

PRESA SALVE FACCHA

ASPECTOS CONSTRUCTIVOS ESPECIALES Y CONTROL DEL LLENADO DEL EMBALSE

Autores: Ing. Oscar Larrea E.
Ing. Nelson Arias J.

1.- INTRODUCCION

1.1.- Antecedentes

EL Proyecto Papallacta construido en 1990, contempló la captación y el tratamiento de 3.000 litros por segundo, caudal que es conducido mediante un sistema de bombeo hasta la Planta de Bellavista en la ciudad de Quito.

Con el propósito de incrementar el caudal, que se mantenga una reserva para las épocas de estiaje, se produzca una generación de 15 Mw de energía y, que al mismo tiempo utilice las obras ya construidas del proyecto original, la EMAAP-Quito diseñó y está ejecutando el proyecto a gravedad denominado Optimización del Sistema Papallacta

El ahorro de energía en el Sistema Papallacta que abastece a la ciudad con el 50% del agua potable se lo estima en 2,5 millones de dólares anuales.

La Presa Salve Faccha recientemente inaugurada, es una de las obras básicas del Proyecto y tiene por objeto utilizar las aguas del Río Cunuyacu, para crear un embalse de regulación y reserva de 10.500.000 m³ e incrementar en 1.000 l/s el caudal del Sistema Papallacta. Esta obra se encuentra ubicada en la parte alta de la Reserva Ecológica Cayambe-Coca, en la provincia del Napo.

La EMAAP-Q, ha puesto especial énfasis en la protección del eco sistema toda vez que el Proyecto se encuentra en un área protegida y, bajo la supervisión del Ministerio del Ambiente se viene ejecutando esta obra, la misma que cumple con altos estándares de calidad ambiental, lo que permitirá un aprovechamiento sustentable y sostenible del recurso hídrico.

1.2.- Características de la Presa.

Corresponde a una presa de materiales sueltos, con núcleo morrénico, tiene una altura máxima de 44 metros y una longitud de la corona de 190 metros. La estructura de toma trabaja sumergida para una capacidad máxima de 1.450 l/s.

El desagüe de fondo se lo realiza por medio de una tubería de 0.90 metros de diámetro y la estructura de control de excesos está conformado por un vertedero lateral de 8 metros de ancho y una rápida de 470 metros que trabaja a nivel libre para una capacidad máxima de descarga de 20 m³/s.

| | |
|-------------------------------------|------------------------------|
| Tipo de presa: | Materiales sueltos |
| Materiales del cuerpo de la presa | Morrena, filtros, escollera |
| Zona impermeable: | Núcleo de morrena |
| Altura máxima: | 44 m. |
| Longitud de coronamiento: | 190 m |
| Cota de coronamiento: | 3.894 m.s.n.m. |
| Volumen de morrena: | 64.267 m ³ |
| Volumen de filtros: | 51.208 m ³ |
| Volumen de escollera: | 176.297m ³ |
| Volumen total de materiales: | 291.772 m³ |
| Area de embalse: | 130 Ha. |
| Volumen total del embalse | 12'500.000 m ³ |
| Volumen útil del embalse: | 10'500.000 m ³ |
| Valor total estimado: | 9'300.000 + REAJUSTES |

2.- GEOLOGIA DEL SITIO DE LA PRESA

En el sitio del proyecto se presentan rocas de origen volcánico cubiertas por depósitos coluviales, glaciáricos, aluviales y de suelos. Los rasgos estructurales, la secuencias litoestratigráfica y el proceso de alteración de los materiales evidencian una actividad sísmica y tectónica importante, reflejada en una acción hidrotermal acentuada.

En la margen izquierda del eje de la presa se encuentran dacitas altamente silicificadas de buenas características mecánicas, pero cerca de la superficie están meteorizadas. En el estribo derecho se presenta una característica geológica muy especial, puesto que en la parte alta del estribo aparece una formación de andesita basáltica, de 20 m de espesor, con buenas características geotécnicas, suprayaciendo a un nivel de escoria volcánica de 9 m de potencia; por debajo de esta se encuentran dos estratos diferentes: el uno constituido por arenas densas de 12 m y otro, por morrena, de 8 m de espesor aproximadamente, depositados sobre basamento dacítico. (ver gráfico No.-2).

3.- DISEÑO DE LA PRESA

Las condiciones geológicas-geotécnicas del estribo derecho de la presa, en el cual existen depósitos de suelos (arena densa, morrena y escoria volcánica), con espesores importantes, fueron factores determinantes para la selección de una presa de escollera con núcleo central impermeable, además que, los préstamos y canteras para extracción de los materiales requeridos en la construcción, están ubicados dentro de la zona, con distancias de acarreo cercanas a los 500m, lo que favorece grandemente al proceso constructivo y a la economía de la obra.

La sección de la presa está compuesta por un núcleo central impermeable de morrena (grava y bloques pequeños en una matriz limo arcillosa, de baja plasticidad), con espaldones de enrocado y zonas de filtro y transición entre estos dos materiales. (ver gráfico No.- 1)

El núcleo impermeable tiene una relación espesor/carga hidráulica máxima de 0.6, adecuada para las condiciones geológicas de los estribos. Los taludes de la presa se inclinan, con una pendiente de 1.8H : 1V, tanto aguas arriba como aguas abajo y están protegidos con una zona de bloques de roca con tamaños superiores a 0.3 m.

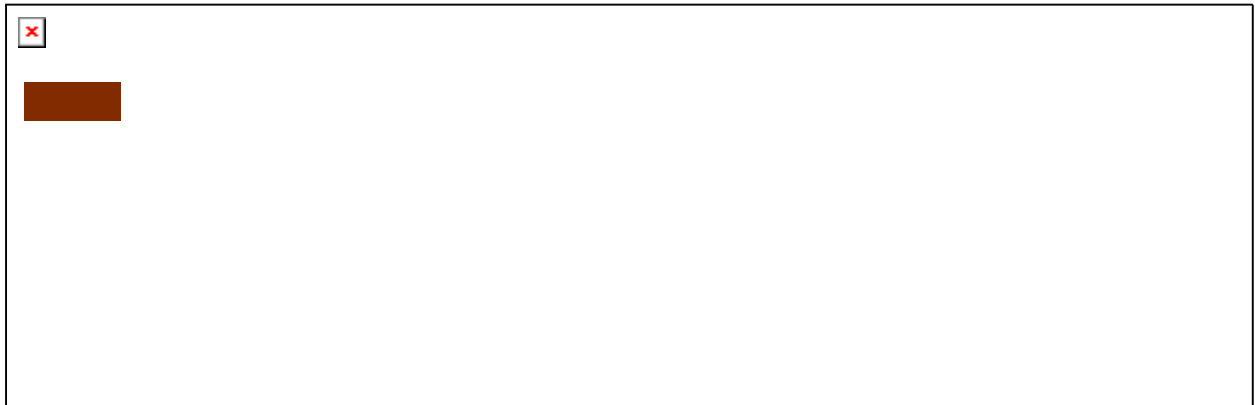


GRAFICO No.- 1

4.- ASPECTOS CONSTRUCTIVOS ESPECIALES

4.1.- Cortina de inyecciones.

Para impermeabilizar el macizo rocoso de la fundación del núcleo de la presa, se construyó una cortina triple de inyecciones a lo largo del núcleo de la presa, verticales en el basamento e inclinadas 28° y 30° en el estribo izquierdo y derecho respectivamente, con una longitud de 15 m en la fila central (eje de la presa), equivalente al 0.5 de la cabeza hidrostática y, 10 m de longitud en las filas laterales.

La cortina está conformada por perforaciones primarias espaciados 6 m y con perforaciones secundarias y terciarias ubicados a espaciamiento dividido. La distancia entre las filas laterales y la central es de 3 m. Las presiones de inyección se establecieron bajo el criterio de 0.23 kg/cm² por metro de profundidad.

Adicionalmente toda el área de la fundación del núcleo, filtros y transiciones fue tratada mediante un manto superficial de inyecciones de consolidación, a ambos lados de la cortina profunda. Con esto se evita que cualquier flujo procedente de la fundación erosione el núcleo.

Para las inyecciones se utilizó una mezcla agua cemento en relación 1/1 preferentemente y, fueron paralizadas cuando la toma fue menor a un saco por metro, en cualquier tramo de un determinado hueco y los inmediatos.

4.2.- Muro Pantalla

El tratamiento previsto para el estribo derecho comprendió la construcción de un muro-pantalla de hormigón (corta flujo), formado por galerías traslapadas, de 2 m de ancho, perpendicular a los estratos permeables. El muro se inició desde la cota 3855, y la profundidad promedio fue de 15 m, establecida con el criterio de tener un gradiente hidráulico de 0.5 dentro del depósito de arena y escoria volcánica. El muro concluyó en la cota 3878.5 empotrándolo un metro en la roca, como se muestra en la ilustración gráfica # 2.

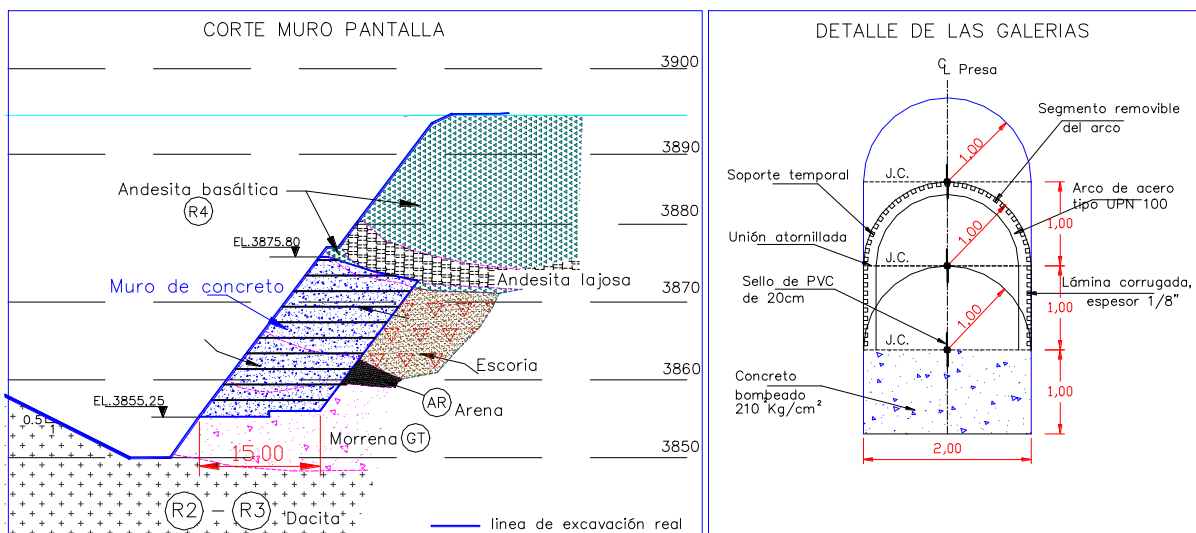


GRAFICO No.- 2

La construcción del muro se realizó mediante la excavación de galerías horizontales de sección semicircular de dos metros de diámetro, traslapadas y rellenos en concreto. Se ejecutó desde la parte inferior hacia arriba, excavando la arena (AR) mediante sistemas manuales, mientras que para la escoria se utilizó explosivos.

4.3.- Relleno de morrena

Las morrenas son depósitos de gravas y fragmentos de roca, cementados por una matriz arcillo-limosa de materiales que se producen como resultado de las glaciaciones.

Los aspectos climáticos eran los principales limitantes en la construcción de presas con núcleo impermeable de morrena, ya que hasta hace pocos años, el parámetro que determinaba la calidad del material del núcleo y un grado óptimo de compactación, era la humedad. En las condiciones que se desarrolla la obra era difícil conseguir las humedades óptimas de compactación. En la actualidad y gracias a las innovaciones escandinavas, estos parámetros son más flexibles, se ha eliminando el criterio del máximo porcentaje de humedad y la compactación con rodillo vibratorio; en este diseño se consideró que el relleno es aceptable cuando en cada capa con un máximo de 30 cm de espesor, se realicen 4 pasadas con un buldózer D7; si el buldózer no se hunde, el material queda con las características de impermeabilidad y compactación adecuadas dentro del diseño de la presa.

Este método se aplicó en el relleno del núcleo de la Presa Salve Facha y los resultados obtenidos son satisfactorios; inclusive se lograron densidades superiores a 2T/m².

FOTO PANORÁMICA DE LOS RELLENOS DE LA PRESA.



GRAFICO No.- 3

4.4.- Estructura móvil

Aunque las especificaciones de humedad para la compactación de la morrena son más flexibles como se mencionó en el numeral anterior, las precipitaciones son permanentes y en varias ocasiones el material alcanzaba un grado de saturación lo que provocó paralizaciones en la construcción y desfases potenciales en el cronograma. En tales circunstancias y como un método innovador, el contratista diseñó y construyó una cubierta móvil capaz de trasladarse a lo largo del núcleo, permitiendo la colocación y compactación de la morrena en cualquier época del año.

4.5.- Control de artesianismo en la fundación.

En el centro de la fundación del núcleo, un flujo de agua subterránea artésiana brotó a través de una perforación ejecutada en la etapa de investigaciones; esta se origina a una profundidad de 21 m, es decir, a niveles más profundos de la pantalla de impermeabilización que tiene 15 m. Este pozo fue taponado con inyección de lechada gruesa. Inmediatamente aparecieron resurgencias de agua en un sector próximo a la frontera de aguas arriba del núcleo. Se realizaron inyecciones adicionales cumpliendo con el criterio de cierre (menos de un saco de cemento por metro), sin haber controlado las resurgencias, por lo que fue necesario realizar dos pozos de alivio de 21 m de profundidad de 3" de diámetro, aguas abajo del núcleo en la zona de transición (filtros). Las perforaciones permitieron eliminar las resurgencias en la zona del núcleo. Uno de estos pozos se lo convirtió en un piezómetro de tubo abierto y funciona como parte de la instrumentación de la presa; el otro, continúa trabajando como dren donde el agua fluye a través de los materiales gruesos, aguas abajo del núcleo.

5.- AVANCES EN EL RELLENO DE LA PRESA

Con el propósito de suministrar información del avance mensual respecto a la construcción del relleno de la presa, a continuación se anexa el gráfico No.-4. Juzgamos que las cifras alcanzadas pueden ser un buen referente para la planificación y ejecución de presas que se construyan en condiciones semejantes.

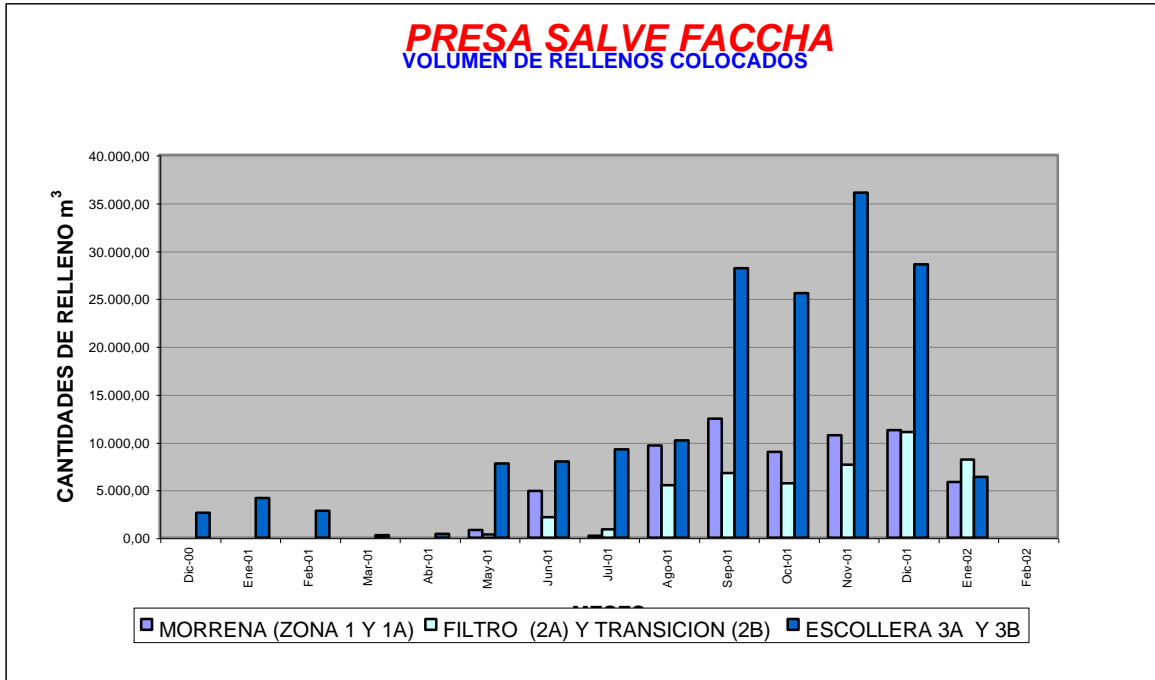


GRAFICO N.- 4

6.- LLENADO DEL EMBALSE

La cota máxima de operación del embalse es la 3.890,90 m.s.n.m. El proceso de llenado se inició el 15 de febrero del 2002, a la fecha de elaboración de este artículo el nivel del reservorio se encuentra en la cota 3887.28 m.s.n.m. y el volumen útil almacenado es aproximadamente 7'300.000 m³. De acuerdo al comportamiento hídrico de la cuenca del Río Cunuyacu, se prevé que hasta los primeros días de agosto, el embalse alcanzará su nivel máximo de operación. (Ver gráfico No-5).

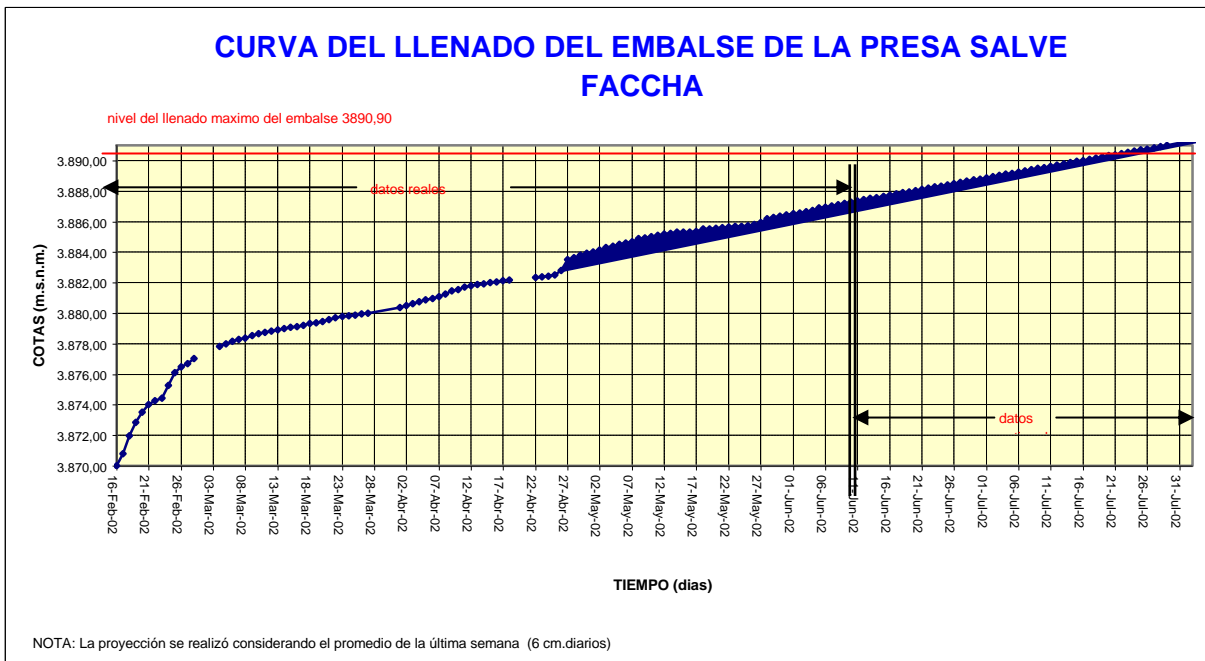


GRAFICO No.- 5

6.1.- Monitoreo de la Instrumentación de la Presa.

Para el control y monitoreo de la presa durante la construcción, el llenado y operación del embalse, se instaló la siguiente instrumentación:

- 6 Piezómetros de alambre vibrante en el relleno de la presa.
- 11 Piezómetros de observación
- 3 Inclínómetros en el relleno de la presa.
- 6 Celdas de asentamiento de alambre vibrante.
- 23 Puntos de control superficial.
- 2 Acelerógrafos.

En base a esta instrumentación y sus registros se está verificando los diferentes parámetros asumidos en el diseño y el comportamiento de los elementos constitutivos de la presa, haciendo énfasis en los siguientes aspectos:

- Presiones intersticiales en el núcleo y en la fundación.
- Niveles de agua en el espaldón de aguas abajo y en la fundación.
- Desplazamientos horizontales y verticales internos del relleno.
- Desplazamientos horizontales y verticales en la superficie de los taludes de la presa.
- Filtraciones a través del relleno y de la fundación.
- Aceleraciones sísmicas en el terreno y en el cuerpo de la presa.

De los datos obtenidos hasta la presente fecha y como era de esperarse, se ha podido observar que los principales fenómenos presentes en la presa fueron los asentamientos, especialmente durante el proceso constructivo. Los rangos están dentro de los límites tolerables para esta obra (1.0m.).

Durante el llenado del embalse, se ha notado un aumento normal de los niveles de agua en los piezómetros; los inclinómetros y mojones de control han registrado movimientos inferiores a un milímetro, lo que está dentro de lo permisible.

Aguas abajo de la presa se dejaron dos drenajes que recogen las aguas artesianas que fluyen en la zona de cimentación de la presa (ver numeral 4.5), el flujo de estos drenes ha sufrido una variación constante; al inicio el volumen aproximado era de 8 l/s, en la actualidad el volumen total está en el orden de los 19 l/s.

El comportamiento de los drenes y el piezómetro instalado en el acuífero, nos lleva a concluir que la creación del embalse ha favorecido la recarga del acuífero, aspecto que se considera normal y no reviste ningún riesgo para la presa.

6.2.- Control de eutrofización del embalse.

Con el represamiento de las aguas del Río Cunuyacu, sobre un área de 130 Ha donde proliferan los suelos pantanosos, ricos en elementos nutrientes, y con cobertura vegetal, propia de páramo, comenzará un proceso de eutrofización del embalse construido en Salve Faccha. Con la inundación se incorporará al cuerpo de agua, nutrientes provenientes de los suelos orgánicos y la cobertura vegetal de las áreas inundadas, ambiente que puede ser propicio para el desarrollo de algas.

El objetivo principal del control del embalse, es verificar que los niveles de eutrofización no repercutan negativamente sobre la calidad del agua destinada para suministro público.

Desde marzo del 2000 por dos años, cada dos meses, se llevó a cabo un monitoreo de los ríos tributarios más importantes con el objeto de caracterizarlos y calcular los ingresos de elementos nutrientes provenientes de la cuenca de drenaje. La calidad del agua registrada en los ríos tributarios fue buena, con baja alcalinidad y dureza, el color fluctuaron entre 20 UC y 30 UC, mientras que la

turbiedad estaba por debajo de 5 NTU. El hierro total se presentaba entre 0.3 y 0.9 mg/l, la presencia de coliformes fecales es fue muy baja.

Previo al llenado del embalse, se desarrollaron estudios de vegetación y suelos, que verificaron la existencia de grandes cantidades de elementos nutrientes, que serán aportados al cuerpo de agua en algunos años. El estudio sobre flora y fauna existente en el vaso del embalse caracterizó las especies vegetales y animales del área por inundar sin encontrar especies endémicas, sino especies comunes al páramo andino. El estudio de suelos indica que no existen riesgos potenciales de deslizamientos de los taludes por acción del oleaje. En base a los estudios realizados, no fue recomendado el desalojo de este material debido a que se encontraron potencias de suelos orgánicos pantanosos hasta de 8 metros y cenizas volcánicas entre 2 y 3 metros. Retirar la cobertura vegetal expondría los suelos a la acción del agua y la transferencia de nutrientes se hubiera acelerado.

Dentro del embalse se encuentran vertientes de aguas termales y minerales; se realizaron mediciones del volumen y la respectiva caracterización físico-química de las aguas, obteniéndose como resultado preliminar que los caudales representan aproximadamente el 2 % del caudal que aporta la cuenca del río Cunuyacu. Las aguas termales tienen en promedio, una temperatura de 47 °C, elevada conductividad de alrededor de 2000 us/cm, con grandes cantidades de hierro total, entre los 1600 y 2400 mg/l. Sus aguas son ligeramente ácidas, con color alrededor de 30 UC. (muestreo y aforo del 31.10.01). El volumen de agua termal en el embalse es bajo y no se prevé que por esta causa sufra alteración la calidad del agua.

En la etapa de llenado del embalse, se está ejecutando un monitoreo especial simplificado semanal, para detectar principalmente las variaciones de oxígeno disuelto en el agua, con el fin de evitar un abatimiento muy grande, ya que la ausencia de oxígeno podría provocar la aparición de malos olores en el agua y otras repercusiones indeseables sobre la calidad del agua. Adicionalmente se espera calcular las tasas de transferencia de nutrientes al agua, durante la primera etapa de inundación.

Hasta la presente no se han detectado niveles de oxígeno que puedan alterar la calidad del agua, los niveles mínimos confiables reportados están alrededor de 1,5 mg/l. El oxígeno se recupera rápidamente de semana a semana. Tampoco se ha comprobado una estratificación del cuerpo de agua formado. No se aprecia un incremento definido de los niveles de color y turbiedad en esta primera etapa de llenado. El agua en el embalse tiene una apariencia buena, inodora y bastante transparente.

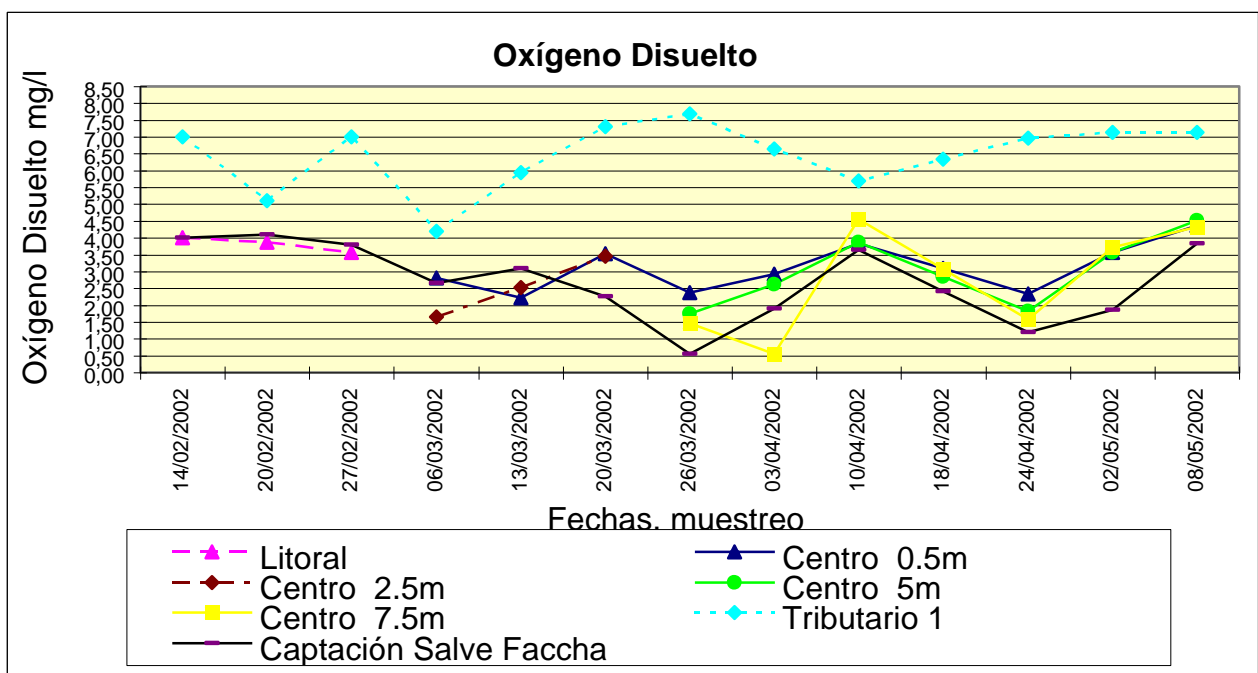


GRAFICO NO.- 6

Con el fin de detectar con suficiente antelación cualquier cambio indicativo de un crecimiento descontrolado de la producción primaria en el lago, que pudiera afectar negativamente sobre la calidad del agua, y sobre el ecosistema en general, se implementará un programa de monitoreo limnológico sistemático en el embalse y los ríos tributarios, que incluyen parámetros físico-químicos y bacteriológicos, además de bioindicadores como plancton, macrobentos y peces. Este monitoreo no es la solución en sí, pero constituye un buen instrumento de control y vigilancia de los cambios que pudieran ocurrir en el cuerpo de agua, y que permitirá tomar medidas preventivas y correctivas oportunamente.

7.- CONCLUSIONES

El reto de construir una obra hidráulica de tanta importancia a 3900 m.s.n.m, en medio de una compleja geología y de condiciones climáticas rigurosas, a puesto en prueba la capacidad técnica y organizativa de la EMAAP-Quito. Concluida la obra los resultados son satisfactorios, a juzgar por los resultados de los instrumentos instalados. El comportamiento de la estructura está dentro de los parámetros de diseño, pues los mayores asentamientos se produjeron durante la etapa de construcción. En esta etapa de llenado los controles principales están relacionados al comportamiento del nivel freático y la reacción normal de los piezómetros conforme sube el nivel del embalse.

Al momento se llevan 110 días de iniciado el llenado del embalse y como se describe el numeral 6 las características del agua son buenas, esta es apta para el consumo humano y los niveles de oxígeno se recuperan en forma inmediata.

VISTA GENERAL DEL EMBALSE Y LA PRESA



GRAFICO No.- 7