

XX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

GESTION DE RECURSOS HÍDRICOS EN UNA CUENCA AFLUENTE DEL RIO PARANA. ARROYO AGUAPEY

WATER RESOURCES MANAGEMENT IN A AFFLUENT BASIN OF THE PARANA RIVER. AGUAPEY STREAM

Ing. Hugo Laterza
Entidad Binacional Yacyretá – EBY

RESUMEN – En este trabajo se describen aspectos relacionados a la gestión de un afluente del río Paraná, beneficios, diseño y construcción de las obras de defensa realizadas por Yacyretá. Las obras de protección del valle del Arroyo Aguapey forman parte del conjunto de obras complementarias del Complejo Hidroeléctrico Yacyretá. Su objetivo es el de proteger de la inundación del embalse una superficie de 480 km² del valle del arroyo Aguapey, las cuales son áreas productivas utilizadas principalmente para la agricultura y la ganadería. Estas obras comprenden: una presa de tierra de contención de 4,25 km de longitud, localizada en la cercanía de la desembocadura del arroyo Aguapey al río Paraná, y un canal de enlace de 12,5 km de longitud, para derivar las aguas del arroyo al canal de pie de la Presa Lateral Derecha del embalse Yacyretá y, a través de éste, nuevamente al Brazo Aña Cuá del Río Paraná, aguas abajo del embalse.

ABSTRACT – In this paper we describe aspects related to the management of a tributary of the Paraná river, benefits, design and construction of defense works carried out by Yacyretá. The protection works for the Aguapey creek valley are part of the complementary works for the Yacyretá Hydroelectrical Complex. His objective is to protect from the flooding of the reservoir a surface of 480 km² of the brook's valley Aguapey, which as productive areas are used principally for the agriculture and the cattle raising. The works comprises a 4,25 km long earth dam to be erected close to the junction of Aguapey creek and the Paraná River, and a 12,5 km long channel used to divert the creek into the right lateral dam to channel of the Yacyretá reservoir. This channel conveys the water to the Aña Cuá branch, downstream of the reservoir.

Palabras – Clave: Gestión de Recursos Hídricos; Protección de la inundación de áreas productivas.

Keywords: Water Resorces Management; Protection of flooding of productive areas.

1- UBICACIÓN DE LAS OBRAS

Las Obras se ubican en la margen paraguaya del Río Paraná a la altura del Arroyo Aguapey, tal como se muestra en la Figura 1. Se encuentran aproximadamente a 60 km de la ciudad de Encarnación, a 20 km de la ciudad de Cnel. Bogado y en las inmediaciones de la ciudad de San Cosme, punto terminal de la presa principal en la margen derecha.

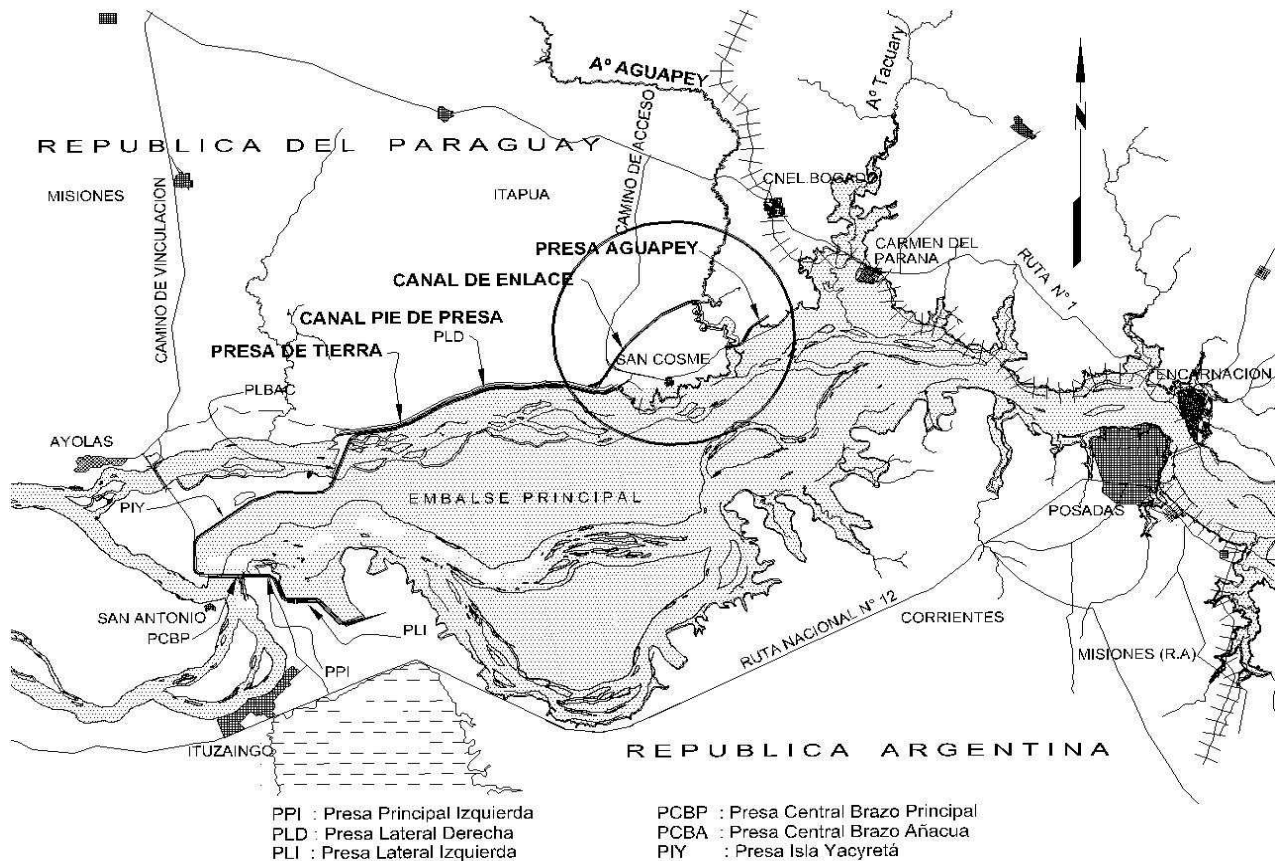


Figura 1 - Ubicación de las obras

2- PROTECCION DEL VALLE DEL ARROYO AGUAPEY

Para evitar que el embalse de Yacyretá inunde el valle del Arroyo Aguapey, se ha previsto la construcción de una presa de contención de 4,25 km de longitud, localizada en la cercanía de su desembocadura al río Paraná, y un Canal de Enlace de 12,5 km de longitud, para derivar las aguas del arroyo al Canal de pie de la presa lateral derecha del embalse principal y, a través de éste, nuevamente al Brazo Aña Cuá, aguas abajo del mencionado embalse, a fin de evacuar las crecidas y lograr un grado de protección adecuado de la cuenca.

Así se protegerán aproximadamente 48.000 ha. de alta productividad, se ahorrará la relocalización de residentes, se evitará la relocalización de la Ruta N° 1 en el valle de este arroyo, como también la de las líneas de transmisión eléctrica y de un tramo de la vía férrea Asunción-Encarnación.

La cuenca del Arroyo Aguapey tiene un área de 1.650 km² y una precipitación media anual de 1.700 mm.

3- BENEFICIOS

- **Ambiental:**
Protección de 48.000 Ha de áreas inundables (hasta cota 84.00 m.s.n.m).
Protección de especies animales en peligro de extinción.
Preservación de hábitats naturales del valle.
Preservación del escurrimiento natural del arroyo.
- **Económico:**
Conservación de áreas de muy alta productividad agrícola.
- **Social:**
Mantenimiento de fuentes laborales agrícolas y ganaderas.
- **Legal:**
Cumplimiento del Tratado de Yacyretá y de Notas reversales.

4- DISEÑO DE LA PRESA AGUAPEY

La presa de contención, denominada Presa Aguapey, tiene un volumen de relleno del orden de 1,8 millones de m³, con el cuerpo de arena y núcleo inclinado de arcilla, "blanket" aguas arriba, protecciones de enrocado y dos ataguías de materiales sueltos incorporadas a la presa. Figura 3.

Debido a la operación a cota reducida del embalse de Yacyretá y para evitar la construcción bajo agua se planteó la alternativa de construir anticipadamente las dos ataguías de arcilla compactada (obras preliminares) que luego se incorporaron al cuerpo de la presa formando una única estructura de tierra. Figura 2.

Otro elemento significativo del diseño de la presa que merece destacar es la construcción del blanket de "aguas arriba", solamente revolviendo y re compactando "in-situ" el suelo superficial original sin necesidad de la colocación de una capa especial de arcilla compactada de 1 m de espesor como se había planteado inicialmente.



Figura 2 – Fotografías - Ataguías permanentes y temporarias

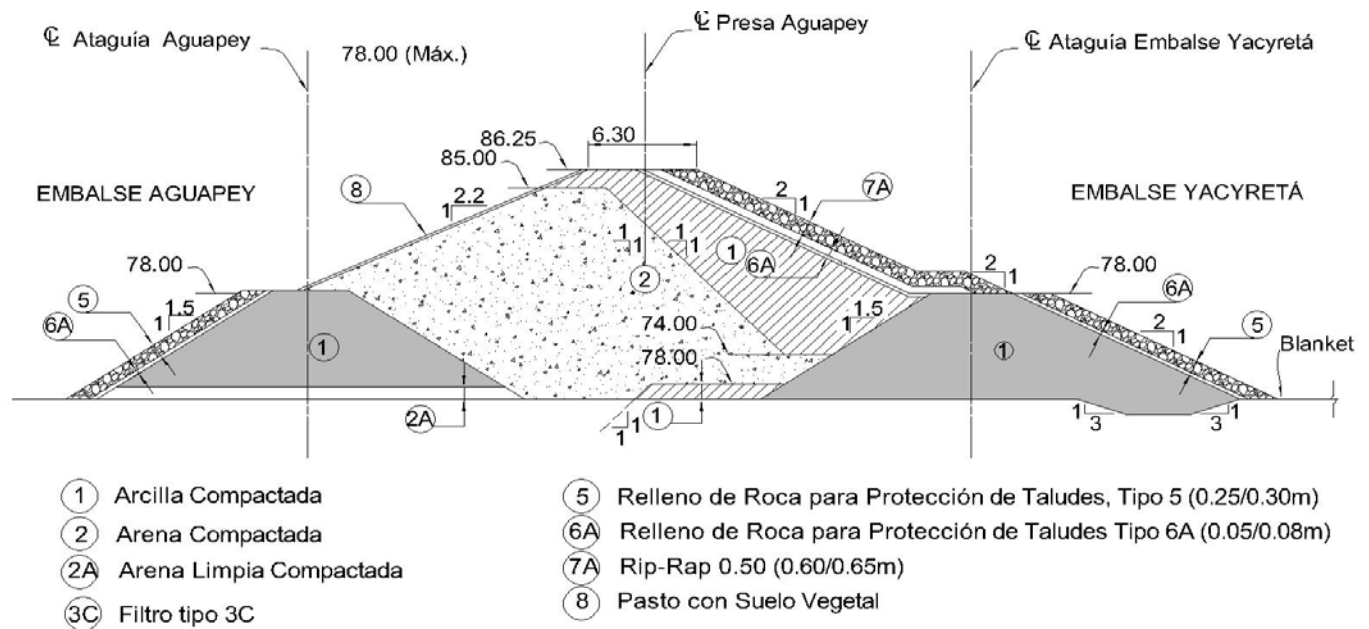


Figura 3 – Presa Aguapey – Sección Típica

Geología y Condiciones de Fundación

En resumen, la geología del área está constituida por basalto de la formación Alto Paraná (Serra Geral), que conforma el macizo rocoso, habiéndose detectado también en la zona areniscas de la formación San Cosme.

El valle del arroyo, en el emplazamiento de la presa, está constituido por la planicie de inundación de unos tres kilómetros de ancho, bien definido por las lomadas suaves adyacentes.

Un paleo cauce ha sido puesto de manifiesto en la planicie de inundación, con unos 25 m de profundidad, rellenos con sedimentos arenosos, niveles inferiores ocasionales de grava arenosa y lentes de arcillas aleatoriamente distribuidos.

Las condiciones de fundación de la presa pueden resumirse del siguiente modo:

- Techo de la roca: Se considera como tal al techo del basalto, ya que los niveles de areniscas no serían continuos. En los estribos se hallan a cota 70/72 para descender en el paleo cauce hasta la cota 42.

- Cubierta de suelos: Está constituida por el suelo vegetal de 0,30 a 0,40 m de espesor, arcillas aluviales y residuales hacia los estribos, y suelos granulares (arenas y arenas gravosas) con intercalaciones de arcilla en el paleo cauce, de hasta 25 m de profundidad.

Diseño adoptado

Se estudiaron básicamente tres alternativas. Debido a las ventajas económicas y programáticas de utilización de la arena en el cuerpo de la presa, la sección técnico - económica más conveniente ha sido la que incluye como cuerpo principal de la presa la arena compactada (T2) y núcleo impermeable de arcilla compactada (T1) dentro del espaldón de aguas arriba. La sección típica con núcleo interno de arcilla (T1) es también factible; pero se consideró preferible no dividir en mayor número de zonas el cuerpo de la presa.

Sobre la sección adoptada se efectuó el diseño de las obras anticipadas (ataguías). Figuras 2 y 3.

Control de filtraciones

En el cuerpo de la presa el control de filtraciones se efectúa por medio del núcleo impermeable, el cuerpo arenoso y el filtro horizontal de arenas limpias tipo 2A.

En las zonas del paleo cauce y del valle, el control de filtración a través de la fundación se efectúa con un "blanket" de aguas arriba, consistente simplemente en revolver y re compactar "in-situ" la capa superficial del terreno natural, con excepción del cauce donde se rellenó totalmente de arcilla compactada.

Este "blanket" que ya ha sido construido dentro de las obras preliminares, se prolongó dentro del cuerpo de la presa a los efectos de alargar las líneas de flujo. La longitud de este tratamiento (blanket) se ha diseñado partiendo de una longitud $L = 10H + 20$ m, donde L es la longitud del blanket y H la carga hidráulica. La efectividad del blanket se verifica fácilmente con los instrumentos de auscultación. Con la operación a cota reducida, se consideró que el efecto del agua sucia del mismo embalse favorecería el sellado del blanket con los limos y arcillas coloidales que se habrían ido depositando sobre el mismo. Al pie aguas abajo se incluyen pozos de alivio como segunda línea de defensa.

Estabilidad de Taludes – Parámetros de Diseño

El perfil simplificado de la sección del valle de inundación del Arroyo Aguapey consiste en 2 m de arcilla aluvial sobre yaciendo a un espesor importante de arenas limpias a limosas y/o arcillosas.

La arcilla aluvial en general es de consistencia blanda a medianamente firme y fue tratada durante la construcción de las obras preliminares para aumentar su consistencia. Las ataguías de arcilla construidas durante esa etapa han agregado una carga de hasta 7 m de relleno a la fundación de las mismas que junto al filtro en la base de la ataguía de aguas abajo y el transcurrir del tiempo ayuda a consolidarla aumentando la consistencia y mejorando los parámetros vinculados a la resistencia al corte.

La estabilidad de los taludes de la Presa de Aguapey está gobernada principalmente por la resistencia al corte de la arcilla aluvial superficial. En base a múltiples ensayos realizados y el tiempo transcurrido desde la ejecución de las ataguías se adoptó como parámetros de diseño de verificación mediante el software Slope/W una cohesión de $0,1 \text{ kg/cm}^2$ y un ángulo de fricción de 23° para condiciones consolidadas y drenadas, densidad de $1,8 \text{ t/m}^3$. Se obtuvieron factores de seguridad del orden de 1,45 para el estado denominado flujo permanente. También se realizaron cálculos de sensibilidad a la variación de la cohesión observándose, como era de esperar, para presas de baja altura, la importante influencia de este parámetro en los factores de seguridad. Los parámetros utilizados fueron reconfirmados mediante ensayos especiales ejecutados durante la construcción del cuerpo de la presa.

Protección de taludes Aguas arriba (Embalse Yacyretá)

Para el talud de 2H:1V propuesto y la altura significativa de olas, con embalse a cota 82, del orden de los 2,2 m (100 años de recurrencia), el Rip-Rap requerido fué del Tipo 7A. El tamaño medio D50 del Rip-Rap tipo 7A es de unos 60 a 65 cm.

5- CANAL DE ENLACE Y CANAL DE PIE DE PRESA.

El diseño de los canales se realizó en base a pautas indicadas por Yacyretá que impuso que el nivel de inundación en el Valle del Arroyo Aguapey no sobrepase la cota 78 con una recurrencia promedio de cien años.

Se consideró prudente utilizar una sección compuesta, con un canal piloto de sección trapezoidal para evacuar crecidas de 2 años de períodos de recurrencia con un caudal de $130 \text{ m}^3/\text{s}$ y un nivel de berma con sección ampliada para evacuar la crecidas de hasta 1000 años de periodo de retorno, con un caudal de $700 \text{ m}^3/\text{s}$.

Canal de Enlace

El Canal de enlace arranca a cota 71, con pendiente del 0,00018 para alcanzar la cota 68,72 en el encuentro con el Canal de Drenaje de la PLD que, con pendiente del 0,00012, finaliza a cota 66 junto a la Estructura de Entrega. En el Canal de enlace, el canal piloto resultó con un ancho de fondo de 21 m. Ver Figuras 4 y 5.

El canal de enlace, con un volumen del orden de 12 millones de m³, se excavará mayormente en arena y arcilla y en menor proporción en roca. Para el caso de las secciones excavadas en roca, se adoptó una sección trapecial simple, con un ancho de fondo de 25 m y taludes laterales 6V:1H.

Canal a Pie de Presa Lateral Derecha

Para restablecer el drenaje de esta área se excavó un canal piloto dentro de la zanja de préstamo de la Presa Lateral Derecha, el cual conjuntamente con esta última constituyen el gran colector, o simplemente Canal de Drenaje, para interceptar y reorientar el flujo hasta el Brazo Aña-Cuá aguas abajo del embalse de Yacyretá. Figura 5. Una Estructura de Entrega de hormigón y enrocado localizada en el extremo aguas abajo del canal restituye al Brazo Aña Cuá del río Paraná los aportes drenados. Figura 4.

El Canal Piloto tiene una sección trapecialoidal y se localiza en el extremo aguas abajo de la zanja de préstamo de la Presa Lateral Derecha. Su longitud total aproximada es de 25,4 km. Sus taludes son de 1V:2,5H y su ancho de fondo de 18,0 m. Tiene un revestimiento de enrocado de 0,40 m de espesor. El mismo se extiende en unos 3,0 m por sobre la zanja de préstamo para proteger la transición canal-fondo de préstamo.

La zanja de préstamo constituye la expansión del canal piloto para evacuar crecidas con período de retorno superiores a 2 años. Los fondos y taludes se protegen con suelo vegetal y pasto.

Los caudales de aporte del arroyo Aguapey serán derivados a este Canal de Drenaje por medio del Canal de enlace de 12,5 km de longitud. Figura 4.

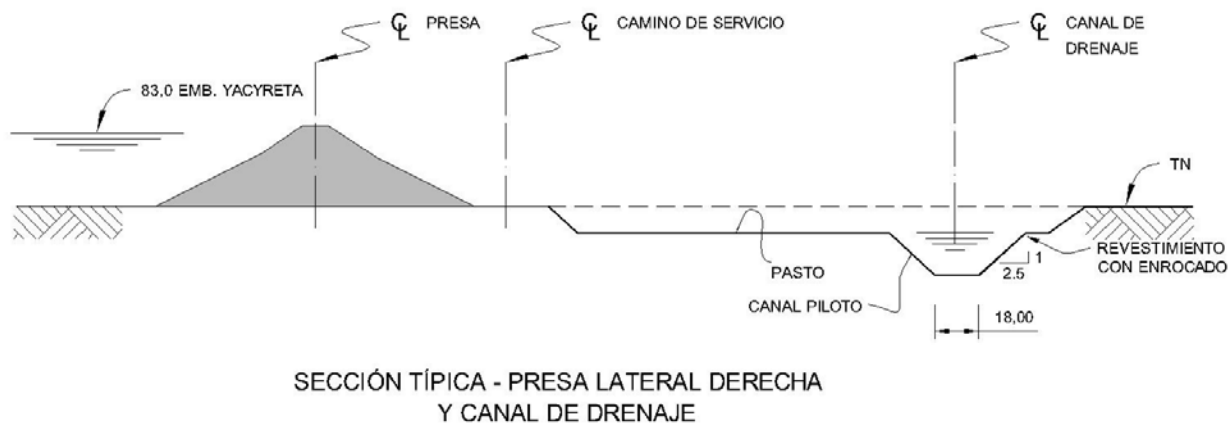


Figura 4 – Canal de Drenaje

Protección de los canales

Las protecciones de enrocado del fondo y de los taludes del canal piloto correspondiente al canal de enlace de Aguapey y al Canal de drenaje de la PLD fueron diseñadas en función a las velocidades estimadas. Se fijó para los taludes laterales, una pendiente de 2,5H:1V.

En cuanto a las velocidades, en el canal piloto, en general no se superan los 2,2 m/s; sobre la berma 0,8 m/s. En condiciones normales todas estas velocidades disminuyen drásticamente.

Tanto la zanja de préstamo de la PLD como la zona superior a la parte revestida del Canal de Enlace se inundan para caudales mayores a dos años de recurrencia. En el Canal de enlace, en correspondencia con

este nivel, se ha colocado una berma de 4 m de ancho a ambos lados del canal, para facilitar el acceso y la inspección de los revestimientos. A partir de este nivel la pendiente lateral se mantuvo en 3H:1V, la cual se recubre con suelo vegetal y pasto. Figura 5.

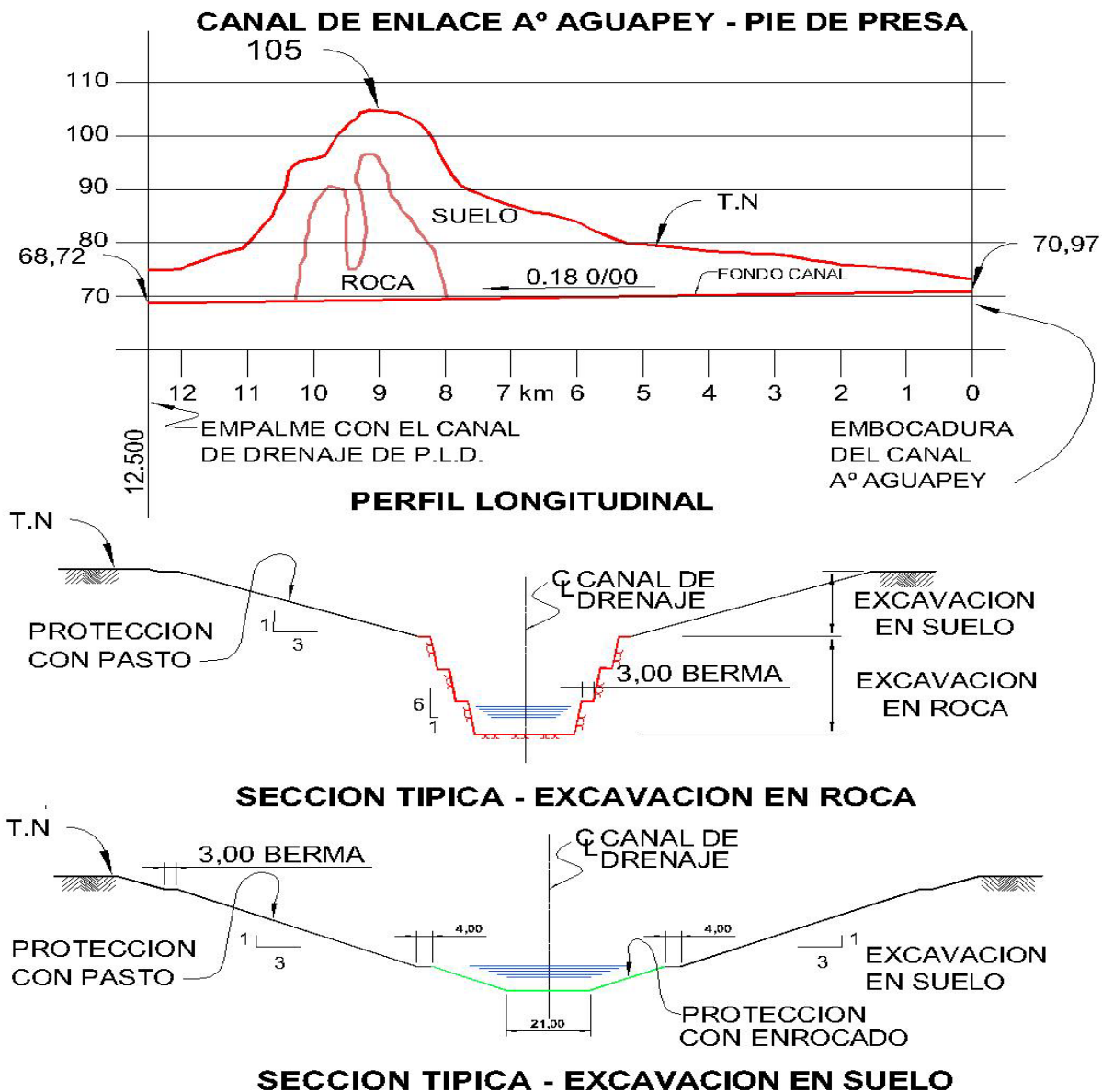


Figura N° 5 – Perfil Longitudinal – Sección Típica

6- ESTRUCTURA DE ENTREGA

La Estructura de Entrega tiene como función restituir al Brazo Aña-Cuá en forma ordenada los caudales provenientes del Arroyo Aguapey y de las llanuras ubicadas al norte de la PLD. Fue construida con las Obras Principales de Yacyretá.

Por medio de esta estructura, el desnivel total de 7 m existente entre el extremo aguas abajo del Canal de Drenaje de la PLD y el Brazo Aña-Cuá se salva en dos etapas: En la primera, con un azud de

hormigón, cuyo volumen es de 10.500 m^3 , mientras que en la segunda con un azud de enrocado de ancho considerablemente mayor. Figura 6.

El desnivel de 7 m puede oscilar entre 3 y 11 m dependiendo de las condiciones hidrológicas que se registren.



Figura 6 - Estructura de Entrega y Canal de Drenaje PLD - Vista

7- OBRAS COMPLEMENTARIAS

El proyecto de protección del valle del Arroyo Aguapey se complementó con:

- Una Toma de riego de $5 \text{ m}^3/\text{s}$ en el extremo este de la Presa Aguapey.
- Un Puente Canal, que permite el cruce del Canal de enlace con el Canal troncal del sistema de irrigación permanente de la Toma de Riego ubicada en la Presa Lateral Derecha.
- Una Estructura de Control con Puente y Relocalización de la Ruta 5B.

8- OBRAS PRELIMINARES

Con el objetivo de posibilitar la construcción en seco de la Presa Aguapey y del Canal de enlace y teniendo en cuenta la operación a cota reducida de Yacyretá, una parte de las mismas ya ha sido construida anticipadamente. Figura 2. La misma incluyó:

Como parte de la Presa:

- Un volumen colocado de relleno de unos 400.000 m^3 .
- Construcción de las dos ataguías hasta la cota 78, a ser incorporadas al cuerpo de la presa, y el blanket correspondiente de aguas arriba.
- Construcción de un canal de desvío temporario del arroyo Aguapey.
- Puente de servicio sobre el canal de desvío.
- Acopio de 500.000 m^3 de arena en la margen izquierda para la construcción de la presa.

Como parte del Canal de enlace:

- Construcción de 1500 m de los 12,5 km de canal previsto.

9- CONCLUSIONES

Los canales que encauzan el agua del arroyo Aguapey aguas abajo del embalse de Yacyretá son: I) Canal de Enlace: 12,5 Km; II) Canal de Drenaje al Pie de la Presa Lateral Derecha: 25,4 km; con lo cual se totaliza una longitud de 37,9 km, con capacidad de evacuación de crecidas de $700 \text{ m}^3/\text{s}$ para una recurrencia de 1.000 años; con lo cual se protegieron 48.000 hectáreas de productividad agrícola y ganadera.