

COMITÉ NACIONAL ESPAÑOL DE GRANDES PRESAS

MODELO DE RIESGO DE LAS PRESAS DE CAMPORREDONDO Y COMPUERTO (RÍO CARRIÓN).

Liana Ardiles López¹
Esther Jenaro Rabadán²
Pedro Moreno Sánchez³
Ignacio Escuder Bueno⁴
Manuel Gómez de Membrillera⁵
Oscar Pérez Arroyo⁵
Armando Serrano Lombillo⁶

RESUMEN: La Confederación Hidrográfica del Duero (CHD) está llevando a cabo una serie de tareas complementarias a su programa de seguridad de presas basadas en las técnicas de análisis de riesgos, a imagen de otros organismos internacionales equivalentes (p.e. US Bureau of Reclamation).

Culminada una primera etapa de cribado o “screening”, se ha desarrollado un análisis completo de los riesgos inherentes a la gestión de seguridad de las presas de Camporredondo y Compuerto (río Carrión), aportándose en este artículo las características de dicho análisis así como algunos resultados preliminares.

¹ Ingeniera de Caminos. Confederación Hidrográfica del Duero.

² Ingeniero de Caminos. Confederación Hidrográfica del Duero.

³ Ingeniero de Caminos. Confederación Hidrográfica del Duero.

⁴ Dr. Ingeniero de Caminos. Universidad Politécnica de Valencia.

⁵ Dr. Ingeniero de Caminos. Universidad Politécnica de Valencia y OFITECO.

⁶ Ingeniero de Caminos. OFITECO.

⁷ Ingeniero de Caminos. Universidad Politécnica de Valencia.

1. INTRODUCCIÓN

En Enero de 2008 se promulga el Real Decreto 9/2008 por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, aprobado por Real Decreto 849/1086, que persigue como objetivo la protección de las personas y los bienes, y del medio ambiente, a través de la modificación de la normativa sobre inundaciones y de la introducción de un nuevo título relativo a la seguridad de presas embalses y balsas. En el preámbulo de dicho decreto se cita textualmente “La Gestión del Riesgo, uno de los aspectos fundamentales que debe abordar un país moderno, es el hilo común de esta modificación del Dominio Público Hidráulico”

Tal y como se deduce del texto legislativo citado, la ingeniería no puede ser ajena a la propia evolución de los valores y las exigencias de la sociedad, que demanda, fundamentalmente:

- Unos niveles de riesgo muy ponderados y en cualquier caso justificados por los beneficios que obtiene a cambio.
- Rigor en el diagnóstico previo a la realización de importantes inversiones, así como participación en el proceso de toma de decisiones de actuación.

La primera de dichas demandas estaría más directamente vinculada a la “evaluación” de la seguridad, mientras que la segunda entra de lleno en el campo de la “gestión” de la seguridad.

En este contexto, la Confederación Hidrográfica del Duero ha impulsado un ambicioso programa para la gestión global de la seguridad de sus presas basado en las técnicas de análisis de riesgos (Escuder et al, 2007). El objetivo final es decidir, por un lado, si los riesgos existentes son tolerables y, por otro, si las medidas de control resultan adecuadas. En este último caso, se podrá determinar si son justificables medidas de control alternativas.

Culminada una primera etapa de cribado o “screening”, cuyos resultados completos (Figura 1) han sido publicados y presentados en Hydrovision 2008 (Escuder et al, 2008), se está desarrollando un análisis completo de los riesgos inherentes a la gestión de seguridad de las presas de Camporredondo y Compuerto.

Dicho análisis es parte de un trabajo “piloto” en la cuenca, e incluye la identificación de los potenciales modos de fallo, estimaciones cuantitativas de probabilidad de ocurrencia de distintos eventos, la probabilidad de fallo asociada a cada uno de los mismos y las consecuencias resultantes. El presente artículo muestra una serie de aspectos conceptuales y metodológicos junto con ejemplos del trabajo desarrollado hasta septiembre de 2008. La fecha prevista de finalización del modelo completo es diciembre de 2008.

Por último, mencionar que el trabajo “piloto” de confección de modelos de riesgo se está desarrollando igualmente para las presas del río Pisuerga (Cervera, Requejada y Aguilar de Campoo). En este segundo sistema, tal y como se desprende de los valores del “screening” realizado, se espera que la parte de consecuencias sea la de mayor peso en el modelo, dado que si bien Camporredondo y Compuerto presentan mayores “índices de rotura”, el índice de riesgo

es particularmente superior en Aguilar de Campoo, debido al valor estimado para las consecuencias de rotura.

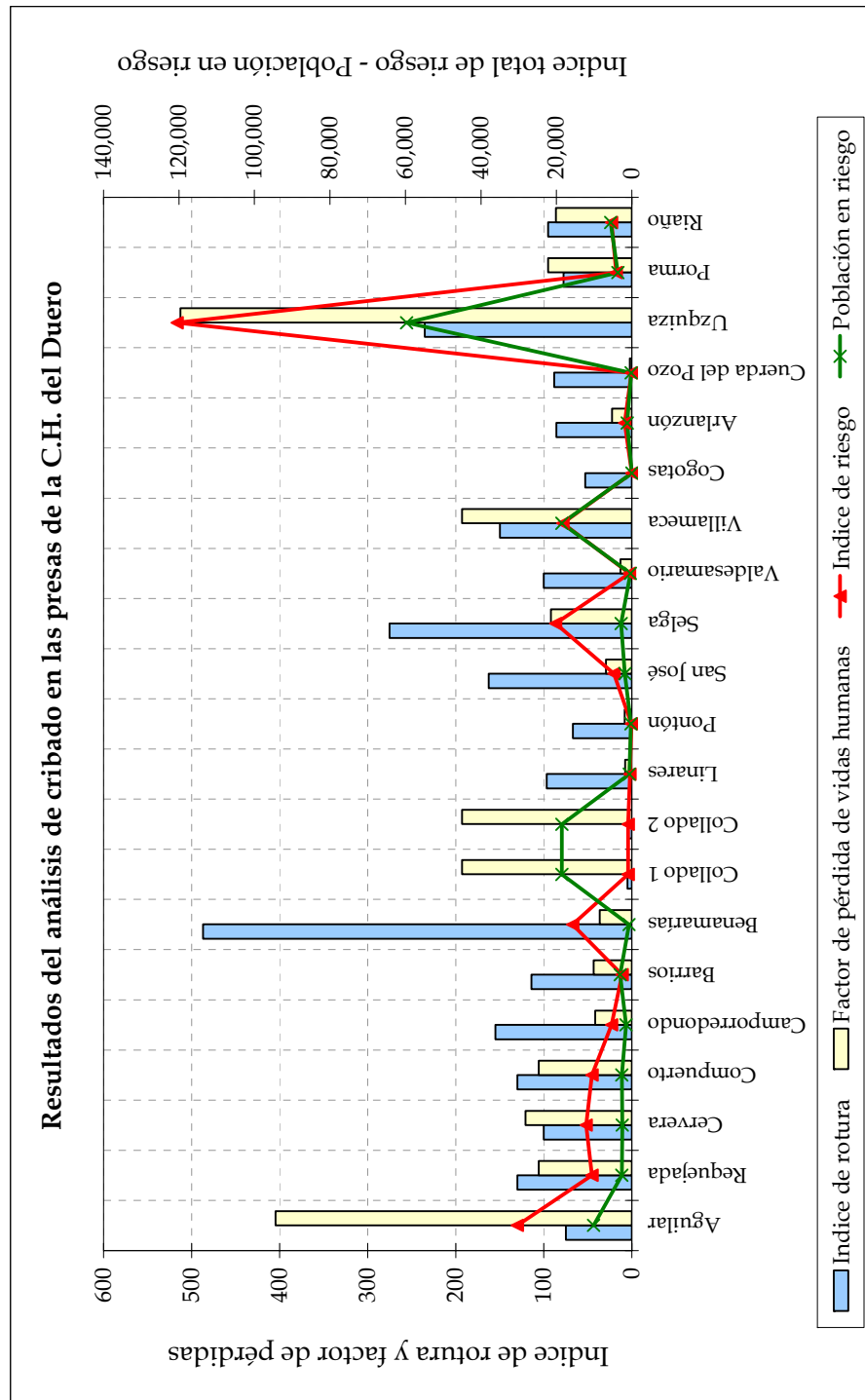


Figura 1. Resultados del análisis de cribado en la presas de la C.H. Duero

Nota: el riesgo estimado es una métrica relativa de manera que, en general, para las presas de materiales sueltos los índices son significativamente más altos.

2. IDENTIFICACION DE MODOS DE FALLO

Un modo de fallo constituye una secuencia particular de eventos que puede dar lugar a un funcionamiento inadecuado del sistema presa-embalse o una parte del mismo. En principio, se analiza cualquier modo de fallo con potencial para producir un vertido incontrolado de caudales y, por tanto, con potencial para causar daños sobre la vida humana. Así mismo, el análisis de los modos de fallo no se ciñe exclusivamente a las estructuras de retención de un embalse, sino que tiene en cuenta cualquier infraestructura incluida en el sistema presa-embalse.

Todos los potenciales modos de fallo han sido clasificados según las siguientes categorías:

- Grado I.- Modos de fallo que claramente se consideren factibles al existir alguna condición o estado sintomático detectado, resultando de probabilidad no despreciable la serie de eventos que llevan a la rotura e implicando consecuencias potenciales importantes. Estos modos de fallo son críticos y requieren decisiones a corto plazo, bien para recabar más información o directamente para acometer una actuación.
- Grado II.- Modos de rotura considerados igualmente factibles, aunque con menores posibilidades de ocurrir o consecuencias reducidas.
- Grado III.- Modos de fallo para los que la información disponible resulta, a todas luces, insuficiente aunque se estiman factibles y con consecuencias potenciales de magnitud elevada. Requieren de más investigación.
- Grado IV.- Modos de rotura descartados y cuya aparición no se considera razonable.

A continuación, se aporta el listado de los modos de fallo identificados para la presa de Camporredondo y la clasificación de cada uno de ellos:

- *Rotura de compuerta u operación errónea de la compuerta seguida de una suelta incontrolada de caudales.* Durante la reunión de identificación de modos de fallo, se clasificó como de grado II, ya que se consideró que el caudal vertido podría provocar daños significativos. Sin embargo, tras la posterior revisión del Plan de Emergencia de la presa, en la que se constató que dicho caudal no provocaría daños significativos, se decidió rebajar el modo de fallo a grado IV.
- *Deslizamiento de la presa por el aumento de carga hidrostática asociado a una avenida y a la falta de apoyo en estribos debido a la erosión por sobrevertido.* Este modo de fallo se clasifica como de grado II-IV, ya que aunque se incorporará al análisis cuantitativo de riesgo, todo parece indicar que dará probabilidades muy bajas.
- *Descalce de la presa y posterior rotura por inestabilidad debido a un vertido continuado desde alguno de sus aliviaderos.* Durante la reunión de identificación de modos de fallo, se clasificó como de grado III, a falta de comprobar si el colchón de agua que se produciría en

caso de un vertido continuado sería suficiente para proteger la cimentación. Una vez comprobado dicho punto se decidió cambiar la clasificación de este modo de fallo a grado IV

- *Inestabilidad de un bloque de la presa debido a la existencia de un plano desfavorable a través del cual existen filtraciones y una presión intersticial elevada.* Durante la sesión de identificación de modos de fallo, este modo de fallo se clasificó como de grado III, a falta de realizar los cálculos de estabilidad. Tras efectuarlos se decidió clasificar el modo de fallo como grado IV.
- *Descalce de la presa debido a vertido incontrolado por la rotura del canal de descarga del aliviadero de la margen derecha.* Este modo de fallo se clasifica como grado IV.
- *Deterioro del estribo izquierdo debido a un mal funcionamiento del túnel del aliviadero de la margen izquierda.* Este modo de fallo se clasifica como grado IV.
- *Erosión del relleno de las diaclasas en el estribo derecho y/o el cimiento, produciendo un incremento de las filtraciones, de las deformaciones y finalmente un agrietamiento del cuerpo de presa.* Este modo de fallo se clasifica como grado IV.
- *Fallo en el contacto entre el cuerpo de presa y la estructura del aliviadero, con entrada de agua y movimiento del bloque cercano.* Este modo de fallo se clasifica como grado IV.

La Figura 2 muestra el desarrollo de una de las sesiones de trabajo celebradas en la Confederación Hidrográfica del Duero.



Figura 2. Desarrollo de una de las sesiones de trabajo en la Confederación Hidrográfica del Duero

Por último, mencionar que la actividad de “identificación de los modos de fallo” se ha realizado en una serie de sesiones conjuntas de trabajo, de manera

que las aportaciones de todos los participantes en dichas sesiones han sido incorporadas en las conclusiones y recomendaciones del informe de seguridad, así como indirectamente en los Planes de Emergencia y en las recomendaciones sobre las Normas de Explotación, generando por tanto beneficio directo sin necesidad de esperar a disponer del modelo completo.

Las interacciones del proceso con la elaboración del resto de documentos se esquematizan en la Figura 3.

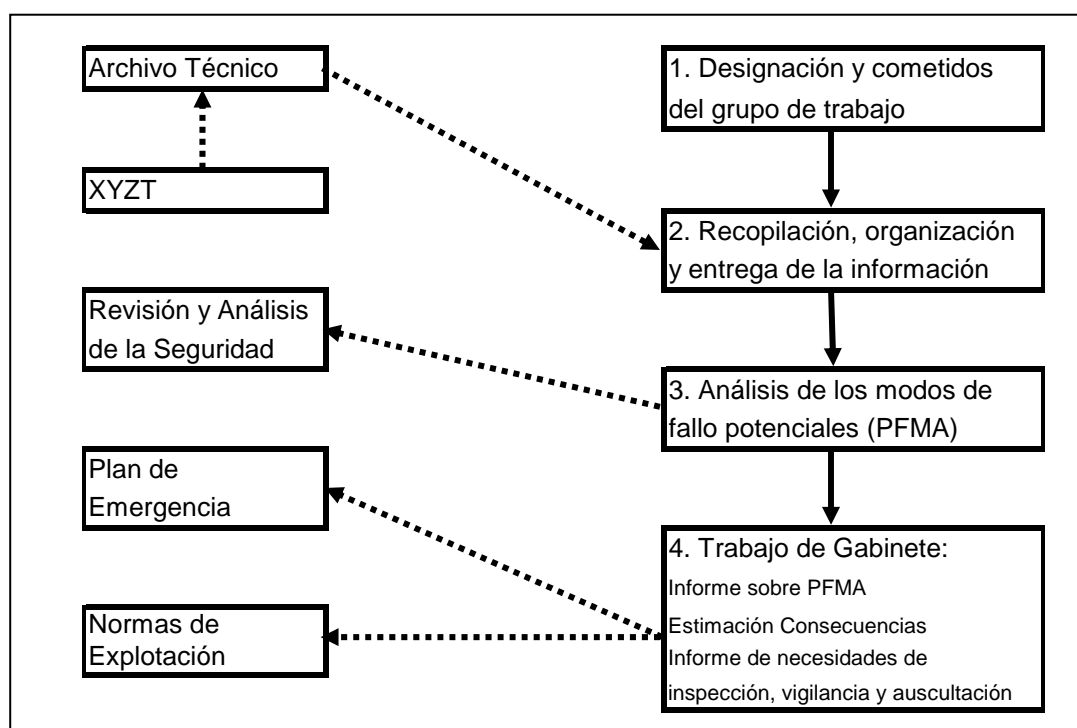


Figura 3. Interacciones del proceso de identificación de modos de fallo con la elaboración del resto de documentos de seguridad

3. MODELO CUANTITATIVO DE RIESGO

Del conjunto de las actividades previstas, y que se aportan en la siguiente Tabla (Tabla 1), se han concluido las cinco primeras, habiéndose configurado una versión preliminar del modelo de riesgo mediante el software iPresas (Serrano et al, 2009).

Una vez se hayan validado y consensuado los resultados de las mismas en las pertinentes reuniones de trabajo, quedará completamente configurado el modelo cuantitativo completo de riesgo para las presas de Camporredondo y Compuerto.

ACTIVIDAD	BENEFICIOS/RESULTADOS
<i>Inspecciones y análisis conducentes a la redacción del Informe de Seguridad</i>	Bases para el entendimiento de los modos de fallo. Medio para la detección e intervención en los modos de fallo. Aspecto fundamental para la asignación posterior de probabilidades de fallo.
<i>Identificación de los modos de fallo</i>	Entendimiento y discretización de las secuencias de fallo. Justificación de la inspección, instrumentación y análisis. Valor añadido muy importante para las Inspecciones Formales.
<i>Escenarios de solici-tación</i>	Caracterización de escenarios hídricos y sísmicos Cálculo de probabilidades de nivel de agua
<i>Estimación de proba-bilidades de fallo</i>	Cuantificación de la probabilidad condicional de fallo
<i>Estimación de las consecuencias</i>	Potenciales pérdidas de vidas humanas, económicas y medioambientales
<i>Modelo Cuantitativo de Seguridad</i>	Cuantificación de la probabilidad anual de fallo y sus conse-cuencias. Análisis de sensibilidad sobre diferentes reglas de operación. Evaluación de la eficiencia de distintas acciones de mitigación de riesgo. Software iPresas particularizado al río Carrión y directamente

Tabla 1. Actividades del proceso y beneficios asociados

A continuación se muestra la arquitectura del modelo de riesgo (Figura 4) de la presa de Camporredondo. Además, en la Tabla 2, se aportan una serie de índices para el estado actual de la presa (Caso Base) así como para el caso en que se implementen tres de las alternativas que emanan de las recomendaciones del informe de seguridad (Alternativa 1: Pantalla de drenaje e impermeabilización; Alternativa 2: Implantación del Plan de Emergencia; Alternativa 3: rehabilitación y mejora de equipos electromecánicos).

Los valores de los índices incorporados en la Tabla 2 son:

- Probabilidad de rotura: expresión de la probabilidad de fallo en “eventos/año”.
- Coste incremental del riesgo: valores esperados del coste del riesgo en “euros año” (probabilidad de rotura multiplicado por las consecuencias económicas).
- Pérdida anual incremental de vidas humanas: pérdida potencial de vidas humanas en “vidas/año” (probabilidad de rotura multiplicado por las consecuencias en vidas)
- Coste de reducción del riesgo: valor anualizado en euros de la medida de reducción del riesgo.

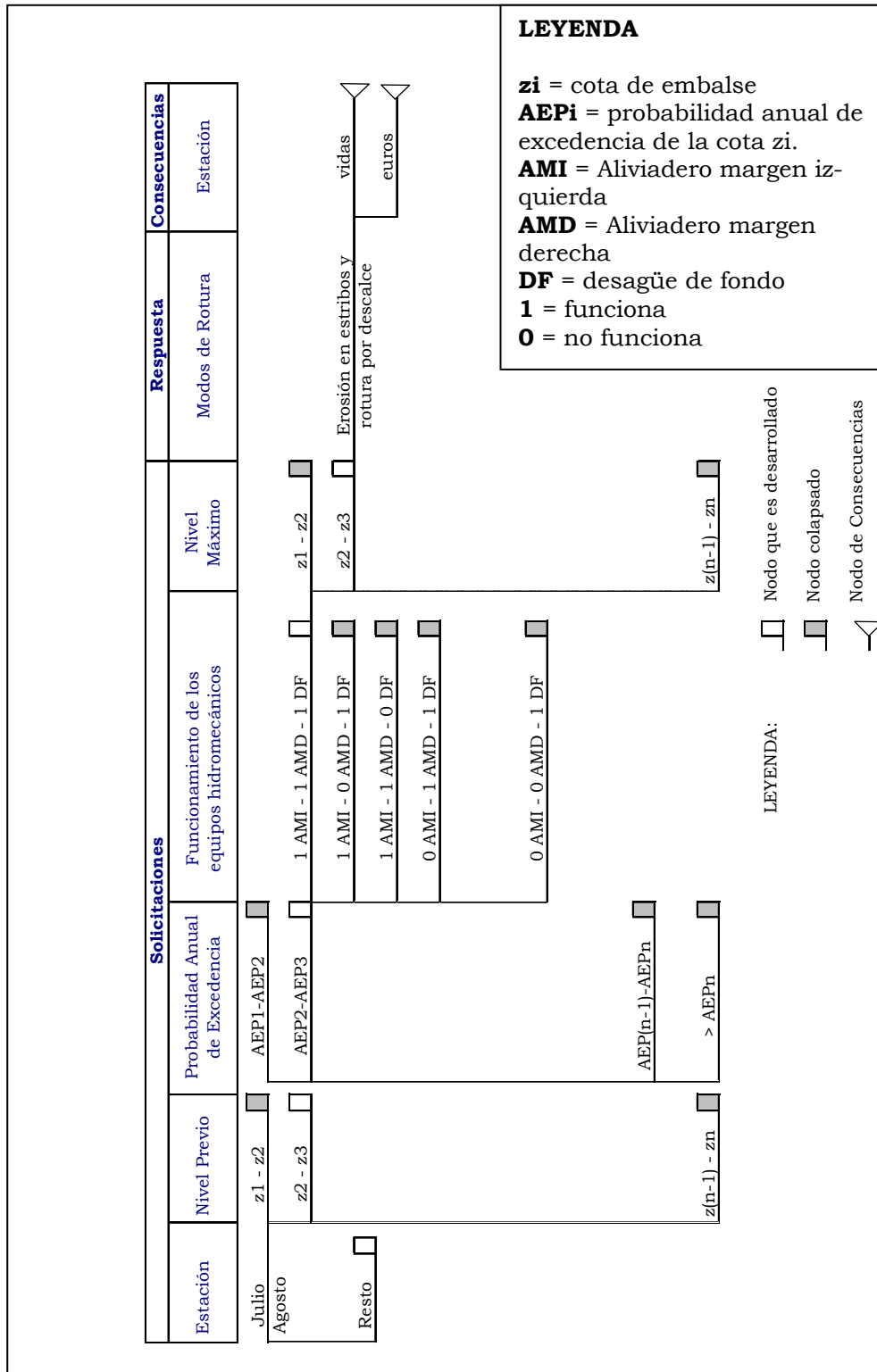


Figura 4. Arquitectura del modelo de riesgo de Camporredondo

	CASO BASE	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Probabilidad de Rotura	7,79E-09	4,40E-11	7,79E-09	2,14E-10
Coste Incremental del Riesgo	0,191146	0,001079	0,191146	0,005259
Pérdida Anual Incremental de Vidas Humanas	1,17E-07	6,62E-10	1,97E-08	3,23E-09
Coste de Reducción de Riesgo (€/año)		40258,14	17790,52	176497,5

Tabla 2. Valores de algunos índices del modelo preliminar de riesgo

Por último, la siguiente figura (Figura 5) muestra la reducción en porcentaje del riesgo existente frente al coste acumulado de las distintas alternativas. Cabe mencionar que las dos primeras actuaciones están ya programadas por la Confederación Hidrográfica del Duero y la redacción del Plan de Emergencia quedará concluida este mismo año.

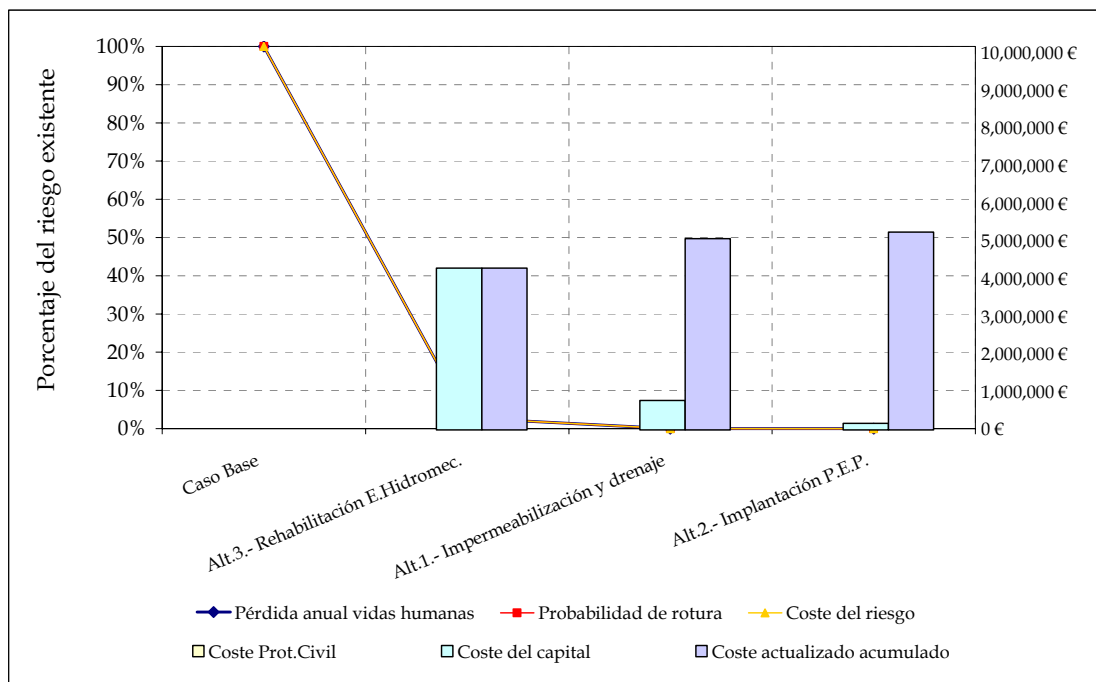


Figura 5. Reducción en porcentaje del riesgo existente frente al coste acumulado de las distintas actuaciones

4. CONCLUSIONES

El programa de gestión de la seguridad de presas emprendido por la Confederación Hidrográfica del Duero basado en el enfoque del análisis de riesgos complementa las herramientas clásicas de evaluación de la seguridad aportándole un importante valor añadido. Entre los beneficios que a corto plazo ha producido la aplicación de la gestión de riesgo basada en análisis de riesgos se pueden destacar los siguientes:

- Proporciona una información objetiva e inédita, nunca antes aportada por los métodos tradicionales, de cara a la toma de decisiones en materia de gestión de seguridad de presas.
- Recopila exhaustivamente toda la información disponible y genera una documentación jerarquizada que sirve como base para la gestión de seguridad, tanto la presente como la de los próximos lustros.
- Permite dar un nuevo sentido a todos los trabajos de inspección visual, vigilancia activa, toma de registros y posterior análisis de la auscultación.
- Detecta sistemáticamente las necesidades de investigación y nuevos estudios relacionados con la seguridad de las presas.
- Facilita la optimización y concreción de las reglas de operación del embalse, asegurando que no hay puntos débiles que pudieren dar lugar a errores graves.
- Permite identificar las medidas de reducción de riesgo que más se ajustan a las necesidades específicas de la presa y, en caso necesario, determinar actuaciones urgentes.

AGRADECIMIENTOS

Un especial agradecimiento para todos los integrantes del grupo de trabajo (Arturo Gil, Daniel Sanz, Pedro Matía, Felipe Ibarrondo, Ángel Monge, Miguel Ángel Rubio, Nuria Bueso, Javier Rodríguez, José Ignacio Díaz-Caneja, Antonio Garrosa, José Manuel Martínez, Miguel Angel Fernández) por su significativa contribución a la confección del modelo.

REFERENCIAS

Escuder, I; G. de Membrillera, M.; Moreno, P.; Pérez, O.; Ardiles, L.; Jenaro, E. *First risk-based screening on a Spanish portfolio of 20 dams owned by the Duero River Authority*. Hydrovisión 2008. Sacramento (USA).

Escuder, I; G. de Membrillera, M.; Moreno, P.; Pérez, O.; Ardiles, L.; Jenaro, E. *Desarrollo de un programa complementario de seguridad basado en análisis de riesgos para las presas de la Confederación Hidrográfica del Duero*. V Congreso de Ingeniería Civil, Territorio y Medio Ambiente. 2007. Sevilla (España).

Serrano, A.; Escuder, I.; Membrillera, M.; Altarejos, L. *iPresas: SOFTWARE FOR RISK ANALYSIS*. Aceptado para el Congreso de ICOLD de 2009. Brasil.