



## EFFECTOS DEL SISMO DEL 27 DE FEBRERO EN PRESAS DE LA REGIÓN COMAHUE

Autor: Franke, G.  
Organismo: ORSEP – Dirección Regional Comahue  
E-mail: [gfranke@orsep.gob.ar](mailto:gfranke@orsep.gob.ar)

### RESUMEN

*Las concesionarias del sistema Comahue presentaron al ORSEP las acciones desarrolladas con posterioridad a la ocurrencia del evento sísmico ocurrido en la costa chilena el 27 de febrero de 2010 a 99 km NNO de la ciudad de Concepción en el vecino país de Chile.*

*El objeto de la presentación consiste en “comunicar” una reseña de los Informes recibidos por el ORSEP que contienen las conclusiones del análisis del comportamiento de las presas más importantes de la región frente al evento mencionado.*

### Palabras Clave

Presas, Región Comahue, Auscultación, Sismoscopio, Aceleración, Magnitud, Intensidad sísmica, Piezometría, Filtraciones.

### INTRODUCCIÓN

El análisis del riesgo sísmico en los emplazamientos de las obras fue una tarea de elevada complejidad que requirió la participación de geólogos, sismólogos e ingenieros. El mismo fue desarrollado por el Instituto de Investigaciones Antisísmicas de la Universidad de San Juan.

Para las obras del Comahue se adoptó como criterio de seguridad el sismo que corresponde a un *tiempo medio de ocurrencia de 10.000 años*.

A título ilustrativo, se indican las INTENSIDADES alcanzadas en los distintos emplazamientos para dicha recurrencia en Escala de Mercalli Modificada:

ALICURA: MM=VIII

PIEDRA del AGUILA y PICHÍ PICÚN LEUFÚ: MM=VII

EL CHOCÓN y PLANICIE BANDERITA: MM=VI

A título ilustrativo para la presa de POTRERILLOS en Mendoza: MM= VIII-IX [5]

Las Presas de la Región Comahue se ubican a algo más de 500 km al SE del epicentro del sismo ocurrido. A los efectos del presente trabajo se consideraron las 3 presas más importantes por su altura y volumen de embalse, a saber: Alicura, Piedra del Águila y El Chocón.

Según los datos difundidos por el INPRES [1]:

*“El sismo ocurrió a las 03 horas 34 minutos 10 segundos del día 27 de febrero de 2010. El epicentro se ubicó a 99 km al nor-noroeste de Concepción, región del Bío Bío, República de Chile. La distancia a Chos Malal, Neuquén es de 330 km. La Intensidad del sismo en la escala Mercalli Modificada alcanzó el grado V (cinco) en la ciudad de San Juan y en la ciudad de Mendoza y V a VI (cinco a seis) en la ciudad de Bariloche. La Magnitud del sismo fue de 8.8 grados en la escala de Richter.”*



Figura 1.- Epicentro y ubicación de las presas

La **Magnitud** es un valor instrumental relacionado con la energía elástica liberada durante un terremoto y propagada como ondas sísmicas en el interior y en la superficie de la tierra. Es independiente de la distancia entre el hipocentro y la estación sismológica y se obtiene del análisis de los sismogramas. Existen diferentes escalas para medir la magnitud, aunque la más difundida es la de Richter (ver Tabla 1). Ésta es una escala abierta, o sea que no tiene límite superior. Sin embargo, los terremotos más grandes que se han registrado no han excedido una magnitud 9 en esta escala, como es el caso del terremoto de Chile 1960 y el de Alaska 1964. El último gran terremoto ocurrido en la Argentina el 23 de noviembre de 1977, con epicentro en la provincia de San Juan, alcanzó 7,4 grados de magnitud Richter.

Magnitud en Escala Richter	Efectos del terremoto
Menos de 3.5	Generalmente no se siente, pero es registrado
3.5 - 5.4	A menudo se siente, pero sólo causa daños menores
5.5 - 6.0	Ocasiona daños ligeros a edificios
6.1 - 6.9	Puede ocasionar daños severos en áreas muy pobladas.
7.0 - 7.9	Terremoto mayor. Causa graves daños
8 o mayor	Gran terremoto. Destrucción total a comunidades cercanas.

Tabla 1.- Escala de Magnitudes

La **Intensidad** es una medida de los efectos producidos por un terremoto. La escala tiene carácter subjetivo y varía de acuerdo con la severidad de las sacudidas producidas en un lugar determinado. Tiene en cuenta los daños causados en las edificaciones, los efectos en el terreno, en los objetos y en las personas. Si bien existen diferentes escalas de intensidad, la más utilizada en el hemisferio occidental es la de Mercalli Modificada (MM), que es cerrada y contiene doce grados (I al XII).

Grado I	Sacudida sentida por muy pocas personas en condiciones especialmente favorables.
Grado II	Sacudida sentida sólo por pocas personas en reposo, especialmente en los pisos altos de los edificios. Los objetos suspendidos pueden oscilar.
Grado III	Sacudida sentida claramente en los interiores, especialmente en los pisos altos de los edificios, muchas personas no lo asocian con un temblor. Los vehículos de motor estacionados pueden moverse ligeramente. Vibración como la originada por el paso de un carro pesado. Duración estimable
Grado IV	Sacudida sentida durante el día por muchas personas en los interiores, por pocas en el exterior. Por la noche algunas despiertan. Vibración de vajillas, vidrios de ventanas y puertas; los muros crujen. Sensación como de un carro pesado chocando contra un edificio, los vehículos de motor estacionados se balancean claramente.
Grado V	Sacudida sentida casi por todo el mundo; muchos despiertan. Algunas piezas de vajilla, vidrios de ventanas, etcétera, se rompen; pocos casos de agrietamiento de aplanados; caen objetos inestables. Se observan perturbaciones en los árboles, postes y otros objetos altos. Se detienen de relojes de péndulo.
Grado VI	Sacudida sentida por todo mundo; muchas personas atemorizadas huyen hacia afuera. Algunos muebles pesados cambian de sitio; pocos ejemplos de caída de aplanados o daño en chimeneas. Daños ligeros.
Grado VII	Advertido por todos. La gente huye al exterior. Daños sin importancia en edificios de buen diseño y construcción. Daños ligeros en estructuras ordinarias bien construidas; daños considerables en las débiles o mal planeadas; rotura de algunas chimeneas. Estimado por las personas conduciendo vehículos en movimiento.
Grado VIII	Daños ligeros en estructuras de diseño especialmente bueno; considerable en edificios ordinarios con derrumbe parcial; grande en estructuras débilmente construidas. Los muros salen de sus armaduras. Caída de chimeneas, pilas de productos en los almacenes de las fábricas, columnas, monumentos y muros. Los muebles pesados se vuelcan. Arena y lodo proyectados en pequeñas cantidades. Cambio en el nivel del agua de los pozos. Pérdida de control en las personas que guían vehículos motorizados.
Grado IX	Daño considerable en las estructuras de diseño bueno; las armaduras de las estructuras bien planeadas se desploman; grandes daños en los edificios sólidos, con derrumbe parcial. Los edificios salen de sus cimientos. El terreno se agrieta notablemente. Las tuberías subterráneas se rompen.
Grado X	Destrucción de algunas estructuras de madera bien construidas; la mayor parte de las estructuras de mampostería y armaduras se destruyen con todo y cimientos; agrietamiento considerable del terreno. Las vías del ferrocarril se tuercen. Considerables deslizamientos en las márgenes de los ríos y pendientes fuertes. Invasión del agua de los ríos sobre sus márgenes.
Grado XI	Casi ninguna estructura de mampostería queda en pie. Puentes destruidos. Anchas grietas en el terreno. Las tuberías subterráneas quedan fuera de servicio. Hundimientos y derrumbes en terreno suave. Gran torsión de vías férreas.
Grado XII	Destrucción total. Ondas visibles sobre el terreno. Perturbaciones de las cotas de nivel (ríos, lagos y mares). Objetos lanzados en el aire hacia arriba.

*Tabla 2.- Escala de Intensidades*

## DESARROLLO

### Presa de Alicurá

Altura máxima: 130 m

Volumen Embalse: 3.215 Hm<sup>3</sup>

Aceleración Máx. de Diseño: **0,20 g**

Aceleración Registrada causada por el Sismo de Chile: **0,03 g** (Coronamiento Presa)

Intensidad Equivalente en MERCALLI Modificada: **MM = IV** [1]

Debido a la hora de ocurrencia del evento (3:34 AM), el operador de turno fue el responsable de desarrollar las inspecciones inmediatas según los procedimientos que indican las Guías de Acción.



Figura 2.- Presa de Alicurá

Durante la mañana del día 27, el responsable de Auscultación se hizo presente en el emplazamiento para efectuar una inspección mas detallada y revisar el programa de registro de instrumentos testigos disparado por el SADA ante eventos sísmicos.

Se advirtió que hubo movimientos entre juntas del orden de milímetros (tablero del puente del cuenco del Vertedero y muros laterales de la Dársena de Aducción) y se registraron variaciones en algunos instrumentos (Piezómetros y Aforadores).

El día 2 de marzo se sobrevoló la zona del emplazamiento y del embalse en helicóptero, sin registrarse sectores con deslizamientos o daños. El día 15 de marzo se efectuó una campaña microgeodésica (planialtimétrica), sin detectarse desplazamientos ni tendencias fuera de las habituales.

### Piezometría

Para el caso de la piezometría de la Presa, sólo se vieron afectados los registros en la *roca de fundación* de la misma.

- En progresiva 365 se observa un descenso en los piezómetros del nivel superior y un ascenso en el nivel inferior (del orden de 1 a 2 m).
- En progresiva 575 se observa una situación general con descensos para la fundación del núcleo y estable en sector de la fundación del espaldón Aguas Abajo del mismo orden que los registrados la sección 365. En particular se observa un incremento en piezómetros aislados por ejemplo el E5 (+6m), ubicado en el contacto núcleo-roca.
- En progresiva 775, se observa una situación de estabilidad en la zona de contacto núcleo-roca y un descenso generalizado en los niveles inferiores de fundación.
- Del análisis de la piezometría de los instrumentos ubicados a lo largo del eje de la Presa en la galería de inyección, se registra un descenso generalizado de las presiones de poros tanto Aguas Arriba y Aguas Abajo de la cortina de inyección. Como caso singular se registra incremento en progresiva 475 (E103: +8m).

En el *Estribo Izquierdo* y en la fundación del aliviadero en el Nivel 613, se observa un incremento de los NP en 3 piezómetros del orden de 1 a 2 m. Singularmente el piezómetro Casagrande G22 registró un incremento de 9,70 m, el cual comenzó un proceso de drenaje a los pocos días.



## Instrumentación Sísmica

Los acelerógrafos ETNA no presentaron registros debido a que habían sido calibrados con una sensibilidad de 0,03 g.

Por sugerencia del IDIA se ha procedido a bajar el umbral de sensibilidad de dichos instrumentos a 5 mg (milésimas de g).

Durante el mes de abril, personal del IDIA asistió al Emplazamiento a los efectos de efectuar tareas de mantenimiento y calibración del instrumental sísmico.

En la oportunidad se detectaron trazas en el vidrio de registro en 4 sismoscopios, los cuales arrojaron la siguiente interpretación [2]:

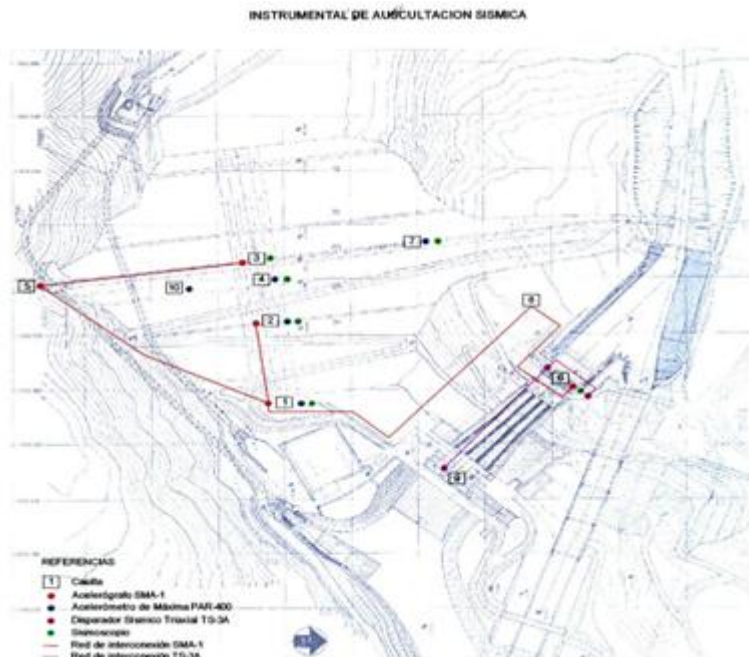


Figura 3.- Alicurá – Ubicación instrumental sísmico

- Casilla 1, cota 595, sismoscopio serie N°202.  
En el vidrio de registro se observa una traza asignable a evento sísmico cuya doble amplitud es igual a 0.6 mm, corresponde a un coeficiente sísmico de 0.006.
- Casilla 2, Berma Talud de Cota 660, sismocopio serie N° 205.  
En el vidrio de registro se observa una traza asignable a evento sísmico cuya doble amplitud es igual a 1.1 mm, corresponde a un coeficiente sísmico de 0.013.
- Casilla 4, Berma Talud de Cota 690, sismocopio serie N° 201.  
En el vidrio de registro se observa una traza asignable a evento sísmico cuya doble amplitud es igual a 1.7 mm, corresponde a un coeficiente sísmico de 0.02.
- Casilla 2, Coronamiento Cota 710, sismocopio serie N° 204.  
En el vidrio de registro se observa una traza asignable a evento sísmico cuya doble amplitud es igual a 2.7 mm, corresponde a un coeficiente sísmico de 0.032.



Figura 4.- Casilla 3 – Sismoscopio Serie 204  
(Coronamiento Presa – Cota 710)

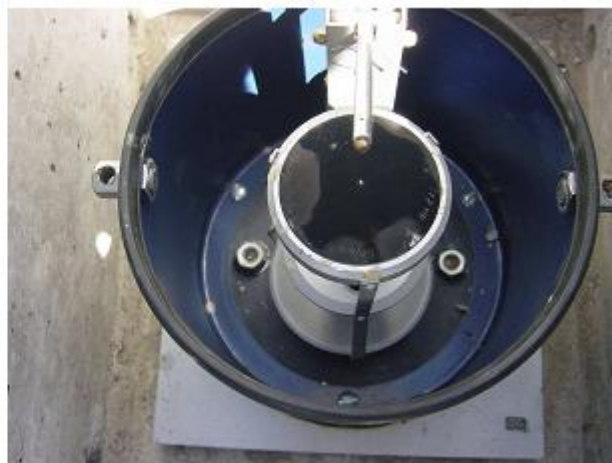


Figura 5.- Casilla 4 – Sismoscopio Serie 201  
(Berma Talud a. Abajo Presa – Cota 690)

## Presas de Piedra del Aguila

Altura máxima: 170 m.

Volumen Embalse: 12.400 Hm<sup>3</sup>

Aceleración Máxima de Diseño: **0,20 g**

Aceleración Registrada por el Sismo de Chile:

Los Acelerógrafos no registran el evento. Debido a que están calibrados para dispararse con sismos que provocan aceleraciones mayores a 0,01 g.

Intensidad percibida en el emplazamiento: **MM < III** [3]



Figura 6.- Presa de Piedra del Aguila

## Presas

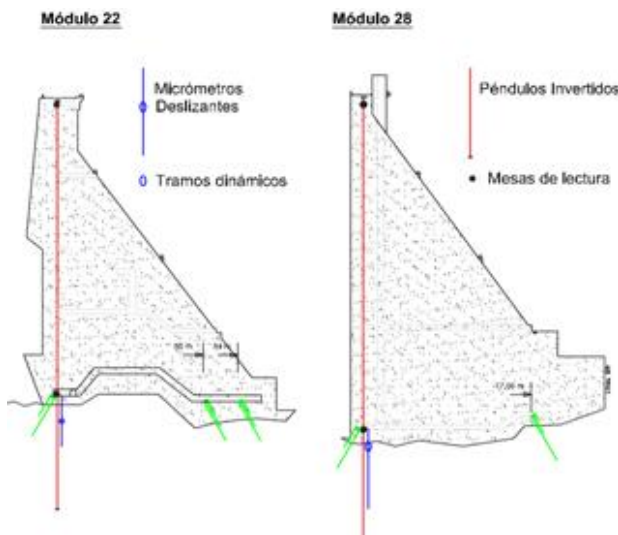


Figura 7.- Secciones de Módulos 22 y 28



Figura 8.- Afectación de Caudales

En la Presa, las variables principales auscultadas acusaron, en menor o mayor medida, perturbaciones en sus registros con respecto a los adquiridos previos al evento. También en forma general las mismas variables (deformación, subpresión y caudales) tendieron gradualmente a los valores leídos con anterioridad al sismo.

De la inspección visual realizada en las galerías de la Presa se aprecian signos del accionar del sismo, quedando en evidencia por separación de fisuras en material carbonatado que sella fisuras antiguas y descascaramientos de reparaciones de mortero de las juntas entre bloques.

- Los caudales de Drenaje y Filtraciones en su gran mayoría aumentaron significativamente los valores (igualmente dentro de los registros históricos), algunos drenes de alivio mostraron turbiedad en las primeras horas luego del evento y presencia de material granular, probablemente proveniente de la escoria arrojada en forma periódica para reducir los efectos de las reaperturas térmicas de las fisuras.
- En general el comportamiento de la piezometría de la Presa, mas allá de los altibajos provocados por el evento sísmico, no advierte sobre situaciones anómalas.

En la *Tabla 3* se muestran los registros que fueron afectados por el evento.

Variable	Instrumento	Observación
Deformaciones	Péndulos	Nivel 591 (dirección del flujo X): Leve perturbación general. M22, 1mm hacia AB. M18, 1mm AR. Fundación: M22, 1mm AB. Nivel 591 (dirección Z): leve perturbación general. M28, 1 mm MI. M18, 0.8 mm MD. Fundación: M18, 0.8 mm MI.
	Micrómetros	Variaciones mínimas entre 0.1 y 0.2 mm. M22 y M28 elongación, M34 contracción.
	Ext. de barras	Sin modificaciones.
	Micro geodesia	Campaña programada para mes de marzo 2010. Aún no se dispone información
Piezometría	Piezómetros Eléctricos (PE)	Perturbación general en todos los instrumentos del contacto y a profundidad, entre +/-1.5 m.c.a. En un mismo módulo lecturas dispares. Luego de 96 hs se aprecia una leve tendencia a la normalización hacia los valores previos al evento. M34: sector de AR +6 m.c.a.
	Piezómetros Hidráulicos	Perturbación general en todos los instrumentos del contacto entre +5 (M22 AR) y -4 m.c.a. (M28, Prog. 11, 22.5, 3.5). En un mismo módulo lectura dispares de instrumentos. Luego de 96 hs se aprecia una leve tendencia a la normalización como en los PE.
Caudales Totales de 160 l/s a 210 l/s, disminuyendo gradualmente a 188 l/s. Drenaje total + 16% +9.1 l/s. El aumento de 28 l/s se divide en +8 l/s en GID, +1 l/s G300+G301 y +19 l/s de drenes de fisura y filtraciones.	Márgenes	MI: sin modificaciones MD: sin modificaciones
	DJA	Sin modificaciones
	Drenaje GID de 55 l/s a 67 l/s a 63 l/s +15% 8 l/s	M23 y M24 aumentaron un 27 y 17 % respectivamente. Cuatro de ellos con agua turbia inmediatamente luego del evento: 28D11, 29D1, 30D1 y 30D2i.
	Drenaje G301	+ 0.1 l/s +25%.
	Drenaje G300 Aumento de 2 veces	En dos de sus drenes mas importantes aumento de entre 2 y tres veces. 24D5 de 13 a 28 l/m, 31D1 de 23 a 60 l/m. Total G300: +0.9 l/s
	Drenes de fisuras de 33 l/s a 56l/s a 52 l/s +58% 19 l/s	M36: +25% / +1.4 l/s M35: + 22% / + 1.8 l/s M17: +15% / + 1 l/s M32 Nivel 472: valor previo x 10 / + 12 l/s Nivel 500: valor previo x 7 / + 2.1 l/s M27 GID: valor previo x 3 / + 0.75 l/s Nivel 472: valor previo x 2.5 / + 0.27 l/s .M16, M29 y M31: leves variaciones.
Inspección Visual		Juntas entre módulos selladas con carbonatos fisuradas, esta acción es más visible en GI528 y GI560, desde M28 hacia MI. GI591 y coronamiento: Sin novedades Central (estructura de presa): fisuras en losa de Nivel460, hasta 491, fisura horizontal en azulejos y mampostería
Sismo	Acelerógrafos SMA-1	No muestran alarma de evento
	Sismoscopio	Sin modificaciones

Tabla 3.- Parámetros afectados por el Sismo en Emplazamiento Piedra del Águila [3]

## Paleocauce

En el Paleocauce, ni los caudales (drenajes y filtraciones) ni la piezometría (piezómetros eléctricos, hidráulicos, Casagrande y freatómetros de todos los acuíferos) tuvieron alteraciones luego del evento.

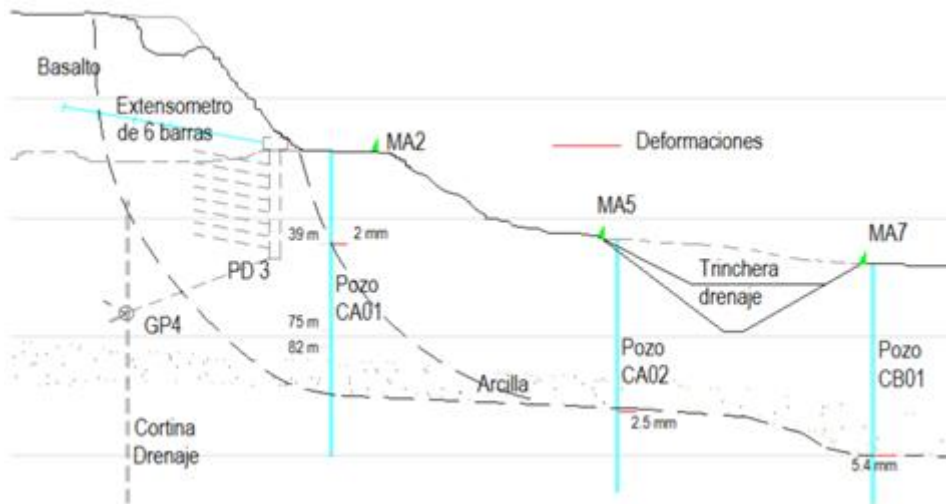


Figura 9.- Instrumentación del Paleocauce

Las lecturas tomadas el día 04/03 no mostraron cambios a ninguna profundidad auscultada. Solo las deformaciones a profundidad medidas a través de los inclinómetros registraron desplazamientos (2,1 mm) al 18/03. Las últimas lecturas adquiridas fines de marzo muestran un desplazamiento total del orden de los 3 mm en los tres inclinómetros del paleocauce.

De la inspección visual en la zona de la meseta y de la fisura al pie del muro basáltico no puede observarse alteraciones de ningún tipo.

Para completar el panorama de las deformaciones superficiales en el Anfiteatro del Paleocauce, se desarrolló una campaña microgeodésica a mediados del mes de marzo. De las mediciones obtenidas en esta campaña se visualizan desplazamientos a nivel de superficie del anfiteatro entre 2 y 5 mm en promedio en la dirección principal de deformación y asentamientos en la zona de la berma superior (pozos de drenaje) de la misma magnitud.

## Presa de El Chocón

Altura máxima: 86 m.

Volumen Embalse: 20.200 Hm<sup>3</sup>

Aceleración Máxima de Diseño: **0,10 g**

Aceleración Registrada causada por el Sismo de Chile: equivalente en Escala MERCALLI Modificada: **MM < II** [4]



Figura 10.- Presa de El Chocón

De acuerdo a lo establecido en el Manual de Seguridad de Presas, y con motivo del evento sísmico, se efectuó un análisis de los registros de instrumentación del SADA (Sistema Automático de Adquisición de Datos) y una inspección de detalle a las Obras.

La piezometría analizada no registra perturbaciones en el cuerpo de la Presa. En la fundación de la misma se registran ligeros cambios en dos piezómetros aledaños al contacto con el núcleo de



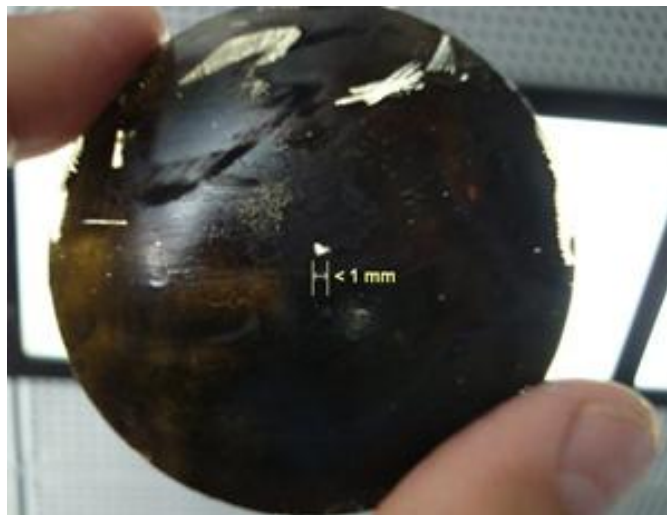
Sección instrumentada 820. Dichos piezómetros han registrado una variación de -0,50 y -0,70 m respectivamente.

En la evaluación de los registros de los aforadores que monitorean las laderas y la cimentación de la Presa, se observaron ligeros incrementos en los Aforadores de descarga del sistema compensado de drenaje de 0,58 l/min (+2,8%), y en el Aforador de filtraciones totales en galería de tratamiento de fundación de la Presa de 0,60 l/min (+3,6%).

En las inspecciones de detalle se advirtió una pequeña rotura en la esquina de una tapa de hormigón entre las recatas en el coronamiento del Vertedero, sin registrarse deformaciones en el resto de la estructura.

De la inspección del coronamiento, bermas y pié de la Presa no se registraron novedades. Respecto del Rip-Rap aguas arriba de la Presa, en algunas secciones se registran desplazamientos entre 4 y 14 cm entre bloques, los cuales no fueron factibles determinar si fueron por efecto del sismo o por acción del oleaje ocurrido en los últimos meses.

En particular, se inspeccionó el sismoscopio ubicado en Galería 326 sobre la M. Izquierda. Se observa que la impronta sobre el espejo no superó 1 mm, lo que evidencia el bajo nivel de perturbación provocado por el sismo en el emplazamiento



*Figura 11.- Impronta en sismoscopio*

## **CONCLUSIÓN**

El sismo ocurrido el día 27 de febrero de 2010 con epicentro en la región del Bío Bío, República de Chile tuvo una Magnitud de 8,8 grados en la escala de Richter. El mismo ha sido uno de los mas importantes de los últimos 50 años en la región junto al de Valdivia (Chile) de 1960 de 9,5 grados y el último gran terremoto ocurrido en la Argentina en noviembre de 1977, con epicentro en Caucete (San Juan), que alcanzó 7,4 grados de Magnitud Richter.

El efecto del mismo medido a través de Intensidades sísmicas en las presas del Comahue ha sido muy bajo, únicamente detectado por algunos sismoscopios. Las aceleraciones provocadas por el evento han sido del orden del 5 al 15% de las aceleraciones máximas de proyecto de las estructuras y las presas.

En los 3 emplazamientos más importantes los instrumentos que se vieron afectados por acción del evento sísmico fueron los ubicados en las fundaciones, tanto como para presiones neutras y caudales de drenajes y filtraciones sin haber superado los umbrales de seguridad, los cuales se han normalizado luego del transcurso de días.

Del instrumental sísmico instalado, únicamente algunos sismoscopios registraron improntas que permitieron asociarlas a las aceleraciones máximas que afectaron a las presas y los macizos rocosos. Como consecuencia de ello, se ha procedido a recalibrar los acelerógrafos con mayor sensibilidad a la especificada previamente al sismo ocurrido.

## **Agradecimientos**

A los directivos, profesionales, y técnicos de auscultación de las empresas concesionarias de los Aprovechamientos Hidroeléctricos de Alicura, Piedra del Águila y El Chocón, por su disposición a brindar toda la información para incluir en la presente divulgación.

## **Referencias**

- [1] AES ALICURA - APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO ALICURA (2010) - *Informe Mensual de Auscultación y Mantenimiento de la Presa y Obras Complementarias – Febrero 2010*
- [2] IDIA (Instituto de Investigaciones Antisísmicas – Universidad de San Juan) (2010) – *Control, Mantenimiento y Calibración de Instrumental Sísmico – Presa Alicura - Mayo de 2010*
- [3] PIEDRA DEL ÁGUILA S.A. - APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO PIEDRA DEL ÁGUILA (2010) - *Informe Técnico – Evento Sísmico del 27/02/2010 - Junio de 2010*
- [4] HECSA – HIDROELÉCTRICA EL CHOCÓN (2010) - *Informe Mensual de Seguridad de Presas – Febrero de 2010*
- [5] GIULIANI, F. (1999) – *“Seguridad ante un Sismo de las Presas de Materiales Sueltos del Comahue” en Congreso Argentino de Grandes Presas y Aprovechamiento Hidroeléctricos – Octubre de 1999*