



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE
SAN NICOLÁS DE HIDALGO**

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

**“GESTIÓN DE DATOS DE LA INSTRUMENTACIÓN DE LA
PRESA GENERAL FRANCISCO J. MÚJICA”**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO CIVIL**

**PRESENTA:
ALEJANDRO LEÓN GUZMÁN**

**ASESOR:
DR. CONSTANTINO DOMÍNGUEZ SÁNCHEZ**

**“TESIS APOYADA POR EL CONSEJO ESTATAL
DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DEL ESTADO DE MICHOACÁN”**



MORELIA, MICHOACÁN, FEBRERO DEL 2012



AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido posible gracias al apoyo de muchas personas, a las que debo mi gratitud.

En primer lugar mis asesores de tesis: Dr. Constantino Domínguez Sánchez, Dra. Sonia Tatiana Sánchez Quispe.

Por supuesto, mi agradecimiento a toda la gente de la Comisión para el Desarrollo Económico y Social de la Tierra Caliente del Estado de Michoacán, por haber tenido la valentía de ser pioneros.

También debo de agradecer la colaboración de mis compañeros de trabajo más directos, que han influido en gran medida en los contenidos de esta tesis. A mi mujer, Ma. Guadalupe Arianna Flores Salgado, que no solo me ha apoyado en forma abstracta, sino que también a colaborado revisando algunos capítulos.

A mi familia, en especial a mis padres, por asegurarme de que llegara hasta aquí y por preguntarme tantas veces "como voy con la tesis". Y por último el resto de compañeros de trabajo y a todos mis amigos.

RESUMEN

En los últimos años, se ha producido en el panorama internacional un acercamiento del campo de la seguridad de presas hacia las metodologías basadas en riesgo, en las que se combina la probabilidad de ocurrencia de eventos indeseados y sus consecuencias asociadas. Este acercamiento se comprueba por ejemplo en la publicación de un boletín de la Comisión Internacional de Grandes Presas (ICOLD) dedicado exclusivamente al tema y en que una de las sesiones del último Congreso Internacional de Grandes presas estuviese dedicada a ello.

Uno de los problemas que actualmente enfrenta la Tierra Caliente del estado de Michoacán es el abastecimiento del recurso hídrico principalmente en el área agrícola, la Comisión para el Desarrollo Económico y Social de la Tierra Caliente del Estado de Michoacán muestra un profundo interés por la implementación de nuevas tecnologías que permitan una mejor gestión y distribución de este recurso para fortalecer la agricultura de riego.

La Presa Francisco J. Mujica es la mayor obra de infraestructura pública que actualmente desarrolla el Gobierno del Estado de Michoacán. El proyecto está compuesto por una presa de CCR, una presa de cierre de núcleo con enrocamiento en margen derecha y la singularidad del estribo derecho constituido por un macizo de conglomerado permeable.

Este proyecto es una respuesta transversal, incluyente y sustentable que genera trabajo y oportunidades de desarrollo que garantiza la viabilidad de la región.

Sus principales indicadores son su localización geográfica en los municipios de Mújica y la Huacana, beneficiando a municipios como Mújica, Parácuaro y la Huacana.

El procedimiento para el comportamiento de la presa, es durante el llenado del vaso y durante toda la vida útil de la cortina, para esto se instalaron una serie de instrumentos tanto en el cuerpo de la cortina de CCR, como en la cortina de materiales graduados, así como en ambas márgenes.

El seguimiento de la instrumentación ha permitido comprobar el buen comportamiento global de la presa hasta esa fecha, así como extraer interesantes enseñanzas acerca de la evolución de la presa y la propia instrumentación.

A la consideración del riesgo potencial que supone la ocurrencia de terremotos naturales en cercanía a la presa, es un riesgo que aumenta al ubicarse la misma en una región de cierto grado de sismicidad. Es conocido desde hace tiempo el hecho de que la creación de embalses puede modificar el régimen sísmico de la zona donde se sitúan y que esta modificación a supuesto, en ocasiones, el desencadenamiento de terremotos de magnitud relativamente elevadas que han producido propios daños en la propia obra de la presa.

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN-----	4
2.	ANTECEDENTES-----	6
3.	APLICACIÓN DE METODOLOGÍAS EN INSTRUMENTACIÓN DE LA PRESA GRAL FRANCISCO J. MÚJICA-----	8
	3.1. Esquema General del Análisis de Riesgos en Presas-----	8
	3.1.1. Bases Conceptuales-----	8
	3.1.2. La Gestión de la Seguridad Basada en Riesgo-----	9
	3.1.2.1. Los Pasos de un Análisis de Riesgo-----	10
	3.2. Aspectos Generales de la Auscultación en Presas-----	11
	3.2.1. Bases Conceptuales.-----	11
	3.2.2. Seguridad y Auscultación.-----	12
	3.2.3. Inspecciones y Controles Visuales.-----	13
	3.3. Instrumentación y Control en Presas-----	13
	3.3.1. Bases Conceptuales.-----	13
	3.3.2. Instrumentación de una Presa y su Automatización.-----	13
	3.3.3. Criterios Seguidos al Proyectar una Instrumentación.-----	14
	3.3.4. Términos Relacionados con la Incertidumbre de los Datos-----	15
	3.4. Sistema de Auscultación en la Presa Gral. Francisco J. Mújica.-----	15
	3.4.1. Alcances y Objetivos-----	15
	3.4.2. Descripción General del Sistema de Monitoramiento.-----	16
	3.4.2.1. Presa de CCR-----	16
	3.4.2.2. Cierre de Margen Derecha-Presa de Enrocamiento con Núcleo-----	17
	3.4.2.3. Macizo de Conglomerado en Margen Derecha-----	18
	3.4.3. Objetivos Específicos del Control-----	19
	3.4.4. Clasificación de los Parametros de Control-----	23
	3.5. Descripción del Sistema de Auscultación y Localización de los Instrumentos.-----	24
	3.5.1. Presa de CCR-----	24
	3.5.2. Presa de Cierre de Núcleo y Enrocamiento/Bloque 2 de Contacto-----	27
	3.5.3. Macizo Conglomerado de Margen Derecha-----	28

3.5.4. Tubería de Aducción y Central Hidráulica-----	30
3.6. Descripción de las Características de los Instrumentos-----	30
3.6.1. Presa de CCR-----	30
3.6.1.1. Extensómetros Múltiples.-----	30
3.6.1.2. Piezómetros de Tubo Abierto tipo "STAND PIPE"-----	32
3.6.1.3. Medidores Triortogonales De Junta-----	33
3.6.1.4. Péndulo Directo-----	35
3.6.1.5. Medidor de Desagüe Triangular-----	36
3.6.1.6. Control Microgeodésico de Deformaciones-----	38
3.6.2. Presa de Núcleo y Enrocamiento-----	39
3.6.3. Macizo de Conglomerado de Margen Derecha-----	39
3.6.3.1. Inclinómetro-----	39
3.6.4. Tubería de Aducción y Central Hidráulica-----	41
3.7. Valores Referenciales de Control para los Instrumentos de Auscultación-----	42
3.7.1. Criterio Adoptado-----	42
3.7.2. Valores de Control para la Cortina de CCR-----	43
3.7.3. Valores de Control para la Presa de Cierre de Núcleo y Enrocamiento-----	48
3.7.3.1. Piezómetros-----	48
3.7.3.2. Marcos superficiales-----	49
3.7.4. Valores de Control para el Macizo de Conglomerado Natural de Margen Derecha-----	49
3.7.4.1. Piezómetros-----	49
3.7.4.2. Inclinómetros-----	50
3.7.4.3. Caudales de Infiltración de la Galería de Drenaje-----	50
4. INSTRUMENTACIÓN DE PRESAS DE METODOLOGÍAS GESTIÓN DATOS-----	51
4.1. Introducción-----	51
4.2. Tareas de Control del Instrumental-----	51
4.2.1. Frecuencias de Medición-----	51
4.2.2. Procesamiento y Validación de las Mediciones-----	52
4.2.3. Inspecciones-----	53
4.3. Inspecciones-----	53
4.3.1. Clases de Inspección-----	53
4.3.2. Perfil del Personal Encargado de las Inspecciones-----	53

4.3.3. Registros Complementarios-----	54
4.3.4. Rutinas de Inspección a Realizar en los Distintos Sectores de la Obra---	54
4.3.5. Inspección de Seguridad Después de la Ocurrencia de un Sismo Severo-----	57
4.4. Procesamiento, Control y Documentación de Datos-----	61
4.4.1. Criterios Generales-----	61
4.4.2. Análisis y Presentación de la Información-----	61
4.4.3. Protocolización de los Dispositivos e Instrumentos de Medición.-----	62
4.4.4. Respaldo de Seguridad de la Información de Auscultación.-----	63
4.5. Resultados del Seguimiento de la Instrumentación-----	63
4.5.1. Planos de Proyecto, Localización de la Instrumentación en cada Sector del Proyecto Gral. Francisco J. Mújica-----	63
4.5.1.1. Presa de CCR-----	64
4.5.1.2. Presa de Cierre de Núcleo y Enrocamiento-----	65
4.5.1.3. Macizo Conglomerado de Margen Derecha-----	66
4.5.1.4. Bloque 2 de Contacto-----	67
4.5.2. Concentrado de Lecturas y Análisis de Datos-----	68
4.5.2.1. Extensómetros Múltiples-----	68
4.5.2.2. Piezómetros de Tubo Abierto Tipo "STAND PIPE".-----	72
4.5.2.3. Medidores Triortogonales de Junta-----	75
4.5.2.4. Péndulo Directo-----	77
4.5.2.5. Medidor de Desagüe Triangular-----	79
4.5.2.6. Inclinómetro-----	80
5. CONCLUSIONES-----	82
6. REFERENCIAS-----	84

1. INTRODUCCIÓN

Los ingenieros civiles, y especialmente los dedicados a presas, somos conscientes que la sociedad nos exige, no solo que construyamos cada vez obras más atrevidas y económicas, sino de que estas obras sean especialmente seguras. La seguridad es un bien público exigible por el ciudadano, como lo es la salud o la educación.

Para proyectar y construir presas más seguras y económicas no es algo intuitivo y fácil, sino que es el producto de un estudio profundo, metódico y racional, donde la instrumentación juega un papel muy importante.

Conocer cómo reacciona y se comporta una estructura y su cimiento es algo que debe hacerse desde que la presa inicia su larga andadura, habiendo desarrollado métodos y técnicas de instrumentación que nos han permitido obtener conclusiones prácticas sobre el comportamiento de nuestras presas.

Por lo general, la falla de una presa es un proceso complejo que se inicia generalmente con alguna anomalía de funcionamiento no detectada. Este es el motivo por el cual su inspección y vigilancia, así como el rápido análisis e interpretación de los datos que se obtengan son un elemento indispensable para la seguridad.

Desde que en 1980 se construyó la primera presa de hormigón compactada con rodillo, esta técnica ha experimentado una continua evolución.

El procedimiento para el comportamiento de la presa, es durante el llenado del vaso y durante toda la vida útil de la cortina, para esto se instalaron una serie de instrumentos tanto en el cuerpo de la cortina de CCR, como en la cortina de materiales graduados, así como en ambos márgenes.

En los últimos años, se ha materializado en el panorama internacional un acercamiento del campo de la seguridad de presas hacia las metodologías basadas en riesgo, en las que se combina la probabilidad de ocurrencia de eventos indeseados y sus consecuencias asociadas. Este acercamiento se comprueba por ejemplo en la publicación de un boletín de la Comisión Internacional de Grandes Presas (ICOLD) dedicado exclusivamente al tema [44] y en que una de las sesiones del último Congreso Internacional de Grandes presas estuviese dedicada a ello.

En el plano de la normativa y legislación, los países pioneros en la aplicación fueron Estados Unidos (a través del USBR inicialmente), Australia y Holanda. Recientemente otros países como Francia o España están incluyendo aspectos del enfoque basado en riesgo en su legislación de seguridad de presas, en mayor o menor medida.

En cuanto a las realizaciones de análisis concretos, estas han variado desde las más simplificadas y cualitativas hasta aplicaciones cuantitativas completas. Desde el punto de vista del cálculo, existe una carencia de herramientas específicas para la realización de los cálculos de análisis de riesgo, siendo habitual recurrir al desarrollo de modelos ad hoc para cada caso que se desee abordar.

La instrumentación y control de presas es un proceso continuo, es decir, con una cadencia determinada en cuanto a obtención de datos que permita un análisis suficientemente rápido de los mismos para obtener conclusiones suficientemente objetivas relacionadas

con la seguridad de una presa. El control de esta y la información que se recoja, deben fijar los aspectos que deben controlarse con especial cuidado durante el periodo de explotación, bien porque hayan presentado problemas especiales o bien porque sean los más significativos.

Ante este panorama, el principal objetivo del presente trabajo es establecer los procedimientos básicos para la supervisión, el control y el acompañamiento del comportamiento del cierre y operación de la Presa Gral. Francisco J. Mújica con base en los datos obtenidos de los instrumentos civiles.

La identificación de los factores que contribuyan a afectar la seguridad de la Presa y su incidencia, corresponde al proyecto y diseño de la misma. Como resultado de este análisis se define también el sistema de auscultación que incluye la instrumentación. No obstante, es necesario que un esquema de instrumentación tenga un alto grado de flexibilidad, para permitir cambios y adaptaciones a las condiciones reales encontradas durante la construcción, y aún durante el llenado del embalse y el estado de operación.

Una atención especial es requerida en el período de seguimiento del llenado del embalse y en el primer año de operación, cuando las lecturas de la instrumentación puedan mostrar tendencia a la estabilización.

En los años siguientes, y durante toda la vida útil del emprendimiento, la supervisión del desempeño de las Obras civiles debe ser mantenida, aunque con frecuencias de lecturas posiblemente más reducidas. Una buena prevención requiere reconocer a tiempo cualquier cambio en el comportamiento de la presa y/o su ambiente para evitar cualquier efecto negativo.

Por otra parte, debe considerarse que el hecho de que no se hayan producido incidentes durante un largo período de tiempo no constituye necesariamente una prueba de seguridad. Pueden surgir problemas graves después de muchos años de operación satisfactoria. Por ello, una estricta y continuada inspección y observación de los principales parámetros auscultados constituyen los métodos más fiables de protección contra cualquier tipo de riesgo.

El seguimiento mediante auscultación, las actualizaciones hidrológicas y sísmicas, y la aplicación de medidas correctivas necesarias, sumado a un mantenimiento continuo, reducen la vulnerabilidad de las obras, garantizando la correcta operación para cumplir con el fin con el que fueron creadas, aun cuando haya pasado la vida útil de la misma.

No solo es importante saber la seguridad de la obra, sino también de un eventual envejecimiento de la misma con posible limitación de su vida útil y entonces de su valor, es decir detectar cualquier debilidad de la obra antes que se haya producido una falla.

2. ANTECEDENTES

Las distintas fases de la vida de una obra, proyecto, construcción, puesta de carga y posterior explotación, forman un conjunto único, continuo y sin posibilidad de ruptura, y todas y cada una de las fases deben de analizarse como un todo.

El conocimiento del comportamiento de la obra durante la fase de construcción debe de servir de arranque para programar la puesta en carga. El control de esta y la información que se recoja, deben fijar los aspectos que deben controlarse con especial cuidado durante el periodo de explotación, bien porque hayan presentado problemas especiales o bien porque sean los más significativos.

El país del mundo con mayor experiencia en la construcción y explotación de presas y embalses es España, no solo por su enorme tradición histórica, ni tampoco por el elevado número de presas existentes, sino porque dispone de avanzados conocimientos científico técnicos y normas legales para tratar de alcanzar los niveles de seguridad y fiabilidad que la sociedad exige.

Esta exigencia no es constante en el tiempo, sino que evoluciona paralelamente al desarrollo económico y tecnológico e inclusive se ve claramente influida por ciertos acontecimientos como, por ejemplo, fueron en su día la rotura de la presa Puentes, la de Vega de Tera, y más recientemente, la de la presa de Tous o la de la balsa de residuos mineros de Aznalcóllar, sucesos debidos a causas muy diferentes, pero que en cualquier caso dejaron en entredicho la validez de los conocimientos técnicos y la normativa existente con anterioridad a los mismos.

Aunque, simplificando, quizás en exceso, se puede afirmar que las catástrofes de Vega de Tera y Tous impulsaron a crear los dos textos normativos existentes en la actualidad; en el primer caso, la Instrucción para el Proyecto, Construcción y Explotación de Grandes Presas, de 1967, y en el segundo, el Reglamento Técnico de Seguridad de Presas y Embalses, de 1996.

En la República Mexicana se tienen a la fecha más de 2,100 presas en operación, las cuales requieren de un continuo mantenimiento y conservación para garantizar que puedan seguir funcionando, sean capaces de desempeñar la función para la que fueron construidas, y evitar que se ponga en riesgo la seguridad de las personas, las instalaciones aguas abajo de las mismas y al medio ambiente.

La seguridad y la operación adecuada de las presas se pueden lograr por medio del conocimiento y de la responsabilidad de las personas físicas o morales que operen la presa a través de la disponibilidad de ingenieros, técnicos y operadores competentes y capacitados. La mejor forma de adquirir y mantener esos conocimientos y experiencia es por medio de una capacitación efectiva en la tecnología de seguridad de presas.

Uno de los problemas que actualmente enfrenta la Tierra Caliente del estado de Michoacán es el abastecimiento del recurso hídrico principalmente en el área agrícola, la Comisión para el Desarrollo Económico y Social de la Tierra Caliente del Estado de Michoacán muestra un profundo interés por la implementación de nuevas tecnologías que permitan una mejor gestión y distribución de este recurso para fortalecer la agricultura de riego.

La Presa Francisco J. Mujica es la mayor obra de infraestructura pública que actualmente desarrolla el Gobierno del Estado de Michoacán. El proyecto esta compuesto por una presa de CCR, una presa de cierre de núcleo con enrocamiento en margen derecha y la singularidad del estribo derecho constituido por un macizo de conglomerado permeable.

Este proyecto es una respuesta transversal, incluyente y sustentable que genera trabajo y oportunidades de desarrollo que garantiza la viabilidad de la región.

Las presas de enrocamiento de núcleo central tienen una configuración similar a las presas de tierra zonificadas, pero el enrocamiento grueso de drenado libre es mucho mas resistente que el suelo de grano fino, lo que posibilita una mayor inclinación de los taludes exteriores del enrocamiento y por lo tanto un diseño mas económico en virtud de requerirse menos material. El núcleo central terreo de este tipo de presa de enrocamiento se coloca con la misma técnica que el terraplén de relleno compactado.

Los respaldos de las presas de enrocamiento modernas se compactan con grandes rodillos vibratorios, y por ello el asentamiento posterior a la construcción es reducido. Sin embargo, cuando aun no se contaba con este tipo de equipo la técnica consistía simplemente del volteo del relleno del respaldo en el sitio, lo cual al paso del tiempo daba lugar a un asentamiento considerable.

En muchas de las presas antiguas ha ocurrido asentamiento diferencial entre las zonas, la del respaldo de materiales sueltos y la del núcleo bien compactado. No obstante, un enrocamiento de núcleo central bien diseñado y cuidadosamente construido presenta buena resistencia a la deformación por sismo.

El tipo de valle, la disponibilidad y optimización de materiales, la sencillez constructiva y la experiencia en este tipo de presa por parte de CNA en México facilitaron la decisión por este tipo de cierre.

3. APLICACIÓN DE METODOLOGÍAS EN INSTRUMENTACIÓN DE LA PRESA GRAL FRANCISCO J. MÚJICA

3.1. ESQUEMA GENERAL DEL ANÁLISIS DE RIESGOS EN PRESAS.

3.1.1. Bases Conceptuales.

El *riesgo* es la combinación de tres conceptos: qué puede pasar, cómo de probable es que pase y cuáles son sus consecuencias.

Cuando se realiza un Análisis de Riesgo cuantitativo en seguridad de presas, esta terna se suele reducir a un único número: el producto de la probabilidad de fallo por sus consecuencias.

Probabilidad de fallo

En el contexto del análisis de riesgos de presas, el concepto de fallo no se limita exclusivamente a la rotura catastrófica de la presa sino que abarca cualquier suceso que acarree consecuencias negativas. En este sentido, los términos de fallo y rotura se emplean de manera intercambiable en este documento, dándoles el significado más amplio.

Una característica de la metodología de Análisis de Riesgo es que no se limita en su planteamiento a una única forma de fallar sino que se estudian todas las posibles maneras en que la presa pueda fallar.

Así, la probabilidad total de fallo es la suma de las probabilidades de cada modo de fallo. En el análisis de riesgos en presas la palabra probabilidad se utiliza con dos significados.

- *Probabilidad objetiva.* Frecuencia observada de eventos que ocurren aleatoriamente. Esta probabilidad está relacionada con la incertidumbre aleatoria o natural.
- *Probabilidad subjetiva.* Grado de confianza en un resultado, basado en la información disponible. Esta probabilidad está relacionada con la incertidumbre epistémica.

En realidad es habitual que ambos tipos de incertidumbres se den simultáneamente en la definición de una variable. Un ejemplo de frecuencia observada sería la probabilidad de que se presente una determinada avenida, obtenida a partir de una distribución de probabilidades anuales de excedencia.

La probabilidad condicional de rotura de una presa para una determinada situación puede ser un ejemplo donde predomina la incertidumbre subjetiva. Esta probabilidad no es una cualidad intrínseca de la presa sino que está basada en la información disponible y la percepción que sobre ella tienen los ingenieros. Por lo tanto, según vaya aumentando el conocimiento sobre una presa, esta probabilidad irá cambiando.

Consecuencias

Existen varios efectos adversos o consecuencias que se pueden dar al producirse el fallo de una presa:

- *Daños económicos directos*: son los ocasionados directamente por el impacto de la inundación y son los más visibles. Incluyen el costo de los daños a la propia presa.
- *Daños económicos indirectos*: son los que se dan tras el impacto del evento y reflejan la interrupción de la economía y otras actividades en la zona.
- *Daños a personas*: en principio, además de contemplar la pérdida de vidas humanas, los daños a las personas también pueden incluir otros aspectos como el número de heridos de mayor o menor gravedad, pero por su difícil cuantificación los análisis cuantitativos suelen centrarse sólo en el primer aspecto.
- *Otros daños*: como pueden ser los daños medioambientales, el trastorno social, la pérdida de reputación, la afección al patrimonio histórico o cultural, todos ellos difícilmente cuantificables y por lo tanto tratados habitualmente de forma cualitativa.

3.1.2. La Gestión de la Seguridad Basada en Riesgo.

El Análisis de Riesgo es una herramienta útil para la toma de decisiones, ya que permite integrar toda la información referente a la seguridad de la presa que se analiza por separado en otros documentos.

El seguimiento de la auscultación de la presa puede detectar un aumento de las filtraciones, un desplazamiento de un bloque o un aumento de las presiones intersticiales y permitir actuar sobre él antes de que derive en un problema mayor. Al realizar o revisar un plan de emergencia se pueden diseñar medidas que aumenten la seguridad de la población en caso de rotura de presa.

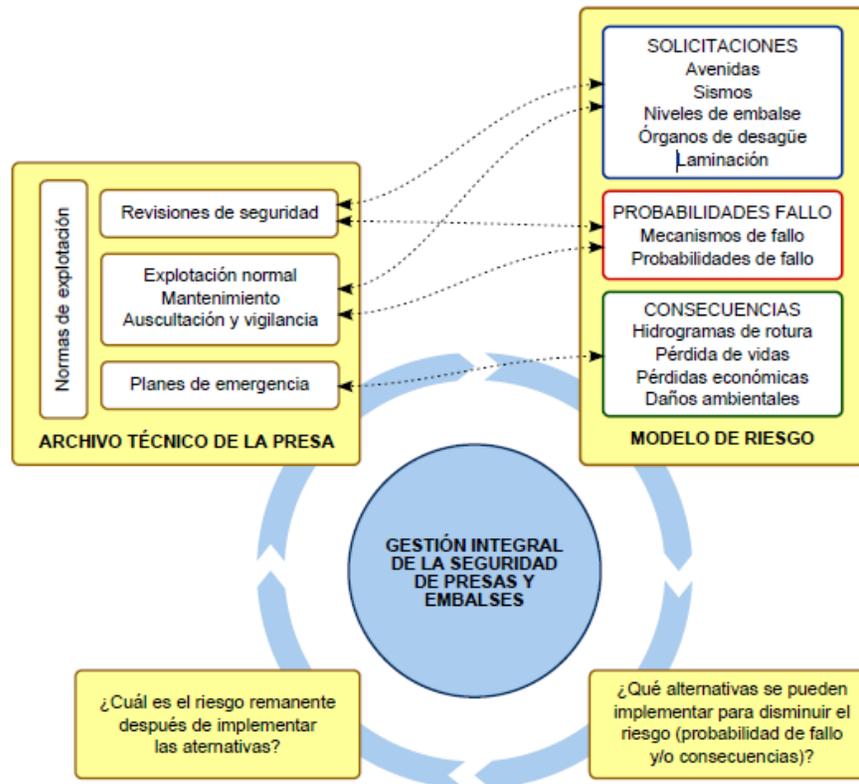


Figura 1.1: Gestión integral de la seguridad de presas y embalses y vínculos entre el modelo de riesgo y los documentos del Archivo Técnico.

La figura 1.1 resume el proceso de la gestión de la seguridad de presas y embalses informado mediante modelos de riesgo. El modelo de riesgo es la herramienta que permite integrar toda información concerniente a la seguridad de la presa y producir resultados útiles para la toma de decisiones.

Como se puede ver, el modelo de riesgo está dividido en tres áreas: las solicitaciones, las probabilidades de fallo (también conocidas como respuesta del sistema) y las consecuencias. Cada una de estas tres áreas del modelo de riesgo se corresponde con uno o varios de los documentos del Archivo Técnico. Las normas de explotación se han representado como un documento transversal que abarca todas las áreas.

También se puede observar que la relación entre el Archivo Técnico y el modelo de riesgo es de doble sentido. La relación de izquierda a derecha representa que el modelo de riesgo precisa del Archivo Técnico como fuente de información. La relación de derecha a izquierda indica que en el proceso de confección de un modelo de riesgo se genera información que se puede reincorporar al Archivo Técnico.

3.1.2.1. Los Pasos de un Análisis de Riesgo.

El presente apartado expone los pasos de los que consta un Análisis de Riesgo. Para ello se apoya en la esquema mostrado en la figura 1.2.

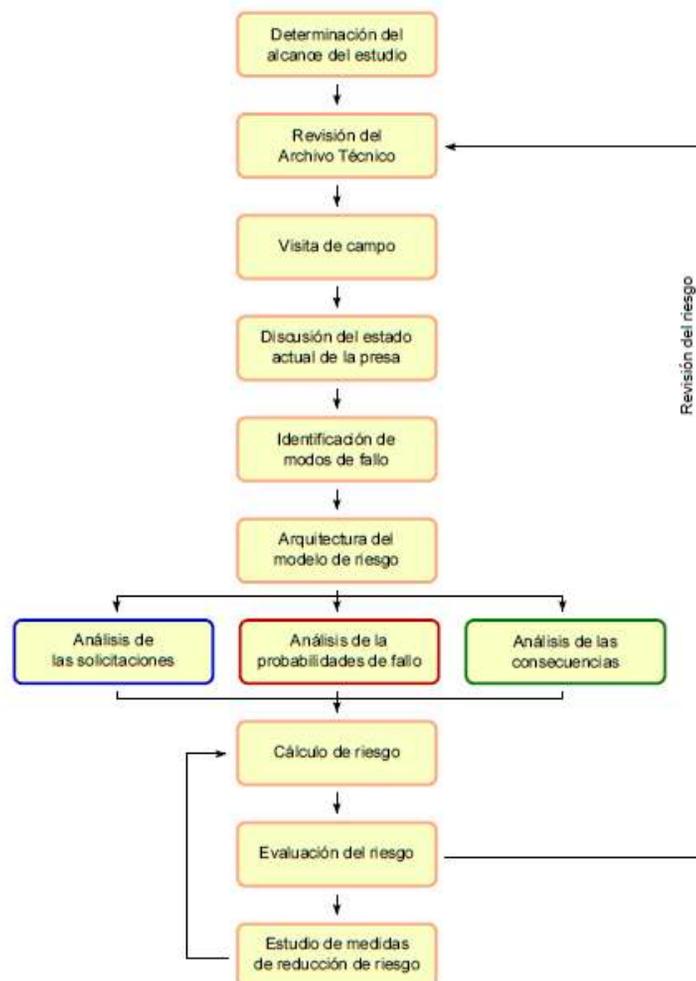


Figura 1.2: Esquema del proceso de Análisis de Riesgo.

El primer paso en un Análisis de Riesgo consiste como en cualquier otro tipo de estudio en determinar su alcance, objetivos y plazos. No siempre es recomendable realizar un análisis de riesgo con el máximo nivel de detalle.

En ocasiones, un proceso iterativo en el que la primera vez que se analiza el riesgo de una presa o de un grupo de presas se hace con un menor grado de detalle puede ser más eficiente al identificar aquellas presas con mayor riesgo y que por lo tanto deben ser estudiadas con mayor detalle. En esta fase previa también se debe conformar el equipo de profesionales que formará parte del análisis. Además del equipo de análisis propiamente dicho, el gestor de la presa debe incluirse en el proceso. También conviene contar con algún revisor externo.

El proceso de revisión del Archivo Técnico es especialmente relevante en un Análisis de Riesgo. No se trata únicamente de recopilar la información, sino que dicha información es discutida en una o varias sesiones de grupo. En este punto del análisis es posible que se identifiquen necesidades de estudios adicionales. La puesta en valor, estructuración y revisión de la información del Archivo Técnico es en sí mismo uno de los beneficios inmediatos de realizar un Análisis de Riesgo.

Una vez que todo el grupo ha tenido la ocasión de consultar la información de la presa, se debe realizar una inspección de la presa, para comprobar su estado actual e identificar posibles problemas en ella.

Esta visita de campo se remata con una discusión en grupo sobre el estado actual de la presa. La identificación de modos de fallo es un proceso que se realiza en grupo y que trata de identificar, describir y estructurar todas las posibles formas en que la presa puede fallar, sin restringirse a una lista predeterminada de comprobaciones.

El proceso de análisis de riesgo debe aplicarse sobre el estado actual de la presa, pero también sobre el estado futuro de la presa tras la posible aplicación de las medidas de reducción de riesgo que se estimen oportunas, para así poder evaluar su eficacia y eficiencia. Además es un proceso que se debe actualizar y revisar en el tiempo al ir cambiando las condiciones de la presa.

3.2. ASPECTOS GENERALES DE LA AUSCULTACIÓN EN PRESAS.

3.2.1. Bases Conceptuales.

Auscultación: Significa la adquisición de datos y su transformación en magnitudes físicas; su ordenamiento, control y comparación con valores referenciales establecidos; y, en suma, la evaluación de las condiciones de seguridad de las obras en un momento determinado. Las Inspecciones periódicas forman parte de la auscultación y se definen como observaciones y controles ejecutados según un esquema prefijado.

Sistema de auscultación: Significa el uso de uno o varios sistemas de instrumentación para auscultar uno o varios parámetros. También incluye mediciones y observaciones hechas sin sistemas de instrumentación, por ejemplo mediciones de filtraciones, mediciones microgeodésicas, inspecciones.

3.2.2. Seguridad y Auscultación.

La seguridad de una presa siempre ha requerido una especial atención debido a las consecuencias que puede alcanzar una falla o rotura ya sea en el cuerpo de la misma o en su fundación, tanto en vidas humanas como desde el punto de vista económico y ambiental.

Una ajustada referencia respecto de los conceptos de seguridad es realizada en la publicación "Seguridad de Presas. Recomendaciones" elaborada por el Comité Español de grandes presas y el Ministerio de obras Públicas y urbanismo de ese país.

En esas recomendaciones se destaca que la seguridad de una presa resulta de eliminar o reducir al menor valor posible aquellas condiciones o causas que puedan llevarla a su deterioro o destrucción.

Puede definirse cuantitativamente a la seguridad como el margen que separa las condiciones reales que existen en la presa construida de aquellas que la llevarían a su deterioro o destrucción.

Es evidente que, para que una presa sea segura debe disponerse de un margen de reserva adecuado para hacer frente no sólo a todas las situaciones imaginables de uso normal sino también a otros riesgos excepcionales que pueden presentarse durante su vida operativa. Un marco de referencia importante a fin de fijar las probables causales de falla son los boletines de ICOLD "Deterioro de Presas y embalses. 1983." y "Fallas de presas. Análisis estadístico. 1995".

En particular extractase lo siguiente:

- Muchas fallas (alrededor del 70%) se producen en los primeros 10 años de operación.
- En las presas de materiales sueltos, la falla más común es por sobrepaso por insuficiencia o mala operación de los órganos de evacuación (31% de las fallas ocurridas) seguido de erosión interna en el cuerpo de la presa (15 %) o en su fundación (12 %).
- Heterogeneidad de la fundación de la presa que falla por erosión o sufusión.
- Licuefacción en caso de terremotos.

Por lo general, la falla de una presa es un proceso complejo que se inicia generalmente con alguna anomalía de funcionamiento no detectada. Este es el motivo por el cual su inspección y vigilancia, así como el rápido análisis e interpretación de los datos que se obtengan son un elemento indispensable para la seguridad.

En lo antedicho se ha usado la palabra seguridad en el sentido de seguridad total contra una rotura catastrófica. No obstante, siempre existe una probabilidad de que esta rotura catastrófica, pueda considerarse generada por varios factores negativos, pero independientes, que coinciden en tiempo para que la rotura se produzca.

Consecuentemente, es fundamental evaluar las consecuencias de cada factor negativo sobre la seguridad, y su incidencia en el comportamiento global.

El término auscultación incluye varias actividades entre las cuales se destacan:

- a. La toma de lecturas de los instrumentos o de los respectivos parámetros físicos.

- b. La ejecución de inspecciones y controles visuales.
- c. La transformación de las lecturas en valores absolutos, o de referencia de parámetros físicos.
- d. La representación gráfica de la evolución de los registros obtenidos e interpretación del comportamiento observado.
- e. La comparación de las mediciones con valores referenciales definidos en el diseño.
- f. La evaluación de la seguridad en base a las mediciones, en combinación con otras observaciones y con los valores de diseño.

Este conjunto de actividades debe ser desarrollado por profesionales especialistas en la vigilancia de obras hidráulicas, con un esquema organizativo claro que permita la adopción de decisiones en tiempo y forma, fundamentalmente durante la ocurrencia de situaciones de emergencia o de solicitaciones excepcionales (crecidas extraordinarias, sismos, etc.).

3.2.3. Inspecciones y Controles Visuales.

Tal como se indicó anteriormente, las inspecciones y controles visuales de los diferentes sectores del aprovechamiento son fundamentales e imprescindibles.

Las mediciones a través de los instrumentos son controles puntuales, pudiéndose desarrollar fenómenos en puntos no instrumentados.

La detección de filtraciones, fisuras, fenómenos de transporte de finos, erosión superficial provocada por lluvias o el oleaje, deslizamiento de laderas próximas a la presa, etc. requieren que el personal de auscultación se capacite, tenga un criterio formado sobre el funcionamiento de cada estructura y recorra regularmente cada parte de las obras.

Desde este punto de vista, la conformación de una *Guía de Inspección* ajustada a las características particulares de la obra y a los eventos observados a través del tiempo, es una herramienta de gran ayuda que facilita al equipo de control la evaluación y seguimiento de posibles anomalías.

3.3. INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL EN PRESAS.

3.3.1. Bases Conceptuales.

Instrumentación: Significa el conjunto de un sensor o dispositivo unido, en forma continua o intermitente, a una unidad lectora. La instrumentación registra un cierto parámetro elegido para definir el estado actual en el punto del sensor o dispositivo.

Sistema de instrumentación: Significa una parte o la totalidad de cierta instrumentación agrupada según alguna característica común, por ejemplo sistema manual, sistema para medir presiones de agua, sistemas para medir deformaciones.

Control: Se refiere a las observaciones y mediciones hechas sin instrumentos instalados, por ejemplo, control de filtraciones en drenes.

3.3.2. Instrumentación de una Presa y su Automatización.

Plantearse la idea de *automatizar* la totalidad de las operaciones, desde la toma de datos hasta la redacción final de las conclusiones prácticas que indiquen los problemas y

puedan fijar la seguridad de una presa, es realmente difícil, o no conveniente al menos planteado a un nivel general.

Es cierto, como se indica en los cuadros preparados por el comité que estudia el deterioro de las presas y embalses, que existen aparatos cuya automatización hoy en día es fácil y en los cuales la transmisión de datos a distancia ha sido superada, pero también existen otros sistemas que controlan magnitudes esenciales para conocer el comportamiento de una presa en los cuales este proceso es de difícil automatización, entre otros, obtención de desplazamientos horizontales en presas de tierra mediante inclinómetros, poligonación o triangulación geodésica, movimientos verticales, etc.

De acuerdo con todo esto, la instrumentación de una presa y su automatización futura la enfocamos según se indica a continuación:

1. *Periodo de construcción (no automatizable).* Se dispondrán aparatos fijos a obra, robustos, fáciles de instalar, proteger y leer, y además muy fiables pues las lecturas no siempre se repiten en condiciones estables.

Los equipos móviles de lectura serán de fácil mantenimiento, robustos y con respuesta directa en la magnitud que deseamos controlar, donde los Técnicos responsables de la instalación y lectura, estarán debidamente preparados junto con los Ingenieros que deberán de realizar análisis rápidos y que vayan definiendo un modelo estructural adecuado y ajustable a la obra que se controla.

2. *Período de puesta en carga.* En este período todos los aparatos son centralizados en zonas accesibles o galerías de visita, donde los ingenieros responsables deben haber mecanizado todo el tratamiento de datos, visitar la obra con frecuencia y realizar comprobaciones periódicas.

3. *Período de explotación. Automatizable siempre en:* Presas construidas en zonas de difícil acceso en épocas determinadas, bien por condiciones climáticas u otras causas. Presas sometidas a variaciones fuertes en su régimen de explotación.

De posible automatización parcial en: Presas con problemas específicos, situadas en zonas sísmicas o construidas con materiales especiales, o con métodos avanzados todavía no debidamente contrastados.

De automatización voluntaria en: Presas sin problemas especiales y de características similares a otras sobre las cuales se poseen estadísticas suficientes para predecir su comportamiento.

En todos los casos, la automatización no excluye la inspección periódica.

3.3.3. Criterios Seguidos al Proyectar una Instrumentación.

Aunque cada presa constituye un caso particular como tal lo enfocamos, los criterios generales que se siguen al proyectar la instrumentación de una presa son los siguientes:

1. La estructura y su cimentación forman un conjunto único e indisoluble, y como tal debe controlarse. El tipo de presa y las características de su cimentación nos fijan los medios y las magnitudes a medir.
2. Cualquier magnitud que se mida debe ayudar a la interpretación del conjunto de tal forma que el plan de vigilancia resulte armónico.

3. La comprobación, tanto de la estabilidad de la presa y los cimientos como de sus comportamientos, debe verificarse en todas las fases de la obra (construcción, puesta en carga y posterior explotación).
4. La distribución de todos los aparatos se realiza teniendo presente que la información de cada uno debe ayudar a la interpretación del conjunto sin recargar por ello el número de aparatos. En caso contrario se encarecería el presupuesto, se haría el trabajo de interpretación más penoso y seguramente no mejoraría la información.

3.3.4. Términos Relacionados con la Incertidumbre de los Datos.

Errores Sistemáticos: Ocurren en la misma dirección en mediciones sucesivas de una misma variable bajo las mismas condiciones. Pueden deberse al instrumento (mal uso, calibración incorrecta, falta de recalibración), a condiciones ambientales (calor, humedad, vibración, corrosión), etc. No se eliminan con la repetición de lecturas.

Errores Aleatorios o Accidentales: Productos de la propia imprecisión de una medición física. Son errores inevitables y sus efectos se corrigen o minimizan mediante la realización de series de repeticiones promediadas estadísticamente.

Errores Relativos: Relación entre el error estimado y el valor verdadero o más probable (a menudo, el promedio aritmético). Puede expresarse en %, ‰, o, incluso, en partes por millón (ppm), dependiendo de su valor.

Sensibilidad: Valor mínimo que es capaz de medir un instrumento. Generalmente se expresa en las mismas unidades que la variable medida.

Intervalo de medición: Intervalo de valores entre los cuales un aparato puede efectuar mediciones confiables.

Resolución: El cambio más pequeño en la lectura de un instrumento que puede detectarse al hacer la medición. Depende de la graduación de las divisiones en la escala de medición.

Histéresis: La suma de todos los efectos para los cuales resultan distintos valores de la medición cuando el mismo valor de entrada se aplica primero en sentido creciente y después en sentido decreciente ó viceversa.

3.4. SISTEMAS DE AUSCULTACIÓN EN LA PRESA GRAL. FRANCISCO J. MÚJICA.

3.4.1. Alcances y Objetivos.

La Presa Francisco J. Mujica es la mayor obra de infraestructura pública que actualmente desarrolla el Gobierno del Estado de Michoacán.

El proyecto esta compuesto por una presa de CCR, una presa de cierre de núcleo con enrocamiento en margen derecha y la singularidad del estribo derecho constituido por un macizo de conglomerado permeable.

Sus principales indicadores son su localización geográfica en los municipios de Mújica y la Huacana, beneficiando a municipios como Mújica, Parácuaro y la Huacana.

El objetivo principal es permitir monitorear y detectar la ocurrencia de ocasionales anomalías, durante las fases de llenado del embalse y establecer criterios para el

seguimiento durante el periodo operacional de la presa en cumplimiento de sus funciones como derivadora para riego y generadora, que permitan la toma de decisiones en relación a la implementación de acciones específicas.

Para lo cual podrán ser necesarios ajustes de los criterios y valores de control en función de un análisis global de las estructuras y de su comportamiento a lo largo del tiempo.

La gran cantidad de información que se irá acumulando como resultado de las mediciones de auscultación constituye un valioso material para investigación de su real comportamiento, cuyo conocimiento será importante para que la profesión enfrente con mayor competencia nuevos proyectos.

3.4.2. Descripción General del Sistema de Monitoramiento.

En el proyecto Gral. Francisco J. Mújica puede desagruparse en subsistemas de acuerdo a cada sector del Proyecto. Estos sectores son:

3.4.2.1 Presa de CCR.

Consta de un cierre principal de hormigón construido bajo la tecnología de CCR completado en un cierre lateral de materiales sueltos con núcleo impermeable en el extremo de Margen Derecha.

El cierre principal, proyectado y construido en CCR, consta de dieciocho (18) bloques variando su ancho (mínimo de 11,23 m. y un máximo de 17,23 m), siendo en su mayoría de 15,0 m. De los cuales, los ocho (8) centrales, alojan la estructura del Vertedor (bloque 7 hasta 14), cuya cresta, ubicada en la El. 333,0 permite definir los niveles máximos normales del embalse. Todos los bloques de la presa son atravesados en su base por una galería de drenaje que permite reducir los niveles de subpresión tanto en el contacto presa-cimiento como en los niveles inferiores de la roca.

Conforme se presenta en la figura 2.2 siguiente, los bloques de mayor altura (bloques 6 a 10) se presentan en el cauce del río, en donde alcanzan un valor de 89 m de altura máxima, disminuyendo gradualmente hacia la margen izquierda. En la margen derecha, la geometría de fundación de los bloques presenta una singularidad geométrica sumada al proyecto particular del bloque 2 de abrazo o apoyo del núcleo de la presa de cierre de enrocamiento con núcleo.

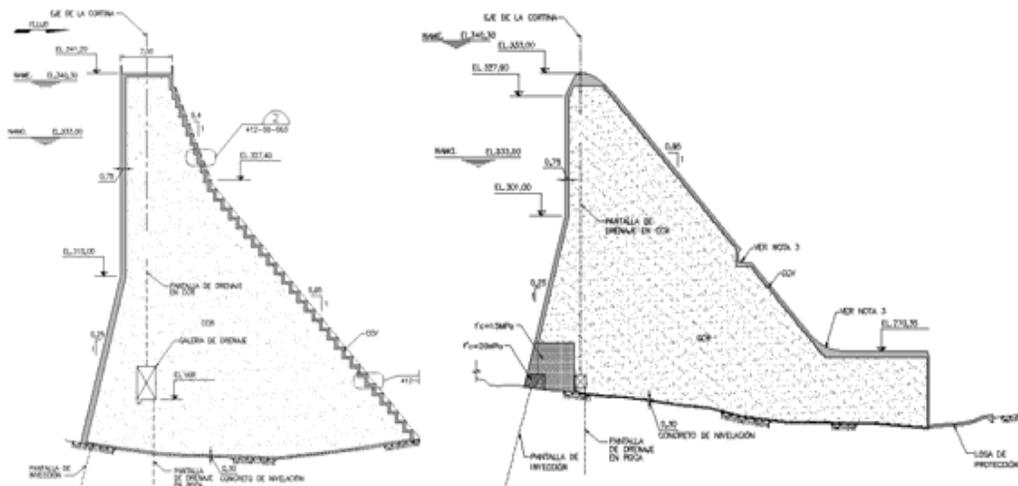


Figura 2. 1 – Geometría típica de los módulos de la Cortina de CCR

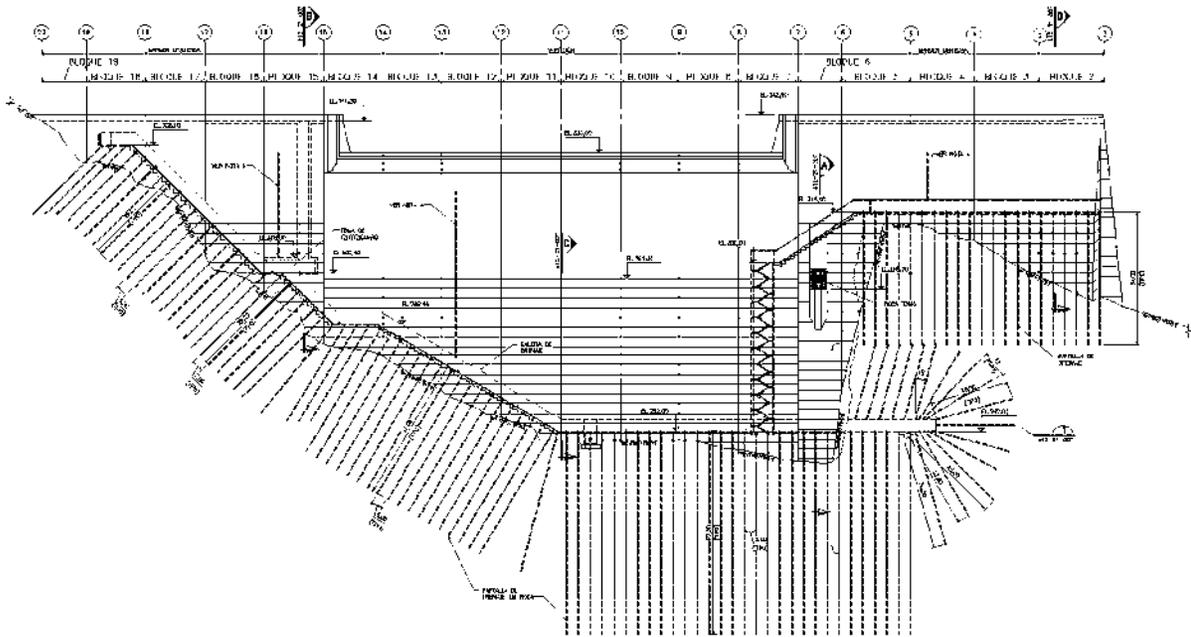


Figura 2.2 – Vista de aguas arriba de los bloques de la Cortina deCCR

3.4.2.2. Cierre de Margen Derecha-Presa de Enrocamiento con Núcleo.

El tipo de valle, la disponibilidad y optimización de materiales, la sencillez constructiva y la experiencia en este tipo de presa por parte de CNA en México facilitaron la decisión por este tipo de cierre.

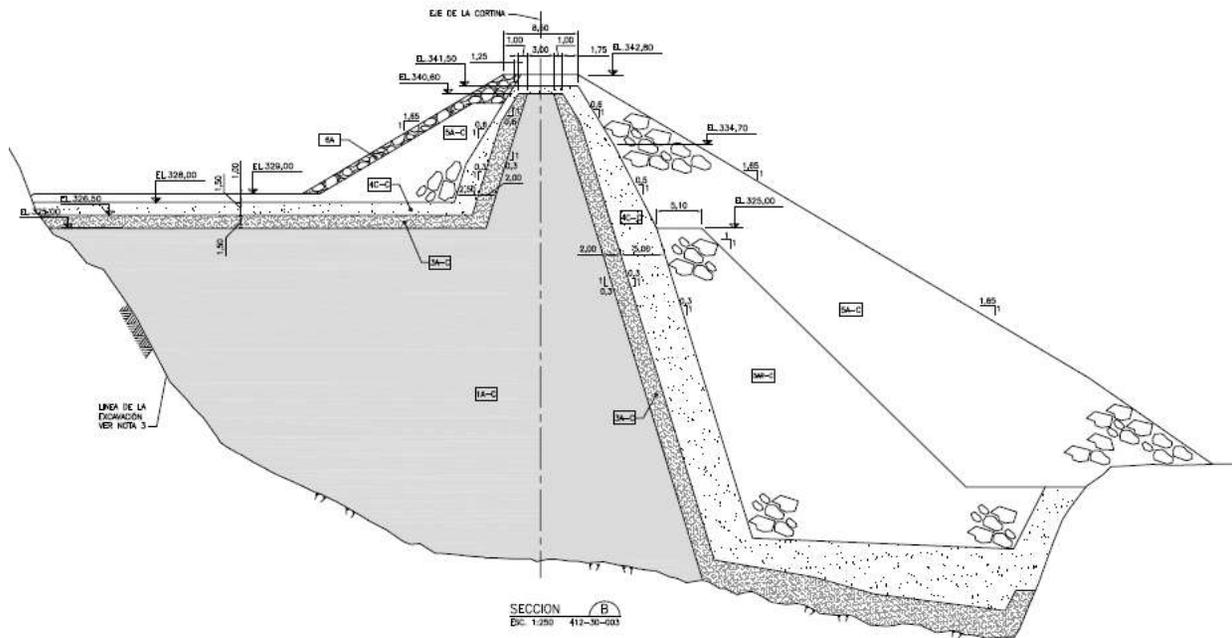


Figura 2.3 – Sección típica de la Presa de Núcleo y Enrocamiento.

Esta presa de unos 63 m de altura del tipo definido en forma genérica como enrocamiento o escollera con núcleo, está fundada parcialmente en roca, quedando el cierre final de la margen derecha fundada en el denominado conglomerado "Lahar".

La función impermeabilizante la cumple el núcleo de arcilla dispuesto en forma vertical con mayor ancho hacia aguas arriba, con capas de filtros y transiciones graduadas y con espaldones de enrocamiento de ambos lados.

Casi toda la planta de la presa estará fundada en roca, previéndose los tratamientos de limpieza con mayores exigencias en el núcleo y filtros.

3.4.2.3. Macizo de Conglomerado en Margen Derecha.

Comprende la zona del estribo derecho del proyecto, donde, por encima de la El 270/280 y hasta la superficie (El 350,0 aprox.) se encuentran depósitos Vulcano sedimentarios formados por conglomerados, areniscas y limonitas, con permeabilidad variada.

Esta capa que se ha considerado continua a pesar de la variabilidad vertical y horizontal común en este tipo de conglomerados, impone al proyecto de consideraciones y cuidados específicos para el control del flujo filtrado tras la formación del vaso del Proyecto.



La solución adoptada comprende una excavación del conglomerado y el cierre de una presa de núcleo con enrocamiento que prevé un tapete impermeable hasta la elevación 325,00, constituyendo el elemento previsto para alargar el camino de percolación en el perímetro de contacto con la excavación del conglomerado. Teniendo en cuenta que la línea freática no desciende a niveles que aseguren la estabilidad al deslizamiento con

sismo de los taludes aguas abajo por debajo de la El. 300,00, se ha propuesto el siguiente elemento de proyecto para asegurar el drenaje:

- Excavar una galería con sección de 2,70 x 2,50 en forma de herradura en el lahar inferior a una cota aprox. de 280,00.
- Perforar barrenos drenantes de 5 m de profundidad hacia arriba y en el sentido horizontal hacia aguas arriba.
- Perforar drenes cortos de 2 m para incrementar el drenaje de esta galería.

3.4.3. Objetivos Específicos del Control

Forman parte también del sistema de auscultación del Proyecto las inspecciones visuales, el relevamiento periódico del estado de colmatación del embalse y el control de registros sísmicos en la presa y en el campo libre.

Como ya se menciona anteriormente, el Sistema de Auscultación implementado en el Proyecto Gral. Francisco J. Mújica se desagrupa en subsistemas de acuerdo a los objetivos particulares de cada sector del Proyecto.

1. Presa de CCR.

Los objetivos específicos del control en la presa de CCR están vinculados directamente a los posibles mecanismos de falla y/o de anomalías severas de funcionamiento que puedan desarrollarse en la estructura bajo diferentes condiciones de operación, en particular:

- Deslizamiento de la presa o de algunos de sus módulos sobre el plano de fundación.
- Deslizamiento a lo largo de planos ubicados en el interior de la presa, en coincidencia con juntas constructivas.
- Desarrollo de procesos reológicos originados en los componentes del hormigón.

Con referencia al primer punto, la posibilidad de deslizamiento de la presa está directamente vinculada a la pérdida de eficiencia del sistema de drenaje en la base de la presa y/o de la pérdida o disminución de la integridad y eficiencia de la pantalla de inyecciones.

En particular, los dispositivos previstos en el diseño permiten mantener bajo vigilancia esta situación:

- La eficiencia de la pantalla de inyecciones-drenes, determinada en relación al nivel de presiones neutras en la base de la presa e interior de la roca de fundación y su permanencia a lo largo del tiempo.
- La permanencia de las condiciones de escurrimiento y del grado de funcionamiento del sistema pantalla de inyecciones-drenes a través del aforo directo de los caudales de filtración y drenaje. A este efecto resulta altamente deseable una organización del sistema de aforo que permita, además de disponer de un dispositivo totalizador, obtener registros de sectores parciales fácilmente individualizables en obra a efectos de poder ubicar rápidamente el origen de una anomalía.

Estos parámetros, cuya anomalía puede dar lugar a posibles situaciones de inestabilidad, son complementados con la medición directa de deformaciones asociadas a este tipo de falla, en particular:

- Movimientos relativos entre la presa y el cimientto.
- Movimientos relativos entre módulos de presa.

El sistema propuesto pretende mantener bajo observación los desplazamientos totales que se desarrollan a nivel de coronamiento, resultando entonces este parámetro un elemento integrador de posibles anomalías en el sentido indicado.

El análisis conjunto de este parámetro con la evolución de las deformaciones relativas entre presa y cimientto, permitirá establecer un juicio crítico sobre el posible desarrollo de deformaciones de tipo irreversibles en el cuerpo de la presa.

La medición de los movimientos relativos entre bloques de la cortina deberá comprender todas las juntas entre los mismos para poder tener un cuadro general de movimientos de la estructura de la presa y saber donde ocurrirán las aberturas, los asentamientos y los movimientos máximos. A través de la instalación de *Medidores Triortogonales de Junta* en todas las juntas de contracción entre bloques (eje 2 al 18) se podrá tener el control casi completo de los movimientos máximos.

A este efecto, el sistema previsto propone controles externos por *Técnicas Microgeodésicas* que permiten realizar un control periódico de este parámetro, junto con la instalación de un *Péndulo del Tipo Directo* que complementa el monitoreo en aquellos sectores de la presa (vertedero) donde el control microgeodésico resulta complejo e incluso, imposible.

Con relación al tercero de los puntos citados anteriormente, referido a la reología del concreto, aún con los controles realizados durante la construcción sobre la calidad de los áridos incorporados a los hormigones y la utilización de cemento puzolánico, no puede descartarse la posibilidad de desarrollo de procesos, fundamentalmente expansivos, en el cuerpo de la presa.

Si bien tales procesos, de baja probabilidad de ocurrencia en Gral. Mújica, difícilmente conduzcan a una situación de gravedad cercana a la falla, su detección y seguimiento debe realizarse con cuidado, razón por la cual se ha previsto un sistema básico de control altimétrico a nivel de coronamiento de la presa en los bloques accesibles.

Este sistema permitirá, también, realizar un seguimiento de los movimientos del coronamiento, particularmente su tendencia al "cabeceo" como consecuencia de las cargas aplicadas y las variaciones térmicas ambientales.

Finalmente, se entiende necesario resaltar que las juntas entre módulos han sido dotadas de un sistema de drenaje, por lo cual en caso de producirse algún deterioro en los sellos, las filtraciones serían captadas y conducidas hacia la galería de drenaje, incorporándose a los caudales colectados y aforados en cada sector.

Ante un daño en los sellos los caudales aumentarían súbitamente, los mismos podrán ser entonces rápidamente detectados a través del sistema de aforo, favorecido por la sectorización del mismo.

2. Presa de Núcleo y Enrocamiento.

En el caso del cuerpo de la presa de cierre en margen derecha del tipo de núcleo con enrocamiento, el sistema de instrumentación está orientado fundamentalmente al control de presiones intersticiales y filtraciones a fin de evaluar el comportamiento del conjunto

espaldones-núcleo-filtros, complementándose con la medición de deformaciones verticales a través de una red de puntos de nivelación.

En referencia a los niveles piezométricos en el interior del núcleo, su determinación tiene como objeto verificar las hipótesis de diseño, fundamentalmente en lo referido a las condiciones de escurrimiento a través del mismo y su impacto sobre las condiciones de estabilidad del conjunto.

Esto comprende en la primera etapa la medición de las presiones neutras al final de construcción para comparar con los valores adoptados para la estabilidad de este material arcilloso altamente plástico y la disipación de estas presiones neutras constructivas antes de entrar en régimen permanente.

Similar alcance poseen aquellos piezómetros instalados en la roca de apoyo y en la base del espaldón de aguas abajo.

Debe tenerse presente que fenómenos de desarrollo local como posible fisuración del núcleo y/o fenómenos de fracturación hidráulica resultan difícilmente localizables con dispositivos de alcance local excepto que se desarrollen en cercanías de algún sector instrumentado. Es en función de estas características de la información puntual y localizada que pueden obtenerse los registros piezométricos que la obtención de parámetros englobadores resulta altamente significativa, como es en particular la colección y medición de caudales de filtraciones y la determinación de deformaciones mediante una red de puntos de nivelación de densidad adecuada.

El control altimétrico, realizado con metodologías y equipamientos adecuados a la precisión requerida, constituye una herramienta eficaz para la detección de fenómenos de inestabilidad tanto en el cuerpo de la presa como de su fundación. Fenómenos de sifonaje y/o sufusión pueden ser detectados por control de deformaciones verticales en un estado incipiente.

3. Contacto Presa CCR - Presa de Núcleo y Enrocamiento.

Sin dudas el contacto núcleo - presa de hormigón es un punto de cuidado y por tal razón ha merecido particular detalle en el diseño. Presiones efectivas reducidas sumado a la posibilidad de desarrollo de caminos de escurrimiento preferenciales en el contacto hacen que el monitoreo de este sector deba realizarse con detenimiento y detalle.

En particular, se entendió como necesario el control de los niveles piezométricos desarrollados en la interface y, en especial, su evolución a lo largo del tiempo, desde el momento en que se esta completando la construcción, el periodo de llenado del embalse y el proceso de régimen permanente.

Adicionalmente se ha previsto el control altimétrico de puntos ubicados en el coronamiento y sobre los espaldones a efectos de evaluar posibles asentamientos como consecuencia de procesos erosivos que pudieran desarrollarse en ese sector.

Todo ello, complementado con una inspección rigurosa y periódica, permitirá una rápida detección de cualquier anomalía que pudiera desarrollarse en este punto singular del Proyecto.

4. Conglomerado y Estribo de Margen Derecha.

En el macizo de conglomerado medio e inferior presente en este estribo de margen derecha, con características de permeabilidad importante y en comunicación con el embalse define una situación singular para este proyecto.

La infiltración de agua del embalse en este macizo permeable establece una freática que sin ningún elemento de proyecto generaría inestabilidad al deslizamiento de los taludes aguas abajo de la presa ante el evento sísmico.

Por ello se ha previsto la construcción de una galería de drenaje excavada en el mismo macizo, en el conglomerado o lahar medio e inferior, tratando de lograr el descenso de la freática hasta cotas en que es posible lograr coeficientes de seguridad aceptables de la estabilidad al deslizamiento con sismo.

Asimismo se ha evaluado la necesidad y extensión de tratamientos para el control seguro de gradiente hidráulico del flujo a lo largo de la capa permeable en la salida en el área de contacto con la roca (entre El. 290,0 y 280,0), proponiéndose la colocación de un filtro invertido junto con una transición granular y una canaleta drenante con tubo al pie para la conducción adecuada de aguas hasta el cauce del río.

El control de los niveles piezométricos que determinan el nivel freático que condiciona la estabilidad de los taludes ante el sismo y la detección de posibles movimientos de los mismos son los dos principales objetivos de la auscultación en este sector.

La instrumentación en esta parte del proyecto se centra en:

- La medición de los niveles piezométricos en el medio del macizo en correspondencia con el eje de las estructuras, denominada línea 1.
- La medición de los niveles piezométricos aguas arriba y abajo de la galería de drenaje, denominadas línea 2 y 3.
- La medición de posibles desplazamientos de los taludes por medio de inclinómetros.
- La medición y control planialtimétrico de los taludes aguas abajo.

Para ello se han instalado piezómetros perforados desde la superficie en la línea 1 y perforados e instalados desde la galería ó de la misma superficie en el caso de las líneas 2 y 3.

5. Tubería de Aducción y Central Hidráulica.

La tubería de alimentación de riego y a la central generadora tiene su origen en el cuerpo de la obra de toma, alojada en el bloque 6 de la presa de CCR y, luego de un tramo en el que discurre apoyada sobre el terraplén que la sostiene, alcanza las bifurcaciones desde las cuales nacen los conductos de alimentación a las 2 válvulas de riego y al grupo generador.

Dadas las características de la topografía del sitio, con elevadas pendientes hacia el centro del valle, y la necesidad de generar una plataforma de apoyo para la tubería mediante un relleno en terraplén, se entiende necesario establecer un sistema de monitoreo mínimo que permita detectar posibles asentamientos de la losa sobre la cual se apoya la tubería e, indirectamente, controlar las condiciones de estabilidad de los taludes.

Similares razones hacen que se entienda recomendable extender ese control periódico al edificio de la central, fundamentalmente por las dificultades que puede experimentar el equipo de generación en caso de que se desarrollen asentamientos diferenciales.

3.4.4. Clasificación de los Parámetros de Control.

La clasificación que aquí se presenta está basada en el grado de vinculación de cada parámetro auscultado con las condiciones de seguridad de las estructuras principales.

Las categorías y los parámetros asignados a cada una podrán ser revisados luego de transcurridos el llenado del embalse, los primeros años de operación y cuando el juicio del equipo de Auscultación lo considere oportuno.

En base a lo indicado se establecieron tres categorías de instrumentos y/o procedimientos de control agrupados bajo los siguientes criterios:

Categoría A: (*Instrumentos Detectores*).

Incluye a aquellos dispositivos cuyo parámetro a medir se encuentra vinculado en forma directa a las condiciones de seguridad de la obra.

Se entiende que la información obtenida de estos dispositivos debe poseer un grado de confiabilidad elevado, para lo cual deben priorizarse aquellos trabajos que aseguren su correcto funcionamiento bajo cualquier circunstancia.

La frecuencia de estos dispositivos debe ser tal que permita asegurar la detección temprana de anomalías para lo cual se prevé un régimen de lecturas frecuentes con interpretación inmediata.

Se encuentran dentro de esta categoría los siguientes instrumentos:

- *Aforadores*. Tanto aquellos previstos en la galería de drenaje de la presa de CCR, como en la presa de núcleo y enrocamiento, y los previstos en la galería de drenaje en el macizo de conglomerado de MD.
- *Niveles Piezométricos*. En la fundación de la presa de CCR, en el contacto presa de CCR/núcleo de la presa de materiales graduados y en el macizo de conglomerado de MD, tanto exteriores como los situados aguas arriba y aguas abajo de la galería de drenaje.
- *Extensómetros de Varilla y Péndulo Directo* en la presa de CCR.
- *Inclinómetros de Tubo* localizados en los taludes aguas abajo del conglomerado de Margen Derecha.

Categoría B: (*Instrumentos Complementarios*).

Incluye aquellos dispositivos que completan la descripción de un determinado parámetro en ciertos sectores de la obra, o bien están referidos a estructuras anexas en las cuales el desarrollo de alguna anomalía no afectaría, en forma directa, las condiciones de seguridad de las estructuras de cierre, o bien que, por su baja frecuencia, no pueden ser considerados en el Grupo A (como el caso de controles microgeodésicos altimétricos y planimétricos). Los datos generados sobre las obras principales permiten mejorar el grado de conocimiento y descripción de cada fenómeno en particular respecto de la información básica aportada por los dispositivos detectores.

Por otra parte permiten mantener bajo observación a aquellos otros parámetros que, si bien importantes, no están vinculados directamente a las condiciones de seguridad inmediatas.

Se incluyen dentro de este grupo a los siguientes instrumentos y dispositivos de control:

- *Piezómetros* instalados en el núcleo de la presa de núcleo y enrocamiento.
- *Extensómetros y Medidores triaxiales de juntas.*
- *Controles Microgeodésicos* (altimétricos y planimétricos) para el conjunto de todas las obras alcanzados por estos controles (Presa CCR, Presa de Núcleo y Enrocamiento, PCH, Tubería, Estribo de MD, etc.).

Se entiende que solamente aquellos dispositivos que aporten información confiable deben ser incorporados dentro de esta categoría, descartando aquellos que presenten evidencias de mal funcionamiento.

Categoría C: (*parámetros auxiliares*).

Se incluyen aquí todos aquellos parámetros que si bien no constituyen parámetros de respuesta de las estructuras permiten describir las condiciones de sollicitación sobre las mismas. En particular:

- Nivel de embalse.
- Nivel de restitución.
- Temperatura del agua del embalse.
- Temperatura del aire.
- Registro de precipitaciones diarias.
- Aceleraciones por terremotos.

Al igual que en las categorías anteriores, los dispositivos destinados a estas determinaciones deben proveer datos confiables y con la frecuencia suficiente para permitir estudiar y caracterizar adecuadamente los diferentes fenómenos registrados en las obras que componen el Proyecto.

3.5. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE AUSCULTACIÓN Y LOCALIZACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS.

3.5.1. Presa de CCR.

Todos los bloques de la presa de CCR son atravesados por una galería de drenaje, con la singularidad de entrar en el estribo derecho de roca para materializar la cortina de inyecciones y drenaje en el mismo.

En dicha galería de drenaje de la presa de CCR existen:

- Pedestales para fijación de la cabeza de referencia de los extensómetros múltiples y cajas de mampostería para protección de los piezómetros del tipo stand pipe en los bloques 2, 6, 7, 9 y 18.
- Medidores de desagüe de sección triangular en los bloques 5, 6, 7, 10 y 15.
- Medidores tri-ortogonales de deformación en trece (13) juntas entre bloques considerados singulares.

- Un péndulo directo en el bloque 7.

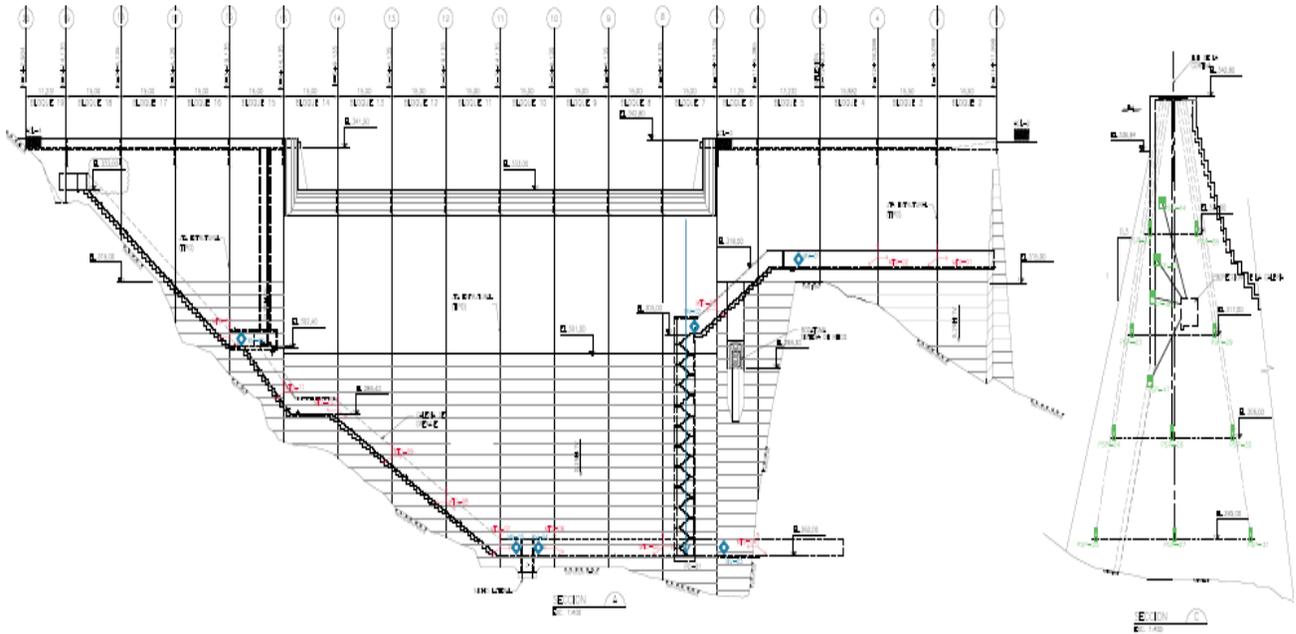


Figura 2.4 – Ubicación de Péndulo Directo, Medidor de Desagüe Triangular, Medidor Triortogonal, Piezómetros Stand Pipe, Extensómetros Múltiples en Presa de CCR. Visto en Corte.

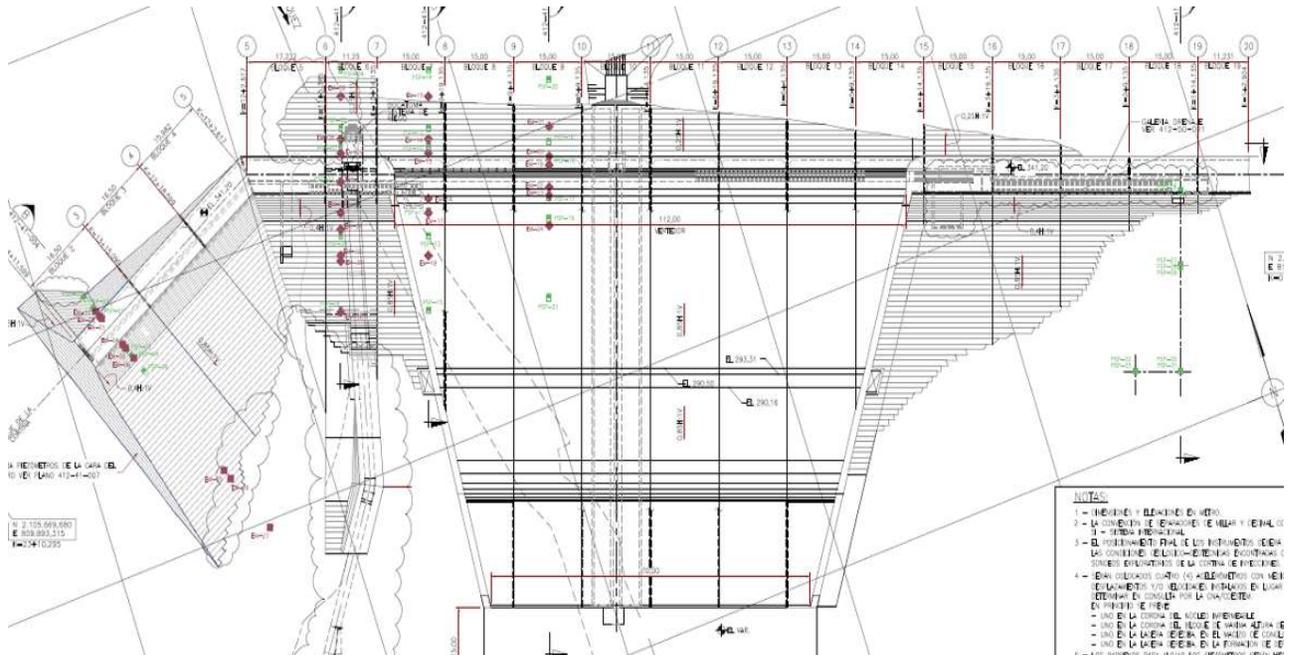


Figura 2.5 – Ubicación de Péndulo Directo, Medidor de Desagüe Triangular, Medidor Triortogonal, Piezómetros Stand Pipe, Extensómetros Múltiples en Presa de CCR. Visto en Planta.

Categoría A, Dispositivos Detectores.

- **Aforadores:** Instalados a lo largo de la galería de drenaje, permiten sectorizar los caudales colectados por el sistema de drenes de fundación y de la cortina, facilitando

la detección y localización de anomalías. Se ha propuesto instalar un total de 6 aforadores sobre la canaleta de la galería y en coincidencia con los bloques 5, 6, 7, 10 (2) y 15. En particular en el bloque 10 se ha previsto instalar dos aforadores a uno y otro lado de la descarga hacia la restitución, obrando los mismos de totalizadores de ambos márgenes de todo el sistema de drenaje.

- *Niveles piezométricos en la fundación:* En la fundación de cada uno de los bloques 2, 6, 7 y 9 se ha previsto la instalación de 6 piezómetros abiertos, y otros dos en el bloque 18, distribuidos en el contacto presa-cimiento.
- *Extensómetros de varilla:* La distribución de las secciones instrumentadas con extensómetros de varilla sigue prácticamente el mismo arreglo que el ya detallado para los piezómetros, esto es, en la fundación de los módulos 2, 6, 7 y 9.
- *Los extensómetros múltiples:* Se define la profundidad en función de los contactos geológicos, siendo el de mayor longitud el dispuesto en el bloque 2 hacia aguas abajo de acuerdo a lo solicitado por CNA.
- *Péndulo directo:* El control microgeodésico de corrimientos horizontales a nivel de coronamiento no alcanza a los módulos del vertedero. En función de ello se ha previsto la instalación de un péndulo directo en el Bloque 7, cuyos registros pueden ser vinculados a la fundación en un análisis conjunto con las mediciones de deformación de los extensómetros.

Categoría B, Dispositivos Complementarios.

- *Medidores triortogonales de junta:* Instalados en la galería de drenaje en coincidencia con las juntas 3, 4, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 15 y 16.
- *Medición de caudales individuales en drenes de la cortina (cuerpo) y de junta:* Este control individual de cada dren, realizado con una frecuencia razonable y en condiciones de carga extrema del embalse (mínimo y máximo), permite detectar posibles penetraciones de agua hacia el interior de la presa.
- *Control microgeodésico planimétrico:* A efectos de determinar los corrimientos del coronamiento de los módulos no vertientes en la dirección principal (aguas arriba-aguas abajo) se prevé materializar un conjunto de puntos de control planimétrico mediante bujes de centrado empotrados sobre la baranda de aguas abajo.
- *Control microgeodésico altimétrico:* Control que permite monitorear corrimientos hacia el centro del valle como consecuencia de las fuertes pendientes de los estribos y movimientos de cabeceo en el coronamiento. Para ello se previó la instalación de un conjunto de pernos empotrados en el coronamiento, en el centro de cada módulo y en la base de las barandas de aguas arriba y aguas abajo.

Categoría C, Parámetros Auxiliares.

A fin de poder realizar una adecuada interpretación de los registros obtenidos en el sistema de auscultación resulta necesario caracterizar los diferentes estados de carga a que se encuentran sometidas las estructuras. En particular:

- *Nivel de embalse:* Este parámetro es requerido con una frecuencia mínima diaria. Este parámetro es un dato básico para la operación de la PCH y del sistema de riego.

- *Nivel de restitución:* Para su medición se ha previsto la instalación de escalas graduadas en el cuenco aguas abajo de la presa.
- *Temperatura del agua del embalse:* La disponibilidad de este parámetro es imprescindible al objeto de poder interpretar los registros de deformaciones de la presa.
- *Temperatura del aire y registro de precipitaciones diarias:* Con similar fundamento al enunciado en el punto anterior se prevé la instalación de una pequeña unidad meteorológica en el patio de la PCH, a efectos de disponer de información local de las temperaturas máxima y mínima diaria y el total de precipitaciones diarias acumuladas.

3.5.2. Presa de Cierre de Núcleo y Enrocamiento / Bloque 2 de Contacto.

En la presa de núcleo y enrocamiento de cierre en margen derecha, el otro elemento de cierre en conjunción con la presa de CCR, se ha previsto colocar:

- Piezómetros stand pipe.
- Puntos fijos en superficie para control planialtimétrico.

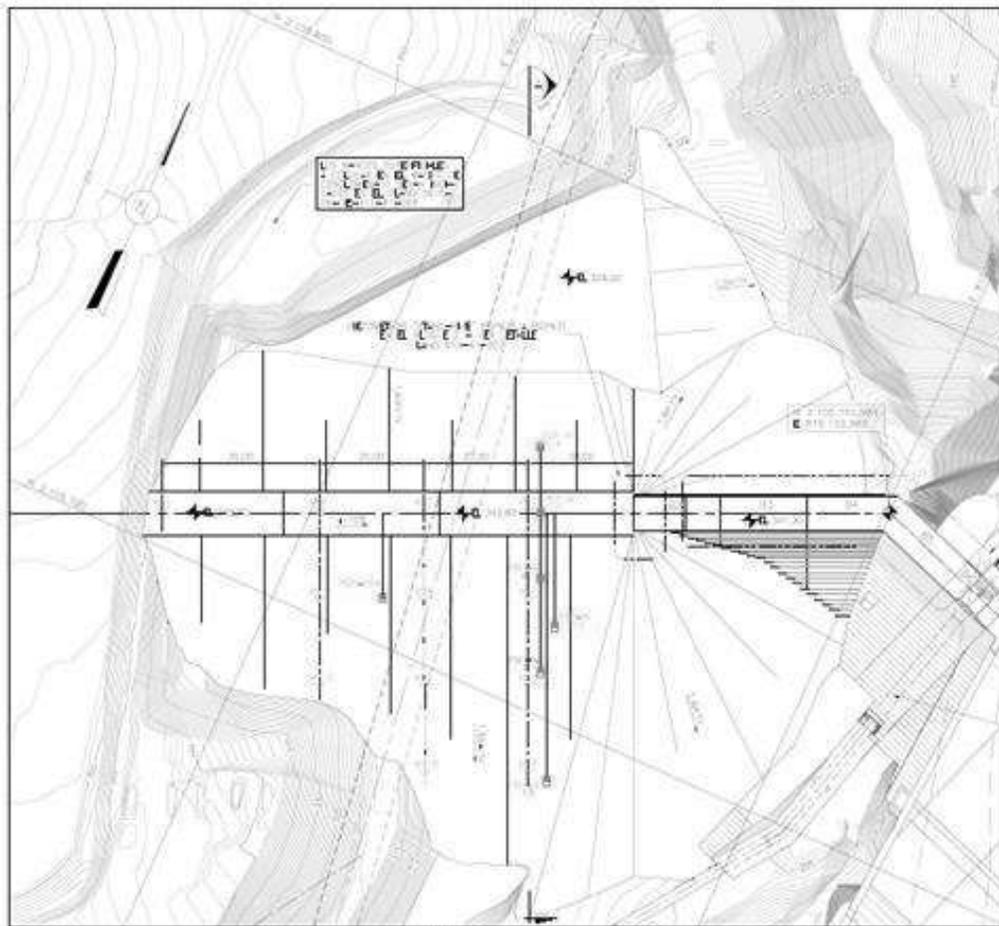


Figura 2.6 – Ubicación de Medidor de Desagüe Triangular, Piezómetros Stand Pipe, Marcos Superficiales y Medidor de Caudal en Presa de Núcleo y Enrocamiento. Visto en Planta.

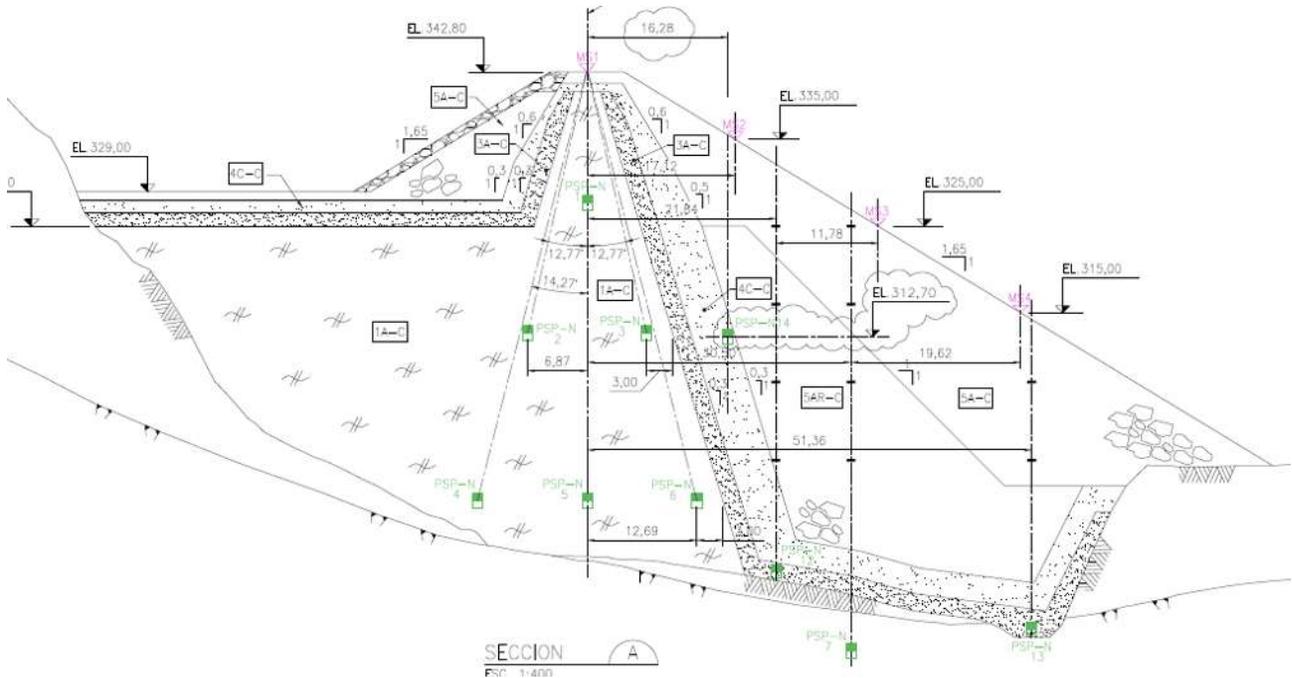


Figura 2.7 – Ubicación de Medidor de Desagüe Triangular, Piezómetros Stand Pipe, Marcos Superficiales y Medidor de Caudal en Presa de Núcleo y Enrocamiento. Visto en Corte.

Categoría A, Dispositivos Detectores.

- **Aforadores:** El agua de percolación a través de la presa de núcleo se infiltrará nuevamente en el macizo de conglomerado lahar y será captada en la galería de drenaje.
- **Piezómetros:** Brindará información acerca del comportamiento del bloque 2 de este contacto tan importante, la posibilidad de fisuramiento y paso de agua, como también del proceso de filtrado y auto sellado posterior.

Categoría B, Dispositivos Complementarios.

- **Piezómetros:** Esta previsto la instalación de los mismos en el núcleo y aguas abajo, tanto en el tapete drenante del filtro como en la roca de fundación, brindará información para comparar con las hipótesis de la red de filtración asumidas en el diseño.
- **Control microgeodésico planimétrico:** A efectos de determinar los corrimientos del coronamiento de la presa de núcleo y su relación con el bloque 2 de contacto con la presa de CCR, se prevé materializar un conjunto de puntos de control planimétrico mediante bujes de centrado empotrados en lugar a definir sobre el coronamiento.
- **Control microgeodésico altimétrico:** Para ello se previó la instalación de un conjunto de pernos empotrados en el coronamiento.

3.5.3. Macizo Conglomerado de Margen Derecha.

En el macizo de conglomerado de margen derecha, cuya importancia ya ha sido resaltada, se ha previsto colocar:

- Piezómetros stand pipe.
- Inclínómetros aguas abajo de la galería de drenaje.

- Puntos fijos en superficie para control planialtimétrico.
- Medidor de caudales en la galería de drenaje.
- Medidor de caudales en el punto mas bajo del tubo de drenaje en el contacto roca-conglomerado.

En el caso de los piezómetros aguas arriba y abajo de la galería de drenaje, los mismos podrán ser colocados en la misma galería de drenaje, para lograr un ahorro de longitud de barrenos.

En el macizo rocoso de margen izquierda aguas abajo de la presa se ha previsto colocar:

- Piezómetros stand pipe aguas abajo de la presa.
- Puntos fijos en superficie para control planialtimétrico.
- Inclínómetros en roca.



Figura 2.8 – Ubicación de Medidor de Desagüe Triangular, Piezómetros Stand Pipe, Inclínómetros, Marcos Superficiales y Medidor de Caudal en Conglomerado de Margen Derecha. Visto en Planta.

Categoría A, Dispositivos Detectores.

- *Piezómetros:* En esta categoría se incluyen en primer lugar por su importancia a los piezómetros dispuestos en las líneas denominadas 2 y 3, aguas arriba y abajo

respectivamente de la galería de drenaje. Brinda información de suma importancia para el establecimiento de la línea freática y su incidencia en la estabilidad de los taludes bajo sismo, aspecto ya tratado. También se incluyen en esta categoría los piezómetros dispuestos en la línea denominada 1 en la proyección del eje de la presa y perforados desde la superficie, pues miden los niveles piezométricos en el punto más cercano al embalse y sirven para verificar la modelación de diseño del macizo.

- *Inclinómetros:* Son aquellos localizados en una línea aguas abajo de la galería de drenaje, en puntos que permitan detectar posibles movimientos de los taludes originados por niveles piezométricos elevados, ocurrencia de sismos o de inestabilidad aún en situación estática debida a otras razones.
- *Aforadores:* Se ha previsto colocar uno en la salida de la galería de drenaje y otro en el punto más bajo del tubo de drenaje previsto en las obras ejecutadas al pie del talud en el contacto roca-conglomerado.

Categoría B, Dispositivos Complementarios.

- *Control microgeodésico planimétrico:* A efectos de determinar los corrimientos de los taludes aguas abajo se han materializado un conjunto de puntos de control planimétrico mediante bujes de centrado empotrados en lugares definidos sobre bermas previstas en los taludes de excavación.
- *Control microgeodésico altimétrico:* El control altimétrico es un control de simple implementación y medición que permite monitorear el desarrollo de diferentes procesos en los taludes.

3.5.4. Tubería de Aducción y Central Hidráulica.

En la tubería de aducción y plataforma de la PCH se colocarán puntos fijos para control de asentamientos. Siendo que las obras comprendidas bajo este apartado no forman parte del conjunto de estructuras críticas, es decir, de aquellas cuya falla podría conducir a una pérdida de control en el manejo del embalse, no se ha previsto dotarlas de dispositivos de Categoría A (detectores).

Dadas las difíciles condiciones topográficas y geotécnicas de su zona de emplazamiento, se ha previsto la instalación de un conjunto de puntos de control altimétrico (Categoría B, Dispositivos Complementarios). Estos puntos son materializados mediante simples tetones empotrados en la base de las estructuras. Son vinculados periódicamente, mediante nivelación de precisión, a puntos fijos instalados sobre roca firme, permitiendo la detección de asentamientos diferenciales que podrían afectar la integridad de las estructuras o bien afectar el funcionamiento de los equipos de generación.

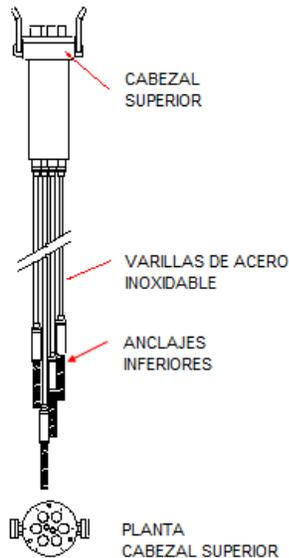
3.6. DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS INSTRUMENTOS.

3.6.1. Presa de CCR.

3.6.1.1. Extensómetros Múltiples.

Características Generales del Dispositivo. Los extensómetros de varillas múltiples previstos para la fundación de la presa de CCR constan de 3 varillas de acero inoxidable independientes, colocadas dentro una perforación de Ø 4" de diámetro realizada desde la

galería de inyección y drenaje. Los movimientos relativos entre cada anclaje y el cabezal solidario a la galería se manifiestan en alejamientos o acercamientos entre el extremo de cada barra y el cabezal los cuales pueden ser medidos con un micrómetro o calibre. Cada dispositivo se encuentra integrado por las siguientes partes:



Metodología de Medición.

El procedimiento de lectura incluye el desarrollo de los siguientes pasos:

- Ajustar el dial del micrómetro de tal forma que el mismo corresponda con la lectura de valor "0".
- Insertar la barra de desplazamiento del calibre en el buje correspondiente a la barra N° 1 y empujar el micrómetro hacia la barra hasta que el micrómetro haga tope con el cabezal.
- Leer el valor medido sobre el display y registrarlo como L1 en la planilla.
- Repetir los pasos b) y c) dos veces y registrar los valores de lectura obtenidos en cada oportunidad (L2 y L3) no debiendo diferir las lecturas en más de 0,5 mm entre sí. De no cumplirse esta condición deberá reiterarse la serie completa sobre esa varilla.
- Repetir desde a) para la próxima varilla del extensómetro.
- Colocar nuevamente la cubierta protectora del extremo de cada barra y del cabezal.

Cálculo del Valor de la Magnitud Física. El valor de la magnitud física resultante para cada barra se determina mediante la siguiente expresión:

$$\Delta u \text{ [mm]} = LM - L0$$

Donde:

- L0 = Lectura inicial para la barra "i" [mm].
- LM = (L1+L2+L3)/3 = Lectura media sobre la barra "i" [mm]

Lectura Inicial. El procedimiento para obtener la L0 no difiere del indicado para una lectura estándar excepto que deberán realizarse 3 determinaciones independientes (de 3 series cada una). Cada serie se dará como válida si la diferencia entre una lectura y otra no difiere en más de 0,2 mm. De cada serie se determinará el valor de L0i según la metodología de cálculo detallada anteriormente para LM.

El valor de L0 final para cada varilla se calculará como el promedio aritmético de los L0i de cada serie, no debiendo diferir entre ellos en más de 0,2 mm.

3.6.1.2. Piezómetros de Tubo Abierto Tipo “STAND PIPE”.

Características Generales del Dispositivo. Los piezómetros de tubo abierto tipo “stand pipe” son instalados en ternas dentro de una única perforación de Ø 4” practicada en la roca desde la galería de inyección y drenaje. Cada uno de ellos está compuesto por un tubo de PVC rígido de Ø 3/4” que remata en su parte inferior en un captor conformado por un tubo PVC ranurado revestido en malla de nylon e inmerso en una cámara de captación de arena.

Para ello se ha dotado al sistema de un dispositivo que permite realizar la medición del nivel de agua en el interior del tubo con sonda electroacústica o bien, si el nivel piezométrico supera la boca del piezómetro, registrando la presión mediante un manómetro.

Metodología de Medición. La lectura del nivel del agua en el tubo cuando éste no supera la cota de boca del instrumento se efectúa por medio de una sonda electroacústica solidaria a un cable graduado; esta sonda al entrar en contacto con el agua cierra el circuito eléctrico y acciona una señal sonora y una luminosa. En el caso de que el NP supera la cota de boca del tubo del instrumento, la lectura se realiza a través de un manómetro de presión.

Determinación del Valor de la Magnitud Física.

Medición con manómetro con escala en [kg/cm²]: Los niveles piezométricos se determinan aplicando la siguiente fórmula:

$$NP \text{ [msnm]} = CB \text{ [msnm]} + L \text{ [kg/cm}^2\text{]} * 10$$

Donde:

- CB = Cota superior del tubo de elevación en msnm.
- L = Lectura registrada en el manómetro en kg/cm²

Medición con manómetro con escala en [m.c.a.]: Los niveles piezométricos se determinan aplicando la siguiente fórmula:

$$NP \text{ [msnm]} = CB \text{ [msnm]} + L \text{ [mca]}$$

Donde:

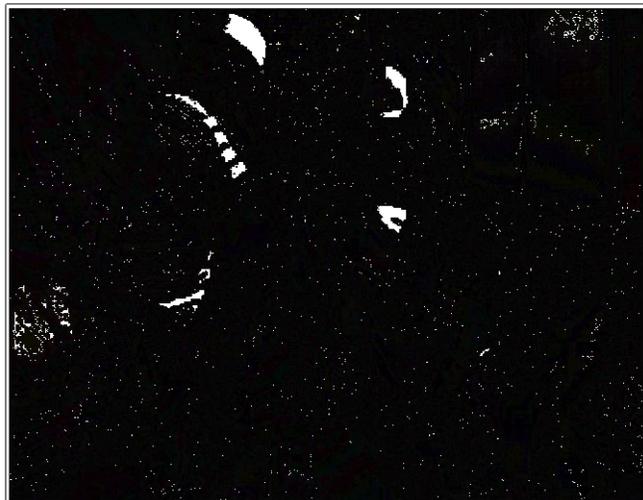
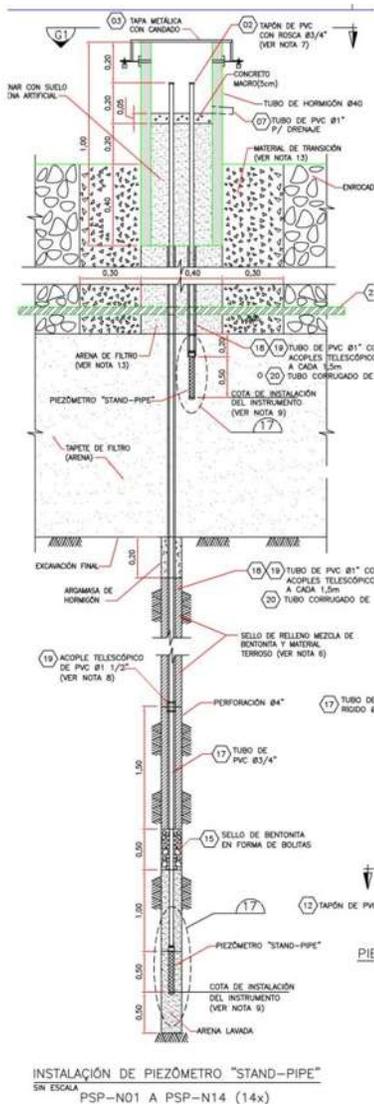
- CB = Cota superior del tubo de elevación en msnm.
- L = Lectura registrada en el manómetro en m.c.a.

Medición con sonda electroacústica: Los niveles piezométricos se determinan aplicando la siguiente fórmula:

$$NP \text{ [msnm]} = CB \text{ [msnm]} - L \text{ [m]}$$

Donde:

- CB = Cota superior del tubo de elevación en msnm.
- L = Lectura registrada con la sonda en m.



Lectura Inicial. Una vez instalados los piezómetros y el conjunto superior se procederá a determinar la cota de boca (CB) de cada dispositivo. Para ello se considera suficiente la medición del desnivel de cada conjunto respecto del piso de la galería, entendiendo que la cota de la misma ha sido construida con una imprecisión no superior a los 0,10 m. respecto de lo indicado en los planos.

3.6.1.3. Medidores Triortogonales de Junta.

Características Generales del Dispositivo. Los medidores de deformación triortogonal de junta están instalados en las juntas de contracción entre bloques a lo largo de la galería de drenaje, para la observación de los siguientes movimientos diferenciales entre bloques:

- Abertura o cierre de junta (X);

- Asentamiento diferencial entre bloques (Y);
- Movimiento o desplazamiento diferencial horizontal entre bloques (Z).

Este instrumento consiste básicamente en dos barras de acero ancladas en el hormigón a ambos lados de una junta entre bloques. Por su geometría, permite la determinación de los movimientos relativos de ambas caras de la junta en 3 direcciones ortogonales.



Esquema N° 2: Medidor Triortogonal.

Procedimiento de Medición. A efectos de realizar la medición se utiliza un micrómetro de dial con el cual se miden las distancias que separa la superficie de apoyo de los bujes de las caras del cubo fijo.

El procedimiento de lectura incluye el desarrollo de los siguientes pasos:

- a) Ajustar el dial del micrómetro de tal forma que el mismo corresponda con la lectura de valor "0".
- b) Insertar la barra de desplazamiento del calibre en el buje correspondiente a la Posición 1 y empujar el micrómetro hacia la barra hasta que el micrómetro haga tope con el cabezal.
- c) Leer el valor medido sobre el dial y registrarlo en la planilla tipo A2-XX del Anexo 3 (*).
- d) Repetir desde a) para las posiciones 2 y 3, consecutivamente.

Previamente a cada medición se deberán limpiar los extremos de los cabezales con un paño limpio y seco, a fin de eliminar el polvo o elementos que pudieran haberse depositado sobre ellos.

Calculo del Valor de la Magnitud Física. El valor del movimiento direccional se calcula como la diferencia entre la lectura obtenida y la lectura inicial.

$$\Delta u_{1,2,3} [\text{mm}] = LM_{1,2,3} [\text{mm}] - Lo_{1,2,3} [\text{mm}]$$

Donde:

- $\Delta u_{1, 2,3}$ = Movimiento en la dirección correspondiente 1 (A-C), 2 (T-T) o 3 (N-N).
- $LM_{1, 2,3}$ = Lectura medida en cada posición [mm].
- $Lo_{1, 2,3}$ = lectura inicial [mm] en las direcciones 1 (A-C), 2 (T-T) o 3 (N-N).

Lectura Inicial. El procedimiento para obtener la L0 en cada posición no difiere del indicado para una lectura estándar excepto que deberán realizarse 3 determinaciones independientes. Cada determinación se dará como válida si la diferencia entre una lectura y otra no difiere en más de 0,2 mm. El valor de L0 final para cada posición se calculará como el promedio aritmético de los 3 valores de L_{0i} obtenidos en cada serie.

3.6.1.4. Péndulo Directo.

Características Generales del Dispositivo. Los péndulos directos son dispositivos que permiten conocer los desplazamientos horizontales relativos entre dos puntos de una estructura. El principal objetivo de este instrumento es el de medir los movimientos horizontales de la cresta de la presa en relación a su base, a partir de la fase de llenado del embalse. El elemento de acero inoxidable del péndulo de $\varnothing 1$ mm está fijado en las proximidades de la cresta de la presa.

Descripción del dispositivo. Este instrumento básicamente está formado por un hilo de acero inoxidable cuyo extremo superior está anclado en el hormigón de la presa por medio de una pieza de fijación. Con el fin de evitar los movimientos del mismo, en su extremo inferior, directamente apoyado sobre el piso de la galería, posee una plomada inmersa en un recipiente con aceite para amortiguar posibles movimientos. Inmediatamente por sobre la plomada se ubica la placa o mesa de medición la cual es fijada a un marco empotrado en la pared de hormigón (ver fotografía 2).



Fotografía 02 – Mesa de lectura del péndulo directo y plomada inmersa en recipiente con aceite.

Procedimiento de Medición. La medición se resume a mover ambos cursores hasta que se logre la alineación de la mirilla del cursor con el hilo y la punta opuesta. Para ello, si no se dispone de iluminación de detalle en el instrumento podrá auxiliarse con el uso de lámparas portátiles o linternas.

Calculo del Valor de la Magnitud Física. Para determinar los valores de desplazamiento en

$$G = \frac{(LCI - p4)}{318} ; D = \frac{(p5 - LCD)}{318}$$

$$X = \frac{30 \times \text{Sen}[D - G]}{\text{Sen}[D + G]} - p2 ; Y = \frac{60 \times \text{Sen}[D] \times \text{Sen}[G]}{\text{Sen}[D + G]} - p1$$

cada una de las direcciones características (radial = aguas arriba-aguas abajo, tangencial = MI-MD), se procede, en primer lugar, al cálculo de los siguientes parámetros:

Donde:

- LCI = Lectura en el círculo izquierdo, en [mm].
- LCD = Lectura en el círculo derecho, en [mm].
- p1 \equiv Yo = valor Y calculado según las expresiones anteriores para la lectura Inicial.
- p2 \equiv Xo = valor X calculado según las expresiones anteriores para la lectura Inicial.
- p4 = Lectura sobre el CI en posición del cursor Izquierdo alineado con ambas puntas.
- p5 = Lectura sobre el CD en posición del cursor Derecho alineado con ambas puntas

En base a los parámetros anteriores, se procede a calcular el desplazamiento en las direcciones de control:

$$\Delta 1 = Y \times \text{Cos}[\alpha] - X \times \text{Sen}[\alpha]$$

$$\Delta 2 = X \times \text{Cos}[\alpha] + Y \times \text{Sen}[\alpha]$$

Donde:

- $\Delta 1$ = Desplazamiento en la dirección 1 = Aguas arriba – Aguas Abajo [mm].
- $\Delta 2$ = Desplazamiento en la dirección 2 = MI-MD.
- α = ángulo en Radianes de la dirección perpendicular a la línea de las puntas con la dirección aguas abajo ($\alpha = 0$ para la posición prevista en el proyecto).

Lectura Inicial. El procedimiento para obtener los parámetros p1, p2, p4 y p5 no difiere, en general, al indicado para una lectura estándar excepto que deberán realizarse 3 determinaciones independientes.

La serie se dará como válida si la diferencia entre una lectura y otra, para ambos círculos no difieren en más de 2 mm. Finalmente, y para cada parámetro, se obtendrá el valor definitivo como el promedio aritmético de las 3 mediciones realizadas.

3.6.1.5. Medidor de Desagüe Triangular.

Características Generales del Dispositivo. Los medidores de caudal serán del tipo triangular, con ángulo de 30°, para asegurar mayor precisión de lecturas desde el instante inicial.

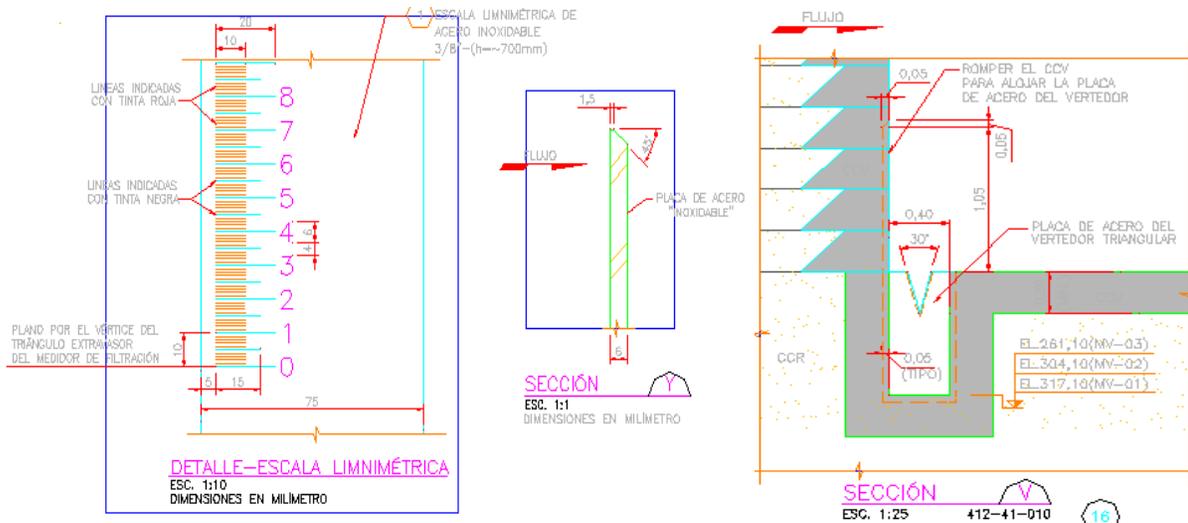
Procedimiento de Medición. El procedimiento de medición consiste simplemente en leer en la escala limnimétrica el nivel alcanzado por el tirante de agua.

Determinación del Valor de la Magnitud Física. El caudal que pasa a través de cada placa aforadora se determinará aplicando la siguiente fórmula:

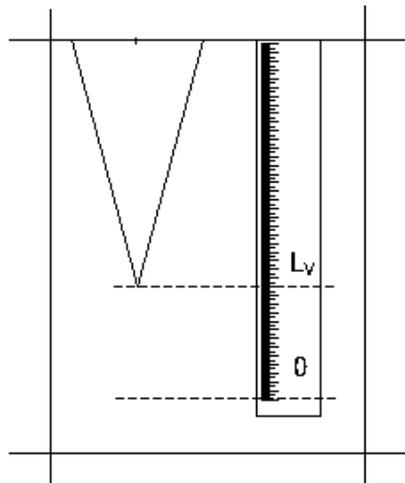
$$Q \text{ [lts/seg]} = 0.00375 \times H^{5/2}$$

Donde: $H = L - L_v$

- L = Lectura sobre la escala en cm.
- L_v = Lectura correspondiente al vértice del triángulo en cm. Este valor se mide una única vez, inmediatamente después de instalada la placa.



Medición Inicial: La misma tiene por objeto determinar el valor de lectura sobre la escala limnimétrica correspondiente al vértice de la placa triangular, magnitud L_v en el Esquema N° 4. Para ello, una vez fijada la placa y la escala en su posición definitiva, se procederá a rellenar la canaleta con agua hasta que el mismo alcance el nivel del vértice de la chapa aforadora, tomándose en ese instante la lectura L_v sobre la escala graduada.



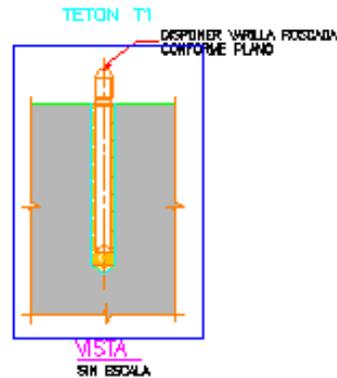
Esquema N° 4: Determinación L_v .

3.6.1.6. Control Microgeodésico de Deformaciones.

Características Generales del Dispositivo. El sistema previsto para la presa de CCR consiste en un conjunto de puntos de control sobre los cuales se puede determinar los desplazamientos horizontales en la dirección principal de control, esto es aguas arriba – aguas abajo. De esta forma podrán determinarse los corrimientos principales para condiciones de niveles de embalse diferentes a lo largo del año, completando así la información obtenida en péndulos y extensómetros.



PUNTO DE CONTROL ALTIMÉTRICO
EN OBRAS DE HORMIGÓN



Control Planimétrico. Para ello el proyecto previó la instalación de puntos de control por bujes de centrado forzoso donde se instalarán señales de puntería.

El sistema se completa con la construcción de pilares fijos empotrados en roca donde se instala el equipo de medición y desde donde se materializan las visuales hacia los puntos de control sobre la presa.

Metodología de Medición.

a) *Colimación Angular.* Para el control de los puntos ubicados sobre los módulos delineados con el eje de presa (hacia la Margen Izquierda del quiebre de alineación) se procederá como sigue:

1. Estación del teodolito sobre el pilar "A".
2. Materialización de la "Línea de Referencia".
3. Desde la Estación "A" se hace puntería en "B" y se adopta esa alineación como "cero".
4. Se gira el teodolito hasta hacer puntería sobre el centro de la señal.
5. Se repite desde IV a V para el resto de los puntos de control.
6. Finalizada la serie de mediciones de "IDA" se procede a dar vuelta a campana el anteojo y a reiterar los pasos IV y V para cada punto de control, registrando el valor medido como "L1D".
7. Se repite el paso III, registrando el valor angular medido como "LB1D".
8. Se repiten 2 veces las series I a VIII, registrándose los valores medidos como LB2I y LB2D para la Línea de Referencia, L2I y L2D para cada punto de control.

b) *Distancias directas.*

Control Altimétrico. En cuanto al control altimétrico, es de indicar que para tener un control adecuado, de primer orden según ICOLD, se requiere un nivel con precisión del orden de 0,5 mm/km, con miras con código de barras como el Leica DNA03 ó similar.

3.6.2. Presa de Núcleo y Enrocamiento.

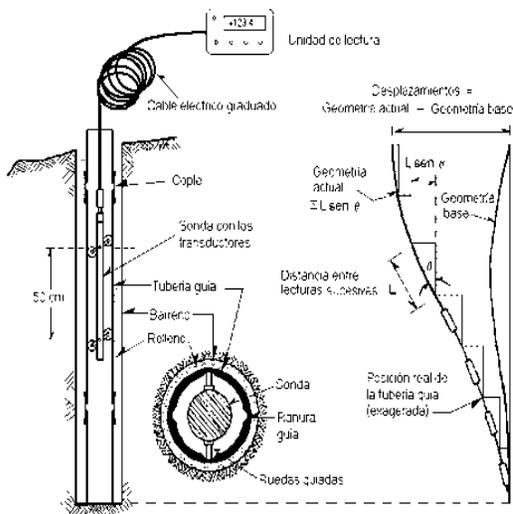
Para este subsistema en que se instalan piezómetros y se lleva a cabo control planialtimétrico, caben las mismas informaciones ya incluidas en los puntos de la sección 6.1.

3.6.3. Macizo de Conglomerado de Margen Derecha.

Para este subsistema en que se instalan piezómetros, se lleva a cabo control planialtimétrico y se miden caudales, caben las mismas informaciones ya incluidas en los puntos de la sección 6.1. Queda por describir lo referido al Inclinómetro.

3.6.3.1. Inclinómetro.

Características Generales del Dispositivo. Con este dispositivo se trata de medir deformaciones horizontales que puedan producirse en el talud de conglomerado aguas abajo de la presa. Se mide el cambio de pendiente de un ademe o tubo guía colocado dentro de un barreno. Para ello se instalan este tubo guía en la perforación, y se cementa con las paredes laterales del barreno para evitar los deslizamientos verticales. El procedimiento de medición permite definir la distribución de movimientos laterales al deformarse e inclinarse el tubo guía o ademe, en función de la profundidad medida con respecto al nivel del terreno natural y en función del tiempo.



Esquema N° 5: Principio de operación del Inclinómetro.

El elemento sensor del inclinómetro se baja y sube colgado del cable graduado, estando sus ruedas guiadas por las ranuras longitudinales del ademe, lo cual permite medir el azimut de la sonda, o sea la distancia angular horizontal desde una dirección fija de referencia hasta el punto en cuestión. La respuesta a los cambios de inclinación se mide y registra en la superficie, lo cual se muestra en la siguiente figura explicativa (Esquema N° 5) del principio de operación del inclinómetro. Las lecturas se toman a incrementos fijos, usualmente iguales, a lo largo de toda la profundidad, que corresponde al espaciamiento

de las ruedas del sensor. Esta lectura mide entonces la inclinación del ademe o tubo guía en dos planos casi verticales y perpendiculares entre sí. De esta forma se pueden calcular las componentes horizontales del movimiento tanto transversal como paralela a una cierta dirección de desplazamiento.

Determinación del Valor de la Magnitud Física. En uso, el dispositivo de medición es conectado a la caja de medición y bajando el dispositivo por el tubo guía hasta el fondo del barreno, se comienza la etapa de medición en intervalos iguales a la separación de las ruedas. Cada lectura de los intervalos es guardada en la memoria para ser luego analizada por el software provisto GTilt. En cada etapa incremento se mide el desvío o inclinación del tubo guía con respecto a la vertical o posición inicial de medición en dos direcciones perpendiculares. O sea que integradas todas las lecturas de los tramos o incrementos nos dará como resultado un ploteo de la deflexión lateral del tubo guía en dos direcciones perpendiculares.

Procedimiento de Medición. Además del dispositivo con el inclinómetro se provee la caja de medición, que en este caso es la del Modelo GK-603, tal como se muestra en la Figura 6.1:

Lectura de Inclinómetros. Ya que todas las lecturas de inclinómetros están referidas a una serie inicial de mediciones, se debe tener el cuidado necesario para conseguir un juego inicial de observaciones confiables.

Para tener un registro correcto de mediciones generalmente se necesitan cuando menos dos operadores con experiencia a quienes se les deberá dar todo el tiempo que necesiten para instalarse, tomarlas lecturas y darle mantenimiento al equipo.

La máxima precisión se obtiene cuando la distancia entre cada intervalo de lectura es igual a la separación entre las ruedas superior e inferior de la sonda. Es importante hacer notar que una vez que se ha fijado el incremento de lectura para un cierto tubo, esta distancia siempre deberá ser la misma para dicho tubo. El cambiarla en algún punto durante la medición (por ejemplo acortando los incrementos con la idea de definir mejor los desplazamientos), puede dar lugar a conclusiones erróneas acerca de los movimientos que tienen lugar.





No se debe empezar a tomar lecturas hasta que el inclinómetro haya permanecido en el fondo del ademe el tiempo suficiente para adquirir la misma temperatura que a su alrededor.

Cuando se va a leer un inclinómetro por primera vez (juego inicial de lecturas) conviene esperar antes unos días para que se estabilice la instalación.

Para una corrida completa, la sonda se gira 180° después de la primera serie de lecturas y se repite. La diferencia algebraica entre los dos juegos de lecturas se emplea para calcular el perfil del ademe o aun más, para detectar cualquier cambio en comparación con otras corridas; el usar la diferencia algebraica es de hecho lo mismo que emplear el promedio de los dos juegos de lecturas.

El empleo de este procedimiento de lecturas a 180° puede aumentar la precisión en cinco órdenes de magnitud, comparada con la de un solo juego de lecturas.

Procesamiento de las lecturas de inclinómetros. El procesamiento a mano de las lecturas de inclinómetros es una operación tediosa y dilatada. Una corrida completa en una sola dirección en un tubo de 33m de largo puede contener más de 200 cálculos individuales.

Debido al trabajo invertido en la obtención de las lecturas y, posteriormente, en el cálculo de los desplazamientos, el éxito de un programa de medición depende sobre todo de la organización y disciplina.

Las lecturas de campo se deberán convertir en mediciones cuantitativas, de preferencia en forma de gráficas que muestren las curvas de movimientos sucesivos.

En este caso es costumbre calcular y dibujar las diferencias con respecto a las lecturas iniciales en vez de la geometría real del ademe. Esta operación proporciona tal vez la mejor verificación de la confiabilidad del aparato.

3.6.4. Tubería de Aducción y Central Hidráulica.

Para esta estructura está todavía en vías de preparación el diseño de detalle, en el cual se prevé un control planimétrico que será indicado posteriormente y el cual será motivo de una revisión de este documento.

3.7. VALORES REFERENCIALES DE CONTROL PARA LOS INSTRUMENTOS DE AUSCULTACIÓN.

3.7.1. Criterio Adoptado.

Los valores de control de las lecturas de los instrumentos de la Presa fueron divididos, en dos categorías: *Valores de Atención y Valores de Alerta*. Estos valores han sido determinados teóricamente a partir de la aplicación sobre las estructuras de los modelos de comportamiento de la infiltración, de drenaje, de esfuerzos y deformaciones entre otros o con base en datos de la bibliografía técnica que reúne el comportamiento de un número importante de presas en situaciones o hipótesis similares.

Los *Valores de Control* deben ser tomados en cuenta como una referencia para la toma de decisiones en cuanto a la implementación de acciones correctivas.

Los ajustes de los valores de control deberán ser necesarios debido a un análisis global de las estructuras y a su comportamiento durante todo el periodo de operación.

Incluimos algunos puntos de reflexión para la consideración de estos valores:

- Es raro que un solo instrumento sea determinante. Así, un exceso de presión puede preocupar si se extiende sobre una gran superficie y es detectado por varios instrumentos, pero el mismo podría no tener importancia si se produce en una zona limitada y es detectado por un solo instrumento.
- No es solo el valor instantáneo de un parámetro que puede preocupar sino también su variación en el tiempo. Así una presión alta que está disminuyendo tiene que preocupar menos que una presión baja que sigue aumentando.

En ciertos casos pueden presentarse combinaciones, aún mucho más complejas.

- Puede entonces decirse que es riesgoso operar de manera esquemática en la definición de los umbrales y que cada caso es diferente y por fin que se necesita un juicio de ingeniería.
- Por todas estas razones puede ser sumamente peligroso ligar el umbral de cualquier instrumento a cualquier factor de seguridad sin contar que el factor de seguridad puede definirse de varias maneras.
- El peligro más grande del proceso propuesto, es la tentación de “automatizar” el mismo, lo que llegaría a burocratizar el proceso de seguimiento continuo de la seguridad de la obra eliminando el juicio de ingeniería.
- No debe olvidarse que con el tiempo las características de la obra se modifican de manera que lo que era aceptable en cierta época puede no serlo más en otros. Adicionalmente la obra puede cambiar (por ejemplo eliminación de un dren, perforación de otro, etc.) lo que implica cambiar los umbrales.
- Puede ocurrir que un instrumento falle y que deba ser reemplazado por los valores leídos en otro que había sido considerado anteriormente de importancia secundaria.

Estos y otros aspectos del problema (incluso los no previstos) hacen que sea imprescindible un seguimiento continuo de la obra con una visión de ingeniería.

Valores de Atención. Las lecturas de los instrumentos, que resultan en valores inferiores a los *valores de atención*, significan que el comportamiento de las estructuras es normal y

de acuerdo con los criterios de diseño según los cuales las estructuras fueron dimensionadas.

Valores de Alerta. Los *valores de alerta* indican los máximos valores aceptables para cada instrumento, a partir de los cuales deberán ser realizadas análisis más detallados de proyecto, una vez que las condiciones mínimas aceptables de seguridad pueden estar siendo comprometidas. Eventualmente, en función del análisis global del diseño, puede concluirse en la necesidad de ajuste de los valores de atención y de alerta establecidos.

3.7.2. Valores de Control para la Cortina de CCR.

El monitoreo de las estructuras y de las obras de manera general, deberá tener inicio durante la fase de construcción.

Valores de Atención. Los valores de atención para medidas de *deformación de los extensómetros múltiples* fueron determinados a través de análisis de tensión-deformación hechos con base en los valores estimados de módulos de deformación de las distintas unidades del macizo rocoso de fundación y del módulo respectivo del CCR de la Cortina. No es posible incluir en este análisis los efectos térmicos debidos al salto de temperaturas entre medio ambiente y el concreto CCR. Este mismo análisis fue utilizado para la definición de los valores de atención y alerta del *Péndulo*, sin incluir efectos térmicos.

Los valores de *piezometría* fueron determinados considerando los diagramas de sub-presión del caso de carga normal utilizado en el dimensionamiento de las estructuras.

El valor de atención será alcanzado cuando supere el valor de presión con funcionamiento al 100% de la capacidad de drenaje.

Para las medidas de *desagüe de drenaje* fue considerado un caudal de 1 l/min/m como valor de diseño. De esta forma, el valor de atención será considerado alcanzado cuando el mismo fuera igual a 100 % del caudal teórico del medidor.

Para el caso de los *medidores triortogonales de juntas entre bloques* se tomo en cuenta para el valor de atención, la deformación térmica del concreto.

Se considera para la Presa Gral. Francisco J. Mújica una variación térmica de 28 °C y los anchos medios de los bloques de proyecto una vez ajustados los de margen derecha.

En el caso que las lecturas de determinado instrumento superen los valores de atención indicados en las tablas siguientes, aún sin alcanzar los valores de alerta, la frecuencia de lectura del instrumento deberá ser duplicada en relación a la frecuencia preestablecida.

Valores de Alerta. Los valores de alerta para medidas de *deformación de los extensómetros* fueron determinados a través de análisis de tensión-deformación hechos con base en los valores estimados de los módulos del macizo rocoso de fundación y del módulo del CCR de la Cortina, adoptando el doble de los resultantes del análisis con cargas normales.

Este mismo análisis fue utilizado para el *Péndulo*, tomando el doble del resultante de las cargas normales. Para las medidas de *piezometría*, los valores fueron determinados considerando los diagramas de subpresión, como explicado anteriormente.

El valor de alerta será alcanzado cuando supere el valor de presión con funcionamiento de la galería en 20% de la diferencia entre los diagramas de sub-presión con y sin funcionamiento de la galería.

Para las medidas de *desagüe del drenaje* fue considerado un caudal de 1 l/min/m como valor de proyecto sin aplicación de un coeficiente de seguridad. Como criterio adoptado, el valor de alerta será considerado alcanzado cuando el mismo sea 1,5 veces el valor de atención.

Para el caso de los *medidores triortogonales de juntas entre bloques* se tomo en cuenta para el valor de atención, la deformación térmica del concreto. Para el valor de alerta se consideró el doble de este último valor.

A continuación son presentados los valores de control de los instrumentos de la Cortina de CCR.

Tabla 7.1 - Valores de Atención y Alerta para los Extensómetros de la Fundación.					
BLOQUE	EXTENS.	DESPLAZAMIENTO (mm)		DESPLAZAMIENTO (mm)	
		NIVEL EMBALSE 333.00		NIVEL EMBALSE 340.50	
		ATENCIÓN	ALERTA	ATENCIÓN	ALERTA
2	EM-01	7,90	15,80	9,03	18,06
	EM-02	8,00	16,00	9,44	18,88
	EM-03	8,52	17,04	9,96	19,92
	EM-04	2,70	5,40	0,60	1,20
	EM-05	2,96	5,92	1,20	2,40
	EM-06	3,19	6,38	1,40	2,80
	EM-25	-8,50	-17,00	-16,60	-33,20
	EM-26	-8,70	-9,40	-17,00	-34,00
	EM-27	-8,90	-17,80	-17,40	-34,80
6	EM-07	4,80	9,60	7,00	14,00
	EM-08	6,80	13,60	9,50	19,00
	EM-09	7,20	14,40	10,00	20,00
	EM10	-1,70	-3,40	-0,70	-1,40
	EM-11	-0,80	-1,60	0,50	1,00
	EM-12	-0,70	-1,40	0,60	1,20
	EM28	-3,57	-7,14	-5,05	-10,10
	EM-29	-3,52	-7,04	-5,01	-10,02
	EM-30	-3,79	-7,58	-5,36	-10,72
7	EM-13	2,15	4,30	2,70	5,40
	EM-14	2,52	5,04	3,18	6,36
	EM-15	2,82	5,64	3,58	7,16
	EM-16	0,28	0,56	0,52	1,04
	EM-17	0,28	0,56	0,56	1,12
	EM18	0,24	0,48	0,56	1,12
9	EM-19	3,02	6,04	4,31	8,62
	EM-20	3,95	7,90	5,40	10,80
	EM-21	4,56	9,12	6,13	12,26
	EM-22	-1,22	-2,44	-0,68	-1,36
	EM-23	-0,77	-1,54	-0,11	-0,22
	EM24	-0,18	-0,36	0,62	1,24

VALORES DE ALERTA Y ATENCIÓN EN LOS PIEZOMETROS DE LA FUNDACIÓN DE LA PRESA DE CCR PARA EMBALSE A COTA 333.00						
BLOQUE	PIEZOMETRO	COTA PIEZOMETRICA		COTA INSTALACIÓN	CARGA PIEZOMETRICA	
		ATENCIÓN	ALERTA		mca	mca
2	PSP-01	327.12	327.76			
	PSP-03	327.12	327.76			
	PSP-05	327.12	327.76			
	PSP-02	316.20	317.28			
	PSP-04	316.20	317.28			
	PSP-06	316.20	317.28			
6	PSP-07	314.05	315.46			
	PSP-08	314.05	315.46			
	PSP-09	314.05	315.46			
	PSP-22	303.77	305.42			
	PSP-23	303.77	305.42			
	PSP-24	303.77	305.42			
7	PSP-10	290.40	296.11			
	PSP-12	290.40	296.11			
	PSP-14	290.40	296.11			
	PSP-11	261.34	270.28			
	PSP-13	261.34	270.28			
	PSP-15	261.34	270.28			
9	PSP-10	279.08	287.93			
	PSP-12	279.08	287.93			
	PSP-14	279.08	287.93			
	PSP-11	261.85	272.95			
	PSP-13	261.85	272.95			
	PSP-15	261.85	272.95			

Señal -- y + : acortamiento o alargamiento de las vástagos respecto a la cabeza de lectura, respectivamente.

Cuando el bloque descomprime la fundación aparece el signo negativo (-) y cuando el bloque comprime la fundación el signo positivo (+).

Las columnas referentes a la Carga piezométrica expresadas en m.c.a. (metros de columna de agua) serán completadas cuando se tenga el dato preciso de la cota de instalación real de los piezómetros en la fundación en roca y en el macizo.

Tabla 7.2 - Valores de atención y alerta para Piezómetros para Embalse a Cota 320,00.

VALORES DE ALERTA Y ATENCIÓN EN LOS PIEZOMETROS DE LA FUNDACIÓN DE LA PRESA DE CCR						
BLOQUE	PIEZOMETRO	COTA PIEZOMETRICA		COTA INSTALACIÓN	CARGA PIEZOMETRICA	
		ATENCIÓN	ALERTA		mca	mca
2	PSP-01	320.24	320.35			
	PSP-03	320.24	320.35			
	PSP-05	320.24	320.35			
	PSP-02	316.20	316.35			
	PSP-04	316.20	316.35			
	PSP-06	316.20	316.35			
6	PSP-07	310.52	310.69			
	PSP-08	310.52	310.69			
	PSP-09	310.52	310.69			
	PSP-22	303.65	303.97			
	PSP-23	303.65	303.97			
	PSP-24	303.65	303.97			
7	PSP-10	281.20	284.94			
	PSP-12	281.20	284.94			
	PSP-14	281.20	284.94			
	PSP-11	261.34	267.19			
	PSP-13	261.34	267.19			
	PSP-15	261.34	267.19			
9	PSP-10	273.54	279.51			
	PSP-12	273.54	279.51			
	PSP-14	273.54	279.51			
	PSP-11	261.78	269.32			
	PSP-13	261.78	269.32			
	PSP-15	261.78	269.32			

Tabla 7.3 - Valores de atención y alerta para los medidores de caudales de drenaje de la galería de la presa de CCR.

MEDIDOR DE CAUDALES	L (m)	CAUDAL (Lt/min/m)	CAUDAL A MEDIR (Lt/min/m)	ATENCIÓN (Lt/min/m)	ALERTA (Lt/min/m)
MV1	67.00	67.00	67.00	67.00	100.50
MV2	35.00	35.00	102.00	35.00	52.50
MV3	30.00	30.00	30.00	30.00	45.00
MV4	40.00	40.00	239.00	40.00	60.00
MV5	92.00	92.00	152.00	92.00	138.00
MV6	60.00	60.00	60.00	60.00	90.00
			TOTAL=	324.00	486.00

Tabla 7.4 – Valores de Atención y Alerta para el Péndulo Directo.

Péndulo Directo – Desplazamiento Horizontal			
Estructura	Nivel del Embalse	Valor de Atención	Valor de Alerta
Bloque 7	333,00	5,96	11,92

Tabla 7.5 - Valores de atención y alerta para los medidores de triortogonales de junta

BLOQUE	L (m)	Dilatación (mm)	Atención (mm)	Alerta (mm)
2	16,50	6,93		
EJE 2	16,50	6,93	6,93	13,86
3	16,50	6,93		
EJE 3	16,24	6,82	6,82	13,64
4	15,98	6,71		
EJE4	16,61	6,97	6,97	13,95
5	17,23	7,24		
EJE5	14,24	5,98	5,98	11,96
6	11,25	4,73		
EJE6	13,13	5,51	5,51	11,03
7	15,00	6,30		
EJE7	15,00	6,30	6,30	12,60
8	15,00	6,30		
EJE8	15,00	6,30	6,30	12,60
9	15,00	6,30		
EJE9	15,00	6,30	6,30	12,60
10	15,00	6,30		
EJE10	15,00	6,30	6,30	12,60
11	15,00	6,30		
EJE11	15,00	6,30	6,30	12,60
12	15,00	6,30		
EJE12	15,00	6,30	6,30	12,60
13	15,00	6,30		
EJE13	15,00	6,30	6,30	12,60
14	15,00	6,30		
EJE14	15,00	6,30	6,30	12,60
15	15,00	6,30		
EJE15	15,00	6,30	6,30	12,60
16	15,00	6,30		
EJE16	15,00	6,30	6,30	12,60
17	15,00	6,30		
EJE17	15,00	6,30	6,30	12,60
18	15,00	6,30		
EJE18	13,12	5,51	5,51	11,02
19	11,23	4,72		

3.7.3. Valores de Control para la Presa de Cierre de Núcleo y Enrocamiento.

3.7.3.1. Piezómetros.

Para analizar los valores de referencia para los piezómetros de la presa de cierre derecho se dividieron en tres sectores:

- Los localizados en el muro de abrazo en proyección del núcleo.
- Los localizados en el núcleo mismo.
- Aquellos situados aguas abajo.

Los valores fueron primeramente pensados para ser determinados a partir de los análisis de percolación y establecimiento de la red de flujo seguido de la verificación del factor de seguridad al deslizamiento para la condición estática y con sismo para distintos niveles de la freática agua abajo, que es la que ha resultado determinante.

Para la condición estática se considera un factor de seguridad de 1,50 para el valor de referencia de atención, mientras que el valor de 1,30 para el de alerta. Para la condición con sismo se han considerado los valores de factor de seguridad de 1,20 y 1,10 respectivamente para análisis seudoestático con coeficiente sísmico de 0,21 g. Para la condición con sismo se evaluaron los piezómetros aguas abajo para dos condiciones de freática, con nivel 285 y 290, las que consideraremos como valores de atención y alerta para dichos piezómetros.

Se resumen en las tres tablas siguientes los valores de atención y alerta para los tres grupos de piezómetros de la presa:

Tabla 7.7 - Valores de atención y alerta para los piezómetros en el núcleo.

ESTRUCTURA	SECCIÓN	PIEZÓMETRO	Cota de Instalación (m)	Cota Piezométrica [m.c.a.]	
				Valor de Atención	Valor de Alerta
Presa de Núcleo con Enrocamiento	1-1	PSP N-01	327,70	330,33	330,63
		PSP N-02	312,70	320,01	320,31
		PSP N-03	312,70	314,05	314,35
		PSP N-04	293,30	325,42	325,79
		PSP N-05	293,30	312,03	313,12
		PSP N-06	293,30	297,02	298,61

Tabla 7.8 - Valores de atención y alerta para los piezómetros aguas abajo.

Presa de enrocamiento con núcleo	Sección	Piezómetro	Cota de Instalación (m)	Cota Piezométrica [m.c.a.]	
				Valor de Atención	Valor de Alerta
		PSP N-07	276,00	286,00	290,00
		PSP N-12	284,30	285,00	289,00
		PSP N-13	278,00	285,00	289,00

Tabla 7.9 - Valores de atención y alerta para los piezómetros en el abrazo.

ESTRUCTURA	SECCIÓN	PIEZÓMETRO	Cota de Instalación (m)	Cota Piezométrica [m.c.a.]	
				Valor de Atención	Valor de Alerta
Presa de Núcleo con Enrocamiento	2-2 ABRAZO	PSP N-22	328,00	331,12	331,42
		PSP N-23	317,00	322,47	322,77
		PSP N-24	306,00	316,73	317,06
		PSP N-25	295,00	314,31	316,09
		PSP N-26	306,00	312,23	312,53
		PSP N-27	295,00	306,08	307,37
		PSP N-28	328,00	328,61	328,91
		PSP N-29	317,00	317,84	318,14
		PSP N-30	306,00	307,43	307,73
		PSP N-31	295,00	297,42	297,78

Luego de establecida la cota real y definitiva de instalación, se agregará una columna con el valor de la carga piezométrica para facilidad del operador y supervisor de la Instrumentación del Proyecto.

3.7.3.2. Marcos Superficiales.

Los valores de atención y alerta para este caso podría tomarse como un porcentaje de la altura de la presa (60m promedio), siendo del 0,25% y 0,50% respectivamente para condición estática:

- Valor de Atención: 15cm.
- Valor de Alerta: 30cm.

3.7.4. Valores de Control para el Macizo de Conglomerado Natural de Margen Derecha.

3.7.4.1. Piezómetros.

Tabla 7.10 - Valores de referencia para los piezómetros de la Línea 2, Línea 3 y Línea 1.

ESTRUCTURA	SECCIÓN	PIEZÓMETRO	Cota Piezométrica (m)	
			Valor de Atención	Valor de Alerta
Margen Derecha Línea 2	2	PS-7	293,50	300,50
		PS-8	293,50	300,50
	1	PS-9	295,80	299,90
		PS-10	295,80	299,90
		PS-11	295,80	299,90
		PS-12	295,80	299,90
Margen Derecha Línea 3	2	PS-13	290,50	297,00
		PS-14	290,50	297,00
	1	PS-15	291,10	294,50
		PS-16	291,10	294,50
		PS-17	291,10	294,50
		PS-18	291,10	294,50
		PS-19	291,10	294,50
PS-20	291,10	294,50		
Línea 1		PS-1 a PS6	303,50	310,50

3.7.4.2. Inclinómetros.

Para la evaluación de los valores de control de los taludes aguas abajo de la presa en conglomerado se han instalado cuatro inclinómetros, definiendo los valores de Alerta y Atención para un valor de espaciamiento de las ruedas de 50cm y tomando en cuenta las curvas tensión-deformación para ensayos triaxiales sobre muestras de conglomerado.

Para estas últimas curvas, mostradas en el anexo 6, se ha considerado que para el 4% de deformación específica (2cm. equivalente a 2 grados 28 minutos de variación angular) resulta el valor de alerta y aproximadamente la mitad, para un módulo E50% corresponde el valor de atención (1cm. equivalente a 1 grado 14 minutos de variación angular en el tramo de 50cm. del inclinómetro):

Tabla 7.13 - Valores de atención para inclinómetros.

INCLINÓMETRO	VALORES DE ATENCIÓN (mm).	VALORES DE ALERTA (mm).
P1	10	20
P2	10	20
P3	10	20
P4	10	20

3.7.4.3. Caudales de Infiltración de la Galería de Drenaje.

Este parámetro sirve como un control, siendo los niveles piezométricos, aquellos de primera magnitud de importancia.

Para el medidor de caudales ubicado en la salida de la galería de drenaje se ha establecido un *valor normal o de referencia de atención de 280 lts /seg.* En el caso de darse valores mayores se analizara en que tramo se localiza el mayor aporte, mediante la medición de los caudales en los otros medidores previstos.

Luego de determinado el sector o tramo de mayor aporte se evaluarán los datos en conjunto con los niveles piezométricos y, inclinómetros y otros detalles.

4. INSTRUMENTACIÓN DE PRESAS DE METODOLOGÍAS GESTIÓN-DATOS

4.1. INTRODUCCIÓN..

La finalidad de la aplicación desarrollada es la realización de una gestión directa e integrada de los datos de auscultación obtenidos por medio de los sistemas existentes en la presa, de tal forma que se trabaje directamente con los datos disponibles, ajustando los desarrollos a las necesidades que vayan estableciendo tanto los técnicos responsables de la explotación y gestión de la presa como los encargados de su vigilancia.

La implementación de un Sistema de Control y Vigilancia de las obras que componen el Proyecto Gral. Francisco J. Mújica no se limita a la simple recolección de datos de los dispositivos de Auscultación, sino que comprende todo el conjunto de tareas que se entienden necesarias a efectos de poder realizar una detección temprana de cualquier anomalía que pudiera comprometer la seguridad o el funcionamiento de las mismas.

En particular y para el período de operación normal:

- Lectura Periódica del instrumental de auscultación y campañas de control microgeodésico.
- Procesamiento y validación de las mediciones.
- Inspección Mensual de las obras por parte del personal responsable de realizar las mediciones del instrumental de Auscultación.
- Inspecciones Eventuales luego de la ocurrencia de un evento de tipo extraordinario (terremotos).
- Inspección Semestral de las Obras a cargo de un Profesional Inspector.
- Elaboración de informes mensuales con revisión del grado de normalidad de los parámetros medidos.
- Elaboración de informes Semestrales de Auscultación con el análisis detallado del comportamiento de la obra en el período estudiado.

La Seguridad de Presas es una política de salvaguardo. Estas políticas requieren que potenciales impactos ambientales y sociales a los proyectos sean identificados, evitados, minimizados a lo mínimo posible, o sean mitigados y monitoreados. Como tal, el principal objetivo de las políticas de resguardo es “no hacer daño”. Al mismo tiempo, la aplicación, y el escrupuloso cumplimiento de las políticas de resguardo han demostrado que su uso puede lograr mucho más que tan sólo evitar daños.

4.2. TAREAS DE CONTROL DEL INSTRUMENTAL.

4.2.1. Frecuencias de Medición.

Las frecuencias de medición establecidas para los diferentes dispositivos e instrumentos de auscultación deben asumirse con carácter de mínimas, o bajo condiciones de normalidad.

En caso de obtenerse lecturas anómalas o en función de que se especifique en cada informe mensual, podrán adoptarse regímenes de lecturas frecuentes. Por ejemplo, en el caso de lecturas con frecuencia mensual para condiciones normales, las mismas pueden ser llevadas mediante este régimen a un esquema de frecuencia semanal o incluso menor, si el evento que lo motivó así lo aconsejara.

En la Planilla N° 1 se detallan, para cada dispositivo y sector, las frecuencias de lecturas a implementar tanto durante el llenado y los subsiguientes 6 meses de operación como para la fase futura de operación normal.

SECTOR	DISPOSITIVOS	PERIODOS		
		LLENADO	6 MESES	SERVICIO
Cortina de CCR	Piezómetros "Stand-Pipe"	1 día	1 día	15 días
	Medidores de Desagüe Triangular	1 día	1 día	7 días
	Caudales en Drenes Individuales	15 días	45 días	90 días
	Extensómetros de Varilla	1 día	7 días (2 x)	15 días (1 x sem.)
	Péndulo	1 día	1 día	15 días (1x sem.)
	Medidores Triortogonales de Junta	2 x semana	7 días	30 días
	Control Microgeodésico Altimétrico	30 días	90 días	180 días
	Control Microgeodésico Planimétrico	30 días	90 días	180 días
Presa de Núcleo y Enrocamiento	Piezómetros "Stand-Pipe" en el núcleo	1 día	7 días	90 días
	Piezómetros "Stand-Pipe" en pie de presa	1 día	1 día	15 días
	Medidor de Desagüe Triangular (a definir)	1 día	1 día	7 días
Contacto CCR/ Presa de Núcleo y Enroc.	Piezómetros "Stand-Pipe"	1 día	1 día	15 días
Conglomerado de MD	Piezómetros "Stand-Pipe"	1 día	1 día	15 días
	Medidor de Desagüe Triangular en galería y pie de contacto	1 día	1 día	7 días
	Inclinómetros	7 días	30 días	90 días
Tubería de Aducción, EC y PCH	Control Microgeodésico Altimétrico	30 días	90 días	180 días
Parámetros Generales	Nivel de Embalse	1 día	1 día	1 día
	Nivel de Restitución	1 día	1 día	1 día
	Temperatura Ambiente Min/Max diaria	1 día	1 día	1 día
	Temperatura Embalse Min/Max diaria	1 día	1 día	7 días
	Precipitaciones diarias	1 día	1 día	1 días
	Control Batimétrico del Embalse		1 vez	5 años
Tubería de Aducción, EC y PCH	Control Microgeodésico Altimétrico	30 días	90 días	180 días
Parámetros Generales	Nivel de Embalse	1 día	1 día	1 día
	Nivel de Restitución	1 día	1 día	1 día
	Temperatura Ambiente Min/Max diaria	1 día	1 día	1 día
	Temperatura Embalse Min/Max diaria	1 día	1 día	7 días
	Precipitaciones diarias	1 día	1 día	1 días
	Control Batimétrico del Embalse		1 vez	5 años

4.2.2. Procesamiento y Validación de las Mediciones.

La información obtenida en cada campaña de mediciones es volcada en una base de datos en la cual se produce el cálculo de la magnitud física mediante las fórmulas correspondientes a cada dispositivo.

Es altamente recomendable disponer de un software de Auscultación específico en el cual, además del cálculo de Magnitudes Físicas, se elaboren los gráficos de control. Estos

gráficos resulta una herramienta básica para la interpretación del comportamiento observado. De esta forma es posible determinar rápidamente cualquier apartamiento de las condiciones habituales de funcionamiento.

4.2.3. Inspecciones.

La evaluación del estado de mantenimiento y funcionamiento de cada una de las componentes del Proyecto contempla, por un lado, la medición e interpretación de los registros de los instrumentos de auscultación instalados en la obra, y por otro, la observación directa y permanente de cada una de esas componentes.

Esta observación directa debe realizarse de acuerdo a una metodología prefijada que responda a las características particulares del emprendimiento y a la respuesta esperada de cada una de las estructuras a las diferentes sollicitaciones a que son sometidas.

4.3. INSPECCIONES.

4.3.1. Clases de Inspección.

Las inspecciones a realizar pueden clasificarse en:

- Inspecciones periódicas o regulares.
- Inspecciones eventuales.

Las inspecciones periódicas o regulares se realizan a intervalos de tiempo prefijados y por personal designado para esta función, el cual, además, habitualmente realiza las mediciones de los instrumentos de auscultación y la evaluación de sus resultados.

Las inspecciones eventuales, en cambio, se realizan después de la ocurrencia de un evento de tipo extraordinario (circunstancia no prevista en los cronogramas regulares), por ejemplo, funcionamiento excepcional del vertedor, ocurrencia de un sismo, deslizamiento de taludes, etc. Se diferencian de las inspecciones periódicas o regulares por la oportunidad de su realización y no por el objeto a inspeccionar. Como caso particular de inspección de tipo eventual serán considerados en forma separada en el punto 8.2.5. Los procedimientos a desarrollar luego de la ocurrencia de un sismo de características severas. Este evento se ha analizado en forma separada del conjunto en función de la elevada sismicidad del sitio de emplazamiento de la obra.

4.3.2. Perfil del Personal Encargado de las Inspecciones.

Se define a continuación quienes deben ejecutar cada una de las inspecciones, destacándose que las realizadas por un Ingeniero Civil deben incluir la revisión de los procedimientos desarrollados por el Técnico encargado del control rutinario, siendo necesario que éste acompañe al profesional a los efectos de poder apreciar cuales son los principales aspectos a considerar en la observación continua de las Obras.

- Profesional Responsable (PR). Corresponde a un Profesional de la Ingeniería Civil con experiencia en Presas y Estructuras Hidráulicas con conocimiento de las características de la Obra.
- Profesional Inspector (PI). Corresponde a un Profesional de la Ingeniería Civil, con experiencia en Presas y Estructuras Hidráulicas y conocimiento de las características

de la Obra. Puede ser el mismo Responsable del Sector u otro Profesional que reúna las condiciones necesarias.

- Técnico Inspector (TI). Corresponde a un Técnico en Construcciones o formación equivalente, siendo indispensable que disponga de experiencias concretas en tareas de construcción y/o control de Presas y Estructuras Hidráulicas.
- Buzo para las inspecciones subacuáticas. Corresponde a un Buzo profesional con experiencia en la inspección de estructuras sumergidas, con amplios conocimientos de las técnicas de fotografías y filmaciones subacuáticas y con el equipamiento necesario, tanto de seguridad como operativo y de relevamiento. Por razones de seguridad el buzo siempre debe operar con otra persona sumergida de apoyo a los efectos de salvar cualquier situación imprevista que se presente.

4.3.3. Registros Complementarios.

La información recabada de la observación visual debe complementarse con los siguientes parámetros obtenidos para el período completo en el cual se desarrolló la inspección.

- Nivel diario del embalse y de la restitución.
- Lluvia caída, cantidad e intensidad (si correspondiera).
- Temperaturas máximas y mínimas diarias.
- Sismo, intensidad (si correspondiera).

4.3.4. Rutinas de Inspección a Realizar en los Distintos Sectores de la Obra.

Las frecuencias de cada una de las inspecciones periódicas o regulares que se recomienda en el presente capítulo deben considerarse a modo de guía, estando sujetas a la evolución de los aspectos inspeccionados y al mantenimiento de las Obras.

Con el fin de facilitar la programación y la documentación de las inspecciones a realizar, se ha dividido la Obra en los siguientes sectores:

- Cortina de CCR.
- Presa de Núcleo y Enrocamiento.
- Estribo de MD y galerías de drenaje.
- Central Hidroeléctrica, Edificio de Control, Tubería y Estación Transformadora.
- Embalse.

Las inspecciones en la Presa deben efectuarse con arreglo a la siguiente disposición:

a) Recorridos e Inspecciones Regulares.

Cortina de CCR.

- A lo largo del coronamiento, hacia ambos márgenes del vertedero, desde la vereda de aguas arriba.
- A lo largo del contacto cortina-estribo de MI.
- A lo largo de la galería de drenaje.
- A lo largo del contacto cortina-estribo de MD y contacto con la presa núcleo y enrocamiento.

Presa de Núcleo y Enrocamiento.

- A lo largo del coronamiento.

- A lo largo del espaldón de aguas arriba, por sobre el nivel del embalse.
- A lo largo del pie de presa.

Estribo de MD y galerías de drenaje.

- A lo largo de las bermas transitables.
- A lo largo de la galería de drenaje.

Central Hidroeléctrica, Edificio de Control, Tubería y Estación Transformadora.

- A lo largo de la base del talud de soporte de la tubería.
- A lo largo de la tubería.
- Exterior de la Central y Canal de Fuga.
- Interior de la Central.
- Exterior e interior del Edificio de Control.
- Estación transformadora (si está dentro de las responsabilidades del futuro operador)

Embalse.

- Laderas inmediatas a la Presa.
- Laderas del perilago en embarcación.
- Inspección subacuática por un buzo experimentado.
- En las estructuras de toma para la Central en MD.
- En las estructuras de toma para riego en MI.
- A lo largo del paramento de aguas arriba y enrocado de aguas arriba de la presa de núcleo y enrocamiento.
- En el pié del vertedero aguas abajo.

b) Objetivos particulares de la inspección de cada sector.

Cortina de CCR.

- La presencia de fisuras y/o grietas en los paramentos y a lo largo de la galería de inyección y drenaje. En caso de que existan fisuras se realizará un relevamiento detallado, señalando para cada fisura: trazado, orientación, abertura, desprendimiento de material, presencia de agua, existencia de hierros a la vista u óxido, carbonatación u otro tipo de material de relleno en las fisuras, arrastre de sólidos, etc.
- Evidencia de movimientos relativos entre módulos en correspondencia con las juntas.
- Pérdida de alineación de las barandas del coronamiento.
- La presencia de zonas húmedas o filtraciones en la superficie exterior de los paramentos de aguas abajo ya sea en coincidencia con las juntas entre bloques, o a través de fisuras o de juntas constructivas.
- El estado de los drenes y canaletas que desagotan en la galería de drenaje.
- El estado del hormigón en la zona de la rápida del vertedero, ya que irregularidades abruptas o roturas en losas o muros laterales podrían ser causantes de la generación o del incremento de los procesos erosivos en las estructuras.

- La presencia de desechos o troncos flotantes aguas arriba del labio del vertedero que pudieran dañar la rápida durante su caída.
- El estado del cuenco aguas abajo de la rápida después de la ocurrencia de flujos importantes, observando el estado de la base de las laderas de fenómenos de erosión y/o abrasión que pudieran afectar a las estructuras de hormigón o pérdida de parte del pie de la ladera.
- Incremento excesivo de la vegetación en los estribos que impida su recorrido y/u observación.
- Afloramiento de filtraciones en las laderas de ambos márgenes que conforman los estribos de la cortina de CCR.

Presa de Núcleo y Enrocamiento.

- Agrietamientos, particularmente en el camino del coronamiento.
- Filtraciones a través del contacto con la cortina de CCR y en la base de la presa.
- Zonas húmedas sobre el espaldón de aguas abajo.
- Sumideros.
- Crecimiento excesivo de vegetación sobre el espaldón o en el pie de presa.
- Hundimientos en el coronamiento o en los espaldones de aguas abajo.
- Estado del enrocamiento de protección de aguas arriba, hundimientos o remoción de bloques.

Estribo de MD y galería de drenaje.

- Filtraciones en el contacto presa de núcleo y enrocamiento-estribo.
- Aparición de filtraciones en sectores no controlados.
- Ocurrencia de derrumbes, cárcavas o zonas de erosión concentrada.
- Agrietamientos, particularmente en la zona de caminos o bermas.
- Hundimientos, pérdida de alineación de los guard-rails, o cualquier otra evidencia de deformación de los taludes.
- Estado de mantenimiento de los drenes en la galería de drenaje.
- Fisuras o agrietamiento en el hormigón de revestimiento de la galería.

Central Hidroeléctrica, Edificio de Control, Tubería y Estación Transformadora.

- Evidencias de hundimientos o deformaciones de la losa de apoyo de la tubería.
- Pérdida de alineación del muro de sostenimiento.
- Hundimientos, deformaciones o evidencias de erosión (cárcavas, etc) sobre la superficie del talud de soporte de la tubería.
- Hundimientos en la plataforma de maniobras.
- Pérdidas en la tubería, particularmente en las juntas.
- Agrietamiento o fisuración en la estructura de la central (en especial en muros, losas, vigas y columnas), canal de fuga y edificio de control.
- Evidencia de filtraciones de aguas de lluvia en la cubierta del edificio de la central y del edificio de control.
- Evidencias de asentamientos en la base de los equipos de la subestación.
- Evidencias de procesos erosivos y/o generación de cárcavas producto de las precipitaciones en la subestación.

En general.

- Las condiciones de mantenimiento de las escaleras, pasamanos y barandas, que deben ser seguras para el acceso a las áreas a inspeccionar.
- La existencia de instrumental de auscultación dañado.
- Depósitos de material fino en la base de los puntos de aforo.

Embalse.

Se recomienda tener en cuenta efectuar la inspección de las laderas del embalse para un posible deslizamiento de taludes que pudieran generar algún tipo de sobresolicitación sobre las obras de cierre. También debe mantenerse bajo observación presencia de niveles importantes de contaminación en cercanías de la Presa o el nivel de sedimentación en el área de las obras de toma, como el desarrollo de algas o colonias de bacterias obstruyeran los drenes y conductos de drenajes. En caso de no ocurrir esto último la función de la inspección se limita a informar de tal situación.

En cuanto al control de los procesos de sedimentación, su evaluación se realiza en forma cuantitativa a través de estudios batimétricos periódicos que forman parte de las rutinas de auscultación previstas.

Frecuencia de las inspecciones. Las frecuencias de las inspecciones regulares deberán ajustarse a los diferentes períodos de la Obra, en particular, llenado, primeros meses de operación, y servicio u operación normal. En particular, se recomienda la implementación del siguiente esquema:

- Durante el Llenado: Todos los días por el Técnico Inspector y una vez por semana por el Profesional Inspector.
- Durante los siguientes 6 meses: Cada 7 días por el Técnico Inspector y cada 30 días por el Profesional Inspector.
- Fase de Operación Normal: Cada 30 días por el Técnico Inspector y cada 6 meses por el Profesional Inspector.
- Para las Inspecciones Sub-acuáticas: 1 vez al momento de finalizado el período de llenado, una vez sobre la finalización del período de vigilancia de 6 meses posteriores, y, finalmente en fase de operación normal, 1 vez cada 5 años.
- Para las Inspecciones al Perilago: 1 vez al momento de finalizado el período de llenado, una vez sobre la finalización del período de vigilancia de 6 meses posteriores, y, finalmente en fase de operación normal, 1 vez cada 2 años.

Libro de Novedades diarias. El encargado de la auscultación de la Obra deberá llevar un libro de Novedades foliado, en el cual se registrarán todos los acontecimientos particulares que acontezcan dentro del ámbito del emplazamiento y que guarden vinculación con alguno de los aspectos de seguridad de presas mencionados en este manual.

4.3.5. Inspección de Seguridad Después de la Ocurrencia de un Sismo Severo.

De acuerdo a los antecedentes de Proyecto Hidroagrícola Gral. Francisco J. Mújica se encuentra emplazado dentro de una zona de riesgo sísmico moderado a alto. A tal fin, se incluyen a continuación las recomendaciones y procedimientos de inspección a implementar en el caso de la ocurrencia de un sismo severo, a partir de las indicaciones

del Boletín 62 de ICOLD (Comité Internacional de Grandes Presas) “Guía para la Inspección de Presas después de un Sismo” publicado en 1988 y revisado en 2008.

Los sismos, según su intensidad, pueden causar la falla de la presa o severos daños en la misma y en sus estructuras. Luego de un sismo de características destructivas es necesario proceder a una revisión inmediata a fin de prevenir posibles roturas o fallas de las estructuras.

Ocurrido un sismo, deben seguirse acciones de dos tipos conforme al grado de urgencia de su implementación:

- Inspección inmediata por el Técnico Inspector o por el responsable de la operación de la Central.
- Inspección posterior por Profesionales de la ingeniería: Profesional Inspector, Profesional Responsable, Especialistas de acuerdo al nivel de daño observado.

Inspección Inmediata. La finalidad de esta inspección es determinar de manera urgente los daños más evidentes que ha sufrido la presa. Por ello debe ser realizada por el personal instalado en el emplazamiento o en sus cercanías con mayor rapidez de acceso a la Obra, siguiendo las indicaciones detalladas a continuación.

Si se ha percibido en el Proyecto la ocurrencia de un sismo o bien, a través de los medios de comunicación u organismos competentes se ha reportado la ocurrencia de un terremoto de las siguientes características:

MAGNITUD RICHTER	DISTANCIA DEL EMPLAZAMIENTO AL EPICENTRO
4.0 o mayor	< 25 Km.
5.0 o mayor	< 50 Km.
6.0 o mayor	< 80 Km.
7.0 o mayor	< 125 Km.
8.0 o mayor	< 200 Km.

Deberán seguirse los siguientes procedimientos:

- A. Inmediatamente, se debe realizar una inspección visual general de la presa de CCR y presa de núcleo con enrocamiento y de los taludes de conglomerado aguas abajo.
- B. Si la presa presenta daños importantes con tendencia a incrementarse o existen nuevos flujos de agua pasando hacia aguas abajo, se deben implementar inmediatamente los procedimientos previstos para emergencias severas.
- C. Si se produce una anormal reducción en el flujo hacia el embalse, inmediatamente se debe inspeccionar el curso de los ríos afluentes, con el fin de detectar posibles deslizamientos de laderas que puedan generar el embalse de grandes cantidades de agua y la posibilidad de ocurrencia de un aluvión. En este caso también se deben implementar los procedimientos previstos para emergencias.
- D. Si se observa que ha ocurrido un daño pero que no ha sido lo suficientemente serio para producir la falla de la presa, siga el siguiente procedimiento:

- Rápidamente observe la naturaleza, ubicación y extensión del daño. La descripción del daño incluirá todos los detalles posibles, incluyendo cuando sea posible la definición de su ubicación y extensión.
- Reporte toda la información al Profesional Responsable, Profesional Inspector o, si no se puede establecer comunicación con estas personas, informe directamente al Organismo competente en el ámbito de la seguridad de presas. Cuando informe por teléfono o radio, esté absolutamente seguro del estado de la presa, y la extensión del daño, asegurándose de que la persona que recibe la información identifica claramente su evaluación y descripción del riesgo potencial de la presa.
- Reitere la inspección de los sectores donde se observan daños y mantenga comunicación con la persona que recibió el reporte inicial.
- Estimar la intensidad del sismo utilizando la Escala de Mercalli Modificada.
- Manténgase preparado para realizar inspecciones en cualquier momento debido a posibles replicas del sismo.

E. Realice una inspección exhaustiva de los siguientes sectores:

- Ambas caras de las presas buscando grietas, asentamientos o filtraciones.
- Estribos tratando de detectar posibles desplazamientos, grietas, nuevas filtraciones.
- Drenes y filtraciones, por incremento o por interrupción del flujo.
- Estructura del vertedero por fisuras estructurales de la rápida y muros laterales.
- Casa de Máquinas por fisuras, deslizamiento de laderas y/o taludes.
- Equipos auxiliares de potencia (Generador Diesel).
- Parte visible del embalse y áreas aguas abajo por deslizamientos, nuevas filtraciones, surgencias, etc.

F. Continúe la inspección y el monitoreo de los principales instrumentos de auscultación durante las siguientes 48 horas o hasta recibir instrucciones del Profesional Responsable dado que puede ocurrir un daño no observable y con cierto retardo desde la ocurrencia del Sismo.

G. Pueden ocurrir posterior a un sismo, asentamientos de estructuras, reactivación de antiguos deslizamientos o desarrollo de nuevos deslizamientos o filtraciones. Por esta razón debe realizarse una nueva inspección entre dos semanas y un mes después del sismo.

H. Para obtener información del comportamiento de la presa y estructuras luego del sismo se deben realizar lecturas más frecuentes de los instrumentos de auscultación, especialmente piezómetros.

Inspección Posterior. La inspección posterior consiste en una inspección profunda de todos y cada uno de los diferentes sectores y estructuras del aprovechamiento a fin de determinar cualquier cambio que pueda haber producido el sismo. Las observaciones deberán complementarse con dibujos, planos y fotografías tomadas cuanto antes en los sectores afectados.

I. Cortina de CCR. La estructura del vertedero, aireador, muros laterales, módulos de presa, etc. deben ser inspeccionados a fin de detectar si han sufrido alteraciones que alteren su funcionamiento tanto estructural como hidráulico. En particular:

- Aparición o incremento de filtraciones en juntas entre módulos o a través de juntas constructivas o fisuras.
 - Incremento en los caudales de filtración en los drenes que desaguan en la galería de inspección y drenaje.
 - Aparición de nuevas fisuras en los paramentos de aguas arriba y/o aguas abajo.
 - La frecuencia de medición de los caudales colectados por el sistema de drenaje y piezómetros debe ser incrementada a fin de determinar si se ha producido algún tipo de alteración significativa en la fundación o en el propio cuerpo de la presa.
 - Aparición de desniveles en las juntas entre módulos
- J. Presa de Núcleo y Enrocamiento. La superficie exterior de la presa puede, a menudo, dar un indicio del comportamiento del interior de la estructura. Por esta razón debe realizarse un examen cuidadoso de todas las caras expuestas de la presa tratando de detectar cualquier evidencia de desplazamientos, fisuras, sinkholes y zonas húmedas. En particular, debe considerarse:
- Los desplazamientos superficiales en el cuerpo de la presa a menudo pueden detectarse por examen visual.
 - Debe realizarse una cuidadosa observación del coronamiento, tratando de detectar la presencia de fisuras y depresiones que podrían ser indicativas de deslizamientos o asentamientos.
 - Deben inspeccionarse con detalle los taludes de aguas arriba y aguas abajo y las áreas aguas abajo de la presa en busca de depresiones, combaduras, u otra modificación de la forma de aquellas superficies inicialmente suaves y planas.
 - Si se sospecha que se ha producido algún tipo de movimiento, debe implementarse en forma inmediata una campaña de mediciones microgeodésicas.
 - La aparición de fisuras cerca de los estribos o en el contacto de la presa de núcleo y enrocamiento con la obra de CCR pueden ser evidencias de asentamientos diferenciales y un indicio de que pueden abrirse caminos preferenciales de filtración en la zona de contacto, por lo cual debe realizarse una observación minuciosa en busca de nuevas zonas húmedas y un seguimiento detallado de los caudales aforados en ese sector.
 - Debe inspeccionarse la cara de aguas abajo, el pié de presa y los estribos examinando la aparición de nuevas zonas húmedas, hervideros (“sandboils”), depresiones, sumideros (“sinkholes”) o hinchamientos. La aparición de algunos de estos síntomas pueden indicar filtraciones excesivas o concentradas a través de la presa o sus estribos.
 - La frecuencia de medición de los caudales aforados debe incrementarse a fin de determinar la evolución del caudal de las filtraciones. Debe considerarse que tanto un aumento sostenido (nuevas vías de filtración) como una marcada reducción (pérdida o disminución de la eficiencia del sistema de drenaje) pueden conducir a situaciones inseguras.
- K. Embalse. La región que rodea al lago debe ser examinada cuanto antes a fin de obtener indicaciones de posibles deslizamientos. Debe chequearse en la región la

presencia o no de indicadores de fenómenos de subsidencia como “sinkholes” o asentamientos de rutas y estructuras. La reacción de otras estructuras ubicadas sobre la misma formación geológica puede proveer información valiosa sobre el posible comportamiento de la presa y sus estribos.

- L. Central, Tubería de Aducción y Edificio de Control. Estas estructuras son relativamente independientes del cierre y su inspección, que se entiende como necesaria, puede realizarse en una segunda etapa, luego de garantizadas las condiciones de seguridad de la Cortina de CCR, presa de núcleo y enrocamiento y de los estribos. Como única medida de revisión urgente resulta el mantenimiento de los caudales ecológicos al cauce del río ya que una interrupción del mismo podría derivar en daños al ecosistema hacia aguas abajo de la presa.

4.4. PROCESAMIENTO, CONTROL Y DOCUMENTACIÓN DE DATOS.

4.4.1. Criterios Generales.

El equipo responsable de la Auscultación permanente de la presa debe realizar en forma inmediata el procesamiento y validación de los resultados de las mediciones al objeto de poder realizar en forma temprana la detección de cualquier anomalía. Para ello resulta recomendable disponer de un equipo de computación y software, al objeto de realizar el procesamiento y almacenamiento de los datos.

Los resultados de cada medición deben ser comparados en forma inmediata con las últimas mediciones en condiciones comparables (nivel del embalse, período del año, nivel de restitución, etc.) y con los valores referenciales preestablecidos. De esta forma, en caso de observarse un apartamiento, podrá verificarse en forma rápida la medición y, de persistir el valor, adoptar las previsiones correspondientes.

Los gráficos simples (cronológicos y de dispersión) ayudan en la revisión de mediciones, pero deben complementarse con gráficos combinados del tipo Causa-Efecto a fin de permitir establecer las comparaciones mencionadas. Debido a la cantidad importante de datos que se genera en el sistema de Auscultación, es indispensable contar con un sistema de graficación que permita controlar visualmente y en forma expeditiva la congruencia de las mediciones o los apartamientos que puedan significar eventuales anomalías.

4.4.2. Análisis y Presentación de la Información.

A fin de permitir un análisis más profundo por parte de los ingenieros especialistas, los datos deben presentarse en forma de gráfica. La interpretación y el análisis de estos gráficos permiten la evaluación del comportamiento de la Obra, la que debe ser comentada en informes realizados ex profeso junto con la documentación de las inspecciones. Los informes de Auscultación se clasificarán en tres tipos:

- Informes Mensuales.
- Informes Semestrales.
- Informes Especiales.

El análisis e interpretación de los datos de instrumentación debe apuntar al menos a contestar las siguientes preguntas: (extractado de la publicación del Ing. Giovanni Lombardi - año 2001 - “Análisis e interpretación de los datos de Auscultación”):

- ¿Sigue la presa comportándose como hizo hasta la fecha, es decir en los años pasados? ¿O bien pasa algo de nuevo?
- ¿La presa se comporta como el ingeniero que la diseñó y la calculó, considera que debe hacerlo?
- ¿Si hay discrepancias, bajo uno u otro criterio, a que son debidas?
- ¿Hay errores de medición? O transmisión de datos?
- ¿Hay casos de carga no esperados?
- ¿Hay una evolución lenta de las características de los materiales?
- ¿Hay cambios bruscos que pueden indicar un problema y el acercarse de un peligro?

Informes Mensuales. Los informes mensuales deben contener los datos de auscultación, la información obtenida de las inspecciones mensuales y el análisis de toda ésta. Con toda esta información se realizará un diagnóstico expeditivo del estado de comportamiento de las obras. Del mismo podrá surgir la necesidad de la realización de tareas de remediación o correctivas, o bien, si se detectasen problemas severos, de convocar al equipo de Ingeniería para una evaluación del estado de situación.

Informes Semestrales. Cada informe semestral debe constituir el cierre del análisis de la seguridad de la presa en ese período y debe ser elaborado por un Ingeniero Civil. El objetivo de estos informes es documentar el análisis del comportamiento de las estructuras que componen el Proyecto a partir de la interpretación de la evolución de los parámetros de auscultación indicativos de tal comportamiento y de una inspección visual hecha al efecto sobre todas las partes de la Obra. Estos informes deben incluir las conclusiones de la inspección visual Semestral a los diferentes sectores de la Obra, el estudio de las condiciones de “normalidad” en el período (grado de apartamiento a las lecturas históricas), los valores alcanzados por cada parámetro con relación a las condiciones de estabilidad del conjunto, la formulación de hipótesis del comportamiento y el diagnóstico correspondiente.

Informes Especiales. Consisten en informes particulares sobre determinados eventos en particular (mantenimiento sobre el sistema de drenaje, modificación de dispositivos de auscultación, comportamiento de la Obra ante eventos excepcionales – crecidas, sismos – etc.). Se entiende que responden a una finalidad específica y su realización tiene como objeto permitir dejar asentado el conjunto de antecedentes obtenidos y los estudios y análisis efectuados así como las medidas implementadas sobre determinada cuestión en particular.

4.4.3. Protocolización de los Dispositivos e Instrumentos de Medición.

A fin de mantener un adecuado registro de todas las circunstancias que se relacionan a la Instrumentación y a los diferentes dispositivos de control instalados en la Obra, el equipo de Auscultación deberá mantener actualizado un archivo en el cual consten todas las novedades vinculadas a los distintos dispositivos e instrumentos de medición.

Para ello, se deberá elaborar un fichero (se recomienda informatizado) en el cual se indique para cada dispositivo o instrumento los siguientes datos mínimos:

- Denominación.
- Ubicación.
- Fórmula de cálculo.
- Constantes de la fórmula.

- Valores de referencia si los hubiere (Ej.: cota de boca para los piezómetros).
- Estado de funcionamiento.

Se registrará también allí toda novedad o cambio que se produzca en las condiciones de funcionamiento y/o cálculo, dejando registrada la fecha en que se produjo la novedad (por ejemplo, la modificación de la cota de boca de un piezómetro luego de una campaña de verificación por nivelación).

Este registro alcanza también a las unidades lectoras y dispositivos de medición en general (Sondas, Calibres, etc.) asentándose en este caso las tareas de reparación realizadas, el personal interviniente, los resultados de las campañas de verificación periódicas, fecha de las diferentes novedades, etc.

4.4.4. Respaldo de Seguridad de la Información de Auscultación.

Se deberá mantener un archivo en el cual se guarden las planillas de campo utilizadas por el personal de Auscultación en las cuales consten los valores de las mediciones realizadas.

Estas planillas deberán ser archivadas en forma ordenada y por fecha a fin de constituir un respaldo a los valores que se incorporan a la base de datos. El contenido de este archivo podrá ser parcialmente eliminado en forma periódica descartando las planillas ya procesadas y con más de 6 meses de antigüedad.

Con respecto a las bases de datos informatizadas en las cuales se registran las mediciones de todo el instrumental, deberán poseer un respaldo en medio alternativo al disco rígido del computador en el cual se encuentre instalado (DVD, CD, Pen Drive, etc.), el cual deberá ser actualizado con una periodicidad no mayor a 7 días.

4.5. RESULTADOS DEL SEGUIMIENTO DE LA INSTRUMENTACIÓN.

4.5.1. Planos de Proyecto, Localización de la Instrumentación en cada Sector del Proyecto Gral. Francisco J. Mújica.

Se encontraran casos en que la posición de la instrumentación deberá ser ajustada en el sitio, es decir hacer modificaciones de acuerdo a proyecto.

El posicionamiento final de los instrumentos deberá ser ajustado de acuerdo a las condiciones geológico-geotécnicas encontradas con las excavaciones y los sondeos exploratorios de la cortina de inyecciones, como con la condiciones del talud de enrocado terminado aguas abajo.

La modificación del posicionamiento de cualquier instrumento será determinado en consulta por la CNA Y CDESTEM del Estado de Michoacán.

b) Piezómetros de Tubo Abierto Tipo "STAND PIPE".

PSP-01, PSP-02, PSP-03, PSP-04, PSP-05, PSP-06, PSP-07, PSP-08, PSP-09, PSP-10, PSP-11, PSP-12, PSP-13, PSP-14, PSP-15, PSP-16, PSP-17, PSP-18, PSP-19, PSP-20, PSP-21, PSP-22, PSP-23, PSP-24, PSP-32, PSP-33, PSP-34, PSP-35, PSP-36, PSP-37, PSP-38, PSP-39.

c) Medidores Triortogonales de Junta.

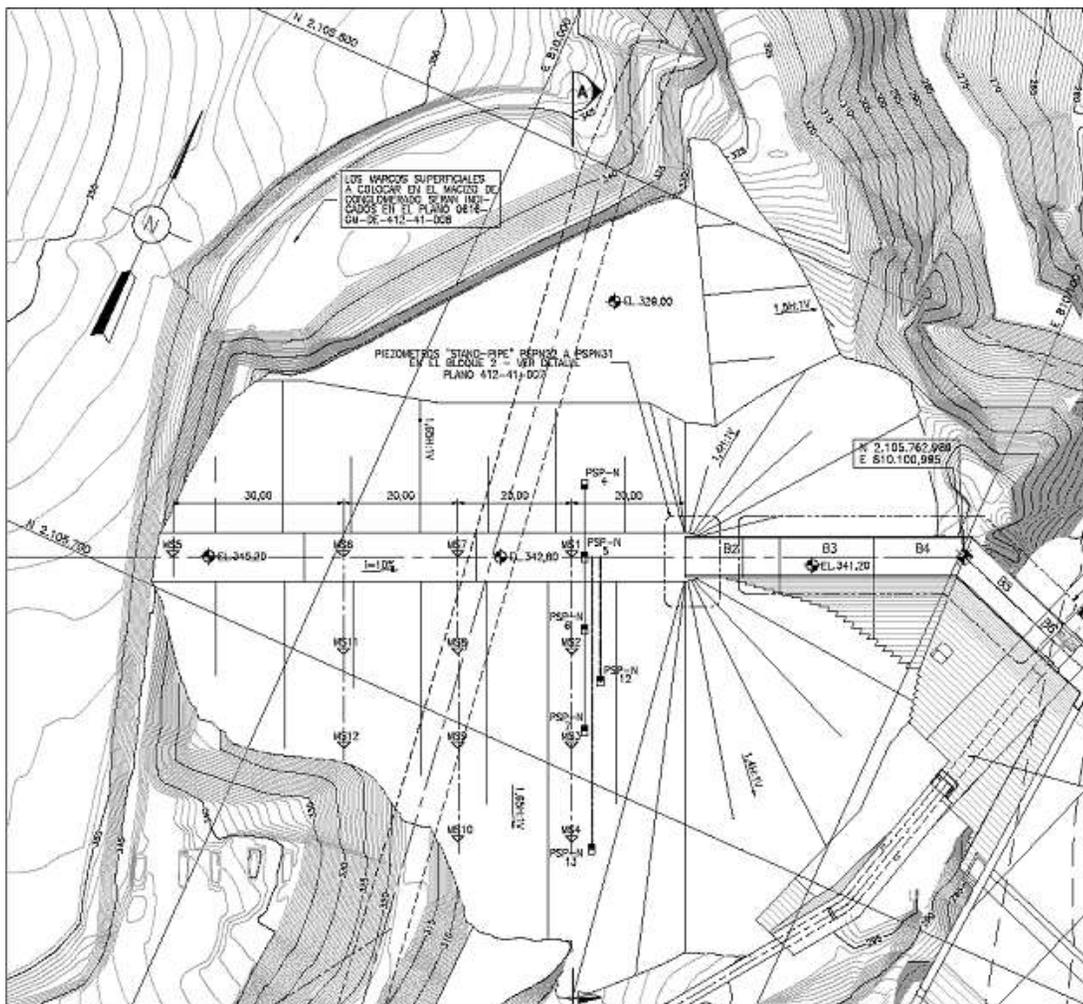
MTD-01, MTD-02, MTD-03, MTD-04, MTD-05, MTD-06, MTD-07, MTD-08, MTD-09, MTD-10, MTD-11 y MTD-12.

d) Medidor de Desagüe Triangular.

MV-01, MV-02, MV-03, MV-04, MV-05 Y MV-06.

e) Péndulo Directo.

4.5.1.2. Presa de Cierre de Núcleo y Enrocamiento.



INSTRUMENTOS LOCALIZADOS

a) Piezómetros de Tubo Abierto Tipo "STAND PIPE".

PSPN-01, PSPN-02, PSPN-03, PSPN-04, PSPN-06, PSPN-07, PSPN-12, PSPN-13 y PSPN-14.

b) Marcos Superficiales.

MS1, MS2, MS3, MS4, MS5, MS6, MS7, MS8, MS9, MS10, MS11 y MS12.

4.5.1.3. Macizo Conglomerado de Margen Derecha.**INSTRUMENTOS LOCALIZADOS****a) Piezómetros de Tubo Abierto Tipo “STAND PIPE”.**

PS1, PS2, PS3, PS4, PS5, PS6, PS7, PS8, PS9, PS10, PS11, PS12, PS13, PS14, PS15, PS16, PS17, PS18, PS19 y PS20.

b) Marcos Superficiales.

MS13, MS14, MS15, MS16, MS17, MS18 y MS19.

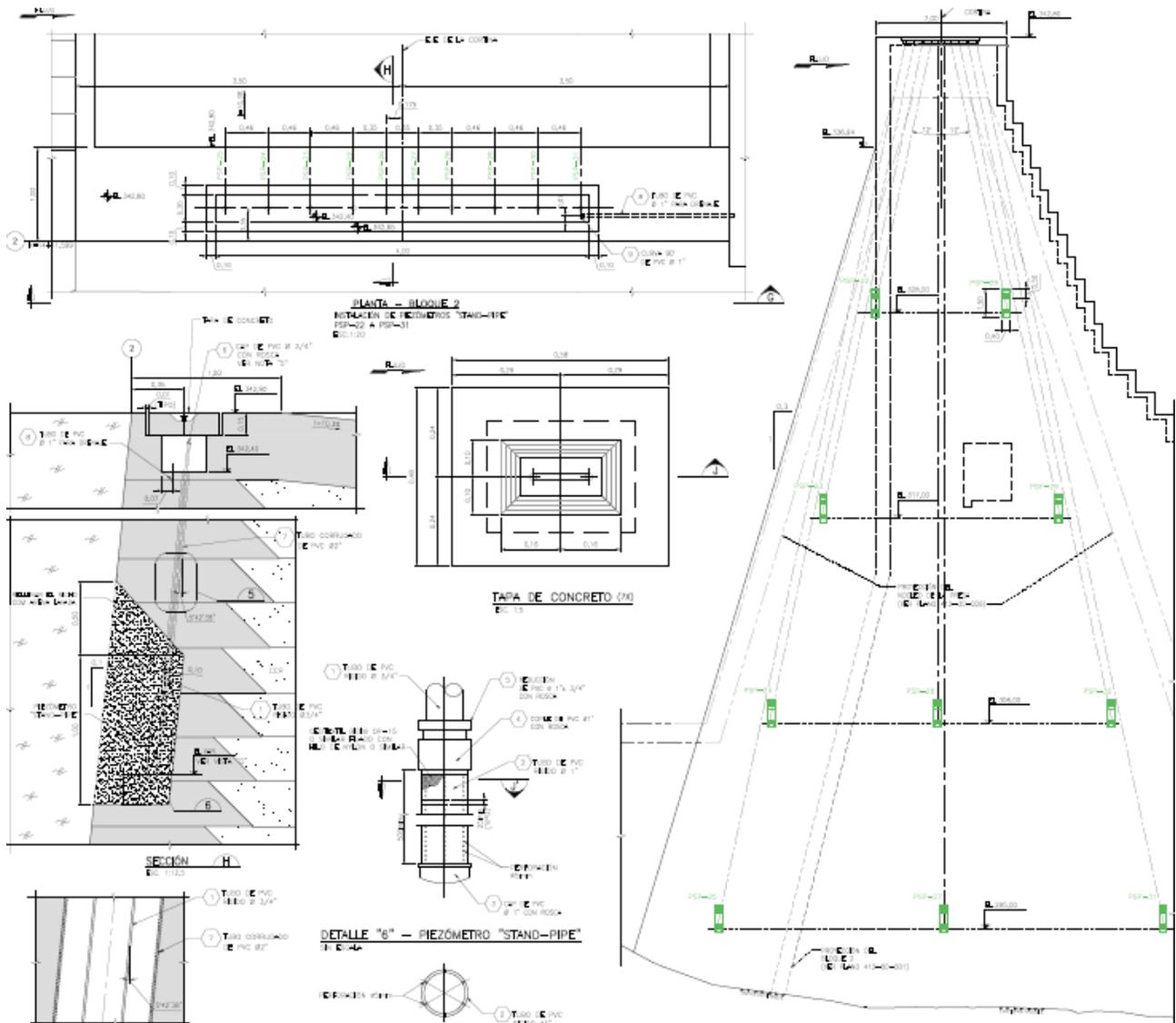
c) Inclinómetro.

I-1, I-2, I-3, e I-4.

d) Medidor de Desagüe Triangular.

MVG-01, MVG-02.

4.5.1.4. Bloque 2 de Contacto.



INSTRUMENTOS LOCALIZADOS

a) Piezómetros de Tubo Abierto Tipo "STAND PIPE".

PSPC-22, PSPC-23, PSPC-24, PSPC-25, PSPC-26, PSPC-27, PSPC-28, PSPC-29, PSPC-30 y PSPC-31.

4.5.2. Concentrado de Lecturas y Análisis de Datos.

La primera etapa de análisis, consiste en llevar las mediciones de cada instrumento sobre un grafico adaptado al fenómeno a analizar, en general, para las magnitudes físicas mecánicas, y en función de la cota de embalse, para las magnitudes físicas hidráulicas.

Para seleccionar los datos de instrumentación que se usarán en la comparación de la metodología de proyecto, se ha realizado un contraste de resultados mediante los diferentes instrumentos, para tener una idea de los datos que a prioridad parecen más fiables y los que no. Un primer paso para observar la congruencia de resultados ha sido analizar los instrumentos que miden el mismo tipo de movimientos y comparar asientos máximos registrados en unos y en otros.

A continuación se presenta una discusión sobre cada tipo de instrumento existente y del resultado que este ha dado para los casos de estudio.

4.5.2.1. Extensómetros Múltiples.

HOJA DE CAPTURA DE DATOS DE CAMPO OBTENIDOS EXTENSOMETROS

FECHA:		HORA:		ELEV. EMBALSE :	
EXTENSOMETRO	LECTURA 1	LECTURA 2	LECTURA 3	OBSERVACIONES	
EM-01					
EM-02					
EM-03					
EM-04					
EM-05					
EM-06					
EM-07					
EM-08					
EM-09					
EM-10					
EM-11					
EM-12					
EM-13					
EM-14					
EM-15					
EM-16					
EM-17					
EM-18					
EM-19					
EM-20					
EM-21					
EM-22					
EM-23					
EM-24					
EM-25					
EM-26					
EM-27					
EM-28					
EM-29					
EM-30					

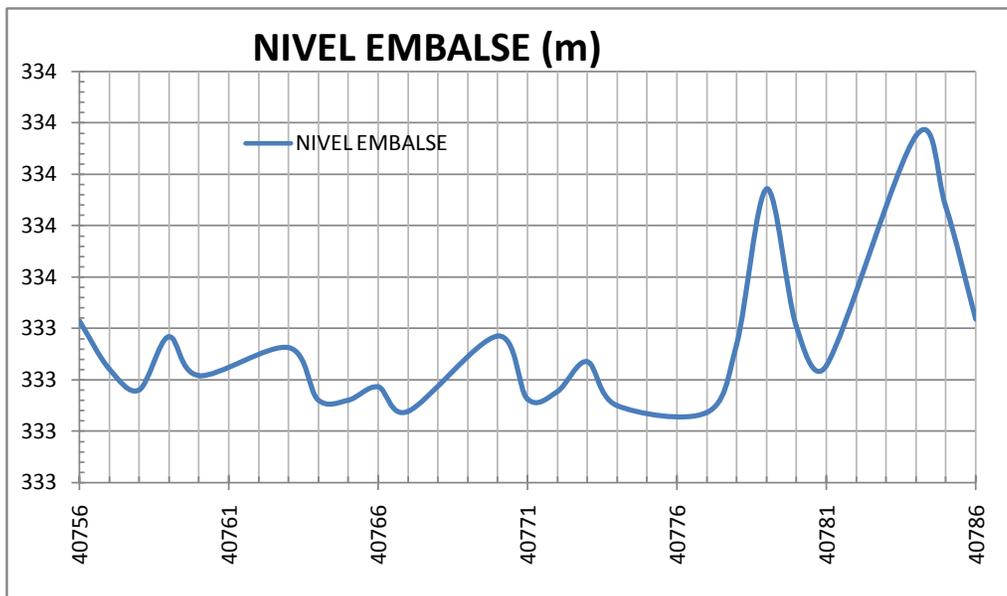
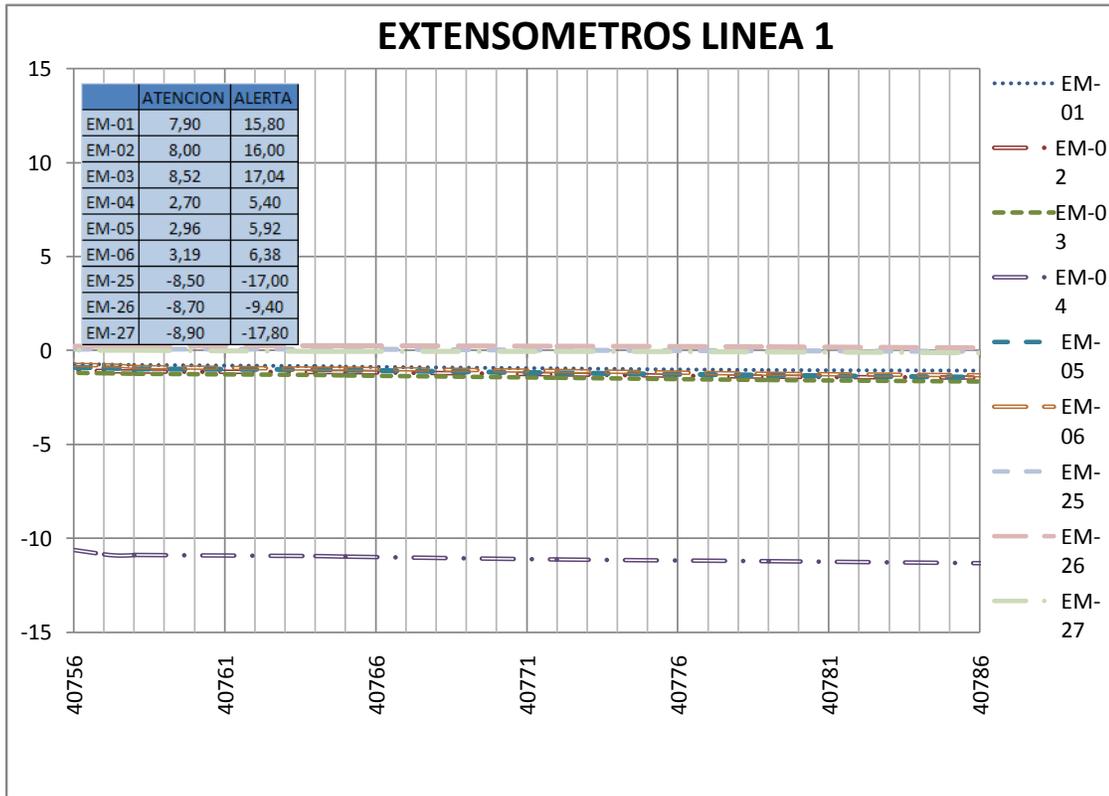
REPORTE GENERAL DE STATUS DE INSTRUMENTACION EXTENSOMETROS

IDENTIFICACIÓN DEL APARATO	PROFUNDIDAD DE PROYECTO	PROFUNDIDAD DE CAMPO	FECHA PRIMERA LECTURA VALIDA	FECHA ULTIMA LECTURA	NIVELES EMBALSE 333.00		NIVELES EMBALSE 340.50		UBICACIÓN GALERIA	OBSERVACIONES
					ATENCIÓN	ALERTA	ATENCIÓN	ALERTA		
EM-01	44.160	46.100	03/02/2011		7,90	15,80	9,03	18,06	BLOQUE 2 AGUAS ARRIBA	FUNCIONANDO
EM-02	44.160	46.100	03/02/2011		8,00	16,00	9,44	18,88	BLOQUE 2 AGUAS ARRIBA	FUNCIONANDO
EM-03	44.160	46.100	03/02/2011		8,52	17,04	9,96	19,92	BLOQUE 2 AGUAS ARRIBA	FUNCIONANDO
EM-04	44.670	48.800	07/02/2011		2,70	5,40	0,60	1,20	BLOQUE 2 AGUAS ABAJO	FUNCIONANDO
EM-05	44.670	48.800	03/02/2011		2,96	5,92	1,20	2,40	BLOQUE 2 AGUAS ABAJO	FUNCIONANDO
EM-06	44.670	48.800	03/02/2011		3,19	6,38	1,40	2,80	BLOQUE 2 AGUAS ABAJO	FUNCIONANDO
EM-07	49.870	57.300	03/08/2011		4,80	9,60	7,00	14,00	BLOQUE 6 AGUAS ARRIBA	FUNCIONANDO
EM-08	49.870	57.300	03/08/2011		6,80	13,60	9,50	19,00	BLOQUE 6 AGUAS ARRIBA	FUNCIONANDO
EM-09	49.870	57.300	03/08/2011		7,20	14,40	10,00	20,00	BLOQUE 6 AGUAS ARRIBA	FUNCIONANDO
EM-10	51.940	61.000	03/08/2011		-1,70	-3,40	-0,70	-1,40	BLOQUE 6 AGUAS ABAJO	INSTALADOS
EM-11	51.940	61.000	03/08/2011		-0,80	-1,60	0,50	1,00	BLOQUE 6 AGUAS ABAJO	INSTALADOS
EM-12	51.940	61.000	03/08/2011		-0,70	-1,40	0,60	1,20	BLOQUE 6 AGUAS ABAJO	INSTALADOS
EM-13	47.850	50.400	03/08/2011		2,15	4,30	2,70	5,40	BLOQUE 7 AGUAS ARRIBA	FUNCIONANDO
EM-14	47.850	50.400	03/08/2011		2,52	5,04	3,18	6,36	BLOQUE 7 AGUAS ARRIBA	FUNCIONANDO
EM-15	47.850	50.400	03/08/2011		2,82	5,64	3,58	7,16	BLOQUE 7 AGUAS ARRIBA	FUNCIONANDO
EM-16	49.750	50.000	03/08/2011		0,28	0,56	0,52	1,04	BLOQUE 7 AGUAS ABAJO	INSTALADOS
EM-17	49.750	50.000	03/08/2011		0,28	0,56	0,56	1,12	BLOQUE 7 AGUAS ABAJO	INSTALADOS
EM-18	49.750	50.000	03/08/2011		0,24	0,48	0,56	1,12	BLOQUE 7 AGUAS ABAJO	INSTALADOS
EM-19	45.700	45.000	03/08/2011		3,02	6,04	4,31	8,62	BLOQUE 9 AGUAS ARRIBA	FUNCIONANDO
EM-20	45.700	45.000	03/08/2011		3,95	7,90	5,40	10,80	BLOQUE 9 AGUAS ARRIBA	FUNCIONANDO
EM-21	45.700	45.000	03/08/2011		4,56	9,12	6,13	12,26	BLOQUE 9 AGUAS ARRIBA	FUNCIONANDO
EM-22			03/08/2011		-1,22	-2,44	-0,68	-1,36	BLOQUE 9 AGUAS ABAJO	FUNCIONANDO
EM-23			03/08/2011		-0,77	-1,54	-0,11	-0,22	BLOQUE 9 AGUAS ABAJO	FUNCIONANDO
EM-24			03/08/2011		-0,18	-0,36	0,62	1,24	BLOQUE 9 AGUAS ABAJO	FUNCIONANDO
EM-25	67.060	67.200	03/02/2011		-8,50	-17,00	-16,60	-33,20	BLOQUE 2 AGUAS ABAJO	FUNCIONANDO
EM-26	67.060	67.200	03/02/2011		-8,70	-9,40	-17,00	-34,00	BLOQUE 2 AGUAS ABAJO	FUNCIONANDO
EM-27	67.060	67.200	03/02/2011		-8,90	-17,80	-17,40	-34,80	BLOQUE 2 AGUAS ABAJO	FUNCIONANDO
EM-28	64.600	67.000	03/02/2011		-3,57	-7,14	-5,05	-10,10	BLOQUE 6 AGUAS ABAJO	FUNCIONANDO
EM-29	64.600	67.000	03/02/2011		-3,52	-7,04	-5,01	-10,02	BLOQUE 6 AGUAS ABAJO	FUNCIONANDO
EM-30	64.600	67.000	03/02/2011		-3,79	-7,58	-5,36	-10,72	BLOQUE 6 AGUAS ABAJO	FUNCIONANDO

HOJA DE REPORTE DE DEZPLAZAMIENTOS REGISTRADOS EN EXTENSOMETROS

FECHA:	11/10/2011	ELEV. EMBALSE :	333.515
EXTENSOMETRO	LECTURA INICIAL	LECTURA	DESPLAZAMIENTO
EM-01	40.170	38.810	-1.360
EM-02	41.550	39.740	-1.810
EM-03	34.470	32.310	-2.160
EM-04	39.37	27.870	-11.500
EM-05	26.340	24.550	-1.790
EM-06	35.090	33.455	-1.635
EM-07	49.300	49.310	0.010
EM-08	38.490	38.405	-0.085
EM-09	42.490	42.495	0.005
EM-10	48.450	48.905	0.455
EM-11	42.090	42.840	0.750
EM-12	39.720	39.965	0.245
EM-13	40.900	40.560	-0.340
EM-14	42.230	41.810	-0.420
EM-15	47.600	47.280	-0.320
EM-16	39.900	39.580	-0.320
EM-17	41.960	41.700	-0.260
EM-18	47.060	46.920	-0.140
EM-19	47.540	47.405	-0.135
EM-20	40.615	40.550	-0.065
EM-21	23.510	23.290	-0.220
EM-22	48.730	48.620	-0.110
EM-23	47.620	47.705	0.085
EM-24	37.850	37.970	0.120
EM-25	45.690	45.570	-0.120
EM-26	10.920	10.965	0.045
EM-27	25.100	24.870	-0.230
EM-28	34.390	33.210	-1.180
EM-29	29.030	15.030	-14.000
EM-30	32.130	29.415	-2.715

REPORTE GRAFICO DE DEFORMACIONES DE EXTENSOMETROS



4.5.2.2. Piezómetros de Tubo Abierto Tipo "STAND PIPE".

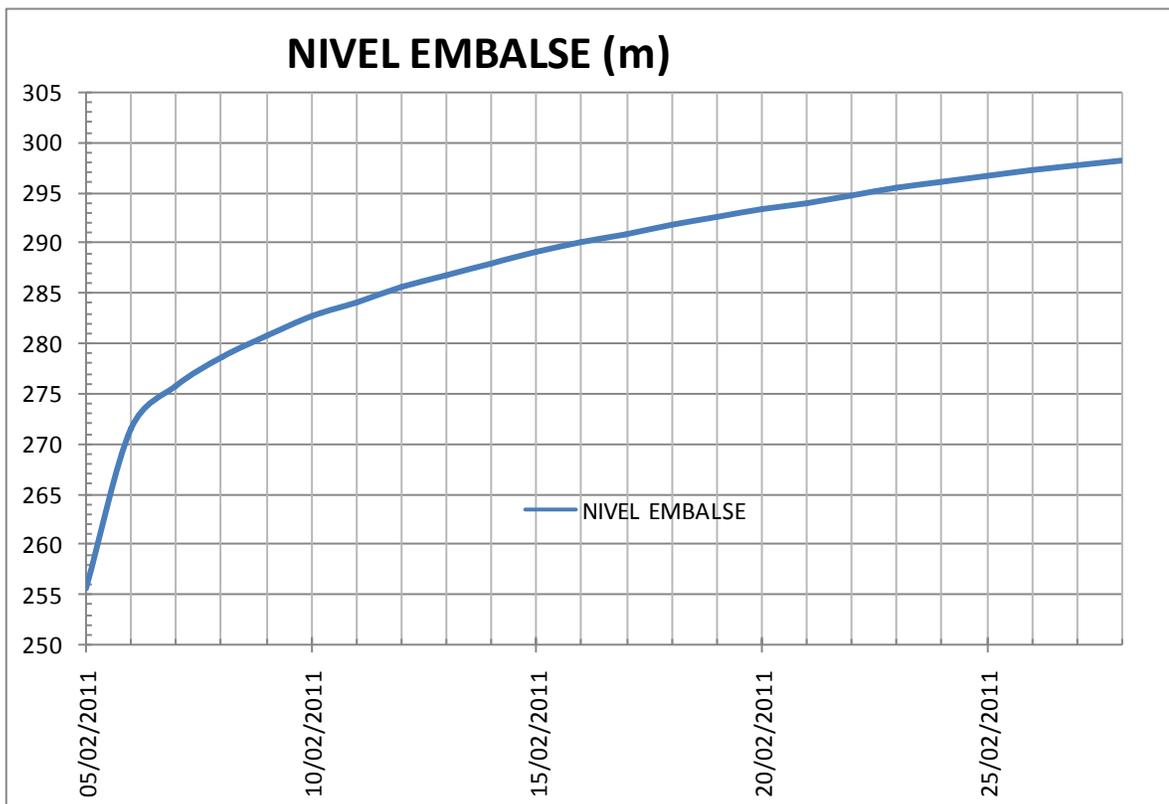
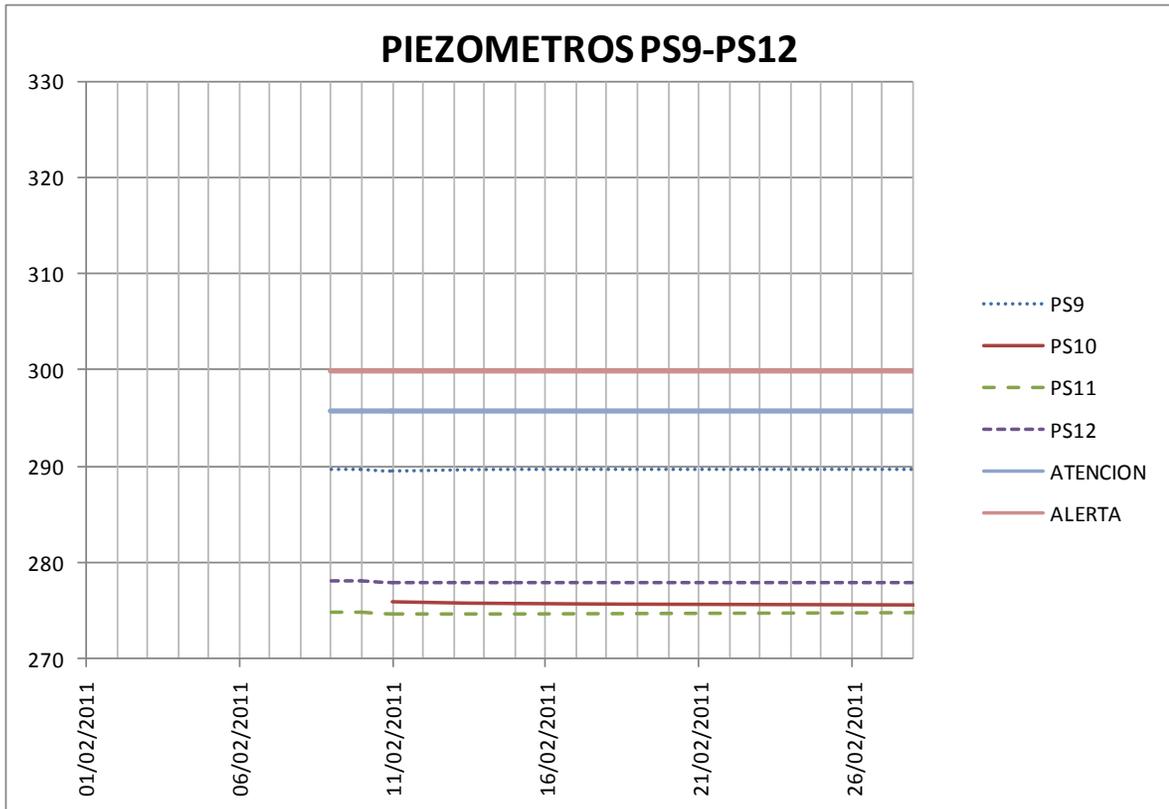
HOJA DE CAPTURA DE DATOS DE CAMPO OBTENIDOS DE PIEZÓMETROS

FECHA:	04/05/2011			ELEV. EMBAL	317.57	msnm
PIEZOMETRO	ELEVACION BROCAL	PROFUNDIDAD AGUA	COTA PIEZOMETRICA	LINEA PIEZOMETROS/OBSERVACIONES		
PS1	361.64			LINEA 1 MARGEN DERECHA		
PS2	360.32	56.910	303.41			
PS3	355.73					
PS4	354.45	55.679	298.77			
PS5	353.45	33.450	320.00			
PS6	346.48					
PS7	349.93	48.977	300.96	LINEA 2, SECCION 2, MARGEN DERECHA		
PS8	343.78	65.922	277.86	LINEA 2, SECCION 1, MARGEN DERECHA		
PS9	339.70	50.315	289.38			
PS10	337.87	59.764	278.11			
PS11	337.23	59.102	278.13			
PS12	336.25	58.570	277.68			
PS13	352.17	56.398	295.77	LINEA 3, SECCION 2, MARGEN DERECHA		
PS14	344.52	65.425	279.09	LINEA 3 SECCION 1 MARGEN DERECHA		
PS15	306.28					
PS16	304.79					
PS17	303.35					
PS18	303.02	36.850	266.17			
PS19	303.00	26.120	276.88			
PS20	303.06			PRESA DE NUCLEO CON ENROCAMIENTO, SECCION 2-2 ABRAZO		
PSP-C22	342.60					
PSP-C23	342.61					
PSP-C24	342.60	37.730	304.87			
PSP-C25	342.62	26.868	315.75			
PSP-C26	342.58					
PSP-C27	342.58					
PSP-C28	342.54					
PSP-C29	342.55					
PSP-C30	342.57	36.870	305.70			
PSP-C31	342.62			PRESA DE NUCLEO CON ENROCAMIENTO, SECCION 1-		
PSP-N01	342.86					
PSP-N02	342.89					
PSP-N03	342.88					
PSP-N04	342.86					
PSP-N05	342.89					
PSP-N06	342.88			PRESA DE ENROCAMIENTO CON NUCLEO		
PSP-N07	327.36					
PSP-N12	332.90					
PSP-N13	313.81					
PSP-N14	337.76					

REPORTE GENERAL DE STATUS DE INSTRUMENTACION EN PIEZÓMETROS

IDENTIFICACIÓN DEL APARATO	PROFUNDIDAD DE PERFORACION	PROFUNDIDAD DE CAMPO	FECHA INICIO DE LECTURAS	FECHA ULTIMA LECTURA	ELEVACION BROCAL	NIVELES A LA COTA 333.00		NIVELES A LA COTA 320.00		UBICACIÓN	OBSERVACIONES	OBSERVACIONES ADICIONALES			
						ATENCIÓN	ALERTA	ATENCIÓN	ALERTA			FALTA TAPA	FALTA ROTULOS	FALTA DREN	FALTA TAPON
PS1	63.00	57.43	09/02/11		361.635	303.500	310.500			LINEA 1	REPERFORAR			X	
PS2	61.00	60.89	09/02/11		360.319	303.500	310.500			LINEA 1					X
PS3	56.50	49.90	10/02/11		355.734	303.500	310.500			LINEA 1	REPERFORAR			X	
PS4	64.00	58.66	07/03/11		354.452	303.500	310.500			LINEA 1	NO TIENE DREN Y LE FALTA UNA AGARRADERA			X	X
PS5	62.50	34.47	09/02/11		353.448	303.500	310.500			LINEA 1	EL ROTULO YA CASI NO ES VISIBLE Y FALTA REPERFORAR				X
PS6	60.50	60.41	09/02/11		346.481	303.500	310.500			LINEA 1					X
PS7	80.50	76.64	09/02/11		349.934	293.500	300.500			LINEA 2, SECCION 2					
PS8	78.50	76.92	09/02/11		343.783	293.500	300.500			LINEA 2, SECCION 2					
PS9	72.50	55.54	09/02/11		339.696	295.800	299.900			LINEA 2, SECCION 1		X	X		
PS10	73.50	67.95	11/02/11		337.871	295.800	299.900			LINEA 2, SECCION 1		X	X	X	
PS11	71.50	68.66	09/02/11		337.230	295.800	299.900			LINEA 2, SECCION 1				X	X
PS12	68.50	61.76	09/02/11		336.245	295.800	299.900			LINEA 2, SECCION 1				X	X
PS13	75.00	73.41	09/02/11		352.171	290.500	297.000			LINEA 3, SECCION 2				X	X
PS14	68.50	68.09	10/02/11		344.516	290.500	297.000			LINEA 3, SECCION 2				X	
PS15		55.12	25/05/11		306.279	291.100	294.500			LINEA 3, SECCION 1	DREN ESTA TAPA	X	X		
PS16		44.67	10/05/11		304.787	291.100	294.500			LINEA 3, SECCION 1	DREN ESTA MUY A	X	X		
PS17		35.05	12/05/11		303.346	291.100	294.500			LINEA 3, SECCION 1		X	X		
PS18	46.00	44.35	24/03/11		303.021	291.100	294.500			LINEA 3, SECCION 1	SE QUEBRO LA BASE DE CONCRETO	X	X		
PS19	44.50	40.83	23/03/11		303.004	291.100	294.500			LINEA 3, SECCION 1		X	X		
PS20		35.67	03/06/11		303.061	291.100	294.500			LINEA 3, SECCION 1	DESTRUIDO POR UN VOLTEO Y NO SE PUEDE HACER LECTURA	X	X		
PSP-N01	16.80	16.18	10/02/11		342.861	330.330	330.630			CORTINA DE CIERRE	REPERFORAR		X		X
PSP-N02	18.94	18.94	17/02/11		342.887	320.010	320.310			CORTINA DE CIERRE	REPERFORAR		X		X
PSP-N03	23.43	23.43	10/02/11		342.883	314.050	314.350			CORTINA DE CIERRE	REPERFORAR		X		X
PSP-N04	32.00	31.98			342.860	325.420	325.790			CORTINA DE CIERRE	SECO		X		X
PSP-N05	47.03	47.03	17/02/11		342.888	312.030	313.120			CORTINA DE CIERRE	SECO		X		X
PSP-N06	49.30	49.30	11/02/11		342.881	297.020	298.610			CORTINA DE CIERRE	REPERFORAR		X		X
PSP-N07	48.47	48.47	12/05/11		327.364	286.000	290.000			CORTINA DE CIERRE	SECO		X		
PSP-N08										CORTINA DE CIERRE					
PSP-N09										CORTINA DE CIERRE					
PSP-N10										CORTINA DE CIERRE					
PSP-N11										CORTINA DE CIERRE					
PSP-N12	11.06	11.06			332.899	285.000	289.000			CORTINA DE CIERRE	SECO		X		
PSP-N13	30.83	30.83	10/02/11		313.810	285.000	289.000			CORTINA DE CIERRE	SECO		X		
PSP-N14	25.40	25.40			337.760					CORTINA DE CIERRE	SECO		X		
PSP-C22		13.84			342.597	331.120	331.420			CONTACTO CCR Y NUCLEO DE ARCILLA			X	X	X
PSP-C23		26.08	14/06/11		342.607	322.470	322.770			CONTACTO CCR Y NUCLEO DE ARCILLA			X	X	X
PSP-C24		37.75	22/04/11		342.602	316.730	317.060			CONTACTO CCR Y NUCLEO DE ARCILLA			X	X	X
PSP-C25		28.59	10/02/11		342.618	314.310	316.090			CONTACTO CCR Y NUCLEO DE ARCILLA			X	X	X
PSP-C26		36.80	03/06/11		342.579	312.230	312.530			CONTACTO CCR Y NUCLEO DE ARCILLA	Tapado a 28.59m, LAS TAPAS DE CONCRETO ESTAN MUY FRACTURADAS		X	X	X
PSP-C27		47.82	11/02/11		342.580	306.080	307.370			CONTACTO CCR Y NUCLEO DE ARCILLA			X	X	X
PSP-C28		13.88			342.541	328.610	328.910			CONTACTO CCR Y NUCLEO DE ARCILLA			X	X	X

REPORTE GRAFICO DE EVOLUCIÓN EN ELEVACIONES DE PIEZÓMETROS



4.5.2.3. Medidores Triortogonales de Junta.

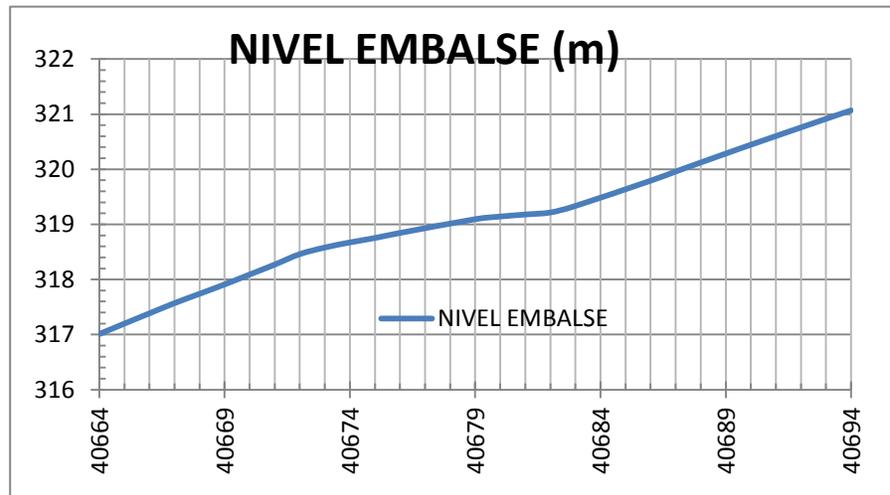
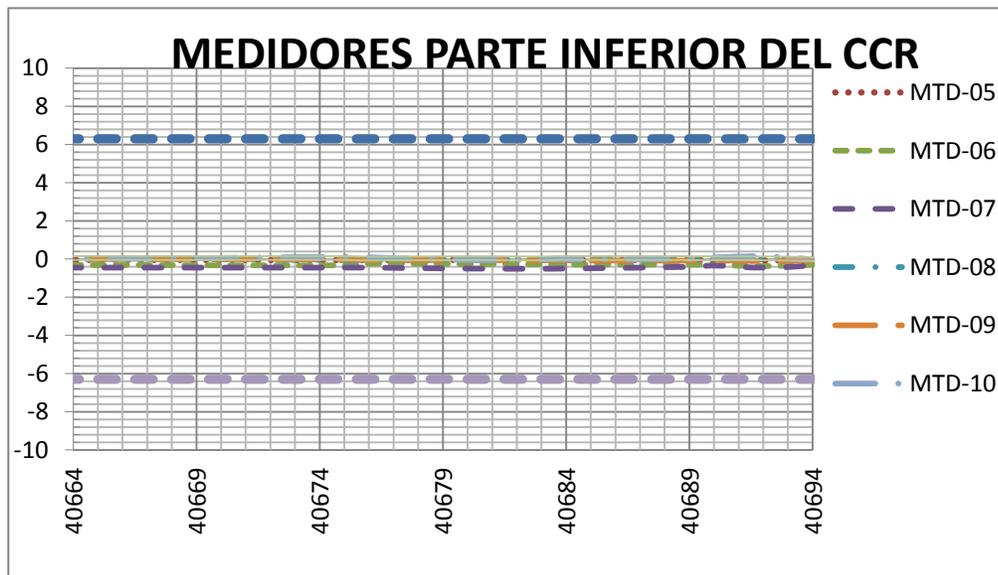
**HOJA DE CAPTURA DE DATOS DE CAMPO OBTENIDOS MEDIDORES TRIORTOGONALES
MEDICION DE LOS DESPLAZAMIENTOS ENTRE BLOQUES DE LA CORTINA**

FECHA:		HORA:		ELEV. EMBALSE:		msnm
		DEFORMACIONES				
MTD	# LEC	σ_x	σ_y	σ_z	TEMP.	OBSERVACIONES
MTD-01	1					
	2					
	3					
MTD-02	1					
	2					
	3					
MTD-03	1					
	2					
	3					
MTD-04	1					
	2					
	3					
MTD-05	1					
	2					
	3					
MTD-06	1					
	2					
	3					
MTD-07	1					
	2					
	3					
MTD-08	1					
	2					
	3					
MTD-09	1					
	2					
	3					
MTD-10	1					
	2					
	3					
MTD-11	1					
	2					
	3					
MTD-12	1					
	2					
	3					

HOJA DE REPORTE DE DEZPLAZAMIENTOS REGISTRADOS EN MEDIDORES TRIORTOGONALES

FECHA:		18/10/2011		ELEV. EMBALSE :			MSNM.		
CLAVE MEDIDOR	LECTURA INICIAL			LECTURA			DESPLAZAMIENTO (mm)		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
MTD-01	3.680	4.220	4.980	3.945	3.550	4.880	0.265	-0.670	-0.100
MTD-02	3.010	3.860	4.170	3.970	2.925	3.955	0.960	-0.935	-0.215
MTD-03	4.040	3.090	2.885	2.560	4.025	2.690	-1.480	0.935	-0.195
MTD-04	4.030	5.840	1.200	5.660	3.975	1.020	1.630	-1.865	-0.180
MTD-05	3.410	3.400	2.740	2.830	3.275	2.475	-0.580	-0.125	-0.265
MTD-06	3.770	3.990	3.740	3.415	4.065	3.775	-0.355	0.075	0.035
MTD-07	3.260	3.760	4.990	2.600	3.555	4.005	-0.660	-0.205	-0.985
MTD-08	3.905	3.570	3.650	3.345	3.810	3.495	-0.560	0.240	-0.155
MTD-09	4.135	4.035	2.020	3.695	4.115	2.020	-0.440	0.080	0.000
MTD-10	3.720	4.530	2.655	4.405	3.610	2.590	0.685	-0.920	-0.065
MTD-11	3.565	3.530	4.320	3.305	3.485	4.380	-0.260	-0.045	0.060
MTD-12	3.250	3.550	4.770	3.310	3.135	4.615	0.060	-0.415	-0.155

REPORTE GRAFICO DE DEFORMACIONES EN MEDIDORES TRIORTOGONALES



4.5.2.4. Péndulo Directo.

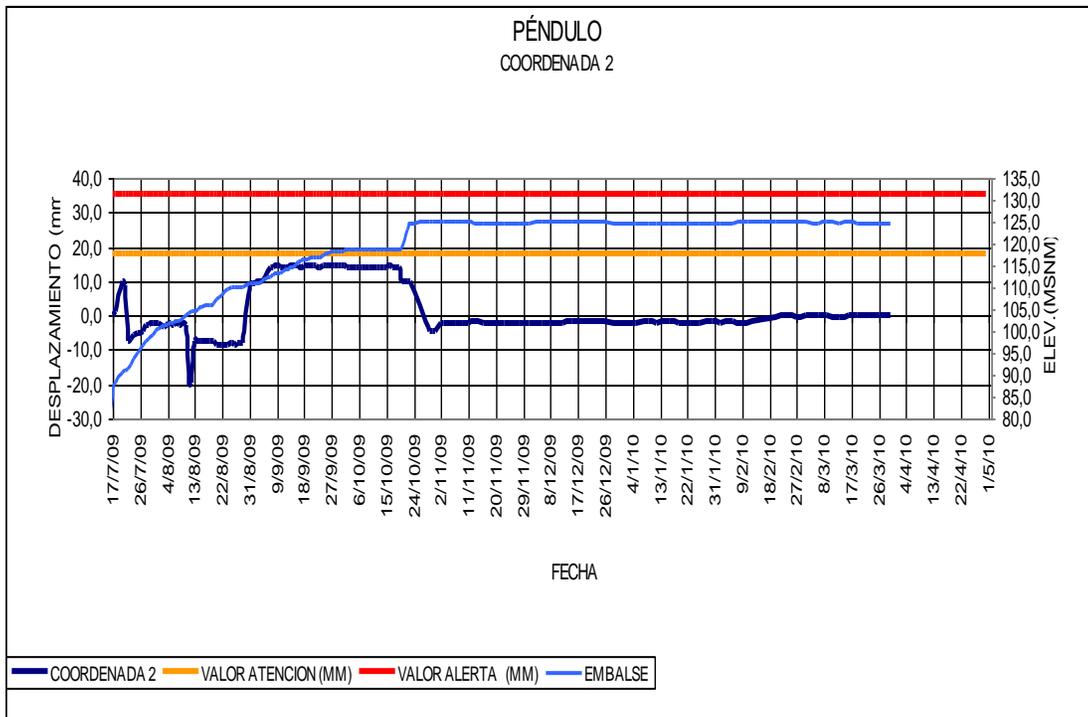
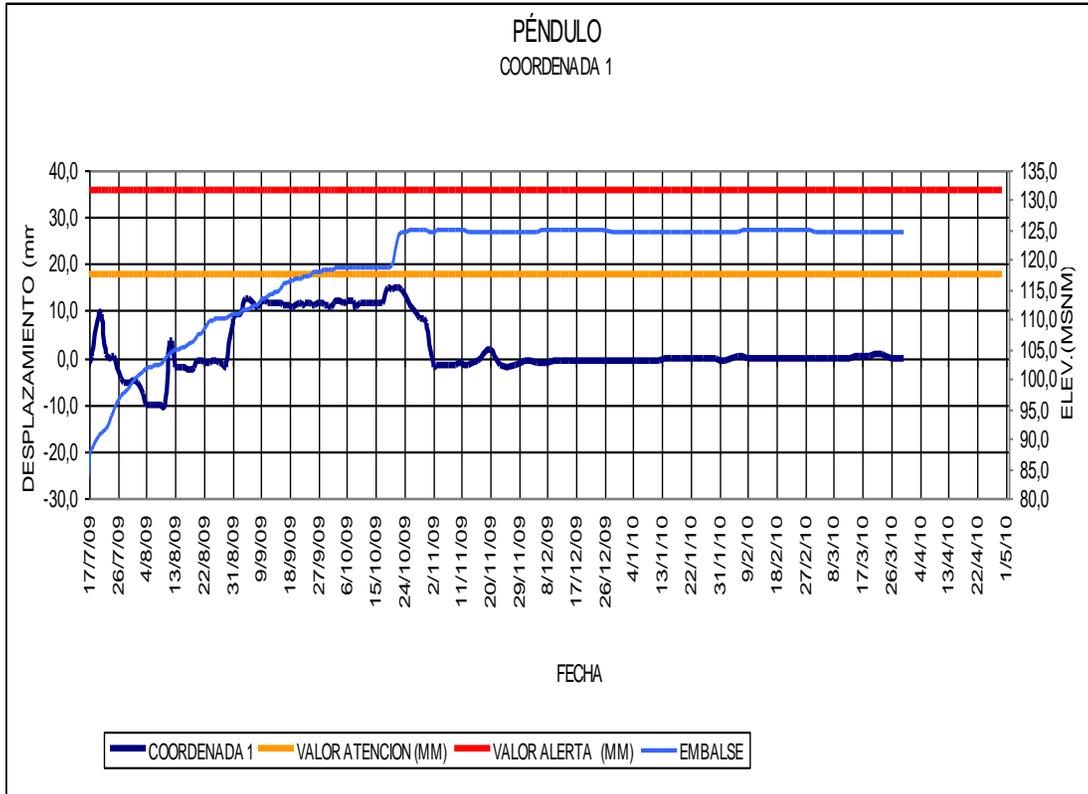
HOJA DE CAPTURA DE DATOS DE CAMPO OBTENIDOS DE PÉNDULO DIRECTO

FECHA	LECTURA		DEFORMACIÓN		A ARRIBA (MSNM)	A ABAJO (MSNM)	TEMP. °C	HORA (HR)
	C - 1 MM	C - 2 MM	C - 1 MM	C - 2 MM				
16/07/09	146,5	120,2	-	-	78,467	74,717	30,1	15,30
17/07/09	145,5	120,5	-1,0	0,3	86,713	74,495	30,1	15,00
18/07/09	147,0	121,6	0,5	1,4	88,110	74,389	30,3	11,00
20/07/09	156,2	130,3	9,7	10,1	90,267	74,195	30,2	14,30
21/07/09	155,8	129,0	9,3	8,8	90,863	73,938	30,3	10,00
22/07/09	147,2	112,5	0,7	-7,7	91,391	73,924	30,8	10,00
23/07/09	146,5	113,5	0,0	-6,7	92,158	73,851	30,5	15,30
24/07/09	146,7	114,3	0,2	-5,9	93,661	73,709	29,3	15,00
25/07/09	147,0	115,1	0,5	-5,1	94,837	73,658	29,2	10,00
27/07/09	141,9	115,7	-4,6	-4,5	96,991	73,578	29,6	14,20
28/07/09	141,3	117,3	-5,2	-2,9	97,596	73,754	30,1	16,00
29/07/09	141,3	117,5	-5,2	-2,7	98,344	73,872	30,1	15,00
30/07/09	141,2	118,0	-5,3	-2,2	99,043	73,994	30,6	15,00
31/07/09	141,6	118,0	-4,9	-2,2	99,818	74,095	30,8	15,00
1/08/09	141,3	118,2	-5,2	-2,0	100,298	74,207	30,1	10,00
3/08/09	138,7	117,1	-7,8	-3,1	101,163	74,363	29,7	15,00
4/08/09	136,2	118,0	-10,3	-2,2	101,589	74,429	30,2	16,00
5/08/09	136,3	117,9	-10,2	-2,3	101,778	74,431	29,8	16,15
6/08/09	136,5	117,5	-10,0	-2,7	101,852	74,475	30,2	16,25
7/08/09	136,4	117,7	-10,1	-2,5	102,130	74,532	30,3	16,05
8/08/09	136,4	117,5	-10,1	-2,7	102,391	74,570	30,1	10,15
10/08/09	136,3	117,2	-10,2	-3,0	103,567	74,592	29,9	14,45
11/08/09	150,2	100,1	3,7	-20,1	104,099	74,634	30,5	14,30
12/08/09	150,1	100,4	3,6	-19,8	104,489	74,644	30,4	16,10
13/08/09	144,4	112,5	-2,1	-7,7	104,723	74,673	29,2	16,00
14/08/09	144,2	112,9	-2,3	-7,3	104,860	74,674	30,5	15,40

REPORTE GENERAL DE STATUS DE INSTRUMENTACION EN PÉNDULO DIRECTO

IDENTIFICACIÓN DEL APARATO	FECHA INICIO DE LECTURAS	FECHA ULTIMA LECTURA	NIVELES EMBALSE 333		NIVELES EMBALSE 340.5		UBICACIÓN	OBSERVACIONES
			ATENCIÓN (mm)	ALERTA (mm)	ATENCIÓN (mm)	ALERTA (mm)		
PENDULO	09/02/11		5.960	11.920	8.810	17.620	DENTRO DE GALERIA CCR BLOQUE 7 DE GALERIA DE INSPECCION	

REPORTE GRAFICO DE DEZPLAZAMIENTOS EN PÉNDULO DIRECTO



4.5.2.5. Medidor de Desagüe Triangular.

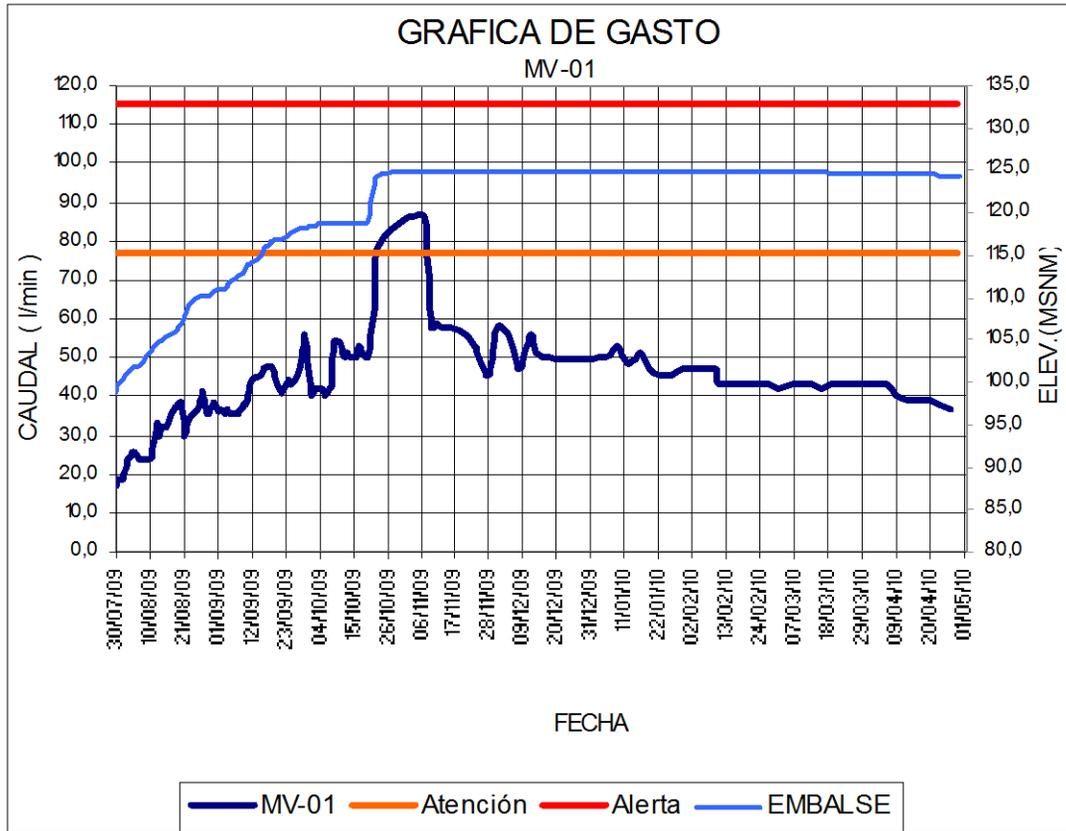
HOJA DE CAPTURA DE DATOS DE CAMPO OBTENIDOS MEDIDORES DE DESAGÜE

FECHA:	23/08/2011	HORA:		ELEV. EMBALSE:		msnm
HORA	INSTRUMENTO	LECTURA (cm)		OBSERVACIONES		
	MV-01					
	MV-02					
	MV-03					
	MV-04					
	MV-05					
	MV-06					
	MVG-01					
	MVG-02					

REPORTE GENERAL DE STATUS DE INSTRUMENTACION EN PÉNDULO DIRECTO

IDENTIFICACIÓN DEL APARATO	ALTURA TOTAL DEL VERTEDOR	ALTURA DEL VERTEDOR	FECHA INICIO DE LECTURAS	FECHA ULTIMA LECTURA	NIVELES		UBICACIÓN GALERIA	OBSERVACIONES	ABERTURA VERTEDOR
					ATENCIÓN (lt/min/m)	ALERTA (lt/min/m)			
MV-01	0.940	0.660			67.000	100.500	GALERIA CCR		0.280
MV-02	0.400	0.170			35.000	52.500	GALERIA CCR		0.230
MV-03					30.000	45.000	GALERIA CCR	SE ENCUENTRAN AHOGADAS NO SE PUEDE CHECAR	0.000
MV-04	0.950	0.380			40.000	60.000	GALERIA CCR		0.570
MV-05	0.980	0.360			92.000	138.000	GALERIA CCR		0.620
MV-06	0.480	0.200			60.000	90.000	GALERIA CCR	NO SE PUEDE CHECAR FALTA LIMPIEZA DE MATERIAL ACUMULADO DE EXCAVACIONES DE SOC-TG	0.280
MVG-01							GALERIA DE DRENAJE MARGEN DERECHA	FALTA INSTALAR	0.000
MVG-02	0.500	0.100			280.000		GALERIA DE DRENAJE MARGEN DERECHA	FALTA INSTALAR	0.400

REPORTE GRAFICO DE DEZPLAZAMIENTOS EN PÉNDULO DIRECTO



4.5.2.6. Inclinómetro.

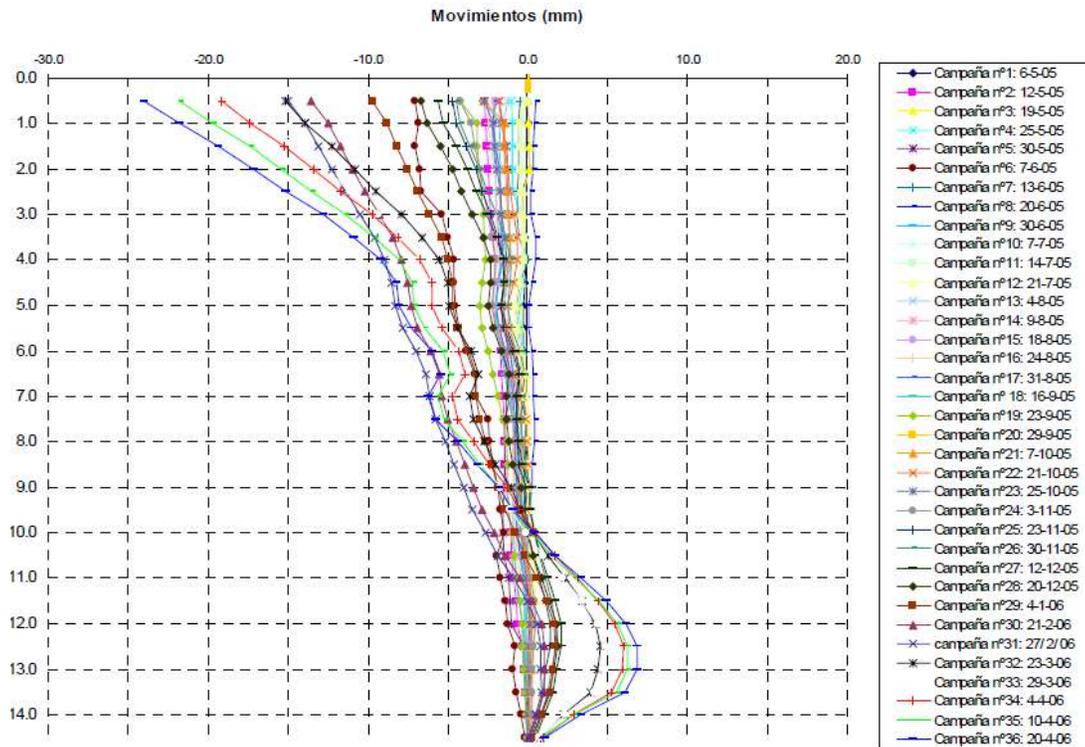
HOJA DE CAPTURA DE DATOS DE CAMPO OBTENIDOS INCLINÓMETRO

MEDICIÓN DE DESPLAZAMIENTOS HORIZONTALES EN INCLINÓMETROS											
Tubo	Profundidad lectura	EJE RIO					EJE CORTINA				
		Norte	Sur	Suma	Diferencia	Diferencia Promedio	Este	Oeste	Suma	Diferencia	Diferencia Promedio
4						-1					
3											
2											
1											
Sumas											

REPORTE GENERAL DE STATUS DE INSTRUMENTACION INCLINÓMETRO

IDENTIFICACIÓN DEL APARATO	PROFUNDIDAD DE CAMPO	FECHA INICIO DE LECTURAS	FECHA ULTIMA LECTURA	ANGULOS DE INCLINACION		COORDENADAS		NIVELES		UBICACIÓN	OBSERVACIONES
				A+	B+	LAT	LONG	ATENCIÓN (mm)	ALERTA (mm)		
I1	43.00	23/02/11		262°14'22.96	172°00'29.40	19°01'10.7'	102°03'20'	10.000	20.000	MARGEN DERECHA	FALTA LA TAPA DE LA BASE, FALTAN ROTULOS Y PISO EXTERIOR DE LA BASE
I2	36.00	17/02/11		146.00	236.00	19°01'11.5'	102°03'19.4'	10.000	20.000	MARGEN DERECHA	FALTA LA TAPA DE LA BASE, FALTAN ROTULOS Y PISO EXTERIOR DE LA BASE
I3	41.00	07/03/11		138.00	56.00	19°01'12.1'	102°03'18.8'	10.000	20.000	MARGEN DERECHA	FALTA LA TAPA DE LA BASE, FALTAN ROTULOS Y PISO EXTERIOR DE LA BASE
I4	41.00	01/03/11		61 NE	137 SE	19°01'12.7'	102°03'18.6'	10.000	20.000	MARGEN DERECHA	FALTA LA TAPA DE LA BASE, FALTAN ROTULOS Y PISO EXTERIOR DE LA BASE
I5										MARGEN IZQUIERDA	FALTA BASE Y TAPA, FALTA ROTULAR Y PISO EXTERIOR DE LA BASE, ADEMAS ESTA ROTO EL TUBO DEL INCLINOMETRO
I6										MARGEN IZQUIERDA	FALTA INSTALAR
I7										MARGEN IZQUIERDA	FALTA INSTALAR

REPORTE GRAFICO DE DEZPLAZAMIENTOS EN INCLINÓMETROS



5. CONCLUSIONES

La eficacia de un sistema de auscultación depende de la correcta concepción y ejecución de cada una de las actuaciones de las distintas fases del mismo, desde el diseño hasta su implantación, operación y encuadre en la organización de la explotación de la presa.

Por consiguiente se puede afirmar que el comportamiento real de una presa y su cimiento está condicionado por un gran número de factores y parámetros de mayor o menor incertidumbre. La calidad de la evaluación de su seguridad dependerá en gran medida del diseño adecuado de su sistema de auscultación, la bondad y calidad de los datos suministrados por él y del análisis numérico e ingenieril de los mismos.

1. En España se han desarrollado y existen métodos y técnicas de instrumentación de alta tecnología. Estos son frutos de nuestra larga experiencia en la construcción y explotación de presas y embalses.
2. Aunque entendemos que los avances de la electrónica facilitan en gran manera todo el proceso de toma, transmisión, archivo de datos y su análisis posterior, creemos que la automatización total solo debe realizarse una vez se conozca a fondo el comportamiento de la estructura y su cimiento, o bien en obras que presenten características especiales. Durante la construcción y primera puesta en carga, la toma de datos se realiza por personal especializado en contacto permanente con la obra.

Independientemente , y durante todo el proceso ingenieros cualificados y responsables de la instrumentación visitan la obra de forma periódica, comprobando y contrastado la información obtenida y su fiabilidad.

3. Pensamos que el éxito de una buena auscultación depende principalmente de la experiencia de quien la proyecta, instala e interpreta, más que del sistema de medida utilizado. Este puede influir en la sensibilidad de las medidas o en la mayor o menor facilidad de su realización, pero la información final con conclusiones de orden práctico es consecuencia directa de la competencia técnica del equipo responsable y, por supuesto, de su dedicación.

Este apartado es uno de los más importantes del trabajo ya que es donde se recogen, se describen y se tratan los datos procedentes de la instrumentación instalada en obra que a posterior ha permitido llevar a cabo la correlación con la predicción.

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.

En la puesta en obra del hormigón compactado se produce una elevación de temperatura del hormigón a la par que una expansión hidráulica que se suman para producir sollicitaciones de compresión en la penúltima capa y de tracción en la mas reciente. En este sentido padece muy conveniente acortar al máximo el tiempo de separación entre la puesta en obra de cada capa, hasta llegar a una junta fría.

6. REFERENCIAS

- [1] Díez-Cascón, J.; García Arriba, R. y Polanco, J.A.; "Caracterización de hormigón compactado con rodillo". Revista de obras públicas, No. 3329,, febrero 1994, pp.7-20.
- [2] Gómez Laá, G.; "Comportamiento de las presas de hormigón compactado en España". Jornadas Técnicas sobre presas de hormigón compactado. Mérida. Septiembre 1993.
- [3] Sánchez Sudón, J. F.: Mañueco Pfeiffer, M.C.; "Análisis térmicos en las presas de hormigón compactado con rodillo. Evolución de temperaturas en la presa de Cenza".
- [4] Instituto Español del cemento y sus aplicaciones (IECA).; José Abascal.; "Presas de hormigón compactado", 53-2, 28003-MADRID.
- [5] Manual de Operación y Control de los Instrumentos Civiles de la Presa Gral. Francisco J. Mújica.
- [6] Comité Español de Grandes Presas, Orense, 3-8^o D-28020 MADRID, Boletín 87, 1992.
- [7] Fernando Delgado Ramos, Joaquín Delgado García, Antonio R. Ruiz Reina, "Seguridad de Presas y Embalses, Normativa y Recomendaciones". Colegio de Ingenieros de Caminos y Puertos, Almagro, 42. 28010 Madrid.