

RELLENO HIDRAULICO, ALTERNATIVA PARA EL BAÑADO NORTE DE ASUNCION CASO DE ESTUDIO: BARRIO REFUGIO

Área temática: Geotécnia

César López Bosio, Ing. Consultor, Profesor Asistente Geotecnia III, Facultad de Ciencias y Tecnología (UCA).

e-mail: clopez@logos.com.py

Palabra clave: relleno hidráulico, bañados

RESUMEN

Los bañados de Asunción, son depósitos aluviales a lo largo de valles con pendientes casi nulas, que presentan albardones, islas y lagunas pequeñas, donde el río y las descargas de la ciudad alta tienen un factor preponderante.

Poseen suelos heterogéneos, debido a las sucesivas deposiciones resultantes de las avenidas del río y de arroyos provenientes de la zona alta de la ciudad.

La ocupación por parte de pobladores de escasos recursos, hace que se les deba dar protección ante las periódicas inundaciones.

En el caso del Barrio Refugio, en los bajos del Parque Caballero, se adoptó el Relleno Hidráulico, proceso consistente en la deposición de material, predominantemente arenoso, extraído del fondo del río, al sitio que se desea, rellenar como solución más conveniente.

Esta alternativa superó ampliamente al pólder y se constituyó en un verdadero “proyecto piloto”, donde se encuentran asentadas setenta y dos viviendas de dos plantas.

1. INTRODUCCIÓN

Los bañados de Asunción, están constituidos por planicies fluviales o fluvio lacustres, íntimamente relacionadas con el Río Paraguay, consistentes en depósitos aluviales a lo largo de los valles con pendientes casi nulas, que se caracterizan por presentar albardones, islas y lagunas pequeñas, donde tanto la dinámica fluvial como las descargas de las unidades de terrazas tienen un factor preponderante (Palmieri, J.H., 2000).

Los suelos correspondientes a estos bañados poseen una gran heterogeneidad, debido a su propia génesis y fueron formados por sucesivas deposiciones de material resultante de las avenidas del río y de los arroyos provenientes de la zona alta de la ciudad.

Por ser zonas de bajo o nulo valor inmobiliario, son generalmente ocupadas por pobladores de escasos recursos, originando toda una problemática social, debido a la protección que debe dárseles por las periódicas inundaciones del río.

1. ANTECEDENTES

Para resolver esta problemática de las periódicas inundaciones, la solución del relleno hidráulico, para el caso de estudio del Barrio Refugio, presentaba, desde el punto de vista social, técnico, urbanístico, ambiental, económico e institucional, beneficios incomparables.

La distancia media entre el barranco que separa la ciudad alta y la bahía en la zona de estudio, de aproximadamente 250 m y una altura de los diques hacia la bahía de entre 7 a 9 m, fue determinante a la hora de la selección de la alternativa elegida.

En el último período de la anterior administración municipal se concretó este verdadero "Proyecto Piloto", situado en los bajos del Parque Caballero, a través de un relleno hidráulico de seis hectáreas y media, donde posteriormente se construyeron setenta y dos viviendas de dos plantas.

2. EL PÓLDER Y EL RELLENO HIDRÁULICO

A lo largo de varios años, se barajó como solución para el tema de las inundaciones, dos alternativas principales:

El pólder, término holandés que define las superficies terrestres ganadas al mar,

situadas a un nivel inferior al mismo, con objetivos agrícolas.

Consta de una barrera o dique, hecho con material de relleno, que puede o no ser material extraído del fondo del río, que impide el paso de las aguas al recinto protegido.

Este recinto, con un ancho promedio, en el bañado norte, entre barranco y muro, de aproximadamente 250 m, quedaría por debajo del nivel de aguas medias.

El relleno hidráulico, es un proceso consistente en la extracción de material, predominantemente arenoso, del fondo del río, por medio de dragas provistas de bombas, que mediante la adición de agua, es impulsado al sitio que se desea rellenar, dejando el nivel final de los terrenos, por encima de la cota de la máxima inundación.

3. PROYECTO PILOTO ÁREA DE REFUGIO

La solución del relleno hidráulico, fue adoptada en el Área de Refugio (figura 1), por las siguientes razones:

Al elevarse el nivel del terreno por encima de la cota máxima de las inundaciones, desaparecen todos los riesgos inherentes a la vida en recintos cerrados por debajo del nivel del río, en caso en que se produzca una falla del dique.

En caso de rotura de los taludes, de un relleno hidráulico, se generaría una rotura localizada con daños mínimos en comparación de los daños que ocurrirían ante la eventual rotura de los diques del pólder.

El relleno, evita que los pobladores vivan permanentemente en un ambiente más húmedo que el actual, por el ascenso del nivel freático debido a la construcción del dique, en caso de hacerse el pólder, teniendo en cuenta el tipo de suelo registrado en la zona.

No necesita sistemas de bombeo, tanto de las aguas pluviales como de las servidas, que se generan en el recinto del pólder y que necesariamente deben ser evacuadas hacia fuera del recinto, a través de dichos sistemas de bombeo.

Posee menor área de taludes a ser protegido con relación al pólder, ya que no necesita diques laterales que permitan el paso de los cauces de agua provenientes de la ciudad alta.



Figura 1 - Área de Refugio (Bajos Parque Caballero)

4. CONSIDERACIONES SOBRE LOS SUELOS DEL BAÑADO

5.1 Perfil estratigráfico.

Los suelos del Bañado Norte, presentan las siguientes características:

En algunas zonas, presencia de suelos orgánicos desde la superficie hasta los dos metros y medio de profundidad.

En las zonas bajas, inundables y en sondeos realizados en agua, se observa un predominio de suelos finos, arcillo arenosos y arcillo limosos de mediana a alta plasticidad (CL y CH) en superficie, mientras que en las zonas más altas, se registraron suelos granulares, arenas limosas (SM). Figura 2.

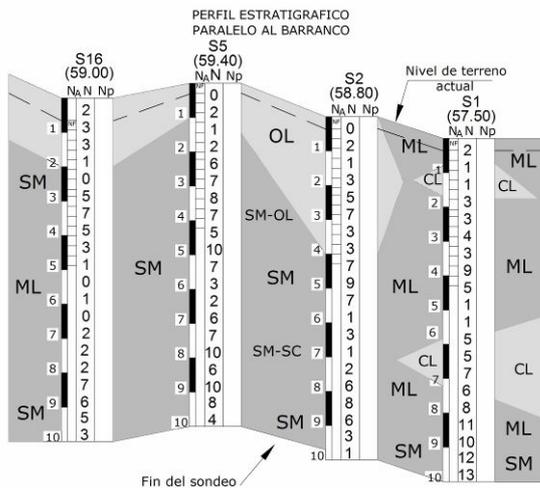


Figura 2. Perfil estratigráfico. Paralelo al barranco.

En la mayoría de los sondeos, se registran acuíferos prácticamente superficiales.

En las zonas cercanas al barranco, se registraron arenas cementadas muy densas (figura 3).

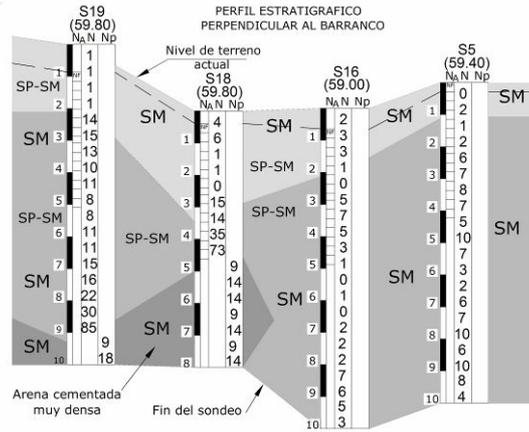


Figura 3. Perfil estratigráfico. Perpendicular al barranco.

En algunos sondeos, se registraron valores del ensayo SPT nulos entre los seis metros y medio y diez metros, por lo que es de esperarse en dichas zonas grandes asentamientos.

Los suelos correspondientes al área de estudio poseen una gran heterogeneidad debido a las sucesivas deposiciones de material resultante de las avenidas del río y de los arroyos provenientes de la zona alta de la ciudad.

La presencia de lentes importantes de arcillas con lentes de arena, dificulta mucho la recuperación de testigos a través de sondeos y calicatas y hace difícil el tallado de muestras para los ensayos especiales de laboratorio (triaxiales y consolidación).

5. EL PROCESO CONSTRUCTIVO DEL ÁREA DE REFUGIO

6.1 Remoción de malezas.

No se consideró recomendable la remoción de la maleza (pasto y vegetación baja) que recubría el área a ser rellenada por generar un efecto benéfico de cohesión.

Se recomendó no obstante que los arbustos y árboles de más de un metro de altura, sean talados a ras de superficie o a nivel del pelo de agua, extrayendo los gajos y ramas fuera del recinto a ser rellenado.

6.2 Remoción de suelos superficiales muy blandos.

Dado el uso a que estaba destinada el área de relleno en un principio, como parque y asentamiento temporal con viviendas provisorias, el asentamiento no constituía un factor determinante del proyecto, a pesar de

haberse encontrado en más del 50% de los sondeos realizados una capa superficial de aproximadamente 2,5 m., formado por suelos compresibles muy blandos (limos arcillosos y arcillas limosas orgánicas con resistencia a la penetración entre 1 a 2 golpes), por lo tanto no se aconsejó su remoción.

6.3 Pedraplén de contención.

Se procedió a la construcción de un pedraplén de contención, ubicado al pie del talud del relleno, que a su vez quedaría en parte sumergido y en parte por encima del nivel de agua.

Este pedraplén se construyó con piedra bruta de cantera y fracciones partidas de la misma, de forma a constituir un prisma triangular con una altura que sobrepasase en todos los casos en 50 cm. el nivel del río, de forma a que sea visible por los barcos areneros.

Se supuso un talud natural de 45° para el pedraplén por lo que la base de dicho prisma era dos veces su altura. En la zona no inundada, antes de su construcción, se removió 40 cm. del suelo vegetal para asentar la base del mismo. La altura en dicha zona fue de 1 m.

Todo el largo del pedraplén, en la parte que da hacia el interior del recinto a ser relleno, se recubrió con geotextil (del tipo OP 20 o similar), para evitar la fuga del material refulado, a través de las piedras.

Para sujetar dicho recubrimiento, en la zona bajo agua, se vertió por encima del geotextil, una camada de piedra.

Este pedraplén, durante el proceso constructivo, sufrió una falla localizada de aproximadamente 50 m, en una zona coincidente con suelos de fundación de resistencia prácticamente nula.

Esta falla se debió al incremento de la presión neutra, originada por una excesiva carga del material de relleno en dicha zona, que no cumplió con las especificaciones en cuanto a velocidad de lanzamiento y concentración de material, se refiere.

6.4 Sistema de lanzamiento.

Como solución más conveniente, para las condiciones topográficas del sitio y el material de relleno, arenas del río Paraguay, se proyectó un esquema de lanzamiento bilateral donde la hidromezcla debía ser lanzada por medio de dos tuberías paralelas al barranco, ubicadas en ambos extremos del recinto.

6.5 Piscina de recolección.

Se proyectó una piscina central para la recolección de la fracción líquida y los finos no deseables de la hidromezcla.

Debido a la presencia de ocupantes en la zona del lanzamiento, se realizó finalmente el lanzamiento desde la bahía hacia el barranco, utilizando un cauce existente, como piscina de recolección.

6.6 Taludes y bermas.

Los taludes exteriores del área de relleno, se construyeron con una pendiente de 4 (H):1 (V).

Como en las crecidas extraordinarias, como la de 1983, se produce el cubrimiento del Banco San Miguel, por el río Paraguay y el consiguiente desvío de la corriente hacia la dirección en que se proyectó el área de relleno (Bosio, J.J., 1983), se construyó el paramento noreste del talud de dicho relleno, en forma escalonada, con una berma de 4 m. de ancho en la cota +62.00, manteniéndose los paramentos exteriores con la pendiente anteriormente citada.

6.7 Revestimientos de taludes.

Todos los taludes perimetrales fueron revestidos con suelos orgánicos para permitir el crecimiento de pasto de raíz densa y fina.

En el talud escalonado más arriba citado, se revistió con colchonetas entre las cotas +62.00 y +64.00, para protección del efecto de crecida y oleaje.

6.8 Instrumentación.

A pesar de haberse proyectado la instrumentación del relleno, durante y posteriores a la ejecución del mismo, sólo se instalaron placas de asentamiento superficiales y piezómetros.

La mayoría de la instrumentación fue destruida durante el proceso constructivo.

6. EL MATERIAL UTILIZADO

7.1 Material de refulado.

De acuerdo a los estudios realizados en las arenas del río Paraguay (figura 4), las mismas poseen una faja granulométrica, ideal para la ejecución de rellenos hidráulicos homogéneos (Gostroi, 1974), Norma Rusa SNIP-II-53-73.

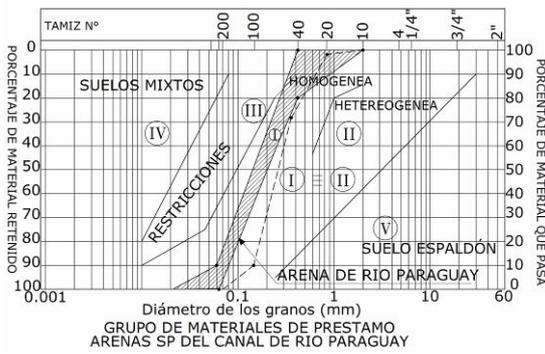


Figura 4. Granulometría del Río Paraguay.

Según Jiménez Salas, J.A. 1980, la calidad de los rellenos hidráulicos es muy variable. Si el material dragado es arena limpia, arena con algo de arcilla o limo (hasta el 15% pasando por el tamiz # 200), el resultado puede ser excelente. Las arenas del Río Paraguay, utilizadas en el proyecto piloto, con graduación fina a media y porcentaje de limos, inferior al 5%, se ubican en esta última categoría.

7.2 Transporte del material.

La alternativa más adecuada, a las condiciones del lugar y al nivel del río, fue la del material transportado, lo más cerca posible al sitio de obra, por medio de barcos areneros y proyectada desde la bodega de los mismos, en forma de hidromezcla, dentro del recinto a ser rellenado, por medio de tuberías.

7.3 Canal de acceso.

Se previó la construcción de un canal de acceso, para los barcos areneros, en la Bahía de Asunción, de forma a permitir un calado mínimo de 2.10 m (7 pies), correspondiente a la condición de barco cargado y un ancho adecuado para el acceso y maniobra de los mismos (aproximadamente 30 m.).

7. ENSAYOS ESPECIALES

8.1 Ensayos sobre las arenas del río Paraguay.

A pedido de los consultores internacionales se realizaron las siguientes determinaciones a partir de una muestra de arena del Río Paraguay, tomada del relleno del Palacio de López, ejecutado con dicho material:

8.1.1 Ensayos Granulométricos.

La curva obtenida corresponde a una arena fina a media ligeramente limosa (SP-SM)

con las siguientes características granulométricas:

$$D_{60} = 0,38; D_{30} = 0,22; D_{10} = 0,16 \text{ y } Cu = 2.4$$

8.1.2 Ensayos de compactación.

El peso específico seco obtenido fue de 1,645 gr/cm³ para una humedad óptima de 7,0 %.

8.1.3 Determinación de pesos específicos máximos y mínimos.

Se determinaron los pesos específicos máximo (γ_{max}) y mínimo (γ_{min}) de acuerdo a las normas españolas NLT 204/72 y 205/91 con los siguientes resultados:

$$\gamma_{max} = 1,86 \text{ gr/cm}^3 \quad \gamma_{min} = 1,53 \text{ gr/cm}^3.$$

8.2 Ensayos sobre los suelos del lugar.

8.2.1 Ensayos de compresión triaxial y de consolidación.

Con las muestras extraídas de calicatas a cielo abierto, se ejecutaron ensayos de compresión triaxial y de consolidación:

Con el γ_d hallado, se prepararon cuatro probetas en un molde bipartido, que fueron sometidas a un ensayo triaxial drenado (CD) con presiones de confinamiento (σ_3) de 0,25, 0,50, 0,75 y 1,0 kg/cm² obteniéndose el siguiente resultado:

ángulo de rozamiento interno drenado

$$\phi' = 37^\circ; \text{ cohesión } c' = 0.$$

Se extrajeron muestras cúbicas de 30 x 30 x 30 cm. a partir de calicatas superficiales. El criterio de elección de la muestras para estos ensayos fue que la mismas correspondan a arcillas limosas o limos arcillosos superficiales muy blandos, con números de golpes del ensayo de SPT iguales o inferiores a un golpe. A partir de estos bloques, se tallaron probetas que fueron sometidas a ensayos de consolidación con cargas de 0,31; 0,62; 1,25; 2,5; 5,0 y 10 kg/cm².

8.3 Verificación de la estabilidad de los taludes.

La verificación de la estabilidad de los taludes fue realizada en la Universidad de San Pablo por el Profesor Dr. Ing. Paulo Teixeira da Cruz. El programa utilizado fue el STABL5M de la Universidad de Purdue.

Las hipótesis analizadas fueron con niveles freáticos correspondientes a las cotas +56 (río bajo), +58 (río medio) y +63 (río alto) para

taludes con inclinación 1V 4.5 H y 1V 3.5 H para tres tipos de suelos con espesores de tres metros cada uno:

- arcillas blandas a medias,
- arenas finas limosas y
- arenas finas muy sueltas.

8. ESTIMACIÓN DE ASENTAMIENTOS

9.1 Asentamientos previstos.

Mediante el método de Schmertmann, se estimó el orden de asentamiento total que podría experimentar el terraplén hidráulico en la condición de máxima sobrecarga de relleno de 6,5m, entre 76 a 88 cm.

Este valor se produciría desde el inicio del relleno, hasta prácticamente unos meses o un año, posterior a la finalización del mismo.

9.2 Asentamientos medidos.

En la figura 5 se puede apreciar el máximo asentamiento observado en una zona del Área de Refugio, coincidente con suelos muy deformables. Dicho asentamiento fue de 1.25m y se produjo en 18 meses.

Hay que recordar que estos valores responden a mediciones realizadas en marcos de asentamiento superficiales y no totales, por lo que los valores obtenidos no pueden ser tomados como valores absolutos.

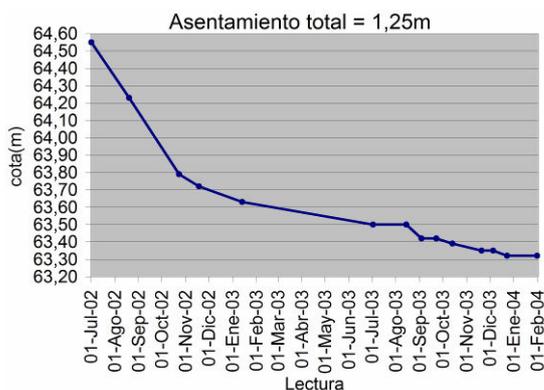


Figura 5. Lectura marco asentamiento superficial.

10 CIMENTACIONES DE LAS VIVIENDAS DEL ÁREA DE REFUGIO

Las setenta y dos viviendas asentadas en el Área de Refugio, están cimentadas sobre los suelos areno limosos (SM) resultantes del refulado efectuado.

Las viviendas fueron asentadas a un metro y medio de profundidad por medio de zapatas

de hormigón armado y la capacidad admisible de soporte utilizada fue de cinco toneladas por metro cuadrado (5 t/m²). Los muros de planta baja de las viviendas, transmiten sus esfuerzos por medio de vigas y pilares a las profundidades anteriormente mencionadas (López Bosio, C., 2004).

Dichas viviendas han sido finalizadas hace más de dos años y hasta la fecha no presentan señales de fisuras.

11 LA ALTERNATIVA DEL PÓLDER

Esta alternativa fue desechada por presentar las siguientes desventajas:

- Una eventual rotura de los diques tendría consecuencias catastróficas.
- El poblador perdería la visión del río por estar a un nivel inferior que el dique de protección, quedando en una "palangana" entre el barranco y los diques.
- Formaría un recinto cerrado, al que debía dotársele de un eficiente sistema de bombeo, tanto de aguas pluviales como de aguas servidas.
- Aunque protegería al poblador de las crecidas del río, no le daría una mejora en sus condiciones de vida, dejándolo en una situación confinante y no integradora.
- Disminuiría la calidad de vida de los pobladores, al condenarlos a vivir, permanentemente, en un ambiente más húmedo que el actual, por el ascenso del nivel freático.
- Requeriría de un ente encargado del control y mantenimiento permanente de las instalaciones (diques y bombas).

12 CONCLUSIONES

El relleno hidráulico es una realidad y existe en Asunción, en el bañado Norte, en sitios aledaños al Barrio Refugio, demostrando su efectividad en obras como el Club Mbiguá, la ampliación del puerto de la capital, la plaza Luis María Argaña, detrás del Palacio de Gobierno.

El Relleno Hidráulico construido debe ser considerado como un proyecto piloto para observaciones del comportamiento del mismo para futuros emprendimientos similares.

La comparación entre los asentamientos previstos y los obtenidos en la zona del Área de Refugio, se deben en gran parte a que los

suelos correspondientes al área de estudio poseen una gran heterogeneidad debido a las sucesivas deposiciones de material resultante de las avenidas del río y de los arroyos provenientes de la zona alta de la ciudad), que hace que se den lentes importantes de arcillas intercalados con estratos arenosos.

El estudio de la deformación de estos suelos, si se optase por la realización de ensayos convencionales de consolidación, debería realizarse a través de un modelo "multicamadas", que abarque la extracción de las muestras necesarias para los ensayos de consolidación, de los diferentes estratos evidenciados en los perfiles estratigráficos.

La complejidad que resulta de estimar los asentamientos con el método tradicional basado en determinaciones edométricas de los suelos plásticos, prácticamente descalifica el procedimiento, recomendándose en consecuencia para estos tipos de materiales, la estimación de los asentamientos por medio de asentímetros de placa tomando lecturas antes, durante y posteriores al relleno hidráulico.

Es altamente recomendable dedicar un sector del relleno a efectuarse, como "relleno experimental instrumentado", que abarque un área representativa de las condiciones del suelo de cimentación, para la observación instrumentada de los asentamientos, de forma a extrapolar los valores obtenidos y el tiempo necesario para la obtención de los mismos, con otros sectores donde se realizaría el relleno y que presentasen condiciones similares a la que estamos encontrando en el área objeto de este estudio.

Los asentamientos se produjeron en un tiempo estimado de seis a veinte meses (López Bosio, C. 2004). En futuros rellenos, estos asentamientos pueden ser acelerados, instalando drenes verticales.

En las zonas donde el Ensayo SPT arroja valores nulos, se podría colocar un refuerzo de malla de geotextil para que sirva como separador del suelo de fundación y el material del relleno y que a su vez actúe como refuerzo adicional para mejorar la resistencia de las fundaciones del relleno, durante el proceso constructivo.

Es interesante poner de manifiesto, lo expresado por el Ing. Paulo Teixeira da Cruz, (López Bosio, C. 2005), contratado por este Consultor, para la Asesoría de este Informe, en cuanto a la posibilidad de ruptura en los suelos de fundación, una vez sometidos a las

cargas del relleno. Dichos accidentes son comunes en rellenos hidráulicos con suelos blandos de fundación.

13 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) Palmieri, J.H., 2.000. Estudios Geológicos, Geomorfológicos y Riesgos Geoambientales, para un área de refugio para el gran asunción. Junio 2.000.
- 2) Bosio, J.J., Causarano, M, Chase, B, Aproximación a un proyecto del Ambiente. La Chacarita, 1989, Centro Paraguayo de Estudios Sociológicos.
- 3) Gosstroi, URSS, 1974, Snip II-53-73, Normas y Especificaciones para la Construcción, Capítulo II - Normas de Proyecto, Item 53, Presas en Suelos Materiales. Moscou: Stroizdat.
- 4) Jiménez Salas, J.A., 1980, Geotecnia y Cimientos III, Segunda parte.
- 5) López Bosio, César. 2000. Revisión de los estudios existentes y diseño final de un área de refugio para el gran asunción. Junio 2000.
- 6) López Bosio, César. 2000. Estudio geotécnico para verificación se superficie de deslizamiento. Informe Técnico 68, Agosto 2002.
- 7) Schmertmann, J.H., 1955, The undisturbed consolidation behavior of clay, Trans. ASCE 120.
- 8) López Bosio, César. 2004. Habilitación del Relleno del Área de Refugio. Informe Técnico 02, Febrero 2004.
- 9) López Bosio, César. 2004. Capacidad portante de los suelos del Área de Refugio. Informe Técnico 03, Febrero 2004.
- 10) López Bosio, César. 2004. Presentación de los resultados de los ensayos de consolidación de los suelos del terreno de soporte. Informe Técnico 05, Junio 2004.
- 11) López Bosio, César. 2005. Informe sobre proyecto ejecutivo y especificaciones técnicas del Proyecto de Arranque. Febrero 2005.
- 12) Teixeira Da Cruz, Paulo. 1996, 100 Barragens Brasileiras. Casos Históricos, Materiais de Construção. Prometo. Oficina de textos, 1996.