

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE**



**FACULTAD DE INGENIERIA**

**CATEDRA**

**- CONSTRUCCIONES HIDRÁULICAS -**

**MONOGRAFIA**

**"SOLUCIONES A LA FUNDACIÓN Y CONTROL DE  
FILTRACIONES EN LA OBRA DE CONTROL - DIQUE  
BARRANQUERA -"**

**Alumnos:**

- ✓ *Amarilla, Roberto Antonio*
- ✓ *Núñez, Alan Guillermo*

**Año 2004**



## ***1.- Objetivos Generales.***

El control de los pasajes de agua del Río Negro atravesando por las defensas, sea durante la época de aguas bajas del Río Paraná o bien durante sus crecidas, se realizará a través del conjunto de obras de hormigón que está integrado principalmente por la Obra de Control y las Estaciones de Bombeo.

Mientras los niveles del Río Paraná se encuentren por debajo de la cota 48,00 m MOP, el Río Negro escurrirá por la Obra de Control que consta de vanos controlados por compuertas, las que se mantendrán abiertas para ese objeto. En caso que se supere la cota mencionada del Río Paraná, durante la época de crecidas, se procederá a cerrar las compuertas interrumpiendo el flujo de agua, tanto del escurrimiento del Río Negro como el ingreso de agua del Paraná.

Hacia agua arriba del Río Negro, los caudales se embalsarán en el recinto que forman las defensas existentes, el terreno natural, la ruta nacional n° 16 y por supuesto las defensas del presente proyecto, debiendo ser evacuadas a través de las defensas por medio de las Estaciones de Bombeo.

Para cumplir estas funciones básicas de control y de bombeo las obras civiles están provistas de un completo equipamiento hidroelectromecánico.

## ***2.- Disposición General de las Obras.***

El conjunto de obras de hormigón consta principalmente de la Obra de Control, ubicada en posición central, flanqueada por dos Estaciones de Bombeo ubicadas simétricamente a uno y otro lado de la misma. El conjunto se complementa con los muros de ala y el puente carretero de vinculación entre ambas márgenes. La relación entre Río Negro y las obras de control se produce por medio de los canales de aducción y descarga.

Las Estaciones de Bombeo están emplazadas al pie de los terraplenes de defensa del lado del recinto del Río Negro, con sus canales de aducción directos desde el río, mientras que la restitución se efectúa a través del canal de descarga de la Obra de Control.

El eje de las obras de hormigón, es decir el eje de izaje de las compuertas en la Obra de Control y el eje de las bombas en la Estación de Bombeo, se han dispuesto en una misma línea desplazada 31,00 m agua arriba del eje del terraplén de defensa.

Además de las estructuras de hormigón que constituyen la parte esencial del conjunto para el control hidráulico de los ríos, el proyecto incluye obras complementarias, a saber: los accesos viales, las playas de maniobra y áreas de estacionamiento y los edificios destinados a la operación y control del conjunto.

### **La Obra de Control.**

La Obra de Control propiamente dicha es una estructura de hormigón que consta de cuatro vanos de 6 m de ancho para el pasaje de agua, separados por pilas de 2 m de ancho. Cada vano será cerrado, entre el fondo y cota 50,50 m MOP, por medio de compuertas planas, para lo cual se han previsto recatas para su alojamiento. El cierre superior del vano, por encima de los 50,50 m, se efectúa por medio de una estructura de hormigón consistente en una losa donde se aloja el perfil para el cierre de dintel, que se complementa con un tabique que completa el cierre hasta el coronamiento de la obra. La losa servirá a su vez de plataforma de trabajo para la Inspección y el mantenimiento de las compuertas cuando se encuentren abiertas. La cota 50,50 se ha fijado para que, estando las compuertas abiertas quede por encima de la cota de agua 48 m (M.O.P.) un margen de 2,50 m para permitir la navegación con embarcaciones menores.

El largo total de la estructura, según el eje del escurrimiento, es de 23 m, mientras que su ancho, entre muros laterales, es de 30 m. Las cotas de las soleras de los vanos de pasaje de agua es de 43,00 m (M.O.P.). Todo el conjunto de las obras de hormigón apoya sobre un blanket de material cohesivo





## Las Estaciones de Bombeo.

Las obras civiles de las Estaciones de Bombeo están integradas por dos estructuras iguales, simétricamente ubicadas con respecto a la Obra de Control, una sobre cada canal de aducción.

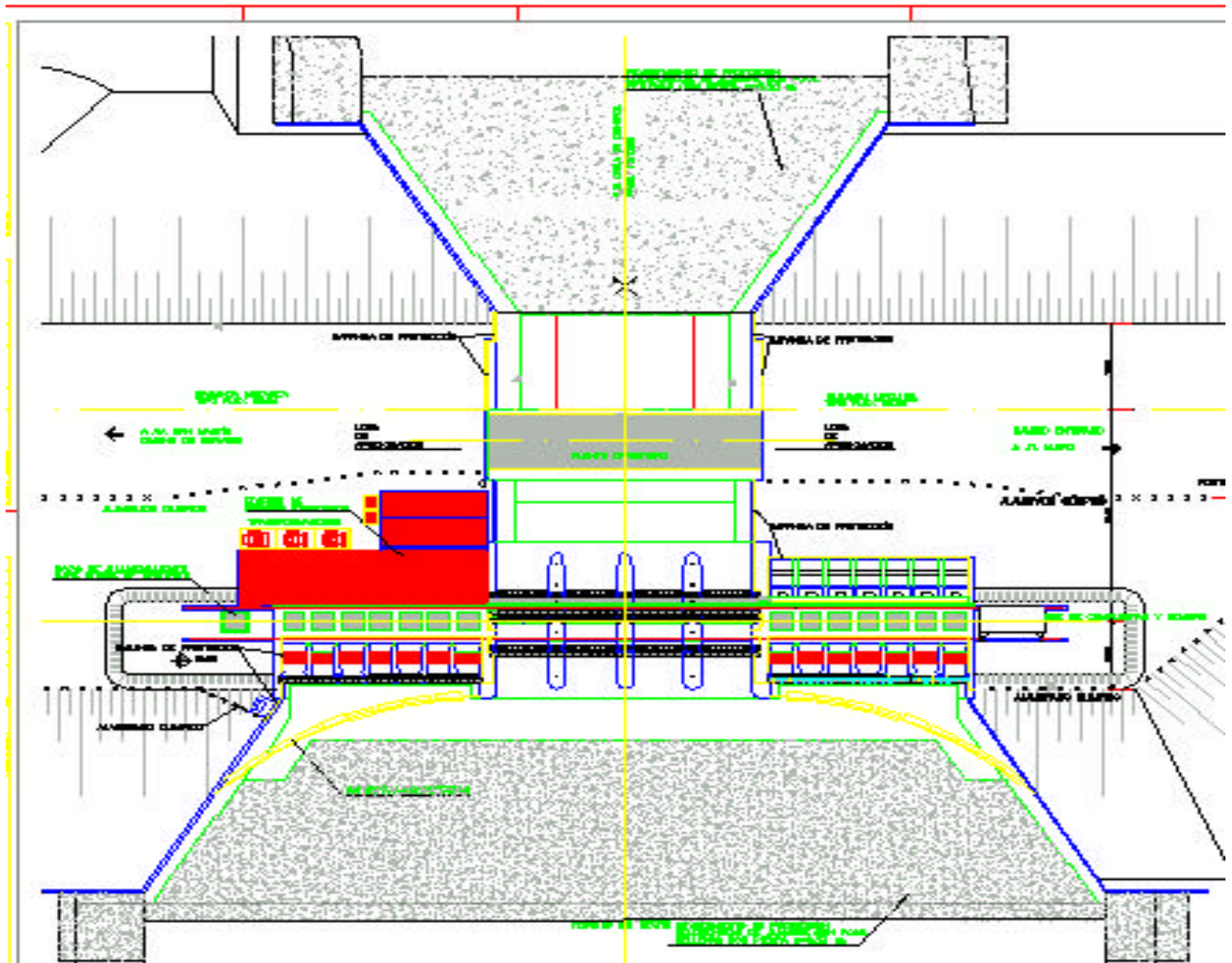
Con esta disposición cada una de las estaciones eroga hacia el canal de descarga la mitad del caudal de bombeo en cada instante ya que está previsto que las bombas entren sucesivamente en operaciones a pares integrados por una bomba de cada margen.

Cada una de las estructuras simétricas mide en planta 22 m en la dirección del escurrimiento y 24,40 m en dirección normal al mismo a la altura del coronamiento, y está integrada por siete recintos de bombas de 2,80 m de ancho cada uno, separados entre sí por tabiques de hormigón de 0,60 m de espesor. El tabique adyacente a la Obra de Control tiene el mismo espesor (0,60 m), y está separado de la pila lateral de aquella por una junta de 3 cm de apertura provista de water stops en ambos extremos. El extremo de aguas arriba de los tabiques tiene un ensanche con una configuración especial para permitir el alojamiento de las ataguías de mantenimiento.

El piso de la estación de bombeo está conformado por una losa de hormigón armado de 0,50 m de espesor vinculada estructuralmente a los tabiques; en correspondencia con cada tabique la losa lleva refuerzos que sirven de cabezales de los pilotes de fundación.

En la zona correspondiente al canal colector el piso tiene una ligera pendiente transversal hacia el eje longitudinal del canal.

La cara superior de la losa de piso está a cota 43,00 m a MOP unos 0,50 m por encima del nivel inferior del cauce, con el fin de evitar la formación de depresiones que facilitarían el atarquinamiento de la obra y la formación de carrizos.





## Fundación de las estructuras

Tanto el muro de fondo de las estaciones de bombeo, como los muros laterales extremos contra el terraplén y los muros de ala están fundados sobre una pantalla de hormigón colado in – situ que forman al mismo tiempo una barrera perimetral externa contra las filtraciones, y sobre una fila de pilotes de 0,80 m de diámetro ubicados interiormente y espaciados regularmente. A su vez los tabiques divisorios de los recintos de bombas y el tabique extremo adyacente a la obra de Control están fundados sobre filas de pilotes de 0,80 m de diámetro.

En todos los casos la pantalla y los pilotes se asientan en un estrato de arenas con gravas a cota 25,70 MOP y la profundidad varía entre 15,50 m y 16,50 m.

Los pilotes vinculados a las losas de fondo tienen en su extremo superior un collar – cabezal y están encamisados en dicho extremo mediante un cilindro metálico de 3 m de altura.

## Canales de Aducción y Descarga.

El ingreso del agua del Río Negro a la Obra de Control y a las Estaciones de Bombeo se produce por medio de un canal de aducción que conduce el agua a través de la obra de hormigón, pasa la sección de control escurriendo por los cuatro vanos de seis metros de ancho entre las pilas y continúa hacia el tramo inferior del cauce escurriendo entre los muros de ala y muros estribo que sirven de contención al terraplén de la defensa. A partir de la sección de control el canal se denomina canal de descarga.

## 3.- Fundaciones

### Ensayos realizados:

Los ensayos consistieron en la ejecución de sondeos geotécnicos y de ensayos de laboratorios de las muestras extraídas. Se realizaron 12 sondeos de acuerdo con el siguiente detalle.

Sondeo N°	Cotas (m)		Profundidad (m)
	Boca de sondeo	Fin de Sondeo	
1	47.38	20.25	27.13
2	47.5	20.39	27.11
3	47.36	18.21	29.15
4	47.67	19.31	28.36
5	47.6	18.45	29.15
6	46.24	18.82	27.42
7	47.48	20.06	27.42
8	47.35	12.28	35.07
9	47.64	12.59	35.05
10	47.46	19.11	28.35
11	47.52	18.29	29.23
12	47.47	20.33	27.14



### Descripción de los ensayos:

- a) Ensayo de penetración cada metro de avance mediante la inca de un saca muestra provisto de zapatas de pared delgada. El numero de golpes N necesario para hacer penetrar en un suelo no alterado por el avance de la perforación con una energía de 49 Kgm constituye una valoración cuantitativa de la compacidad relativa de los diferentes estratos atravesados.
- b) Recuperación de muestras representativas del suelo, identificación y acondicionamiento en recipientes herméticos para conservar inalteradas sus condiciones naturales de estructura y humedad.
- c) Delimitación de la secuencia y espesor de los diferentes estratos por reconocimiento Tacto – Visual de los suelos extraídos.
- d) Medición del nivel de aguas subterráneas.





### **Ensayos de laboratorio:**

Las muestras fueron sometidas a los siguientes ensayos de laboratorio:

- a) Contenido natural de humedad referido al peso del suelo secado en estufa secado a 110° C.
- b) Límites de Aterberg líquido y plástico.
- c) Delimitación de la fracción de limos y arcillas por lavado sobre tamiz 200.
- d) Clasificación de los suelos por textura y plasticidad conforme al sistema unificado de Casagrande.
- e) Observación macroscópica de las muestras: color, textura, concreciones calcáreas, materias orgánicas, óxidos, etc.

Sobre muestras típicas de suelos cohesivos se realizaron ensayos de compresión triaxial de etapas múltiples, midiéndose los parámetros de corte ( ) y cohesión  $C_u$ , en condición de drenaje impedido.

### **Resultados**

El perfil geotécnico en el subsuelo en el sitio de la obra se describe a continuación:

- a) Hasta los 6 - 9 metros de profundidad, se encuentran los suelos cohesivos y arenosos de consistencia y compacidad medias.
- b) Entre 6 - 9 metros y 18 - 20 de profundidad se detectaron arenas de compacidad variable (entre medias y densas)
- c) Por debajo de los 18 – 20 metros de profundidad hay arenas muy densas.

En algunos sondeos se detectó una capa de suelos arcillosos de consistencia variable entre firme y dura de un espesor del orden de 1 a 2 metros comprendidas entre los 24 y 29 metros de profundidad.

La presencia de esta capa arcillosa condiciona la longitud de las fundaciones indirectas. En efecto, si bien las fundaciones con cargas moderadas pueden tener su punta por encima de las arcillas, los pilotes con cargas importantes deberán necesariamente prolongarse por debajo de las mismas.



### Parámetros y criterios utilizados para el diseño de pilotes

- Relación  $L/D > 10$  (longitud sobre diámetro de pilote o espesor de pantalla según el caso)
- Tensiones admisibles de fricción Hormigón – Suelo:

Cota (m)	Fricción Admisible
42 a 39 _____	1 Tn/m <sup>2</sup>
39 a 28 _____	2 Tn/m <sup>2</sup>
< a 28 _____	3 Tn/m <sup>2</sup>

- Tensiones admisibles de punta:

Pilotes hasta 1 metro de diámetro a cota 25,70m \_\_\_\_\_ 150 Tn/m<sup>2</sup>

Pilotes con punta por debajo de cota 18 \_\_\_\_\_ 300 Tn/m<sup>2</sup>

Pantalla a cota 25,70 \_\_\_\_\_ 100 Tn/m<sup>2</sup>

- Coeficiente de reacción horizontal  $K_h$ :

Cota (m)                       $K_h$  (Kg/cm<sup>3</sup>/m de prof)

42 a 39 \_\_\_\_\_ 0.1

39 a 28 \_\_\_\_\_ 0.2

< a 28 \_\_\_\_\_ 0.4





## 4.- Ejecución de los pilotes

### Características generales:

La perforación de los pilotes se realizó con equipos rotativos montados sobre grúas de gran porte la ejecución de pilote propiamente dicho se realizó mediante la siguiente secuencia de tareas:

- Replanteo del centro
- Antepozo o instalación de brocal.
- Perforación del suelo.
- Instalación de las armaduras.
- Colocación de las camisas metálicas.
- Colado del hormigón.

### Replanteo del centro.

Se realizó topográficamente utilizando puntos fijos de referencia previamente identificados y de coordenadas conocidas. La posición de cada pilote fue marcada en el terreno natural por medio de estacas o de pintura.

### Antepozo e instalación del brocal.

Previo al inicio de la perforación misma, se realizó con el Bucket de perforación un antepozo a efectos de poseer una alineación de inicio de la perforación, luego se avanzó en profundidad 1 o 2 metros y se colocó una camisa corta o brocal para dar confinamiento al terreno superior durante la perforación a fin de evitar desmoronamientos que afecten la posición del pilote. El diámetro del brocal utilizado fue ligeramente mayor al diámetro del pilote a ejecutar.



### Perforación del suelo.

Una vez colocado el brocal se continuó con la perforación con el equipo rotativo SOIL MEC RT3 montado sobre una grúa sobre orugas (30 a 45 tn de cap)

Esta rotary genera una rotación del hasta de perforación en cuyo extremo inferior se aloja el bucket. El avance en profundidad se logra por medio de un empuje hidráulico vertical cuyo dispositivo se aloja en la parte superior de dicha rotary.



Esta perforación se ejecutó hasta llegar a la cota de punta indicada en planos de proyecto en presencia de lodo bentonítico, previamente preparado y madurado. La verticalidad de la perforación se controló midiendo con plomada el cable o hasta de la rotary de perforación. El fondo de la perforación se limpió con el bucket.

El suelo proveniente de la perforación se cargó sobre camiones, llevándolo a un lugar retirado de la zona de trabajo en un sitio de depósito habilitado, los camiones se cargaron con palas mecánicas tratándose siempre de dejar limpia la zona de trabajo.

Pelotera empleada (a la izquierda armadura en colocación)



Brocal empleado en la excavación



Piletones de lodo bentonítico



Equipo mezclador de lodo bentonítico



### Colocación de la camisa metálica y armaduras

La colocación de las camisas metálicas y armaduras se realizó con una grúa de servicio también sobre orugas de 30 a 45 tn de capacidad. La camisa se colocó unida al último tramo de la armadura, a su vez la armadura se colocó en tramos. El primer tramo es descendido dentro de la perforación llena de lodo bentonítico y sujetado en el lugar por medio de vivas cruzadas dispuestas sobre el brocal, luego la grúa toma el siguiente tramo a instalar y las barras son empalmadas por medio de soldaduras.



### Colado del hormigón

Se llevo a cabo inmediatamente después de la colocación de la armadura, el colado de hormigón se realizo con el mismo equipo de servicio utilizado para las armaduras, el hormigón se colocó con el método de tubo contractor con un diámetro de tubo mínimo de 200 mm. Se colocó la plataforma de hormigonado y luego se instalo la batería de tubos contractor en cantidad suficiente hasta alcanzar la profundidad de perforación. Se verifico que el extremo inferior del tubo de colado no haya quedado a mas de 200 mm del fondo de la excavación a fin de evitar que queden restos de lodos y/o arenas, además durante todo el hormigonado también se verificó la permanencia del tubo dentro del hormigón fresco en unos 2 metros aproximadamente. El colado se realizo por gravedad directamente desde el mixer.



### Control y aseguramiento de calidad

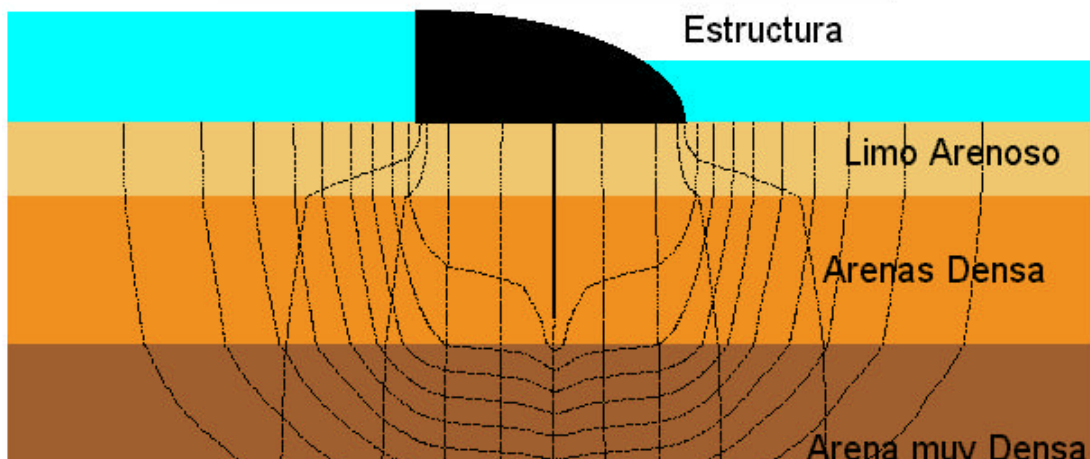
El control de hormigonado se realizo por comparacion entre el volumen teorico y el volumen vertido.

## 5.- Control de filtraciones

### Identificación de los lugares potenciales de infiltración.

- Debajo de la estructura: uno de los lugares a tener en cuenta para el control de las infiltraciones, es entre el suelo de fundación y la losa de Hormigón de la solera del canal del dique, estas líneas de filtración deberán ser controladas para evitar socavaciones.
- Entre los muros de sostenimiento y el terraplén de defensa: en este lugar se genera un plano de discontinuidad por diferencia de materiales (hormigón – suelo cohesivo) y además el gradiente hidráulico ayuda a la formación de líneas de filtración.

### FILTRACION BAJO LA ESTRUCTURA





## Soluciones para el control de las líneas de filtración.

A fin de minimizar los efectos producidos por las filtraciones se recurrió a distintas soluciones:

### Debajo de la losa de solera:

- Pantalla de hormigón armado.
- Blanquet de suelo - cal.

### Entre los muros de sostenimiento y el terraplén de defensa.

- Suelo cohesivo compactado.

## 6.- Pantalla de hormigón armado: Técnica constructiva.

### Generalidades:

La excavación de la trinchera de la pantalla se realizó por paneles alternados, primarios y secundarios; los paneles primarios se ejecutaron alternados en una primera etapa y los secundarios en una segunda etapa intermedios a los anteriores.

### Técnica Constructiva:

- Replanteo
- Muro guía
- Excavación de la trinchera de la pantalla
- Colocación de juntas metálicas y de armadura
- Hormigonado
- Retiro de las juntas metálicas



### Replanteo

El primer replanteo fue el de los muretes de guía, se realizó topográficamente usando puntos fijos. En el replanteo también se señalizó con marcaciones las progresivas de inicio y de fin de cada de primario y secundario.

### Muro guía

Se construyó un muro guía previo a comenzar la excavación con el fin de otorgar alineación y confinamiento del terreno superior durante la excavación. Se construyó este muro guía a ambos lados del eje de la pared moldeada con una separación de cinco centímetros de cada lado para facilitar el ingreso de la cuchara bivalva.



### Excavación de la trinchera de la pantalla

La excavación se realizó con un equipo tipo “Kelly telescópico hidráulico BPH-N” y una cuchara bivalva. La excavación de la trinchera se realizó por paneles alternados de 2,5 m de ancho, el equipo se niveló con nivel de mano y el asta del mismo por medio de plomada sobre trípode.

El fondo de la excavación se limpió con la cuchara bivalva, además el suelo proveniente de la excavación se retiró del lugar por medio de camiones lejos de la zona de trabajo, siendo cargado los camiones con palas mecánicas.

El lodo bentonítico utilizado en la excavación fue de una densidad de 1,03 y 1,2 kg/cm<sup>3</sup> con una proporción de una bolsa de 40 Kg de bentonita en 1000 lts de agua.

Una vez finalizada la excavación se verificó la cota de fundación con sonda y se procedió al desarenado del lodo con un desarenador tipo SOTRES, el porcentaje de arena exigido era menor al 3%.





## Colocación de juntas metálicas y de armadura

Las juntas metálicas tienen una configuración especial de su sección transversal de manera tal que permiten una superficie de contacto con los otros paneles tal que su encuentro sean estancos, la incorporación de las guías se hacen por tramos. Además las mismas sirven de guías para la ejecución del panel adyacente.

La armadura consta de dos jaulas metálicas construidas para ser colocadas y empalmadas en dos etapas, en la primera etapa se coloca el primer tramo de armadura dejándola suspendida en la parte superior de la trinchera por medio de vigas a modo de trabas, luego en la segunda etapa se acopla el tramo faltante de armadura vinculándolo al primero por medio de soldadura, finalmente se procede a la introducción total de los tramos.



## Hormigonado

El hormigonado se efectuó inmediatamente después de terminada la colocación de la armadura, el mismo se realizó por medio de un tubo contructor, se dispusieron las mismas especificaciones empleadas para el hormigonado de los pilotes.

Luego de terminado el hormigonado hasta la cota de enrase (-42 m) se completó la excavación con un material tipo arena-cemento, para tener una referencia para la excavación de los paneles siguientes y para generar una pared de contención del lodo bentonítico.



## **Retiro de las juntas metálicas**

El retiro de las juntas se realizó en la fase final del fraguado del hormigón, mediante extractores hidráulicos, se realizaron extracciones parciales a fin de romper la adherencia tubo-hormigón.

Nota: el control de la continuidad de los paneles como de los pilotes se realizó por medición de volúmenes, es decir se midió el volumen incorporado al excavación (volumen real), y se lo comparó con el volumen de la misma (volumen teórico).

## **7.- Blanquet de suelo - cal.**

Sobre el perfil de excavación para la fundación de las obras componentes de H° A° de la Obra de Control, Muros de Ala, estaciones de Bombeo, Plateas de H° A°, canales de Acceso y de Fuga, va colocada en toda su extensión y con continuidad una capa de blanket de material cohesivo de unos 2,00 m promedio de espesor.

### **Generalidades**

En las zonas afectadas los materiales fueron: desparramados, humedecidos, escarificados, y perfilados de forma de plasmar una capa de blanket que tenga la cualidad de densidad, resistencia, permeabilidad y durabilidad requerida.

### **Equipos de compactación y riego**

Para la compactación del material cohesivo se utilizaron rodillos "pata de cabra" de características adecuadas para lograr una densidad del 98% del Proctor Standard. Donde no fue posible su utilización, es decir próximo a estructuras de hormigón armado, se utilizaron compactadores especiales de tipo liviano, con compactador mecánico o vibratorio, tal que se produzca la densidad requerida.

### **Requerimientos específicos para los materiales**

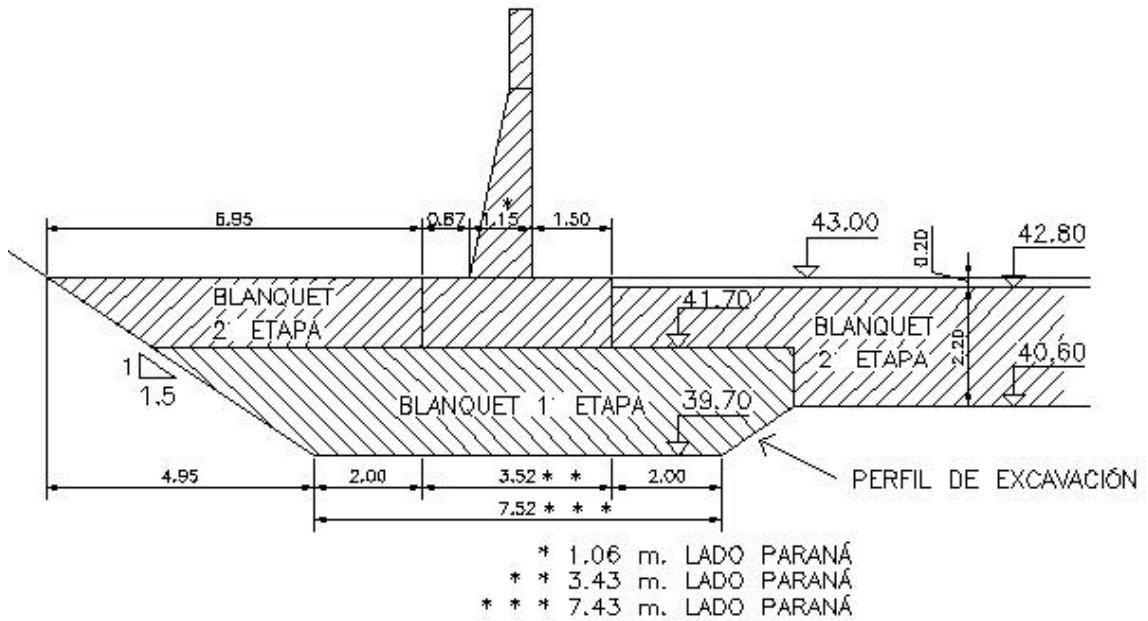
El material cohesivo a utilizado fue arcilla inorgánica proveniente de los acopios de excavaciones ejecutadas en la zona del recinto estanco y cumple los siguientes requisitos:

- ✓ No contiene terrones ni partículas mayores de 50 mm.
- ✓ El porcentaje en peso pasante por el tamiz N° 200 (0,074 mm) fue igual o superior al 85 %.
- ✓ Condición de dispersividad:  
Se utilizó material cohesivo con condiciones de dispersividad. En consecuencia se lo trató con un dosaje del 3% del peso en cal.

El material se colocó en capas de espesor uniforme, tal que una vez compactadas no superen los quince (15) centímetros. La humedad de compactación fue obtenida en el acopio debiendo reducirse al mínimo la entrega de humedad adicional. La humedad se especifica entre 1 y 3 puntos sobre la óptima, valor que debió mantenerse uniformemente distribuido durante todo el



proceso de compactación, el cual se consideró terminado para densidades mayores del noventa y ocho por ciento (98%) de la densidad Proctor Standard.



Colocación del water Stop para asegurar la estanqueidad entre las juntas







Equipo de compactación liviano

