

# COMITÉ NACIONAL ESPAÑOL DE GRANDES PRESAS

## LA AUTOMATIZACIÓN EN LA OBSERVACIÓN TOPOGRÁFICA DE PRESAS

**Juan Carlos Elipe Salmador & José Enrique Vázquez Mellid<sup>1</sup>**

*RESUMEN: La utilización generalizada de la topografía de precisión en la auscultación de presas, es fácil de adoptar y muy eficaz para el seguimiento del comportamiento estructural a través de las deformaciones.*

*Se ha acabado de materializar un prototipo de observación topográfica de movimientos de la coronación de la presa de Cortes.*

*El sistema en cuestión consiste en la utilización de una estación total dotada de un sistema de seguimiento automático de referencias fijas capaz de proporcionar medidas fiables mediante iteraciones de lectura.*

### 1. RESEÑAS HISTÓRICAS DEL EMPLEO DE TOPOGRAFIA

Numerosos accidentes y desastres ocurridos en el pasado, han mostrado los riesgos asociados a las grandes obras de ingeniería entre las que destacamos

---

<sup>1</sup> Servicio de Explotación de Presas y conservación de Iberdrola Generación S.A.U.

las presas. La auscultación de estructuras y de zonas de riesgo, está siendo cada vez más importante.

Entendemos como auscultación el “conjunto de actividades destinadas a conocer el comportamiento real de una presa, durante una determinada época o a lo largo de toda su vida útil, que se llevan a cabo mediante técnicas especiales de medición, con aparatos o sensores determinados y que, con un posterior proceso de depuración y análisis de los datos obtenidos, permiten profundizar en la seguridad global de una presa”.

El fin de la auscultación, es el de prevenir con suficiente antelación accidentes e incidentes no deseados, así como controlar e interpretar, a partir de datos objetivos, el comportamiento satisfactorio o no de la presa.

Los parámetros a medir, son aquellos que recogen las principales variables internas y externas que influyen de forma significativa en el comportamiento de las presas. De entre las variables a medir, figuran:

- Las meteorológicas y ambientales.
- Las hidráulicas y dinámicas.
- Las térmicas, tensionales y volumétricas.
- Las deformacionales.

Centrándonos en estas últimas, destacamos la importancia del control de movimientos en la estructura de las presas, cuyo análisis es fundamental para interpretar el buen comportamiento de las estructuras.

La auscultación de movimientos implica la medición periódica y automática de puntos de referencia alrededor de áreas de actividad para determinar sus deformaciones. Para el análisis de los mismos se emplean entre otros, métodos topográficos cuya misión es a partir de referencias fijas, controlar los movimientos absolutos de diferentes hitos colocados sobre las estructuras que pretendemos auscultar.

## **2. SISTEMAS AUTOMÁTICOS DE OBTENCIÓN DE DATOS**

La necesidad de instalación de distintos sensores en una presa, hace necesario la toma e interpretación de los datos proporcionados por cada uno de ellos.

Si bien, para la segunda actividad es necesaria siempre la intervención de técnicos expertos en auscultación, para el caso de la obtención de datos se pueden emplear métodos de registro continuo. Estos, que presentan como principal ventaja el poder disponer de un gran número de datos almacenados, con unos costes reducidos de mantenimiento reduciendo, que no eliminando, los medios humanos a emplear.

Si a estos métodos le unimos la posibilidad de realizar tomas de datos a demanda, así como la opción de poder transmitirlos desde los Centros Remotos

donde se toman, a los de Proceso, hacen de la herramienta de la automatización a distancia un importante aliado para el control de estructuras.

Estos medios sí bien son habituales para la obtención de datos acerca de las filtraciones, temperaturas del hormigón, movimientos de juntas, etc., no lo son tanto para la obtención de parámetros topográficos en presas, donde aún sigue siendo habitual el empleo de medios humanos.

No obstante si se tienen referencias del empleo de dichos sistemas topográficos en otras aplicaciones como puedan ser:

- Control de convergencias en túneles así como de movimientos de edificios durante labores de excavación de túneles en sus proximidades.
- Control de movimientos en edificios históricos durante labores de reparación o consolidación de cimentaciones en los mismos.
- Controles de Puentes y canteras.

### **3. APLICACIONES A LA AUSCULTACIÓN DE PRESAS**

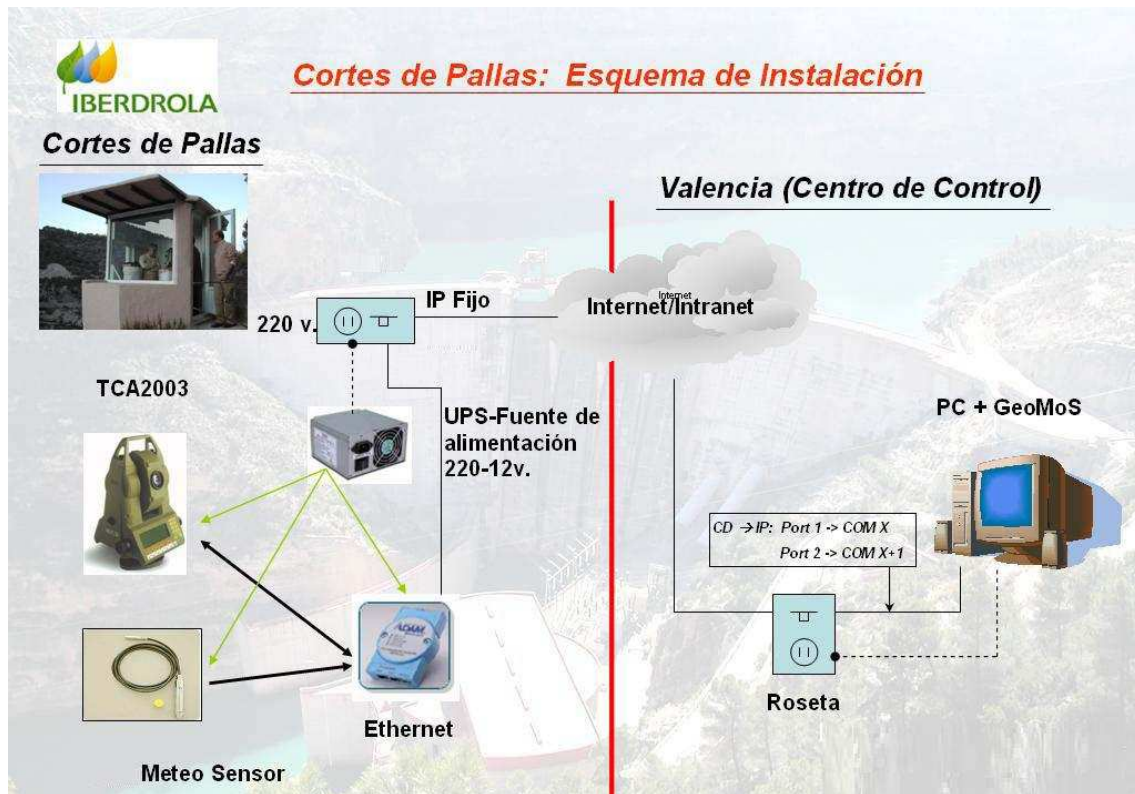
Iberdrola ha venido comprobando la eficacia de los sistemas de control de movimientos a través de métodos topográficos, adoptándolos en cada una de sus 70 grandes presas.

Igualmente y aprovechando las tecnologías existentes en el mercado, ha introducido un sistema complementario de control de movimientos, en la Presa de Cortes, con la finalidad de controlar tanto los movimientos de los bloques más representativos de la misma, como de la cantera adyacente, que se encuentra en la margen izquierda de la misma.

El sistema a utilizar está constituido por los siguientes componentes:

- Estación Total automática.
- Sensor Meteorológico.
- Prismas especiales para Monitorización.
- Software de control y monitorización de datos.
- Ordenador personal con sistema SAI.

Y tiene una configuración similar a la que se indica en el siguiente esquema.



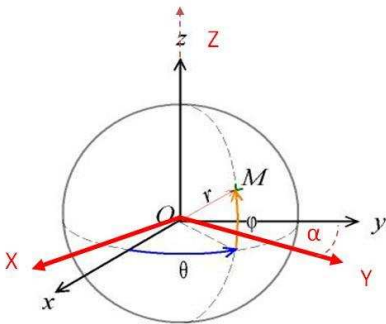
Con las siguientes características:

- La estación total automática: modelo TCA2003 con precisión de 0.5" (0.15 mgon), complementada con un Distanciómetro láser de clase 1, con desviación típica de 1 mm + 1 ppm y un alcance de 2.500 metros, sistema de seguimiento automático de prismas estándar, base nivelante, plomada óptica y sistema de alimentación.
- El sensor meteorológico de registro de valores de presión y temperatura, que alimenta al programa de adquisición y tratamiento de datos para hacer las correspondientes correcciones de los mismos.
- Prismas especiales para monitorización.
- Software de control y monitorización de datos, que permite tener un control total de los sensores desde un ordenador personal, ubicado en cualquier lugar, proporcionando una transferencia de datos segura y en tiempo real, usando sistemas estándar de transferencia de datos. Igualmente el software permite: definir los ciclos automáticos de medición, calcular las deformaciones de forma

automática, visualizar en tiempo real de los datos, así como realizar el análisis alfanumérico, la edición y post-proceso de datos a través de históricos, de los mismos.

El sistema consiste en la obtención de las coordenadas absolutas instantáneas de determinados puntos materializados con prismas, de forma que por diferencias con las coordenadas anteriores calculadas, se pueden determinar los movimientos de los mismos.

A grandes rasgos, el sistema funciona como la mayoría de los sistemas topográficos en coordenadas polares, de forma que a partir de la determinación de dos ángulos y una distancia ( $\varnothing, \phi, r$ ), se pueden obtener referenciados en el espacio todos los puntos. El paso a coordenadas cartesianas absolutas ( $X, Y, Z$ ), se realiza con un simple cambio de ejes, a partir del ángulo ( $\alpha$ ) con los obtenidos. En este último sistema es en el que se analizan los datos de movimientos obtenidos.



En concreto el sistema instalado por Iberdrola para control de movimientos en la presa y cantera de Cortes de Pallas, consiste en el control de dos grupos de puntos. El primero de ellos consta de tres puntos situados en la coronación de los bloques más singulares de la presa (bloques 6, 8 y 10), y que denominamos Grupo Presa. El otro, denominado Grupo Cantera, está constituido por 6 puntos situados en la ladera de una antigua cantera que se explotó durante la construcción de la presa y sobre la que se realizó una campaña de estabilización por los movimientos que se registraron durante la fase de explotación de la misma y que ya ha sido descrita en varios artículos.

La disposición de los puntos, es la que se indica en el croquis adjunto.



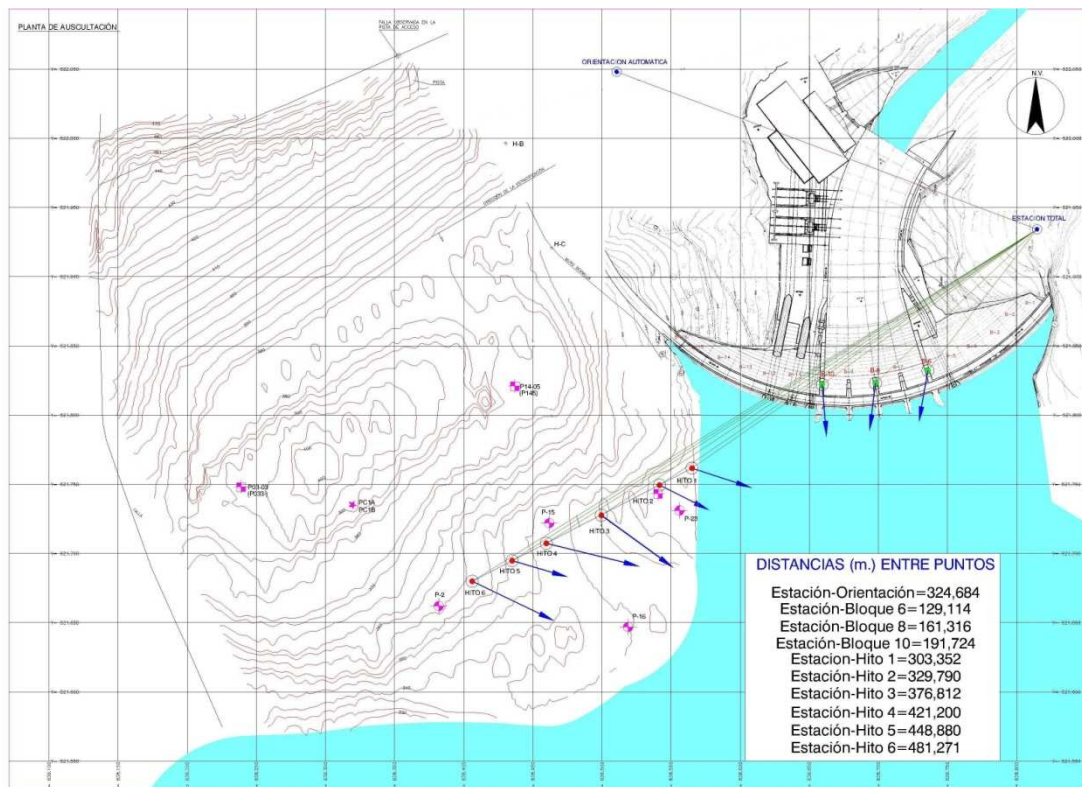
El sistema automático instalado funciona de la siguiente forma. Una vez instalada la estación total, y los hitos en los puntos que se pretenden medir, se instala un hito adicional en un punto inmóvil, que actuará como hito de referencia y origen de las mediciones angulares que se realizarán a los distintos puntos.

Una vez orientado el aparato a dicha referencia, se hace una lectura a cada uno de los puntos materializados con hitos, y se almacenan los datos de esta en el aparato. Estas serán las coordenadas  $X_o, Y_o, Z_o$  de cada uno de los puntos, las mismas se obtendrán a partir de los parámetros que lee el sistema, que son una distancia y dos ángulos uno vertical y otro horizontal.

Con posterioridad se programan a través del software las frecuencias de lectura de cada uno de los puntos. De forma que el sistema cada vez que vaya a leer uno de estos, lo buscará a partir de las coordenadas anteriores que le haya asignado.

El rango de búsqueda de los prismas, que también es configurable, se ha determinado en nuestro caso para un valor de  $\pm 15$  mm sobre la posición teórica definida del prisma. Así el sistema buscará al punto dentro de este rango, dando señal de alarma cuando no sea capaz de encontrarlo.

La búsqueda se realizará mediante un número de iteraciones sucesivas que se decidan y se programen. El proceso de iteración consiste en lanzar visuales a los prismas (en este caso 3) realizadas mediante círculo directo e inverso, determinándose como medida apropiada la media de las tres mediciones realizadas tanto en distancia como en ángulos. Una vez dadas por buenas las medidas, se dota a los puntos de coordenadas absolutas, que son las que se analizan en el proceso de interpretación de datos. Pudiendo componer la resultante de movimientos en los puntos a partir de las mismas, que son las que se indican a continuación.

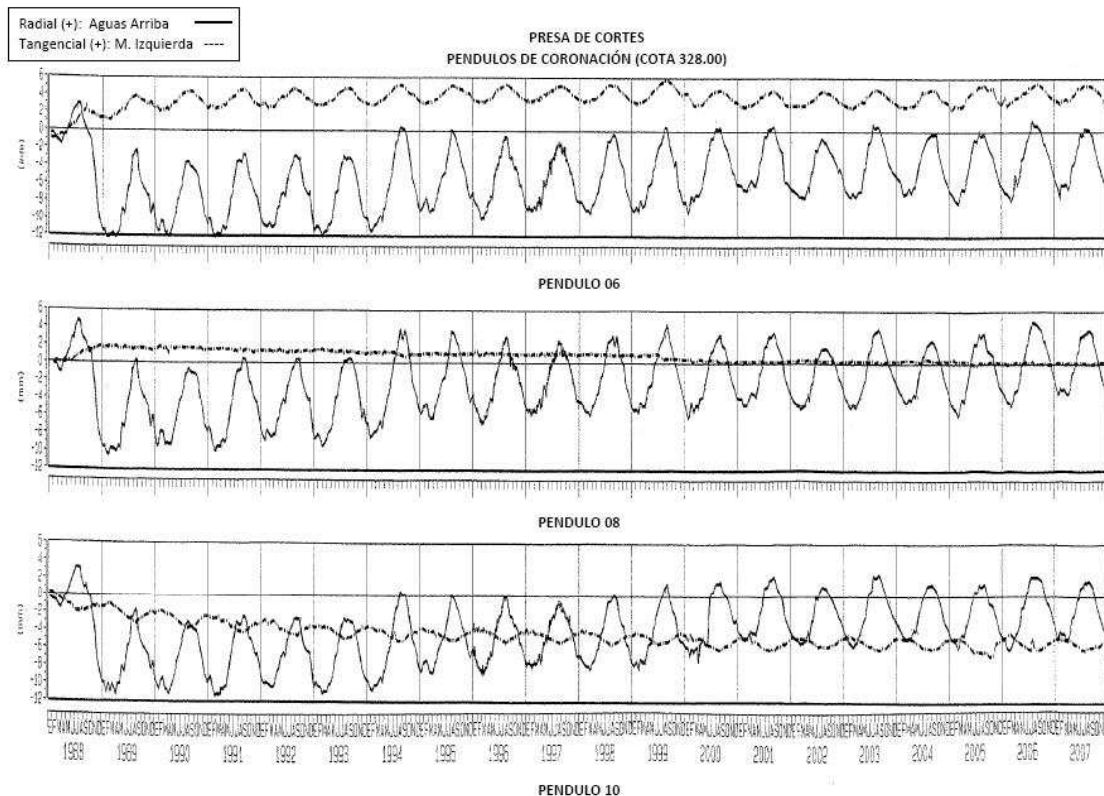


#### 4. VERIFICACIONES DEL SISTEMA Y CONCLUSIONES

Una vez que se llega a lograr que el sistema funcione, con todos los problemas que conlleva la instalación: alimentaciones, refrigeraciones, búsqueda de horas donde las medidas son fiables,..etc, se llega al punto de la verificación y análisis de la coherencia de los datos proporcionados.

Así se han comparado los resultados obtenidos por dicho sistema, con los datos proporcionados por el análisis con métodos manuales convencionales de auscultación de presas.

Analizando la dirección de la resultante de movimientos en los bloques de presa, y observando los movimientos de los puntos, podemos comprobar la marcada tendencia del bloque 10 (se corresponde con el hito B-10) de presa hacia la margen derecha, así como la muy ligera tendencia del bloque 6 (correspondiente con el hito B-6) hacia margen izquierda.



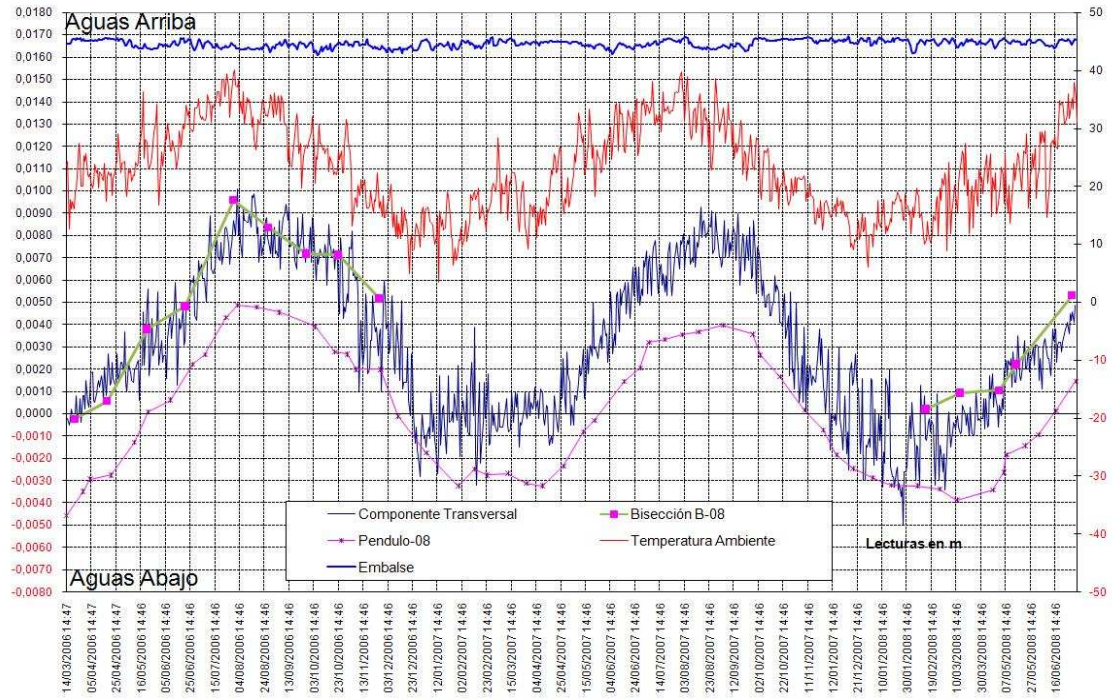
No obstante, resulta mucho más interesante el analizar la evolución en el tiempo de los movimientos de los puntos situados en los bloques comparando los datos de los sistemas de biseción y péndulos (sistemas convencionales de auscultación de presa) en un ciclo de aproximadamente un año, con los movimientos registrados por el sistema automático instalado.

De forma que, analizando a una hora determinada los datos aportados por cada uno de los sistemas de auscultación y control instalados en presa:

- Sistema de nivelación de precisión automático.
- Sistema de biseción angular manual con estación total
- Sistema de control movimientos horizontales mediante péndulos invertidos.

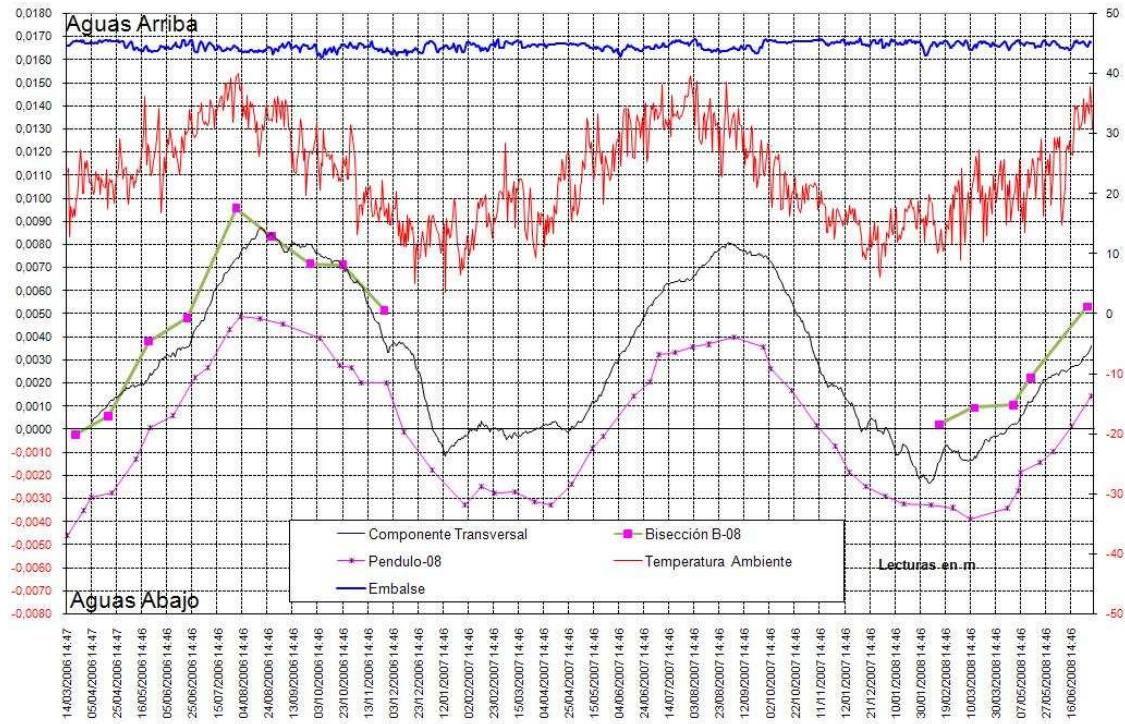


Y todo relacionado con las variables externas de nivel de embalse y evolución de las temperaturas, obtenemos las siguientes gráficas, para por ejemplo el B-8.



**PRESA DE CORTES ELEMENTO-08**

En la que sustituyendo los movimientos individualizados, por una línea de tendencia, obtenemos el siguiente gráfico.



**PRESA DE CORTES ELEMENTO-08**

Analizando las gráficas generadas a partir de los datos aportados por los distintos sistemas, observamos que los movimientos registrados por los métodos convencionales (péndulos y bisección), indican movimientos que siguen con un cierto desfase (por cuestiones de inercia térmica) la onda térmica registrada.

Este es un comportamiento característico en las presas de hormigón en las que el nivel de embalse se mantiene prácticamente constante.

Igualmente, estos movimientos, se correlacionan bastante bien con los registrados por la estación automática instalada, de forma que se observa el paralelismo, que no coincidencia, entre este último sistema y los anteriores.

Esta diferencia de valores entre los sistemas, entra dentro de la tolerancia en la adquisición de los datos, como podemos ver en la siguiente tabla adjunta.

	DISTAN- CIA DEL PUNTO	PRECISION	Tolerancia en la medida mm	COORDENADA X		Dif. mm	COORDENADA Y		Dif. mm	DIF. DE MODU- LOS
				MANUAL	AUTOMATICO		MANUAL	AUTOMATICO		
B- 6	129,114	1mm+1ppm	1,129	838.735,7767	838.735,7762	0,50	521.832,1313	521.832,1307	0,60	0,74149
B- 8	161,316	1mm+1ppm	1,161	838.698,0190	838.698,0183	0,70	521.822,9360	521.822,9355	0,50	0,85848
B-10	191,724	1mm+1ppm	1,191	838.659,1920	838.659,1909	1,10	521.822,1100	521.822,1112	- 1,20	0,30001

TABLA DE VERIFICACIÓN DEL SISTEMA AUTOMÁTICO EN PRESA.

En la misma se observa que las diferencias de valores entre el sistema manual y el automático entran dentro de la tolerancia de este último, y dentro de la precisión requerida para los datos que se pretende observar.

Otra apreciación que podemos observar, es la falta de datos en el registro manual de movimientos por bisección (la gráfica se encuentra incompleta). Esto es debido a una serie de trabajos acometidos en la ladera que bloquearon el acceso al hito haciendo imposible la toma manual de datos. No obstante, si se tienen como se puede observar, datos del sistema automático y del de colimación, observando el paralelismo entre los dos sistemas.

De todo lo anterior, podemos afirmar que es un hecho la materialización del prototipo de observación topográfica de movimientos de la coronación de la presa de Cortes y a tenor de la calidad comprobada de su funcionamiento, al verificarse la coherencia de sus datos, se contempla el estudio para la implantación del mismo a alguna de las presas de las que Iberdrola es responsable, por las ventajas que aporta.