COMEII

CONGRESO NACIONAL DE RIEGO Y DRENAJE 2017

VINCULANDO LA INFORMACIÓN CON ACCIONES POR EL AGUA Y LA ALIMENTACIÓN

# ANÁLISIS Y EVALUACIÓN PRELIMINAR DEL RIESGO DE FALLA POST SISMO DE UNA PRESA DE MATERIALES GRADUADOS

IMTA
INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA

UNAM
POSGRADO

**M.I. Rafael Antonio Briseño Ramiro**
**Dr. Víctor Hugo Alcocer Yamanaka**
**M.I. José Alfredo González Verdugo**
**Ing. Gisselle Orozco Bustos**

30/11/2017

PUEBLA XXXI CONVENCIÓN ANUAL Y EXPO ANEAS 2017 · SEMARNAT · CONAGUA · IMTA · SAGARPA · inifap · PUEBLA Sigue · BUAP · Colegio de Postgraduados

# INTRODUCCIÓN

- En el XIII Congreso de Ingeniería Civil (noviembre de 1985), se recomendaron acciones para proteger las estructuras hidráulicas contra sismos. Con respecto al efecto de estos sismos de 1985 en las obras de hidráulicas, se hizo referencia a lo sucedido en las presas de la Villita e Infernillo, situadas en la cuenca del rio Balsas. La localización y forma de las grietas longitudinales indicaron, en ambos casos, asentamientos importantes del material granular que constituye el respaldo. Concluyeron que este tipo de falla parcial no representa un peligro para la estabilidad general de las cortinas. Sin embargo, para emitir un juicio definitivo recomendaron terminar y analizar las mediciones que lleva acabo la Comisión Federal de Electricidad, la cual conserva los piezómetros, inclinómetros y en general todos los instrumentos instalados en ambas cortinas.

# INTRODUCCIÓN

- El pasado 19 de septiembre de 2017 se registró un sismo de 7.1 en escala de Richter, con respecto al efecto de este sismo, se detectaron incidentes en tres presas de materiales graduados ubicadas a menos de 25 km del epicentro (localizado a 12 km al sureste de Axochiapan, Morelos).
- En México, la CONAGUA tiene un inventario en el Sistema de Seguridad de Presas (SISP) de más de 5700 presas y bordos.
- De las cuales 420 presas son de materiales graduados (7%), se encontró que el 32% tienen más de 50 años en operación, el 67 % de estas corresponde a presas grandes (> 15 m de altura o volumen > a 3 hm3), el 83% son para uso de riego, el 63 % están ubicadas en zonas de alta sismicidad (Región C y D), y sólo 38 presas sufrirían altas consecuencias en caso de falla parcial o total por sismo.

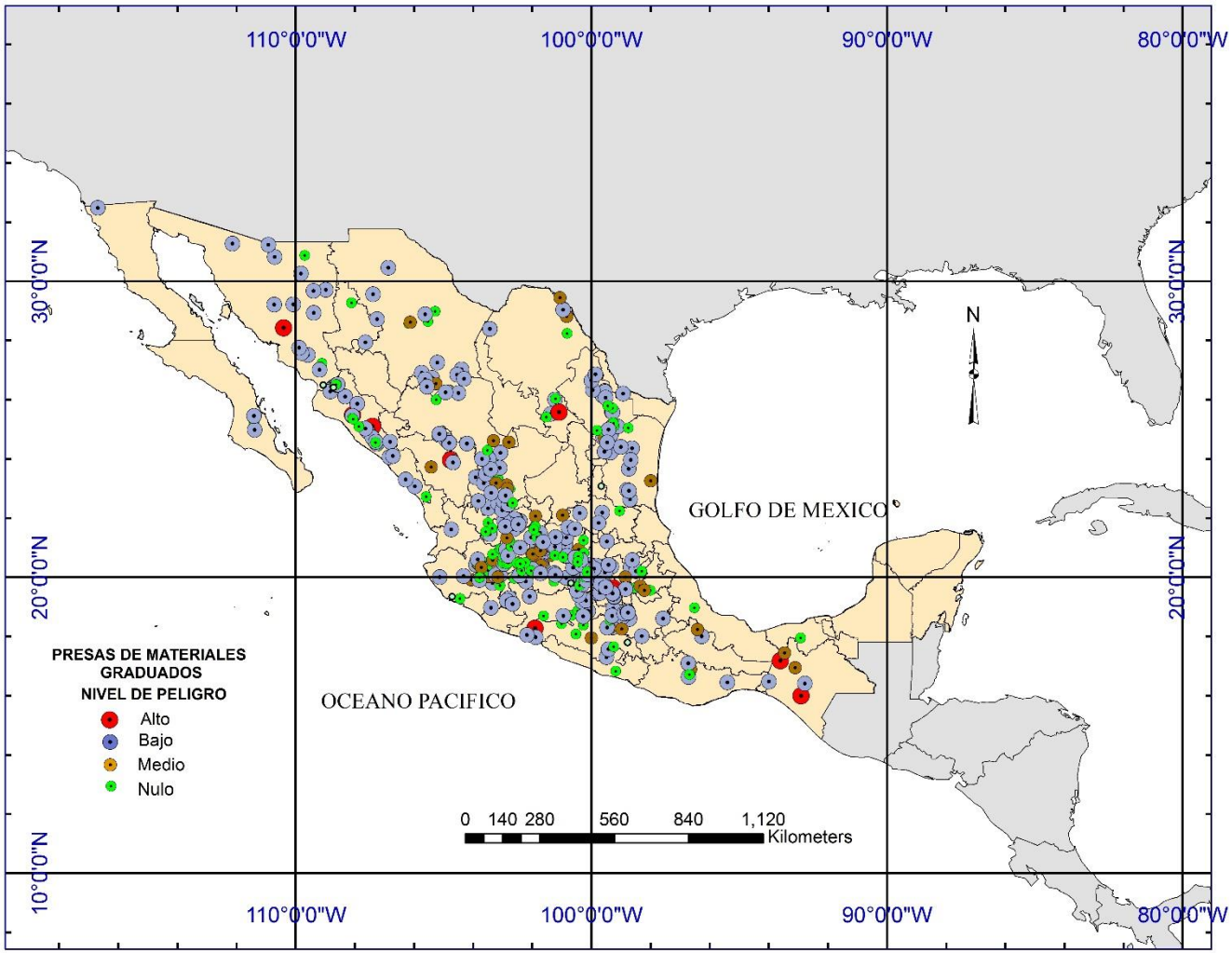
# INTRODUCCIÓN

- Los posibles modos de falla por sismo en presas de materiales graduados son: grietas longitudinales, deslizamiento de taludes, daños en la cimentación, asentamientos, licuefacción, fallo por tubificación a través de grietas transversales, desbordamiento debido al deslizamiento de laderas en el embalse o daños en sus estructuras (compuertas, cimacio, obra de toma, entre otros).
- En este artículo se presenta una metodología basada en la norma NMX-AA-175-SCFI para el análisis y evaluación del riesgo de una presa de materiales graduados, para el escenario sísmico, ya que se han reportado pequeños incidentes, afortunadamente sin consecuencias graves en este tipo de presas.

VINCULANDO LA INFORMACIÓN CON ACCIONES POR EL AGUA Y LA ALIMENTACIÓN

# INTRODUCCIÓN

**Figura 4**. Ubicación de las presas de materiales graduados y su clasificación preliminar de peligro aguas abajo para cualquier modo de falla, datos del SISP (2017)

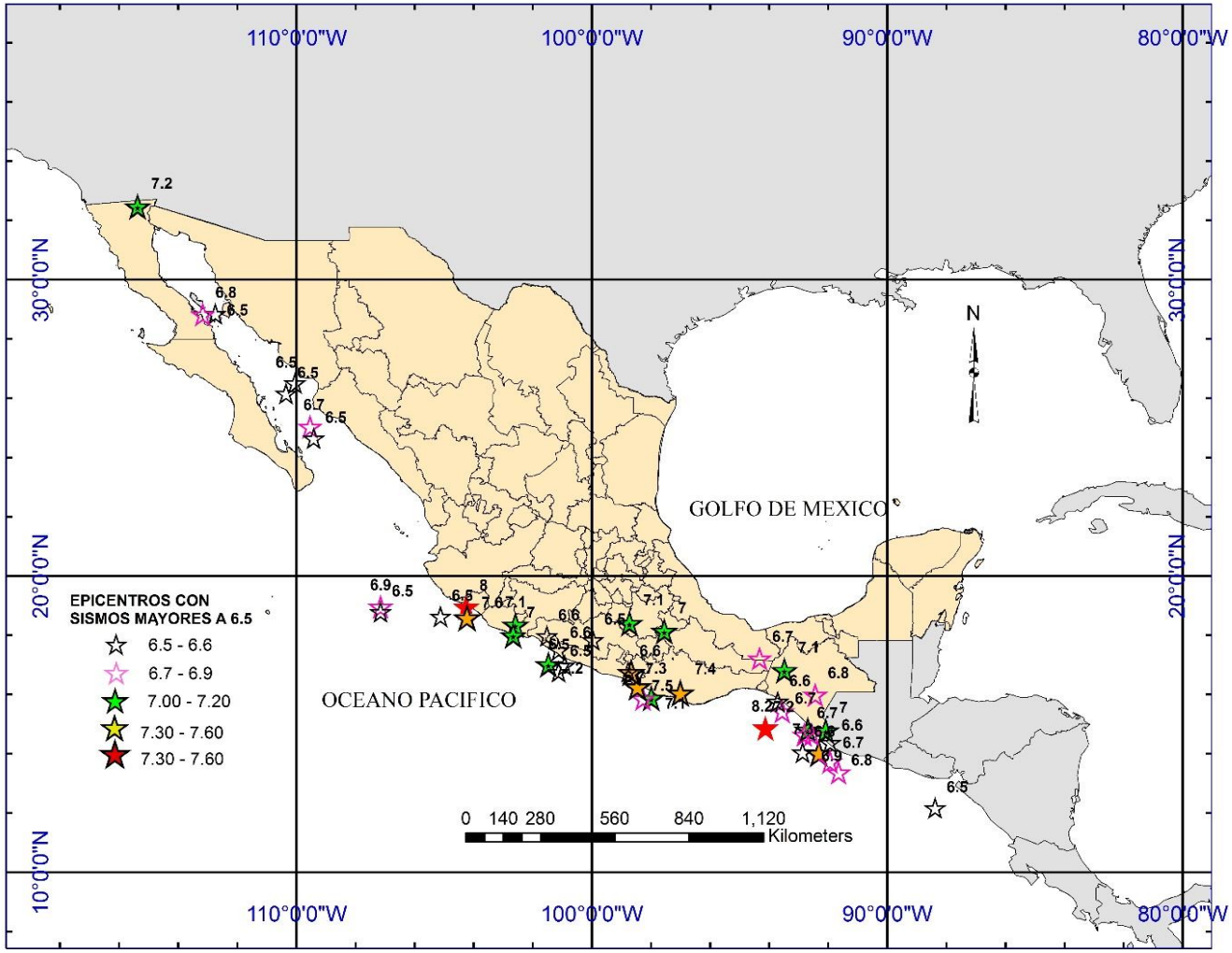



VINCULANDO LA INFORMACIÓN CON ACCI

# INTRODUCCIÓN

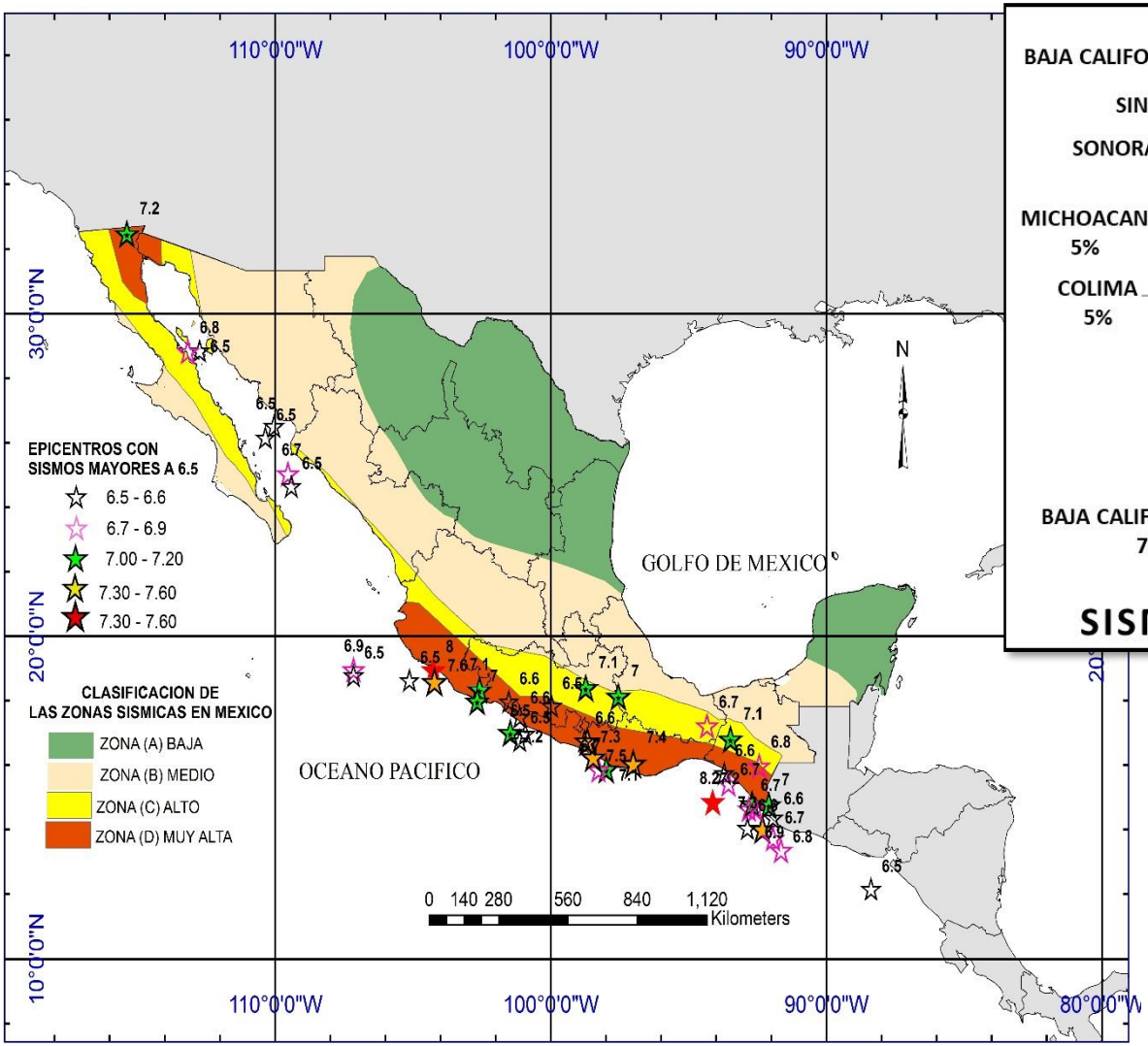
VINCULANDO LA INFORMACIÓN CON ACCIONES POR EL AGUA Y LA ALIMENTACIÓN

**Figura 1**. Epicentros con magnitud > 6.5 desde 1990 a 2017 (SSN)



# INTRODUCCIÓN

VINCULANDO LA INFORMACIÓN CON ACCIONES POR EL AGUA Y LA ALIMENTACIÓN



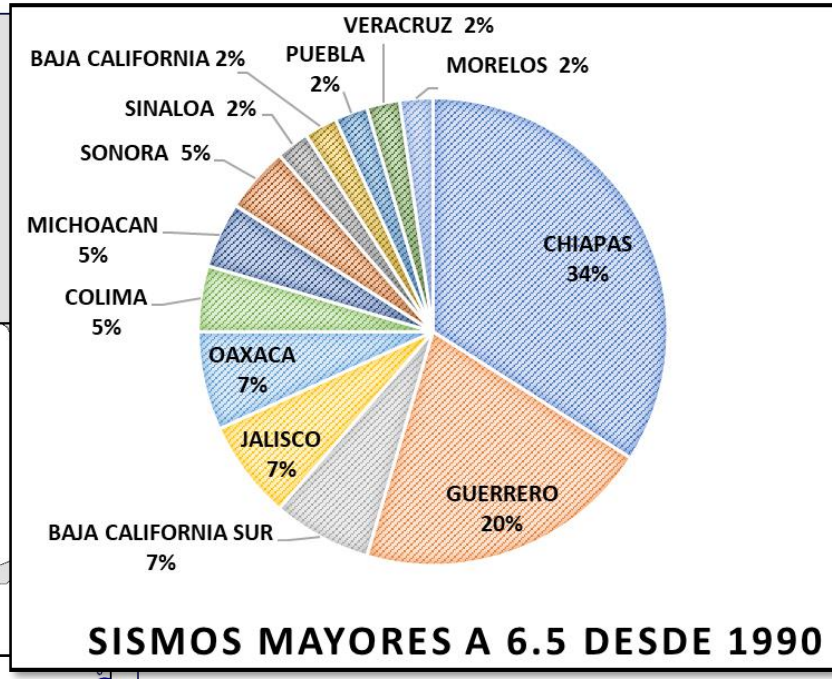
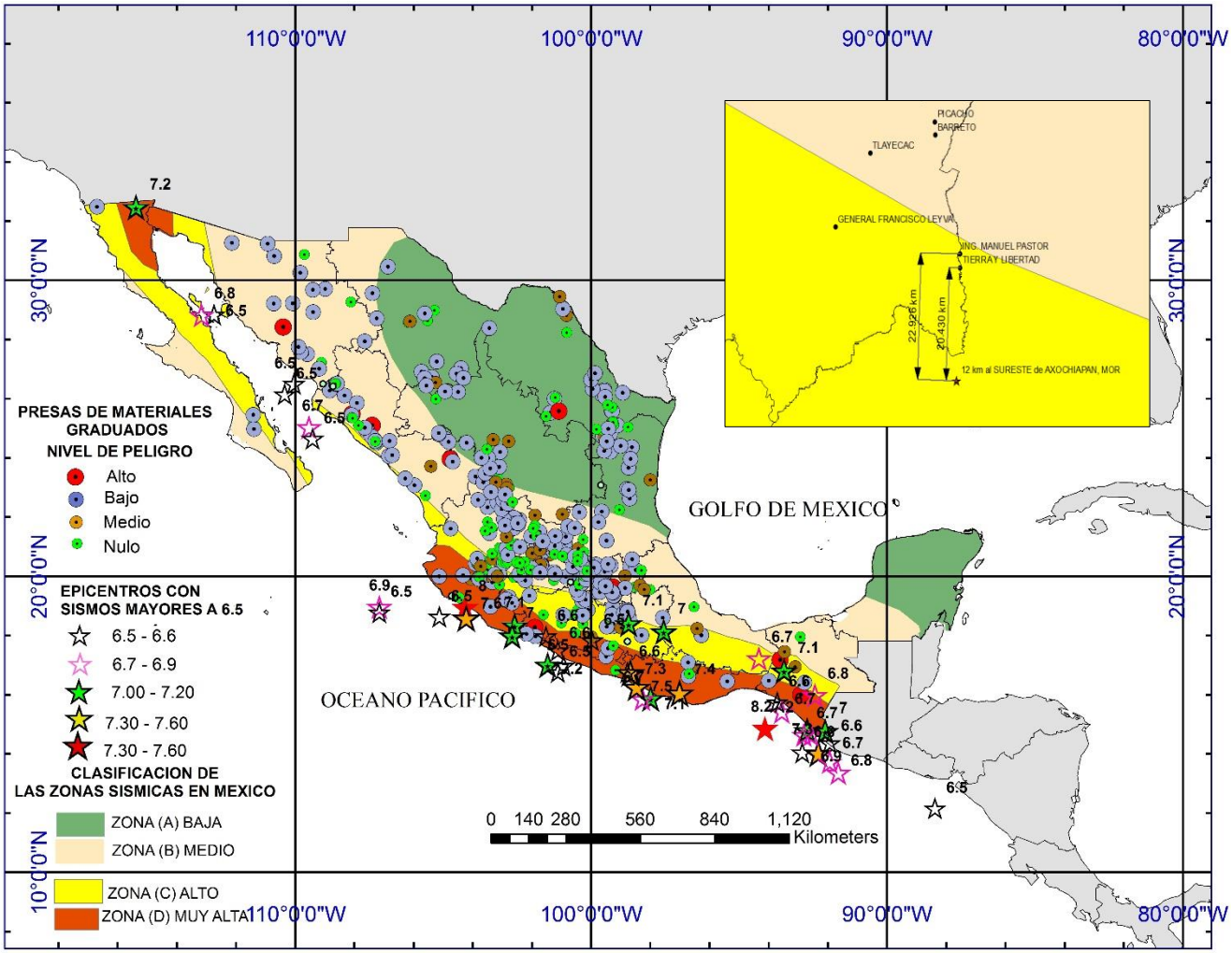




**Figura 4**. Regiones sísmicas con epicentros magnitud > 6.5 (44) desde 1990 a 2017, elaborada con datos del SSN (2017).

COMEII
CONGRESO NACIONAL DE RIEGO Y DRENAJE
2017

# INTRODUCCIÓN

**Figura 4**. Ubicación de las presas de materiales graduados y su clasificación de peligro aguas abajo para cualquier modo de falla, datos del SISP (2017)




VINCULANDO LA INFORMACIÓN CON ACCI

# INTRODUCCIÓN



- La Norma mexicana NMX-AA-175-SCFI-2015 “Operación Segura de Presas”, expresa el riesgo anualizado como la combinación de tres componentes con la siguiente fórmula:

$$R_{N,\$} \approx \rho_c \, x \, \rho_R \, x \, C_{N,\$} \qquad (1)$$

- Donde:
- $R_{N,\$}$ = Riesgo anualizado expresado en términos de pérdida de vidas (N) o en términos monetarios del daño ($).
- $\rho_c$ =Probabilidad anual de ocurrencia de una amenaza o acción que pueda causar la falla de la presa: carga hidráulica del embalse, carga sísmica, entre otros.
- $\rho_R$ = Probabilidad anual de ocurrencia de un mecanismo de falla o de la respuesta de la falla dada la ocurrencia de una amenaza $\rho_c$.
- $C_{N,\$}$ = Consecuencia de la falla de una presa expresada en términos de pérdida de vidas (N) o en términos monetarios del daño ($), dada la $\rho_R$

# INTRODUCCIÓN

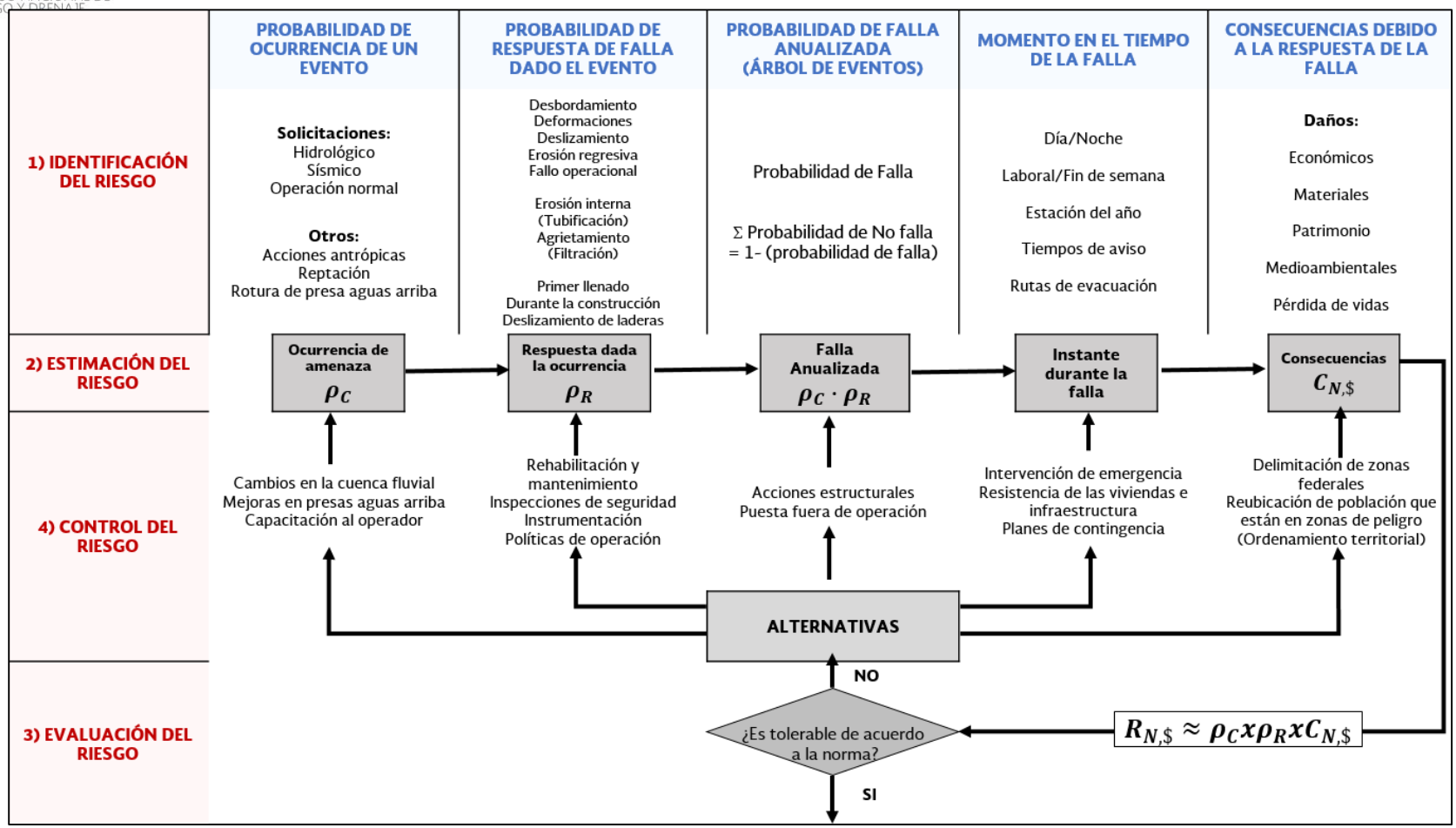
- **Clasificación de presas por su potencial de daños**

**Tabla 1**. Clasificación preliminar de Riesgo (NMX AA 175 SCFI 2015)

| Clasificación preliminar de Riesgo | Descripción |
|---|---|
| **Alto** | La falla de la obra es muy probable y en caso de suscitarse, las afectaciones incluyen la pérdida de vidas humanas o daños ambientales graves. |
| **Medio** | La falla de la obra es probable y en caso de suscitarse, las afectaciones serían principalmente materiales y ambientales limitadas. |
| **Bajo** | La falla de la obra es poco probable y en caso de suscitarse, las afectaciones materiales serían escasas y limitadas a la obra |

VINCULANDO LA INFORMACIÓN CON ACCIONES POR EL AGUA Y LA ALIMENTACIÓN

# METODOLOGÍA




Esquema general para el modelo de riesgo de una presa. Adaptado de Bowles (1998)

VINCULANDO LA INFORMACIÓN CON ACCIONES POR EL AGUA Y LA ALIMENTACIÓN

# METODOLOGÍA

- El Análisis y Evaluación del riesgo en seguridad de presas de materiales graduados para un escenario sísmico, fue basado en Bowles (1998), Briseño & Orozco (2016) y de acuerdo a los requerimientos de la norma NMX-AA-175-SCFI.
- El modelo de riesgo comprende 4 etapas:
- 1) Se **identifica** el modo de falla,
- 2) Se **estima** la probabilidad anual de falla y posibles consecuencias,
- 3) Se **evalúa** con respecto a los criterios de aceptación
- 4) Si es inadmisible se aplica el **control** para reducir el riesgo y se reinicia el análisis hasta encontrar la tolerabilidad de manera que sea posible la operación de la presa a un costo razonable.

VINCULANDO LA INFORMACIÓN CON ACCIONES POR EL AGUA Y LA ALIMENTACIÓN

# RESULTADOS Y DISCUSIONES

## 1) Identificación del Riesgo

- Para iniciar el estudio, se debe conformar un equipo de especialistas en ingeniería de presas, analizar toda la información disponible y visitar la obra con un representante de la presa, de acuerdo con la norma NMX-AA-175-SCFI, parte 2 (2016). Además, para un estudio formal se deben realizar estudios especializados de campo (topografía detallada de la presa y cauce, batimetría, exploraciones geotécnicas, básicamente) y gabinete (hidrológico-hidráulico, de peligro sísmico, de estabilidad de taludes, funcional y operacional, mapas de peligro) para identificar todos los posibles mecanismos de falla y consecuencias de ella.

VINCULANDO LA INFORMACIÓN CON ACCIONES POR EL AGUA Y LA ALIMENTACIÓN

# RESULTADOS Y DISCUSIONES

## 1) Identificación del Riesgo

**CORONA**

**Fotografía 2** . Detalle de la grieta longitudinal sobre la corona en el hombro aguas arriba.

**Fotografía 3** . Foto 7. Aspecto de las grietas sobre la corona a 2.20 m del flex beam del hombro aguas abajo.

VINCULANDO LA INFORMACIÓN CON ACCIONES POR EL AGUA Y LA ALIMENTACIÓN

# RESULTADOS Y DISCUSIONES

- **1) Identificación del Riesgo**

**TALUDES**

**Fotografía 4.** Enrocamiento sobre el talud aguas arriba.

**Fotografía 5.** Aspecto del enrocamiento de protección del talud aguas abajo, encima del camino..

VINCULANDO LA INFORMACIÓN CON ACCIONES POR EL AGUA Y LA ALIMENTACIÓN

# RESULTADOS Y DISCUSIONES

- ## 1) Identificación del Riesgo

### MONITOREO DE TESTIGOS SUPERFICIALES

**Fotografía 8.** Instrumentación sobre el talud aguas abajo, a base de testigos topográficos

**Fotografía 9.** Testigo superficial sobre la corona..

VINCULANDO LA INFORMACIÓN CON ACCIONES POR EL AGUA Y LA ALIMENTACIÓN

# RESULTADOS Y DISCUSIONES

- **1) Identificación del Riesgo**

**OBRAS AUXILIARES**

**Fotografía 6.** Aspecto del portal de salida de la obra de toma.

**Fotografía 7.** Panorámica de la estructura de descarga del vertedor al río San Francisco.

VINCULANDO LA INFORMACIÓN CON ACCIONES POR EL AGUA Y LA ALIMENTACIÓN

# CONCLUSIONES

## 1) Identificación del Riesgo

- A partir de la inspección realizada a la presa 2 días después del sismo del 19 de septiembre del presente año, con epicentro en Axochiapan, Morelos a 20 km de la presa, los principales hallazgos fueron los siguientes:
- La grieta sobre la corona del lado del hombro aguas arriba, fue generada por el sismo del día 19 de septiembre de 2017, y es representativa de un deslizamiento de tipo local o superficial.
- No se detectaron filtraciones sobre el talud aguas abajo que indicaran agrietamientos u otro tipo de problemas sobre el corazón de arcilla impermeable.
- Se determinó que el principal modo de falla de la presa corresponde al deslizamiento del talud de aguas arriba por efecto del sismo.

VINCULANDO LA INFORMACIÓN CON ACCIONES POR EL AGUA Y LA ALIMENTACIÓN

# RESULTADOS Y DISCUSIONES

VINCULANDO LA INFORMACIÓN CON ACCIONES POR EL AGUA Y LA ALIMENTACIÓN

- **2) Estimación del Riesgo**

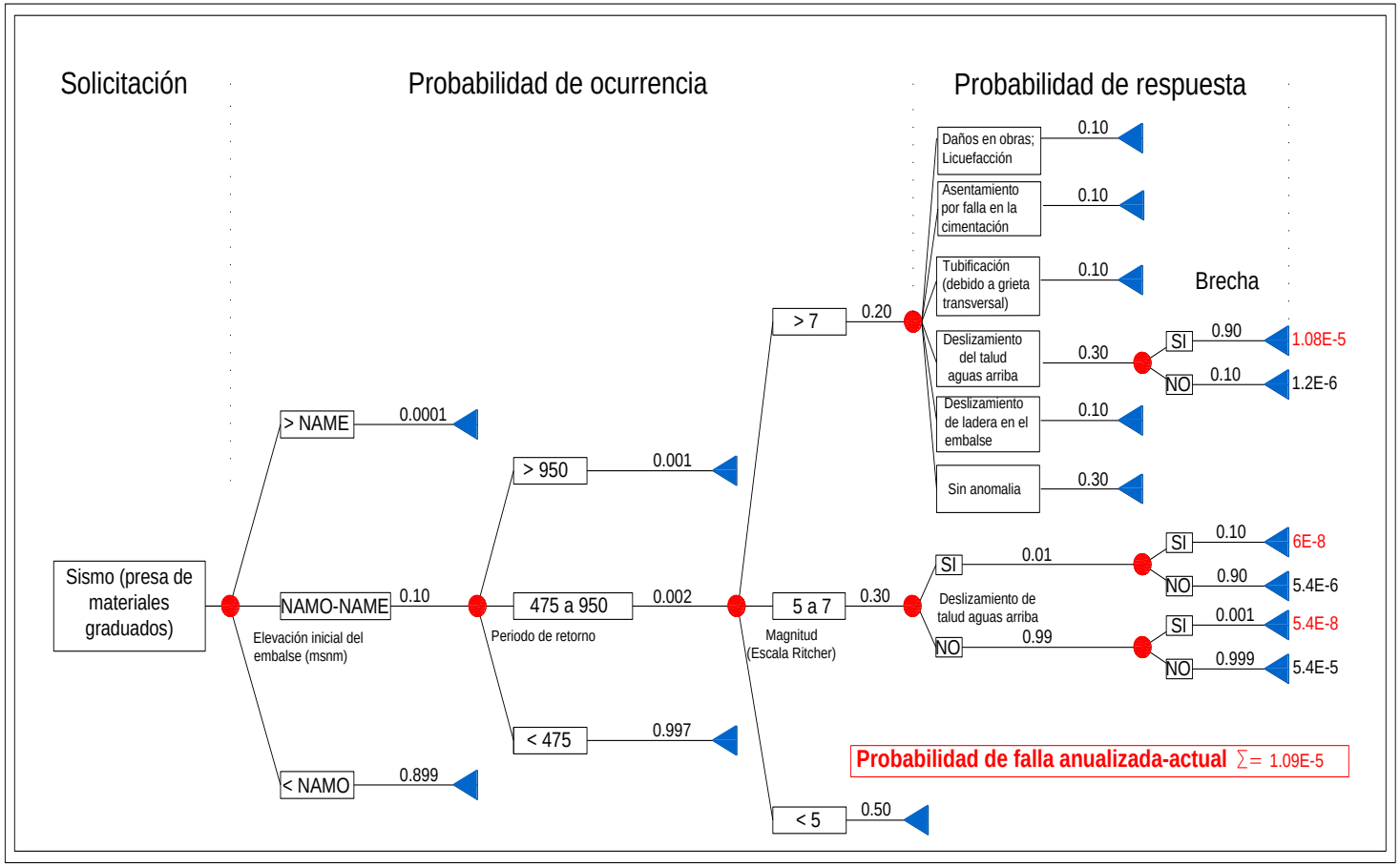
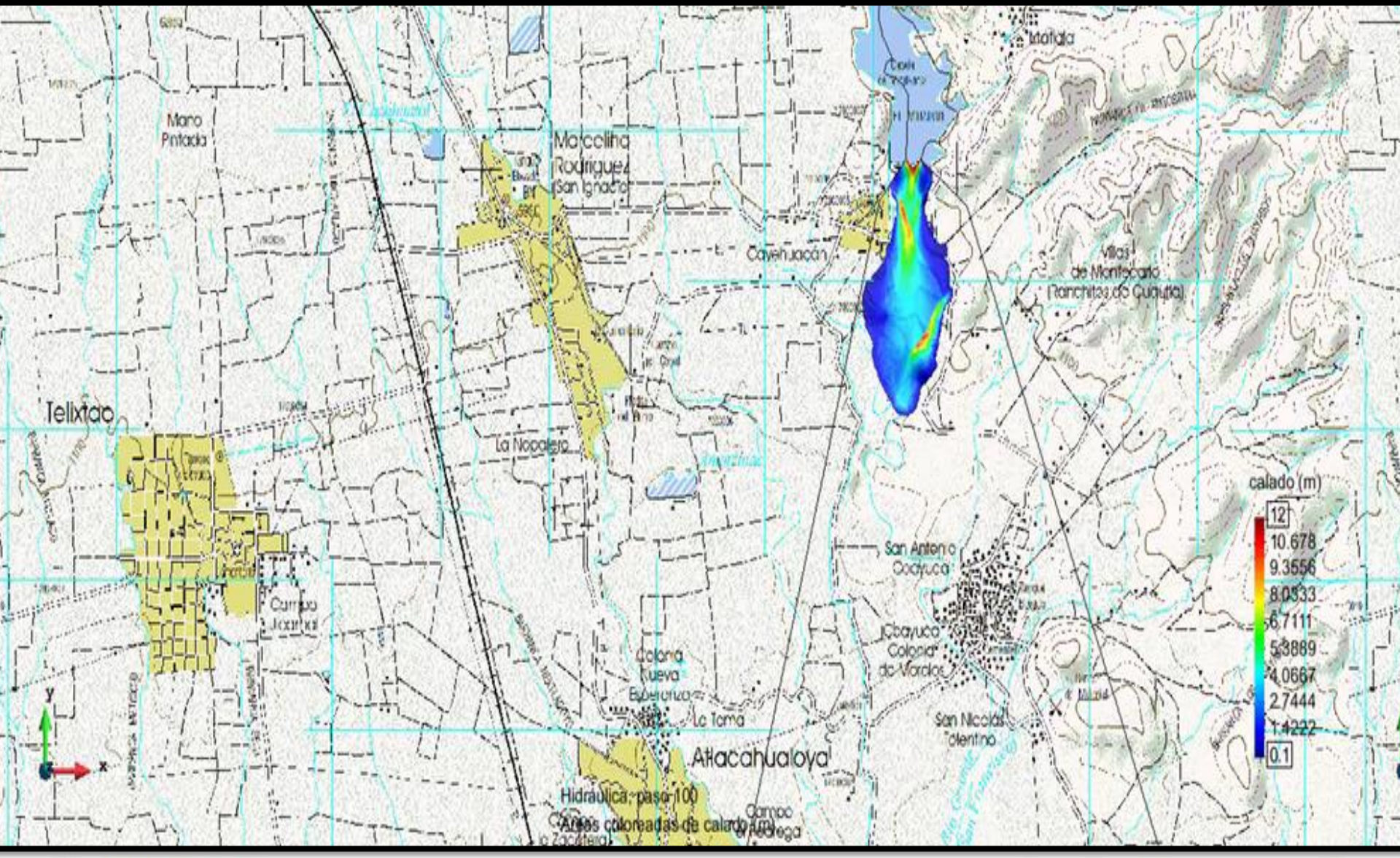



**Figura 5.** Árbol de eventos para un escenario sísmico de una presa de materiales graduados.

COMEII

# RESULTADOS Y DISCUSIONES



# RESULTADOS Y DISCUSIONES

- **2) Estimación del Riesgo**

**CONSECUENCIAS DE LA FALLA**

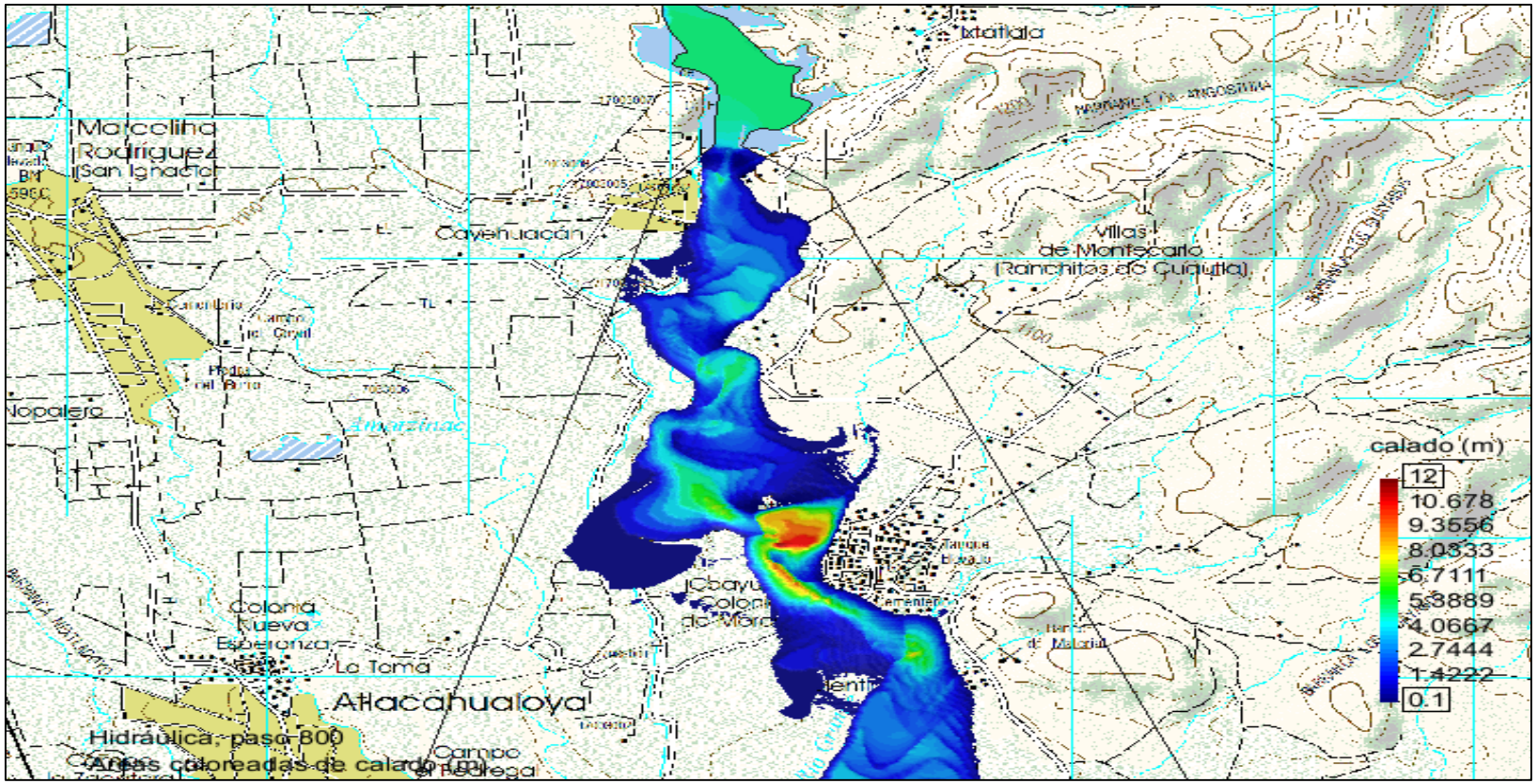



**Figura 6.** Representación del rompimiento de la presa (Iber)

VINCULANDO LA INFORMACIÓN CON ACCIONES POR EL AGUA Y LA ALIMENTACIÓN

# RESULTADOS Y DISCUSIONES

## 3) Evaluación del Riesgo

VINCULANDO LA INFORMACIÓN CON ACCIONES POR EL AGUA Y LA ALIMENTACIÓN

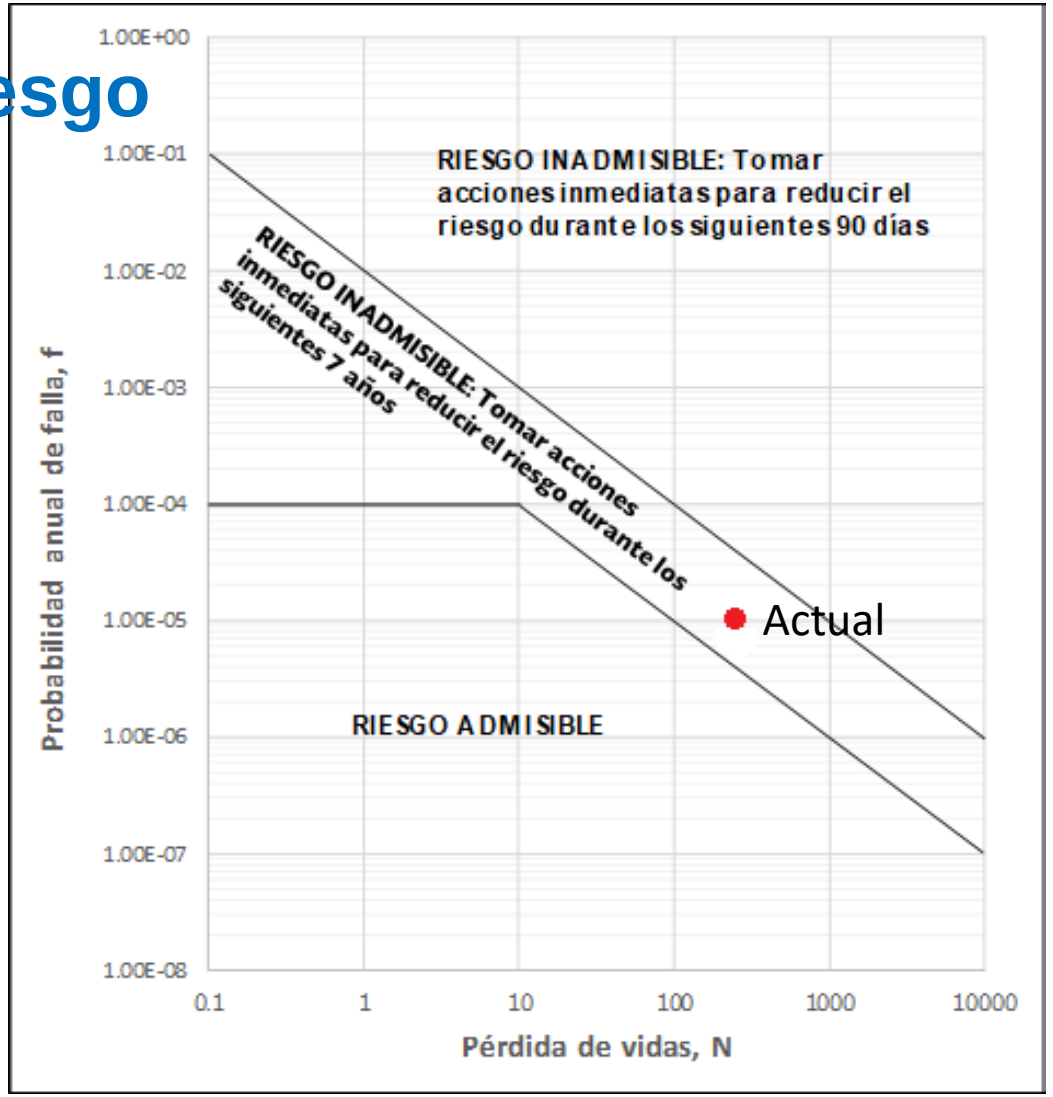



**Figura 7.** Evaluación del riesgo por deslizamiento de talud aguas arriba de una presa de materiales graduados (NMX-AA-175-SCFI-2015).

# RESULTADOS Y DISCUSIONES

## 3) Control del Riesgo

**Tabla 1.** Medidas de mitigación del riesgo más empleadas para presas. (Briseño & Orozco, 2016)

| | |
|---|---|
| Estructurales | Rehabilitación de la presa con material adecuado |
| | Rectificación de taludes de acuerdo a la revisión de estabilidad |
| | Aumento del nivel de la corona (sobreelevación) |
| | Diseño adecuado para la suficiencia hidráulica de la obra de excedencias, de acuerdo al estudio hidrológico |
| | Aumento de la capacidad hidráulica (puentes y alcantarillas) sobre el cauce aguas abajo |
| | Mejoras en presa aguas arriba |
| | Mantenimiento a las obras de toma, excedencias y desfogue |
| No estructurales | Optimización de las reglas y política de operación |
| | Establecimiento de albergues |
| | Mejora del sistema de medición de la instrumentación de la presa |
| | Implantación del Plan de Emergencias |
| | Delimitación de zonas de peligro y zonas federales |
| | Modificación del ordenamiento territorial/planeación urbana |
| | Capacitación al operador de la obra ante un escenario adverso |
| | Puesta fuera de operación |

# RESULTADOS Y DISCUSIONES

VINCULANDO LA INFORMACIÓN CON ACCIONES POR EL AGUA Y LA ALIMENTACIÓN

- **2) Estimación del Riesgo (ALTERNATIVA)**

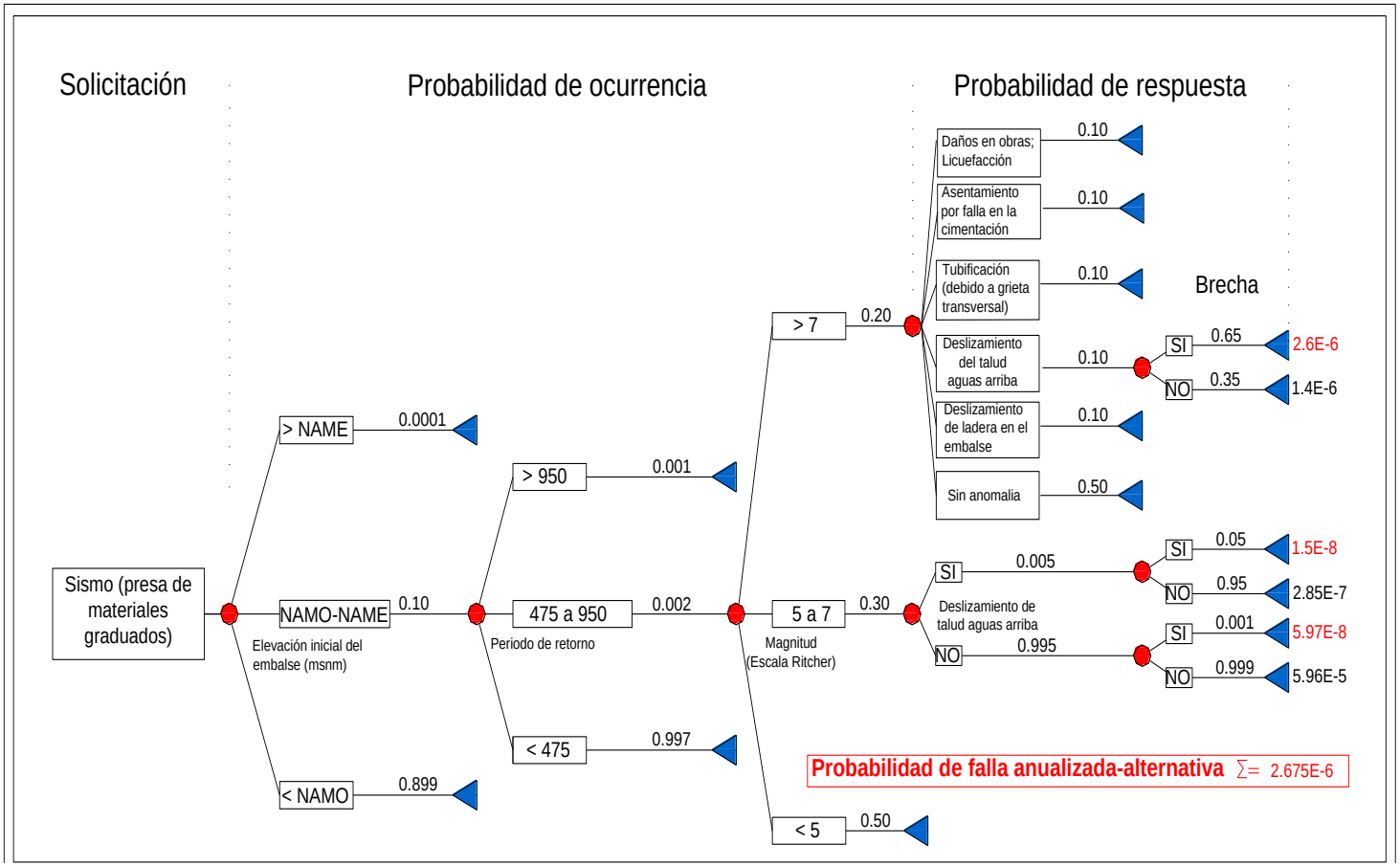



**Figura 9**. Estimación de la probabilidad de falla después de realizar las acciones estructurales recomendadas.

# RESULTADOS Y DISCUSIONES

## 3) Control del Riesgo

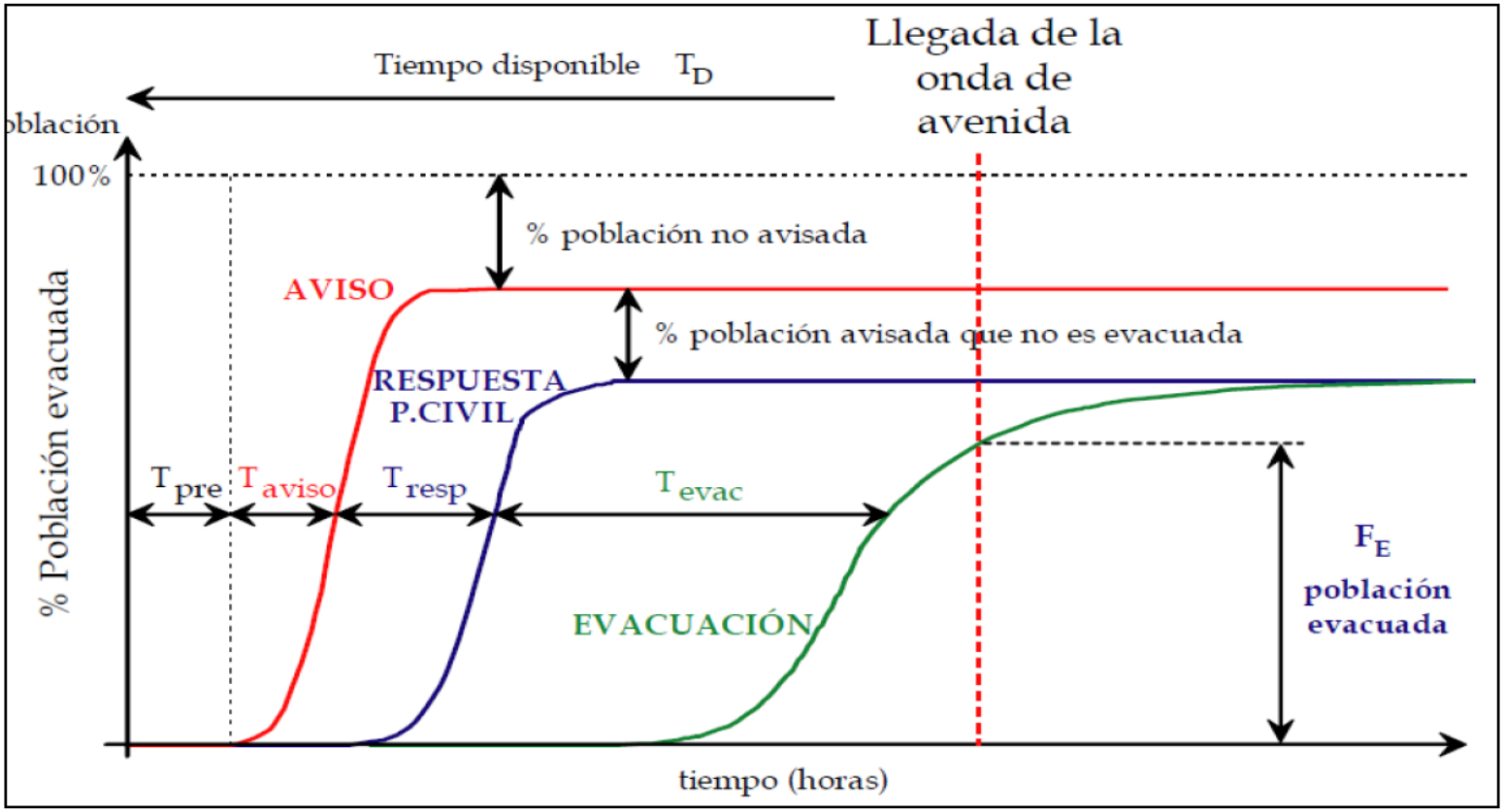



**Figura 7.** Distribución de los tiempos en un proceso de evacuación para la población en riesgo de inundación. Traducido por SPANCOLD (2013).

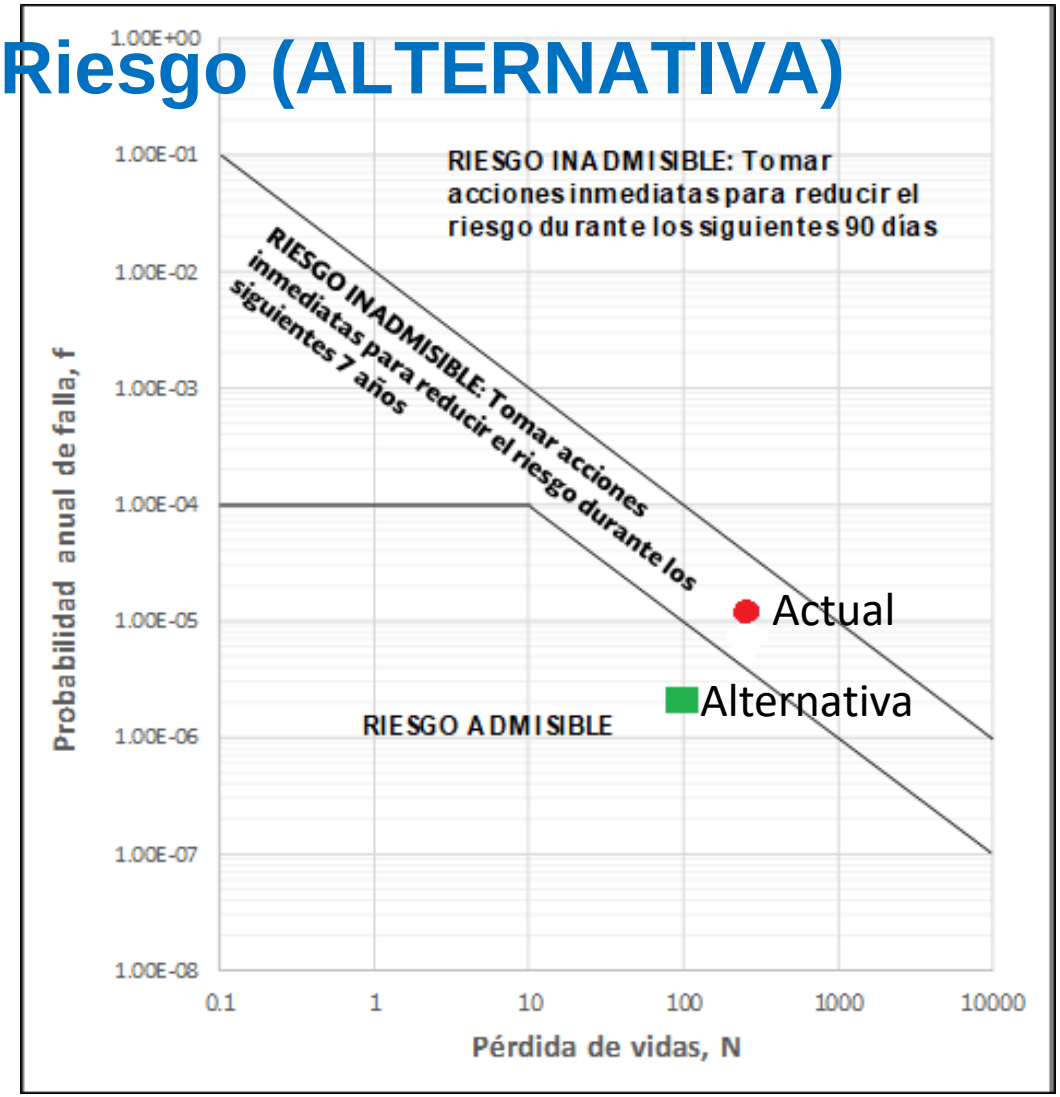
VINCULANDO LA INFORMACIÓN CON ACCIONES POR EL AGUA Y LA ALIMENTACIÓN

# RESULTADOS Y DISCUSIONES

## 3) Evaluación del Riesgo (ALTERNATIVA)

VINCULANDO LA INFORMACIÓN CON ACCIONES POR EL AGUA Y LA ALIMENTACIÓN

**Figura 7.** Evaluación del riesgo Actual y Alternativa (NMX-AA-175-SCFI-2015)



# CONCLUSIONES

- Los principales mecanismos de falla detectados en las obras hidráulicas a nivel mundial confirma la vulnerabilidad social, económica y ambiental ante eventos extraordinarios. La resiliencia ante grandes sismos requiere verificar el nivel de riesgo de las presas y mitigar la probabilidad de falla y sus consecuencias.

- Las consecuencias que produciría la falla de una presa por eventos como operación normal, una avenida o un sismo señala la urgente necesidad de evaluar el riesgo y en caso necesario efectuar un análisis financiero apropiado para cubrir cualquier solicitación.

# CONCLUSIONES

- En la norma se establecen tres niveles de riesgo y la presa en estudio se ubicó en el nivel intermedio.

- La evaluación del riesgo se hizo con el método de árbol de eventos y juicio de expertos, dando como resultado que la presa se encuentra en un estado de riesgo INADMISIBLE.

- Para cambiar a un estado de riesgo ADMISIBLE se requiere tomar acciones inmediatas.

VINCULANDO LA INFORMACIÓN CON ACCIONES POR EL AGUA Y LA ALIMENTACIÓN

# CONCLUSIONES

- **Para cambiar el estado de riesgo de la presa se recomiendan las siguientes acciones:**

- Reparar la parte alta de la presa, para lo cual habrá que retirar todo el material en estado de falla, o sea prácticamente toda la parte alta de la presa, por lo que es necesario retirar inicialmente el enrocamiento de protección de ambos taludes.

- Se debe reponer la presa hasta el nivel de diseño, mediante capas de material de banco de características areno limosas, denominado tepetate en la región, compactado con maquinaria (rodillo vibratorio) hasta alcanzar su peso volumétrico seco máximo.

- Se deberán colocar los enrocamientos de protección sobre ambos taludes, cuidando de no colocar enrocamientos con tamaños mayores a 50 cm, para evitar que sobrecarguen de manera excesiva los taludes.

VINCULANDO LA INFORMACIÓN CON ACCIONES POR EL AGUA Y LA ALIMENTACIÓN

# CONCLUSIONES

- Realizar el monitoreo de la instrumentación a base de testigos topográficos sobre la corona y el talud aguas abajo, midiendo en esta temporada (medición post sismo).
- Una vez que se haya repuesto el material de la corona se deberán colocar los testigos sobre la corona, alineándolos con las estructuras existentes a ambos lados de la cortina (perno de centraje y mira de referencia), y realizar la medición inicial que servirá de base para las mediciones futuras.
- Durante el proceso de rehabilitación, es recomendable complementar el análisis de riesgo mediante la evaluación analítica de la estabilidad global de la cortina, ante condiciones de operación normal (nivel de embalse al NAMO), operación inusual (nivel del embalse al NAME) y extrema (nivel del embalse al NAMO con sismo), considerando las condiciones actuales de la presa en cuanto a configuración geométrica, como a los parámetros de los materiales que lo conforman.

# CONCLUSIONES

- Se recomienda revisar el peligro sísmico para la zona de las presas en alto riesgo ubicadas en zonas de alta sismicidad. Específicamente, determinar espectros de sitio (horizontal y vertical) para 475 y 950 años de periodo de retorno. Los sismos máximos para 475 y 950 años de periodo de retorno pueden usarse en la revisión de la seguridad estructural de presas por métodos probabilistas o deterministas. Estos estudios especializados servirán para alimentar una curva de fragilidad y determinar la probabilidad de respuesta dada una carga sísmica (aceleración horizontal) a un modelo numérico con elemento finito donde se representen los materiales de la cortina de la presa bajo distintos niveles de agua en el embalse, las deformaciones se compararan con las permisibles de acuerdo con los materiales que conforman la presa. Además, se tendrá menores incertidumbres en el árbol de eventos requeridos en un estudio formal.

# GRACIAS A LOS COMPAÑEROS DEL IMTA, CONAGUA, UNAM Y AL DR. ISAAC BONOLA POR SU PUNTO DE VISTA GEOTECNICO.


**M.I. Rafael Antonio Briseño Ramiro**

**Instituto Mexicano de Tecnología del Agua**
**Universidad Nacional Autónoma de México**

**rbrisen@tlaloc.imta.mx**


PUEBLA XXXI CONVENCIÓN ANUAL Y EXPO ANEAS 2017 27 NOV + 1 DIC

COMEII III CONGRESO NACIONAL DE RIEGO Y DRENAJE 2017

www.comeii.com/comeii2017

@CongresoCOMEII

info@comeii.com

VINCULANDO LA INFORMACIÓN CON ACCIONES POR EL AGUA Y LA ALIMENTACIÓN

SEMARNAT · CONAGUA · IMTA · SAGARPA · inifap · PUEBLA Sigue · BUAP · Colegio de Postgraduados