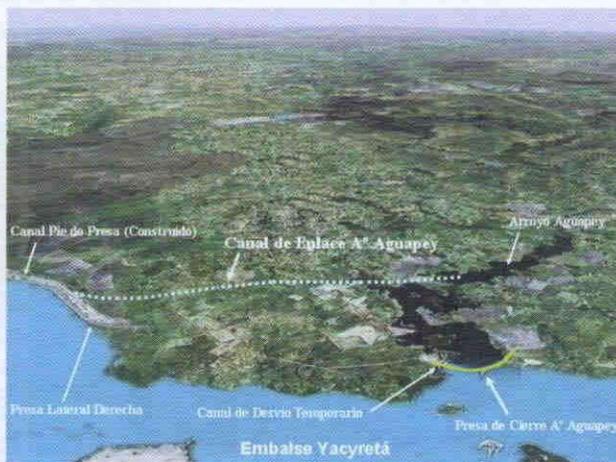


COMPLEJO HIDROELÉCTRICO YACYRETÁ

OBRAS DE PROTECCIÓN DE LA CUENCA DEL ARROYO AGUAPEY



Continuando con nuestro primer artículo publicado en la pasada edición del Boletín CPIC, escribo estas líneas para dar a conocer el proyecto "Aguapey I y II" en los cuales estamos interviniendo asociados con otras firmas, contratados por la Entidad Binacional Yacyretá. Para aquellos que no han leído mi primer artículo, incluyo en él una breve introducción para la mejor comprensión de las obras. La protección de la cuenca del Arroyo Aguapey es una de las principales obras del Plan de Terminación de Yacyretá, que resulta de fundamental importancia para la finalización del proyecto del Embalse de Yacyretá, en la medida en que su concreción impedirá el anegamiento de extensos territorios de la República del Paraguay ante el crecimiento de la cota del Embalse a su valor definitivo de 83 msnm.

Las obras principales del aprovechamiento están compuestas por 64,5 Km. de presas de tierra que comienzan en la margen izquierda del río en Rincón de Santa María, cruzan el Brazo Principal donde tienen su mayor altura de 43 m., luego de recorrer parte de la Isla Yacyretá cruzan el Brazo Aña Cuá, continuando luego por la margen derecha en una extensión de aproximadamente 25 Km., para finalizar en la ciudad paraguaya de San Cosme y Damián. En las cercanías de esta última ciudad, se encuentra el Arroyo Aguapey, tributario del Paraná, que descarga un caudal medio de 25 m³/s. sobre el embalse a un nivel aproximado de 78 msnm. La elevación del embalse a su cota definitiva de 83 msnm. inundaría en contracorriente el valle del Arroyo Aguapey, generando un subembalse de más de 450 km², de los cuales 360 km² corresponden a tierras firmes y humedales, y dentro de estas últimas, 200 km² se corresponden a tierras productivas. Para evitar esta situación, se desarrollaron las obras de protección del Arroyo Aguapey, consistente en una presa de tierra en la desembocadura del arroyo para evitar el anegamiento cuando se llene el embalse por sobre la cota actual de descarga y, aislado el arroyo y el embalse, un canal de 12,5 Km. de longitud que permita el escurrimiento del arroyo aguas abajo hasta conectar con el canal de colección existente a pie de presa que alcanza el Brazo Aña Cuá. En este artículo me referiré a Aguapey II - Presa de Cierre del Arroyo Aguapey.

Aguapey II - Presa de Cierre del Arroyo Aguapey

La segunda etapa de la obra consistió en la construcción de la presa Aguapey con una longitud aproximada de 4,3 Km., llegando hasta una cota de coronamiento sobre el pavimento asfáltico de 86,45 msnm., la construcción de una toma para riego en la margen paraguaya, y el cierre del desvío temporario y la habilitación del canal de desvío del citado arroyo en forma simultánea.

El proyecto original de la presa, incluido en los documentos licitatorios, consistía en un cuerpo de suelos y un blanket hacia el Embalse Yacyretá. El cuerpo de la presa contenía dos ataguías inferiores de arcilla en el lecho del cauce del arroyo que junto con el blanket eran obras realizadas hacia más de 14 años. Todo el control de filtraciones en la fundación estaba confiado al blanket y a los pozos de alivio. La obra consistía en el vaciado del recinto central entre ambas ataguías y la continuación de las obras hasta completar el perfil final de la presa a nivel 86,45 msnm.



PROYECTO CONTRACTUAL

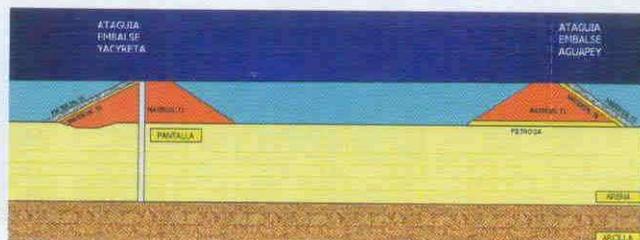
Durante la etapa previa a la construcción, comenzaron las tareas de dirección de las obras, realizando una auscultación geológica-geotécnica del cauce del arroyo, de las ataguías existentes y del blanket, a los efectos de asegurar que la orden de vaciado del recinto central pudiera realizarse con la seguridad adecuada para las obras, las personas y los equipos. Este estudio debía contemplar el estado actual de las obras que iban a formar parte del proyecto final, y el hecho que el nivel del Embalse de Yacyretá se había elevado respecto del considerado a realizar originalmente para la construcción de la presa.

"Durante la etapa previa a la construcción, comenzaron las tareas de dirección de las obras, realizando una auscultación geológica-geotécnica del cauce del arroyo, de las ataguías existentes y del blanket, a los efectos de asegurar que la orden de vaciado del recinto central pudiera realizarse con la seguridad adecuada para las obras, las personas y los equipos."

Como resultado del mismo, se llegó a la conclusión que el lecho del arroyo presentaba una notable heterogeneidad de suelos con importantes estratos de arenas permeables, y el blanket poseía una muy baja capacidad de impermeabilización.

Luego de un cálculo de elementos finitos mediante el cual se analizaron las filtraciones y la estabilidad de taludes, se llegó a la conclusión que el nivel del recinto central no podía vaciarse completamente sin un serio riesgo de sifonaje y fallas de los taludes de las ataguías. Si bien el recinto se podía vaciar hasta un nivel de 76,50 msnm., las obras entre ambas ataguías se deberían realizar bajo un tirante aproximado de 4 m. de agua. Dado que el blanket aportaba una reducida capacidad de impermeabilización, se debían prolongar las líneas de flujo por debajo de la presa a los efectos de bajar los gradientes a valores admisibles.

Durante la adecuación del diseño, se analizaron tres alternativas constructivas para alargar las líneas de filtración por debajo del recinto entre ataguías. Una pantalla bentonítica construida por debajo de la ataguía del lado Yacyretá hasta alcanzar los mantos impermeables, una impermeabilización del fondo del recinto central entre las dos ataguías existentes mediante la colocación de una capa de hormigón colado bajo agua, y la impermeabilización del recinto mencionado por la colocación de una membrana impermeable bajo agua.



ALTERNATIVA CON PANTALLA BENTONÍTICA

Definida la alternativa, el desafío constructivo era la correcta colocación de la membrana impermeable bajo un tirante aproximado de 4 m. de agua.

Se realizaron estudios comparativos teniendo en cuenta las complejidades constructivas, los costos, la seguridad de las obras y los tiempos de construcción, ya que existían fechas claves contractuales relacionadas a los tiempos previstos de elevación de la cota del Embalse de Yacyretá. De estos estudios surgió la última alternativa como la más conveniente, resultando el nuevo proyecto de la presa con el esquema de diseño que se indica a continuación:



ADECUACIÓN DE PROYECTO

Definida la alternativa, el desafío constructivo era la correcta colocación de la membrana impermeable bajo un tirante aproximado de 4 m. de agua. Dadas las condiciones críticas del

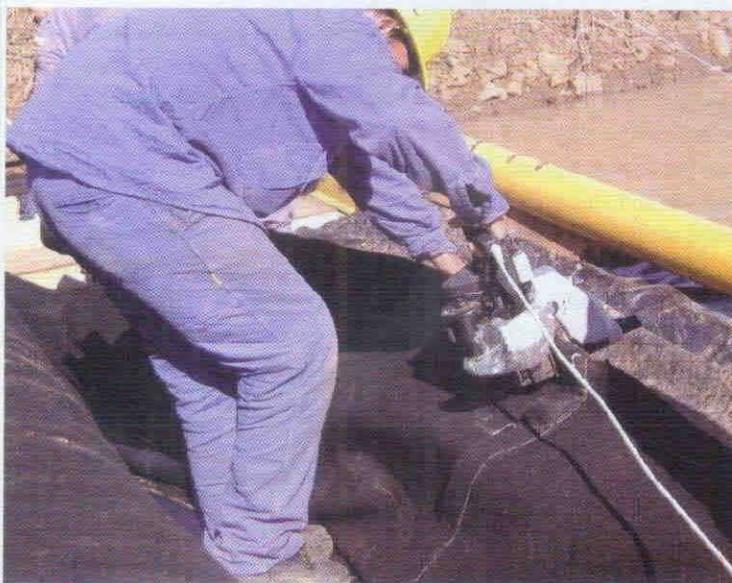
proyecto, luego de impermeabilizado el fondo y antes del vaciado del recinto, se debía proceder a rellenar dicho sector con el suficiente peso, con el objetivo de evitar los efectos de sifonaje y estabilidad antes mencionados.

La solución más viable fue rellenar con arena refulada proveniente del Río Paraná.

La membrana seleccionada fue de policloruro de vinilo de 1,2 mm. de espesor y una resistencia de 15 Mpa. según ASTM 882. Las membranas eran laminadas en rollos de alrededor de 1,80 m. Los paños fueron soldados por calor con temperatura controlada hasta lograr la fusión total de los paños yuxtapuestos, conformando así una única pieza del ancho del recinto a cubrir.

Las uniones fueron testeadas a tracción perpendicular a la costura, verificando que las mismas poseían mayor resistencia que la correspondiente a la propia membrana.

Antes de la colocación de la membrana impermeable, se extendió sobre el fondo otra membrana de geotextil cuya única función fue proteger a la membrana impermeable de cualquier desgarrar por eventuales elementos cortantes o desgarrantes que pudieran encontrarse depositados en el lecho del arroyo.



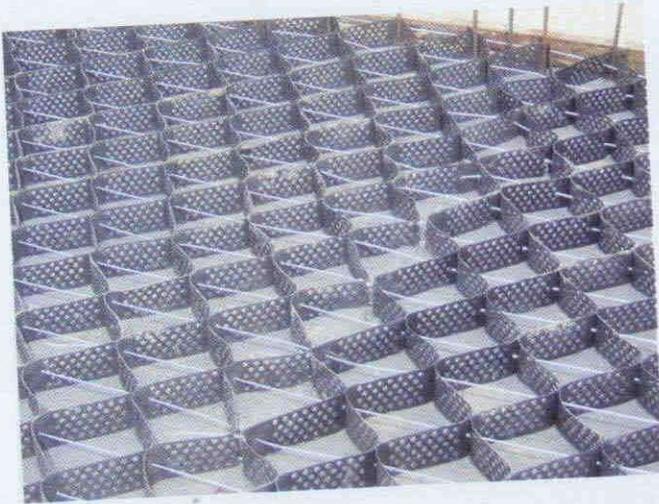
PREPARACIÓN DE LA MEMBRANA



COLOCACIÓN DE LA MEMBRANA

Completado el refulado se realizó el drenaje del recinto con los niveles de seguridad previstos continuando las obras en seco de forma tradicional.

Luego de soldada la membrana fue enrollada en carretes del ancho requerido, los cuales fueron dispuestos sobre un pontón retenido y movilizado por guinches, que permitió la extensión controlada de la membrana sobre el fondo.



GEOELDAS ANTES DEL HORMIGADO



COLOCACIÓN DE LAS GEOELDAS PREMOLDEADAS

Antes de proceder a la ejecución del relleno del recinto, resultaba necesario contrapesar la membrana para evitar efectos de descolocaciones o corrimientos durante el refulado. A tal efecto se emplearon geoceldas de 7,5 cm. de altura, 1,1 mm. de espesor de geotextil y un área máxima de 1500 cm², las cuales se colaron con hormigón en obrador para transformarlas en placas articuladas de contrapeso que fueron trasladadas, izadas con un sistema de balancín, y colocadas con grúa sobre la membrana. El posicionamiento y la correcta colocación de la membrana y de las geoceldas fueron inspeccionadas en forma subacuática por buzos del Consorcio Consultor. Una vez contrapesada la membrana impermeable se comenzó con las tareas de refulado de arenas hasta los niveles del nuevo proyecto.

Completado el refulado se realizó el drenaje del recinto con los niveles de seguridad previstos continuando las obras en seco de forma tradicional. Vale mencionar que el nuevo diseño se comporta establemente, aun cuando la membrana se deteriore o incluso desaparezca durante la vida útil de la obra, aspecto sumamente improbable.

El proyecto de presa se completa con la construcción de una toma de riego en la margen paraguaya con un volumen de 600 m³ de hormigón armado. Debieron también realizarse especiales tareas de coordinación para el cierre de la descarga del arroyo sobre el embalse y la habilitación simultánea del canal Aguapey. Estas tareas se realizaron bajo absoluta supervisión y habiendo desarrollado un Plan Operativo y de Contingencias del manejo de las ataguías tapón y de las compuertas del canal que contemplaran todas las posibles contingencias de crecidas, y otros eventos excepcionales, que pudieran presentarse mientras se realizaba el vaciado del Subembalse Aguapey.



REFULAFO DE ARENA ENTRE LAS ATAGUÍAS EXISTENTES



PROTECCIÓN DE TALUDES

CONSTRUCCIÓN DE LA BERMA DE EQUILIBRIO



TOMA DE RIEGO A MARGEN PARAGUAYA

HABILITACIONES DEL CANAL AGUAPEY



Los datos más significativos del proyecto son los siguientes:

Longitud de la Presa: 4.254 m.
Cota de Coronamiento: 86,45 msnm.
Volumen de Rellenos: 1.149.000 m³.
Relleno Hidráulico Granular: 99.000 m³.
Vol. de Mat. Impermeable: 519.000 m³.
Enrocado: 181.000 m³.
Filtros: 350.000 m³.
Hormigón Toma de Riego: 600 m³.

Las obras de la Presa Aguapey II están siendo completadas exitosamente durante el año 2009, y cumpliendo las fechas claves previstas para la elevación de cota del Embalse de Yacyretá. La Adecuación del Proyecto, la Inspección, la Administración del Contrato y la Dirección de Obra estuvieron a cargo de la unión transitoria de empresas COINTEC-INCONPAR-GCM-ELEPAR-GEIPEX-GCA UTE, bajo la denominación de Consorcio ENER-YA. COINTEC, de la Cámara Argentina de Consultores de Ingeniería, ofició de empresa líder argentina, e INCONPAR, de la Cámara Paraguaya de Consultores, ofició de empresa líder paraguaya. VARDE y Asociados lideró y desarrolló el proyecto definitivo, y la auscultación durante la construcción coordinando las tareas con C y R Ingeniería S.R.L. del Paraguay. La construcción estuvo a cargo de la unión transitoria de empresas IECSA-CDD UTE, donde IECSA ofició de empresa líder.

PERFIL DEL AUTOR:

El autor es Ingeniero Civil egresado en 1973 de la UBA con diploma de honor. En 1979 funda COINTEC, sociedad de consultoría argentina, y en 1992 funda COINTEC S.A. de C.V. en México. Posee formación de postgrado en exportación de servicios de consultoría y negociaciones internacionales. Es Auditor Líder IRCA ISO 9000-2000.