

# Instrumentación Geotécnica de la Presa Pillones Peru



2011 Pan-Am CGS  
Geotechnical Conference

**Alva Hurtado, Jorge E., Ing. Civil, MSc., PhD.**

Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Peru, [jorgealvah@infonegocio.net.pe](mailto:jorgealvah@infonegocio.net.pe)

**Escalaya Advíncula, Miriam, Ing. Civil, MSc.**

Jorge E. Alva Hurtado Ingenieros E.I.R.L., Lima, Peru, [m\\_escalaya@hotmail.com](mailto:m_escalaya@hotmail.com)

## RESUMEN

La presa Pillones es una de las obras más importantes desarrolladas en el país en los últimos años. Esta obra que tiene una capacidad de almacenamiento de 80 millones de  $m^3$  de agua, permite dotar al río Chili de 3 a  $3,5 m^3/s$  de agua adicionales en tiempos de estiaje (mayo a diciembre), trayendo consigo múltiples beneficios para los sectores energético, minero y agrícola de la región Arequipa. La presa tiene una altura de 26 metros y está constituida por un relleno de material homogéneo, teniendo en su cara anterior un filtro y pantalla de concreto impermeable, y en la cara posterior enrocado de protección y berma de apoyo.

Con el propósito de monitorear su comportamiento se han instalado diversos instrumentos que proporcionan información confiable que ayudarán a evitar condiciones potencialmente peligrosas, las cuales pueden afectar la estabilidad de la estructura.

En el presente artículo se describen las técnicas e instrumentos instalados en la presa Pillones, utilizados para obtener datos representativos de aquellas magnitudes que influyen en la estabilidad y comportamiento de la presa y que permitirá realizar, de acuerdo a las hipótesis de cálculo, las oportunas verificaciones de buen comportamiento.

## ABSTRACT

The Pillones dam is one of the most important works developed in the country in recent years. This work that has a capacity of storage of 80 million of  $m^3$  of water, allows to supply to the Chili river from 3 to  $3.5 m^3/s$  of water additional in the days of low water (May to December), bringing with himself multiple benefits for the sectors power, mining and agricultural of the Arequipa region. The dam has a height of 26 meters and is constituted by a filling of homogenous material, having in its previous face a filter and face of impervious concrete, and in the downstream face riprap of protection and a berm of support.

In order to monitor its behavior diverse instruments have been installed that provide reliable information that they will help to avoid potentially dangerous conditions, which can affect the stability of the structure.

In the present article the techniques and instruments installed in the Pillones dam are described, used to collect representative data of those magnitudes that influence in the stability and behavior of the dam and that will allow to make, according to the hypotheses of calculation, the opportune verifications.

## 1. INTRODUCCIÓN

La presa Pillones, inaugurada el 15 de agosto del 2006, se encuentra ubicada en la cuenca del río Sumbay, entre las cotas 4300 y 4500 msnm en el distrito de San Juan de Chuca, provincia de Caylloma, departamento de Arequipa. La presa ha sido construida con la finalidad de almacenar agua en la época de lluvias y regularla en época de sequía, lo que permitirá la generación adicional de 20 MW de energía eléctrica, ampliar los riegos agrícolas y el consumo humano, así como su uso en la concentradora Cerro Verde, evitando su pérdida en el océano en época de avenidas.

Como toda presa importante, la presa Pillones ha sido cuidadosamente implementada de instrumentación geotécnica que ha permitido conocer el comportamiento de la estructura desde el inicio de su construcción y a la vez da la posibilidad de monitorear los cambios que se irán dando en el cuerpo de la presa a través de los años y detectar las posibles fallas.

## 2. EQUIPOS INSTALADOS

Considerando la importancia de la instrumentación en el control del funcionamiento de la presa, se han instalado 17 piezómetros eléctricos de cuerda vibrante, 05

piezómetros tipo Casagrande, 10 celdas de asentamiento y 05 inclinómetros, distribuidos en tres secciones de la presa.

La Sección 1-1 está ubicada en la sección central de la presa en la progresiva 0+000 m, la Sección 2-2 hacia la margen izquierda en la progresiva 0+180 m y la Sección 3-3 hacia la margen derecha en la progresiva 0+ 200 m. Las Figuras 1, 2 y 3 muestran la ubicación de los instrumentos en cada una de las secciones.

Adicionalmente se han instalado 2 acelerómetros digitales, uno en la corona y otro en el estribo izquierdo de la presa

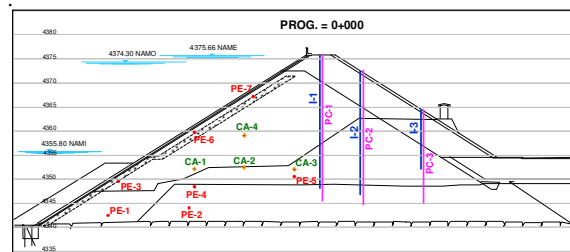


Figura 1. Ubicación de piezómetros, celdas de asentamiento e inclinómetros en la Sección 1-1 de la presa Pillones

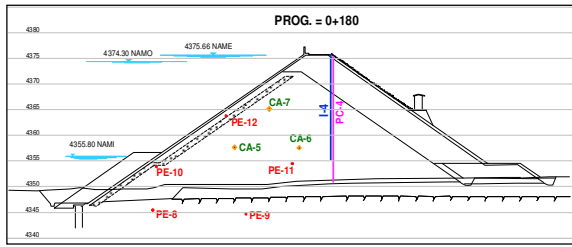


Figura 2. Ubicación de piezómetros, celdas de asentamiento e inclinómetro en la Sección 2-2 de la presa Pillones

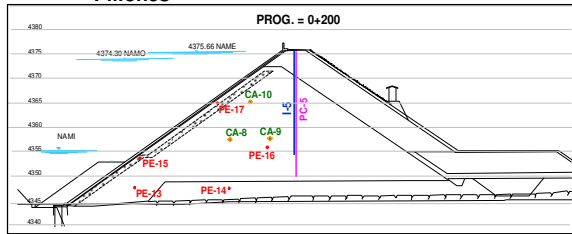


Figura 3. Ubicación de piezómetros, celdas de asentamiento e inclinómetro en la Sección 3-3 de la presa Pillones

## 2.1. PIEZÓMETROS

Los piezómetros son instrumentos empleados para monitorear los niveles piezométricos de agua, necesarios en los controles de colocación del material de relleno, la predicción de la estabilidad de los taludes, el monitoreo de la infiltración y la verificación de modelos de flujo.

En la presa Pillones se han instalado dos tipos de piezómetros: piezómetros tipo Casagrande y piezómetros eléctricos de cuerda vibrante. A continuación se indican las características de cada uno de ellos:

### 2.1.1. Piezómetros Tipo Casagrande

Los piezómetros tipo Casagrande son instalados en perforaciones y consisten en un filtro unido a una tubería vertical. El filtro es colocado en una zona de arena y posteriormente se coloca un sello de bentonita para aislar la presión de poros en el filtro. El espacio entre la tubería vertical y la perforación es rellena con un mortero de cemento para prevenir el movimiento no deseado del agua hacia la superficie. El detalle de la instalación se muestra en la Figura 4 a.

Los niveles de agua en los piezómetros verticales son medidos por un indicador de nivel de agua (Figura 4 b). Este indicador lo componen un sensor, un cable o cinta graduada y un carrete con partes electrónicas. El sensor se introduce por la tubería hasta que haga contacto con el agua, lo que es indicado por una luz y un zumbador instalados dentro del carrete. La profundidad o nivel del agua se observa en el cable o cinta graduada.

En la presa Pillones se han instalado en total 05 piezómetros hidráulicos de tipo Casagrande, los cuales fueron colocados en las tres secciones de la siguiente manera: 03 piezómetros en la Sección 1-1, 01 piezómetro en la Sección 2-2 y 01 piezómetro en la Sección 3-3.

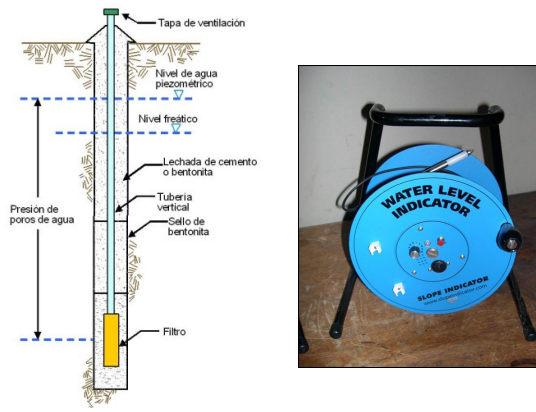


Figura 4. (a) Instalación de piezómetro tipo Casagrande (b) Indicador de nivel de agua

### 2.1.2. Piezómetros Eléctricos de Cuerda Vibrante (VW)

Los piezómetros eléctricos de cuerda vibrante (VW) son sellados en pozos de perforación y embebidos en rellenos para medir las presiones de poros.

El piezométró VW convierte la presión de agua a una señal de frecuencia a través de un diafragma y de una cuerda de acero tensionada. El piezómetro está diseñado de manera que un cambio en la presión en el diafragma genera un cambio en la tensión de la cuerda. Cuando es activada por una bobina magnética genera una señal de frecuencia que es transmitida al aparato lector. El aparato lector procesa la señal y muestra la lectura en la pantalla.

En la presa se han instalado 17 piezómetros eléctricos de cuerda vibrante en total, los cuales fueron colocados en las tres secciones de la siguiente manera: 07 en la Sección 1-1, 05 en la Sección 2-2 y 05 en la Sección 3-3.

Los piezómetros eléctricos de cuerda vibrante fueron instalados en el terraplén directamente en excavaciones de 0.50 m x 0.50 m x 0.40 m de profundidad, algunos mediante el empleo de una máquina perforadora ya que al momento de colocarlos el nivel del terraplén era superior al requerido para la instalación.

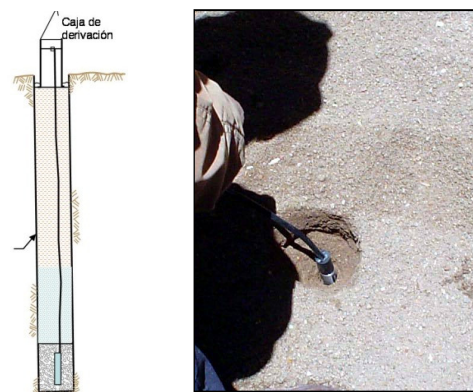


Figura 5. Instalación de piezómetro eléctrico de cuerda vibrante

En la Figura 6, se presenta los resultados de los piezómetros PE-02 (eléctrico) y PC-1 (Tipo Casagrande), donde se observan ambos seguir una misma línea de tendencia.

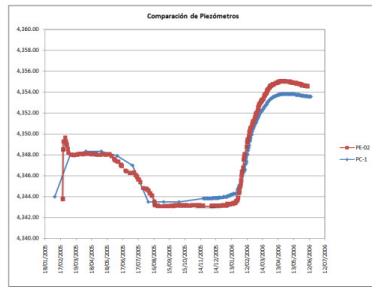


Figura 6. Gráfico de comparación entre piezómetros Casagrande y eléctrico, ubicados en la Sección 1-1.

## 2.2. CELDAS DE ASENTAMIENTO VW

La celda de asentamiento VW es un aparato utilizado para medir asentamientos en terraplenes, rellenos y suelos de cimentación. Proporcionan un punto único de medida de asentamiento y expansión.

La celda de asentamiento consiste de tres componentes: un tubo lleno de líquido, un transductor de presión y un reservorio de líquido. Un extremo del tubo está conectado al transductor de presión, el cual está embebido en el suelo. El otro extremo del tubo está conectado a un reservorio, el cual está localizado a una altura superior en suelo estable, lejos de la actividad de la construcción.

El transductor mide la presión creada por la columna de líquido en el tubo. La altura de la columna es igual a la diferencia en elevación entre el transductor y el reservorio. Conforme el transductor se asienta con el suelo que lo rodea, la altura de la columna aumenta y el transductor mide una presión más alta. El asentamiento se calcula convirtiendo los cambios en la presión a milímetros o pulgadas de la carga del líquido.

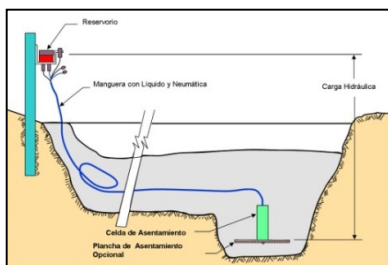


Figura 7. Detalle de instalación de celda de asentamiento

En la presa se han instalado diez celdas de asentamiento: 04 celdas en la Sección 1-1, 03 celdas en la Sección 2-2 y 03 celdas en la Sección 3-3. Las celdas fueron instaladas en el terraplén en zanjas de 1.20 m de ancho y 1.20 m de profundidad.

### 2.2.1. Registrador de Datos “VW Recorder”

El VW Recorder es una unidad lectora y registradora de datos empleada para medir el comportamiento de sensores de cuerda vibrante (p.e. piezómetros eléctricos VW y celdas de asentamiento VW). Este instrumento registra las señales de frecuencia y de temperatura. Las

señales de temperatura las registra en °C y las de frecuencia en Hz; estas últimas son convertidas mediante el empleo de una ecuación cuadrática y de los coeficientes de calibración (A, B y C) a datos en unidades ingenieriles.



Figura 8. Equipos de medición de celdas de asentamiento

## 2.3. INCLINÓMETROS

Los inclinómetros constituyen uno de los principales métodos de investigación de los deslizamientos y, en general, de control de movimientos transversales a un sondeo. Consisten en la medida de inclinaciones en diversos puntos del interior de un sondeo mediante una sonda que transmite una señal eléctrica proporcional a la inclinación. Las diferencias entre las medidas realizadas en diversos puntos y los tiempos en que se toman las medidas, permiten conocer y cuantificar los movimientos transversales al sondeo.

Los equipos para el monitoreo inclinométrico están conformados por tuberías inclinométricas sensor o sonda inclinométrica, cable eléctrico de control inclinométrico, unidad lectora o indicador digital portátil.

### 2.3.1. Tubos Inclinométricos

Los tubos inclinométricos son tuberías especialmente ranuradas para ser usadas en instalaciones inclinométricas, proporcionan acceso al sensor inclinométrico permitiendo tomar lecturas de desplazamiento del suelo. Las ranuras dentro de la tubería controlan la orientación del sensor y proporcionan una superficie desde la cual se pueden obtener futuras mediciones del desplazamiento del suelo. La tubería es diseñada para deformarse con el movimiento del suelo adyacente al tubo o con la estructura. La vida útil del tubo termina cuando el continuo movimiento del suelo perfora o corta el tubo impidiendo de esta manera el pase del sensor.

### 2.3.2. Sensor Inclinométrico

Es un dispositivo o instrumento adaptado para poder medir las variaciones de la inclinación del tubo inclinométrico. El movimiento del sensor se indica por medio de una señal eléctrica proporcional al seno del ángulo de inclinación de la tubería a partir de un eje vertical central. Un dispositivo eléctrico denominado servo-acelerómetro (cuenta con dos) indica las variaciones de las inclinaciones de la tubería en toda su profundidad y/o principalmente en los planos de deslizamiento activo.

### 2.3.3. Indicador Digital

El indicador digital es un instrumento portátil que contiene una batería recargable de 6 voltios de

suministro de energía, controles eléctricos y una pantalla mostrador de lecturas digital. La precisión para un forro inclinométrico vertical ( $\pm 3^\circ$ ) instalado es  $\pm 6$  mm cada 30 m, o mejor que ello. Se cuenta con un accesorio para recargar la batería; cuando está totalmente cargada puede llegar a 8 horas de autonomía. Las lecturas almacenadas son transferidas a una PC utilizando un programa de cómputo con el cual no solo se transfiere los datos si no que también se pueden manipular para hacer gráficos y reportes.



Figura 9. Equipos utilizados en mediciones de inclinometría

En la presa Pillones se han instalado en total cinco inclinómetros y se ha empleado en la instalación tubería de diámetro igual a 70 mm (2.75"). Los inclinómetros I-01, I-02 e I-03 han sido instalados en la Sección 1-1 (Sección Central) de la presa y tienen una profundidad de 28.00 m, 25.50 m y 17.50 m respectivamente. El inclinómetro I-04 ha sido instalado en la Sección 2-2 en la margen izquierda aguas abajo de la presa y tiene una profundidad de 21.00 m. El inclinómetro I-05 ha sido instalado en la Sección 3-3 en la margen derecha aguas abajo de la presa y tiene una profundidad de 21.00 m.

Los resultados obtenidos en las mediciones son lecturas de los ejes A0-A180 y B0-B180 con las correspondientes desviaciones, desplazamientos y desplazamientos acumulados medidos cada medio metro en toda la longitud del tubo inclinométrico. De la evaluación de estos resultados se obtienen los gráficos de los desplazamientos acumulados en milímetros en toda la longitud del tubo inclinométrico medidos cada medio metro, comparados con una medición inicial, y el gráfico del desplazamiento acumulado en planta de todos los inclinómetros instalados. Así mismo se puede obtener la velocidad del movimiento en cada uno de los ejes del inclinómetro.

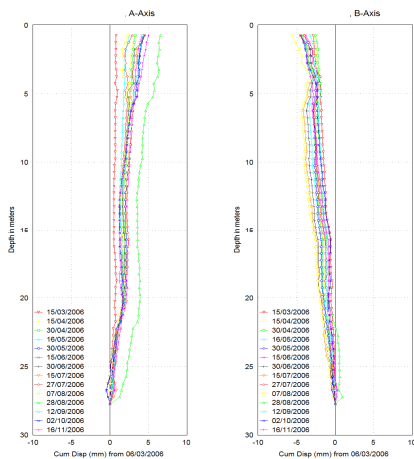


Figura 10. Gráfico de desplazamientos acumulados obtenidos de medición inclinométrica

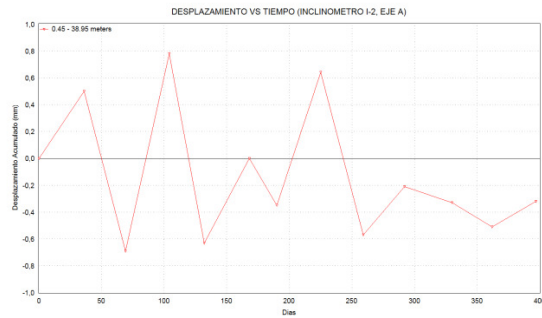


Figura 11. Gráfico de desplazamiento vs tiempo obtenido de medición inclinométrica

## 2.4. ACELERÓGRAFO

El acelerógrafo es un instrumento que registra la aceleración del suelo, provocada por un sismo, en función del tiempo.

El acelerógrafo utilizado para la instrumentación de la presa Pillones consiste en un equipo modelo Altus K2 con capacidad de adquirir 6 canales, el cual cuenta con dos acelerómetros triaxiales Episensor externos. Así mismo, este equipo cuenta con un receptor de GPS para el control del tiempo y localización de la estación central.

En la presa Pillones, que se encuentra cimentada sobre un suelo aluvial, se instalaron dos acelerómetros, el primero de los cuales (A-1) se encuentra en el estribo de izquierdo de la presa, en la caseta principal, el segundo (A-2) está ubicado en la parte media de la cresta de la presa.

### 2.4.1 Adquisición y Procesamiento de los Datos

La adquisición de los datos se realiza usando el programa Quick Talk, provisto por el fabricante del equipo, mediante el cual se puede transferir los archivos registrados desde la tarjeta de almacenamiento de datos del equipo hacia el disco duro de la computadora portátil. Una vez transferido los datos a la computadora portátil, con el programa Quick Look se podrá verificar si los datos almacenados corresponden a un evento sísmico o es solamente algún ruido que ha activado el registrador y que deberá ser eliminado.

## 3. CONCLUSIONES

- La instalación de un sistema de instrumentación geotécnica permite la oportuna detección de anomalías que se desarrollen o tengan tendencia a desarrollarse tanto durante la construcción como durante la vida útil de la obra, es el medio más eficiente para que el ingeniero encargado vigile el comportamiento de una obra y evalúe su seguridad.
- La evaluación del comportamiento estructural de una presa y su cimentación se basa principalmente en los resultados del análisis de las mediciones instrumentales expresado en términos de los valores de los diversos parámetros que se controlan, tales como : los

desplazamientos de la presa, los asentamientos, filtraciones, etc.; así como los resultados de las inspecciones en obra.

- Considerando la importancia de la instrumentación en el control del funcionamiento de la presa Pillones, se han instalado 17 piezómetros eléctricos de cuerda vibrante, 05 piezómetros hidráulicos, 10 celdas de asentamiento y 05 inclinómetros, distribuidos en tres secciones de la presa. Adicionalmente se han instalado 02 acelerómetros digitales, uno en la corona y otro en el estribo izquierdo de la presa.

#### **4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Cornforth, D. H. (2005). Landslides in Practice, John Wiley & Sons, New Jersey

Dunnicliff, J. (1988, 1993). Geotechnical Instrumentation for Monitoring Field Performance, John Wiley & Sons, New York

Gonzales, L. I. (2002). Ingeniería Geológica, Pearson Education, Madrid

IMTA (2001). Geotecnia en Ingeniería de Presas, Coordinación de Tecnología Hidráulica, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México

Slope Indicator (1994). Application Guide, Second Edition, USA