

Análisis de los modos potenciales de fallo de las presas: Valdesia, Monción, Contraembalse de Monción, Tavera, Bao, López Angostura, Hatillo, Sabaneta, Sabana Yegua y Villarpando. (República Dominicana)

Josefina Turbides^a, Luis Altarejos^b, Francisco Silva-Tulla^c, Miguel Alonso^d y Mariano Jiménez^e.

^aDepartamento de Presas INDRHI, Santo Domingo, República Dominicana jturbides@gmail.com, ^bUniversidad Politécnica de Cartagena. luis.altarejos@upct.es, ^cGeoEngineering & Environment silva@alum.mit.edu, ^dMAPA mapagreda@gmail.com, ^eDepartamento de Dirección de Obras y Proyectos, INCLAM S.A. mariano.jimenez@inclam.com

Estructuras hidráulicas | A. Dinámica fluvial, de embalses, estuarios y humedales

RESUMEN

El Análisis de los Modos de Fallo Potenciales (PFMA según las siglas en inglés) es una herramienta de gestión de la seguridad de presas cuyo propósito es ampliar el abanico de las evaluaciones de seguridad de presas para incluir modos de fallo potenciales que pudieran no haber sido tenidos en cuenta previamente. El presente trabajo describe la aplicación de la metodología para identificar todos los modos de fallo potenciales en condiciones de operación normal o en situación de crecidas y sismo, a diez presas de República Dominicana. Para ello se realiza una recopilación de información, visita a la presa, identificación de modos de fallo potenciales, identificación de vínculos con las actividades de inspección y vigilancia, propuesta de medidas de reducción de riesgo y documentación. El resultado es una clasificación priorizada de los modos potenciales de fallo y una relación con las actuaciones necesarias a realizar a corto, medio y largo plazo para garantizar la seguridad.

Palabras clave | Análisis de seguridad de presas; modo potencial de fallo; rotura de presa; análisis de auscultación; inspección de presas; vigilancia de presas; gestión de presas; PFMA; planes de gestión.

INTRODUCCIÓN

República Dominicana, además de una isla paradisíaca de playas vírgenes, es un lugar con una alta probabilidad de fenómenos naturales como huracanes o terremotos que pueden afectar de forma muy significativa a las presas del país, colocando a su población en una posición de gran vulnerabilidad. En el año 2007, los huracanes Olga y Noel azotaron el país, y según el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) afectaron de manera directa o indirecta al 70% de la población del país, provocaron inundaciones y deslizamientos en el 80% del territorio, dejando 79,000 desplazados. Ante las necesidades generadas, el Banco Mundial creó un fondo para apoyar la recuperación del desastre, y es dentro de este programa en el que se enmarcan los trabajos descritos en la presente comunicación, elaborados en conjunto con el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INDRHI).

Los trabajos realizados tratan de identificar los modos potenciales de fallo de diez de las presas más importantes del país en base a la metodología propuesta por la Federal Energy Regulatory Commission (FERC) de los Estados Unidos de América, denominada Análisis de Modos de Fallo Potenciales (PFMA, Potential Failure Mode Analysis). El objetivo del análisis es clasificar cada modo de fallo potencial analizado de acuerdo con una clasificación cualitativa, graduada del I al IV, en función del riesgo y, que permite, por tanto, aportar información para la toma de decisiones acerca de qué actuaciones acometer y cómo priorizarlas. El resultado final son planes de actuación a corto, medio y largo plazo. De este modo, el fin último del análisis

mediante la técnica PFMA es obtener una propuesta de programación justificada de trabajos que dirija la inversión y actuación sobre las estructuras de forma particularizada a su realidad actual, para optimizar su gestión, mantenimiento y/o rehabilitación, de tal forma que se garantice la seguridad ante el riesgo potencial inherente a la infraestructura de presa.

MATERIAL Y MÉTODOS

Tras los antecedentes ocurridos en República Dominicana debido principalmente a fenómenos naturales como huracanes o terremotos, y como complemento y mejora a los análisis y revisiones de seguridad de presas que se vienen realizando sobre el parque de presas se plantea aplicar sobre las presas más importantes del país la metodología de Análisis de los Modos de Fallo Potenciales. El objeto es proporcionar un mejor entendimiento y comprensión de los riesgos asociados a estas 10 presas, y para ello es preciso ir más allá de las comprobaciones tradicionales, basadas en el cumplimiento de estándares de seguridad para unas cuentas situaciones predeterminadas, e investigar más en profundidad las presas con la ayuda de un grupo de personas con información y conocimientos sobre la operación y comportamiento experimentado por la presa en el pasado, y sobre la base documental disponible sobre la misma, trabajando coordinadamente en un formato de Taller. El análisis de modos de fallo potenciales se integra como una herramienta complementaria a los análisis de la seguridad tradicionales y no como una alternativa a éstos. El Análisis de modos de fallo potenciales permite:

- Mejorar los procesos de inspección, focalizando el análisis en los aspectos críticos de cada presa considerada individualmente y de forma particular
- Identificar modos de fallo vinculados con la operación de la presa
- Identificar modos de fallo no contemplados en las comprobaciones tradicionales
- Mejorar y reforzar las actividades de vigilancia y monitoreo
- Identificar carencias en los datos, informaciones y análisis necesarios para evaluar la seguridad de la presa
- Identificar las medidas de reducción de riesgo más eficaces
- Documentar los resultados de cara a futuras inspecciones de seguridad de la presa

Los beneficios de la metodología seguida para el PFMA son los siguientes:

- Organización y acceso a información existente pero dispersa y no centralizada
- Creación de una información útil para posteriores revisiones de seguridad
- Contextualización de la magnitud de los problemas identificados en términos de posibilidad de ocurrencia y consecuencias asociadas
- Mejoras en los programas de inspección y auscultación de presas
- Importancia en la inspección y auscultación en relación con la seguridad de la presa
- Identificación de carencias en la información disponible
- Identificación de medidas de reducción de riesgo

Es importante tener en cuenta que un Análisis de modos de fallo potenciales no es un documento ejecutivo en sí mismo, sino que constituye una fuente de información valiosa y relevante, cuya función y sentido es servir de referencia para las actividades relativas a la seguridad de la presa que se realicen a partir de su elaboración, y para informar la toma de decisiones en seguridad de la presa por parte de los responsables con capacidad para ello.

Características de las presas objeto de PFMA

La siguiente tabla recoge las características básicas sobre geometría, tipología y año de construcción de las presas objeto de análisis:

Tabla 1 | Características de las presas objeto de análisis

Presa	Altura (m)	Volumen de embalse (hm ³)	Tipología	Año de Construcción
Tavera	80,00	125,74	Materiales sueltos con núcleo central impermeable	1973
Bao	110,00	185,00	Materiales sueltos con núcleo central impermeable	1981
López	23,50	4,40	Materiales sueltos con núcleo central impermeable	1987
Valdesia	82,00	137,17	Gravedad aligerada con contrafuertes	1976
Sabaneta	67,00	58,56	Materiales sueltos con núcleo central impermeable	1981
Sabana Yegua	81,55	427,28	Materiales sueltos con núcleo inclinado	1980
Villarpando	5,00	-	Gravedad compactada con rodillo	1980
Monción	122,00	330,13	Materiales sueltos con núcleo central impermeable	2001
C. E. Monción	28,00	7,49	Hormigón compactado y diques laterales de materiales sueltos	1998
Hatillo	52,00	361,23	Materiales sueltos con núcleo central impermeable	1984



Figura 1 | A la izquierda, Presa de Valdesia. A la derecha, válvulas Howell-Bunger de desagües de fondo de la presa de Bao.

Taller de Análisis de los Modos Potenciales de fallo

Los talleres de análisis de modos de fallo potenciales llevado a cabo para las presas Valdesia, Monción, Contraembalse de Monción, Tavera, Bao, López Angostura, Hatillo, Sabaneta, Sabana Yegua y Villarpando, siguieron el siguiente esquema:

- Designación de participantes y formación del Equipo Base
- Recopilación de la información disponible
- Visita a la presa con la participación activa del personal clave involucrado en operación y mantenimiento
- Sesión de identificación de modos de fallo potenciales
- Identificación de vínculos con las actividades de inspección y vigilancia
- Propuesta de medidas de reducción de riesgo
- Documentación de los trabajos realizados, como base para futuras actividades de inspección y vigilancia

La Recopilación de información tuvo una duración de aproximadamente dos meses, durante los cuales el INDRHI facilitó gran cantidad de documentación que fue clasificada, archivada y analizada. Entre esta documentación se incluyeron: proyectos constructivos y de rehabilitación, documentación *As built*, estudios hidrológicos, lecturas de aparatos de instrumentación, revisiones de seguridad, comprobaciones topográficas y batimétricas, estudios sísmicos, planes de contingencia, normativa, manuales de operación, etc. A partir de la información disponible pudieron establecerse unas líneas documentales básicas sobre la realidad física y estructural de la presa, sus elementos principales, su comportamiento y evolución, la gestión llevada a cabo y la detección de anomalías. Esta información fue complementada con información del entorno y de los antecedentes históricos ocurridos. El resultado documental de esta fase fue una descripción completa de la presa, sus elementos y estructuras anexas; una descripción con los usos del embalse, en que se destaca la importancia de la funcionalidad de cada presa y/o elemento y, por último, un análisis de las consecuencias de la rotura de la presa. Esta documentación fue completada tras la visita, con la información adicional obtenida con las entrevistas y la inspección.

Para la realización de la visita a la presa se formó un grupo de trabajo en el que se incluyeron responsables y operarios de los organismos encargados de la gestión y operación de la presa (Instituto Nacional de Recursos Hídricos, INDRHI y Empresa de Generación Hidroeléctrica Dominicana, EGEHID), así como técnicos externos especializados en seguridad de presas. La intervención de los responsables de los organismos y del personal de operación y mantenimiento fue clave para facilitar el conocimiento a fondo de la estructura y realizar un acercamiento detallado al sistema de funcionamiento diario y a la problemática detectada por los propios operarios.

Durante la realización de las sesiones PFMA se trató de que todos los asistentes participasen activamente en las discusiones de grupo, apoyando la participación de todos para que compartiesen sus conocimientos y comprensión sobre el estado de la presa, los posibles modos de fallo, las consecuencias del fallo y las posibles medidas de reducción de riesgo. Los talleres se inician con una introducción sobre nociones básicas de la metodología y objetivo de los talleres PFMA, lo que permite dotar a los asistentes de un entendimiento común sobre el tema de interés, para qué sirve y qué se espera obtener. Durante la sesión se revisan las posibilidades de fallo una a una, teniendo en cuenta todas las situaciones posibles, las situaciones de carga y los elementos. Los asistentes deben proponer potenciales modos de fallo, que son discutidos hasta obtener una comprensión completa de los mismos. En caso de que un modo de fallo se considere factible, se selecciona para su análisis posterior más detallado. En caso contrario, simplemente queda registrado como un modo de fallo identificado, discutido y descartado.

Aquellos modos de fallo clasificados como factibles y por tanto, seleccionados para un análisis más profundo se descomponen en diferentes mecanismos, desde el inicio hasta el suceso del fallo. Este análisis causa-efecto permite identificar las oportunidades y medios de detección y actuación, vinculando esta capacidad a la del sistema de inspección y vigilancia. Se analizan los factores a favor y en contra de la ocurrencia del fallo, identificando de esta forma las oportunidades de reducción del riesgo y las necesidades adicionales de investigación. Las consecuencias del fallo y la capacidad de alerta temprana son también aspectos clave discutidos.

Una vez analizados los modos de fallo, se procede a evaluar cómo se produce la rotura mediante el proceso de formación de la brecha, estimando los caudales de avenida generados y evaluando la magnitud de los daños previsibles. Se revisan las actuaciones del Plan de Operación en Emergencia, para identificar posibles oportunidades de mejora. Una vez el modo de fallo ha sido identificado, descrito en detalle y discutido por el grupo, se procede a su clasificación de acuerdo con las cuatro categorías siguientes:

- Categoría I: Modo de fallo importante por su probabilidad y consecuencias
- Categoría II: Modos de fallo menos importantes
- Categoría III: Modos de fallo que precisan más información o análisis

- Categoría IV: Modos de fallo descartados

Como resultado de las actividades anteriores, se realizó una evaluación de las necesidades de inspección, vigilancia y monitorización asociados a los modos de fallo de las categorías I, II y III.

Se evaluó la frecuencia y alcance de las inspecciones, la instrumentación instalada en la presa y las lecturas realizadas, con el fin de detectar ineficacias y proponer mejoras. Al final del taller PFMA se pidió a los asistentes que dejaran constancia por escrito de lo aprendido y de los principales hallazgos del proceso.

Tras el taller, se elaboró un borrador del informe de sesión PFMA, en el que se describieron los modos de fallo; se indicaron los factores a favor y en contra del desarrollo del modo de fallo; las necesidades de mejora de inspección, vigilancia y monitorización asociadas al modo de fallo; las consecuencias del fallo y las potenciales medidas de reducción de riesgo. El informe incluyó un apéndice con la información más relevante que se utilizó durante las sesiones, evaluando la utilidad, suficiencia y cómo el resultado del PFMA podría estar condicionado por la información disponible, buscando la objetividad y completitud en el trabajo.



Figura 2 | Desarrollo de los talleres PFMA.

Sesión de formación en la Identificación de Modos de Fallo

Previamente a la realización de los talleres se llevó a cabo una sesión de formación en la Identificación de Modos de Fallo (IMF), durante la cual se revisó diversos aspectos:

- Definición de modo de fallo

- Escenarios posibles de sollicitación
- Conceptos clave en la Identificación de Modos de Fallo
- Propuesta individual de modos de fallo
- Discusión de Modos de Fallo

Mediante esta sesión previa pudo instruirse a los asistentes en aquellos temas a tratar para la IMF.

Documentación de los talleres PFMA

Para cada una de las 10 presas analizadas se elaboró un informe del taller PFMA correspondiente, que incluye la descripción de la presa y embalse, los principales hallazgos del estudio, los modos de fallo potenciales identificados, los aspectos adicionales con incidencia en la seguridad de la presa y un apartado final de resumen y conclusiones. Los modos de fallo potenciales identificados se clasifican por grados del I al IV. El objetivo de esta clasificación por grados es proporcionar una idea de la importancia relativa de los diferentes modos de fallo identificados, que sirva para orientar en la definición de las actuaciones de vigilancia y monitorización, y para mejorar las actividades de inspección de la presa. La definición de cada grado es la siguiente:

Tabla 2 | Definición de los Grados de Clasificación (FERC, 2005)

Grado	Definición
Grado I	Aquellos modos de fallo de mayor importancia considerando las necesidades de atención, potencial de ocurrencia, magnitud de las consecuencias y probabilidad de una respuesta inadecuada (el modo de fallo se considera factible, se ha identificado una debilidad importante y las condiciones necesarias para que se produzca el fallo parecen razonables y creíbles).
Grado II	Modos de fallo considerados igualmente factibles, aunque con menores posibilidades de ocurrir o con consecuencias asociadas reducidas.
Grado III	Modos de fallo para los que la información disponible resulta insuficiente para una adecuada clasificación y en los que por lo tanto está recomendada campaña de investigación.
Grado IV	Modos de fallo descartados cuya aparición no se considera razonable.

El proceso de identificación de modos de fallo potenciales considera siempre 3 escenarios:

- Hidrológico
- Sísmico
- Normal.

En el escenario hidrológico se plantean modos de fallo en situaciones de crecidas. En el escenario sísmico se plantean modos de fallo asociados a la ocurrencia de un terremoto. En el escenario normal se plantean modos de fallo que podrían ocurrir un día cualquiera en situación ordinaria de operación.

No se considera únicamente los Modos Potenciales de Fallo ante rotura, también es objeto del análisis cualquier deficiencia actual, como puede ser:

- Accesos
- Iluminación
- Comunicaciones
- Energía
- Instalación eléctrica

- Obra civil de cuerpo de presa
- Vertedero de servicio
- Vertedero auxiliar
- Equipos electromecánicos
- Sistemas de auscultación y monitorización
- Actividades de inspección, vigilancia y control
- Sedimentación

Sesión de conclusiones

Las conclusiones derivadas del análisis fueron presentadas ante los organismos y el personal implicado en la gestión y operación de las presas y centrales. La comunicación de los resultados del análisis realizado permite dar a conocer a los responsables y técnicos implicados en el día a día de la presa las ineficacias desde el punto de vista de la seguridad, así como corregir o modificar aquellos aspectos que puedan favorecer una correcta operación y un incremento de la seguridad.

Planes de Acción

Para elaborar los planes de acción se parte de los resultados obtenidos en la realización de los talleres de análisis de modos de fallo potenciales en las 10 presas analizadas. Estos resultados se obtienen como fruto de un trabajo conjunto realizado por los asistentes a los talleres.

Se consideran 3 Planes de Acción: a Corto, Mediano y Largo Plazo.

Plan de Acción a Corto Plazo

El Plan de Acción a Corto Plazo incluye aquellas acciones de reducción de riesgo y mejora de la seguridad de presas con las siguientes características:

- Su inicio podría ser inmediato
- Plazo de ejecución inferior a 1 año
- Baja inversión económica

Ejemplos de este tipo de actuaciones son: la realización de actividades internas de capacitación y disseminación de conocimiento sobre cuestiones específicas, la realización de estudios específicos de corta duración y la adopción de ciertas pautas de actuación en las actividades de auscultación.

Plan de Acción a Medio Plazo

El Plan de Acción a Mediano Plazo incluye aquellas acciones de reducción de riesgo y mejora de la seguridad de presas con las siguientes características:

- Su inicio podría ser inmediato
- Plazo de ejecución entre 1 y 3 años
- Inversión económica significativa

Ejemplos de este tipo de actuaciones son: mejoras de accesos, comunicaciones, sistema de auscultación, y estudios específicos particulares de duración media.

Plan de Acción a Largo Plazo

El Plan de Acción a Largo Plazo incluye aquellas acciones de reducción de riesgo y mejora de la seguridad de presas con las siguientes características:

- Su inicio, en general, no es inmediato
- Plazo de ejecución de 4 a 10 años
- Inversión económica significativa a elevada

Se incluyen actuaciones estratégicas orientadas a aplicar recomendaciones como parte de un plan operativo a incluir dentro de un programa integral de seguridad de presas

Prioridad de actuación

No todas las actuaciones que cumplen las condiciones para ser incluidas en los planes de acción tienen la misma prioridad. Esta prioridad viene determinada por el Grado del Modo de Fallo hacia cuyo control, mitigación o eliminación se dirige la medida.

Partiendo de la definición de la clasificación de los modos de fallo por Grados de acuerdo con la Tabla 2, se establece la siguiente relación de prioridades:

- Prioridad MUY ALTA: Actuaciones vinculadas con modos de fallo de Grado I
- Prioridad ALTA: Actuaciones vinculadas con modos de fallo de Grado II
- Prioridad MEDIA: Actuaciones vinculadas con modos de fallo de Grado III
- Prioridad MENOR: Actuaciones vinculadas con modos de fallo de Grado IV

Cuando en una determinada presa una misma actuación supone una reducción de riesgo para diferentes modos de fallo que presentan distintos Grados, se recoge únicamente para el Grado más prioritario, evitando así repeticiones innecesarias en la relación de actuaciones.

RESULTADOS

El resultado de los trabajos realizados se disgrega finalmente en dos líneas interrelacionadas. Por un lado, el taller PFMA propiamente dicho sirve para instruir al personal de gestión en temas de Identificación de Modos de Fallo, para exponer las conclusiones derivadas del proceso de trabajo e incidir sobre las cuestiones prioritarias dependientes de su propio trabajo. Por otro lado, se extraen los planes a corto, medio y largo plazo con un orden adecuado de prioridad.

Modos de fallo

Tabla 3 | Definición de los Modos de Fallo de cada presa

Presa	Escenario Hidrológico	Escenario Sísmico	Escenario Normal
Tavera	<p>MF-1: Sobrevertido por pérdida de resguardo debido a insuficiente capacidad de laminación, incluyendo el fallo de compuertas.</p> <p>MF-2: Suelta incontrolada de caudales por rotura de compuertas debido a sobrevertido por las mismas tras fallo en la operación de apertura.</p> <p>MF-3: Sobrevertido debido a rotura de la coronación por oleaje en evento de crecida extraordinaria.</p> <p>MF-4: Sobrevertido por pérdida de resguardo debida a inestabilidad del talud de aguas abajo</p>	<p>MF-5: Sobrevertido por pérdida de resguardo debido a asientos en coronación causados por un sismo.</p>	<p>MF-6: Sobrevertido por oleaje debido a deslizamientos de laderas en el embalse</p> <p>MF-7: Rotura de la presa por erosión interna en el cuerpo de presa</p>
Bao	<p>MF-1: Suelta incontrolada de caudales por entrada en funcionamiento del vertedero de servicio concomitante o no con un fallo en las compuertas de Tavera</p> <p>MF-2: Sobrevertido debido a rotura de la coronación por oleaje en evento de crecida extraordinaria.</p> <p>MF-3: Sobrevertido por pérdida de resguardo debida a inestabilidad del talud de aguas abajo</p>	<p>MF-4: Sobrevertido por pérdida de resguardo debido a asientos en coronación causados por un sismo</p>	<p>MF-5: Sobrevertido por oleaje debido a deslizamientos de laderas en el embalse</p> <p>MF-6: Rotura de la presa por erosión interna en el cuerpo de presa</p>
López	<p>MF-1: Rotura por vertido sobre la presa con erosión de pie</p>	<p>MF-2: Rotura por vertido sobre la presa con rotura de las losas de recubrimiento.</p>	<p>MF-3: Rotura de la presa por erosión interna en el cuerpo de presa</p>
Valdesia	<p>MF-1: Sobrevertido en crecida por fallo en las compuertas (no se pueden abrir)</p> <p>MF-2: Deslizamiento de bloques centrales de la presa en el contacto presa-cimiento por altas subpresiones</p>	<p>MF-3: Deslizamiento de bloques centrales de la presa en evento sísmico a lo largo del contacto-presa cimiento por pérdida de resistencia al corte.</p>	<p>MF-4: Sobrevertido por oleaje debido a deslizamientos de laderas en el embalse</p>
Sabaneta	<p>MF-1: Sobrevertido debido a rotura de la coronación por oleaje en evento de crecida extraordinaria.</p> <p>MF-2: Sobrevertido por pérdida de resguardo debida a inestabilidad del talud de aguas abajo</p> <p>MF-3: Daños aguas abajo por entrada en funcionamiento del vertedero de emergencia</p>	<p>MF-4: Sobrevertido por pérdida de resguardo debido a asientos en coronación causados por un sismo</p>	<p>MF-5: Rotura de la presa por erosión interna en el cuerpo de presa</p> <p>MF-6: Sobrevertido por oleaje debido a deslizamientos de laderas en el embalse</p> <p>MF-7: Fallo en la válvula mariposa y pérdida de control del embalse</p>

Presa	Escenario Hidrológico	Escenario Sísmico	Escenario Normal
Sabana Yegua	<p>MF-1: Sobrevertido sobre presa debido a rotura lenta de los diques fusibles del vertedero auxiliar y rotura de coronación por oleaje en evento de crecida extraordinaria.</p> <p>MF-2: Sobrevertido por pérdida de resguardo debida a inestabilidad del talud de aguas abajo</p> <p>MF-3: Daños aguas abajo por entrada en funcionamiento del vertedero auxiliar debido a fallo en la operación en los desagües de fondo</p> <p>MF-4: Daños aguas abajo por entrada en funcionamiento del auxiliar debido a fallo de los desagües de fondo por sedimentación</p> <p>MF-5: Daños aguas abajo por entrada en funcionamiento del vertedero auxiliar debido a obturación parcial del canal de aproximación vertedero de servicio</p>	MF-6: Sobrevertido por pérdida de resguardo debido a asientos en coronación causados por un sismo	<p>MF-7: Rotura de la presa por erosión interna en el cuerpo de presa</p> <p>MF-8: Sobrevertido por oleaje debido a deslizamientos de laderas en el embalse</p>
Villarpando	<p>MF-1: Durante una crecida se produce el fallo de la compuerta del desarenador y los sedimentos dejan la toma fuera de servicio, por lo que no se puede suministrar agua al canal Ysura.</p> <p>MF-2: Durante una crecida se produce el fallo de la compuerta del desarenador y el fallo simultáneo de la compuerta de la toma del canal, por lo que los sedimentos entran en el canal, con pérdida de funcionalidad del mismo y obstrucción de elementos singulares clave como los sifones.</p>		
Monción	<p>MF-1: Sobrevertido debido a rotura de la coronación por oleaje en evento de crecida extraordinaria.</p> <p>MF-2: Sobrevertido por pérdida de resguardo debida a inestabilidad del talud de aguas abajo</p>	MF-3: Sobrevertido por pérdida de resguardo debido a asientos en coronación causados por un sismo	<p>MF-4: Sobrevertido por oleaje debido a deslizamientos de laderas en el embalse</p> <p>MF-5: Rotura de la presa por erosión interna (fracturación hidráulica) en el núcleo</p> <p>MF-6: Pérdida de misión del desagüe de fondo por sedimentación</p> <p>MF-7: Pérdida de acceso al desagüe de fondo por inestabilidad de ladera en margen izquierda</p>
C. E. Monción	<p>MF-1: Rotura del dique de materiales sueltos de margen derecha por desbordamiento del vertido sobre el cajero del vertedero</p> <p>MF-2: Inestabilidad de la sección de vertedero HCR en el contacto presa-terreno por subpresión y baja resistencia al deslizamiento</p>	<p>MF-3: Sobrevertido por pérdida de resguardo debido a asientos en coronación del dique de materiales sueltos en margen derecha causados por un sismo</p> <p>MF-4: Rotura de la compuerta radial del desagüe de fondo en evento sísmico y suelta incontrolada de caudales</p>	<p>MF-5: Sobrevertido por pérdida de resguardo debido a inestabilidad del talud de aguas abajo</p> <p>MF-6: Sobrevertido por oleaje debido a deslizamientos de laderas en el embalse</p>
Hatillo	<p>MF-1: Sobrevertido debido a rotura de la coronación por oleaje en evento de crecida extraordinaria.</p> <p>MF-2: Sobrevertido por pérdida de resguardo debida a inestabilidad del talud de aguas abajo</p>	MF-3: Sobrevertido por pérdida de resguardo debido a asientos en coronación causados por un sismo	<p>MF-4: Rotura de la presa por erosión interna en el cuerpo de presa</p> <p>MF-5: Sobrevertido por oleaje debido a deslizamientos de laderas en el embalse</p>

CONCLUSIONES

Las conclusiones a extraer de los trabajos realizados, en vista de los modos de fallo detectados y la priorización de las actuaciones a realizar se resumen en los planes de actuación. Como muestra de las actuaciones, se exponen a continuación las correspondientes a los modos de fallo clasificados como Grado I, de máxima prioridad.

Plan a Corto Plazo – Grado I

Presa	Actuación
Valdesia	Analizar la fiabilidad de compuertas utilizando árboles de fallo (fault tree analysis)
Monción	Realizar un estudio específico de la resistencia del rip-rap frente a oleaje y analizar la estabilidad de la parte superior de la presa con talud más vertical. Extremar las precauciones por parte del personal que utiliza el acceso al desagüe de fondo, sobre todo después de la ocurrencia de lluvias intensas
Contraembalse de Monción	
Tavera	Realizar un análisis de fiabilidad completo de las compuertas de Tavera Realizar prospecciones geofísicas para acotar extensión de filtraciones en presa Monitorizar las presiones intersticiales, poniendo en servicio toda la instrumentación Inspeccionar y medir las filtraciones de forma sistemática
Bao	Realizar un estudio del comportamiento hidráulico completo del vertedero de emergencia de Bao
López	
Hatillo	
Sabaneta	Realizar un modelo hidráulico 2D del comportamiento de la zona aguas abajo del vertedero de emergencia y acondicionar en función de los resultados
Sabana Yegua	Realizar una simulación completa de laminación de crecidas en hipótesis de fallo de los desagües de fondo y considerando diferentes tiempos de rotura de los diques fusibles
Villarpando	
Todas las presas	

Plan a Medio Plazo – Grado I

Presa	Actuación
Valdesia	Rehabilitar los péndulos invertidos para poder medir desplazamientos Rehabilitar los extensómetros para poder medir deformaciones en el cimientto Realizar una campaña de extracción de testigos de la zona de contacto presa-cimiento para determinar su estado: con cohesión (bonded) o sin cohesión (unbonded) y su resistencia al corte, tanto residual como de pico. Esta campaña debería realizarse al menos para los bloques de más altura situados fuera de la sección vertedora
Monción	
Contraembalse de Monción	Garantizar el acceso a la margen derecha en situación de crecidas Instalar dispositivos de medición de subpresiones en el contacto presa-cimiento en toda la sección HCR. En su caso, ejecutar una pantalla de drenaje bajo la presa
Tavera	

Presa	Actuación
Bao	
López	
Hatillo	Reforzar el rip-rap de protección
Sabaneta	
Sabana Yegua	
Villarpando	
Todas las presas	Coordinar las actividades de inspección entre INDRHI y EGEHID, mediante la elaboración de un Plan de Auscultación y Monitorización. Recuperar los registros de la construcción así como la información no disponible en la actualidad e incorporarlos al Archivo Técnico de la presa

Plan a Largo Plazo – Grado I

Presa	Actuación
Valdesia	
Monción	
Contraembalse de Monción	Realizar un estudio específico de resistencia de la compuerta radial frente a acciones dinámicas
Tavera	
Bao	
López	
Hatillo	
Sabaneta	
Sabana Yegua	
Villarpando	
Todas las presas	Realizar seguimientos y actualizaciones periódicas del Plan de Auscultación Dotar al INDRHI de un fortalecimiento institucional suficiente para tener peso específico en el proceso de toma de decisiones que afecten a la seguridad de la presa Mejorar los procesos de toma de decisiones, de modo que todas las partes interesadas (stakeholders) puedan tener información sobre las consecuencias de las mismas