

SEGURIDAD DE PRESAS EN OPERACIÓN EN EMPRESAS PÚBLICAS DE MEDELLÍN E.S.P.

Adriana del C. Tobón y Robinson A. Miranda

Empresas Públicas de Medellín

atobonn@eppm.com

Recibido para evaluación: 10 de Julio de 2003 / Aceptación: 25 de Septiembre de 2003 / Recibida versión final: 30 de Septiembre de 2003

RESUMEN

Las presas son obras civiles complejas que requieren consideraciones especiales de seguridad durante su diseño, construcción y, muy especialmente durante la etapa de operación, dado el riesgo que estas estructuras podrían representar para las personas, infraestructura y bienes ubicados aguas abajo de las mismas.

Empresas Públicas de Medellín E.S.P. (EPM) posee 20 presas, de las cuales 12 se clasifican como grandes presas y 8 como pequeñas, según el criterio de la Comisión Internacional de Grandes Presas - ICOLD.

Para garantizar la conservación adecuada de las presas y minimizar los riesgos asociados a la operación de estas, EPM tiene establecido un riguroso programa de Seguridad de Presas que le permite detectar en forma oportuna la presencia o el desarrollo de posibles deficiencias, y atender eficazmente las eventuales emergencias que se puedan presentar.

En el presente artículo se resumen las principales actividades relacionadas con el programa de *Seguridad de Presas en operación* de EPM, tales como inspecciones técnicas, monitoreo de la instrumentación, estudios de evaluación y, planes de emergencia; así mismo, se presentan aspectos generales de algunas de las presas más importantes en operación.

PALABRAS CLAVES: Seguridad de Presas, Instrumentación, Plan de Emergencia, Sistema de Alerta, Llanura de Inundación.

ABSTRACT

Dams are complex civil structures requiring special safety measures on design, construction and, especially on operation stage, because of the risk they could imply to human life, infrastructure and properties located downstream of the dams. EPM is the owner of 20 dams, 12 of them classified as great dams, and 8 of them classified as small dams, according to the International Commission on Large Dams (ICOLD) criterion.

In order to ensure a safe conservation of the dams and to minimize their associated risks, EPM has established a *Dam Safety* program oriented to allow an early detection of the presence or development of potential deficiencies in order to attend any emergency.

This article summarizes the main activities related to *Dam safety* program for EPM operating dams, like technical inspections, instrumentation performance, evaluating studies, and emergency plans; it also includes some technical characteristics of the most important EPM operating dams.

KEYWORDS: Dam Safety, Instrumentation, Emergency Plan, Warning System, Flood Plain.

1. GENERALIDADES

Aunque Empresas Públicas de Medellín E.S.P. (EPM) desde siempre ha efectuado el seguimiento y control de todas sus presas a medida que estas han entrado a operación, en 1985 se dio una estructura formal al programa de *Seguridad de Presas* de EPM con la conformación de dos grupos de trabajo: Uno que recopilaba información en el campo, y otro que la evaluaba y analizaba. Posteriormente, en 1997, a raíz de un proceso de transformación interna de la entidad, se agruparon estas dos actividades y se creó el equipo de trabajo Seguridad de Presas. Este equipo de trabajo se encuentra adscrito al Área Hidrometría e Instrumentación de la Subgerencia Ambiental, en la Gerencia Generación Energía, y está conformado por dos Ingenieros civiles, uno de ellos especialista en geotecnia, un tecnólogo en obras civiles y cuatro auxiliares de campo.

EPM entiende la *Seguridad de Presas* como el conjunto de actividades orientadas a lograr una operación segura de sus presas. Los objetivos principales del programa de *Seguridad de Presas* son el conocimiento permanente del estado y comportamiento de las presas y la realización de un mantenimiento adecuado, con el fin de proteger a las personas, infraestructura y medio ambiente ubicados aguas abajo de las presas, cumpliendo así también con la normatividad legal Colombiana frente al tema de riesgos.

2. CARACTERÍSTICAS DE LAS PRESAS DE EPM

La formación geológica donde se localizan la mayoría de presas de EPM corresponde al llamado batolito Antioqueño cuyos suelos residuales presentan un espesor considerable, normalmente de unos 40 m, llegando en algunos casos hasta 80 m. Su composición varía desde limos arcillosos orgánicos en la superficie, continuando con limos arenosos, arenas limosas, roca meteorizada y roca fracturada hasta llegar a la roca sana. De acuerdo con lo anterior, las presas de tierra de EPM tienen en común el estar fundadas sobre formaciones profundas de suelo residual, y el estar construidas con suelos similares, existentes en el lugar de las obras.

EPM posee actualmente 20 presas, 12 presas clasifican como grandes presas y 8 como pequeñas, según el criterio de la Comisión Internacional de Grandes Presas – ICOLD, de las cuales se relacionan las más importantes en la Tabla 1. De éstas, 12 presas hacen parte importante del sistema de generación de energía eléctrica de EPM, con 2600 MW de potencia instalada, y el resto, hacen parte del sistema de suministro de 15 m³/s de agua potable para más de 4 millones de personas del área metropolitana de Medellín.

TABLA 1.

Características de las presas más importantes de EPM.

Presas	Año de terminación	Tipo	Altura (m)	Longitud de la cresta (m)	Volumen presa (miles de m ³)	Propósito
Piedras Blancas	1952	Tierra	27.0	180	135	Acueducto
Quebradona	1958	Tierra	34.0	110	331	Energía eléctrica
Troneras	1962	Tierra	46.0	366	1129	Energía eléctrica
Miraflores	1965	Tierra	63.0	240	1058	Energía eléctrica
La Fe	1973	Tierra	37.5	581	816	Acueducto
Santa Rita ¹	1976	Tierra	59.5	360	3386	Energía eléctrica
El Buey	1983	Tierra	25.0	49	75	Acueducto
Playas	1987	Tierra	65.0	460	3000	Energía eléctrica
Riogrande II	1988	Tierra	67	400	2800	Energía eléctrica y acueducto
Porce II ²	2001	CCR y tierra	122.0	455	1300	Energía eléctrica

1. Los datos relacionados corresponden a la presa principal

2. Los datos relacionados corresponden a la presa de concreto (CCR).

3. ACTIVIDADES INCLUIDAS EN EL PROCESO SEGURIDAD DE PRESAS

Para cumplir con los objetivos anotados anteriormente, EPM a través del equipo Seguridad de Presas lleva a cabo diversas actividades asociadas al seguimiento y control de dichas estructuras, entre las cuales se destacan la realización de inspecciones técnicas, el monitoreo de la instrumentación instalada, la realización de estudios de evaluación del comportamiento de estas estructuras, así como el diseño e implementación de los Planes de Emergencias para estas presas. A continuación se describen los objetivos y alcances de cada una de las actividades mencionadas.

3.1. Inspecciones Técnicas

Comprende la inspección sistemática de los diferentes componentes de las presas, con el objeto de detectar visualmente deficiencias existentes y/o potenciales. Estas deficiencias pueden ser infiltraciones no controladas (las cuales se manifiestan como: áreas saturadas o afloramientos de agua, presencia de sedimentos en los medidores de infiltración, disminución o incremento en los caudales de los drenes, ebullición de arenas), agrietamientos, superficies irregulares, deslizamientos en taludes, erosión, mantenimiento inapropiado, deterioro de concretos, apertura de juntas y grietas, entre otras. Para mantener un estricto control del estado de las presas, dichas inspecciones se han clasificado como rutinarias, periódicas, y de emergencia. A continuación se detalla el objetivo y alcance de cada una de ellas.

Inspecciones rutinarias

Estas Inspecciones se realizan con el fin de obtener los registros de la instrumentación instalada, y paralelamente, revisar el estado global de las obras. Están a cargo de los auxiliares de campo, quienes semanalmente inspeccionan cada una de las presas. En caso de encontrarse alguna deficiencia, ésta es reportada inmediatamente a los ingenieros, quienes la evalúan y determinan las acciones a seguir.

Inspecciones periódicas

Estas inspecciones tienen el objeto de revisar con un mayor nivel de detalle todos los componentes de las presas con el fin de verificar el estado de las obras e identificar posibles deficiencias existentes y/o potenciales. Están a cargo de los ingenieros y del tecnólogo, quienes por lo

menos dos veces al año revisan cada una de las presas. Como resultado de estas inspecciones se elaboran los correspondientes informes técnicos, los cuales, mediante listas de chequeo de cada uno de los componentes de las presas, registros fotográficos, y si es del caso, análisis de los registros de la instrumentación, permiten determinar el estado general de las presas.

Inspecciones de emergencia

Estas inspecciones se efectúan en la medida que se presenten eventos que amenacen la seguridad de las presas, tales como: sismos, crecientes excepcionales, etc., o se detecten deficiencias técnicas (tubificación, agrietamientos, desplazamientos, entre otras), deficiencias operacionales (fallas en compuertas y desembalses rápidos), acciones vandálicas, entre otros. Dependiendo de la magnitud y complejidad del evento, dichas inspecciones podrían estar a cargo no solo de los ingenieros del equipo Seguridad de Presas, sino de asesores internos o externos a EPM especialistas en el tema.

3.2. Monitoreo de la Instrumentación

Los instrumentos de auscultación sirven principalmente para evaluar el comportamiento de las presas y para alertar sobre situaciones anómalas que amenacen su seguridad. También permiten comprobar los criterios e hipótesis adoptadas durante el diseño y, determinar y dimensionar las obras de rehabilitación que se consideren necesarias.

Los instrumentos en su mayoría miden variables geotécnicas, pero algunos también miden variables estructurales, tal como se indica en la Tabla 2. Entre las variables monitoreadas se tienen las presiones de poros, las infiltraciones, los desplazamientos, las temperaturas de la masa de concreto, los esfuerzos, los asentamientos, las aceleraciones, y la apertura de juntas.

Para realizar el monitoreo de los cerca de 1500 instrumentos instalados en las presas de EPM, se lleva a cabo un riguroso programa de actividades, el cual comprende la captura, el almacenamiento, el procesamiento, la evaluación y el análisis de los registros de dichos instrumentos. A continuación se describen cada una de estas actividades.

TABLA 2.
Tipos de instrumentos.

Instrumento	Variable medida	Frecuencia de lectura
Piezómetros	Presión de poros	Semanal
Pozos de nivel freático	Posición del nivel freático	Semanal
Medidores de infiltración	Caudal de infiltración	Diaría
Puntos de control superficial	Desplazamientos y asentamientos superficiales	Anual
Inclinómetros	Deformación horizontal en profundidad	Semestral
Medidores de asentamiento	Deformación vertical en profundidad	Semestral
Extensómetros	Deformación de macizos rocosos	Quincenal
Medidores de junta	Apertura o cierre de juntas	Quincenal
Péndulos	Inclinación	Quincenal
Termómetros	Temperatura de la masa de concreto	Quincenal
Celdas de presión	Esfuerzos verticales y horizontales	Semanal
Acelerógrafos	Aceleración	Mensual ¹

1. Esta puede variar de acuerdo con los eventos sísmicos presentados

Captura de registros

Esta actividad consiste en obtener los registros de los instrumentos instalados en las presas. Dependiendo del tipo de instrumento, esta actividad se realiza leyendo directamente el instrumento (caso manómetros de piezómetros hidráulicos y medidores de infiltración) ó mediante el uso de equipos especializados (unidades de lectura, sondas, sensores, teodolitos, entre otros). Una vez obtenidos los registros se consignan en los formatos correspondientes y, se procede a realizar una evaluación preliminar, comparándolos con los registros anteriores. Posteriormente, se envían vía correo electrónico a la oficina principal localizada en el edificio EPM. En la Tabla II se indica la frecuencia normal de lectura de los instrumentos, aunque esta puede variar de acuerdo con alguna condición particular en una presa dada.

Almacenamiento y procesamiento de los registros

Para el almacenamiento, procesamiento y análisis preliminar de los aproximadamente 800 registros semanales se cuenta con la base de datos de Seguridad de Presas, la cual archiva los registros ordenadamente, los convierte a la variable correspondiente y, por último, grafica la información en series de tiempo. La base de datos permite que la información pueda ser consultada “el línea” por varios usuarios.

Evaluación y análisis de los registros

La evaluación de los registros consiste en verificar que estos sean consistentes. Dicha evaluación se realiza en dos etapas: Durante la captura, tal como se describió anteriormente y, durante el almacenamiento y procesamiento, mediante la observación de alguna inconsistencia en las gráficas generadas por la base de datos seguridad de presas, tal como un “salto brusco” o un error sistemático.

El análisis de los registros se realiza mediante técnicas estadísticas y determinísticas. Las técnicas estadísticas utilizadas son: Correlaciones, determinación de intervalos de confianza, determinación de valores máximos, mínimos y promedios históricos, entre otras. Mediante herramientas determinísticas se realizan análisis de flujo, de distribución de presiones, de estabilidad de taludes, entre otros, empleando en algunos casos software especializado.

Los análisis de los registros de la instrumentación se realizan periódicamente de manera preventiva, para detectar oportunamente eventuales comportamientos anormales de las estructuras. También se realizan análisis con mayor profundidad durante los estudios de evaluación de las presas.

3.3. Estudios de Evaluación

EPM adelanta estudios de evaluación detallada en cada una de sus presas cada 10 años. Dichos estudios tienen cuatro objetivos principales: Revisar la estabilidad de la presa, verificar su comportamiento y compararlo con el previsto durante la etapa de diseño, revisar los criterios de diseño y construcción de la presa a la luz del “Estado del arte” y, proponer alternativas de solución y medidas remediales para las deficiencias detectadas.

En estos estudios se revisa y analiza toda la información disponible relacionada con el diseño, construcción, y operación, incluidos los registros de la instrumentación obtenidos en todas estas etapas. Los estudios se orientan a evaluar los aspectos claves que inciden en la seguridad de las presas, tales como, capacidad de evacuación del vertedero, verificación del borde libre, estabilidad al

deslizamiento de los taludes, deformaciones, análisis de flujo, entre otros. Estos estudios involucran por lo tanto diversas disciplinas de la ingeniería, tales como: Geología, geotecnia, hidrológia, hidráulica, y sismología.

3.4. Planes de Emergencias para Presas

A pesar de todas las actividades preventivas que realiza EPM en materia de *Seguridad de Presas*, dicha empresa es consciente que el “riesgo cero” no existe y que por lo tanto se debe estar preparado para la atención eficaz y oportuna de cualquier emergencia asociada a una eventual falla¹ o incidente², como consecuencia de fenómenos naturales o antrópicos, o del comportamiento de los materiales constituyentes de estas estructuras. De acuerdo con lo anterior y conforme al *Plan Maestro para Manejo de Crisis* de EPM, esta entidad viene desarrollando preventivamente el diseño e implementación de los Planes de emergencias para sus presas. Estos planes incluyen los siguientes componentes generales: Sistema de alerta, áreas de influencia de riesgo y, planes de acción ante emergencias. A continuación se describe de manera general el avance, objetivo y alcances de estos componentes.

Sistema de Alerta

El sistema de alerta está orientado a identificar, clasificar, evaluar y notificar oportunamente la presencia o el desarrollo de algún evento que pueda afectar el normal funcionamiento de las presas. El sistema contiene además las funciones y responsabilidades de las personas involucradas, la cadena de llamadas la cual se actualiza permanentemente, y el procedimiento a seguir una vez se tenga conocimiento de la ocurrencia de algún evento.

Área de influencia del riesgo

La mayor consecuencia de una eventual falla de una presa es la inundación aguas abajo. Para determinar el área inundada, se emplean modelos matemáticos físicamente basados que simulan el rompimiento de la presa para el tipo de falla más probable en la condición más desfavorable, y modelos de tránsito crecientes que simulan el desplazamiento de las hidrógrafas resultantes

del rompimiento por el cauce y zonas aledañas del río. Con base en los resultados obtenidos se superpone la llanura de inundación sobre la cartografía de la zona aguas abajo, y se determinan los tiempos de llegada de la onda de creciente y los niveles que esta alcanza en diferentes puntos aguas abajo de la presa.

3. Planes de acción ante emergencias

EPM actualmente adelanta el diseño e implementación de los planes de acción de emergencia para sus presas. Dicho proceso se inició con la reactivación, fortalecimiento y capacitación de los Comités Locales de Prevención y Atención de Desastres (CLOPADS) de los municipios localizados en el área de influencia de sus embalses. El objetivo de EPM con este proceso es lograr que los municipios, a través de los CLOPADS y sus líderes comunitarios estén debidamente preparados para afrontar emergencias, especialmente, las derivadas de una eventual inundación. A partir de este proceso se han elaborado los planes de emergencia por inundación de cada municipio, y los planes de emergencia territoriales.

Esta labor se ha venido desarrollando mediante convenios interadministrativos con entidades como el Departamento Administrativo del Sistema de Prevención, Atención y Recuperación de Desastres (DAPARD) de la Gobernación de Antioquia y La Defensa Civil Colombiana, entidades que tienen el conocimiento, la experiencia, y la competencia en el tema de prevención, atención y recuperación de desastres.

4. CONCLUSIÓN

EPM mediante su programa de seguridad de presas mantiene un permanente, detallado y riguroso monitoreo de estas estructuras, el cual permite detectar oportunamente cualquier anomalía en su comportamiento y acometer las acciones necesarias para prevenir y minimizar los riesgos asociados a su operación, y posibilitar la continuidad de los servicios de energía eléctrica y acueducto.

¹ Falla: Colapso o movimiento de parte de una presa o de su fundación, de tal manera que no puede retener el agua. En general la falla genera liberación de una gran cantidad de agua que impone riesgos en la gente y/o propiedades aguas abajo.

² Incidente: Daño o mal funcionamiento de la presa sin que termine en su falla.

