

# Resultados del sistema de instrumentación geotécnica de la zona inestable en la margen izquierda de la presa La Yesca

Erick Torres Bonilla & Graciela Pérez García  
GEIC, Comisión Federal de Electricidad, México



## ABSTRACT

During the initial phase of construction there were problems that demonstrated the geological-structural complexity of La Yesca Dam site. The excavation of the diversion tunnels exposed the real geological conditions of the abutment and generated a left bank instability condition that affected both the tunnels and the plinth of the dam, this excavation exposed a major fault on the left bank. In April 2008 the first signs of movements across the fault plane were detected. It was decided to install a geotechnical instrumentation system in order to delimit the area of surface movement and depth, and to assess the speed and direction of movement. Based on these results it was proposed actions to reduce or eliminate the movement, and the instrumentation allows also evaluating the efficiency of the actions undertaken.

## RESUMEN

Durante la etapa inicial de construcción se presentaron problemas que evidenciaron la complejidad geológico-estructural del sitio donde se está construyendo la presa La Yesca. La excavación de los portales de entrada de los túneles de desvío expuso las condiciones geológicas reales de la zona y generaron inestabilidad en la margen izquierda afectando los túneles y el apoyo del plinto, esta excavación dejó expuesta una falla importante en la ladera. En abril de 2008 se observaron los primeros indicios de movimiento a través de este plano de falla, por lo que se decidió instalar un sistema de instrumentación geotécnica para delimitar la zona inestable en superficie y en profundidad, así como para conocer la velocidad y dirección de los desplazamientos. Con base en los resultados obtenidos, se propusieron acciones para reducir o eliminar el movimiento. La instrumentación permite, también, verificar la efectividad de las medidas de estabilización.

## 1 ANTECEDENTES

### 1.1 Generalidades

El proyecto se localiza sobre el río Santiago, aguas arriba de la presa El Cajón, a 105 km al noroeste de Guadalajara y a 22 km al noroeste de Hostotipaquillo, Jal. El proyecto hidroeléctrico consta de obra de contención de tipo enrocamiento con cara de concreto de 210 m de altura; en la margen izquierda se localiza la obra de desvío con 2 túneles de sección portal y la obra de excedencias a cielo abierto, en la margen derecha se ubica la obra de generación con casa de máquinas subterránea que aloja 2 unidades turbogeneradoras de 375 MW cada una.

### 1.1 Descripción geológica

Durante la etapa inicial de construcción que evidenciaron la complejidad geológico-estructural del sitio donde se está construyendo la presa La Yesca. Las fallas geológicas en la margen izquierda se denominaron: Colapso. Colapso 1, Colapso 2, Vertedor 1 y La Curva. Dichas estructuras se caracterizaron como las más importantes debido al espesor de arcilla y roca brechada y alterada que definía su continuidad, en consecuencia se interpretaron como zonas de debilidad de la masa rocosa donde podía ocurrir el deslizamiento.

La excavación en los portales de entrada de los túneles de desvío dejó expuesta una falla importante en

la margen izquierda con echado de  $32^\circ$  hacia el interior del talud, en abril de 2008 se observaron los primeros indicios de movimiento de la ladera a través de este plano de falla, denominada Colapso, con espesores de arcilla entre 1 y 80 cm, desarrollándose una saliente al alto de la falla y estrías de dirección N20°E que indicaban la dirección de movimiento.

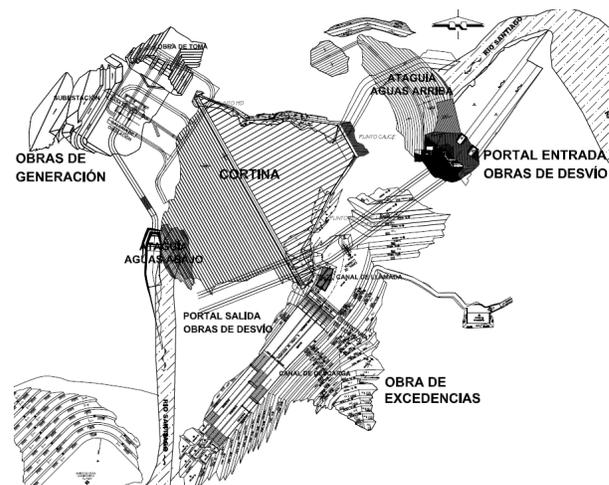


Figura 1. Planta general del P.H. La Yesca, Jal.

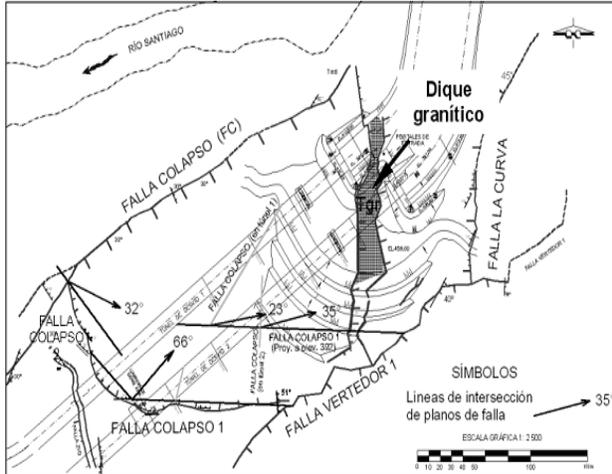


Figura 2. Principales fallas que delimitan el bloque inestable.

En abril y mayo de 2008 se observó el agrietamiento del concreto lanzado en el portal de entrada de los túneles de desvío, la distribución de dichas grietas se relacionó con el límite oeste del dique granítico que se encontró en la excavación. Posteriormente, en el mes de junio se detectó el desarrollo de grietas de tensión a lo largo de la falla Colapso 1 en la plataforma 550, sitio donde se ubicaba el proyecto de la lumbrera de cierre final.

La inestabilidad de la masa rocosa se manifestó también en el cadenamiento 0+085 del túnel de desvío 1, en los primeros 50 m se desarrollaron grietas de tensión en el concreto de revestimiento orientadas al N70°-80°W que indicarían un movimiento hacia el N10°-20°E similar al observado en las estrías de la falla Colapso.



Figura 3. Vista de la falla Colapso dentro del túnel de desvío 1.

La disposición desfavorable del sistema de discontinuidades geológicas (fallas y diques) en combinación con las vibraciones originadas por la excavación de 300,000 m<sup>3</sup> de material, en los portales de entrada de los túneles de desvío, con explosivos en roca por procedimiento normal de construcción, incrementaron el relajamiento de los bloques en el interior del talud, generando una condición crítica de inestabilidad, afectando los túneles y el apoyo del plinto de proyecto.

Tabla 1. Descripción geológica de las zonas de falla.

Falla	Descripción de la zona de Falla
<i>Colapso</i>	Material arcillo-arenoso de color rojizo de 1-1,2 m de espesor, cubiertos por roza cizallada en una franja de 6 m de espesor
<i>Colapso 1</i>	Brecha de falla, material de roca muy fragmentada y oxidada de hasta 10 m de espesor.
<i>Colapso 2</i>	Material arcillo-arenoso de color pardo de 1,5-2 m de espesor, cubierta por brecha de falla de 2-3 m de espesor.
<i>Dique granítico</i>	Roca fracturada con espesor de 4-15 m Con material arcillo-arenoso en la parte baja del dique de 10 a 20 cm y 0,3 a 1 m de brecha de falla.

## 2 INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA

### 2.1 Descripción del sistema de auscultación

Con el objetivo de conocer la velocidad, dirección de los desplazamientos y delimitar la zona de movimiento en superficie y profundidad; así como determinar la efectividad de las medidas de estabilización, se implementó un sistema de instrumentación geotécnica que consistió en:

- Medidores de juntas tridireccionales, para determinar el desplazamiento diferencial en tres direcciones ortogonales en la traza de la falla, teniendo un punto que se considera fijo.
- Referencias superficiales: que determinan los desplazamientos horizontales y verticales en superficie del terreno respecto a puntos fijos localizados en la margen derecha. Las líneas de referencias superficiales se extendieron más allá de la zona de deslizamiento, con la finalidad de verificar la estabilidad de la zona perimetral durante los trabajos de estabilización.
- Inclínómetros para determinar desplazamientos horizontales a lo largo de una tubería de ademe instalada dentro de un barreno vertical. El desplazamiento se obtiene en dos direcciones ortogonales entre sí.
- Extensómetros de barra que permiten conocer el desplazamiento horizontal en cortes mediante

barras de acero colocadas a diferentes longitudes dentro de un barreno horizontal.

- Estaciones satelitales GPS para determinar desplazamientos en tiempo casi real dentro y fuera de la zona de deslizamiento.

## 2.2 Análisis de los datos instrumentales

Con el objetivo de verificar la estabilidad de los cortes y la efectividad de los tratamientos en los taludes del portal de entrada se instalaron extensómetros de barra, que registraron desplazamiento debido a la descompresión de la roca, actualmente no tienen incrementos significativos.

Siendo la falla Colapso el principal plano de deslizamiento se instalaron en su traza los tres primeros medidores de juntas tridireccionales, llegando a un total de 19 medidores mecánicos y dos medidores eléctricos, a diferentes elevaciones, la mayoría se quitaron por procesos constructivos y actualmente se cuenta con tres en esta falla.

Los primeros medidores fueron los MJT-1, MJT-2 y MJT-3, que registraron las mayores velocidades de desplazamiento, con dirección hacia aguas arriba del cauce casi paralela a los túneles de desvío. El medidor de juntas instalado en el camino 9MI a la Elev. 395 m registró la máxima velocidad de desplazamiento en junio de 2008 con 12,2 cm/mes y en julio de 2008 fue de 2,7 cm/mes reduciéndose considerablemente como resultado del primer retiro de material entre las elevaciones 550 y 535 m, y en agosto fue de 0,8 cm/mes con la construcción del monolito de concreto al pie de la cuña de falla. El siguiente retiro entre las elevaciones 535 y 510 m dio como resultado que la velocidad disminuyera a 0,2 cm/mes.

En el interior del túnel 1 se instaló el medidor MJT-3 que mostró tendencia de desplazamiento con una velocidad de 7,4 cm/mes durante junio de 2008, y como resultado de los trabajos de estabilización la velocidad disminuyó a 1,4 cm/mes en julio. En septiembre de 2008 se destruyó y se reemplazó en octubre con el MJT-20.

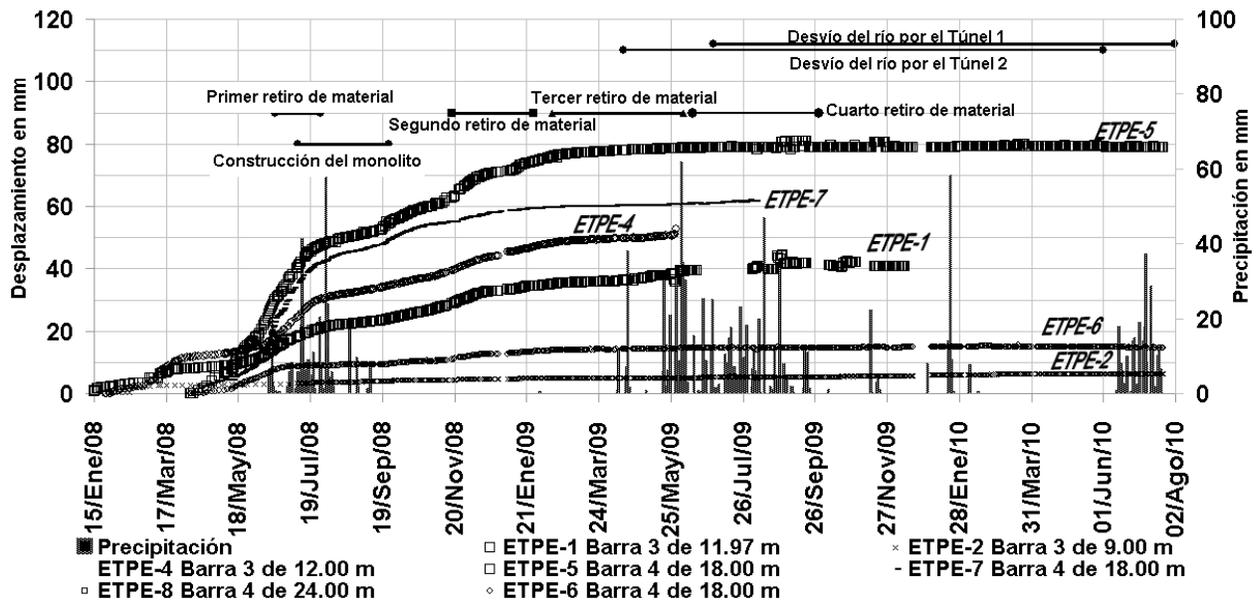


Figura 4. Desplazamiento de los extensómetros instalados en los cortes del portal de entrada de los túneles de desvío.

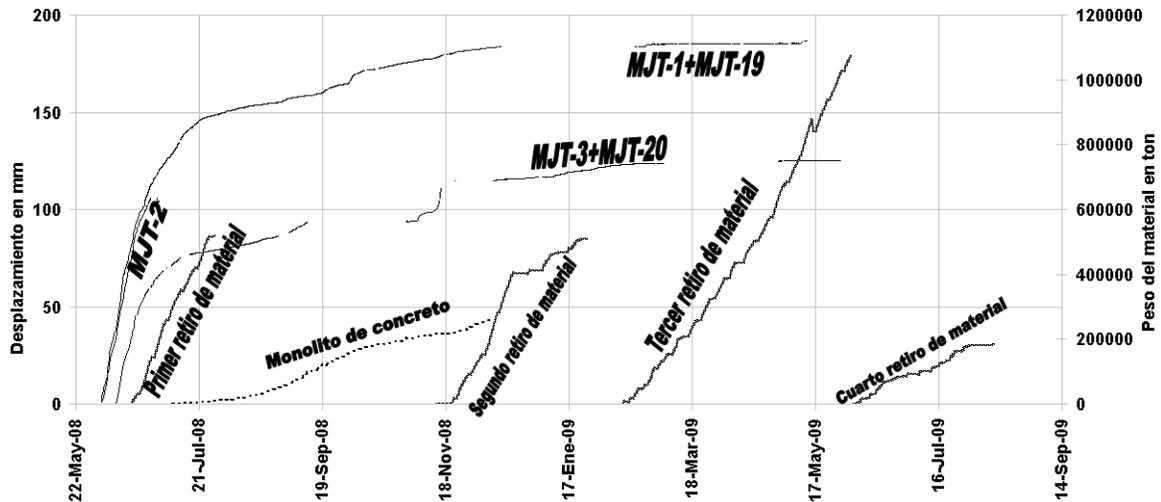


Figura 5. Desplazamientos en los medidores de juntas.

Actualmente la evolución del movimiento en la falla Colapso se monitorea con tres medidores de juntas, uno eléctrico en la elevación 415 m, y dos mecánicos en las elevaciones 435 m (camino 6MI) y 520 m, los cuales no muestran incrementos significativos de desplazamiento.

Al igual que en la falla Colapso se instalaron medidores en las fallas Colapso 1, Vertedor 1 y Vertedor 2, que mostraron velocidades menores de 0,1 mm/mes, cabe mencionar que se instalaron después del primer retiro de material.

Para conocer los desplazamientos en superficie se instalaron referencias superficiales a diferentes elevaciones, registrando los mayores desplazamientos entre las elevaciones 395 y 535 m y delimitado por las fallas Colapso, Colapso 1 y Vertedor 1. Con el retiro de material entre las elevaciones 550 y 510 m, la velocidad de desplazamiento disminuyó, y después del tercer retiro entre las elevaciones 576 a 500 m, los desplazamientos ya no son significativos.

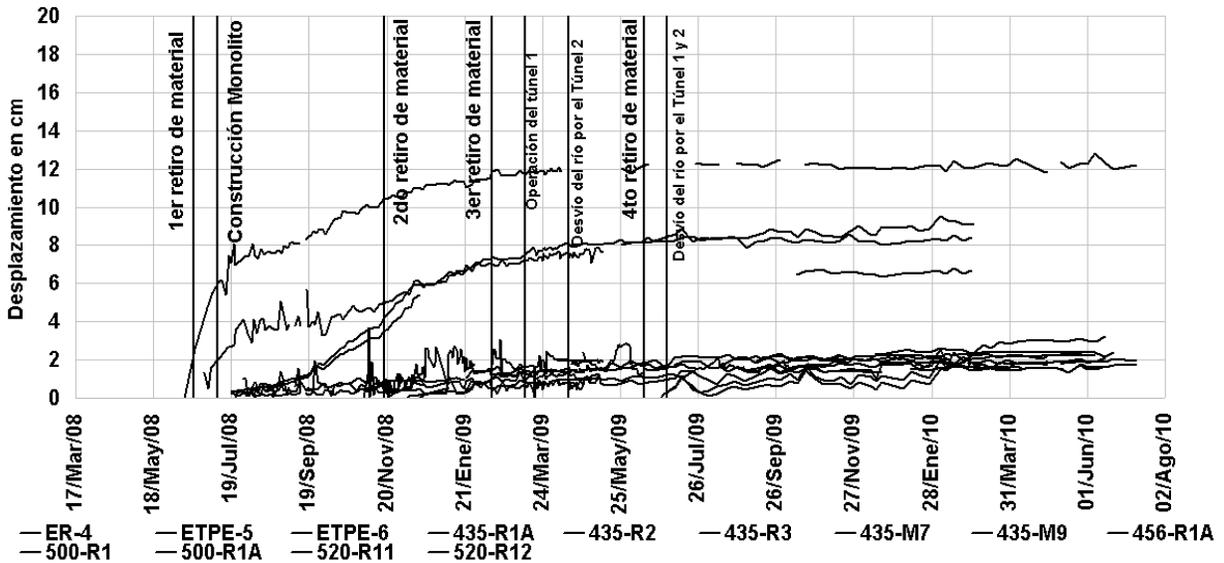


Figura 6. Desplazamientos en las referencias topográficas.

Para conocer los desplazamientos a profundidad se instalaron ocho inclinómetros en la zona de movimiento y seis fuera de ella, que cruzan los diferentes contactos geológicos.

Los mayores desplazamientos se registraron en los inclinómetros que cruzaban la falla Colapso, con

dirección casi paralela al eje de los túneles, corroborando que este es el principal plano de deslizamiento.

Los incrementos disminuyeron como resultado de los tratamientos de estabilización y a partir del segundo retiro de material los movimientos son casi nulos.

### 2.3 Acciones de estabilización

Para mitigar los desplazamientos se realizó:

- El retiro de material en cuatro etapas, entre las elevaciones 480 y 576 m (Vol. excavado 701,199 m<sup>3</sup>).
- Uso de retardadores en las explosiones de las excavaciones.
- Incremento de peso al pie del portal de entrada de los túneles de desvío con la construcción de un monolito de concreto, y el arroje de los túneles falsos.
- Construcción de casquillo de refuerzo en la zona de influencia de la falla Colapso en los túneles 1 y 2.
- Construcción de 12 lumbreras de cortante (en ejecución).

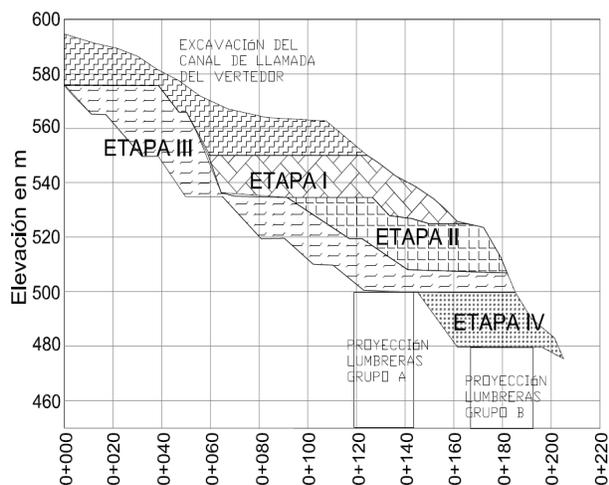


Figura 7. Etapas del retiro de material en la ladera.

### 3 CONCLUSIONES

El sistema de instrumentación geotécnica implementado en la zona inestable de la margen izquierda cumplió con el objetivo de delimitar la zona de movimiento en superficie y a profundidad, proporcionando información para conocer la velocidad y dirección del movimiento.

El sistema también permitió verificar la efectividad de las medidas de estabilización, para la oportuna toma de decisiones respecto a la seguridad y continuidad de la obra.

El efecto positivo de las medidas de estabilización llevadas a cabo se reflejó inmediatamente en el comportamiento de la zona inestable, las velocidades de desplazamiento disminuyeron considerablemente desde el primer retiro de material.

Los resultados de la instrumentación fueron analizados y presentados con oportunidad permitiendo hacer adaptaciones importantes al proyecto, como lo fue el giro de 14° del eje de la cortina, para desplantar el plinto sobre material competente; así como la reubicación y cambio de geometría de la obra de excedencias.

Actualmente continúa el monitoreo y adecuación del sistema de instrumentación geotécnica, para conocer la evolución y el comportamiento dentro y fuera de la zona inestable durante la actual etapa de construcción, pero también a largo plazo durante la operación.

### 4 REFERENCIAS

CFE, 2009, "P.H. La Yesca, Reseña de los Estudios Realizados por la Gerencia de Estudios de Ingeniería Civil hasta 2008". GEIC. CFE México

Torres Bonilla E., 2009, "P.H. La Yesca, Jal. Informe de comportamiento de la margen izquierda, al 17 de febrero de 2009". GEIC. CFE México

Pérez García G., 2010, "P.H. La Yesca, Jal. Informe de comportamiento al 23 de julio de 2010" GEIC. CFE México