



SEGURIDAD DE PRESAS - YACYRETA

Hugo Ramón Laterza

Entidad Binacional Yacyretá

Paraguay

RESUMEN

El objetivo fundamental de la Seguridad de Presas, en particular de Yacyretá, es mantener su integridad estructural y operacional preservando la población, la propiedad y el medio ambiente.

La base ineludible de una buena gestión de seguridad de presas la constituyen las inspecciones, mantenimiento, auscultación, normas de explotación, revisiones y la implementación del Plan de Acción frente a Emergencias (PAE) ante el riesgo de avería grave o rotura.

Las condiciones de seguridad de las presas de Yacyretá se supervisan a través de un Panel Internacional de Expertos en Seguridad de Presas, compuesto por Ingenieros de prestigio internacional.

La presa de Yacyretá se encuentra sometida a inspecciones periódicas planificadas dentro del plan anual de mantenimiento preventivo, y auditado periódicamente (en forma interna y externa) bajo la norma ISO 9001: 2008 de certificación del Sistema de Gestión de Calidad.

La EBY realiza el mantenimiento de las estructuras y monitorea el comportamiento de las mismas a través del sistema de auscultación, con más de mil instrumentos instalados (a lo largo de 66 km de presa) y funcionando adecuadamente, asociados a inspecciones rutinarias para complementar de esta manera un acabado conocimiento del estado de las diferentes estructuras. La presa de Yacyretá se encuentra en perfecto estado de conservación y mantenimiento y por ende en buenas condiciones de seguridad.

Actualmente la EBY se halla abocada a la actualización del PAE. El PAE involucra una serie de hipotéticas situaciones de emergencia en las obras independientemente de cuan improbable sea su ocurrencia y ha sido elaborado de modo que constituya una ayuda para las decisiones que deba adoptar la EBY frente a tales circunstancias. El PAE apunta a mitigar las consecuencias sobre comunidades e infraestructura situadas en las inmediaciones tanto de aguas arriba como de aguas abajo del aprovechamiento hidráulico de Yacyretá.

PALABRAS CLAVES

Seguridad de Presas - Inspección – Mantenimiento – Auscultación

INTRODUCCION

El tema principal que se pretende tratar en el presente trabajo consiste en una serie de comentarios relacionados a la Seguridad de Presas, en particular de Yacyretá.

La seguridad de la presa tiene como objetivo mantener su integridad estructural y operacional protegiendo la vida, salud, propiedad y el medio ambiente de los efectos nocivos de un posible error operativo o de una falla de presas y embalses.



Figura 1 - Yacyretá

A fin de garantizar su valor social, las presas y los embalses deben ser sustentables a largo plazo. Para asegurar dicha sustentabilidad, deberían hacerse todos los esfuerzos que sean razonablemente viables para evitar y/o mitigar fallas y accidentes.

La Central Hidroeléctrica Yacyretá mantiene sus instalaciones civiles conforme a un programa preestablecido de inspecciones y mantenimiento a fin de asegurar la integridad y mantener la confiabilidad de las mismas, brindando seguridad a quienes desarrollan estas actividades como asimismo a las poblaciones circundantes y preservando el medio ambiente.

DESARROLLO

1. CONCEPTOS

Presas: Son estructuras en un curso permanente o temporal de agua con fines de contención o acumulación de agua dentro del mismo. De la definición de presa se desprende que las presas son estructuras cuya razón de ser se funda en la condición de que el agua que retienen se utilice con finalidades alternativas o simultáneas, tales como: Generar electricidad; Elevar su nivel para poder conducirla; Formar un depósito que retenga los excedentes hídricos, para poder compensar luego los períodos de escasez, o para amortiguar (laminar) crecidas.

Embalse: Recinto artificial de agua limitado, en todo o en parte, por la presa. También puede referirse al conjunto de terreno, presa y agua almacenada, junto con todas las estructuras auxiliares relacionadas con estos elementos y con su



Figura 2 - Presas y Embalse



funcionalidad.

Seguridad de Presas: El objetivo fundamental de la Seguridad de Presas es proteger a la población, a la propiedad y al ambiente, de los efectos nocivos de un error operativo o de una falla de presas y embalses. La Seguridad de Presas es una condición que tiene como objetivo mantener su integridad estructural y operacional para la preservación de la vida, la salud, la propiedad y el medio ambiente. La responsabilidad principal de la integridad operativa y de la Seguridad es del propietario de la presa.

Sistema de Gestión de Seguridad de Presas: Un Sistema de Gestión de la Seguridad de Presas debería consistir en procesos sistemáticos y completos, a fin de la gestión adecuada de todos los riesgos; como así también que todos los aspectos de la seguridad se integren y ajusten con la estructura general de gestión de la organización.

Sustentabilidad de las Presas: A fin de garantizar su valor social, las presas y los embalses deben ser sustentables a largo plazo. Para asegurar dicha sustentabilidad, deberían hacerse todos los esfuerzos que sean razonablemente viables para evitar y mitigar fallas y accidentes.

Riesgo: Consecuencia incierta que un evento o actividad puede tener sobre cualquier aspecto valorado por el ser humano. Si somos cuidadosos en nuestra relación con el ambiente, y si estamos conscientes de nuestras debilidades y vulnerabilidades frente a las amenazas existentes, podemos tomar medidas para asegurarnos de que las amenazas no se convierten en desastres. El Riesgo es función de tres parámetros: $Riesgo = f(\text{daños, probabilidad, consecuencias})$.

Gestión de Riesgos: Son las acciones normativas, así como la implementación de medidas para prevenir, controlar y mitigar los riesgos

Daño potencial asociado a las presas: Daño que pueda ocurrir debido a la rotura, fugas, infiltración en el suelo, falla o mal funcionamiento de una presa.

Vulnerabilidad: Es la capacidad de una persona o grupo de personas para prevenir, resistir y sobreponerse de un impacto. Las personas vulnerables son aquellas que, por distintos motivos, no tienen desarrollada esta capacidad y que, por lo tanto, se encuentran en situación de riesgo.

2. PRINCIPIO FUNDAMENTALES DE LA SEGURIDAD DE PRESAS.

La cuestión de la Seguridad de Presas preocupa de hecho, y justamente, a gran número de personas, pero se nota que raramente las ideas son bien claras y objetivas. La construcción de una presa impone riesgos a la sociedad, generalmente distribuidos en forma desigual, por lo que aquellos que se benefician con la presa, no son necesariamente los mismos a quienes se les impone un riesgo. Para que las actividades de la presa y el embalse se consideren justificadas, los beneficios que proporcionan la sociedad como un todo deben sobrepasar los riesgos creados. Con el propósito de evaluar el beneficio y el riesgo se deben tener en cuenta todas las consecuencias significativas del funcionamiento de la presa y el embalse. Asimismo, se deben fijar los criterios de seguridad que

XII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
25 y 26 de Agosto de 2016

han de tenerse en cuenta para prevenir y limitar social y ambientalmente los riesgos potenciales que estas infraestructuras pueden representar.

El asunto de la seguridad adquiere una enorme trascendencia inclusive en el orden económico debido a que el riesgo de falla de la obra implica un potencial daño engendrado aguas abajo en caso de tal evento. Las exigencias de Seguridad de la Presas deberán estar de acuerdo con la magnitud del riesgo.

A pesar de todas las medidas tomadas para mejorar la seguridad de las obras, un sistema adecuado de inspección y de auscultación es imprescindible para detectar todo evento anómalo y todo punto débil que podría tener la estructura.

Se puede decir que la Seguridad efectiva de la Presa se obtiene, (según el Boletín 99 de la ICOLD):

- con un diseño de calidad
- con una construcción de calidad, y
- con un monitoreo de calidad.

Si eso no se cumple en uno u otro sentido, se habrá producido y detectado un error humano que por fin será considerado la causa de una eventual falla.

Una serie de “figuras” clave para la seguridad de presas son:

- Archivo Técnico
- Identificar y definir Categorías de Riesgo Potencial (A, B, C)
- Normas de Operación
- Inspecciones
- Mantenimiento
- Auscultación
- Plan de Acción frente a Emergencias

La base ineludible de una buena gestión de seguridad de presas constituyen las inspecciones, auscultación, revisiones, mantenimiento, normas de operación, y la implementación del Plan de Acción ante Emergencias (PAE) ante el riesgo de avería grave o rotura

Debido a las incertidumbres, a la evolución de las condiciones con el tiempo y a la gran importancia de las obras, es imprescindible instalar y operar en cada obra importante un sistema de inspección y auscultación adecuado. La inspección y la auscultación forman la base para la reevaluación periódica de la seguridad de una obra,



XII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
25 y 26 de Agosto de 2016

El objetivo de la auscultación es detectar lo más rápidamente posible cualquier anomalía, entender y explicar las mismas y permitir la toma de decisiones rápidas y justas. Por anomalía se entienden dos aspectos: diferencias entre el comportamiento predicho por el diseño y el comportamiento real de la obra por un lado, y, diferencias entre el comportamiento presente y el comportamiento pasado por el otro.

EL Plan de Acción ante Emergencias (PAE) involucra una serie de hipotéticas situaciones de emergencia en las obras independientemente de cuan improbable sea su ocurrencia y debe ser elaborado de tal modo que constituya una ayuda para las decisiones que se deba adoptar frente a tales circunstancias.

Al reunir información técnica relacionada con el diseño, construcción, operación, vigilancia y mantenimiento de la obra y dar a conocer las medidas y acciones de carácter preventivo necesarias y los procedimientos de notificación internos dentro de su organización y externos hacia los organismos municipales, provinciales y/o nacionales involucrados, el PAE apunta a mitigar las consecuencias sobre comunidades e infraestructura situadas en las inmediaciones tanto de aguas arriba como de aguas abajo del aprovechamiento hidráulico.

La calidad del PAE depende en gran medida de una definición realista de los escenarios de emergencia.

Podríamos señalar que generalmente la avería grave o rotura de presa ocurre por falla en los primeros años de operación y entonces se suele concluir que quedan solamente las presas más seguras, lo que obviamente no significa que en el futuro ningún accidente podría ocurrir. En este sentido, se lee frecuentemente que la probabilidad de falla de la presa es mayor en los primeros cinco años de vida que más tarde.

3. ENFOQUE TRADICIONAL Y MODERNO DE SEGURIDAD DE PRESAS

Tradicionalmente las recomendaciones para el diseño de presas se basan en un enfoque determinista del estado de esfuerzos admisibles por los materiales y se ha formulado de este modo Factores de Seguridad que de manera conservadora, garantizan, con un buen margen de probabilidad, que el diseño esté siempre del lado de la seguridad.

La evaluación tradicional de la seguridad hasta ahora descrita, constituye una aproximación conservadora de la respuesta de la presa ante solicitaciones discretas, claramente previsible desde un enfoque determinista y fundamentado en la experiencia acumulada de muchos años de diseño y buena práctica de la ingeniería.

Como alternativa a ese enfoque tradicional basado en coeficientes de seguridad, se ha elaborado códigos basados en técnicas probabilistas modernas que definen las distribuciones estadísticas de las variables y fijan los umbrales admisibles de las probabilidades de falla. (Membrillera *et al*, 2005).

No obstante, en el contexto de la seguridad de presas y embalses ambas metodologías se complementan. Dentro del Análisis de Riesgo, el enfoque clásico puede considerarse como un punto discreto formado por diferentes condiciones de carga y respuestas del sistema (Bowles *et al*, 1997). Dentro de las prácticas tradicionales de gestión de la seguridad de presas, el Análisis de Riesgo puede servir para completar y perfeccionar el proceso mediante el reconocimiento explícito de los riesgos y el tratamiento formal de las incertidumbres (ICOLD, 1995) (Membrillera *et al*, 2005)

Este enfoque estadístico del problema de la seguridad de las presas orientado a la estimación de la probabilidad de ocurrencia de una falla y al riesgo de sufrir una serie de daños potenciales, involucra entre otras cosas un estudio minucioso de:

- Múltiples escenarios de solicitación.
- Probabilidad de ocurrencia de los Escenarios y la Persistencia en el tiempo de la solicitación.
- Mecanismos de Rotura o Modos de Falla coherentes con las singularidades de la obra, discretizados como una sucesión de eventos simples (Árboles de Falla).
- Probabilidad de ocurrencia de cada uno de los eventos que involucra el modo de falla.
- Caudales que se registrarían aguas abajo para mecanismo de falla.
- Áreas potencialmente inundables aguas abajo de la presa en función del caudal de salida.
- Daños generados por la inundación en términos económicos y de vidas humanas.
- La incertidumbre asociada a todas las estimaciones.

Una vez cubiertos estos aspectos, la metodología comprende un análisis numérico de las combinaciones de probabilidades de ocurrencia de los escenarios de falla y un estudio de la respuesta del sistema tomando en cuenta la incertidumbre.

Las aplicaciones del Análisis de Riesgo en sistemas de gestión integral de la seguridad son muchas, asimismo en el análisis de la factibilidad económica de una medida de protección aporta información valiosa para la toma de decisiones.

Sin embargo para efectos de este trabajo, se destacará únicamente el uso de la herramienta de formulación de Modos de Falla por considerarse que en entornos de limitado acceso a la información, y elevada incertidumbre, el Análisis de Riesgos difícilmente arrojará resultados numéricamente exactos, sin embargo se estima que existe en la formulación de los Mecanismos de Falla, un valor agregado en materia de seguridad puesto que proporciona una visión más realista que la evaluación tradicional de la seguridad ya que incorpora el criterio ingenieril, la experiencia y las singularidades de la presa al análisis.

Actualmente, la seguridad de presas y embalses abarca múltiples aspectos técnicos, económicos y legales, e implica la unión del enfoque tradicional de la seguridad, basado en la realización de actividades de forma sistemática, con una metodología moderna y robusta apoyada

en el análisis de riesgos, siendo en este último planteamiento donde el Análisis Cualitativo de Modos de Falla es el paso primordial.

En países punteros, la gestión integral de la seguridad de las presas y embalses abarca un enfoque más allá del análisis clásico, ya que entrega al propietario y responsable de presa, nuevos argumentos en la toma de decisiones pudiendo incluso restablecer priorización de actuaciones. Parte fundamental de ello lo constituyen los potenciales modos de fallo, que puedan ser identificados en los sistemas presa-embalse, ya que estos determinan los puntos vulnerables existentes en el sistema.

Se entiende por modo de falla, a la secuencia particular de eventos que puede dar lugar a un funcionamiento inadecuado del sistema presa-embalse o una parte del mismo, hasta llegar a producir pérdidas humanas o consecuencias económicas significativas. Esta serie de sucesos debe estar asociada a un determinado escenario de solicitación y tendrá una secuencia lógica.

Se deben analizar las diversas causas que, tanto de manera independiente como combinada, pueden generar la rotura de la presa, así como los efectos de la misma hacia aguas abajo. En cada caso estudiado deberá considerarse si la rotura puede ser parcial o total y distinguir entre rápida y progresiva. También se deben analizar aquellas circunstancias que sin llegar a determinar causa de rotura de la presa sean origen de averías graves o funcionamiento incorrecto.

La auscultación resulta clave en la observación y diagnóstico del comportamiento de las presas. La auscultación puede ayudar en el establecimiento de un conjunto de “niveles de alerta y alarma” para los diferentes controles durante la construcción y explotación de las presas. De esta forma, la auscultación constituye una herramienta importante para avanzar en el conocimiento de diversos modos de falla en presas, así como en su detección preventiva.

4, SEGURIDAD DE PRESAS EN YACYRETA



Figura 3 - Presas de Yacyretá. Longitud Total: 65 Km



Panel de Expertos: Las condiciones de seguridad de las presas de Yacyretá se supervisan a través de un Panel Internacional de Expertos en Seguridad de Presas, compuesto por Ingenieros de prestigio internacional. En la última reunión del Panel de Expertos a fines del año 2015 concluyeron que la presa de Yacyretá se encuentra en perfecto estado de conservación y mantenimiento y por ende en buenas condiciones de seguridad.

Norma ISO 9001: 2008 de certificación del Sistema de Gestión de Calidad : Yacyretá mantiene sus instalaciones conforme a un programa preestablecido de inspecciones y mantenimiento (mantenimiento rutinario), planificados dentro del plan anual de inspección y mantenimiento preventivo, y, auditados periódicamente (en forma interna y externa) bajo la Norma ISO 9001: 2008 de certificación del Sistema de Gestión de Calidad, a fin de asegurar la integridad y mantener la confiabilidad de las mismas, brindando seguridad y preservando el medio ambiente. Asimismo,, cuando ocurre algún evento extraordinario se realizan inmediatamente inspecciones y los trabajos de mantenimiento correspondientes en el caso que el evento lo amerite (mantenimiento eventual, no programado).

Auscultación: La EBY realiza el mantenimiento de las estructuras y monitorea el comportamiento de las mismas a través del sistema de auscultación, con más de mil instrumentos instalados (a lo largo de 66 km de presa) y funcionando adecuadamente, asociados a inspecciones rutinarias para complementar de esta manera un acabado conocimiento del estado de las diferentes estructuras.

Plan de Acción frente a emergencias (PAE): Actualmente la EBY se halla abocada a la actualización del PAE. El PAE involucra una serie de hipotéticas situaciones de emergencia en las obras independientemente de cuan improbable sea su ocurrencia y ha sido elaborado de modo que constituya una ayuda para las decisiones que deba adoptar la EBY frente a tales circunstancias. El PAE apunta a mitigar las consecuencias sobre comunidades e infraestructura situadas en las inmediaciones tanto de aguas arriba como de aguas abajo del aprovechamiento hidráulico de Yacyretá.

Archivo Técnico: En la EBY se dispone de un Archivo Técnico con toda la documentación relacionada con el proyecto, la construcción y la explotación de la presa, lo cual permite que conjuntamente con los datos de Auscultación y de las Inspecciones realizadas se pueda realizar un acabado análisis del comportamiento del sistema presa-embalse y de la estructura.

CONCLUSIONES

La Seguridad de Presas tiene como objetivo mantener su integridad estructural y operacional preservando la vida, salud, propiedad y el medio ambiente de los efectos nocivos de un posible error operativo o de una falla de presas y embalses.

Actualmente, la Seguridad de Presas y embalses abarca múltiples aspectos técnicos, económicos y legales, e implica la unión del enfoque tradicional de la seguridad, basado en la realización de actividades de forma sistemática, con una metodología moderna y robusta apoyada



XII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
25 y 26 de Agosto de 2016

en el análisis de riesgos, siendo en este último planteamiento donde el Análisis Cualitativo de Modos de Falla es el paso primordial.

La base ineludible de una buena gestión de seguridad de presas constituyen las inspecciones, auscultación, revisiones, mantenimiento, normas de explotación, y la implementación del Plan de Acción frente a Emergencias (PAE) ante el riesgo de avería grave o rotura.

La EBY monitorea el comportamiento de sus obras a través del sistema de auscultación, asociados a inspecciones rutinarias para complementar de esta manera un acabado conocimiento del estado de las diferentes estructuras.

Yacyretá mantiene sus instalaciones conforme a un programa preestablecido de inspecciones y mantenimiento, planificados y auditados periódicamente (en forma interna y externa) bajo la Norma ISO 9001: 2008 de certificación del Sistema de Gestión de Calidad, a fin de asegurar la integridad y mantener la confiabilidad de las mismas, brindando seguridad y preservando el medio ambiente.

Las condiciones de seguridad de las presas de Yacyretá se supervisan a través de un Panel Internacional de Expertos en Seguridad de Presas, compuesto por Ingenieros de prestigio internacional.

Actualmente la EBY se halla abocada a la actualización del Plan de Acción frente a Emergencias. El PAE involucra una serie de hipotéticas situaciones de emergencia en las obras independientemente de cuan improbable sea su ocurrencia y apunta a mitigar las consecuencias sobre comunidades e infraestructura situadas en las inmediaciones tanto de aguas arriba como de aguas abajo del aprovechamiento hidráulico de Yacyretá.

BIBLIOGRAFIA

Boletines de ICOLD - Seguridad de Presas y Sistema de Gestión de Seguridad de Presas

Bowles *et al*, 1997

Membrillera *et al*, 2005

Informe del XV Panel de Expertos Internacionales de las Obras y su Seguridad, 2015

Norma ISO 9001: 2008 de certificación del Sistema de Gestión de Calidad