

PANTALLA BENTONITA - CEMENTO EN LA

CIMENTACION DE LA PRESA DE F^{co} ABELLAN

J. DELGADO

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

F. GIRÓN

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Confederación Hidrográfica del Guadalquivir
ESPAÑA

1. Situación

La presa de F^{co} ABELLAN se encuentra situada en la provincia de Granada, en la cabecera del río Fardes perteneciente a la cuenca del río Guadalquivir.

La cuenca regulada por el embalse formado por la presa es de 188 Km² y su pluviometría y aportación media han sido estimadas en 554 mm., y 56 Hm³ respectivamente.

2.- Geología de la Cerrada.

La zona en la que se sitúa la presa ocupa terrenos de la edad del MIOCENO SUPERIOR rodeados por terrenos metamórficos de edad paleozóica y Jurásicos del Secundario, ambos alejados de la zona de estudio.

El conjunto ocupa todo el TORTONIENSE y en él se distinguen dos formaciones:

a) Formación "Morollón" :

Compuesta por calcarenitas bioclásticas y margas algo arenosas, grises y azuladas.

b) Formación "Molicias" :

Compuestas por turbiditas con litología de areniscas calcáreas y microconglomerados, que pasan a gravas y areniscas con intercalaciones margosas, así como margas azules de naturaleza calcárea y limonitas.

c) El cuaternario :

Constituido por los coluviones o derrubios de ladera y los aluviones del río Fardes. Los primeros formados por bloques y cantos angulosos en una matriz arcillo-arenosa, y los segundos formados por cantos de cuarcitas, en una matriz de limos y arenas.

Desde el punto de vista tectónico no existen en la zona elementos importantes.

La inclinación de los estratos es de naturaleza sedimentaria con una pequeña inclinación que hace que el buzamiento medio hacia aguas abajo sea de unos 18°.

Las únicas diaclasas son poco marcadas, perpendiculares a la estratificación y la mayoría producidas por la tracción creada en la zona de la cerrada debido a la pendiente de las laderas.

La zona de ubicación de la presa está dentro de la formación "MOLICIAS", la cual en la zona de la cerrada está compuesta por dos formaciones rocosas principales:

- Areniscas y microconglomerados.
- Limolitas y margas.

En la figura 1 aparece una sección transversal con la descripción y potencia de los estratos que aparecen. Distintos análisis realizados para buscar la concordancia entre la estratificación de una y otra margen llegan a la conclusión de que existe una razonable duda sobre la continuidad estratigráfica entre ambas márgenes.

De especial importancia para la cuestión que nos ocupa es la zona de aluvial en

el lecho del río, para su análisis se han utilizado los sondeos que definen el perfil del terreno a lo largo del cauce, estimándose la potencia del aluvial en unos 15 mts. aunque de difícil apreciación, ya que la formación bajo el aluvial es de la misma composición litológica que éste y además se encuentra con una baja cementación, lo que hace muy difícil conocer con exactitud el contacto entre ambos, precisando cuando el sondeo está en el aluvial y cuando en las calcarenitas descalcificadas.

La potencia de las calcarenitas bajo el nivel del lecho del río es al menos del orden de los 40 mts, detectandose en algunos sondeos la aparición de limolitas aproximadamente a esa profundidad.

En el análisis geotécnico de la cerrada se han obtenido las siguientes conclusiones, sobre las características de las formaciones rocosas que la forman.

Areniscas y microconglomerados

- Calidad de la roca :

baja recuperación de testigo con valores de R.Q.D. con un máximo de 32% que a veces llegan a disgregarse por completo en el propio sondeo, posiblemente influenciado por el diámetro de perforación 80 mm. llegando en algunos casos a obtener un suelo denso con algo de cementación.

- Características mecánicas :

Los ensayos a compresión simple dan valores que oscilan entre 0.77 MPa y 16.38 MPa, con valores medios de 5.20 MPa, lo que pone de manifiesto la heterogeneidad de la cementación de los materiales, las velocidades sísmicas no superan los 2400 m/s. siendo con frecuencia inferiores a 2.000 m/s.

- Permeabilidad :

Los ensayos de permeabilidad realizados in situ "Lugeon" como en laboratorio presentan una baja permeabilidad con valores de 1.5 a 5.1 U.L. en los primeros y 10^{-4} y 10^{-8} cm/s. en los segundos, no obstante dado la heterogeneidad

de la cementación y variación litológica entre arenisca y microconglomerado las cifras anteriores no pueden considerarse como totalmente representativas del comportamiento del sustrato aunque los valores de límite inferior es razonable esperar que sean los límites de la impermeabilidad del conjunto.

Interesa en este punto hacer notar que si bien la permeabilidad parece limitada, el hecho de darse la **combinación de suelos densos, no cohesivos de granulometría fina, con baja e irregular permeabilidad y con posibilidad de caminos preferentes de circulación que lleven a puntos con concentración de presiones intersticiales que produzcan gradientes puntuales importantes**, todo ello unido nos hace pensar en las posibilidades de problemas de arrastre, erosión y/o sifonamiento.

- El resto de las características que identifican el terreno (densidad, humedad, porosidad, módulo de deformación, etc.) son más propios de un suelo denso que de materiales rocosos.

Limolitas y margas

En la cerrada propiamente dicha solo aparecen estratos de limolitas y estas afloran en las márgenes y su presencia en el sustrato es mínima, considerándose que en una profundidad de unos 40 mts. a partir del fondo del valle su presencia es escasa o nula.

Sus características son :

Apreciable dureza, baja permeabilidad (10^{-8} m/s.) no susceptibles a erosión interna o sifonamiento, calidad aceptable como roca blanda y buenas características mecánicas con valores de 2,00 a 3,50 MPa y módulos de deformación iniciales sin drenaje mayores de 100 MPa, así mismo son de baja plasticidad, densidad seca elevada y porosidad reducida.

3. Tipología de la Presa

Con las características analizadas en los materiales que forman la cerrada, se

desechó la posibilidad de construcción de una presa de fábrica. La presa diseñada cuya sección tipo se presenta en la fig. 2 es de núcleo impermeable de arcilla con espaldones de escollera y filtros de transición, en su diseño ha habido una acentuada atención al tratamiento del terreno y muy especialmente al situado en el fondo del valle y cimentación del núcleo de arcilla. La posibilidad de construcción de una galería perimetral que facilitara el tratamiento del terreno, fue descartada al ser las laderas de una acusada pendiente. Para el control de posibles frentes se construyó un filtro invertido bajo el espaldón de aguas abajo.

4. Tratamiento del terreno

En el análisis general realizado para definir el tratamiento del terreno se consideraron las siguientes actuaciones, teniendo en cuenta las características expuestas en los apartados anteriores.

a) Regularización de la geometría de la cercha.

Esta labor se consideró imprescindible teniendo en cuenta la gran pendiente de las laderas y la existencia de tramos con pendientes distintas que convenía suavizar, de esta forma y con una buena regularización de la excavación se aseguraba un buen contacto con el núcleo arcilloso.

b) Excavación limitada, en la roca de la formación, por debajo del aluvial.

Esta excavación sobre la que iba asentado el núcleo de arcilla se decidió no profundizarla mas allá de unos 10 mts. ya que no consiguiendo mejorar el terreno, podría estar contraindicada la excavación teniendo en cuenta la posible descomposición producida en un terreno débil, con poca o nula cimentación y bajo el nivel freático unos 15 mts., además la estratificación horizontal y las diferencias de permeabilidad podrían producir algún fenómeno de artesianismo con riesgos de inestabilidad hidráulica.

Todos estos riesgos podían agravarse si se consideraba que la excavación

tenía que estar abierta durante largo tiempo, en tanto se realizaban las labores de construcción de los otros tratamientos.

c) Pozos de achique.

Durante la realización de esta excavación y mientras se mantuviera abierta se consideraba de gran importancia mantener el nivel freático lo más bajo posible mediante la construcción de pozos de achique fig. n° 3 con objeto de aumentar las presiones efectivas y mantener el cimientado con garantía de estabilidad hidráulica.

d) Pantalla de impermeabilización.

Las calidades y cualidades descritas para el terreno de cimentación aconsejaron la construcción de una pantalla de impermeabilización que si bien no era estrictamente necesaria por motivos de permeabilidad, resultaba muy aconsejable con objeto de evitar filtraciones localizadas que podrían llevar a un posible sifonamiento del substrato del fondo del cauce. El buzamiento de los estratos hacia a. abajo y la mayor permeabilidad horizontal de los mismos garantizan aun más la eficacia de esta pantalla vertical.

El diseño de la pantalla de impermeabilización se consideró distinto en la zona de los estribos, donde se definieron inyecciones de lechada de cemento hasta un 50% de la carga hidráulica, y para la zona baja del cauce donde se definió una pantalla de hormigón plástico.

Con objeto de controlar y aliviar las posibles presiones intersticiales en el pie a. abajo de la presa se definieron una cortina de drenes bajo el espaldón de a. abajo.

Por último se consideró que una buena regularización del cimientado, para conectarlo con el núcleo de arcilla, favorecería la buena unión de este con aquél y la impermeabilización para evitar posibles erosiones.

5. Pantalla de hormigón plástico Bentonita - Cemento.

Entre las realizaciones previstas para el tratamiento del terreno destaca por su especial importancia la pantalla de impermeabilización en la zona baja de la cimentación, por lo que se hace una descripción de su diseño y construcción.

- Diseño.

Para su diseño se eligió la solución de mayor garantía que es la pantalla Bentonita-Cemento, ya que por el material de que está formada es de muy baja permeabilidad, eliminando además el problema de las juntas al ejecutarse por bataches solapados, los cuales soldan completamente gracias a la tixotropía de la bentonita, sus cualidades de elevada plasticidad le permiten alcanzar deformaciones importantes sin llegar a la fisuración, por lo que la garantía de un buen empotramiento es muy alta.

Para la definición de su profundidad se optó por hacerlo en función de la carga de agua, al no existir un substrato impermeable en el que pudiera empotrarse. En base a esto, se ha considerado razonable dimensionar su profundidad con un 50% de la carga total de agua que es de unos 80 mts. Este criterio ha sido utilizado en otros casos con buenos resultados e incluso se ha llegado a diseñar alguno con solo un 30% lo que para la importancia de la presa y características expuestas de su cimentación parecía excesivamente reducido en este caso. Valores mayores que pudieran llegar al 70% o 75% han sido desechados ya que la estratificación como ya ha sido comentado actúa del lado de la seguridad.

Para conseguir un buen empotramiento y continuidad de la estanqueidad entre pantalla y núcleo de arcilla se construyeron unos 3 mts. de núcleo antes de comenzar la excavación de la pantalla, posteriormente una vez realizada ésta se descabezó el último metro de pantalla y de núcleo con objeto de regularizar y quitar una zona muy alterada, debido a las labores de construcción de la propia pantalla y posteriormente se procedió a levantar el núcleo por tongadas sucesivas.

El espesor de la pantalla se fijó en 0,8 mts. ya que es el mayor que es posible dar con equipos convencionales y además con múltiples experiencias de buen comportamiento. Con objeto de conseguir una perfecta unión entre los distintos paneles que se dimensionaron de 6,28 mts. se realizó la pantalla por bataches, empotrando cada nuevo paño unos 40 cm. en los dos adyacentes de esta forma se hace innecesaria la necesidad de inyectar las juntas de construcción.

La fig. nº 4 representa una planta y alzado de la pantalla con la numeración y orden de realización de cada uno de los paneles, así como sus dimensiones y fecha de realización.

- Construcción.

Para la realización de la excavación se optó por la utilización de una hidrofresa ya que la profundidad, la dureza del terreno y la posibilidad de encontrar zonas que obligarán a la utilización del trépano harían muy lenta la excavación, con el consiguiente problema de paralizaciones y aumento de coste, además dada la profundidad, una desviación superior al 2% implicaría la existencia de ventanas en la zona baja, tengase en cuenta que los métodos convencionales de cuchara bivalva pueden excavar terrenos de 2,50-3,00 MPa de resistencia a compresión simple, y ya con bajos rendimientos, mientras que la hidrofresa permite altos rendimientos hasta 50,00 MPa.

Su comportamiento permitió realizar la pantalla en unos 20 días y los rendimientos obtenidos en la excavación variaron entre 150 y 200 m²/día.

La excavación se efectuó con lodo bentonítico el cual se fue posteriormente sustituyendo por el hormigón plástico, fig. nº 5.

Para la dosificación del hormigón utilizado en la pantalla se realizaron varios ensayos con las siguientes características.

Los ensayos se hicieron con tres tamaños de arido que fueron los utilizados posteriormente en la realización del hormigón, arido 40 mm., arido 20 mm. y arena. La granulometría del conjunto aparece en la fig. nº 5, las cantidades fijas fueron:

- Arido 40 mm. 100 Kg.
- Arido 20 mm. 600 Kg.
- Arena 1.170 Kg.

El cemento para los ensayos se fijó en 100, 125, 150 y 170 kg y con estas dosificaciones se variaron las cantidades de Bentonita y de agua total.

Las conclusiones obtenidas fueron las siguientes :

- El aumento de Bentonita hace disminuir la resistencia.
- El aumento de Bentonita aumenta la impermeabilidad.

Con aproximadamente 40 Kg. de Bentonita las resistencias obtenidas a 20 días fueron.

CEMENTO	Resistencia	Deformación
100 kg.	0,50 MPa	2.5 mm.
125 kg.	0,70 MPa	3.5 mm.
150 kg.	0,90 MPa	4.5 mm.

Finalmente se definió la siguiente dosificación :

Agua	372 Lts
Cemento	150 Kg.
Bentonita	40 Kg.
Arena	1.170 Kg.
Grava 20 mm.	600 Kg.
Grava 40 mm.	100 Kg.

La fig. nº 6 representa un ensayo tipo medio de resistencia a compresión simple y deformación y el cuadro nº 1 los valores obtenidos en cada uno de los 21 paneles en que se dividió la pantalla.

N° BATACHE	N° EJECUCION	TIPO	DOSIFIC CEMENTO Kgr.	BENTONITA Kgr.	AGUA L.	RESISTENCIA MPa		
						4- Días	11- Días	28- Días
1	7	Primario	125	42	353	0,37	0,64	0,94
2	13	Secundario	150	45	372	0,72	1,06	1,51
3	1	Primario	125	40	355	0,57	0,61	1,04
4	12	Secundario	150	45	372	0,71	1,07	1,3
5	6	Primario	125	34	380	0,25	0,39	0,64
6	14	Secundario	150	45	382	1,49	0,55	1,02
7	2	Primario	150	37	373	0,99	1,63	2,0
8	15	Secundario	150	45	382	0,5	0,63	1,0
9	8	Primario	125	40	372	0,29	0,55	0,68
10	16	Secundario	150	45	372	0,48	0,51	1,09
11	3	Primario	150	37	373	0,77	0,95	1,22
12	17	Secundario	150	45	372	0,51	0,62	1,23
13	9	Primario	150	41	370	0,55	0,84	1,21
14	18	Secundario	150	50	372	0,49	0,79	1,24
15	4	Primario	150	37	373	0,74	1,73	2,13
16	19	Secundario	150	50	372	0,51	0,84	1,33
17	10	Primario	150	41	372	0,73	1,12	1,47
18	20	Secundario	150	47	382	0,39	0,66	1,05
19	5	Primario	150	33	370	0,94	1,24	1,95
20	21	Secundario	150	47	382	0,35	0,54	0,88
21	11	Primario	150	45	372	0,76	0,94	1,25
MINIMA			125.0	33.0	353.0	0,25	0,39	0,64
MEDIA			146.3	42.5	373.5	0,64	0,86	1,26
MAXIMA			150.0	50.0	382.0	1,49	1,73	2,13
DSV.STD.			9.8	4.7	7.3	0,28	0,35	0,38

Cuadro n° 1

Resumen

En el trabajo se describen las condiciones geológicas y geotécnicas que llevaron a definir los tratamientos en la cimentación de la presa de Fco. Abellán centrándose especialmente en el diseño y construcción de una pantalla de hormigón plástico Bentonita-Cemento de 40mts. de profundidad definiendo características de los materiales, dosificaciones y comportamiento así como el proceso constructivo y los rendimientos obtenidos.

PERFIL GEOLOGICO LONGITUDINAL

ESTRIBO IZQUIERDO

960.00

ESTRIBO DERECHO

TERRENO NATURAL

LINEA DE EXCAVACION

TUNEL DE DESVIO

882.70

PANTALLA HORMIGON-ELASTICO

CUATERNARIO

COLUVIAL, BLOQUES Y GRAVAS
SUBANGULOSAS EN MATRIZ
ARENO-LIMOSA



ALUVIAL, GRAVAS SUBREDONDEADAS,
ARENAS Y LIMOS

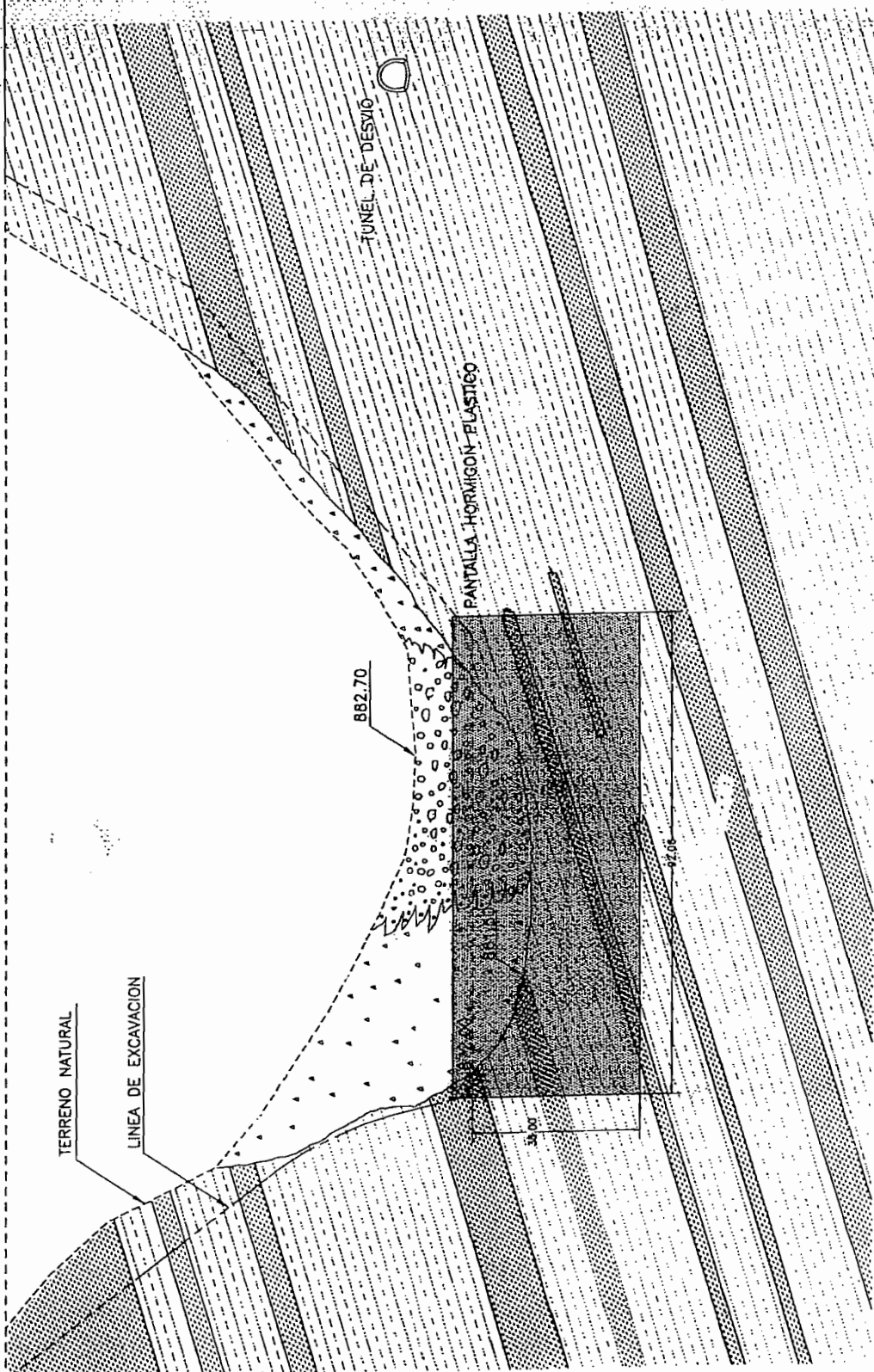


MIOCENO

FORMACION MOLICIAS, ARENISCAS Y
MICROCONGLOMERADOS DE CEMENTA-
CION MUY VARIABLE

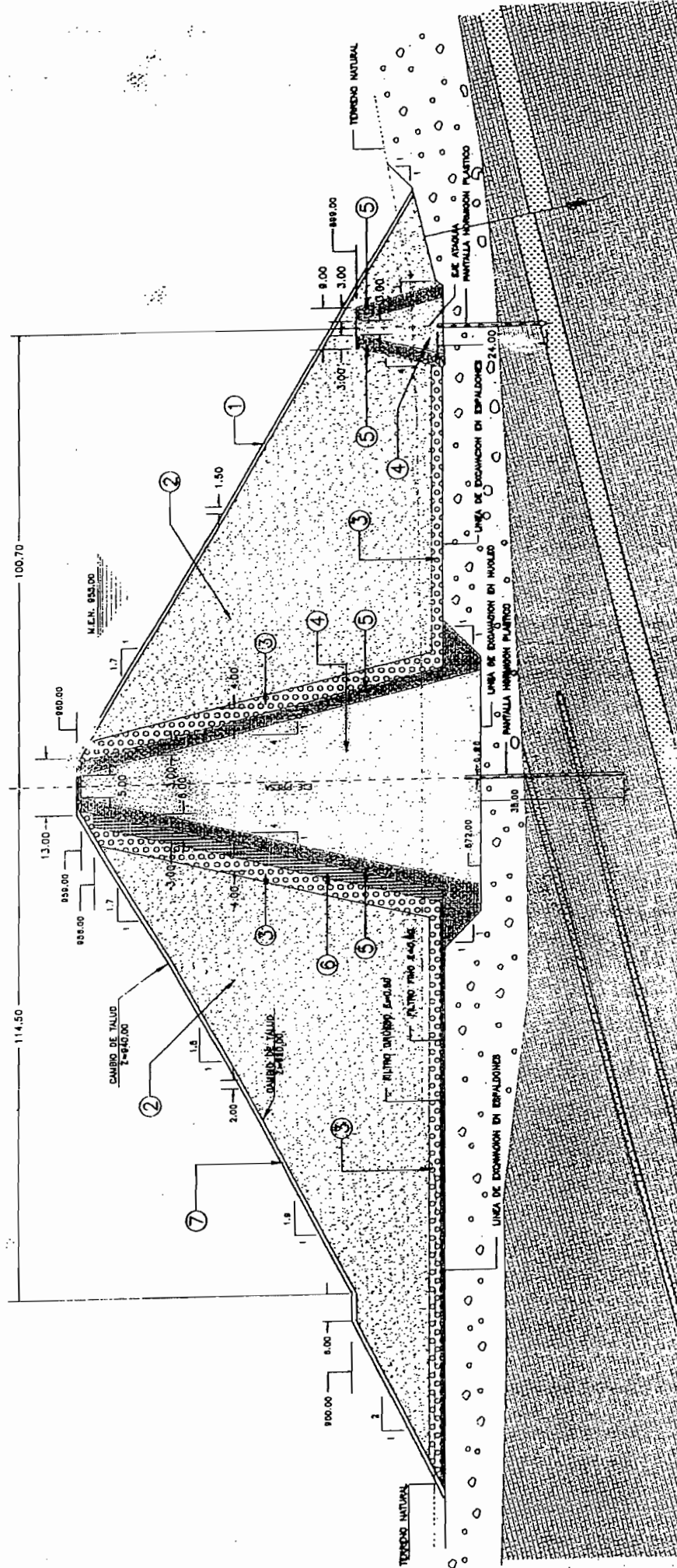


FORMACION MOLICIAS, LIMOLITAS



SECCION TIPO

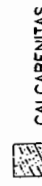
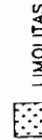
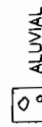
1:1300



CUADRO DE MATERIALES

NUM.	DENOMINACION	TIPO DE MATERIAL
1	PROTECCION PARAMENTO AG. ARRIBA	ESCOLERA CALIZA COLOCADA D. 40-80 CM.
2	ESPALDONES DE TRANSICION	ESCOLERA CALIZA COMPACTADA D. < 1.00 M.
3	ESPALDONES DE TRANSICION	ESCOLERA CALIZA COMPACTADA D. < 0.80 M.
4	NUCLEO	ARCILLAS LIMOSAS
5	FILTRO FINO	ARENAS CLASIFICADAS 0.3 > d15 > 0.1 MM.
6	FILTRO GRUESO	GRAVAS CLASIFICADAS 3 > d15 > 2.4 MM.
7	PROTECCION PARAMENTO AG. ABAJO	ESCOLERA CALIZA COMPACTADA D. 5-30 CM.

GEOLOGIA:

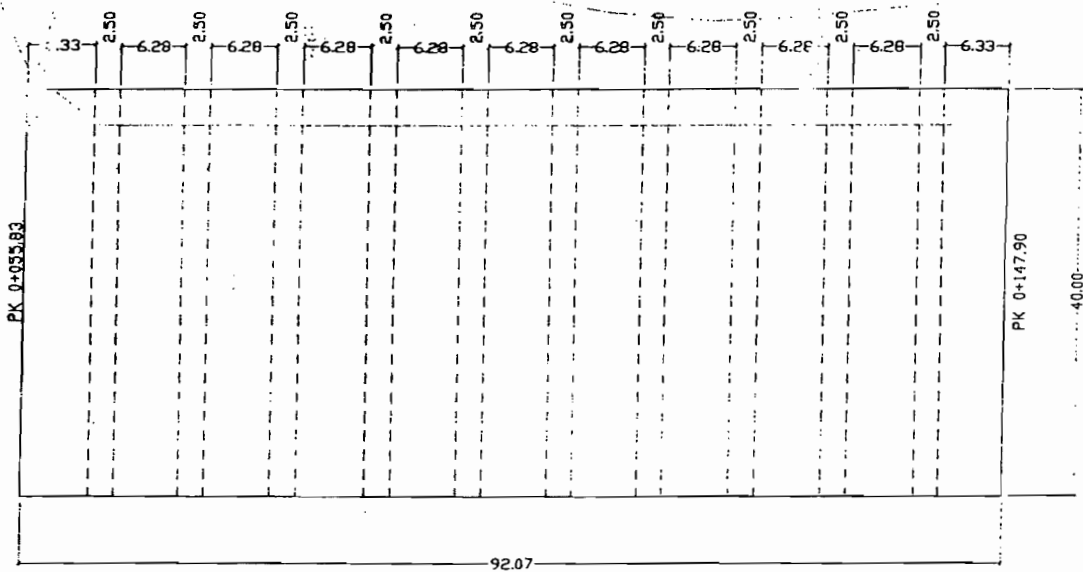


ESQUEMA EJECUCION DE LA PANTALLA

ESCALA=1:500

PLANTA

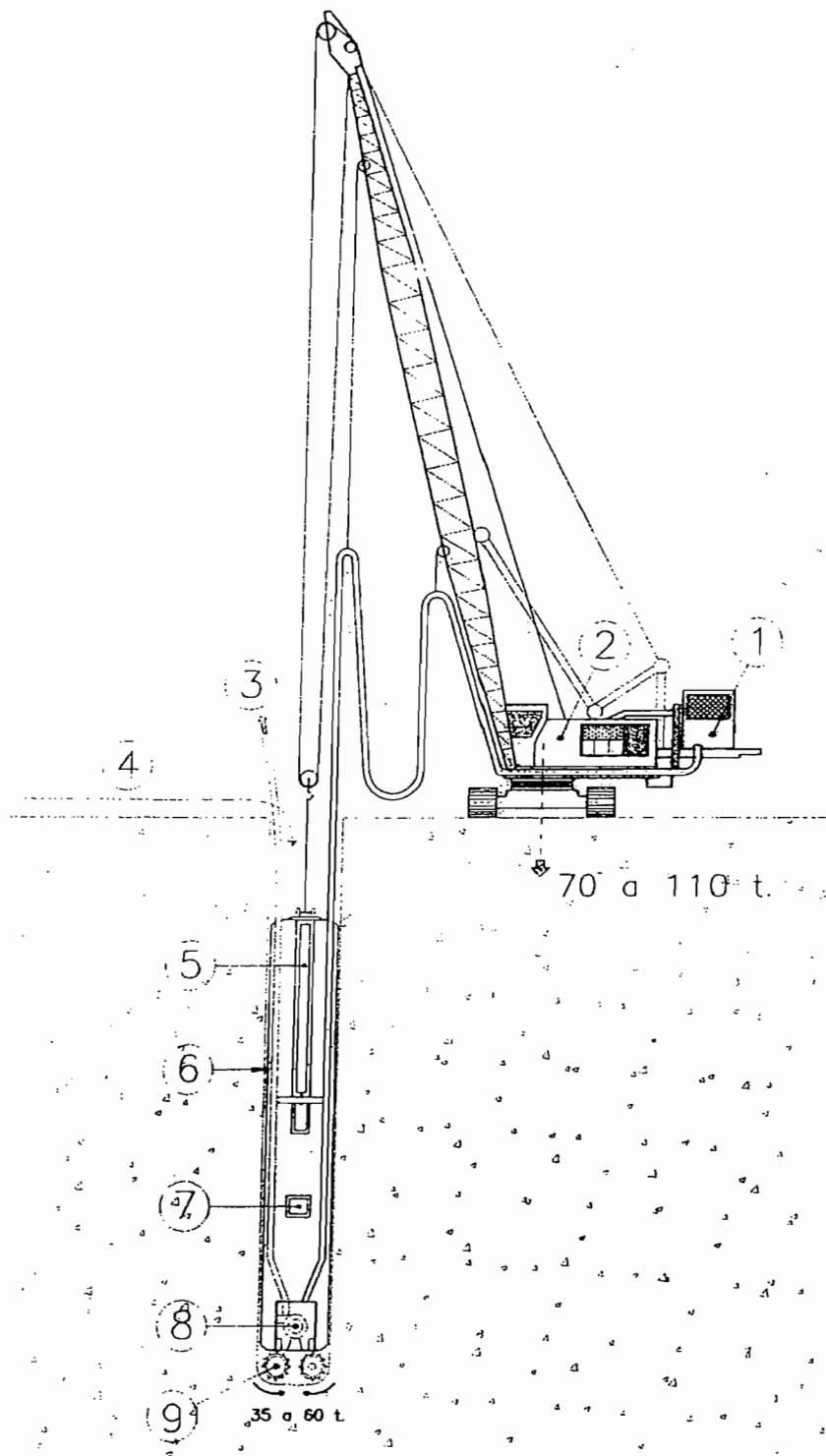
ALZADO



NOMBRE	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20	P21	
ORDEN DE EJECUCION	7	13	1	12	6	14	2	15	8	16	3	17	9	18	4	19	10	20	5	21	11	
FECHA EXCAVACION	23-JUNIO-1993	25-JUNIO-1993	02-JULIO-1993	07-JUNIO-1993	01-JULIO-1993	14-JUNIO-1993	23-JUNIO-1993	5-JULIO-1993	9-JUNIO-1993	05-JULIO-1993	24-JUNIO-1993	28-JUNIO-1993	06-JULIO-1993	10-JULIO-1993	06-JULIO-1993	25-JUNIO-1993	29-JUNIO-1993	6-JULIO-1993	11-JUNIO-1993	07-JULIO-1993	28-JUNIO-1993	30-JUNIO-1993
PROFUNDIDAD EXCAVACION	40.50	40	40.50	40	40.20	40	40.20	40	40.50	40	40.20	40	40.30	40	40.15	40	40.30	40	40.30	40	40.20	
FECHA HORMIGONADO	25-JUNIO-1993	02-JULIO-1993	08-JUNIO-1993	02-JULIO-1993	24-JUNIO-1993	05-JULIO-1993	10-JUNIO-1993	05-JULIO-1993	28-JUNIO-1993	06-JULIO-1993	11-JUNIO-1993	06-JULIO-1993	29-JUNIO-1993	07-JULIO-1993	12-JUNIO-1993	07-JULIO-1993	30-JUNIO-1993	08-JULIO-1993	14-JUNIO-1993	08-JULIO-1993	01-JULIO-1993	

HIDROFRESA

ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO



- (1) GRUPO HIDRAULICO
- (2) GRUA
- (3) SALIDA DE LODO
- (4) REGRESO DEL LODO REGENERADO
- (5) GATO DE REGULACION
- (6) CHASIS GUIA
- (7) INCLINOMETROS
- (8) BOMBA
- (9) TAMBORES DE PERFORACION

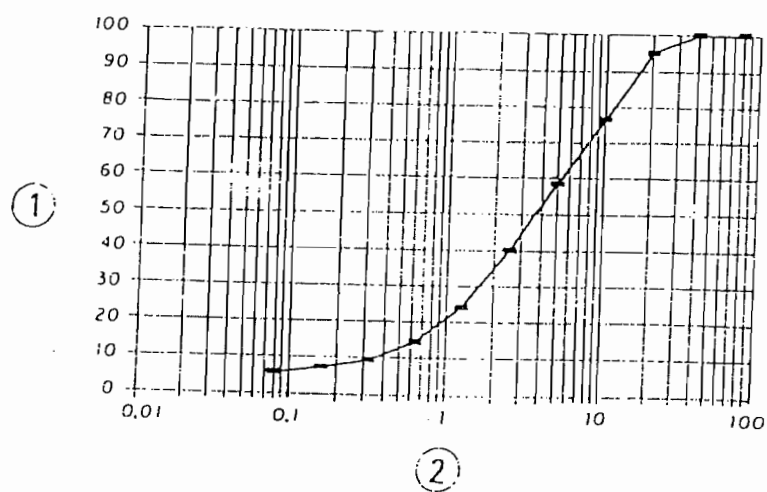
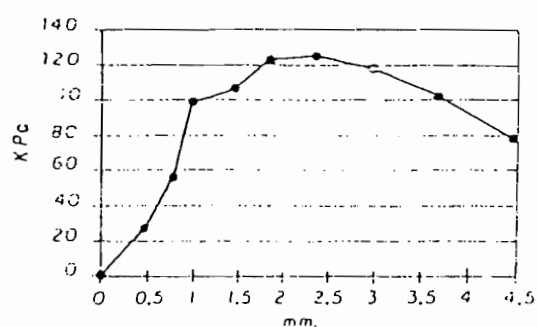
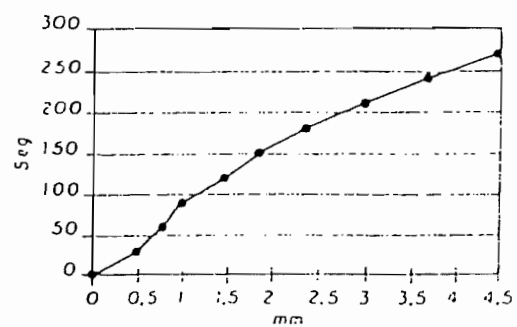


Fig. 5



a)



b)

Fig. 6