



Análisis y control de filtraciones en un dique mediante una pantalla de cemento-bentonita

Analysis and control of seepage in a dam through a cut off of cement

Halbert Vera Coello

Análisis y control de filtraciones en un dique mediante una pantalla de cemento-bentonita

Analysis and control of seepage in a dam through a cut off of cement

Halbert Vera Coello¹

Como citar: Vera, H. (2013). Análisis y control de filtraciones en un dique mediante una pantalla de cemento-bentonita. *Revista Universidad De Guayaquil*, 115(1), 45–56. DOI: <https://doi.org/10.53591/rug.v115i1.475>

Resumen

El Proyecto Daule-Peripa es el Complejo Multipropósito emblemático del Ecuador, beneficiando con riego y abastecimiento para agua potable a las provincias de Guayas, Manabí, Santa Elena y Los Ríos, que representa cerca del 50% de la población del Ecuador. El proyecto está compuesto básicamente por una Presa de Tierra, Vertedores, el Dique de la Divisoria y obras de trasvase a las provincias antes citadas.

En el presente trabajo, a más de resumir uno de los capítulos más importantes de mi Tesis de Grado, pretendo describir la metodología usada para el análisis de las filtraciones no controladas en el Dique de la Divisoria y en particular en el sitio conocido como Km 8, donde se construyó una Pantalla de Cemento-Bentonita, para el control de filtraciones en este tramo de Dique, que está cimentado sobre un banco de cenizas volcánicas y aluviales, altamente permeables, formado por la reciente actividad volcánica. Pretendo también que la metodología aquí expuesta sirva de guía para el análisis y control de filtraciones en obras de este tipo, ante la poca información sobre el tema, advirtiendo que el trabajo recoge las experiencias del equipo técnico en el estudio y diseño para el control de filtraciones en el Dique de la Divisoria.

Palabras clave: Filtraciones, Dique, Pantalla, Cemento-bentonita, Aluvión-volcánico.

Summary

The Daule-Peripa project is the emblematic complex of Ecuador, benefiting from irrigation and potable water supply for the provinces of Guayas, Manabí, Santa Elena and Los Ríos, which represents about 50% of the population of Ecuador. The project basically consists of an earth dam, spillways, the Drainage Divide Dike and diversion works to the provinces mentioned above.

In this document, a sum over one of the most important chapters of my thesis, I pretend to describe the methodology used to analyze uncontrolled seepages in the Drainage Divide Dike, which is case-hardened above a bank of ash and flurry volcanic, highly permeable, and formed by the recent volcanic activity. It also presents the final solution from the study, hoping that the methodology here presented serves as a guide for the analysis and control of seepages in works of this kind, with little information about the topic, pointing out that this document collects all experiences of Technician Team in the study and design of seepage control in the Drainage Divide Dike.

Keywords: Seepages, Dam, Cut off, Cement-bentonite, Flurry of volcanic.

¹Ing. Ayudante de Cátedra, en la materia de Mecánica de Suelos, Universidad de Guayaquil, Ecuador. Correo electrónico: halver_77@hotmail.com

Introducción

La Presa Daule-Peripa, a 180 Km al SW de Quito, está ubicada 10 Km aguas abajo de la confluencia de los ríos Peripa y el Daule, en la parte Norte de la Cuenca del Guayas, y constituye el complejo hidráulico de propósito múltiple más emblemático del Ecuador. La Cuenca del proyecto tiene 4200 Km² de superficie y su volumen de almacenamiento a la cota 85 (Nivel Máximo Normal) es de 5400 Hm³.



Foto 1. Presa Daule-Peripa. Foto aérea tomada desde aguas arriba. A la izquierda vertedor en operación y a la derecha vistadel embalse, torre de toma y área administrativa. Central en construcción 1998.

El proyecto original contemplaba una Presa de tierra de 63m de altura, con una capacidad de almacenamiento de 2300Hm³, que resultaba insuficiente para el manejo de grandes avenidas, lo que hubiere conllevado a grandes inundaciones de manera frecuente en las riberas del Río Daule. La Generación de energía tampoco hubiera sido posible.

Bajo estas circunstancias, se encontró como solución la construcción de un Dique de 17Km de largo y 10m de altura promedio, en la divisoria de la Cuenca de los Ríos Peripa y Congo, permitiendo adicionar cerca de 3100Hm³ al volumen de almacenamiento del proyecto original. Es decir, gracias a la construcción del Dique se aseguró el suministro para agua potable a la ciudad de Guayaquil, Península de Santa Elena, trasvase a Manabí y ciudades ribereñas del Daule, al igual que se amplió la perspectiva de riego en estas provincias y aseguró un control de inundaciones sin precedentes. Su construcción permitió también incluir una Central Hidroeléctrica, que no estaba contemplada en el proyecto original.

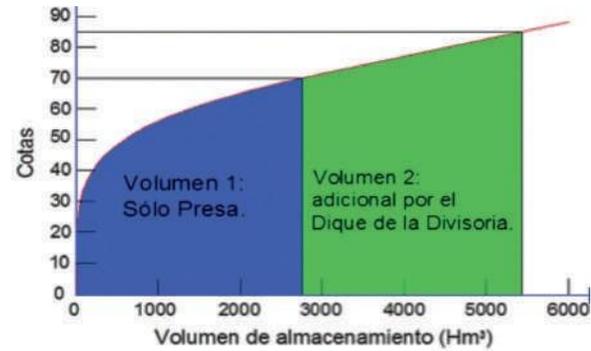


Fig.1. Presa Daule-Peripa. Volumen de embalse. (1) Volumen de la Presa original. (2) volumen de embalse sobre la cota 70 gracias al Dique de 10m de altura promedio. LMN/HVC. Sep-tiembre/28/2011.

A partir del año 2013, el reservorio Daule-Peripa será optimizado con el Trasvase Baba, lo cual permitirá ampliar el riego a la provincia de Los Ríos, al devolver el agua al Río Vinces con el Sistema de Trasvase Daule-Vinces.

A continuación, se muestra de forma sistemática la metodología de análisis usada para el Diseño y control de filtraciones no controladas en el Dique de la Divisoria, y en particular para el tramo del Km 8, donde se construyó una Pantalla de Cemento-Bentonita para el control de filtraciones, mostrando también el éxito logrado. Debo advertir que las filtraciones en el Dique de la Divisoria, ha sido objeto de varias investigaciones, muchas de las cuales han sido publicadas y presentadas en Congresos de Ingeniería, Conferencias, etc. Metodología que se detalla a continuación:

Reporte de filtraciones, inicio de los estudios.

Las primeras filtraciones no controladas fueron reportadas en 1992, año del primer llenado, según reportes de Operación y Mantenimiento (O&M) de la Presa Daule-Peripa.

En el año 2001, luego que el Personal del Departamento de O&M de la Presa Daule-Peripa desbrozara la maleza que crecía en el pantano aguas abajo del Dique en el Km 8, se detectó en este tramo, el afloramiento de agua a manera de Sand boíl (borbollón). No se puede determinar con certeza cuándo fue que se activó el borbollón en el Km 8. Lo cierto es que se reportó por primera vez en el año 2001, Ref. Informe de Auscultación. Operación y Mantenimiento de la Presa Julio 2001. Informe que solicita la Asesoría de

un ingeniero calificado. Por ello, HIDRONACIÓN contrató una asesoría externa, que concluyó con la construcción de un dren de 0.5m de espesor compuesto de gravas y arenas, extendiéndose sobre el afloramiento.

Luego en el 2003, se detectó que junto al dren construido se volvían a formar borbollones, por lo que CEDEGÉ encargó a su Asesor, Ing. Luís Marín-Nieto, realizar una inspección técnica al sitio de los borbollones. Así se inició por primera vez un estudio sistemático de las filtraciones que se producían en el Km 8 y en otros 6 sitios reportados como críticos.

El estudio recomendó realizar perforaciones para definir la estratigrafía del sitio y el tipo de filtración, perforaciones en las que se recomendó además la instalación de piezómetros para monitorear el comportamiento de las filtraciones, y adición de pozos de alivio, con una descarga a un canal de drenaje. De igual forma se intervinieron otros sitios, como el 15+600 (presa 24), donde se estabilizó este tramo que había sido afectado por deslizamientos en ambos taludes del abra.

Investigación científica y técnica

A partir del 2003, hasta el 2007, hubo un período de sequía, que no permitió al embalse pasar de la cota 82 durante esos años, por lo que no se reportaron filtraciones no controladas.

En el 2008, la intensa estación lluviosa llenó el embalse hasta la cota 85.296 y fueron reportados nuevamente borbollones en el Km 8 en el sitio cercano al del antiguo borbollón del 2001, así como uno nuevo en el estribo derecho del abra, además se reportaron filtraciones no controladas en 15 sitios adicionales.

Así, a partir de este nuevo reporte se continuó el estudio que se iniciará en el 2003, integrando al autor de este artículo, al equipo de trabajo,

para el estudio de las filtraciones en el Dique y las investigaciones Hidrogeotécnicas, particularmente en el Km 8, donde se detectó que el borbollón se mantenía con cargas bajas, cuando el embalse había descendido a la cota 79.6, lo cual sugería que había fallado el suelo, siendo el estrato arenoso un conducto desde el embalse hasta el terreno de cimentación aguas abajo, en el sitio del borbollón, por lo que se recomendó una topografía de detalles y nuevas perforaciones tanto aguas arriba y aguas abajo, repartidas en los estribos y en el centro del abra, para completar el perfil geológico del sitio, investigar la mecánica de las filtraciones, ensayar mediante pruebas Lefranc, la permeabilidad in situ de los suelos, adicionar nuevos pozos de alivio y establecer un modelo de las filtraciones.

Algunas características geotécnicas del Dique de la Divisoria

El Dique de la Divisoria está ubicado hacia el extremo Este del embalse, en un banco reciente de aluviones y cenizas volcánicas, cortando muchas veces paleocauces que en el pasado fueron tributarios del Peripa y el Congo, que ahora yacen bajo estratos arcillosos, o de cangahuas fracturadas, que al igual que los estratos aluviales se convierten en vías preferenciales de flujo por donde se filtra el agua del embalse.

En particular, el Dique en el tramo del Km 8, donde se reportó el afloramiento del gran borbollón en el 2001, está cimentado sobre un estrato arcilloso superficial de 3.5m de espesor aproximadamente, y bajo este se encuentra un gran paleocauce altamente permeable que ha sido rellenado con limos y depósitos aluviales de gravas, arenas y cenizas volcánicas, según las perforaciones realizadas en el 2003, 2008 y 2010. Se intercalan además en varios sitios capas de pocos metros de espesor, de limos arenosos y arenas limosas muy finas, susceptibles a la tubificación.

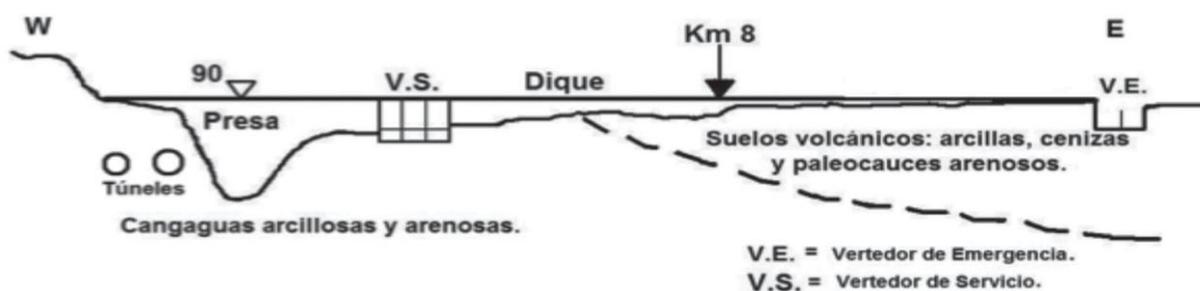


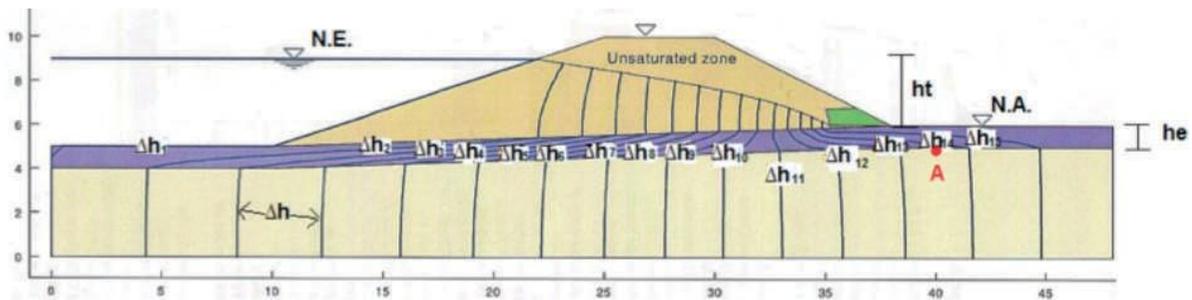
Fig.2. Presa Daule-Peripa, vista desde aguas abajo. Esquema Geológico de la Presa Daule-Peripa. LMN/HVC. Septiembre 26 del 2011.

Modelo utilizado y adopción del factor de seguridad

MODELO UTILIZADO. - Para el análisis de los problemas de filtración en el tramo del Km8 se empleó un modelo matemático utilizando el software GGU-SS-FLOW 2D, de la empresa alemana Civil Serve, que resuelve de forma aproximada la

ecuación del flujo laminar bidimensional en un suelo, mediante la aplicación del Método de los Elementos Finitos.

El programa muestra las líneas equipotenciales expresadas en términos de cotas referidas al Nivel del Embalse, tal como se detalla a continuación, de fácil comprensión y manejo como sedemuestra:



Distancia (m)

Fig. 3. Modelo demostrativo para el cálculo de presiones.

Cota

Cota piezométrica en A = Cota N.E. - n Δh

htA = Cota piezométrica en A - Cota N.A. : Carga total en AhpA =

htA - (- he) : Carga de Presión en A

hpA = ht (1-n/nd) - (- he) L.Q.Q.D.

Factor de Seguridad

Los Factores de seguridad están ligados a los modos de falla de las estructuras que se analizan. Por ejemplo, los materiales sólidos como el concreto, acero, etc., tienen alta resistencia a la tracción y compresión, por ello todos los modelos de falla de estos materiales pueden ser explicados a partir de ambos esfuerzos.

En el caso de los suelos, éstos no soportan esfuerzos de tensión sino pequeños esfuerzos de compresión, y el parámetro representativo de la rotura del suelo es el esfuerzo cortante.

El Factor de Seguridad contra Flotación está basado en el principio de Arquímedes.

Factor de Seguridad contra Turbificación. - El Criterio de Lane es aplicable en los análisis de la turbificación. El Método propuesto por Lane contempla la resistencia a la erosión y se supone que está implícita la resistencia al corte de los suelos, por lo que establece un parámetro de resistencia a la turbificación para cada tipo de suelo, obtenido experimentalmente.

$$N.L. = (DH/3 + DV) / h$$

El Factor de Seguridad contra la Falla Hidráulica.

- La falla hidráulica del suelo se da cuando la fuerza de filtración supera la resistencia al corte del suelo $t_o > t$.

t_o, representa la Fuerza de Filtración, que es una fuerza interior, de arrastre de agua sobre el esqueleto mineral y de reacción de éste sobre el agua.

t, es la resistencia al esfuerzo cortante en el instante de falla, expresada en la Ley de Coulomb.

De acuerdo con Hirotaka SAKAI y Kenichi MAEDA, Ref., las fallas por filtraciones en el suelo y/o en el terreno, provocan importantes problemas geotécnicos, tales como daños de diques en virtud de las inundaciones, la erosión de la estructura del suelo y de las costas del océano y las riberas del río y demás. Además, la generación de gas y la expulsión de las burbujas de aire han sido observadas antes de la falla que produjo la filtración, en muchos casos. La fuente de las burbujas de aire se podría pensar que es la fase de aire atrapado por delante de las filtraciones y el aire que contiene de agua de los poros. La generación y desarrollo de la burbuja de aire, por lo tanto, juega un papel muy importante en la naturaleza de la falla por filtración. Las burbujas de aire deben, por tanto, aumentar el riesgo de falla y erosión del suelo.

En nuestro caso se adoptó como hipótesis que la activación de los borbollones en el sitio, sugería un *factor de seguridad* contra la *falla hidráulica* en la arcilla de cimentación* del Dique, igual a 1. Así se calibró el programa con las lecturas piezométricas registradas, para realizar el análisis

de la estabilidad del tramo del Km 8. En nuestro análisis el criterio fundamental fue evaluar el *factor de seguridad* contra la *falla hidráulica* del suelo, que satisfaga lo establecido por la Norma antes citada, para niveles de embalse sostenidos, dentro del esquema presentado en la Fig. 4.

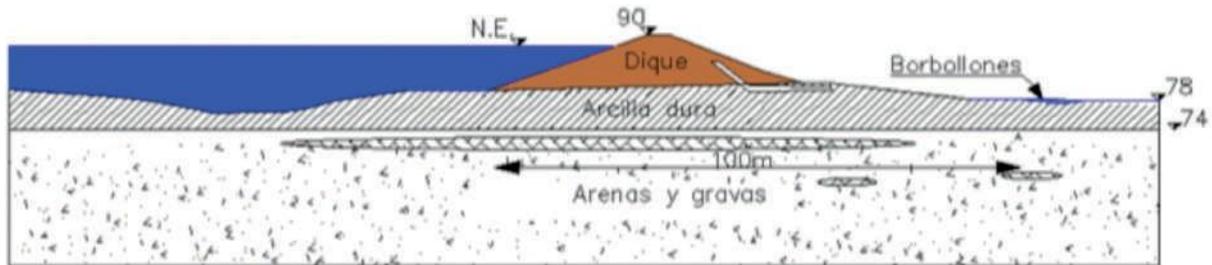


Fig. 4. Dique de la Divisoria. Esquema geotécnico del Km 8 del Dique de la Divisoria y condiciones de carga. HVC. Enero 2012.

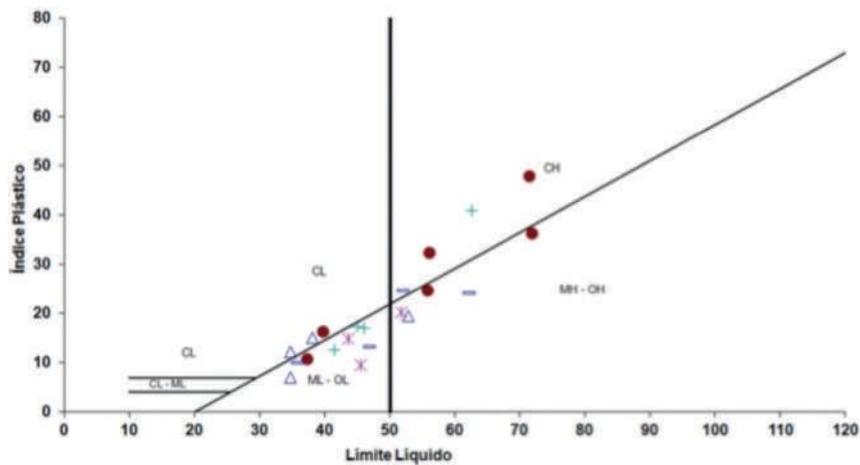


Fig. 5. Dique de la Divisoria. Carta de Plasticidad de la arcilla de cimentación del Dique. HVC. Perforaciones 2009.

$$F.S. = \frac{W'}{F_f} = \frac{L \cdot \rho'}{i \cdot dt \cdot \rho_w} \quad \text{F.S. contra la falla hidráulica del suelo} \geq 1.5.$$

$$F.S. = \frac{W}{U} \quad \text{F.S. contra la sub-presión} \geq 1.1.$$

Donde:

- F.S. =Factor de seguridad.
- W =Peso del suelo.
- W' =Peso del suelo sumergido.
- U =Sub-presión.
- Ff =Fuerza del flujo de agua.
- L =Profundidad del estrato o del tramo de estrato sometido a la falla.
- ρ' =Peso específico boyante del cuerpo de suelo.
- i =Gradiente hidráulico = $L/\Delta h$.
- ρ_w =Peso específico del agua.

* En la Fig. 5 se muestra la carta de plasticidad y las características de la arcilla de cimentación del Dique, de manera general.

7 Alternativas y diseño del control de filtraciones. El 2008, cálculos, programa (descripción), diseño.

Con los planos topográficos del sitio y las perforaciones se preparó el perfil geotécnico del tramo en estudio (Km8), se ensayaron los suelos para conocer sus propiedades mecánicas y los parámetros geotécnicos, se analizó el

tipo de filtración y con esta información más los registros de los piezómetros instalados desde el 2003, se analizaron las siguientes alternativas:

A.- Delantal de arcilla Aguas arriba del Dique, de 3 m de espesor por 50 m de ancho y 230 m de largo, construido entre los meses de noviembre y enero de un año normal. Fig. 6.

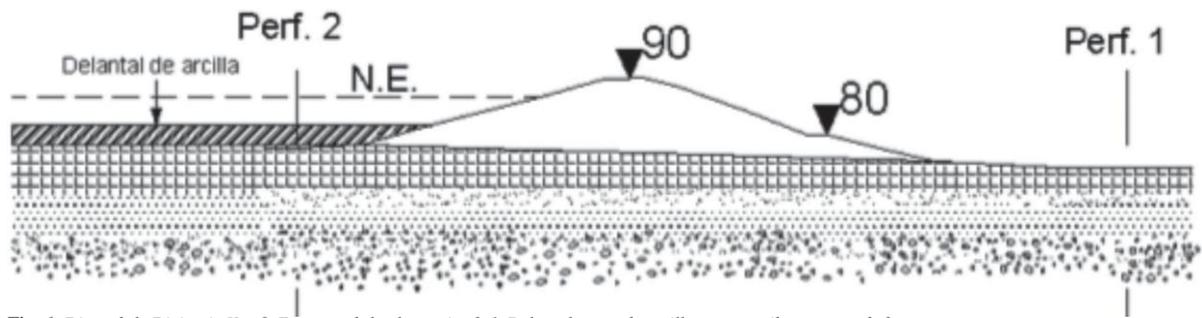


Fig. 6. Dique de la Divisoria Km. 8. Esquema de la alternativa 3.1. Delantal aguas de arcilla aguas arriba, espesor de 3m.

B.- Berma aguas abajo de 3 m de espesor por 230 m de largo por 50 m de ancho, hasta la cota 81, con material adecuado sobre un sistema de drenaje que reemplace los canales existentes, y que permita a los tubos de alivio descargar las filtraciones a otro canal exterior. Fig. 7.

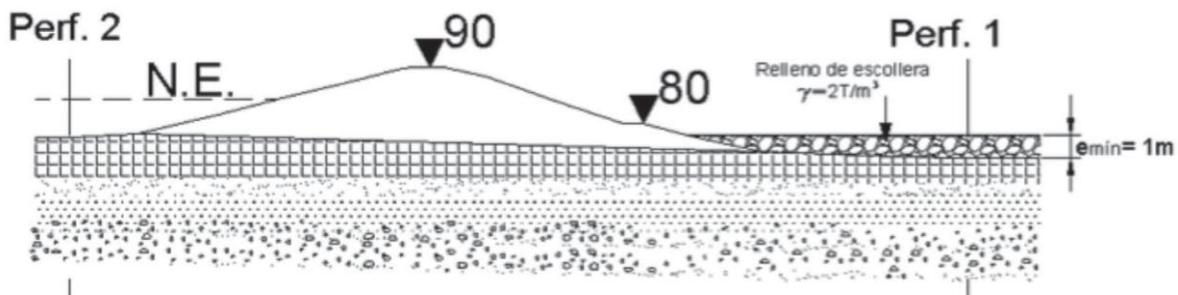


Fig. 7. Dique de la Divisoria Km. 8. Esquema de la alternativa 3.2. Berma de material adecuado, espesor 3m, aguas abajo del Dique.

C.- Pantalla de hormigón plástico o tablestaca de acero con viga de amarre, de 12m aproximadamente de profundidad, hincada bajo el talud aguas arriba, a construirse entre los meses de noviembre y enero de años normales, donde el nivel del embalse está bajo la cota 78. Fig. 8.

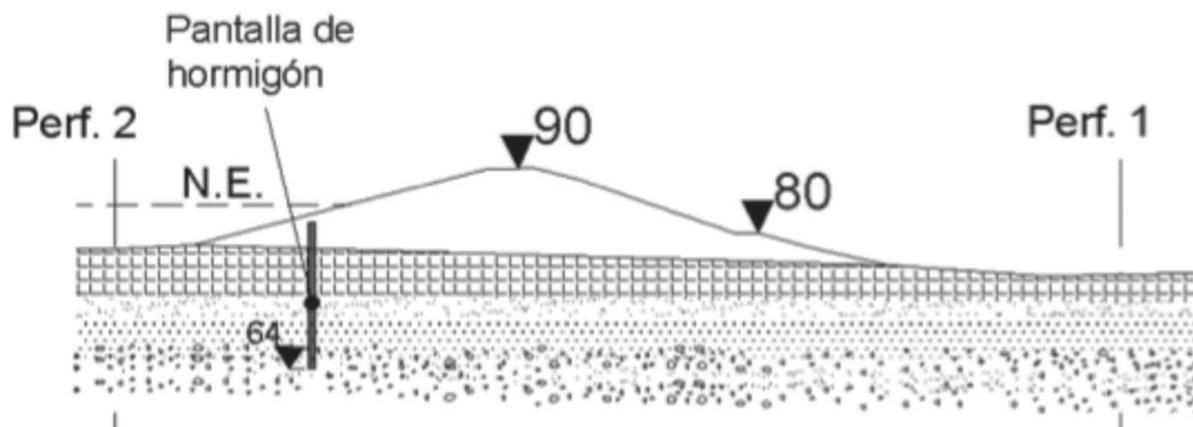


Fig. 8. Dique de la Divisoria Km. 8. Esquema de la alternativa 3.3. Pantalla de hormigón bajo el espaldón aguas arriba. (Profundidad de hincado bajo el estrato arcilloso = 10m.).

Análisis de las alternativas

Para el análisis de las alternativas se adoptó una sección del Km 8 del Dique, en base a la topografía, y el perfil estratigráfico. Se utilizó el software GGU-SSFLOW 2D para el análisis de la red de flujo y supresiones, calibrado con los registros piezométricos del sitio.

La alternativa A, esto es el delantal de arcilla fue descartado, ya que el Dique en el Km 8 está cimentado sobre un estrato arcilloso superficial de 3m a 4 m de espesor, de manera que adicionar una capa arcillosa a manera de delantal, sobre el estrato arcilloso existente y sobre las excavaciones para préstamos de la capa superficial que se hicieran aguas arriba, durante la construcción, no causaba una reducción importante en las presiones. Además, esta alternativa no corta la entrada del agua con condiciones de borde permeables.

La alternativa B, esto es, la berma de carga aguas abajo sobre el terreno natural, de acuerdo al modelo, si aumentaba el *factor de seguridad* por encima del recomendado. Sin embargo, la berma obligaba a reemplazar todo el sistema de drenaje existente por otros que trabajaran enterrados, incluyendo las galerías para mantenimiento y registro de caudales. Esta solución limitaba las reparaciones o mejoras que deben hacerse eventualmente en los drenajes enterrados, al presentarse filtraciones no controladas, filtraciones que no pueden evitarse, a pesar de la sobrecarga. Por ello, esta alternativa fue también desechada.

La alternativa C, esto es la pantalla de hormigón plástico o tablestaca de acero, reducía drásticamente el volumen de las filtraciones, al igual que las presiones al grado de aumentar drásticamente el *factor de seguridad* que amenazaba la estabilidad de la obra.

Como se muestra en el Fig. 9, el *factor de seguridad* logrado con la pantalla para el Nivel Máximo del Vertedor de Emergencia en la 87,70, resultó de 1,40, mayor que el admisible 1,2, especificado para estos casos.

Recomendación de la solución definitiva

Ante la aparición de nuevos borbollones en el año 2008, sumados al preocupante afloramiento que llegó a mantenerse durante el estiaje, incluso con 2m de carga, y ante la posible llegada de un Niño o lluvias extremas que volvieran a cargar el embalse a la cota 85, se recomendó como solución definitiva, la construcción de una pantalla de hormigón plástico, que ya se tenía experiencia en otros proyectos (PM Baba, Horno Tejero), para reducir el efecto de las filtraciones, que amenazaba la estabilidad del Dique en este tramo. La pantalla recomendada fue de hormigón plástico, de 12m de profundidad aproximadamente, con la punta en la cota 64,5 de 230m de longitud, cubriendo el Paleocauce del Km 8, y como alternativa una pantalla de tablestacas hincadas de acero, con una viga de cabezal de hormigón armado para rigidez de la pantalla. En ambos casos, el diseño definitivo, debería basarse en planos de topografía actualizada y de detalles.

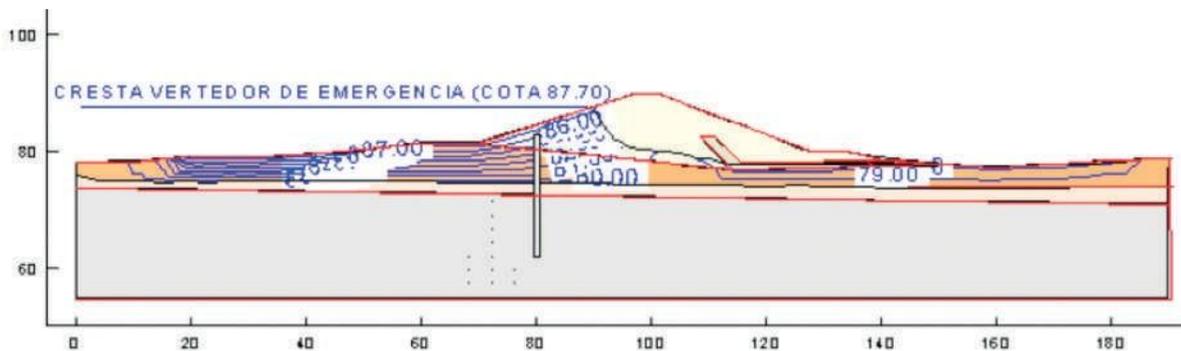


Fig. 9. Dique de la Divisoria. Solución propuesta para reducir los efectos de las filtraciones en el Km 8. Nivel de embalse sostenido 87.70. Modelo en el programa GGU-SS-FLOW 2D. LMN/HVC, agosto 2009.

N.E. = 87.7

hp= 6.4

Fuerza de Filtración= 2.4 t/m²

W'= 4m* (1.85-1.00) t/m³ = 3.4 t/m²

F.S.(Falla Hidráulica) = 1.417

Eficiencia

El término *pantalla* en general se aplica a cualquier tipo de estructura cuyo principal propósito es reducir el gasto del flujo de agua a través de decimentaciones. Ref.

Así la *pantalla* del Km 8, fue concebida como una barrera prácticamente impermeable, flexible, no estructural, que sella parcialmente el estrato aluvial, alargando el recorrido del flujo, logrando una pérdida considerable de la energía (carga), permitiendo elevar el *factor de seguridad* contra la falla hidráulica del suelo.

Por ello, desde un principio se propuso evaluar la Eficiencia de la *pantalla* para diferentes profundidades de hincado, refiriéndola al *factor de seguridad* establecido para *falla hidráulica* y *sub-presión*, considerado por la norma DIN 1054 OLD.

Diseño

Para el diseño de la pantalla se realizó una topografía actualizada de detalle del sitio, cubriendo todo el Paleocauce del Km 8, con curvas de nivel cada 50cm aguas arriba y aguas abajo. Se escogió la sección que fuera adoptada en los análisis anteriores y se redefinió la longitud de la pantalla, usando el mismo software. Así se diseñó una pantalla de 15m de profundidad, 0,8m de espesor

y 260m de longitud, cubriendo el Paleocauce y los estribos del abra. El cabezal de la pantalla fue establecido en la cota 79,50.

Profundidad óptima

El 8 de enero del 2011 se logró firmar el contrato CELEC-HNA-001-2011, para la construcción de una pantalla de Cemento-Bentonita a la altura del Km 8 del Dique de la Divisoria. Sin embargo, el 15 de enero se inició un período de lluvias intensas originadas por tormentas provenientes tanto del Caribe como de la Amazonia, por lo que HIDRONACIÓN de acuerdo con la proyección del CENACE de Energía y Nivel de Embalse 2011, suministró la cota máxima 84.05 del embalse proyectada a mayo del 2011, que coincidiría aproximadamente con la fecha de terminación de la obra, por lo que se estableció el cabezal de la pantalla en la 84.20, restando 4.7 m de efectividad a la pantalla.

Por ello fue necesario evaluar la eficiencia de la pantalla, y se realizó un nuevo análisis con esta modificación. En este nuevo análisis se determinó que para optimizar la profundidad de la pantalla era necesario dividirla en dos cuerpos, uno de 15m en los estribos y otro de 20m en el centro del paleo-cauce, cumpliendo en todos los casos con los *factores de seguridad* establecidos en la norma adoptada.

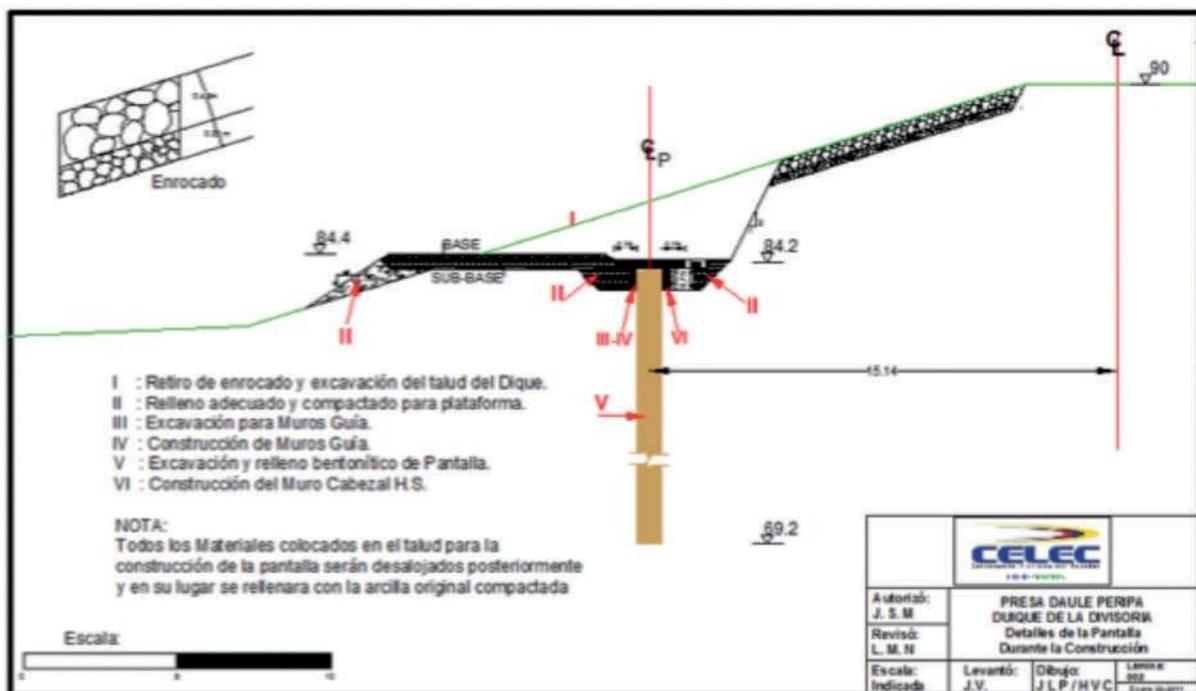


Fig. 10. Presa Daule-Peripa. Dique de la Divisoria. Plano de detalles de la Pantalla durante la construcción. Enero 2011. LMN/JLP/HVC.

Proceso constructivo

Previo a la construcción se establecieron diseños en el laboratorio, de dos dosificaciones con bentonitas de diferente origen, obteniéndose los diferentes resultados:

Cuadro 1.- Dosificaciones para la construcción de la pantalla de Cemento-Bentonita. Diseños experimentales de hormigón plástico. Laboratorio OAS Ltda.7, Proyecto Multipropósito Baba. Feb./2011.

| Componentes | Dosificación # 1 | Dosificación # 2 |
|----------------------------------|------------------|------------------|
| Cemento Holcim Tipo GU | 350 Kg | 350 Kg |
| Bentonita Bara – Kade / Bentocol | 40 Kg | 50 Kg |
| Agua | 1000 l | 1000 l |

Características Mecánicas de la Pantalla.

- Resistencia a la compresión simple a los 28 días. = 3 Kg/cm²
- Permeabilidad K= 10⁻⁶ cm/s.
- Plasticidad= Alta.
- Compacidad= Alta.

Los trabajos empezaron por la instalación de bodegas y área de campamento, se continuó con la adecuación del camino de acceso, desde la berma de la cota 80, hasta el talud aguas arriba donde se retiró parte del enrocado para la construcción de la plataforma de trabajo de 7m de ancho, que permitió la operación para la excavación y relleno de la mezcla Cemento-Bentonita.

Para garantizar la verticalidad de la pantalla se instalaron muros guías de hormigón armado, prefabricados, que al final de la construcción formaban parte del cabezal de la pantalla. La excavación para la construcción de la pantalla propiamente dicha se realizó por tramos llamados

módulos, de 2,25m de largo en promedio y de 15m y 20m de profundidad, que eran luego rellenos por la mezcla de Cemento-Bentonita. Por cada módulo se tomaban muestras de la mezcla, para el control de calidad de la obra y la rotura de muestras a los 28 días.

Luego de rellenados los 260m, se procedió al retiro del material filtrante de la plataforma de trabajo, remate del cabezal y la restitución del talud original de la arcilla del Dique, para lo cual se realizaron préstamos aguas abajo, definidos por HIDRONACIÓN, previos ensayos de laboratorio, clasificación y compactación (Proctor). El control de calidad del grado de compactación fue también registrado en cada una de las capas de restitución del talud, con ensayos de campo. Finalmente, la reposición del enrocado se la realizó con material importado y con gran parte del enrocado original que había sido desalojado para la construcción de la plataforma de trabajo.

Se muestra a continuación varias fotos que resumen los trabajos arriba descritos:



Fotos 1. Excavación Pantalla. Feb./24/2011.



Fotos 2. Reconformación del Talud del Dique, luego de construida la Pantalla de Cemento-Bentonita.

Resultados obtenidos

ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA DE LA PANTALLA CONSTRUIDA, A PARTIR DE LOS REGISTROS PIEZOMÉTRICOS.

En la estación lluviosa del 2012, las fuertes precipitaciones amazónicas presentadas en el embalse Daule-Peripa, elevaron el nivel del reservorio hasta la cota 85. Los registros piezométricos que fueron tomados día a día, desde antes del inicio de la construcción de la pantalla, a principios

del 2011, fueron continuados para evaluar su eficiencia, contrastándolos con los registrados antes de construir la pantalla.

Se presenta a continuación el éxito logrado con la construcción de la pantalla en el aumento de la seguridad del Dique, basado en los registros piezométricos del Km 8, donde se muestran los *factores de seguridad* contra la *falla hidráulica* del suelo, antes y después de la construcción de la pantalla, para diferentes niveles sostenidos de embalse.

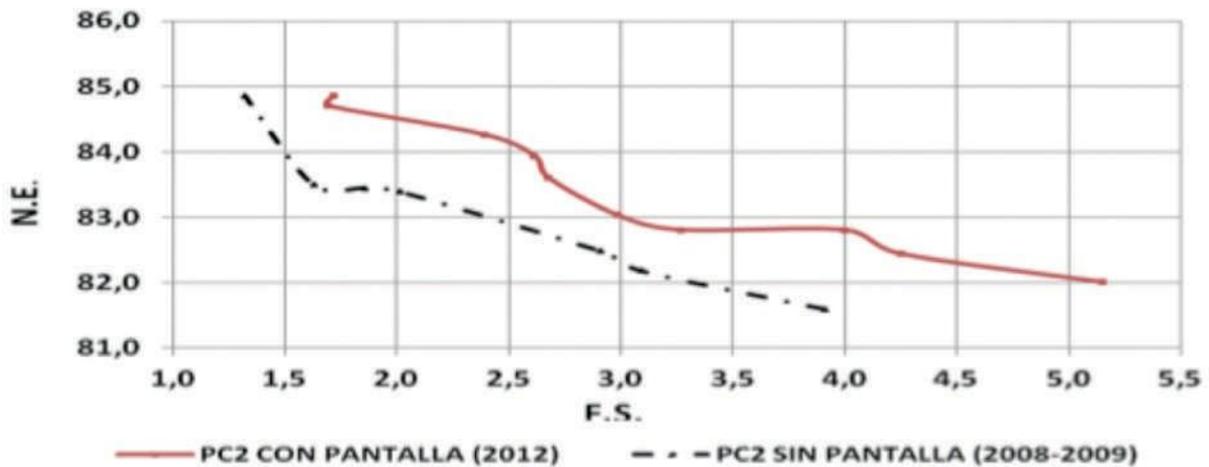


Fig. 11. Presa Daule-Peripa. Dique de la Divisoria, Km8. Correlación entre los niveles de embalse y Factor de Seguridad contra la Falla Hidráulica del suelo, a partir de los registros del Piezómetro PC2.

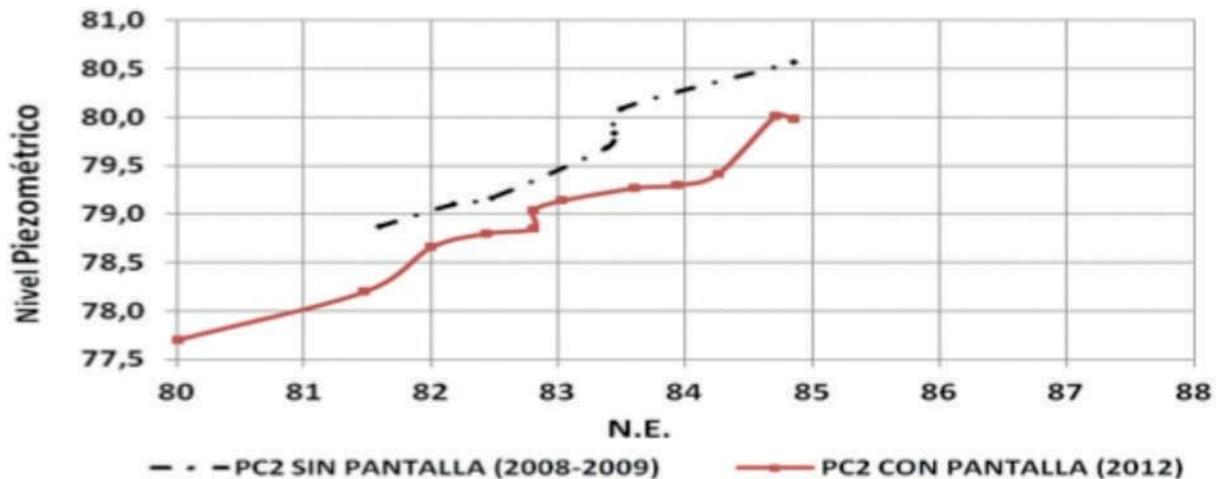


Fig. 12. Comprobación de la eficiencia de la Pantalla del Km 8. Correlación entre niveles de embalse vs. niveles piezométricos a partir de los registros del Piezómetro PC2.

En la Fig. 11, se muestra la correlación entre niveles de embalse y *factor de seguridad* contra la *falla hidráulica* del suelo sin y con pantalla. Se compara además las sub-presiones registradas antes de construir la pantalla con las registradas

en el 2012 (Fig. 12). En el análisis se muestra que la pantalla ha logrado reducir la carga piezométrica (hp) hasta en un 27% para un nivel de embalse sostenido, con lo que se logra elevar significativamente el *factor de seguridad* $> 1,5$.

En el sitio, la evidencia física, es que no se han activado borbollones, ni afloramientos de agua en el suelo de cimentación del Dique, como se muestra en las fotos: 4.- Tomada en julio del 2001, después de que se detectara el borbollón el Km 8. El nivel del embalse en la fecha de inspección era 82,5 aproximadamente y 5.- Tomada

el 23 de octubre del 2008, cuando afloraba el agua con apenas 1,6m de carga. N.E.=79,6.

De igual forma, se muestran las fotos 6 y 7, tomadas el 21 de marzo del 2012, evidenciándose la desaparición de borbollones y afloramientos de agua en el Km8.



Foto 4. Izquierda. - Borbollón reportado en el 2001. Inspección de los Ingenieros Ingo Fox y Juan Saavedra. Julio 2001. N.E.=82,5.



Foto 5. Afloramiento de agua en el Km 8. Octubre 23 del 2008. N.E.=79,6.



Foto 6. Izquierda. Dique de la Divisoria, Km 8. Zona del antiguo Borbollón 2001, seca. N.E.= 84,7. Marzo 21 del 2012.



Foto 7. Derecha. No hay Afloramiento de agua, a pesar de haber 5m más de carga con respecto a octubre del 2008. Marzo 21 del 2012. N.E.= 84,7.

Agradecimiento

Quiero agradecer a los técnicos y trabajadores, así como a los ingenieros del Dpto. de Operación y Mantenimiento de la Presa Daule-Peripa, compañeros de trabajo, que, desde el inicio del autor en los trabajos, han brindado toda su colaboración para

llevar adelante las labores. Quiero destacar además a mi profesor, el Ing. Luís Marín-Nieto, quien, a más de permitirme formar parte de su equipo de trabajo, me motivó a presentar este artículo, de forma metódica y sistemática, esperando que sirva de referencia y ayuda en la solución de problemas de filtración en proyectos similares.

Bibliografía

- García, P et a los trabajos de corrección de filtraciones e impermeabilización en la presa horno tejero (BADAJOZ).
- Marín, Luís. El caudal ecológico de la cuenca del Guayas en la visión de la ecología humana Congreso Ecuatoriano de Mecánica de Suelos y II Conferencia Ecuatoriana de Ingeniería Geotécnica y Ambiental para Ingenieros Jóvenes y Estudiantes, SEMSIR, Guayaquil 2011.
- Marín, Luís. LMN-021-09. Tercer informe correspondiente al mes de junio, sobre las nuevas filtraciones que se presentaron el año 2008. Hidronación, Daule-Peripa, 2009.
- Marín, Luís. LMN-021-09. Control de las filtraciones en el dique de la divisoria. Hidronación, Guayaquil 2012.
- Marín, Luís. Mecánica de suelos. Vi edición. Edición 50 Aniversario. Sociedad Ecuatoriana de Mecánica de Suelos y Rocas SEMSIR. Guayaquil 2011.
- Marsal R. & Reséndiz D. Effectives of cut offs in earth foundations and abutments of dams. IV Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Fundaciones. Puerto Rico, 1971.
- Vera, Halbert. Informe sobre la profundidad óptima de la pantalla en el km 8 del dique de la divisoria, 2011. Hidronación, Daule-Peripa, 2011.
- Vera, Halbert. HVC-HDN-002-012.informe sobre la eficiencia de la pantalla. Hidronación, Daule-Peripa, 2012.
- Vera Halbert. Una metodología para el análisis y control de las filtraciones no controladas en la cimentación de un dique. V Congreso Ecuatoriano de Mecánica de Suelos y II Conferencia Ecuatoriana de Ingeniería Geotécnica y Ambiental para Ingenieros Jóvenes y Estudiantes, SEMSIR, Guayaquil 2011.
- Wolf, Teodoro. Geografía y geología del Ecuador.
- Sakai, H. & Maeda K. Seepage and erosion mechanisms of sandy ground due to air bubbles (JGS). 4ta Conferencia Internacional de Erosión y Socavación. Tokio, 2008.