizadores especiales que produce , agregado al concreto fresco plástico , una consistencia superfluida y alta trabajabilidad . No contiene cloruros , no es cáustico ,tóxico ni inflamable . Tiene alto poder disipante , densidad de 1.12 kg /lt y ph de 7 , aproximadamente (Sikament N o similar) .

Silicato de sodio , aluminato de sodio y cloruro de sodio para la gelificación de mezclas

de inyección en caso de requerirse .

4.1.5 Términos usuales

a) Tramo

Es una longitud acotada de un barreno , en la cual se ejecutan las operaciones de inyectado , consistentes en : perforación , lavado e inyectado de mezclas.

b) Etapa

Comprende a un conjunto de barrenos , en los cuales se ejecutan todas las operaciones concernientes a la inyección de mezclas . Estas operaciones se ejecutan siguiendo un orden determinado de conjunto .

c) Sección

Comprende un determinado número de barrenos , en los cuales se ejecutan todas las operaciones de inyección de mezclas. Estos barrenos pueden estar localizados con determinada distribución sobre una superficie acotada , o bien , contenidos en un plano.

d) Presión de inyección

Es la presión ascendente que evoluciona durante la inyección , antes de llegar a la presión de rechazo y medida en la boca de la perforación.

e) Presión de rechazo

Es el valor máximo de la presión , especificada para la inyección de las mezclas , midiéndose en todos los casos en la boca de la perforación.

f) Progresiones ascendentes

Inyección que se ejecuta en tramos desde el fondo del barreno hacia el brocal.

4.1.6 Operaciones comunes al proceso de inyectado.

Todas las perforaciones se ejecutarán sin interrupción en toda su longitud , incluyendo la reperforación del tramo empleado en los casos en que previamente se hubiere inyectado el contacto pantalla-roca . Si durante el proceso de barrenación se presentan pérdidas de agua , se procederá a sellar el barreno inyectándolo , con el obturador colocado 1 m arriba del punto donde se presentó la fuga de agua , hasta alcanzar la presión de rechazo especificada . Terminada la inyección , se removerá el obturador y se lavará y reperforará el tramo , para

continuar la perforación del barreno hasta su profundidad total.

4.1.7 Fabricación de mezclas de inyección

La preparación de la mezcla será en turbomezclador de altas revoluciones, colocando los materiales en el siguiente orden: agua, cemento y por último el aditivo. Una vez que haya sido adicionado el último componente se mantendrá en agitación la mezcla en el turbomezclador durante dos minutos, después de esto, se pasará a un agitador de bajas revoluciones en el cual se mantendrá durante su inyección al terreno.

Las mezclas con más de 60 minutos de haber sido preparadas se deberán desechar.

4.1.8 Mezclas de inyección

a) Para la roca

El proporcionamiento de la mezcla es con una relación agua : cemento (A:C) de 0.8 l con 1% de aditivo Sikament N o similar en peso del cemento.

Las propiedades que debe de cumplir la mezcla son:

- Viscosidad en cono Marsh entre 29 y 31 segundos (constante durante una hora).
- Decantación (sedimentación) menor o igual a 3 % en dos horas.
- Cohesión (con placa) menor igual a 0.03 gr/cm²
- Coeficiente de filtración menor o igual a 0.6
- Resistencia a la compresión simple a la edad de 28 días, mayor o igual a 100 kg /cm²

4.1.9 Propiedades de la mezcla.

Cada una de las propiedades especificadas para la mezcla deberán ser verificadas bajo los siguientes métodos de ensayo:

- a) Viscosidad en cono Marsh.

Se define como el tiempo, en segundos, que tardan en salir 946 ml de mezcla de un embudo de dimensiones estándar (denominado cono Marsh), al haber puesto 1500 ml de

mezcla en el embudo .

- b) Decantación .

Se mide colocando 300 ml de mezcla homogénea en una probeta de 500 ml de capacidad , y después de dos horas medir la cantidad de agua libre en la superficie.

- c) Cohesión .

Se mide con ayuda de una placa cuadrada de acero inoxidable , de 10 cm por lado y espesor de 0.4 mm , rayada por ambas caras con una cuadrícula de 0.5 cm. , procediendo de la siguiente manera . Se pesa la placa , se introduce ésta en la mezcla hasta sumergirla , se extrae de la mezcla y se deja escurrir pesándose luego nuevamente . Se obtiene la diferencia de pesos registrados y se divide entre el área de la placa siendo este valor de la cohesión en gr/cm^2

- d) Coeficiente de filtrado y cake .

Se obtiene a partir de la prueba de filtrado , la cual consiste en determinar la cantidad de líquido que se extrae de una muestra de mezcla de 200 cm^3 al someterse en un filtro prensa de área específica a una presión de 7 kg/cm^2 durante un intervalo de 30 min.

El coeficiente de filtración se obtiene de dividir el volumen de agua filtrada entre el volumen total inicial de la mezcla y multiplicar este cociente por el inverso de la raíz cuadrada del tiempo de filtrado en minutos.

El espesor de los sólidos que quedan retenidos en un papel filtro especial para la prueba de filtrado se denomina cake , y se reporta en mm.

- e) Resistencia en compresión simple .

Es la resistencia de una probeta cilíndrica con relación de esbeltez de 2 (relación altura - diámetro) , sometida a un esfuerzo axial aplicado con una velocidad de 10 kg/cm^2 /min. Además podrán ser utilizadas mezclas a base de silicato de sodio y catalizadores para gelificar la mezcla y evitar recorridos excesivos de la misma.

4.1.10 Procedimiento de inyección en roca

La inyección en roca tendrá la finalidad de consolidar e impermeabilizar los 5 primeros metros de roca bajo las pantallas plásticas , para formar junto con las pantallas una barrera continua , impermeable y empotrada en la roca , para poder tener una zona entre las ataguías que sea estanca para facilitar la excavación para poder desplantar el conjunto de obras que constituyen el proyecto.

Para ello se perforará a través de la pantalla (se dejan tubos guía de PVC de 3" de diámetro) , hasta 5 m en roca y se procederá a inyectar en dos tramos , primero se inyectará en los 5 m en roca , iniciando en el fondo y levantando el obturador poco a poco, despues se inyectará el contacto pantalla- roca , colocando el obturador un poco arriba del contacto , para permitir la inyección de estratos de aluvión que queden entre la pantalla y la roca, o sea utilizando el metodo de abajo hacia arriba por que es el que nos permite mayor agilidad en los trabajos ya que se pueden separar las actividades de perforación y de inyección

El diámetro de las perforaciones será de 2 1/4 " a 3" de acuerdo con el equipo que se emplee

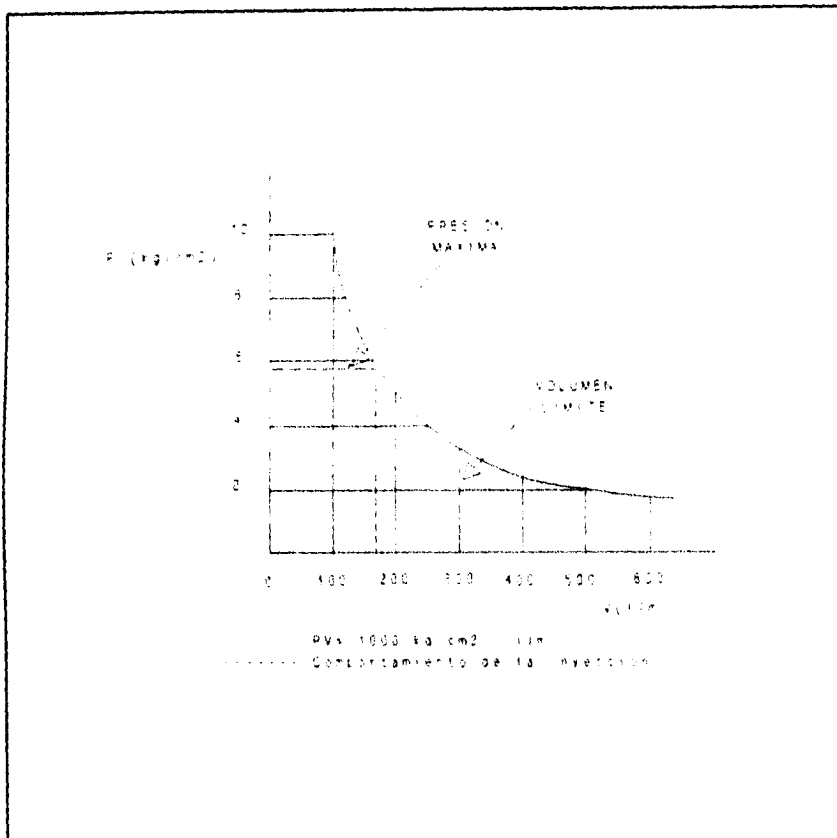
La posición y longitud definitiva de las perforaciones será la que se indique en los planos.

Se procederá a inyectar por fases , siendo la primera con barrenos a 6 m de separación , la segunda a 3m y , en caso de requerirse una tercera , a 1.5 m de separación.

La inyección de un barreno deberá iniciarse a partir del tramo más profundo y se ejecutará en forma ascendente . Una vez iniciada la inyección ésta no podrá detenerse por ninguna causa , siendo un proceso continuo de principio a fin. Si llegase a ocurrir un taponamiento en el equipo , se deberá proceder de la siguiente manera :

- bombear 200 litros de agua para limpiar el carril de la perforación.
- reiniciar la inyección del tramo.

Desde el inicio de la inyección hasta el final , se debe de tener registro continuo de la evolución de los siguientes parámetros para cada tramo inyectado : presión de inyección medida en el brocal del barreno , volumen de mezcla inyectada y tiempo de ejecución Con estos parámetros deben elaborarse las siguientes gráficas de control de inyecciones



GRAFICA $PV = 1000 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{l/m}$

La presión de inyección máxima será de 5 kg/cm en el tramo de la roca (los 5 m) y de 0.5 kg/cm en el tramo del contacto pantalla- roca.

El volumen máximo a inyectar será de 300 l/m siendo este valor dependiente del comportamiento del tramo inyectado, como se comenta a continuación.

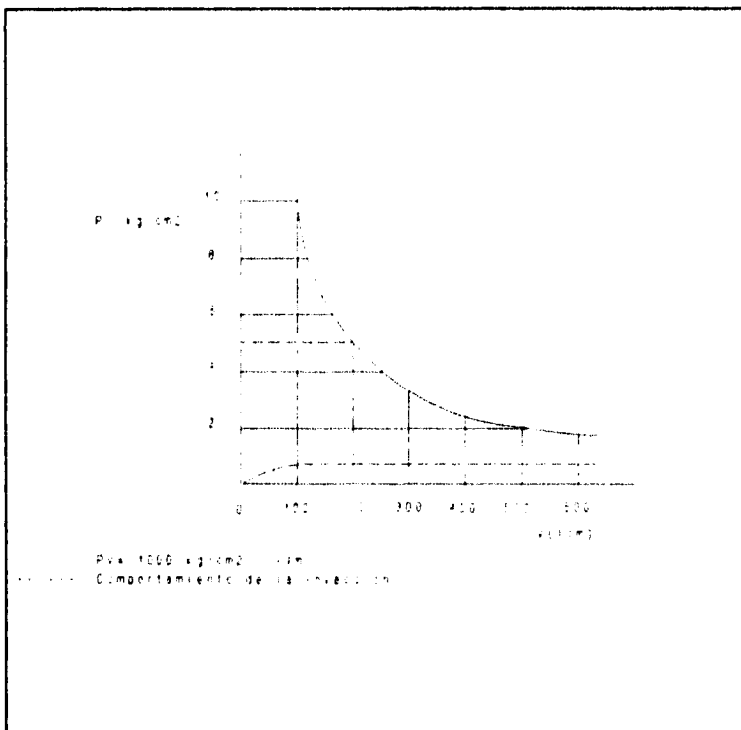
El comportamiento de la inyección debe seguirse a través de la gráfica $PV = 1000 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{l/m}$, en el cual pueden presentarse tres casos que se describen a continuación:

1.- Durante la inyección no se levanta presión mayor a 3.3 kg/cm^2 y llega el volumen máximo inyectable a 300 l/m .

a) Al llegar al volumen máximo se para la inyección.

b) Pasadas seis horas de haberse detenido la inyección se reinicia como un tramo nuevo.

c) Las operaciones de los puntos a y b deben repetirse tantas veces como sea necesario, cambiando sólo cuando ocurran algunos de los casos que se presentan a continuación.



2.- Cuando la inyección levanta presión rápidamente alcanzando la presión máxima

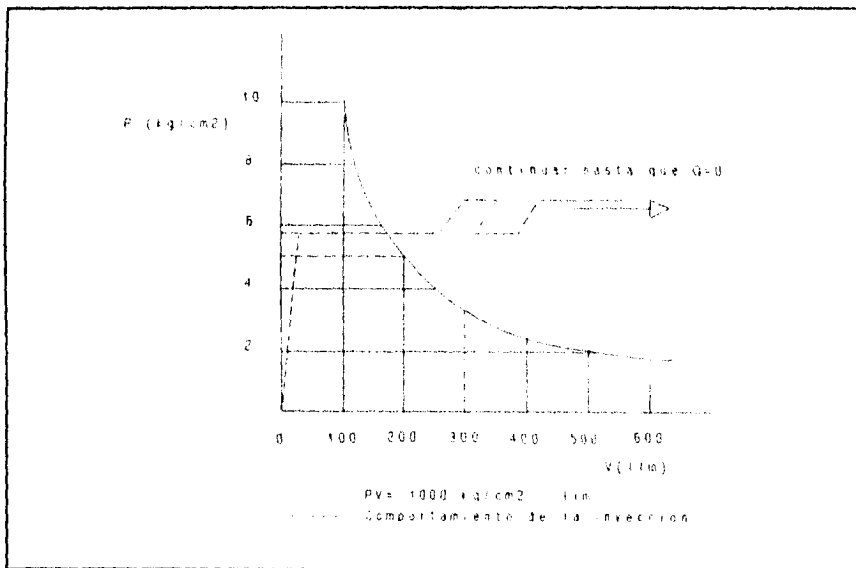
a) Cuando se llega a la presión máxima, ésta se debe mantener constante durante 10 min. y se mide el gasto.

b) Si el gasto medido es menor a 5 l/min/m la inyección se da por terminada.

c) Si el gasto medido es mayor a 5 l/min/m , se da un incremento de presión de 2 kg/cm^2 y se inyecta mezcla durante 10 min., al término del tiempo se disminuye la presión y se mide

el gasto .

d) Con este gasto medido se aplica la regla de los 5 l /min/m , donde , si éste es menor , la inyección se da por terminada ; si es mayor , se repite el punto anterior tantas veces como sea necesario para cumplir la regla de un gasto menor a 5 l /min /m . , sin importar el volumen inyectado.



3.- Cuando la inyección levanta presión y en su trayectoria interseca la curva $PV = 1,000 \text{ kg/cm}^2$

*l/m entre los puntos Q y R se aumenta a 2 kg/cm^2 de presión , la presión de inyección

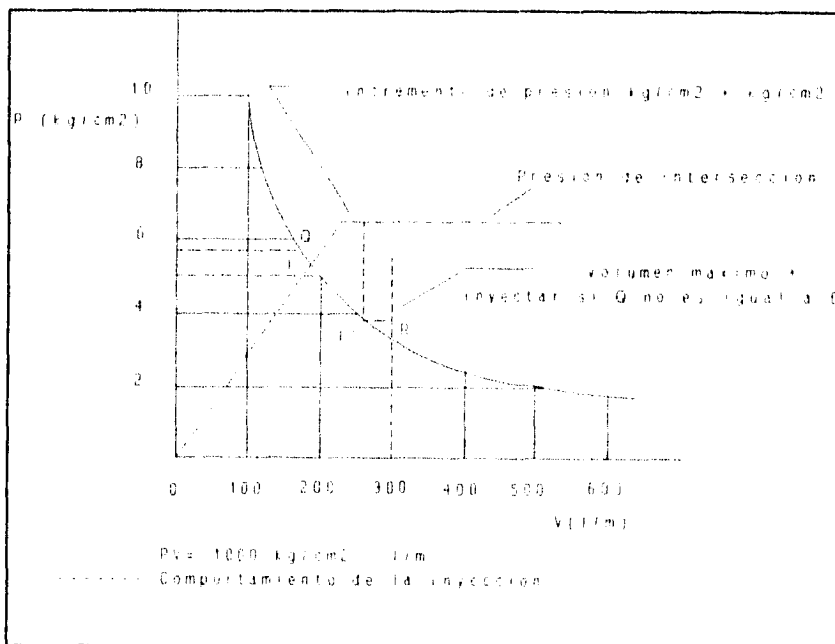
a) Partiendo del punto de intersección I de la trayectoria de la inyección y la curva $PV=1000$, se aumenta 2 kg/cm^2 la presión de inyección .

b) Una vez aumentada la presión , dejar que el terreno tome la mezcla por 10 min. y al término del tiempo medir el gasto.

c) Si el gasto es menor de 5 l/min/m , la inyección se da por terminada

d) Si el gasto es mayor a 5 l/min/m , la presión se disminuirá al valor que tenía al intersecar la curva PV en el punto I

- e) Con este valor de presión , permitir que el terreno tome la mezcla y medir el gasto.
- f) Se aplica la regla de los 5 l/min/m (3.c) , en el caso de que el gasto siga siendo mayor a este valor , se procede de la sig. forma
- g) Se reduce la presión verticalmente en la gráfica hasta intersectar la curva PV, punto \dot{I} .
- h) Con la nueva presión \dot{I} se deja que el terreno tome la mezcla por 10 min y se mide el gasto.
- i) Se vuelve a aplicar la regla del gasto (3 . c) y si el gasto es mayor.
- j) Se da un incremento de 2 kg/cm² de presión y se deja que el terreno tome la mezcla por 10 min. , se mide el gasto y se aplica la regla 3.c
- k) Si el gasto es mayor , se repiten los pasos indicados del punto 3.d al 3.h . Estos pasos se repetirán hasta llegar al volumen máximo de inyección.
- l) Al llegar al volumen máximo de inyección sin haberse cumplido la regla de los 5 l/min/m la inyección será suspendida, se dejará pasar 6 horas y se reiniciará como un tramo nuevo..



4.1.11 Terminado de la inyección de un barreno

Se considerará terminada la inyección de un barreno cuando a la presión de rechazo la absorción del tramo sea prácticamente nula (5 l/min/m)

La presión de rechazo se mantendrá durante 10 min suplementarios y la inyección será considerada como terminada.

4.1.12 Retaque final de barrenos inyectados.

Después de 24 horas de haberse terminado la inyección de un barreno , se sopleteará el tramo por retacar con aire a presión ; posteriormente deberá rellenarse con mortero agua-cemento-arena en la proporción que se indica a continuación.

agua 27 lt

cemento 50 kg

arena 26 kg

4.1.13 Comunicación entre barrenos.

Cuando en el proceso de inyección de un barreno , este se comunica con otros se deberá obturar los barrenos comunicados con él , hasta llegar a la presión final de rechazo especificado para la inyección.

4.2 Especificaciones para la construcción de los pantallas de concreto plástico.

4.2.1 Generalidades

Las pantallas objeto de las siguientes especificaciones tienen como finalidad constituir barreras que retengan las filtraciones que eventualmente ocurran a través del cauce . Por lo anterior, la pantalla debe ser impermeable , continua y estar empotrada en la roca . Será necesario aplicar un tratamiento mediante inyecciones bajo la pantalla , en la roca , para reducir las filtraciones a través de la misma . El esquema general de la pantalla se muestra en los planos.

4.2.2 Alineamiento

Para lograr un alineamiento que garantice la continuidad de las mismas , deberá trabajarse a partir de una plataforma suficientemente nivelada que se ha definido a la elevación 55 aguas arriba y 51 aguas abajo del eje de la cortina . Además se construirán brocales a todo lo largo

de las pantallas , que sirven de guía al equipo de excavación , con las siguientes características

- Los brocales serán de concreto armado
- Se colocarán hasta una profundidad mínima de un metro con la separación mínima adecuada para introducir al equipo de excavación.
- Deberán permanecer sin movimiento entre ellos para lo cual podrá hacerse uso de puntales
- Servirán para referir , mediante marcas adecuadas sobre ellos , la posición de los paneles de la pantalla , barrenos para inyección , etc.

4.2.3 Excavación

Se excavará inicialmente por paneles alternados con el equipo adecuado en cuanto a peso y posibilidades de control , almeja hidráulica guiada con barretón Kelly o hidrotresa , para lograr una pantalla continua lateralmente y que alcance a apoyarse sobre la roca basal ; para ello será necesario contar con un trépano de punta con peso suficiente para romper boleos que no sea posible extraer con el equipo de excavación.

La excavación se mantendrá estable mediante el uso de lodo bentonítico con una viscosidad y densidad adecuada que eviten caídos dentro de la perforación .

Con la finalidad de reducir juntas entre paneles , el colado de pantalla deberá hacerse por tableros que incluyan tres paneles , como se muestra en la figura. Para ello , la excavación se hará primero en el panel número 1 y por último en el 2

Al terminar la excavación de un tablero (tres paneles contiguos) deberá verificarse mediante el tránsito de la herramienta de excavación por el fondo de la misma , que no exista material dejado sin excavar .

La verticalidad de la excavación se verificará con una plomada tanto transversalmente como longitudinalmente en el extremo de los tableros . Para lograr continuidad entre tableros en toda la profundidad de la junta , el traslape mínimo entre tableros primarios y secundarios será de la mitad del espesor de la pantalla en el sentido transversal y de una vez el espesor de la pantalla en el sentido longitudinal .

Además de la verificación que se realice con la plomada , deberá observarse durante la

excavación del tablero secundario en contacto con un tablero primario ya colado, que la herramienta de excavación recorte la porción de pantalla ya colada correspondiente al traslape. En caso de que existan desviaciones se deberá acondicionar herramienta adecuada para rebajar las paredes del tablero o el extremo del tablero, según la terminación sea transversal o longitudinal de tal forma que al colar el tablero secundario se tenga la seguridad de no dejar "ventanas" en la pantalla.

En caso extremo de desviación o duda en la continuidad, se deberá colar un panel adicional para cerrar la ventana y cumplir con los traslapes mínimos.

Para autorizar el colado de los tableros se deberá hacer un reporte de la siguiente información obtenida durante la excavación.

- Coordenadas que permitan ubicar los paneles del tablero
- Profundidad de excavación en cada panel del tablero
- Descripción de materiales extraídos con profundidad
- Eventos ocurridos durante la perforación de los paneles (uso de trépano, ocurrencia de caídos, etc.)
- Rectificación eventual de paredes o extremos de tableros
- Verticalidad y posición de los extremos de los tableros primarios y secundarios.

4.2.4 Colado

a) Preparativos

Previamente a las operaciones propias de colado deberá verificarse que:

- No hayan ocurrido caídos al interior de la perforación por derrumbes de paredes.
- El lodo en el interior de la excavación, a cualquier profundidad, cumpla con las siguientes propiedades:

viscosidad Marsh	= 38 " (mínimo)
densidad	= 1.1 (mínimo)
contenido de arena	= 3 a 5 % (máximo -medido con elutriómetro -metro en volumen)

En caso de no cumplirse con lo anterior , el lodo debe ser extraído de la excavación con el uso de bombas flyight o eyectores para desarenarse ; durante esta operación el nivel de lodo en la excavación debe mantenerse adicionando lodo limpio.

- Antes del colado de un tablero secundario , la cara de liga del tablero primario se raspará con el equipo de excavación para retirar las costras del material adherido .

-El espesor de azolve en el fondo de la excavación sea menor de 10 cm. antes de iniciar el colado .

Inmediatamente antes de introducir los tubos tremie para el colado del tablero se deberán colocar tubos guía que permitan la inyección posterior de la roca basal , fijándolos para que no sean desplazados por el concreto (se sugiere un sistema como el mostrado en la figura no. 20) ; los tubos quedarán uno en el centro de cada panel , y serán de diámetro suficiente para permitir el paso de la herramienta que perforará los barrenos para inyección en roca.

Una vez cumplidos los requisitos anteriores en relación con verticalidad y continuidad en la excavación , limpieza de lodo , azolve y contando con los materiales , equipos y personal necesario , se autorizará el colado mediante orden firmada del residente o de la persona que el designe

4.2.5 Concreto plástico

El contratista fabricará un concreto plástico que a los 28 días de edad alcance una resistencia de 10 kg/cm.²

A reserva de que el contratista proporcione la dosificación y propiedades de la mezcla a utilizar , se propone como tentativa la siguiente:

Arena	975 kg
Grava	375 kg
Cemento	140 kg
Lodo bentonítico	300 /400 lt
(relación agua-bentonita 12/1 en peso)	
Lignosulfato	0.65 kg (retardante opcional)

La mezcla deberá tener una densidad cuando menos 0.6 mayor a la del lodo estabilizador

de la perforación .

Para la fabricación de la mezcla se usará arena y grava de buena calidad aprobada para uso de concretos convencionales en la obra , agua limpia , cemento portland tipo I y bentonita sódica.

La mezcla será preparada en planta y transportada en camiones revoladora para su colocación en la pantalla.

4.2.6 Colocación

La colocación del concreto en la excavación se realizará con ayuda de tubos tremie deberán usarse dos tubos , que descarguen en los extremos del tercio medio del tablero y sean alimentados por tolvas independientes o una común , descargando simultáneamente para llevar en ascenso del concreto dentro de la excavación uniforme y horizontal.

Para iniciar la descarga del concreto se deberá contar en el sitio con tres ollas revoladoras con concreto en agitación (5 m³/olla) , una vez iniciado el proceso éste debe ser continuo

Al inicio de la descarga el tubo tremie se colocará 0.50 m arriba del fondo para reducir al mínimo la contaminación del concreto con lodo bentonítico , además se usará un "diablo" en el interior del tubo para desplazar a la bentonita.

Desde el inicio del colado se deberá contar con un programa de retiro de tubos que considere siempre tener un ahogamiento de 3 m mínimo de los mismos en el concreto.

Durante el colado se registrará el volumen de concreto introducido , la elevación de la superficie del concreto en ascenso (a cada 2 m) , midiendo en tres puntos a lo largo del tablero para llevar una gráfica que permita comparar contra el volumen teórico. Además , se tomarán muestras durante el colado para verificar las características de la mezcla .

El espesor del tablero nunca debe ser menor que el teórico menos 10 cm.

El colado se suspenderá cuando a todo lo largo del tablero aflore concreto con las características especificadas.

Durante todo el proceso de colado , el lodo deberá recuperarse para evitar su derramamiento en el área.

4.2.7 Inyección de la roca basal.

La inyección de la roca basal se realizará después de que el tablero respectivo tenga una

edad de 10 días , procediéndose de la siguiente forma :

- perforar a través de los tubos guía dejados en la pantalla hasta penetrar 5 m en roca con un diámetro de 2 1/4".
- introducir el obturador en la perforación para amarrarlo en la roca para inyectar con una presión de rechazo de 5 kg/cm² , la mezcla definida en las especificaciones generales , o hasta introducir 3 sacos de cemento.
- subir el obturador para amarrarlo en la tubería e inyectar 1 saco de cemento de la misma mezcla a presión de rechazo de 0.5 kg/cm²
- extraer el obturador y llenar el tubo con la misma mezcla inyectada

4.3 Modificaciones

Quizá una de las modificaciones más relevantes que se dieron durante la construcción de las pantallas , fue en relación con la mezcla de la excavación , la cual se utilizó tanto para la excavación , como elemento final de dichos muros , por lo que su dosificación tuvo que ser modificada , para que tuviera las propiedades necesarias para que realizara esta segunda función de la mezcla compuesta principalmente de lodo bentonítico , aditivo y cemento , no se utilizó ningún agregado llámese grava o arena , la arena se le iba agregando a la mezcla en forma accidental durante la excavación no pudiéndose evitar , pero que en realidad resultaba benéfico para la resistencia de mezcla

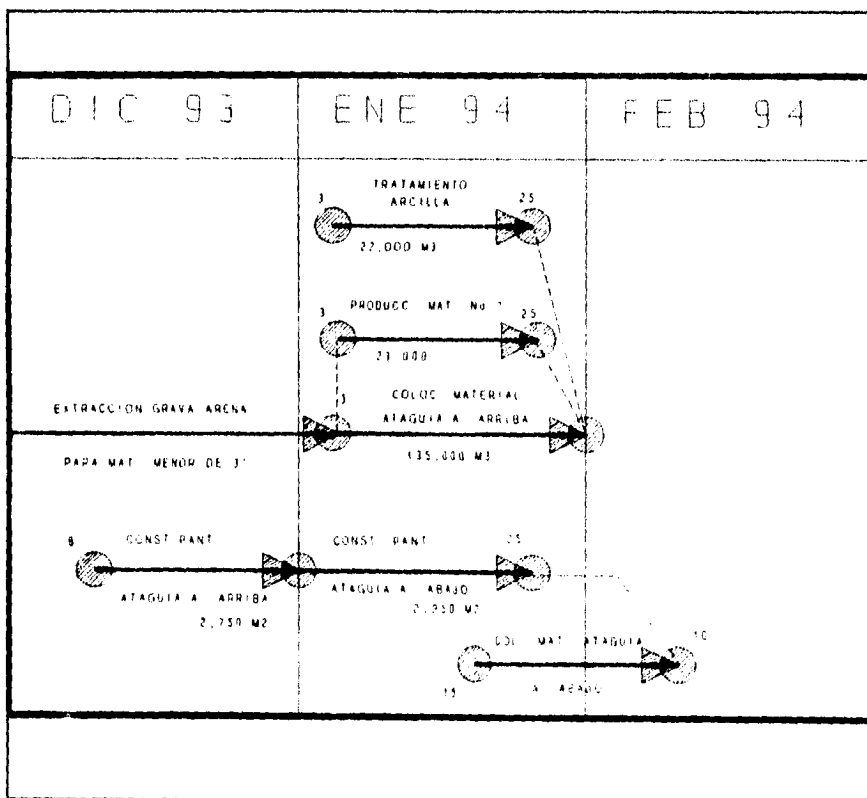
Otra modificación que valdría la pena mencionar fue sobre el brocal guía donde en tramos de la atagüa de aguas arriba no se construyó , debido principalmente a la estabilidad del terreno (arcilla compactada) , que permitía paredes verticales estables y se podía trabajar normalmente sin que se produjeran derrumbes dentro de la zanja.

CAPITULO 5 PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO PARA EL MURO PANTALLA

5.1 Programa de obra

Es la asignación de los tiempos de ejecución a cada una de las actividades que intervienen en un proyecto , así como el cálculo del tiempo total de realización de un plan de conjunto.

En la programación se presenta el plan , mediante la representación gráfica de todas las operaciones que intervienen en el proyecto , coordinándolas , relacionandolas de acuerdo con exigencias , restricciones o condicionamientos tecnológicos , económicos , ambientales , políticos , financieros y de disponibilidad y utilización de recursos en general; mano de obra , materiales , maquinaria , etc . A continuación se presenta parte del programa general , el que le corresponde a la construcción de las ataguías , en donde se incluye la construcción de los muros pantalla.



5.2 Trabajos preliminares

Dentro de los trabajos preliminares , lo que interesa en un principio es la formación de plataformas de trabajo para realizar la excavación de los muros , las mismas ataguías funcionan como plataformas de trabajo .

Las ataguías y el canal de desvío de la margen izquierda forman la llamada obra de desvío , las ataguías además se complementan con las pantallas flexoimpermeables y la cortina de inyecciones subyacente a la pantalla

Se inicia pues la construcción de las ataguías simultáneamente por la margen izquierda ,se desplantan sobre el lecho del río compuesto principalmente de limo y aluvión con gran cantidad de boleos grandes, se coloca material 3B "aluvión " en greña ,extendiéndose con tractor CAT D-6 y D-7 , en capas de 50 cm y con el procedimiento de balconeo del material para evitar la segregación del mismo , se compacta con 6 pasadas con rodillo liso vibratorio (10 ton) , el material proviene de bancos de préstamo del mismo río situados a menos de 1 km de distancia.

La ataguia de aguas arriba (AAA) se desplanta a la elev. 46.00, a la elev. 48.5 se inicia la colocación de arcilla en capas de 30 cm, compactándose con 6 pasadas de rodillo " pata de cabra " , se le agrega agua rociada antes de la colocación de la siguiente capa , pruebas realizadas en campo nos arrojaron valores del grado de compactación de entre el 95- 99%.

A la elev. 50.00 de la AAA se establece la plataforma de trabajo , para la excavación de la pantalla , una vez terminada esta se continuará la construcción de la ataguia hasta alcanzar una elev. 58.50 (corona)

Esta ataguia tiene una inclinación horizontal hacia aguas abajo y en la margen izquierda de 24 grados , en el cad 0+120 se encuentra el eje de deflexión , con la finalidad de encauzar el río hacia el canal de desvío , en el talud de aguas arriba de esta ataguia se colocara un respaldo de enrocamiento para evitar la erosión del agua .

La ataguia de aguas abajo (AAa) ,también se desplanta sobre el lecho del río a la elev 46.00 y corona a la elev 50.00 misma que servirá de plataforma de trabajo , esta ataguia también tiene una inclinación horizontal hacia aguas arriba de 13 grados , con eje de deflexión en el cad 0+218.5 , también para encauzar el río pero ahora a la salida del canal de desvío.

Se construye totalmente de material 3B aluvión ,no lleva núcleo de arcilla y con protección en el talud de aguas abajo con rezaga y enrocamiento.

También como parte de los trabajos preliminares se consideró la instalación de la planta; donde se preparará la mezcla que se utiliza en la excavación y como elemento final de la pantalla, la planta se instalará en la ladera derecha, en una parte elevada fuera del área de trabajo para no interferir con las demás actividades del proyecto y entre ambas ataguías para facilitar las operaciones de comunicación y el posterior envío de la mezcla, según se vaya requiriendo en el tramo que se este excavando ya sea en la AAA y/o AAa.

5.3 Brocal guía

Tiene como finalidad estabilizar la parte superior de la zanja y servir como guía al equipo de excavación.

La construcción de la zanja guía corresponde a la primera etapa de la excavación, su profundidad depende ante todo del método empleado en la excavación posterior y también de la capacidad del equipo disponible para la excavación de la zanja, se consideró suficiente con 1.5 m de profundidad y se excavó con una retroexcavadora CASE "niano de chango", el ancho de la zanja depende de cierta forma del tipo de material en donde se excave, por la estabilidad de las paredes, por ejemplo en arcilla se obtienen anchos de 0.8 m y en aluvión compactado de 1.5 m.

La zanja guía esta contenida por muros en "L" invertida, construida con concreto de $f'c=150$ kg/cm², se le agrega boleos en los casos donde esta muy ancha la zanja para ahorrar concreto, lleva además un armado en el sentido horizontal y vertical utilizando acero de 3/8", cimbrándose únicamente en la parte interior y la pared de la zanja utilizándose como respaldo, se pone especial atención en el apuntalamiento de la cimbra para que no se alabee el muro al momento del vibrado del concreto, manteniéndose apuntalado aun después del descimbrado tanto en la cabeza como en el pie y a cada 3 m por lo menos.

Se inicia su construcción en la AAA a partir del cad 0+191.1 y hacia la ladera derecha llegando hasta el cad 0+297, a partir de ahí y hasta tocar la ladera derecha se excavó la zanja sin brocal guía en el núcleo de arcilla para ahorrar tiempo, como se vio que se obtenían buenos resultados y que las paredes se mantenían estables aun en el momento de la excavación de la pantalla y el tránsito de la maquinaria, se optó por continuar así, a partir del cad 0+191.1 hasta tocar la ladera izquierda.

Como se pudo observar cuando la plataforma de trabajo esta sobre arcilla bien compactada no es necesario el uso de brocal guía.

Para el caso de la AAA se construyó el brocal guía para toda la pantalla ; debido principalmente al tipo de material con el que se había construido, el aluvión, que aunque compactado, sus paredes no eran estables y se derrumbaban continuamente provocando que la zanja fuera más ancha de lo especificado ,se construye en forma de L invertida de concreto y armado de acero.

5.4 Equipo de excavación

La excavación de la zanja se realiza con un equipo guiado llamado barreton kelly , dotado de una almeja prensora hidráulica de 0.6 por 2.2 m (ancho por largo) y montado ya sea en una grúa Link Belt LS 318 o LS 180 , siendo accionado el equipo por una central hidráulica.

Además de contar con las dos grúas antes mencionadas se tiene una tercera Link Belt LS-180 a la cual se le adiciona un trepano cincel cruciforme de 4 ton, de 3 m de altura y que se utiliza para romper los estratos duros y perfilar la roca basal.

Para evacuar el material producto de la excavación se requiere de la utilización de camiones de volteo de 10 m3 de capacidad como mínimo.

El barreton, el cuerpo de la almeja y la almeja todos juntos pueden alcanzar profundidades de hasta 42 m , la almeja tiene una capacidad aproximada de 1 m3 , y excavando en material duro como el aluvión con boleos de 5" hasta de 25" de diámetro con algunos lentes de limo puede alcanzar rendimientos de 3.5- 4 ml/hr.

Se cuenta además con dos almejas de repuesto, para cambiarlas una vez que se le desgasten los dientes o los cordones de soldadura que se le colocan para que las cucharas de la almeja no sufran mucho desgaste, por lo que un soldador se encarga de renovar los dientes y los cordones de soldadura de las cucharas de las almejas desgastadas.

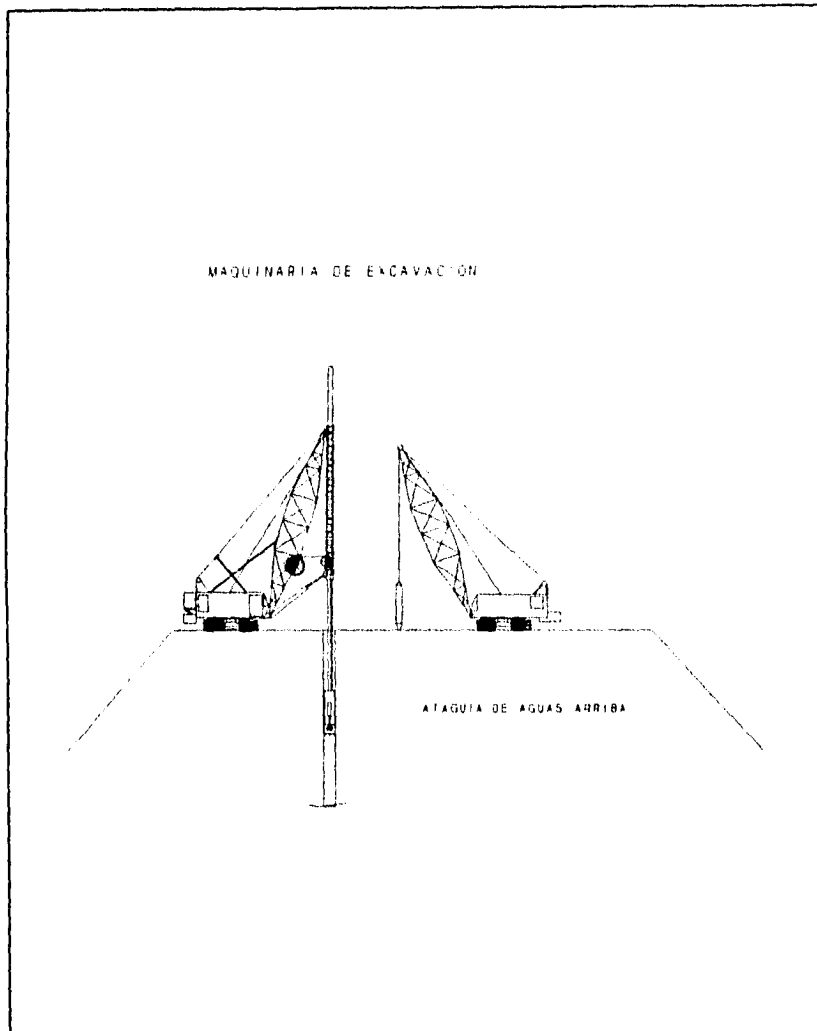
Las almejas están equipadas con dientes , los cuales facilitan la penetración en el terreno , así como su disgregación , los dientes se solapan cuando se cierra la almeja ,para que el material grueso de la excavación no caiga de nuevo a la zanja,pero si permitiendo que la lechada retorne a la zanja , además las almejas tienen seis orificios para que la lechada retorne a la zanja y no se desperdicie mucha.

El barretón Kelly además de incrementar el peso de la almeja, lo que nos ayuda a penetrar más rápidamente en el terreno, consigue guiar la cuchara en un plano vertical e impedir su rotación.

Los Kellys permiten al perforador percibir más fácilmente cualquier desviación pequeña que pueda corregirse, otra ventaja es su maniobrabilidad, ya que una vez salida la almeja de la zanja guía, no oscila como las simplemente suspendidas por cables, y por lo tanto permite aumentar el número de bajadas de la almeja por hora.

La almeja funciona con un mando hidráulico, lo que le permite cerrarse y abrirse muy rápido, la experiencia ha demostrado que un pistón resiste mejor el trabajo bajo los lodos que un sistema mecánico, la alimentación de los pistones se hace por conductos flexibles sujetos al barretón, los conductos bajan y suben siguiendo el movimiento de la almeja, con la ayuda de unos carretes que tienen unos "tambores" especiales cuya función es el de enrollar y desenrollar los conductos flexibles.

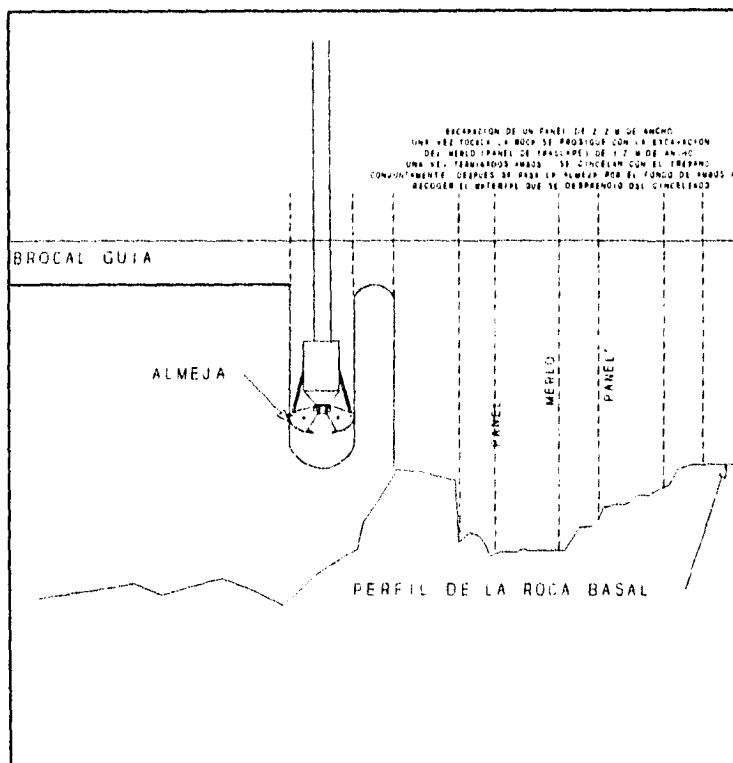
La planeación de las operaciones de las maquinarias en el momento de entrar en funcionamiento es fundamental, ya que de ello depende en buena medida la rapidez de los trabajos; como las plataformas de trabajo son estrechas no permiten maniobrar con facilidad a la maquinaria pesada, por lo mismo la excavación empezará de derecha a izquierda para ir dejando tránsito libre para la evacuación del material de excavación por medio de camiones de volteo (2 mínimo), la grúa con almeja se coloca aguas abajo con respecto a la pantalla, baja la almeja excava, sube la almeja hasta la superficie gira sobre su propio eje y descarga sobre el camión volteo sin tener que desplazarse en ningún momento, únicamente cuando tiene que iniciar un nuevo panel, la grúa con el trepano se coloca aguas arriba de la pantalla, esta ubicación del equipo es solamente para el caso de la AAA, porque para la AAa debido a que el ancho de la corona no permite colocar la grúa con trepano aguas arriba de la pantalla (5 m), por lo que esta se tiene que desplazar cerca del panel donde se este excavando cada vez que haya que cincelar provocando con esto pérdida de tiempo.



5.5 Excavación

Se sigue el sistema de excavación de paneles y merlos (o panel de candado), es decir primero se excava el panel no. 1 y luego se pasa al panel no. 3, y al mismo tiempo que se extrae el material éste es sustituido por la mezcla autofraguante, una vez que esta terminado el panel no. 1 y no. 3, se regresa a excavar el merlo no. 2, los paneles tienen un ancho de 2.2 m, que es el ancho de la almeja, en cambio los merlos aunque se esta utilizando la misma almeja

solamente excavan supuestamente un ancho de 1.2 , dejando 0.5 m en cada extremo para traslape con los paneles circundantes para evitar que queden partes sin excavar y asegurar la continuidad de la pantalla.



5.5.1 Uso del trepano

Cuando el material a excavar presenta una dureza excesiva o hay presencia de boleos y bloques cuya resistencia y/o dimensiones son mayores que la capacidad del equipo de excavacion , es necesario romper el terreno o los boleos y bloques usando el cincel-trepano .

El trepano también se usará para dar un perfilamiento de la roca basal subyacente a la pantalla.

El cincelado se realizará de la siguiente manera ; se coloca la grúa en el eje del panel

(o merlo) , baja el trepano hasta el fondo , se marca sobre el cable una elevación a la cual se levantará el trepano esta será de 3 a 4 m. , se inicia el cincelado dejando caer el trepano en caída libre , un cierto tiempo que depende de la dureza del estrato o de la roca , el trepano se desplaza a la izquierda y derecha del panel hasta cubrir todo el fondo de este , inclusive se pueden cincelar varios paneles y merlos cercanos.

Debido a las dimensiones de la pantalla solicitada , 60 cm de espesor , el peso del trepano a usar es de 4 ton.

Durante la excavación y procurando que la mezcla no inicie el fraguado , así como también evitando estar demasiado cerca del lugar de excavación debido al movimiento de la mezcla que induciría a la desviación de la tubería , se introducen estas que son de PVC de 3" de diámetro a cada 3 m de distancia , atravesando totalmente la pantalla hasta tocar la roca , procurando mantenerlas verticales , se sujetan en la parte superior mientras la mezcla alcanza cierta resistencia para que la pueda soportar , estas tuberías servirán para facilitar la perforación de barrenos para inyección de impermeabilización que se realizará unos 10 días después de la excavación.

5.6 Programa de avance real

Atagua aguas arriba

SEMANA	1	2	3	4	5	6	7
FECHA	8-11 dic 93	12-18 dic 93	19-25 dic 93	26-dic-93 1-ene-94		9-15 ene 94	16-20 ene 94
AVANCE (m ²)	314.4	930.84	352.31	218.48		550.06	312.68
AVANCE (%)	11.74	34.74	13.15	8.16		20.54	11.67
AVANCE (m ²) PROGRAMA	680	695	695	680			

Atagua aguas abajo

SEMANA	1	2	3	4	5	6	7
FECHA	5-8 ene 94	9-15 ene 94	16-22 ene 94	23-29 ene 94	30-ene 5-feb-94	6-12 feb 94	13-18 feb 94
AVANCE (m ³)	469.16	368.63	455.83	438.18	242.83	179.70	614.83
AVANCE (%)	16.94	13.31	16.46	15.82	8.77	6.50	22.20
AVANCE PROGRAMA	736	738	738	736			

5.7 Mezcla autofraguante

Se preparará lodo bentonítico en un digestor de alta turbulencia y se deposita en carcamos , un mínimo de doce horas para lograr su hidratación , manteniéndose en agitación permanente por medio de bombas sumergibles o para lodos.

Una vez que se ha logrado su hidratación , se procede a agregar cemento para obtener la mezcla autofraguante.

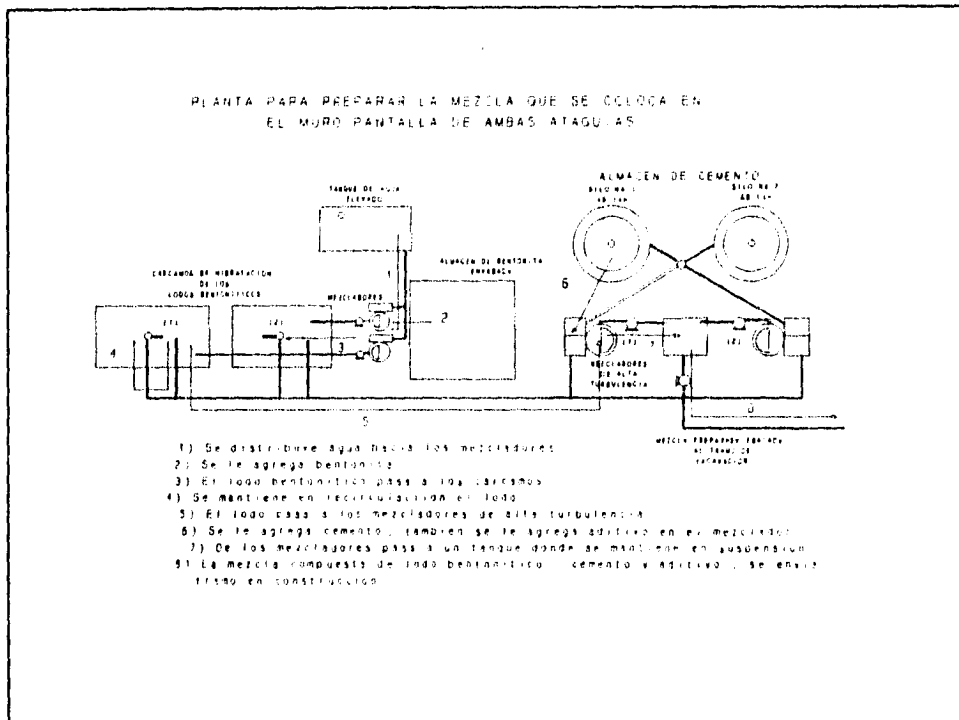
La bentonita hidratada que se encuentra en los carcamos , es bombeada al digestor de altas revoluciones donde se le agrega el cemento y también el aditivo , para posteriormente ser bombeada hasta un deposito con agitador horizontal para mantenerla en suspensión. En este agitador es almacenada y bombeada según los requerimientos del avance de la excavación.

El proporcionamiento de la mezcla es el siguiente (por bacha)

- cemento portland puzolana tipo I 200 kg
- bentonita performax 35 kg
- agua 923 lt
- lignosulfato de sodio 0.5 lt

Esta mezcla nos da una resistencia final de entre 4 y 6 kg/cm² y una permeabilidad del orden de 10⁻⁸ m /seg .

a) planta donde se preparara la mezcla



5.8 Control de la calidad de la mezcla

En la fabricación : es a través de una inspección cada cierto tiempo , para verificar la proporción de las mezclas , revisar los aforadores de los recipientes , para el caso del agua y del lodo bentonítico, revisar que el lodo que se utilice para la mezcla tenga las 12 hrs de hidratación ,se van sacando muestras en la planta para verificar su fluidez , densidad , etc.

En el campo : se van obteniendo muestras cada cierto tiempo y a distintas profundidades , para revisar los mismos parámetros anteriores , los cuales son fluidez , densidad , el contenido de arena ; además de sacar muestras en 3 probetas para su posterior ensaye para obtener la resistencia a la compresión simple.

En el diseño de la mezcla se obtiene la proporción apropiada de acuerdo al objetivo del trabajo , y la manera de corroborar la buena preparación de la mezcla , se deben medir algunas propiedades físicas como son : la fluidez , la densidad y la resistencia a la compresión simple.

Al cabo de un cierto tiempo el lodo se carga de partículas de arena procedentes del terreno si la mezcla tiene un porcentaje mayor de 5% , la mezcla debe ser sustituida por una nueva o mezclarla con la ya existente para bajar un poco el contenido de arena.

Los parámetros medidos corresponden a propiedades físicas de la mezcla como son:

5.8.1 Fluidez

Es una medida de la viscosidad , que para efectos prácticos se realiza en conos y tolvas , y la unidad de medición es el segundo , para las lechadas se utiliza el cono Marsh.

Procedimiento para su obtención:

- 1) Se toma la muestra recién preparada y se llena el cono hasta donde lo indique la marca manteniéndose tapado el orificio en la parte inferior.
- 2) Se procede a dejar fluir la mezcla que se verterá en un recipiente graduado de 1 lt , de capacidad; al tiempo de dejar fluir, se inicia el conteo del tiempo mediante cronómetro con precisión de décimas de segundo , y se terminará esto cuando la mezcla en el recipiente alcance un volumen de 946 ml.
- 3) El resultado del tiempo transcurrido para alcanzar los 946 ml es el valor de la fluidez o viscosidad de la mezcla .

Para este caso se busca una fluidez de 38 seg mínimo.

5.8.2 Densidad

Es la relación de peso de una muestra entre un volumen similar de agua a 4° C , y se mide en gr/cm^3 .

Para realizar esta medición se utiliza la balanza de lodos.

Procedimiento para su obtención

- 1) Se coloca en una superficie nivelada
- 2) Se recolecta una muestra con el recipiente de la balanza , se golpea levemente el recipiente en varias ocasiones para liberar la mezcla del aire entrampado , luego se coloca la tapa en la copa y se presiona hacia abajo con un movimiento giratorio lento, hasta que este firmemente asentada , se asegura que algo de la mezcla sea forzada a salir por el agujero de la tapa.

- 3) Se limpia la mezcla de la superficie de la copa , y de la tapa se elimina cualquier exceso.
 - 4) Se coloca la cuña en la base de la balanza y se mueve el cursor a lo largo del brazo hasta que quede nivelada . La balanza esta horizontal cuando el nivel de burbuja fluctúa en una distancia igual a uno y otro lado del centro de línea.
 - 5) Se toma la lectura del lado del cursor más cercana a la copa
- Las mediciones leídas deberán reportarse con una aproximación de 0.01 gr/cm^3
- Nuestra mezcla debe tener una densidad de 1.1 gr/cm^3

5.8.3 Resistencia a la compresión simple (RCS)

Se toman las muestras en campo , después de tomar los parámetros anteriores , se toman 4 probetas y se llevan al laboratorio para su posterior ensaye .

Secuencia de actividades:

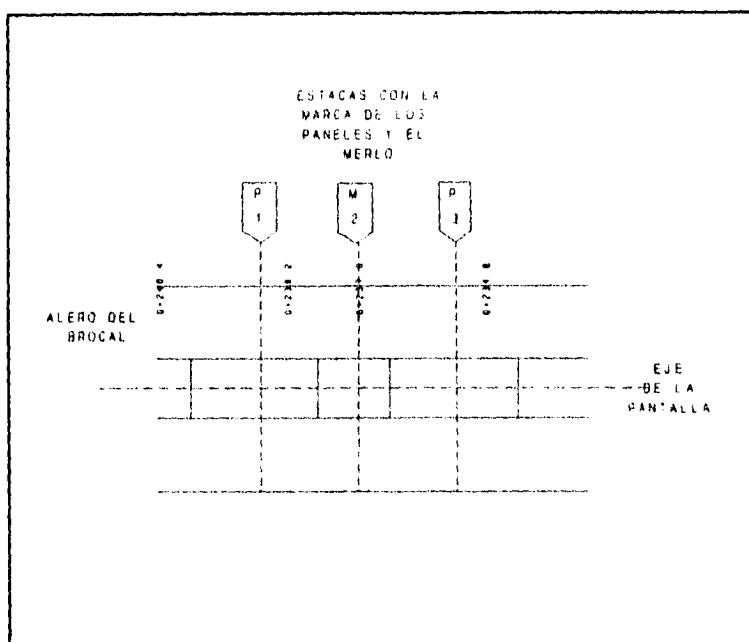
- 1) Habiendo tomado las mediciones de fluidez, densidad y contenido de arena , se procede a tomar muestras en probetas cilindricas de tubo de PVC de longitud dos veces el diámetro (1") y normalmente se muestrean en ternas de probetas.
- 2) Posteriormente al muestreo , a las 24 hrs se procede a sacar las muestras de los moldes y se introducen en agua a las piletas de curado , marcándolas previamente a modo de identificar procedencia y fecha de ensaye.
- 3) Para ensayar las probetas se debe asegurar que la superficie superior e inferior estén niveladas , para esto se cabecean las muestras con azufre y se mide el área que recibirá la carga.
- 4) Se procede a probar las muestras en una prensa , aplicandole carga lentamente hasta que falle la muestra y se observe una caída en la carga de la prensa anotando el valor obtenido.
- 5) Por último se obtiene el coeficiente de la carga aplicada (kg) entre el área de aplicación (cm^2) , cuyo resultado es el valor de la RCS en (kg/cm^2).

5.9 Control de la obra

5.9.1 Control de la excavación

Para controlar la ubicación de los paneles y merlos , se utiliza la brigada de topografía , la cual va ubicando los ejes de los paneles ,dejando estacas clavadas o marcando con pintura sobre el alero del brocal el numero del panel correspondiente , las estacas se colocan del lado

de aguas arriba con respecto a la pantalla para que no interfieran con las labores de excavación y para que no se pierdan , además se lleva la documentación donde se anota el numero de panel o merlo así como sus respectivos cadenamientos tanto de inicio como final , en las dos ataguías la numeración se inicia en la margen derecha , y a los paneles se les da un numero impar y a los merlos uno par.



5.9.2 El nivel de la mezcla de excavación : La lechada , se debe mantener en un nivel constante cercano al de la superficie , por lo que debe haber vigilancia permanente para ordenar a las personas encargadas de la planta que bombeen o suspendan el bombeo de la mezcla según se vaya abatiendo o se este derramando del brocal.

El nivel de la mezcla se abate , debido a las operaciones normales de excavación o en algunos casos por pérdidas de lechada al estar atravesando un estrato permeable

Una vez que la mezcla haya empezado a fraguar, es necesario de los factores atmosféricos tales como cambios de temperatura , viento , humedad , etc. , los cuales pueden llegar a producir

fuertes agrietamientos que pueden poner en peligro la calidad de la mezcla y bajarle la resistencia y reducir la impermeabilidad de la misma. Por eso se coloca sobre la mezcla fraguada una capa de arena de 20 cm de espesor a todo lo largo y ancho de la superficie superior de la pantalla , la arena debe mantenerse húmeda durante 8 días.

En caso de que se llegará a agrietar será necesario retirarla hasta una profundidad igual a la profundidad de las grietas y sustituirla por mezcla nueva.

5.9.3 Control de la verticalidad : la verticalidad estará controlada por las siguientes operaciones.

- 1) nivelación continua del barretón kelly , con nivel de mano y una plomada
- 2) al terminar la perforación se podrá ejecutar un control del mismo barretón kelly

5.9.4 En caso de principio de desviación , se podrá corregir de la siguiente manera:

- 1) Directamente con el equipo de excavación
- 2) Con el uso del trepano

5.9.5 La profundidad de excavación y afine de la roca , se verifica la profundidad de los paneles y merlos con una sonda marcada a cada metro y una barra de acero para que pueda bajar hasta el fondo , se mantiene suspendida tocando apenas la roca del fondo y se da la lectura de la profundidad , se anota en un formato de control de profundidades por cada panel y merlo para posteriormente hacer la representación gráfica .

Cuando nos encontramos con un estrato duro y a la almeja se le dificulta la excavación entonces cincelamos con el trepano , después obtenemos muestras del estrato y el laboratorio de geología revisa la muestra , para decidir si se trata efectivamente de la roca basal o simplemente de un estrato duro el cual hay que atravesarlo , si se trata de la roca basal únicamente resta medir la profundidad , si no es así se intenta nuevamente la excavación con la almeja , la operación del cincelado y revisión de los estratos se realiza tantas veces como sea necesaria hasta encontrar el macizo rocoso.

5.9.6 El control de la continuidad de la pantalla constituye la operación más importante para la eficacia de la pantalla , este control es mucho más importante que los eventuales problemas de desviación que pudieran ocurrir.

Se trata sobre todo de asegurar la continuidad entre panel-merlo-panel y sobre toda la altura de la pantalla.

En cada panel o merlo se controlará la continuidad desplazando el equipo de excavación de tal manera que cubra con la almeja toda la superficie del panel hasta la profundidad alcanzada , y desplazando horizontalmente del panel al merlo o del merlo al panel según hayamos excavado un panel o un merlo.

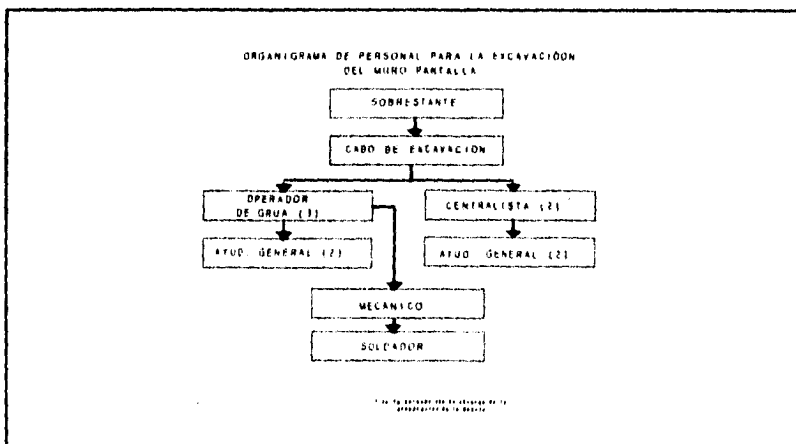
5.10 Muro pantalla de la Atagua de aguas arriba

Esta pantalla inicia en el cad 0+140.40 y termina en el cad 0+357.70 , la construcción se inicio del lado derecho por lo que la numeración se inicia de ese lado y en forma ascendente, este muro pantalla consta de 127 secciones entre paneles y merlos , alcanzando profundidades hasta de 41.6 m , en su parte más profunda y su ubicación es 0+226.0, el área total es de 2695.41 m² y se construyo en un periodo de 30 días .

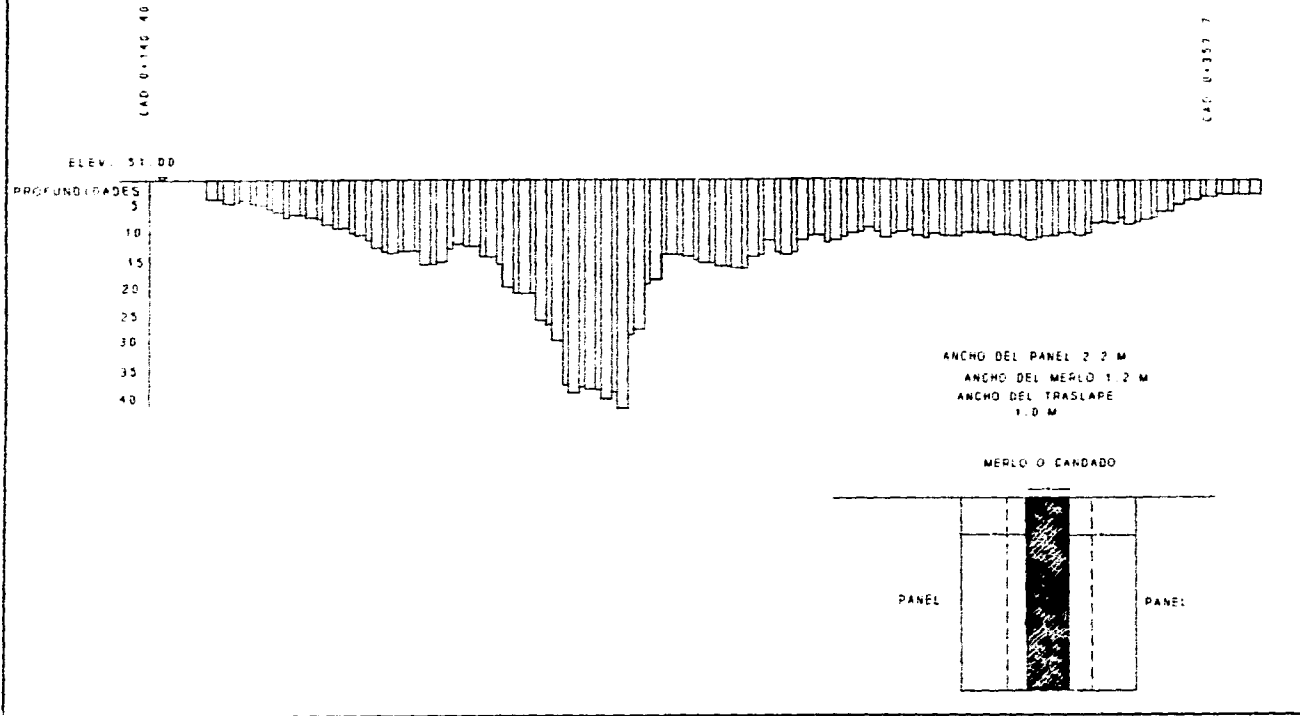
5.11 Muro pantalla de la Atagua de aguas abajo.

Esta pantalla se inicia en el cad 0+140.20 y termina en el cad 0+347.60 , la construcción se inicia también del lado derecho por lo que la numeración se inicia de ese lado , esta formado por 122 secciones entre paneles y merlos ,se alcanzo una profundidad de 34.5 m en la parte más profunda y su ubicación es 0+206.0 , el área total es de 2769.2 m² y se construyo durante 40 días

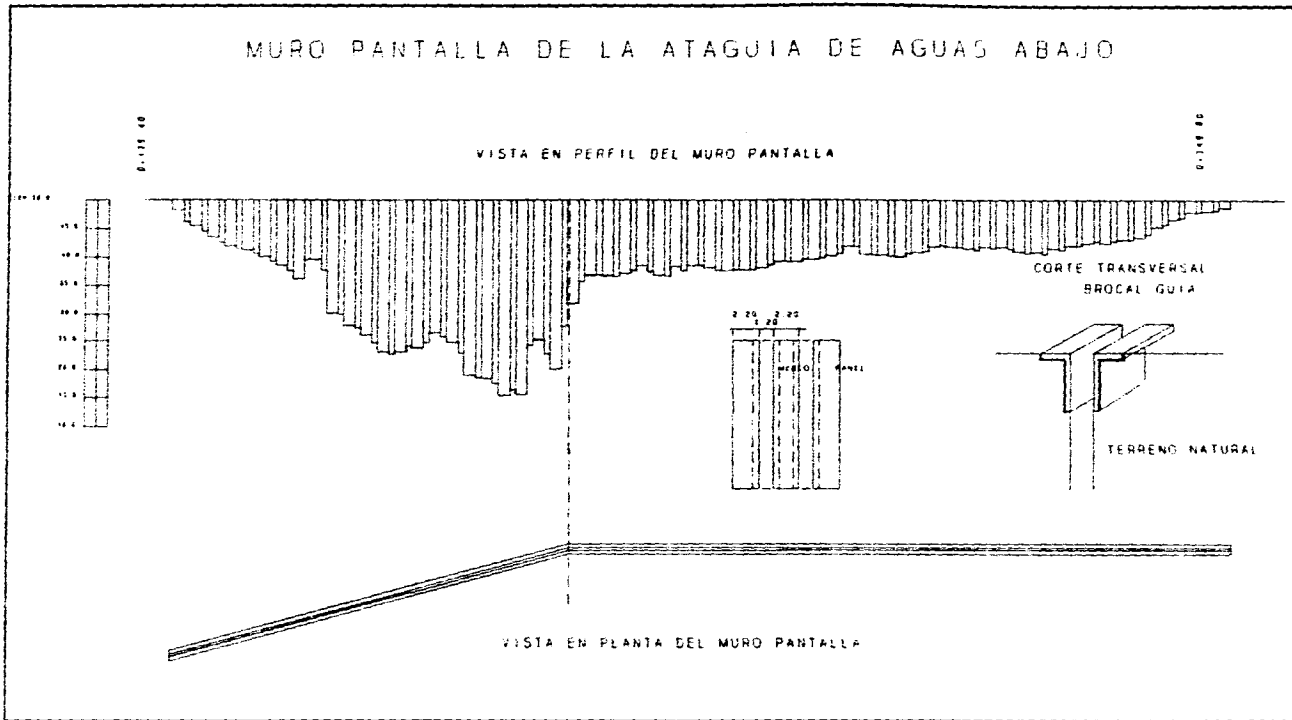
5.12 Personal que trabajo en la construcción de la pantalla



MURO PANTALLA DE LA ATAGUIA AGUAS ARRIBA



MURO PANTALLA DE LA ATAGUIA DE AGUAS ABAJO



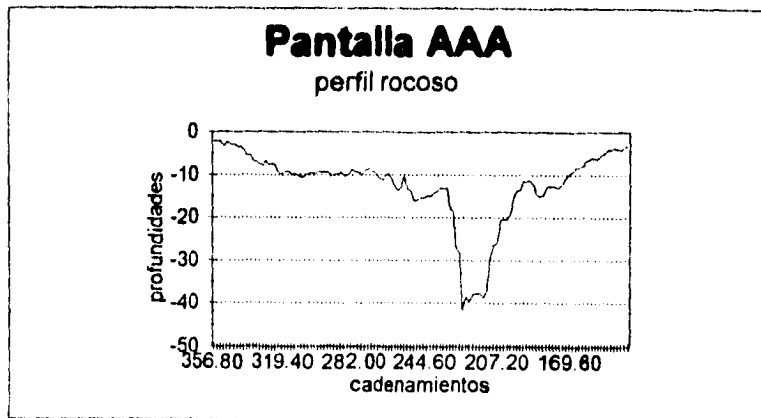
MURO PANTALLA DE LA ATAGUIA DE AGUAS ARRIBA

PANEL	CADENAMIENTO		PROFUNDIDAD	AREA	A.ACUM.
O MERLO	DE	A	M	M2	M2
0.00	356.80	357.70	(2.10)	(4.62)	4.62
1.00	354.60	356.80	(2.10)	(4.62)	(0.00)
2.00	353.40	354.60	(2.30)	(2.76)	(2.76)
3.00	351.20	353.40	(3.30)	(7.26)	(10.02)
4.00	350.00	351.20	(2.30)	(2.76)	(12.78)
5.00	347.80	350.00	(2.90)	(6.38)	(19.16)
6.00	346.60	347.80	(2.90)	(3.48)	(22.64)
7.00	344.40	346.60	(3.40)	(7.48)	(30.12)
8.00	343.20	344.40	(3.60)	(4.32)	(34.44)
9.00	341.00	343.20	(4.25)	(9.35)	(43.79)
10.00	339.80	341.00	(5.50)	(6.60)	(50.39)
11.00	337.60	339.80	(5.50)	(12.10)	(62.49)
12.00	336.40	337.60	(6.80)	(8.16)	(70.65)
13.00	334.20	336.40	(6.90)	(15.18)	(85.83)
14.00	333.00	334.20	(7.50)	(9.00)	(94.83)
15.00	330.80	333.00	(7.90)	(17.38)	(112.21)
16.00	329.60	330.80	(6.75)	(8.10)	(120.31)
17.00	327.40	329.60	(7.70)	(16.94)	(137.25)
18.00	326.20	327.40	(7.50)	(9.00)	(146.25)
19.00	324.00	326.20	(7.70)	(16.94)	(163.19)
20.00	322.80	324.00	(9.40)	(11.28)	(174.47)
21.00	320.60	322.80	(9.90)	(21.78)	(196.25)
22.00	319.40	320.60	(9.40)	(11.28)	(207.53)
23.00	317.20	319.40	(9.30)	(20.46)	(227.99)
24.00	316.00	317.20	(9.95)	(11.94)	(239.93)
25.00	313.80	316.00	(9.95)	(21.89)	(261.82)
26.00	312.60	313.80	(10.20)	(12.24)	(274.06)
27.00	310.40	312.60	(10.80)	(23.76)	(297.82)
28.00	309.20	310.40	(10.30)	(12.36)	(310.18)
29.00	307.00	309.20	(9.80)	(21.56)	(331.74)
30.00	305.80	307.00	(9.65)	(11.56)	(343.32)
31.00	303.60	305.80	(9.80)	(21.56)	(364.88)
32.00	302.40	303.60	(9.35)	(11.22)	(376.10)
33.00	300.20	302.40	(9.30)	(20.46)	(396.56)
34.00	299.00	300.20	(9.40)	(11.28)	(407.84)
35.00	296.80	299.00	(9.40)	(20.68)	(428.52)
36.00	295.60	296.80	(10.00)	(12.00)	(440.52)
37.00	293.40	295.60	(10.00)	(22.00)	(462.52)
38.00	292.20	293.40	(9.80)	(11.76)	(474.28)
39.00	290.00	292.20	(9.60)	(21.12)	(495.40)
40.00	288.80	290.00	(10.30)	(12.36)	(507.76)
41.00	286.60	288.80	(10.00)	(22.00)	(529.76)
42.00	285.40	286.60	(8.80)	(10.56)	(540.32)
43.00	283.20	285.40	(9.30)	(20.46)	(560.78)
44.00	282.00	283.20	(9.50)	(11.40)	(572.18)
45.00	279.80	282.00	(10.30)	(22.68)	(594.86)
46.00	278.60	279.80	(9.10)	(10.92)	(605.76)
47.00	276.40	278.60	(8.60)	(18.92)	(624.68)
48.00	275.20	276.40	(9.20)	(11.04)	(635.72)
49.00	273.00	275.20	(9.50)	(20.90)	(656.62)
50.00	271.80	273.00	(10.20)	(12.24)	(668.86)
51.00	269.60	271.80	(10.90)	(23.98)	(692.84)

52.00	268.40	269.60	(11.20)	(13.44)	(706.28)
53.00	266.20	268.40	(10.00)	(22.00)	(728.28)
54.00	265.00	268.20	(9.90)	(11.88)	(740.18)
55.00	262.80	265.00	(10.85)	(23.87)	(764.03)
56.00	260.60	262.80	(13.00)	(15.60)	(779.63)
57.00	259.40	260.60	(13.60)	(29.92)	(809.68)
58.00	258.20	259.40	(13.00)	(15.60)	(828.18)
59.00	256.00	258.20	(10.50)	(23.10)	(848.28)
60.00	254.80	256.00	(13.40)	(16.08)	(864.33)
61.00	252.60	254.80	(13.90)	(30.58)	(894.91)
62.00	251.40	252.60	(16.00)	(19.20)	(914.11)
63.00	249.20	251.40	(15.90)	(34.98)	(949.09)
64.00	248.00	249.20	(15.60)	(18.72)	(967.81)
65.00	245.80	248.00	(15.50)	(34.10)	(1,001.91)
66.00	244.60	245.80	(15.00)	(18.00)	(1,019.91)
67.00	242.40	244.60	(15.00)	(33.00)	(1,052.91)
68.00	241.20	242.40	(14.30)	(17.16)	(1,070.07)
69.00	239.00	241.20	(13.80)	(30.36)	(1,109.43)
70.00	237.80	239.00	(13.20)	(15.84)	(1,116.27)
71.00	235.60	237.80	(13.30)	(29.28)	(1,146.53)
72.00	234.40	235.60	(13.30)	(15.96)	(1,181.49)
73.00	232.20	234.40	(18.00)	(39.60)	(1,201.09)
74.00	231.00	232.20	(18.70)	(22.44)	(1,223.53)
75.00	228.80	231.00	(27.20)	(59.84)	(1,283.37)
76.00	227.60	228.80	(28.20)	(33.84)	(1,317.21)
77.00	225.40	227.60	(41.60)	(81.52)	(1,408.73)
78.00	224.20	225.40	(38.85)	(46.38)	(1,488.11)
79.00	222.00	224.20	(39.75)	(87.45)	(1,542.56)
80.00	220.80	222.00	(37.85)	(45.42)	(1,587.98)
81.00	218.60	220.80	(37.80)	(83.16)	(1,671.14)
82.00	217.40	218.60	(37.60)	(45.12)	(1,716.26)
83.00	215.20	217.40	(38.70)	(85.14)	(1,801.40)
84.00	214.00	215.20	(37.10)	(44.52)	(1,848.92)
85.00	211.80	214.00	(29.30)	(64.46)	(1,910.38)
86.00	210.60	211.80	(26.50)	(31.80)	(1,942.18)
87.00	208.40	210.60	(25.85)	(56.87)	(1,999.06)
88.00	207.20	208.40	(20.50)	(24.60)	(2,023.66)
89.00	205.00	207.20	(20.50)	(45.10)	(2,068.76)
90.00	203.80	205.00	(20.40)	(24.48)	(2,093.23)
91.00	201.60	203.80	(19.20)	(42.24)	(2,135.47)
92.00	200.40	201.60	(15.00)	(18.00)	(2,183.47)
93.00	198.20	200.40	(13.60)	(29.92)	(2,183.39)
94.00	197.00	198.20	(13.80)	(16.32)	(2,199.71)
95.00	194.80	197.00	(11.70)	(25.74)	(2,225.46)
96.00	193.60	194.80	(11.70)	(14.04)	(2,239.49)
97.00	191.40	193.60	(11.25)	(24.75)	(2,264.24)
98.00	190.20	191.40	(12.10)	(14.52)	(2,278.76)
99.00	188.00	190.20	(14.50)	(31.90)	(2,310.66)
100.00	186.80	188.00	(15.00)	(18.00)	(2,328.66)
101.00	184.60	186.80	(14.90)	(32.78)	(2,361.44)
102.00	183.40	184.60	(12.70)	(15.24)	(2,376.68)
103.00	181.20	183.40	(12.70)	(27.94)	(2,404.62)
104.00	180.00	181.20	(12.60)	(15.12)	(2,419.74)
105.00	177.80	180.00	(13.00)	(28.80)	(2,448.34)
106.00	176.60	177.80	(12.80)	(15.36)	(2,463.70)
107.00	174.40	176.60	(12.00)	(26.40)	(2,490.10)

108.00	173.20	174.40	(10.85)	(12.78)	(2,802.88)
109.00	171.00	173.20	(9.80)	(21.56)	(2,824.44)
110.00	169.80	171.00	(9.20)	(11.04)	(2,838.48)
111.00	167.80	169.80	(8.30)	(18.28)	(2,853.74)
112.00	166.40	167.80	(8.30)	(9.98)	(2,863.70)
113.00	164.20	166.40	(7.90)	(17.38)	(2,881.08)
114.00	163.00	164.20	(6.80)	(8.18)	(2,889.24)
115.00	160.80	163.00	(6.55)	(14.41)	(2,903.66)
116.00	159.80	160.80	(5.90)	(7.08)	(2,919.73)
117.00	157.40	159.80	(6.00)	(13.20)	(2,923.93)
118.00	156.20	157.40	(6.30)	(7.58)	(2,931.49)
119.00	154.00	156.20	(5.40)	(11.88)	(2,943.37)
120.00	152.80	154.00	(4.95)	(5.94)	(2,949.31)
121.00	150.80	152.80	(4.15)	(9.13)	(2,958.44)
122.00	149.40	150.80	(4.00)	(4.80)	(2,963.24)
123.00	147.20	149.40	(3.60)	(7.92)	(2,971.16)
124.00	146.00	147.20	(3.80)	(4.58)	(2,978.72)
125.00	143.80	146.00	(3.95)	(8.69)	(2,984.41)
126.00	142.80	143.80	(3.30)	(3.98)	(2,988.37)
127.00	140.40	142.80	(3.20)	(7.04)	(2,998.41)

Area excavada 2,695.41 m2



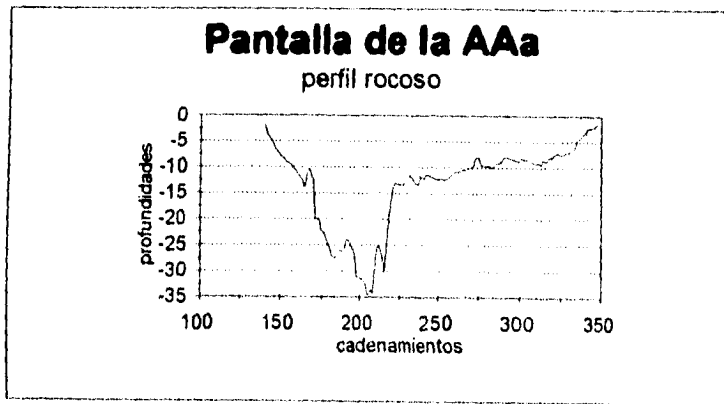
**EXCAVACION DEL MURO PANTALLA DE LA
ATAGUIA DE AGUAS ABAJO**

PANEL	CADENAMIENTO		PROFUNDIDAD	AREA	A. ACUM.
OMERLO	DE	A	M	M2	M2
1.00	347.60	349.80	(1.30)	2.86	2.86
2.00	346.40	347.60	(1.70)	2.04	4.90
3.00	344.20	346.40	(2.00)	4.40	9.30
4.00	343.00	344.20	(2.20)	2.64	11.94
5.00	340.80	343.00	(2.30)	5.06	17.00
6.00	339.60	340.80	(3.20)	3.64	20.64
7.00	337.40	339.60	(3.60)	7.92	28.78
8.00	336.20	337.40	(4.10)	4.92	33.68
9.00	334.00	336.20	(4.80)	10.56	44.24
10.00	332.80	334.00	(6.00)	7.20	61.44
11.00	330.60	332.80	(6.70)	14.74	66.18
12.00	329.40	330.60	(7.00)	8.40	74.58
13.00	327.20	329.40	(7.00)	15.40	89.98
14.00	326.00	327.20	(7.30)	8.76	98.74
15.00	323.80	326.00	(7.60)	16.72	115.46
16.00	322.60	323.80	(7.20)	8.64	124.10
17.00	320.40	322.60	(7.50)	16.50	140.60
18.00	319.20	320.40	(8.00)	9.60	150.20
19.00	317.00	319.20	(8.10)	17.82	168.02
20.00	315.80	317.00	(8.90)	10.68	178.70
21.00	313.60	315.80	(8.60)	18.92	197.62
22.00	312.40	313.60	(9.45)	11.34	208.96
23.00	310.20	312.40	(9.10)	20.02	228.98
24.00	309.00	310.20	(9.30)	11.16	240.14
25.00	306.80	309.00	(9.00)	19.80	259.94
26.00	305.60	306.80	(8.60)	10.32	270.26
27.00	303.40	305.60	(8.35)	18.37	288.63
28.00	302.20	303.40	(8.50)	10.20	298.83
29.00	300.00	302.20	(8.20)	18.04	316.87
30.00	298.80	300.00	(8.80)	10.56	327.43
31.00	296.60	298.80	(8.60)	18.92	346.35
32.00	295.40	296.60	(8.40)	10.08	356.43
33.00	293.20	295.40	(8.20)	18.04	374.47
34.00	292.00	293.20	(8.00)	9.60	384.07
35.00	289.80	292.00	(8.20)	18.04	402.11
36.00	288.60	289.80	(9.00)	10.80	412.91
37.00	286.40	288.60	(9.10)	20.02	432.93
38.00	285.20	286.40	(9.20)	11.04	443.97
39.00	283.00	285.20	(10.00)	22.00	465.97
40.00	281.80	283.00	(9.90)	11.88	477.85
41.00	279.80	281.80	(9.70)	21.34	499.19
42.00	278.40	279.60	(9.70)	11.64	510.83
43.00	276.20	278.40	(9.60)	21.12	531.95
44.00	275.00	276.20	(8.20)	9.84	541.79
45.00	272.80	275.00	(8.10)	17.82	559.61
46.00	271.60	272.80	(9.60)	11.52	571.13
47.00	269.40	271.60	(10.00)	22.00	593.13
48.00	268.20	269.40	(10.10)	12.12	605.25
49.00	268.00	268.20	(10.50)	23.10	628.35
50.00	264.80	266.00	(10.40)	12.48	640.83
51.00	262.60	264.80	(10.90)	23.98	664.81
52.00	261.40	262.60	(10.80)	12.96	677.77

53.00	259.20	261.40	(10.90)	23.98	701.75
54.00	258.00	259.20	(11.30)	13.56	715.31
55.00	255.80	258.00	(12.00)	26.40	741.71
56.00	254.60	255.80	(12.30)	14.76	756.47
57.00	252.40	254.60	(12.30)	27.06	783.53
58.00	251.20	252.40	(12.10)	14.52	788.05
59.00	249.00	251.20	(12.30)	27.06	825.11
60.00	247.80	249.00	(12.25)	14.70	839.81
61.00	245.60	247.80	(11.90)	26.18	866.99
62.00	244.40	245.60	(11.50)	13.80	879.79
63.00	242.20	244.40	(11.45)	25.19	904.98
64.00	241.00	242.20	(12.30)	14.76	919.74
65.00	238.80	241.00	(11.70)	25.74	945.48
66.00	237.60	238.80	(13.25)	15.90	961.38
67.00	235.40	237.60	(13.10)	26.82	990.20
68.00	234.20	235.40	(12.50)	15.00	1,005.20
69.00	232.00	234.20	(11.50)	25.30	1,030.50
70.00	230.80	232.00	(12.30)	14.76	1,045.26
71.00	228.60	230.80	(12.90)	26.38	1,073.64
72.00	227.40	228.60	(13.40)	16.08	1,089.72
73.00	225.20	227.40	(13.30)	29.26	1,119.98
74.00	224.00	225.20	(13.20)	15.84	1,134.82
75.00	221.80	224.00	(13.10)	26.82	1,163.64
76.00	220.60	221.80	(14.10)	16.92	1,180.56
77.00	218.40	220.60	(18.20)	40.04	1,220.60
78.00	217.20	218.40	(22.40)	26.88	1,247.48
79.00	215.00	217.20	(30.00)	66.00	1,313.48
80.00	213.80	215.00	(27.30)	32.76	1,346.24
81.00	211.60	213.80	(24.90)	54.78	1,401.02
82.00	210.40	211.60	(25.80)	30.96	1,431.98
83.00	208.20	210.40	(34.20)	75.24	1,507.22
84.00	207.00	208.20	(33.60)	40.32	1,547.54
85.00	204.80	207.00	(34.50)	75.90	1,623.44
86.00	203.60	204.80	(32.40)	36.88	1,662.32
87.00	201.40	203.60	(31.60)	69.52	1,731.84
88.00	200.20	201.40	(31.30)	37.56	1,769.40
89.00	198.00	200.20	(31.00)	68.20	1,837.60
90.00	196.80	198.00	(27.10)	32.52	1,870.12
91.00	194.60	196.80	(25.20)	55.44	1,926.56
92.00	193.40	194.60	(24.30)	29.16	1,954.72
93.00	191.20	193.40	(23.85)	52.47	2,007.19
94.00	190.00	191.20	(25.60)	30.72	2,037.91
95.00	187.80	190.00	(26.30)	57.86	2,096.77
96.00	186.60	187.80	(26.05)	31.26	2,127.03
97.00	184.40	186.60	(27.00)	59.40	2,186.43
98.00	183.20	184.40	(27.50)	33.00	2,219.43
99.00	181.00	183.20	(27.00)	59.40	2,278.83
100.00	179.80	181.00	(25.40)	30.48	2,309.31
101.00	177.60	179.80	(24.00)	52.80	2,362.11
102.00	176.40	177.60	(22.70)	27.24	2,389.36
103.00	174.20	176.40	(22.20)	48.84	2,438.19
104.00	173.00	174.20	(20.10)	24.12	2,462.31
105.00	170.80	173.00	(20.00)	44.00	2,506.31
106.00	169.60	170.80	(12.50)	15.00	2,521.31
107.00	167.40	169.60	(10.45)	22.99	2,544.30
108.00	166.20	167.40	(10.40)	12.48	2,556.78
109.00	164.00	166.20	(13.90)	30.58	2,587.36

110.00	162.80	164.00	(12.50)	15.00	2,602.36
111.00	160.60	162.80	(11.45)	25.19	2,627.56
112.00	159.40	160.60	(10.80)	12.96	2,640.51
113.00	157.20	159.40	(10.05)	22.11	2,662.62
114.00	156.00	157.20	(9.40)	11.28	2,673.90
115.00	153.80	156.00	(8.90)	19.58	2,693.48
116.00	152.60	153.80	(8.45)	10.14	2,703.62
117.00	150.40	152.60	(8.00)	17.60	2,721.22
118.00	149.20	150.40	(7.45)	8.94	2,730.16
119.00	147.00	149.20	(6.40)	14.08	2,744.24
120.00	145.80	147.00	(5.35)	6.42	2,750.66
121.00	143.60	145.80	(4.50)	9.90	2,760.56
122.00	142.40	143.60	(3.90)	4.68	2,766.24
123.00	140.20	142.40	(1.80)	3.96	2,769.20

AREA TOTAL EXCAVADA 2769.2 M2



No	Descripción	Cantidad	Unidad	Precio unitario	Importe
55	<p>Obra civil</p> <p>Muro pantalla flexoimpermeable</p> <p>Construcción de los muros pantallas flexoimpermeable en las ataguías de 60 cm. de espesor, de profundidad variable cruzando el material aluvial hasta la roca basal cuyo contacto deberá perfilarse con el uso de cinceles . El contratista deberá cumplir con los procedimientos de ejecución descritos en las especificaciones y/o los aprobados por la comisión , por lo que deberá contar en el análisis de sus precios el procedimiento a seguir con la aplicación de los equipos , implementos y métodos de ejecución . Se medira por metro cuadrado con aproximación a la unidad y la cuantificación será por unidad de obra terminada a satisfacción de la comisión . El precio unitario incluye : mano de obra , materiales , herramienta , maquinaria , implementos complementarios o especiales , instrumentos para laboratorio de campo , instalaciones . Además para la evaluación incluir : Nivelación y compactación de la plataforma de trabajo y su mantenimiento y limpieza durante la construcción del muro , construcción del brocal guía , instalaciones de planta de mezclas y tanques decantadores/desarenadores . la excavación con almeja hidráulica guiada kelly , uso del trepano/cinzel para demoler boleas y perfilar el contacto con la roca basal , uso de lodo estabilizador , carga y acarreo libre medido a partir del eje de construcción de cada pantalla , descarga y acomodo en los bancos de desperdicio que indique la comisión . En cuanto al colado , incluir los materiales necesarios para su fabricación , transporte y almacenamiento , bombeo , consumos y desperdicios de la mezcla que resulten del mismo procedimiento constructivo , alumbrado , limpieza general del sitio al concluir los trabajos y en general todo lo necesario para dejar terminado el trabajo a entera satisfacción de la comisión.</p>	5,900	M ²	845.28	4,987,152.00
La cantidad real del muro pantalla una vez terminado					
		5464.61	M2	845.28	4,619,125.54

CAPITULO 6

CORTINA DE INYECCIONES SUBYACENTE A LA PANTALLA

6.1 PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO PARA LA INYECCION DE LA PANTALLA O CORTINA DE INYECCIONES

Están formadas por las inyecciones de una serie de perforaciones , dispuestas en una o más líneas paralelas , bajo el corazón impermeable ; alcanzan profundidades que dependen principalmente de las características geológicas del sitio y la carga de la presa.

La inyección utilizada como procedimiento constructivo tiene por objeto impermeabilizar o consolidar los cuerpos sólidos porosos y permeables ; tales como rocas fisuradas , arenas y grava o aluvión , se procura alcanzar mayor consistencia en los trabajos de consolidación que en los de impermeabilización

6.1.1 La inyección para consolidación ; su finalidad es disminuir la compresibilidad de la roca al mismo tiempo que reducir o eliminar la permeabilidad , llenando fisuras de la roca con una mezcla resistente , aplicada a alta presión , las fracturas de las rocas se tratan con lechadas inestables. Esta es utilizada en la fase 1

6.1.2 La inyección de contacto : su objetivo es rellenar huecos entre estructuras y la roca en ocasiones en vez de huecos , estos espacios quedan rellenos de aluvión con boleos , los cuales tienen una alta porosidad (de 20 a 35 %) por los vacíos que dejan entre sí las partículas sólidas , la estructura que forman es muy variable en la naturaleza , para este tipo de inyección se utilizan las lechadas estables. Se realiza en la fase 2

6.1.3 Mezcla estable e inestable : las primeras son mezclas de arcilla , cemento y arena variando la dosificación de sus componentes y la intensidad de la agitación se logra que la suspensión no sedimente durante el proceso de inyección ; las segundas son lechadas de agua y cemento , la sedimentación en ellas ocurre cuando cesa la agitación.

6.1.4 La inyección por tramos: la inyección de lechadas se puede hacer por tramos sucesivos de 5 m. de longitud , cada tramo está limitado en su parte superior por un obturador y en su parte inferior por el fondo del barreno , que puede ser el terreno natural o la lechada fraguada del tramo anterior.

La inyección por tramos de abajo hacia arriba presenta una gran ventaja económica permite realizar el barreno con el máximo rendimiento y después desplazar la máquina de perforación a otro emplazamiento durante la inyección pueden separarse los dos trabajos de perforación e inyección y así es posible especializar equipo y reducir al mínimo el tiempo muerto.

La inyección por tramos sólo puede realizarse colocando el obturador en diferentes puntos del barreno.

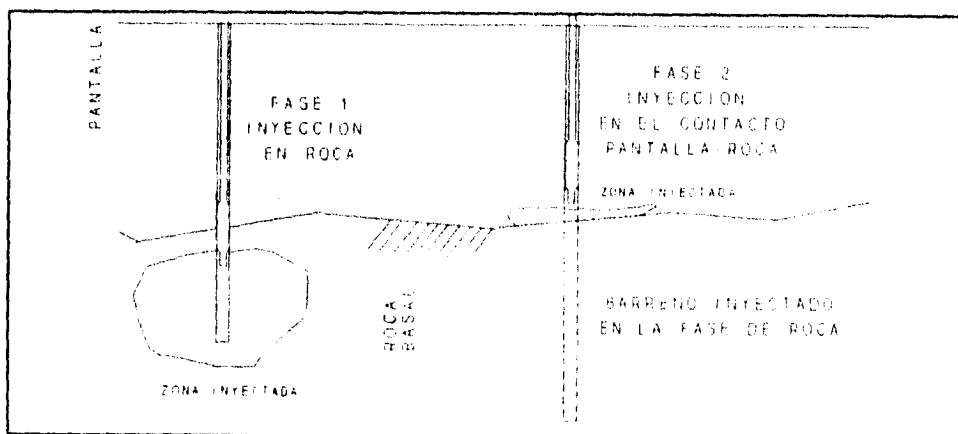
Se dejarán tubos de pvc de 3" de diámetro ahogados en la pantalla provistos de centradores para evitar desplazamientos.

Posteriormente se perforará el barreno en una longitud de 5.0 m , en caso de ocurrir derrumbes en el barreno , pérdida de agua , etc., se parará la perforación y se procederá a inyectar para colmatación ,para posteriormente reperfurar y perforar hasta la profundidad deseada .

Después de la perforación se colocará el obturador hasta el fondo para iniciar la inyección del primer tramo , que es en roca.

Una vez inyectado el primer tramo se sube el obturador y se colocará en la zona donde termina la pantalla e inicia la perforación en la roca para la llamada inyección de contacto pantalla-roca.

Ambas inyecciones se deben apegar al procedimiento indicado en las especificaciones



6.2 Equipo

El equipo necesario para hacer los trabajos anteriores es:

1 perforadora a roto-percusión

1 compresor

1 tanque elevado de 10,000 lts de capacidad

1 mezclador de altas revoluciones

2 agitadores de baja revolución

3 inyectores de doble pistón de velocidad controlada

el equipo menor que comprende : bombas , obturadores , manómetros , mangueras , tuberías.

6.2.1 Mezcladores:

Es un recipiente que cuenta con una hélice colocada en el fondo del mismo , accionada por un motor eléctrico , se le colocan además unas aletas fijadas en las paredes interiores que impiden que la lechada gire en bloque.

Para poder inyectar de manera continua se debe contar con dos mezcladores en paralelo , uno donde se mezclan los materiales y el otro donde se mantiene la lechada en suspensión para que de ahí la tome el inyector.

6.2.2 Inyector de doble pistón

Estas máquinas suelen tener dos pistones en oposición , se les acciona generalmente con un motor de aire comprimido , de sección suficiente para poder dar a la lechada su máxima presión , una manivela permite regular la admisión de aire , es decir , el caudal del aparato inyector y utilizan agua como lubricante de los pistones.

6.2.3 Manómetro

Este aparato se coloca en derivación sobre la tubería que conduce el mortero , y a la entrada del barreno , es necesario que el mortero transmita la presión a un fluido inerte, que acciona el manómetro , el procedimiento más sencillo es utilizar agua o aceite separado del mortero por una membrana flexible e impermeable.

6.2.4 Obturador

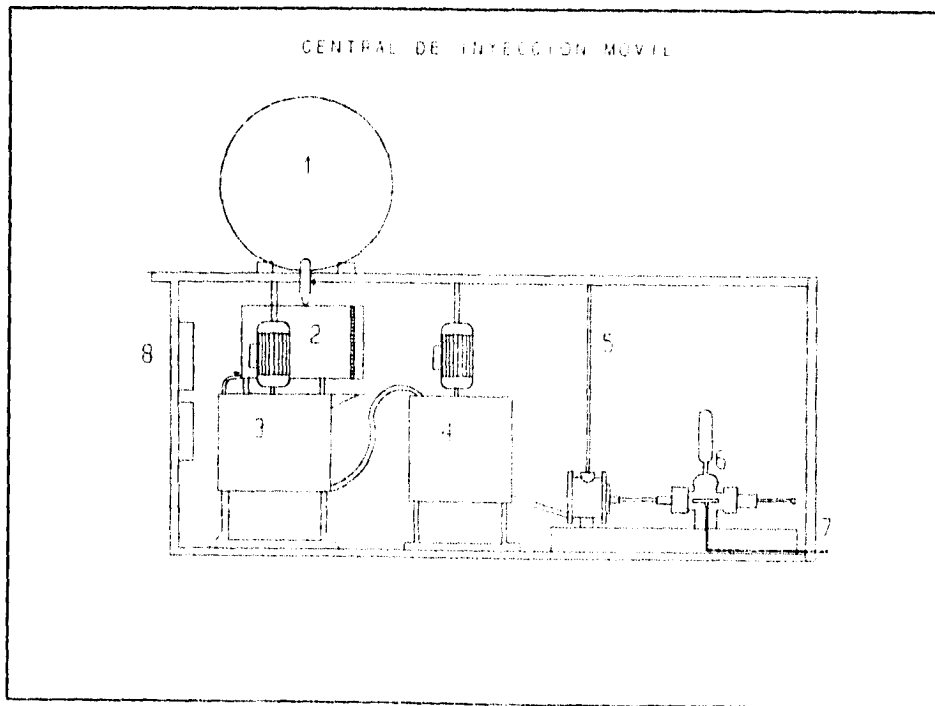
Se utilizan obturadores de hule expansivo , este recubrimiento elástico se comprime contra la pared del barreno por la presión de un fluido como aire , agua , aceite , etc. , se complementan

con una tubería flexible de 1/4 " que se conecta a una bomba de aire.

6.3 Central de inyección móvil

Constituido por un tanque elevado de 10,000 lts de capacidad el cual se llena con lodo bentonítico , de aquí el lodo pasa a un recipiente rectangular con una manguera transparente para su dosificación , luego se pasa al mezclador de altas revoluciones donde además se le agrega el cemento y el aditivo se mantiene en agitación durante 10 min , de aquí pasa directamente al recipiente con agitador de bajas revoluciones de donde es absorbido por el inyector de doble pistón de velocidad controlable a través de una válvula de alivio , además se cuenta con un compresor que surte de aire a presión para que funcione el inyector , el inyector debe de estar permanentemente lubricado por ello se cuenta con una bomba centrífuga que se encarga del bombeo del agua que se utiliza como lubricante.

De los inyectores sale la mezcla con la presión deseada que es llevada hasta los barrenos por medio de tubería rígida de FeGa de 1" de diámetro.

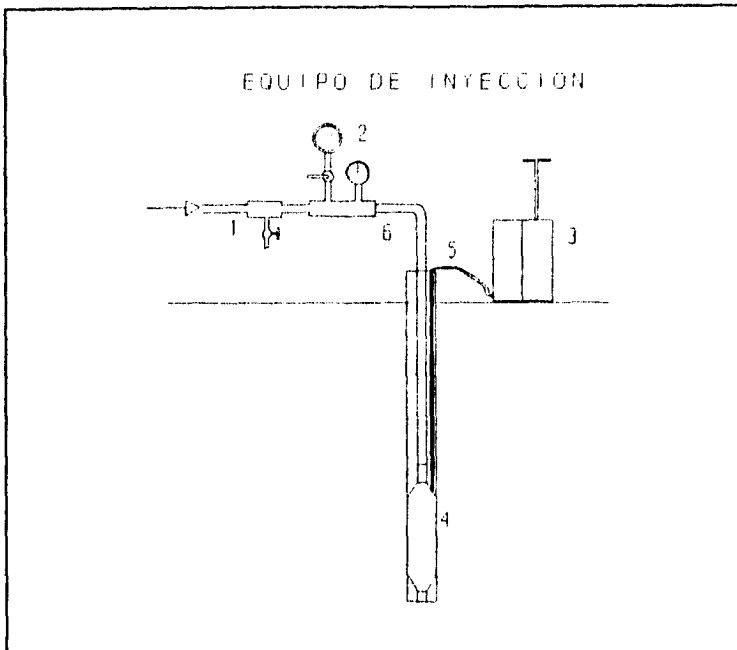


- 1.- Tanque elevado
- 2.- Tanque para dosificar el agua
- 3.- Digestor de altas revoluciones
- 4.- Digestor de bajas revoluciones
- 5.- Tubería por donde llega el aire del compresor
- 6.- Bomba de inyección de doble pistón
- 7.- Tubería rígida que conduce la mezcla hasta el barreno
- 8.- Controles electricos

6.4 Preparación del barreno

Se tiende la tubería rígida que va desde la central hasta el barreno , a la entrada del barreno se colocan una válvula de alivio , para descargar la mezcla cuando esta venga con una presión mayor a la de inyección o cuando se quiera descargar la tubería simplemente después se colocan sobre la tubería dos manómetros , uno de rango 0-2 kg/cm² para medir las presiones de 0.5 kg/cm² para el tramo de contacto , que además esta provisto de una válvula de paso y el otro manómetro de un rango de 0-14 kg/cm², para medir las presiones de 5 kg/cm² para la inyección en la roca , se continua la tubería hasta el fondo del barreno donde se le coloca un obturador de hule elástico ,el cual se expande hasta tocar las paredes del barreno por medio de aire el cual es bombeado por una bomba de aire desde la superficie.

- 1) válvula de alivio
- 2) manómetro
- 3) bomba de aire
- 4) obturador de hule
- 5) manguera de conducción transparente de 0.25"
- 6) tubería de FeGa de 1" de diámetro



6.5 La mezcla de inyección

Teniéndose un avance significativo en la construcción del muro pantalla de las ataguías se requiere iniciar la inyección de la roca basal de acuerdo a las especificaciones de concurso , sin embargo , el perfil estratigráfico por el eje de la pantalla se ha observado durante la excavación aluvión graduado desde 3/4" hasta 12 " de diámetro con escasos lentes de arena al nivel del lecho del río , considerándose este material extraído altamente permeable , resultando no ser adecuada la mezcla de proyecto ,necesariamente debe ajustarse a las condiciones del sitio asociado ello a una :

- mezcla estable
- mezcla rígida de 40 a 50 kg/cm²
- mezcla viscosa con fluidez de 34 a 35 seg.
- área teórica de colmatación de la mezcla incrementandose hasta en 800 lts en el contacto pantalla-roca.

Para el diseño de la mezcla se han analizado las propiedades reológicas del lodo

bentonítico muestreada durante el proceso del colado con mezcla denominada autofraguante del muro pantalla y el límite líquido ensayado en el laboratorio de mecánica de suelos.

En base a las características del lodo bentonítico preparado y almacenado, se propone la siguiente mezcla a volumen controlado máximo inyectado

<u>Mezcla no. 1</u>	<u>Mezcla no. 2</u>
65 lts lodo bentonítico	45 lts lodo bentonítico
50 kg cemento	50 kg cemento

Estas mezclas deberán usarse de la siguiente manera:

Inyección en :	presión (kg/cm ²)	volumen controlado máximo (sacos)
roca	5	2
contacto roca-pantalla	0.5	10

* la mezcla no.2 de requerirse se usará en condiciones muy especiales definiéndose estas en el campo.

Debido a la problemática observada principalmente entre los barrenos de inyección 40-50 de la AAA; debido a la baja calidad de la roca y alta permeabilidad, ha sido necesario ser más cautos en el proceso de inyectar la roca y el contacto roca-pantalla para evitar daños a la misma, y garantizar una plena colmatación del sitio inyectado, además el comportamiento de la mezcla no.1 propuesta no cumple la fluidez requerida debido a las características de la bentonita performax, aunque uniforme contiene un límite líquido mayor de 330% razón por la cual se propone ajustar el procedimiento y mezclas de la siguiente manera:

- 1) Garantizar que la perforación de 5m sea en roca sana.
- 2) De tener evidencias de zonas permeables debe realizarse parcialmente una primera inyección con la mezcla no. 1 ajustada.
- 3) Diluir con mayor cantidad de agua el lodo bentonítico actualmente preparado para el muro pantalla y el necesario para inyecciones de acuerdo a los primeros ensayos de campo esta debe alcanzar una fluidez de 20 seg +/- 2.
- 4) Verificar con el lodo bentonítico ajustado indicado en el punto anterior con proporción base de la mezcla no. 1 hasta obtener los siguientes parámetros:

<u>parámetro</u>	<u>dosificación</u>
relación A/C 1.3/1	65 lts de lodo bentonítico
fluidez 35 seg + 2	50 kg cemento
mezcla estable	

5) La mezcla no. 2 debe tener los siguientes parámetros:

<u>parámetro</u>	<u>dosificación</u>
relación A/C 0.9/1	45 lts lodo bentonítico
fluidez 38 seg + 2	50 kg cemento
mezcla estable	

6) El volumen controlado máximo no se modifica siendo vigente para zonas particularmente permeable y mala calidad de la roca. Se harán los ajustes de ser necesarios con la subcontratista para obtener una mezcla óptima y adecuada a las condiciones de las zonas inyectadas

6.6 Control de las inyecciones en el campo

El control se lleva siguiendo una serie de pasos y vaciando la información obtenida en los formatos respectivos:

- 1.- Se ubica el barreno , mediante un numero y su respectivo cadenamamiento
- 2.- Definir la fase de inyección ya sea en roca o en contacto pantalla-roca
- 3.- Determinar la presión de acuerdo a la fase de inyección (5 kg/cm² y 0.5 kg/cm²)
- 4.- Una vez recabada la información anterior , lo siguiente es el consumo de mezcla del barreno teniendo que anotar el tipo de mezcla así como el volumen de esta.
- 5.- El último paso es el que se refiere al periodo de inyección, teniendo que anotar el inicio y la terminación del inyectado
- 6.- En las observaciones se anotan las eventualidades ocurridas durante el proceso de inyectado .

6.7 Formato utilizado en el campo

Bno. N	REL A/C	TRAMO DE	A	LECHADA (LTS)	PRESION (Kg/cm2)	HORARIO DE	A	Observaciones
10	1.3/1	5.35	10.3	163	5	0:20	1:0	roca
10	1.3/1	0	5.35	122.25	0.5	1:00	1:40	contacto

ESTO NO ES UN
 BARRIL DE LA INDUSTRIA

12	1.3/1	5.60	10.6	122.25	5	1:50	2:20	roca
12	1.3/1	0	5.6	163	0.5	2:20	2:50	contacto

6.8 Precios unitarios para el concepto de inyección en roca

Estos precios unitarios son los presentados en el catalogo de conceptos para todo el proyecto , los precios unitarios no se modificarón , pero si la cantidad de obra realizada .

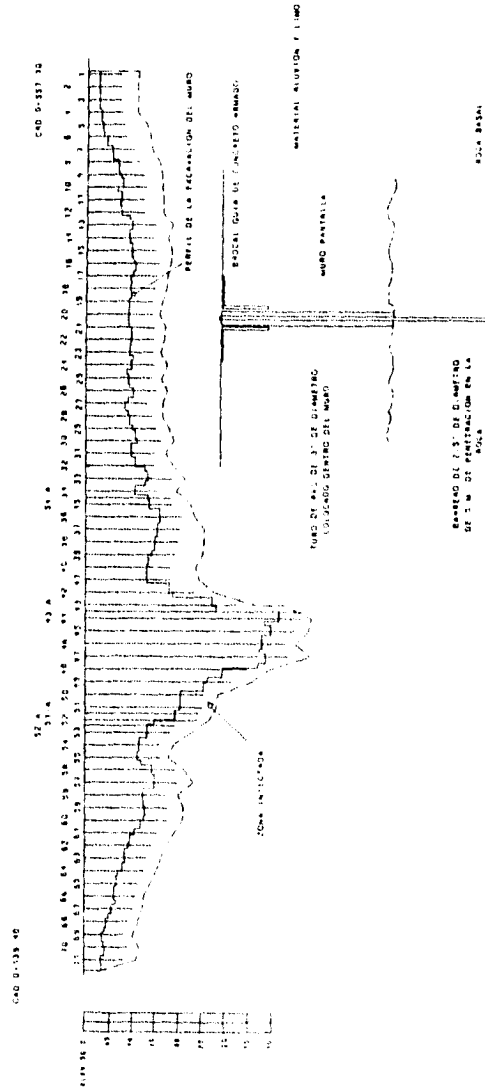
No	Descripción	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Importe
56	<p>OBRA CIVIL Inyección de la roca basal Después de 10 días de colado cada panel se procedera a la perforación a través del muro pantalla para la inyección del contacto muro pantalla-roca basal . El contratista deberá cumplir con los procedimientos de ejecución descritos en las especificaciones y/o los aprobados por la comisión , por lo que deberá considerar en el analisis de sus precios el procedimiento a seguir con la aplicación de los equipos , implementos y métodos de ejecución . Se medira por metro cubico con aproximación a tres decimales y la cuantificación sera por unidad de obra terminada a satisfacción de la comisión . El precio unitario incluye : mano de obra , todos los materiales , herramientas y equipo con sus implementos especiales , perforación y lavado a través del muro pantalla hasta penetrar 5 m en la roca basal , equipamiento e inyección de la mezcla , retaque del barreno , todos los materiales necesarios para la fabricación de la mezcla , bombeo , almacenamiento , transporte y desperdicios que resulten del mismo procedimiento constructivo , alumbrado control de calidad de las mezclas mediante laboratorio de campo.</p>	60	m ³	5,745.38	344,722.80

En la atagüa aguas arriba se inyectaron 75 barrenos , iniciando por la margen derecha en el cad 0+357.35 y finalizando por la margen izquierda en el cad 0+141.5 , la inyección se inicio el día 5-ene-94 y finalizo el día 22-feb-94

Barrenos	Volumen de mezcla Roca	(m ³) Contacto	Volumen total autorizado (m ³)	Volumen inyectado sin autorización (m ³)
75	19.113	22.967	42.080	17.729

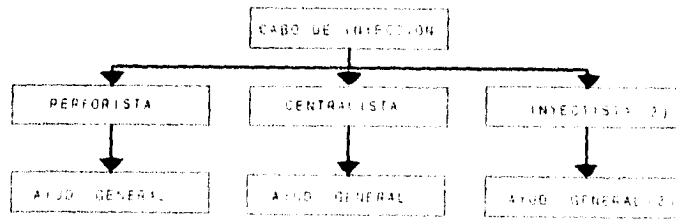
6.9 Cortina de inyecciones en la ataguia de aguas arriba

BARRENOS PARA LA INYECCION SUBYACENTE AL MURO PANTALLA DE LA ATAGUIA DE AGUAS ARRIBA



6.11 Personal que trabajó en la inyección para formar la cortina de inyecciones

ORGANIGRAMA DE PERSONAL PARA LA INYECCIÓN
DE LA ROCA BASAL Y CONTACTO PANTALLA ROCA



**CONTROL DE INYECCIONES EN EL MURO PANTALLA
ATAGUIA AGUAS ARRIBA**

Barreno	Cadenam	Panel o Merlo	Prof (m)	Prof. Bno (m)	Inyeccion Roca (m3)	Contacto	Observaciones
1.00	0+357.35	P-0	2.10	7.10	0.04	0.49	Cumple especificaciones
2.00	0+354.45	M-2	2.30	7.30	0.08	0.12	Cumple especificaciones
3.00	0+351.45	P-3	3.25	8.30	0.08	0.04	Cumple especificaciones
4.00	0+348.65	P-5	2.90	7.90	0.05	0.12	Cumple especificaciones
5.00	0+345.75	P-7	3.40	8.40	0.16	0.24	Cumple especificaciones
6.00	0+342.8	P-9	4.25	9.20	0.08	0.96	Cumple especificaciones
7.00	0+340.1	M-10	5.55	10.50	0.12	0.82	Cumple especificaciones
8.00	0+337.1	M-12	6.80	11.80	0.82	0.16	Cumple especificaciones
9.00	0+334.25	P-13	6.90	11.90	0.05	0.05	Cumple especificaciones
10.00	0+331.3	P-15	7.90	12.90	0.16	0.12	Cumple especificaciones
11.00	0+328.35	P-17	7.30	12.30	0.05	0.12	Cumple especificaciones
12.00	0+325.3	P-19	7.70	12.70	0.12	0.16	Cumple especificaciones
13.00	0+322.35	P-21	9.90	14.90	0.20	0.05	Cumple especificaciones
14.00	0+319.3	P-23	9.30	14.30	0.16	0.20	Cumple especificaciones
15.00	0+316.25	M-24	9.95	14.95	0.16	0.41	Cumple especificaciones
16.00	0+313.3	M-26	10.80	15.80	0.16	0.12	Cumple especificaciones
17.00	0+309.85	M-28	10.30	15.30	0.24	0.12	Cumple especificaciones
18.00	0+307.25	P-29	9.80	14.80	0.16	0.20	Cumple especificaciones
19.00	0+304.3	P-31	9.80	14.80	0.04	0.08	Cumple especificaciones
20.00	0+301.55	P-33	9.30	14.30	0.16	0.04	Cumple especificaciones
21.00	0+298.6	P-35	9.40	14.40	0.16	0.20	Cumple especificaciones
22.00	0+295.3	M-36	10.00	15.00	0.04	0.82	Cumple especificaciones
23.00	0+292.9	M-38	9.60	14.60	0.16	0.20	Cumple especificaciones
24.00	0+289.85	M-40	10.30	15.30	0.33	0.08	Cumple especificaciones
25.00	0+286.8	P-41	10.00	15.00	0.16	0.04	Cumple especificaciones
26.00	0+283.8	P-43	9.30	14.30	0.49	0.16	Cumple especificaciones
27.00	0+280.4	P-45	10.30	15.30	0.33	1.47	Cumple especificaciones
28.00	0+277.5	P-47	8.30	13.60	0.16	0.08	Cumple especificaciones
29.00	0+274.1	P-49	9.50	14.50	0.16	0.26	Cumple especificaciones
30.00	0+271	P-51	10.90	15.90	0.16	0.08	Cumple especificaciones
31.00	0+267.95	P-53	10.00	15.00	0.16	0.12	Cumple especificaciones
32.00	0+264.95	P-55	10.55	15.55		0.94	Cumple especificaciones
33.00	0+262.1	M-56	13.00	18.00	0.16	0.82	Cumple especificaciones
34.00	0+258.9	M-58	13.00	18.00	0.33	0.12	Cumple especificaciones
34-A	0+256.85	P-59	10.50	15.50	0.16		Cumple especificaciones
35.00	0+255.2	M-60	13.40	18.40	0.16	0.12	Cumple especificaciones
36.00	0+252.3	M-62	15.05	20.05	0.73	0.69	Cumple especificaciones
37.00	0+249.2	P-63	15.90	20.90	0.41	0.82	Cumple especificaciones
38.00	0+245.75	P-65	15.50	20.50	0.57	0.98	Cumple especificaciones
39.00	0+242.75	P-67	15.20	20.20	0.33	0.16	Cumple especificaciones
40.00	0+239.7	P-69	13.80	18.80	1.14	0.14	Cumple especificaciones
41.00	0+236.7	P-71	13.30	18.30	0.33	0.16	Cumple especificaciones
42.00	0+233.7	P-73	18.00	23.00	0.16	0.82	Cumple especificaciones
43.00	0+231.0	P-75	27.20	32.20	0.33	0.33	Cumple especificaciones
43-A	0+229.6	P-75	27.20	32.20	0.33	0.14	Cumple especificaciones
44.00	0+227.85	M-76	28.20	33.30	0.08	0.08	Cumple especificaciones
45.00	0+224.85	M-78	38.65	43.65	0.78	0.57	Cumple especificaciones
46.00	0+221.85	M-80	37.85	42.85	0.16	0.65	Cumple especificaciones
47.00	0+218.85	P-81	37.60	42.80	0.33	0.04	Cumple especificaciones
48.00	0+215.85	P-83	37.60	42.60	0.08	0.08	Cumple especificaciones
49.00	0+214.35	P-85	29.30	34.30	0.20	0.02	Cumple especificaciones
50.00	0+209.1	P-87	25.85	30.85	0.25	0.08	Cumple especificaciones
51.00	0+206.85	P-89	20.50	25.50	0.65	0.04	Cumple especificaciones

51-A	0+204.8	M-90	20.40	25.50	0.33	0.20	Cumple especificaciones
52.00	0+203.3	P-91	19.20	24.20		0.90	Cumple especificaciones
52-A	0+201.95	P-91	19.20	24.20	0.36	0.16	Cumple especificaciones
53.00	0+199.1	P-93	13.60	18.80	0.33	0.49	Cumple especificaciones
54.00	0+196	P-95	11.70	18.70	0.25	0.12	Cumple especificaciones
55.00	0+192.8	P-97	11.25	16.25	0.16	0.62	Cumple especificaciones
56.00	0+190.2	P-99	14.50	19.50	0.12	0.12	Cumple especificaciones
57.00	0+184.58	M-102	12.70	17.70	0.25	0.75	Cumple especificaciones
58.00	0+182.13	P-103	12.70	17.70	0.29	0.08	Cumple especificaciones
59.00	0+178.29	P-105	13.00	18.00	0.57	0.04	Cumple especificaciones
60.00	0+175.28	P-107	12.00	17.00	1.02	0.08	Cumple especificaciones
61.00	0+171.58	P-109	9.80	14.80	0.16	0.53	Cumple especificaciones
62.00	0+168.00	P-111	8.30	13.30	0.46	0.59	Cumple especificaciones
63.00	0+164.93	P-113	7.90	12.90	0.39	0.25	Cumple especificaciones
64.00	0+162.23	P-115	6.55	11.25	0.08	0.59	Cumple especificaciones
65.00	0+159.29	P-117	6.00	11.00	0.23	0.53	Cumple especificaciones
66.00	0+156.81	M-118	6.30	11.30	0.16	0.08	Cumple especificaciones
67.00	0+153.33	M-120	4.95	9.95	0.16	0.08	Cumple especificaciones
68.00	0+150.15	M-122	4.05	9.05	0.16	0.41	Cumple especificaciones
69.00	0+147.15	M-124	3.80	8.80	0.16	0.16	Cumple especificaciones
70.00	0+144.51	M-126	3.95	8.95	0.16	0.16	Cumple especificaciones
71.00	0+141.5	P-127	3.20	8.20	0.16	0.59	Cumple especificaciones

CAPITULO 7

PROBLEMAS CONSTRUCTIVOS PRESENTADOS

7.1 En la construcción del muro pantalla

7.1.1 Profundidades de excavación

El primer problema que se presentó , fue el relacionado a la profundidad de excavación , causado principalmente por la falta de más estudios geofísicos , lo que ocasionó el que se diera un perfil de la roca basal muy diferente al real, el perfil de roca basal supuesto tenía como profundidad máxima, en el centro del cauce, 25 m . , habiéndose encontrado profundidades de hasta 40 m.

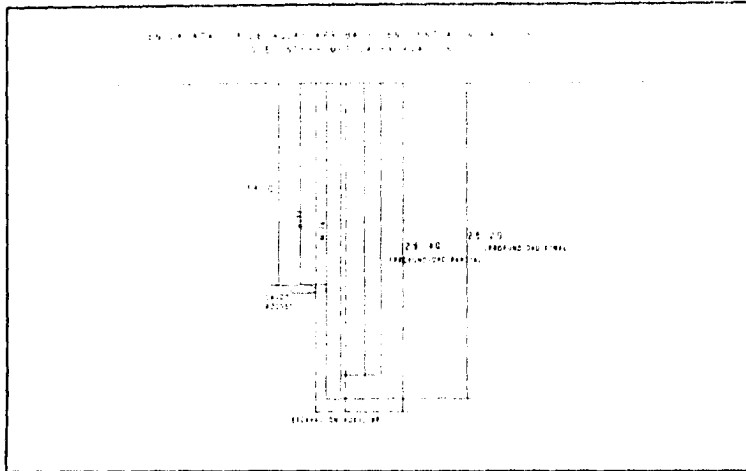
Como al constructor se le entregaron los planos con los datos supuestos , su equipo de excavación tenía una alcance de 30 m . máximo , lo que provocó retraso en la obra hasta que se acondicionara equipo con mayor alcance.

7.1.2 Empotramiento deficiente

Este caso se presenta en los paneles y merlos M38, P41, M42, P43,M44 y P45 , de la AAa , ya que en este tramo se realizó la excavación y no se cinceleó al finalizarla ya que la grua con el trepano se encontraba en la AAA , ocasionando esto que el empotramiento del muro pantalla no sea completamente adecuado.

7.1.3 Presencia de caídos rocosos

Este problema se presenta en el panel no 77 , a la profundidad de 18 m . , se encuentra un caído rocoso , el cual obstruye el paso de la almeja y por su tamaño no es posible extraerla , se introduce repetidas veces el trepano tratando de romperlo,con resultados negativos , se dezplaza la grua excavadora 50 cm. hacia la derecha e inicia la excavación de un panel auxiliar para ver si se movía un poco , alcanzando una profundidad de 29.40 m . y posiblemente el caído cayo dentro del panel auxiliar porque a partir de entonces se pudo continuar con la excavación del P-77 , alcanzando una profundidad de 41.6 m siendo la parte más profunda del muro pantalla de Atagua A Arriba



7.1.4 Perdidas de mezcla

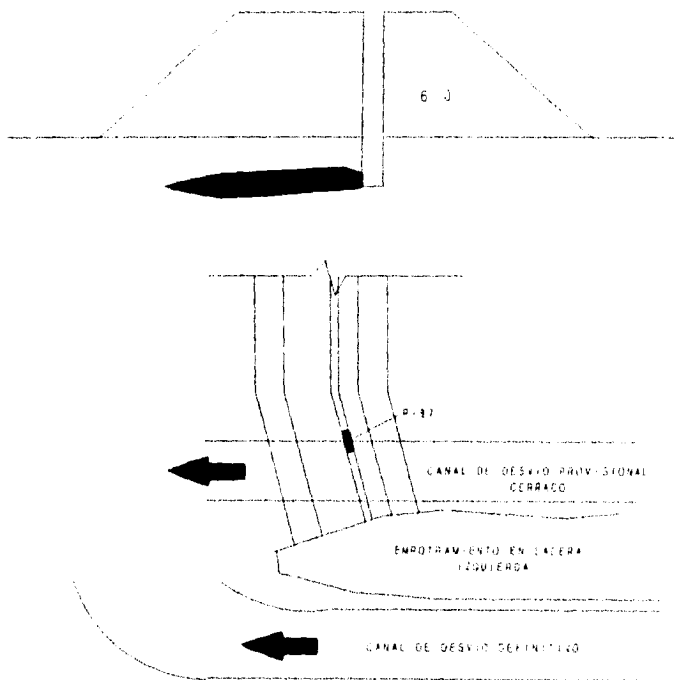
Este problema se presentó en el panel 97 de la ataguia de aguas abajo a la profundidad de 6 m , precisamente donde estuvo el canal de desvío provisional en el talud derecho del mismo , la causa principal fue el no haber compactado bien el material 3B "aluvión" y que la colocación no fue la correcta provocando que el material se segregara dejando zonas de alta permeabilidad .

Al llegar la excavación a los 6 m. se empezó a perder mezcla rápidamente , llegando incluso a vaciarse totalmente el panel , por lo que de inmediato se procedió a vaciar arcilla directamente a la zanja para espesar la mezcla y para que sellara los vacíos , después de haber vaciado unos 12 m³ , se pudo solucionar el problema continuando con la excavación normalmente sin que se volviera a presentar el problema en el merlo contiguo ni en ningún otro panel.

Hubo pérdidas menores en algunas otras partes , pero estas se debieron a la suspensión de la excavación durante 24 hrs (domingos) , ya que estas pérdidas de mezcla durante la semana de actividad pasaban desapercibidas , debido a que la mezcla que se perdía por filtraciones se reponía de inmediato.

Las pérdidas de mezclas llegaban a ser de hasta 1.5 m medida desde el brocal guía para reponerla se retira la parte superficial de la mezcla semifraguada y se rellena con mezcla nueva.

PERDIDA REPENTINA DE MEZCLA EN LA ATAGUIA DE
AGUAS ABAJO (MARGEN IZQUIERDA) EN EL PANEL 37
A LA PROF. DE 6 M.
P-97



7.2 Problemas durante la inyección de la roca basal.

7.2.1 Durante la perforación.

El problema más común durante la perforación se debía principalmente a caídos que provocaban que la barra se atorara impidiendo el avance ,en este caso particular se sacaba la broca hasta la superficie y se introducía nuevamente ,sino resultaba esto entonces con agua y aire

a presión se intentaba sacar el material que impedía el avance , cuando no resultaba nada de lo anterior , entonces definitivamente se suspendía la perforación para hacer una inyección que ayudara a mantener estables las paredes del barreno ; pasando un tiempo razonable, se intentaba nuevamente la perforación.

También la presencia de agua en el barreno hacía difícil la perforación teniéndose que estar permanentemente sacandola con el aire a presión del equipo , cuando resultaba muy difícil se suspendía temporalmente mientras se realizaba una inyección de consolidación , para después volver a intentarlo.

7.2.2 Durante la inyección.

Uno de los mayores problemas fue el de los barrenos que tomaban mucha mezcla sin levantar presión , cuando el barreno tomaba mucha mezcla menos densa y no levantaba presión , después de cierto volumen se pasaba a la mezcla un poco más densa hasta alcanzar también un cierto volumen , si se alcanzaba el volumen máximo especificado sin levantar presión , se suspendía temporalmente la inyección para permitir que la mezcla fraguara un poco para que en el próximo intento el barreno no tomara mucha mezcla , este proceso se repetía muchas veces , hasta que el barreno llegara a la presión de rechazo especificado.

7.2.3 Con respecto a los manómetros

La constructora realizaba inyecciones utilizando manómetros de rango inadecuado (0 - 21 kg/cm²) , dadas las presiones de inyección que se requerían (0.5 - 5 kg/cm²) , y que de acuerdo con las especificaciones de contrato donde se indica que el rango de los manómetros debiera ser de 1.5 veces la presión de inyección.

Se le indicó utilizar manómetros de las siguientes características:

Inyección en:	Rango	Presión de inyección
Roca	0-10 kg/cm ²	5 kg/cm ²
Contacto	0-2 kg/cm ²	0.5 kg/cm ²

Si no utilizaba estos manómetros no se le autorizaba inyectar ningún barreno , de ahora en adelante.

7.2.4 Mezcla inadecuada

Durante la inyección de los barrenos 29 y 31 de la AAA , se observó que la preparación de la mezcla a inyectar era inadecuada , ya que la bentonita se estaba agregando directamente al turbomezclador en forma de polvo y no como lodo bentonítico , demeritando así la calidad de la mezcla .

Por lo anterior se le notificó a la contratista que en lo sucesivo se abstenga de hacer esto , de lo contrario no se autorizará la inyección.

CAPITULO 8 CONCLUSIONES

Las pantallas son muy útiles , en las obras hidráulicas , ya que reducen las filtraciones bajos las cimentaciones de las estructuras que componen un proyecto hidráulico , permiten además construir cubetas estancas para poder realizar excavaciones bajo el nivel freático.

Sin embargo , si los estudios geológicos y geofísicos que se realizan no son suficientes , se corre el riesgo de dar un perfil de la roca basal no muy exacto , esto trae como consecuencia el que se elija un tipo de pantalla inadecuado.

Tal es el caso de las pantallas de nuestro trabajo , en donde debido al apresuramiento en la construcción del proyecto , los estudios geofísicos que se realizaron en el supuesto eje de la cortina , fueron muy pocos , ya que solamente se hicieron 4 barrenos de exploración , realizados en las laderas del río y uno en el centro del cauce , interpolando los resultados y dando un perfil rocoso suave y sin cambios bruscos de pendiente , el cual llegó a diferir del real hasta en 20 m , que es en la profundidad máxima alcanzada en la Ataguía de Aguas Arriba en el panel 77 , cuya profundidad final fue de 41.2 m.

Todo lo anterior nos lleva a pensar que el tipo de pantalla utilizado en la obra , trinchera de lodos no era el más apropiado , ya que este tipo de pantalla solo funciona en forma apropiada cuando los espesores de los depósitos térreos no son mayores a 20 m .

Debido principalmente al continuo movimiento del equipo , el cual produce muchas vibraciones en el terreno , se ocasiona que se alteren las propiedades de la mezcla , afectando principalmente su resistencia y la continuidad de la pantalla , produciendo agrietamientos por los cuales se pueden presentar filtraciones.

La compañía constructora le presento a C.F.E. su propuesta , la trinchera de lodos, en vez de la que proponía inicialmente la Comisión , que era el de una pantalla plástica formada por paneles de concreto , creyendo que el perfil rocoso era el correcto , ya que se utilizaba menos equipo , era más rápido y menos costoso , la Comisión lo considero aceptable y lo aprobó.

También en relación con las inyecciones , se utilizó una sola hilera de barrenos , lo cual también es poco efectivo , ya que para obtener buenos resultados es conveniente hacer dos hileras de barrenos como mínimo.

Después de que se terminó la construcción de las pantallas y se iniciaron las excavaciones en el recinto de la cortina, empezaron a aflorar las filtraciones en forma considerable, precisamente en la parte más conflictiva que era la más profunda, fue cuando se pudo apreciar cabalmente la forma del perfil rocoso, con paredes casi verticales, donde difícilmente se pudo lograr una excavación hasta la roca, ni siquiera con la inyección de contacto se pudo corregir esta dificultad.

Las filtraciones eran tan grandes que fue necesario construir dos pozos artesianos en las laderas de las ataguías, colocando bombas submarinas de 8" de diámetro en cada pozo, al ver que no eran suficientes se construyeron dos carcamos de bombeo una aguas arriba y el otro aguas abajo del eje de cortina, con 4 bombas submarinas de 6" y 8" de diámetro, en cada carcamo para poder excavar y descubrir la roca basal y poder desplantar la cortina.

Bibliografía

- **Presas de tierra y enrocamiento**
Raul J Marsal , Daniel Reséndiz Nuñez
- **Inyección de suelos**
Henri Cambefort
- **Muros pantallas**
G. Schneebeli
- **Especificaciones de construcción de la presa San Rafael Nay.**
Comisión Federal de Electricidad