

PRESA DAULE-PERIPA
MANUAL DE OPERACION Y MANTENIMIENTO

CAPITULO 5
AUSCULTACION E INSTRUMENTACION

ORIGINAL ISSUE
ENERO 1989

REVISED
JULIO 1989

CAPITULO 5

AUSCULTACION E INSTRUMENTACION

SISTEMAS DE CONTROL E INSPECCIONES

5.1 INTRODUCCION

Un amplio sistema de instrumentación fue instalado en el Proyecto Daule Peripa, para controlar el comportamiento de la presa y de las demás estructuras del Proyecto.

El sistema de instrumentación fue instalado durante la construcción y luego de terminada la presa, en 1988 se instalan piezómetros abiertos adicionales.

Con este sistema se implementó un programa de control que permite la recolección de los datos necesarios cuya intensidad está en relación con el incremento del nivel del embalse principalmente.

El sistema de instrumentación instalado está en capacidad de medir presiones de poros, filtraciones, deformaciones, actividad sísmica, movimientos y asentamientos.

Para conseguir su objetivo el sistema emplea diferentes tipos de aparatos eléctricos o mecánicos, son equipos normales que son utilizados en muchos proyectos.

Actualmente todo el sistema funciona normalmente y los varios aparatos no han sufrido desperfectos.

5.2 INSTRUMENTACION

5.2.1 Tipos de Instrumentos.

El sistema de instrumentación instalado tiene los siguientes tipos de instrumentos:

TIPO DE INSTRUMENTO	FUNCION
1 Piezómetros : cuerda vibrante tubo abierto	medir presiones hidrostaticas
2 Pozos de Alivio y de Drenaje	controlar subpresiones
3 Inclínómetro y medidor de asentamientos.	medir movimientos horizontales y asentamientos
4 Acelerómetros	medir la intensidad de la actividad sísmica.
5 Drenes y Vertederos	medir caudales de filtraciones.
6 Péndulo invertido	medir deflexiones.
7 Hitos y monumentos	Control Geodesico.

Estos instrumentos serán analizados mas adelante.

5.2.2 Estructuras Instrumentadas.

La mayoría de los instrumentos fueron instalados durante la construcción. En la presa principal se colocaron los primeros piezómetros en Julio de 1985, y los aparatos de los niveles superiores fueron instalados en Julio de 1987.

Otros instrumentos como los piezómetros abiertos adicionales fueron instalados al finalizar la primera etapa del llenado.

La siguiente tabla muestra el número total y el tipo de instrumentos instalado en las diferentes estructuras.

TABLA 5 - 1

DESCRIPCION DEL INSTRUMENTO		NUMERO DE UNIDADES				
NOMBRE	MARCA/ TIPO	PRESA	VERT.	DIQUE	TOMA1	TOTAL
Piezómetros de cuerda vibrante	OFITECO	74	6	1		81
Piezómetros abiertos	CASAGRANDE	12		16		28
Inclinómetros	TERRATECNOLOGY	6				6
Acelerómetros	KINEMATICS	3			2	5
Péndulo	INMATEIN				1	1
Hitos y Monumentos	TI	30		16		46
Pozos de allvlo	TI	10				10
Galerías de drenaje	TI	2	1			3
Vertederos	TI	4				4
Pozos de drenaje	TI			180		180
Pozos de inspección	TI	2	2			4

5.2.3 Descripción de las Secciones Instrumentadas

a. Presa Principal

1. Condiciones Geológicas.

Geológicamente la cimentación de la presa principal presenta en la parte superior una arenisca debilmente cementada y permeable que cambia a una argilita arenosa y fracturada en la zona de aguas abajo.

Hacia abajo se presenta una sucesión de secuencias estratigráficas de hasta 20 m de espesor, compuestas de conglomerado y areniscas, con estratos delgados de limolitas y argillitas.

Los contactos no son regulares sino mas bien lenticulares o interdigitados.

2. Próposito de la Instrumentación.

La instrumentación colocada en la presa y su fundación, fue diseñada para controlar las presiones de poros, subpresiones, filtraciones, asentamientos y movimientos horizontales.

3. Instalación y Ubicación de los Instrumentos.

La historia de la instalación de los instrumentos puede dividirse en varias etapas de acuerdo a los años que duró la construcción de la presa.

Así tenemos que la primera etapa comprende el año de 1985, cuando se construyó la Atagüa Permanente que es parte del espaldón de aguas arriba, además la zona del núcleo y del espaldón aguas abajo hasta aproximadamente la cota +10 m. En esta etapa, se instalaron los piezómetros ubicados en la cimentación de la zona aguas arriba, de las secciones C, E y G. (Ver láminas 5.2-1 y 5.2-2)

La segunda etapa corresponde al año de 1986 cuando el avance en la construcción de la presa llegó hasta la cota +50 m en casi todo el terreplén. En este año se instalaron piezómetros en la cimentación en las secciones C, E, G e I y en el cuerpo de la presa, en las secciones B, C, D, E, F, G, H. El piezómetro mas cercano a la superficie instalado en esta etapa fue el F-2 en la cota +40 m.

En 1987 se cumplió la tercera etapa de construcción de la presa principal y en esta etapa se instalaron el resto de piezómetros en las diferentes secciones.

Durante la primera etapa de construcción, fueron también instalados en la cimentación la primera parte de dos de los tubos para medir movimientos con el inclinómetro y con el torpedo de asentamientos, las tuberías instaladas están en los puntos S-2 y S-5.

En la segunda etapa se instalaron los cuatro tubos restantes para los otros inclinómetros.

En esta segunda etapa también se procedió a anclar en la cimentación aguas abajo una tubería de 30 cm de diámetro, que serviría de revestimiento para que la perforación de los pozos de alivio no tengan que atravesar los materiales de la presa. Estos pozos de alivio fueron perforados a fines de 1986.

Las láminas 5-1 y 5-2 muestran la ubicación en planta y perfil, de todas las secciones instrumentadas.

Durante la primera parte del llenado del embalse y para completar la información requerida, se instalaron en el cuerpo de la presa seis piezómetros de tubo abierto, tres de los cuales están ubicados en la berma de la cota +42 m y tres en la berma +25 m.

En Octubre de 1988, fueron instalados al pie de la presa dos vertederos de medición de caudales para controlar las filtraciones ocurridas a través del cuerpo de la presa.

También se instalaron en 1988 los acelerómetros, dos en la presa y uno en el estribo izquierdo, los cuales se hallan interconectados en sus registros de tiempo y disparo.

Una vez terminada la construcción de la presa se colocaron 30 hitos de referencia, tanto en la corona de la presa como en las bermas del talud de aguas abajo.

4. Terminales de Lectura

Con excepción de los piezómetros de cuerda vibrante, todos los demás medios de control instalados, tienen que ser observados o medidos en sus terminales instalados en varios sitios y a varios niveles en el talud de aguas abajo de la presa.

Los cables conductores de todos los piezómetros eléctricos son llevados al estribo izquierdo y conectados a dos centrales, desde donde salen seis cables multiconductores, los cuales llegan hasta un panel final de selección, localizado en la oficina de instrumentación del área administrativa.

En este panel se conecta fácilmente la caja de lectura y por medio de cuatro selectores se lee cada uno de los piezómetros.

b. Estribos de la Presa

1. Condiciones Geológicas

Durante la construcción de la Presa y con las excavaciones realizadas se pudo observar la geología de los estribos que soportan la presa.

La característica principal del sitio son los cambios laterales de facies y la horizontalidad de los estratos y unidades estratigráficas definidas.

Las rocas pertenecen a la formación Balzar y se hallan cubiertas por depósitos lacustres y suelos cuaternarios.

En los estribos de la presa pueden observarse además de la Unidad Estratigráfica C, mencionada en la fundación de la presa, las unidades B', B y A, compuestas de la siguiente manera.

Unidad B' - Estratos entrecruzados de arenisca media y conglomerado con algunos lentes de limolita y argilita.

En la excavación de las galerías de drenaje esta descripción se presenta claramente en ambos estribos.

Unidad B - Argilita y limolita con intercalaciones de arenisca muy fina pobremente graduada.

Unidad A - Arenisca bien graduada con alto contenido de material piroclástico y algunos lentes de limolita y argilita.

2. Propósito de la Instrumentación.

Originalmente los estribos de la presa, tenían únicamente sistemas de control de filtraciones por medio de drenes y galerías de drenaje.

En las excavaciones subterráneas de los túneles de desvío y de las galerías de drenaje se utilizaron también instrumentos para medir deformaciones como extensómetros y mediciones de convergencia con cintas de precisión.

Posteriormente durante la construcción en Septiembre de 1987 se vio la necesidad de controlar los niveles hidrostáticos antes de las galerías de drenaje, y se instaló un piezómetro de tubo abierto triple en cada uno de los estribos. También se instalaron posteriormente algunos piezómetros adicionales en diferentes sitios para asegurar la eficiencia del sistema de drenaje.

3. Instalación y Ubicación de los Instrumentos.

Las galerías de drenaje de los estribos se construyeron durante 1985 y 1986, en su fase de excavación y revestimiento.

El sistema de drenaje instalado como se presenta en la lámina 5-3 se realizó poco después. Los vertederos de medición de caudales en cada galería se instalaron en 1988 durante el primer llenado.

4. Terminales de Lectura.

Tanto los drenes de las galerías, como los vertederos de medida y los piezómetros abiertos, deben observarse y leerse en los sitios de su instalación.

c. Estructura de Compuertas del Vertedero Principal.

1. Condiciones Geológicas

La cimentación de la estructura de compuertas del vertedero, está en la cota +39 m, 3 m mas alto que lo previsto en la etapa de diseño. La presencia de una arenisca competente provocó este cambio.

Las rocas comprometidas en esta cimentación corresponden a la Unidad Estratigráfica B' y estan compuestas principalmente por una arenisca de color gris, mal cementada y de una granulometria media a gruesa.

2. Propósito de la Instrumentación

Con el fin de controlar el comportamiento de la cimentación de la estructura, se cuenta con una galería de drenaje y seis piezómetros de cuerda vibrante.

3. Instalación y Ubicación de los Instrumentos.

En 1985, cuando el hormigonado de la estructura de compuertas llegó aproximadamente a la cota +47 m, se procedió a instalar en la galería de drenaje una serie de drenes que llegan hasta la cota +25 m.

La ubicación de las galerías y la dirección de los drenes puede verse en la Lámina 5-4.

Posteriormente en 1987 se vió la necesidad de instalar seis piezómetros de cuerda vibrante, cuatro aguas arriba y dos aguas abajo de la galería de drenaje, cuya ubicación consta en la figura 5-5.

4. Terminales de Lectura.

De igual manera que en las galerías de los estribos, en este caso, el control y medida de los drenes también debe hacerse en el sitio.

Para las lecturas que deben realizarse de los piezómetros, se han instalado dos centrales de lectura, la primera, que contiene los terminales de los cuatro instrumentos instalados agua arriba de la galería de drenaje, está ubicada en el primer descanso de las escaleras de acceso a la cota +88 m. La segunda caja terminal que contiene los puntos de lectura de los piezómetros de aguas abajo, está localizada en el lado izquierdo de la estructura en la parte baja del pozo de acceso que conduce al eje de rotación de la primera compuerta, en la cota +82 m.

d. Estructura de Control de Toma N°1

1. Condiciones Geológicas.

Esta estructura está compuesta por una torre de hormigón armado de 68 m de altura.

Cimentada a la cota +12 m puede decirse que está en la parte superior de la Unidad Estratigráfica C, la roca presente en esta cimentación es una arenisca limosa, de color gris verdoso, bastante cementada.

2. Propósito de la Instrumentación.

Con la finalidad de controlar la verticalidad de dicha torre se instaló un sistema de control compuesto por un péndulo invertido, en lugar de la línea de plomada originalmente diseñada.

3. Instalación y Ubicación.

En el mes de Febrero de 1988, durante la primera etapa del llenado, se procedió a instalar el péndulo invertido, la vía para el alambre de tensión del péndulo ya fue prefabricada durante el hormigonado, así como también las tres estaciones de lectura.

El recipiente que contiene el flotador se encuentra instalado en el nivel +84.72 m de la estructura, que sirve también como cuarto de controles. El anclaje del péndulo está en la cota +29.46 m. Teniendo en el tramo entre el anclaje y el dispositivo flotador tres estaciones de lectura a las cotas, +30.52 m; +55.05 m y +76.37 m.

4. Terminales de Lectura.

Para el control del péndulo invertido, las lecturas se realizan en cada una de las estaciones de lectura anotadas. En estos tres sitios están instaladas tres planchetas de lectura, siendo necesario llevar únicamente el espejo reflector a cada estación para realizar la lectura.

e. Dique de la Divisoria

1. Condiciones Geológicas.

El Dique de la Divisoria ubicado en la zona baja de la línea divisoria de cuencas en la margen izquierda, es una estructura de arcilla de 17.42 km de largo y una altura máxima de 27 m. Geológicamente el área del dique se encuentra cubierta por depósitos de ambientes lacustre y fluvial, constituidos principalmente por arcilla, limo y lentes de arena.

La mayor parte del dique está cimentada sobre una arcilla de coloración variable de café a rojiza. Bajo este paquete de sedimentos se localizó en la perforación de los pozos de drenaje una arenisca de color gris azulada, mal cementada de grano fino.

2. Propósito de la Instrumentación.

Los pozos de drenaje y piezómetros abiertos instalados en el dique, tiene la finalidad de controlar las presiones hidrostáticas de la cimentación y proveer drenaje en el caso de ser necesario.

3. Instalación y Ubicación.

Durante la construcción del dique de la divisoria, en 1985 y 1986, se instalaron los pozos de drenaje que están aguas abajo de la estructura. En total hay 180 pozos agrupados en 48 sitios bajos, de acuerdo con el diseño.

Posteriormente en 1987 se vio la necesidad de instalar piezómetros abiertos en la cimentación. Se perforaron en el dique 16 piezómetros, especialmente en los sitios donde se tiene

una cimentación profunda. Estos piezómetros están ubicados a 3 m aguas abajo del eje del dique.

La lista total, tanto de los pozos de drenaje como de los piezómetros del dique, con su ubicación exacta y su profundidad, se muestran en el anexo A.

4. Terminales de Lectura

Para el control del dique, todas las lecturas deben hacerse en el sitio de la instalación a lo largo de la estructura.

5.3 AUSCULTACION

a. Frecuencias de Control

Se necesita desarrollar, un programa efectivo de monitoreo para el control del comportamiento de las diferentes estructuras. Este programa debe permitir además, la recolección de todos los datos y medidas que permitan el conocimiento de todos los parámetros que influyen en la seguridad de las obras.

La frecuencia de control depende principalmente de la influencia del reservorio y de la operación del mismo. Además hay que tomar en cuenta la ubicación de los diferentes tipos de instrumentos.

Se pueden establecer dos tipos de frecuencias de lecturas, cuando el nivel del reservorio se incrementa durante un llenado del embalse hasta la cota +65 m y sobre la cota +65 m. Durante la operación del embalse en que el consumo sea mayor que los aportes y el nivel del reservorio baje, la frecuencia de control puede variar.

La Tabla 5 - 2 presenta un calendario de recolección de datos basados en la primera etapa del primar llenado del embalse.

TABLA 5 - 2

PROGRAMA DE FRECUENCIAS DE CONTROL

TIPO DE INSTRUMENTO	UBICACION	FRECUENCIA DE LECTURA Nivel de Reservoirio	
		Hasta cota 65	Sobre cota 65
PIEZOMETROS			
Eléctricos	Presa	Cada 2 días	Cada día
	Vertedero	Cada 2 semanas	2 por semana
Abiertos	Presa	2 por semana	Cada 2 días
	Dique	Cada 2 semanas	Cada semana
	Estribos	2 por semana	Cada 2 días
DEFORMACIONES			
Inclinómetro	Presa	Cada mes	2 por mes
Asentamiento	Presa	Cada mes	2 por mes
Hitos de movimientos	Presa	Cada mes	Cada mes
	Dique	-----	Cada mes
FILTRACIONES			
Vertederos	Presa	Cada 2 días	Cada día
	Estribos	Cada 2 días	Cada día
Drenes en Galerías	Estribos	Cada semana	Cada semana
	Vertedero	-----	Cada semana
Pozos de alivio	Presa	2 por semana	Cada 2 días
Pozos de drenaje	Dique	-----	Cada semana
PENDULO INVERTIDO	Toma N°1	Cada mes	2 por mes

Este programa es flexible y puede variar y ser modificado de acuerdo al comportamiento de las estructuras.

También este calendario puede variar si la tendencia de los datos recogidos hacen necesarias lecturas adicionales para una evaluación apropiada del comportamiento.

b. Procedimientos de Recolección de Datos

Los procedimientos para la recolección de datos, o toma de lecturas, de los instrumentos instalados, son sencillos. Se limitan únicamente a conectar la unidad de lectura y a anotar las cifras que se presentan en la pantalla, como en el caso de los piezómetros eléctricos y del torpedo del inclinómetro.

Otro proceso consiste en medir con un medidor de niveles, la profundidad del nivel del agua. Este proceso se sigue en los piezómetros abiertos, pozos de alivio, pozos de drenaje y drenes.

En los vertederos de medida se lee la altura del agua en la regleta instalada en el estanque.

En otros aparatos de medida como el péndulo invertido y el torpedo de asentamientos las medidas se obtienen siguiendo el principio de un calibrador.

En el caso de las medidas de flujo en drenes individuales, o en los pozos de alivio, se cronometra el tiempo que se tarda en llenar un recipiente de volumen conocido para luego obtener el caudal.

Más adelante se explica el proceso que debe seguirse para cada instrumento.

c. Organización del Departamento de Instrumentación

Durante la vida de operación del embalse, CEDEGE como institución encargada de realizar estas labores ya sea por administración propia o por contrato, deberá tener una unidad de Operación y Mantenimiento del Proyecto dentro de la cual debe organizarse como parte primordial el Departamento de Instrumentación.

En base a la experiencia del primer llenado del embalse el departamento encargado de la auscultación debe contar como mínimo con el personal que sigue:

- 1 Ingeniero Jefe del Departamento
- 2 Ingenieros Jefes de Sector
- 2 Inspectores
- 3 Ayudantes.

d. Interpretación

La evaluación e interpretación de todos los datos recolectados debe ser realizada a diario, en primer lugar efectuando una verificación de los datos y lecturas con la finalidad de darles el carácter de información válida.

La información obtenida debe ser procesada, para contar como resultado con valores que puedan ser reflejados en graficos que muestre la evolución de cada uno de los parámetros medidos.

Con estos resultados, deben elaborarse los respectivos informes sobre el Control y Comportamiento de las obras del Proyecto.

Deberá realizarse un informe después de cada etapa del primer llenado del embalse; posteriormente los informes podrán ser anuales, siempre y cuando no existan eventos importantes que puedan cambiar el comportamiento de las obras. También deberán elaborarse informes cuando se hagan trabajos especiales o instalaciones adicionales.

e. Mantenimiento

La Instrumentación instalada en la Presa Daule-Peripa y sus obras auxiliares, deberá ser controlada durante todas las visitas de inspección y toma de datos que estén programadas. Esta práctica evitará que se presenten problemas operacionales.

Las actividades comunes de mantenimiento podrían ser las siguientes:

- Controlar la longitud de los piezómetros abiertos.
- Revisar especialmente en periodos de invierno, que las cajas de hormigón que guardan todos los puntos terminales de piezómetros abiertos, tuberías para inclinómetros, centrales de conexión de piezómetros eléctricos, acelerómetros y otros no estén inundados.
- Revisar los estanques de aguas arriba de los vertederos de medida, para prever su bloqueo y limpiar la regleta.
- Revisar la boca de la tubería de drenaje y realizar la limpieza en el caso de presentarse acumulación de sedimentos, particularmente en la galería de drenaje del vertedero..
- Controlar que los equipos eléctricos como las unidades de lectura estén siempre en buen estado, sin humedad y con las baterías en carga.
- Proteger todas las instalaciones superficiales, especialmente los hitos y monumentos para el control de movimientos.

Para el mantenimiento de los equipos específicos, los manuales de los fabricantes adjuntos, recomiendan los procedimientos y la provisión de repuestos necesarios.

Además es necesario contar con materiales y herramientas de uso común, muy necesarias para el mantenimiento, cuya lista se adjunta.

5.4. DESCRIPCION DE LOS INSTRUMENTOS UTILIZADOS

5.4.1 Generalidades

Los instrumentos que comprenden el sistema de instrumentación de la Presa Daule-Peripa, incluyen piezómetros, aparatos e instalaciones para medir deformaciones, controles de flujo de filtraciones. La lista de los tipos de instrumentos existentes constan en el acapite 5.2.1. (Tipos de Instrumentos), de este manual.

A continuación se describen los instrumentos instalados.

5.4.2. Piezómetros de Cuerda Vibrante

Empleados para medir presiones de poros dentro del terraplén y su cimentación, fueron escogidos principalmente por su precisión y por su bajo porcentaje de desperfectos o fallas.

Entre 1986 y 1988 únicamente un piezómetro el número 5 de la Sección E, ha dejado de proporcionar su lectura. Los piezómetros de cuerda vibrante instalados en la presa principal y en el vertedero fueron proporcionados e instalados por la Fabrica Española OFITECO (Oficina Técnica de Estudios y Control de Obras S.A.).

Los piezómetros tienen la denominación PCV-001 y están contruidos para medir presiones en suelos de baja permeabilidad.

Se componen de las siguientes partes:

- Elemento Sensible.- Formado por una membrana elástica que se deforma por la presión exterior, transmitida a través de una piedra porosa, la membrana va unida a una cuerda de piano de alta resistencia que al vibrar permite medir la deformación longitudinal de la membrana.

- Cámara de Agua. De volumen constante, en la parte exterior de la membrana.

- Piedra Porosa.- De cerámica o bronce vitrificado, de alta resistencia a la entrada de aire.

- Conexiones.- A través de un cable de 12 mm de diámetro de cuatro conductores y portor central de acero, unido directamente al piezómetro.

- Elementos de protección y cierre.- Formado por una cápsula de bronce con tratamiento anticorrosivo inalterable.

En la figura 5.4-1, se presenta un esquema interior del piezómetros.

Las deformaciones de la membrana hacen vibrar la cuerda de piano. Estas vibraciones son recogidas por medio de dos bobinas que las transforman en impulsos eléctricos, los cuales son leídos en una unidad de lectura como frecuencia en Hertz.

La curva de calibración construida en el laboratorio antes de la instalación de cada piezómetro, nos permite obtener una fórmula para el calculo de la presión ya sea en kg/cm^2 o en metros de agua.

El Departamento de Instrumentación ha elaborado un programa en computadora que nos permite obtener rápidamente la presión de los piezómetros para cualquier estado del reservorio y también los valores equipotenciales.

Se ha desarrollado también para el calculo manual una fórmula simplificada para cada aparato, teniendo en cuenta las condiciones iniciales y la maxima presión a la que el instrumento estaría sometido.

Esta formula es la siguiente:

$$P = P_i - K \times L$$

donde:

P_i = Presión inicial

K = Constante de calibración

L = Lectura

P = Presión en kg/cm^2

$$P = (P_i - K \times L) \times 10 + C_i$$

donde:

P_i = Presión inicial

K = Constante de calibración

L = Lectura

10 = Constante de transformación de kg/cm^2 a m

C_i = Cota de instalación del aparato en m

P = Presión en m

5.4.3 Piezómetros de tubo abierto

Los piezómetros de tubo abierto instalados, consisten en una tubería introducida en una perforación, la cual tiene en la punta un tramo perforado para permitir el ingreso del agua. La parte perforada se la coloca en el nivel que se desea conocer la presión hidrostática y va aislada del resto de los estratos perforados.

En la Presa Daule Peripa y sus estribos así como en el Dique de la divisoria, estos piezómetros están hechos con tubería PVC de 1" o 2" de diámetro y el tramo perforado es de 1 m de longitud y con ranuras hechas con una sierra de mano o con agujeros taladrados eléctricamente de aproximadamente 1/8" de diámetro.

Para medir el nivel piezométrico se utiliza una sonda eléctrica o medidor de niveles de agua, y se determina la profundidad a la que se encuentra el agua desde la boca del piezómetro de cota conocida.

El nivel piezométrico en un piezómetro viene dado por:

$$N_p = C_b - P$$

donde:

C_b = Cota de la boca del piezómetro en m

P = Profundidad del agua en m

N_p = Nivel piezométrico en m

Se pueden instalar mas de un piezómetro de este tipo en una misma perforación teniendo mucho cuidado con la cantidad de lechada utilizada en el relleno del pozo.

La figura 5.4-2 presenta un esquema de estos piezómetros abiertos.

5.4.4 Inclinómetro y Torpedo de Asentamientos

Para la utilización de los torpedos medidores de movimientos horizontales y de asentamientos, se dejaron embebidos en seis lugares del talud de aguas abajo de la presa, las tuberías respectivas por las que se introduce el torpedo.

La tubería consiste en una serie de tubos de aluminio de 3 m de largo unidos telescópicamente con acoples, de 30 cm y asegurados con remaches de plástico. El primer tubo está anclado en la cimentación por medio de un bloque de hormigón de 1 m de lado, y el resto de tubos se fueron añadiendo de acuerdo al progreso del terraplén.

La tubería del inclinómetro contiene cuatro ranuras ortogonales por las que se deslizan las ruedas del torpedo y que están orientadas por pares de aguas arriba hacia aguas abajo y del estribo izquierdo al derecho, orientaciones estas conocidas como eje A y eje B.

El torpedo o sensor utilizado para movimientos horizontales es fabricado en Estados Unidos por Terra Technology, y está hecho íntegramente de acero inoxidable, asemejándose exteriormente a un tubo de 70 cm de largo que tiene cerca de sus extremos dos pares de ruedas adaptadas para rodar por las ranuras de tuberías de varios diámetros.

El torpedo contiene dos terminales de servoacelerómetros, los cuales pueden medir el ángulo de inclinación del torpedo en el interior de la tubería y transmitir un voltaje a la unidad de lectura que es proporcional al ángulo de inclinación. La unidad de lectura convierte automáticamente, la intensidad del voltaje recibido en deflexiones que son presentadas en decímetros.

El sensor es bajado por medio de un cable que además de ser el conductor del voltaje a la unidad de lectura, sostiene el torpedo y tiene marcas amarillas cada 50 cm, marcas rojas cada metro y blancas cada 10 m.

La figura 5.4-3 muestra un esquema del aparato.

Los datos obtenidos son en los ejes A y B y en dos direcciones por eje, conocidas como A_0 y B_0 luego se gira el sensor 180° para obtener las lecturas A_{180} y B_{180} .

El valor del desplazamiento horizontal se calcula realizando la sumatoria de todos los valores A_{acc} y B_{acc} desde el fondo de la camisa hacia arriba, valor que es conocido como A_{cum} y B_{cum} .

Con estos valores se pueden hacer representaciones gráficas de la posición de la tubería en toda su extensión y también gráficos vectoriales que indican la dirección y magnitud de los movimientos.

El sensor o torpedo para medir asentamientos fue construido también en los Estados Unidos por SINCO, al igual que el sensor de movimientos horizontales, esta hecho de acero inoxidable, pero

de un mayor diámetro, tiene el mismo tipo de ruedas guías y en su parte central esta provisto de dos aletas las cuales pueden engancharse en los acoples de la tubería de aluminio y servir de punto fijo para medir la distancia entre este punto y la superficie, lo cual puede hacerse en todos los acoples de la camisa.

El torpedo tiene en su parte superior un anillo, al que se une una cinta de medir, con la cual se baja el sensor por la tubería.

El principio empleado se basa en medir las distancias desde cada unión de las secciones de tubería hasta la boca de la camisa. Además existe un soporte que se une a la tubería con una escala graduada donde se leen las distancias.

Las distancias medidas pueden relacionarse con la cota exacta de la boca de la camisa para tener la cota de cada punto medido y controlar los asentamientos.

La figura 5.4-3 contiene un esquema del sensor de asentamientos utilizado.

5.4.5 Acelerógrafos

Los acelerógrafos para movimientos fuertes empleados en el Proyecto fueron provistos por Kinometrics, siendo instalados al finalizar la construcción en 1988.

El aparato está en capacidad de medir y registrar la aceleración de movimientos sísmicos y la respuesta de las estructuras ante terremotos.

Básicamente los acelerógrafos instalados contienen un registrador fotográfico triaxial accionado por un disparador sísmico que puede detectar la componente vertical de las ondas sísmicas en menos de 50 milisegundos.

El aparato registra el evento tan pronto como es accionado y además un periodo de 6 a 20 s después.

También puede grabar una secuencia de sismos de hasta 25 min, que es la capacidad del rollo fotográfico instalado.

El equipo es accionado por baterías recargables y esta compuesto principalmente de tres partes.

- Los mecanismos eléctricos de accionamiento
- El sistema óptico de registro
- El conjunto de disparo vertical

Un amplio manual con todo lo referente a este tipo de acelerógrafos se adjunta a esté.

5.4.6 Péndulo Invertido

Para controlar los movimientos horizontales relativos en la torre de toma N°1 se instaló un péndulo invertido fabricado por INMATEIN S.A de España.

El péndulo invertido instalado consta de las siguientes partes:

- Sistema de anclaje: que es un contrapeso con estrías que fue empotrado con lechada en el orificio dejado en la estructura de toma en el nivel hasta la cota +29,31 m. Esta lleva una rótula en la parte superior donde se sujeta el hilo de una manera especial para impedir que se dañe el hilo.

- El hilo de acero inoxidable.

- El punto libre del péndulo ; formado por un flotador de acero inoxidable que va sumergido en un depósito de aceite con unas aletas que facilitan su estabilización. Desde este punto es posible tensar el hilo.

- Planchetas de lectura; su instalación es fija en el hormigón, es una plancheta de hierro esmaltado, provista de dos calibradores perpendiculares de acero inoxidable con mira y con tornillos de aproximación para lecturas de precisión. Opuestos a cada calibrador, están los clavos donde se inserta el espejo reflector.

Para realizar las medidas el procedimiento se reduce a alinear con la mira el hilo del péndulo con su imagen reflejada en el espejo y a leer el calibrador.

La figura 5.4-4 presente un esquema del péndulo instalado.

5.4.7 Hitos para el control de movimientos.

Para control de movimientos verticales y horizontales de la Presa Principal se empotraron en el relleno una serie de puntos de referencia y también monumentos fijos en la roca en los estribos y en zonas aledañas.

El gráfico 5.4-5 indica la posición de estos puntos de referencia.

Para el control de estos movimientos se emplean los procedimientos y equipos Topográficos para toma de niveles y distancias. Los datos iniciales tomados después de la instalación son relacionados por los datos sacados periódicamente, y las diferencias representan los movimientos ocurridos.

5.4.8. Pozos de Alivio y de Drenaje

Para el control de subpresiones en la presa principal y en el dique, fueron perforados los pozos de alivio y de drenaje respectivamente.

Estas instalaciones son como piezómetros de tubo abierto de mayor diámetro y con el tramo perforado extenso.

En el caso de los pozos de alivio la zona perforada abarca entre las cotas -5 m hasta -40 m y en el dique los pozos de drenaje tienen su tramo cribado de acuerdo a la estratigrafía perforada; en casi todos los pozos, los primeros 6 a 8 m son tubería ciega.

El gráfico 5.4-6 presenta las características típicas de estos pozos.

Para obtener el nivel freático en estos pozos se procede igual que en los piezómetros de tubo abierto, utilizando la sonda para medir niveles. Se mide la profundidad del agua relacionándola con la cota de la boca del pozo u otro punto fijo conocido y se obtiene el nivel freático.

5.4.9 Vertederos

Con la finalidad de medir los flujos provenientes de las filtraciones de los estribos y de la presa se instalaron los vertederos de medida de caudales en las galerías y en el pie de presa.

Los vertederos son planchas de acero con pintura anticorrosiva, que tienen la forma de una "V", cuyo vertice inferior forma un ángulo de 90°. Esta lámina va empotrada al final de la cuneta que recoge las filtraciones en cada galería de acceso, antes de pasar por el vertedero, el agua pierde energía en un estanque construido para el efecto.

Al pie de la presa, en la cota 18 m, de los pozos de inspección construidos, sale un canal de sección rectangular que en su parte final también tiene instalada el vertedor de 90°.

En los estanques están instaladas las regletas de medida enceradas con el vertice de la V, y graduadas en cm.

La descarga esta relacionada con la profundidad del agua en el estanque, la que es leída en la regleta, y para calcular el caudal se puede usar la siguiente formula:

$$Q = 0.0138 \times H^{5/2} \text{ (l/s)}$$

La figura 5.4-7 presenta los vertederos instalados.

Se debe inspeccionar periódicamente los vertederos, y prevenir la corrosión. También se debe limpiar el estanque y la regleta. La corrosión puede ser la causa de errores en la obtención del caudal.

5.4.10 Pozos de inspección

Son las estructuras de hormigón en las que descarga la tubería de drenaje proveniente de el drenaje interno, de la presa principal y de la presa auxiliar.

En la presa principal estan ubicados en el pie junto a los vertederos, y en la presa auxiliar se encuentran adosados a los muros del canal de descarga del vertedero en su parte inicial.

A estos pozos se puede acceder por medio de una escalera para medir el caudal que descargan las tuberías, particularmente en el caso de la presa auxiliar.

De todas las instalaciones descritas, hay procedimientos que deben seguirse para la recolección de datos, varios de los cuales son muy simples y ya han sido descritos en su sección correspondiente.

De igual manera los datos recogidos deben ser recopilados en formatos especiales que han sido confeccionados.

También existen manuales y catálogos de todos los aparatos donde se indica ademas el procedimiento para su operación y mantenimiento.

En este manual se adjuntan como anexos a este capítulo los documentos arriba citados.

FIN DE CAPITULO 5

PRESA DAULE-PERIPA
MANUAL DE OPERACION Y MANTENIMIENTO

APENDICE 5A
AUSCULTACION E INSTRUMENTACION

ORIGINAL ISSUE
ENERO 1989

REVISED
JULIO 1989

MANUAL DE OPERACION Y MANTENIMIENTO
PRESA DAULE-PERIPA

ANEXOS E INSTRUMENTACION
ANEXOS 2A

ORIGINAL ISSUE
ENERO 1989

REVISADO
JULIO 1989

CAPITULO 5

ANEXO "A"

INSTRUCCIONES PARA LA OPERACION DE LOS INSTRUMENTOS

5A.1 PIEZOMETROS DE CUERDA VIBRANTE

Para los piezómetros de la Presa Principal, cuya terminal está instalada en la oficina de instrumentación, el proceso para obtener las lecturas es el siguiente:

1. Conectar el cable múltiple desde el punto 1 "APARATO DE LECTURA" en el panel, al punto "SENSORES" de la unidad de lectura.

2. Comprobar que los selectores del panel terminal, estén en la posición inicial de lectura.

3. Poner el interruptor de la unidad de lectura en posición de conectado.

4. Anotar la cifra que aparece en la pantalla digital y que corresponde al primer piezómetro A-1, del primer selector superior izquierdo.

5. Continuar copiando las lecturas de los otros piezómetros para lo cual tiene que cambiar el selector al siguiente piezómetro. La posición final del primer selector corresponde directamente al primer piezómetro E-1 en el segundo selector.

6. Una vez leídos los piezómetros de los dos selectores superiores, se cambia el cable de la unidad de lectura, al punto 2 "aparato de lectura" de la parte inferior del panel, y se continúa obteniendo las lecturas de los demás piezómetros con las selectores inferiores, de igual manera. Previamente para realizar el cambio del cable de la unidad de lectura, se debe desconectar ésta, colocando el interruptor en la posición 0.

7. Las lecturas que deben anotarse deben ser estables en la pantalla y en el caso de que haya variación se debe anotar la menor.

8. Existen piezómetros que no presentan lectura al ser conectados, como los E-8, E-9 y es necesario proveerlos de un impulso eléctrico extra para que reaccionen, esto se logra presionando el boton rojo de la unidad de lectura, por unos instantes. Hay otras piezómetros que demoran unos segundos

5.2 INSTRUMENTACION

5.2.1 Tipos de Instrumentos

El sistema de instrumentación instalado tiene los siguientes tipos de instrumentos:

TIPO DE INSTRUMENTO	FUNCION
1 Piezómetros: cuerda vibrante tubo abierto	medir presiones hidrostáticas
2 Pozos de Alivio y de Drenaje	controlar subpresiones
3 Inclínómetro y medidor de asentamientos	medir movimientos horizontales y asentamientos
4 Acelerómetros	medir la intensidad de la actividad sísmica
5 Drenes y Vertederos	medir caudales de filtraciones.
6 Péndulo invertido	medir deflexiones
7 Hitos y monumentos	Control Geodésico

Estos instrumentos serán analizados mas adelante.

5.2.2 Estructuras Instrumentadas

La mayoría de los instrumentos fueron instalados durante la construcción. En la presa principal se colocaron los primeros piezómetros en julio de 1985, y los aparatos de los niveles superiores fueron instalados en julio de 1987.

Otros instrumentos como los piezómetros abiertos adicionales fueron instalados al finalizar la primera etapa del llenado.

La siguiente tabla muestra el número total y el tipo de instrumentos instalado en las diferentes estructuras.

EQUIPO

Se utiliza un medidor de niveles, fabricado por SOILTEST, que consiste en un miliamperímetro accionado con una batería de 1,5 voltios, el cual va instalado en un carrete, donde esta enrollado el cable y que puede ser usado manualmente.

El extremo final del cable va unido al amperímetro y el otro extremo que se introduce en el piezómetro, tiene en la sonda con la punta abierta capaz de cerrar el circuito cuando entra en contacto con el agua. El cable viene marcado cada metro, siendo necesario solamente medir con cinta los tramos sobrantes antes o después de una marca para obtener la profundidad del agua.

5A.3 TORPEDO INCLINOMETRO

1.- Remover la tapa protectora del tubo o camisa del inclinómetro.

2.- Si es necesario debe ponerse una o dos gotas de aceite en cada una de las ruedas del torpedo.

3.- Conectar el cable al torpedo en un extremo, y a la unidad de lectura en la conexión "SENSOR INPUT" en el otro extremo. La unidad de lectura debe estar cargada, lo cual debe verificarse con el interruptor de "POWER" en posición "TEST", obteniéndose en la pantalla más de 1,2 para poder continuar.

4.- Introducir el torpedo en la camisa, de tal manera que la rueda guía superior esté orientada en dirección hacia aguas arriba y bajar el torpedo hasta el fondo de la tubería.

5.- Una vez comprobada la profundidad de la tubería con las marcas existentes en el cable, se coloca en la boca de la tubería el acople diseñado para sostener el sensor mientras se realizan las lecturas.

6.- Leer para cada marca de 0,5 m las lecturas correspondientes para los ejes A y B con el interruptor llamado "AXIS", hasta llegar a la boca de la tubería.

7.- Sacar el torpedo de la tubería, revisarlo e introducirlo nuevamente girando 180°.

8.- Bajar el torpedo hasta el fondo de la tubería y repetir la toma de lecturas en ambos ejes.

EQUIPO

El equipo utilizado en la unidad de lectura y control del inclinómetro modelo TPC-110, que es una unidad recargable, por medio de un cable que va conectado en el punto "BATTERY CHARGE" de la unidad a la red de 110 voltios.

Se emplea también el acople de la boca de la tubería para sujetar el cable que lleva el sensor.

5A.4 TORPEDO DE ASENTAMIENTOS

1.- Instalar el riel porta cinta, de tal manera que la escala del soporte riel esté unida con el borde de la tubería.

2.- Enganchar el torpedo con sus aletas extendidas al extremo de la cinta, y bajarlo por la tubería hasta el primer acople.

3.- Subir el torpedo hasta que las aletas tropiecen con la parte inferior del primer tramo de tubería y tensar la cinta de medida.

4.- Medir y anotar la distancia existente desde la parte superior de la escala.

Para tener esta distancia se lee el número que está en la marca de la cinta y se añade la fracción que corresponde a esa marca leída en la escala.

5.- Se baja el sensor hasta el próximo acople y se repite la lectura como se indica en el punto 4.

6.- Cuando se ha terminado de tomar las lecturas hasta el último acople, se apoya el torpedo al fondo sin tensar la cinta, entonces la parte superior del torpedo baja y las aletas quedan cerradas para poder sacar el sensor de la tubería.

EQUIPO

El equipo utilizado para medir asentamientos se compone del soporte ajustable a la boca de la tubería, con una escala de un metro graduada hasta milímetros.

Cinta de medidas, de acero inoxidable, con marcas cada metro, que va enrollada en un soporte el cual puede fijarse en el soporte riel.

5A.5 ACELEROGRAFOS

Los acelerógrafos para movimientos fuertes tienen para su control y funcionamiento, varias partes en cada una de las cuales debe seguirse un procedimiento especial.

El manual de los acelerógrafos SMA-1, entregado por KINEMATRICS, es muy completo y se adjunta al Manual de Operación y Mantenimiento.

A continuación consta un resumen del control y operación.

- Llave de control exterior

a. Posición funcionando (OPERATE). El aparato se encuentra esperando registrar un sismo o esperando ser activado. Solamente en esta posición se puede sacar la llave.

b. Posición desconectado (OFF). El instrumento ha sido disparado, pero sus baterías están en carga y puede ser activado por otro instrumento que este interconectado.

c. Posición de prueba (TEST). Se activa el instrumento hasta que la llave sea retirada de esta posición.

d. Posición de calibración (CALIBRATE). Envía una descarga de 12 voltios a cada bobina de los acelerómetros internos.

e. Posición de frecuencia natural (NAT. FREQ.). Remueve el circuito comprobando cada acelerómetro y permitiéndolos que esten en libre oscilación.

- Indicador de eventos. (EVENT INDICATOR)

Es una ventanilla junto a la llave, que indica si ha ocurrido o no un sismo. Antes del evento está de color negro y después del evento es blanca. Este indicador retorna a negro cuando la llave esta en posición de prueba (TEST)

- Lámpara e interruptor de prueba

Sirven para observar la posición de la traza, y puede activarse y registrarse solo con la lámpara.

- Nivel de burbuja

Para instalar correctamente a nivel el aparato

- Interruptor de tiempo

a. Posición principal (MASTER). Para obtener 2 pulsaciones por segundo en las trazas TM-1 y TM-2

b. Posición secundaria (SLAVE). Para conectar señales de reloj, radio u otro instrumento sobre la traza TM-1.

- Conexión Interna

Desconecta completamente la fuente de poder que alimenta el aparato.

- Conexión Externa

Para recargar las baterías, para alarmas, contadores, tiempo o líneas de interconexión con otros instrumentos.

- Lámpara para ajuste de señal.

Para ajustar el voltaje de la lámpara de registro

- Ajuste de tiempo de disparo

Regula el tiempo entre 6 y 20 segundos, que el instrumento continúa registrando después del evento.

- Fusibles, para protección del instrumento

Otro aspecto importante de la operación de los acelerógrafos es la instalación de la película en el depósito o cámara.

Las películas del acelerógrafo cuando ya están terminadas o tienen más de dos años, tienen que ser reemplazadas. Todo el proceso de carga o descarga de la película debe realizarse en un cuarto oscuro o con luz roja.

Instalación de la película en el depósito de recarga.

- Abra el depósito de repuesto, quitando los seguros laterales.

- Destornille el extremo estriado y saque el eje.

- Con el depósito abierto, asegúrese que el indicador de la película esté hacia adentro y la parte exterior de la película entre las marcas roja y verde.

- Mantenga el rollo en el centro del depósito, como si fuera a sacarlo e inserte y atornille el eje.

Entonces el rollo de película debe girar libremente, de lo contrario saque el rollo y revise el depósito.

- Despegue el extremo de la cinta adhesiva que sujeta la película y pásela por la abertura de la cápsula y cierre la tapa con los seguros.

- Guarde el depósito cargado en su caja de transporte plástica.

Instalación del depósito de repuesto en el acelerógrafo.

- Con la luz tenue saque el depósito de repuesto del contenedor o caja plástica.

- Quite la cinta adhesiva del extremo de la película y saque unos 10 cm de película y con unas tijeras haga un corte cuadrado en el extremo de la película.

- Deje caer el depósito con la película en la cámara del acelerógrafo sosteniendo el extremo de la película.

- Doble en ángulo recto unos 0.5 cm del extremo de la película y colóquela doblando en la parte inferior de la rueda dentada lista para engancharse.

- Gire el botón del tambor, en sentido horario empujando lentamente la película bajo la rueda dentada.

- Una vez enganchada la película en la rueda dentada gire la perilla hasta que la película emerja por arriba de la rueda dentada y esté sujeta totalmente.

- La etapa final es la instalación del depósito de toma.

Instalación del depósito de toma en el acelerógrafo.

- Abrir el depósito de toma quitando los seguros.

- Unir la película al eje plástico del depósito y haciendo un doblez gire el botón en sentido horario, hasta que la ranura del eje sea visible. Ponga el borde del doblez en la ranura y sujetando la película gire el tambor una vuelta.

- Asegúrese que la película esta bien sujeta en el eje del tambor. Cierre el depósito de toma con los seguros. Si desea puede activar momentáneamente la grabación con la llave de mando en la posición de prueba (TEST) y observe como la película circula libremente desde el depósito de repuesto al de toma.

Otras instrucciones para la calibración y ajustes especiales del instrumento están en su catálogo.

5A.6 HITOS PARA EL CONTROL DE MOVIMIENTOS

Los hitos para el control de movimientos o puntos de referencia instalados en los rellenos y en estructuras de hormigón, sirven para el control de movimientos verticales y horizontales; de la siguiente manera:

a. Movimientos verticales

- Los niveles originales son los tomados durante la instalación de las marcas o hitos.
- Posteriormente debe nivelarse los hitos periódicamente de acuerdo al programa de control establecido.
- Los movimientos verticales son el resultado de la diferencia entre el nivel actual y el nivel original de los hitos.

b. Movimientos horizontales

- La posición inicial de los hitos esta dada por las coordenadas determinadas por triangulación, así como su orientación.
- Posteriormente se hacen otras mediciones de acuerdo con el calendario de control.
- Los desplazamientos de los hitos están determinados en coordenadas, calculando la diferencia existente a partir de las originales.

EQUIPO

Niveles de posición, teodolitos y distanciómetros.

FIN ANEXO 5A

