



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA

Metodología para diagnosticar la seguridad de las presas en México.

TESIS

Que para obtener el título de
Ingeniera Civil

P R E S E N T A

Ana Luisa Bautista Sánchez

DIRECTOR DE TESIS

Dr. Fernando J. González Villarreal



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2016



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

CARTA DE ACEPTACIÓN



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MÉXICO

DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA
COMITÉ DE TITULACIÓN
FING/DICyG/SEAC/UTIT/002/16

Señorita
ANA LUISA BAUTISTA SÁNCHEZ
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor DR. FERNANDO JORGE GONZÁLEZ VILLARREAL, que aprobó este Comité, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

"METODOLOGÍA PARA DIAGNOSTICAR LA SEGURIDAD DE LAS PRESAS EN MÉXICO"

- RESUMEN
- OBJETIVO
- INTRODUCCIÓN
- I. ANTECEDENTES
- II. METODOLOGÍA PROPUESTA
- III. EJEMPLO DE APLICACIÓN DE UN PRESA EXISTENTE EN MÉXICO
- IV. CONCLUSIONES
- ANEXO A
- REFERENCIAS

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cd. Universitaria a 18 de enero del 2016.
EL PRESIDENTE

M.I. GERMÁN LÓPEZ RINCÓN

GLR/MTH*gar.

Resumen

Las presas constituyen una parte significativa dentro de la infraestructura hidráulica de los países, por las aplicaciones que tienen en el control y aprovechamiento de los recursos hidráulicos. En la actualidad se han identificado deficiencias importantes en el monitoreo y mantenimiento de éstas, ya que un funcionamiento inadecuado puede llegar a representar grandes riesgos para el entorno en el que se encuentren dichas presas, así como para las poblaciones cercanas a ellas.

En este documento se propone una metodología general, que tenga aplicación en los diversos tipos de presas existentes, para su estudio y diagnóstico de forma más asertiva; un mayor seguimiento en el registro de sucesos anteriores, así como de futuros escenarios que podrían presentarse, para la prevención de posibles riesgos causados por la mala operación o falla de las mismas.

También se plantea la creación de una mayor conciencia y cultura acerca de la importancia del conocimiento de este tipo de infraestructura en el país, para su adecuado mantenimiento y elaboración de planes de inspección y emergencia en caso de estar en riesgo.

Agradecimientos

Primeramente, quisiera agradecer a mis padres por su infinito apoyo a través de todas las etapas por las que he tenido que pasar estos últimos años, porque sin ellos esta tesis no sería posible.

Agradezco a la Universidad por la oportunidad, porque sin el conocimiento que me ha brindado no sería lo que soy el día de hoy.

En general agradezco a todas las personas que han sido parte de este trabajo, no por no mostrar su nombre son menos importantes, pero todos han sido parte fundamental en mi desarrollo a través de mi carrera profesional.

Índice

Resumen.....	3
Agradecimientos.....	4
Índice.....	5
Objetivo.....	7
1. Introducción.....	8
1.1. Situación del agua en México.....	9
1.2. Infraestructura hidráulica en México.....	10
1.1. Importancia de las presas en México.....	11
1.2. Fallas de presas en México y sus consecuencias.....	15
1.2.1. Presa El Conejo, Irapuato, 1973.....	15
1.2.1. Falla de un bordo, La Paz, 1976.....	18
1.2.2. Fractura de la Presa Dolores en San Luis Potosí y de la Presa El Capulín en Zacatecas, 2003.....	20
2. Antecedentes.....	15
2.1. Contribución del Sistema informático de Seguridad de Presas.....	25
2.2. Legislación actual en México, en materia de Seguridad de Presas.....	27
2.3. Algunas legislaciones en otros países.....	31
2.3.1. Estados Unidos.....	31
2.3.2. España.....	36
2.3.3. Francia.....	39
2.3.1. Brasil.....	40
3. Metodología propuesta.....	44
3.1. Etapa 1. Análisis y generación de información.....	46
3.1.1. Identificación de la zona de estudio.....	46
3.1.2. Recopilación de Información Regional.....	46
3.1.3. Análisis de información recopilada.....	47
3.1.4. Visitas de Inspección.....	47
3.2. Etapa 2. Evaluación y diagnóstico.....	57

3.2.1.	Revisión de estabilidad en la cortina	58
3.2.2.	Revisión Hidrológica-Hidráulica.....	71
3.2.3.	Revisión Funcional	76
3.2.4.	Revisión de ordenamiento territorial.	79
3.3.	Etapa 3. Dictamen	80
3.3.1.	Determinación del riesgo.....	80
3.4.	Etapa 4. Toma de decisiones y acciones a efectuar.....	82
4.	Ejemplo de aplicación de una presa existente en México.....	86
4.1.	Introducción.....	86
4.2.	Etapa 1. Análisis y generación de información.....	86
4.2.1.	Identificación de la zona de estudio	88
4.2.2.	Recopilación de Información Regional	88
4.2.3.	Análisis de información recopilada	90
4.2.4.	Visitas de inspección.....	91
4.3.	Etapa 2. Evaluación y diagnóstico.....	93
4.3.1.	Revisión de estabilidad de la cortina	93
4.3.2.	Revisión Hidrológica-Hidráulica.....	104
4.3.1.	Revisión funcional y operacional.....	113
4.3.2.	Revisión de ordenamiento territorial.	116
4.4.	Etapa 3. Dictamen.....	120
4.4.1.	Determinación del riesgo.....	120
4.5.	Etapa 4. Toma de decisiones y acciones a efectuar.....	123
4.5.1.	Recomendaciones.....	123
4.5.2.	Diseño Conceptual De Mitigación De Riesgo.....	124
5.	Conclusiones.....	125
6.	Anexo A	127
7.	Referencias	130

Objetivo

Desarrollar una metodología general integrando las principales áreas de la ingeniería civil involucradas para hacer una evaluación y la elaboración de un diagnóstico oportuno del estado actual de las presas en México, garantizando su desarrollo y conservación; así como promover la prevención de desastres causados a partir de la ruptura o falla de una presa.

Contribuir a la revisión y actualización de la normatividad existente en materia de seguridad de presas.

Fortalecer los fundamentos para el desarrollo de medidas de mitigación, emisión de recomendaciones, así como planes de acción y atención de emergencias.

Introducción

Como se observa en la figura 1, el agua disponible para el uso del ser humano, es una proporción muy reducida en comparación con la total existente en nuestro planeta. Si consideramos también el acelerado aumento de la población a lo largo del tiempo, que a su vez provoca el incremento de la demanda del agua para diversos fines, nos encontramos ante un panorama complejo en cuanto a la distribución, disponibilidad, extracción y tratamiento de la misma.

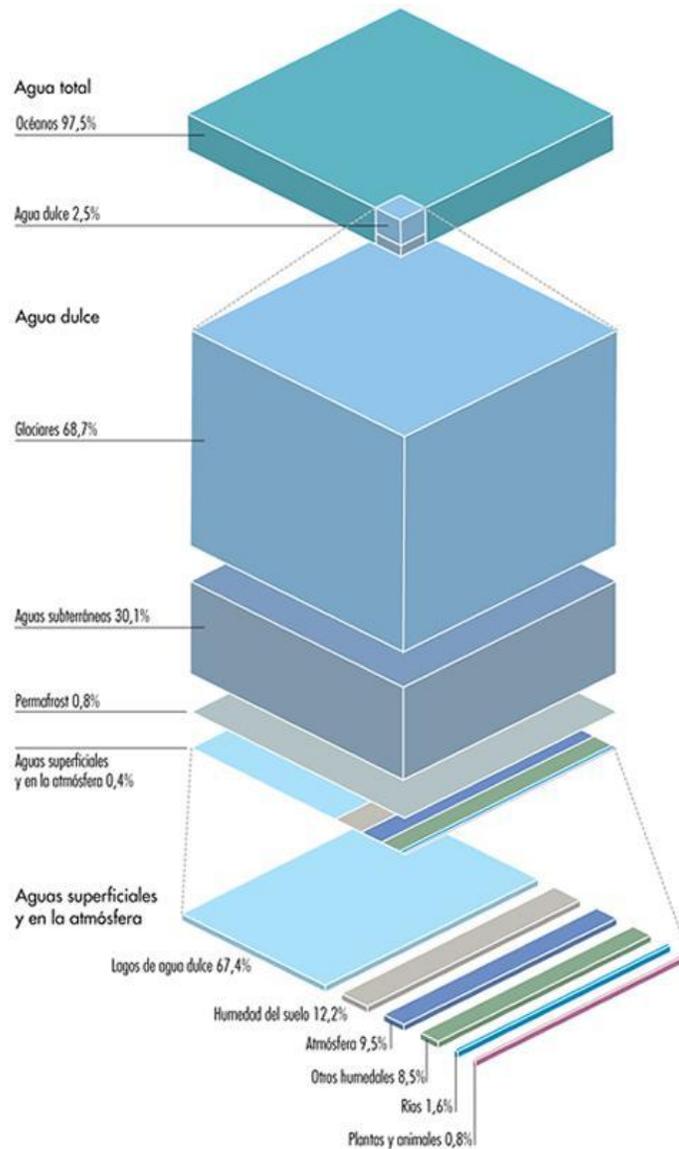


Figura 1.- Distribución del agua en el mundo (Fuente: ECOLOGÍA VERDE, 2015).

Situación del agua en México

En México, como en otros países del mundo, se ha incrementado en las últimas décadas la preocupación por el cuidado y adecuado uso y aprovechamiento de los recursos naturales, principalmente del agua, ya que se trata de un recurso no renovable, y de esencial importancia en la vida del ser humano y los seres vivos, así como en la preservación de la naturaleza.

Frecuentemente las poblaciones se desarrollan en territorios donde existen escasos recursos hidráulicos. En México es posible identificar esta problemática, conjuntamente con la discordante repartición del agua, ya que en las zonas del norte observamos una escases significativa de agua y más hacia el sur un exceso de ésta.

En la figura 2 se observa la distribución de la precipitación en el país, lo que nos da una visión más clara sobre la disponibilidad existente del agua en México.

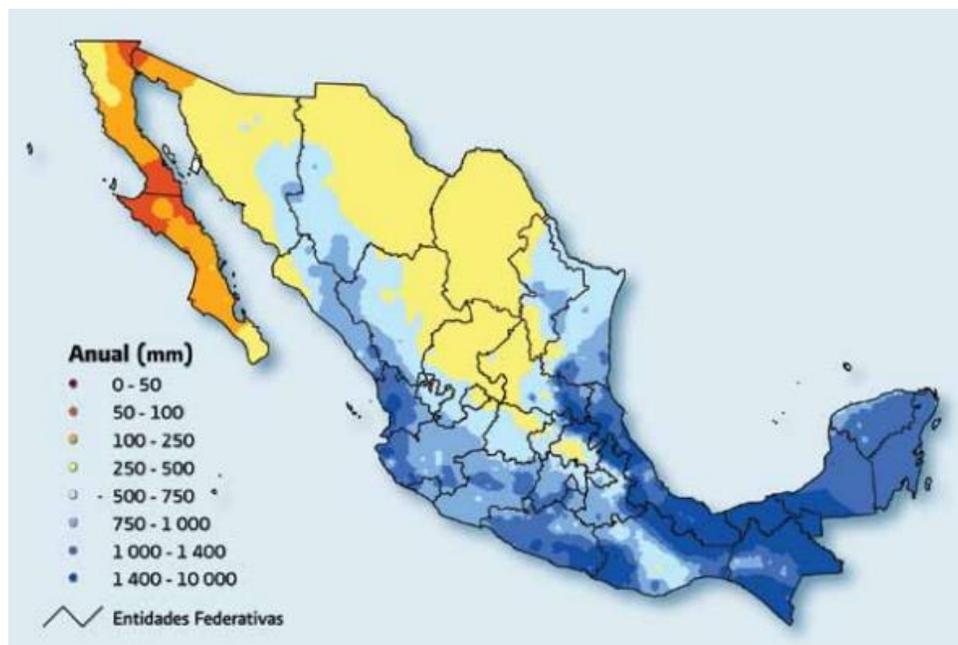


Figura 2.- Distribución de la precipitación anual en México (1971-2000), (Fuente: CONAGUA, 2012, Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional).

Esta distribución, así como los usos demandados por la población, varían en cada país, con base en diversas condiciones, como su calidad, accesibilidad, disponibilidad, el clima, tipo de situación económica etc.

Infraestructura hidráulica en México

Como parte de la inquietud por el mejoramiento de la condición actual de uno de los recursos más importantes del planeta. En las últimas décadas, se ha impulsado el desarrollo de una infraestructura hidráulica con un mayor énfasis en el adecuado abastecimiento, distribución y saneamiento del agua, sobre todo en países desarrollados.

En México a pesar de ser un país en vías de desarrollo, en cuanto a la infraestructura hidráulica, observamos que si ha existido un progreso y una mayor preocupación por la sustentabilidad, el respeto y cuidado al medio ambiente, y por evitar causar alteraciones significativas a este último en la ejecución de proyectos y monitoreo de los proyectos ya realizados.

Actualmente nuestro país cuenta con una extensa infraestructura hidráulica, aunque no suficiente, para los recursos hídricos existentes y las demandas cada vez mayores. Hasta el año 2013, se tienen los siguientes registros de la infraestructura principal en México:

- 5,163 presas y bordos de almacenamiento.
- 6.40 millones de hectáreas con riego.
- 2.9 millones de hectáreas con temporal tecnificado.
- 699 plantas potabilizadoras en operación.
- 2,342 plantas de tratamiento de aguas residuales municipales en operación.
- 2,530 plantas de tratamiento de aguas industriales en operación.
- 3,000 km de acueductos.¹

¹Fuente: Estadísticas del agua en México, edición 2011. Capítulo 4: Infraestructura Hidráulica, CONAGUA.

Así como estas presas son pieza fundamental en el desarrollo del país; debido a la magnitud y complejidad en su funcionamiento también pueden representar diversos riesgos al entorno si su operación no es adecuada o se ve alterada desde el inicio o durante el periodo de vida. En las últimas décadas se ha tomado consciencia de ello y se han comenzado a consolidar bases técnicas y científicas con el objetivo de establecer los parámetros a considerar para que una presa sea segura, de igual forma se ha tratado de hacer mejoras en el diseño, construcción y operación de éstas, desde un enfoque geológico, hidráulico, ambiental, estructural, funcional, etc.

Actualmente podemos reconocer esfuerzos realizados en gestión de la seguridad de presas como, la instrumentación en el comportamiento estructural de las mismas, la actualización de los criterios de diseño, el replanteamiento de factores de seguridad, la reducción del error humano como principal afectado y participe, la implementación de revisiones periódicas por parte de algunas instituciones, entre otras.

En México, existen más de 5,163 bordos y presas, de las cuales 667 están clasificadas como grandes presas, con base en la definición de la Comisión Internacional de Grandes Presas (ICOLD).

En cuanto a los bordos, que consisten básicamente en pequeñas obras de almacenamiento en su mayoría de terracería, hasta el 2009 se tenían registrados 1,085 de ellos, por parte de la CONAGUA.

Con base en la información anterior, en la figura 24 es posible ilustrar la cantidad de presas clasificadas según su altura, donde se identifica que la mayoría de las presas en el país tiene una altura promedio de 5 a 10 metros, ya que varios de ellos con bordos con alturas menores a 10 metros.

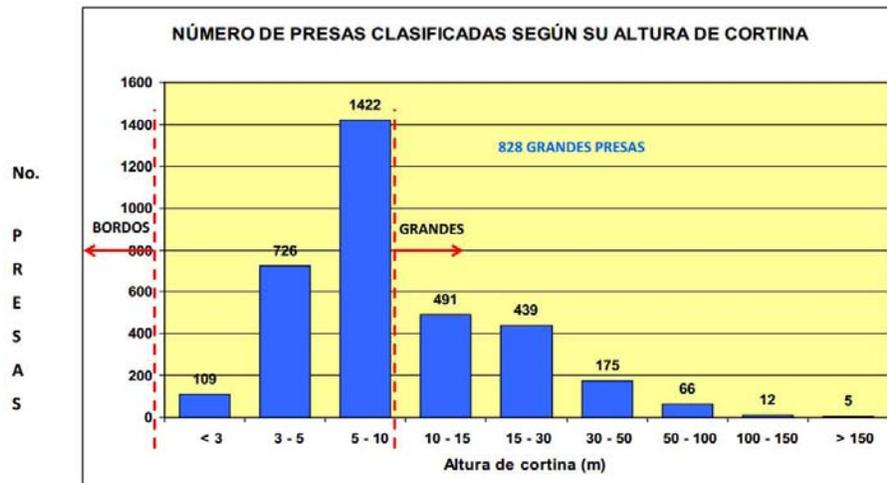


Figura 4.- Número de presas clasificadas según su altura. (Fuente Marengo Mogollón Humberto 2012).

La capacidad de almacenamiento que tienen las presas es de aproximadamente 150 mil millones de m³. El volumen almacenado anualmente por las principales presas, en el periodo de 1990 a 2012 para el ámbito nacional, se muestra a continuación en la figura 5. Tal volumen depende de la precipitación y escurrimientos de las regiones del país, además de las políticas de operación, según los requerimientos de acuerdo al fin que estén destinadas.

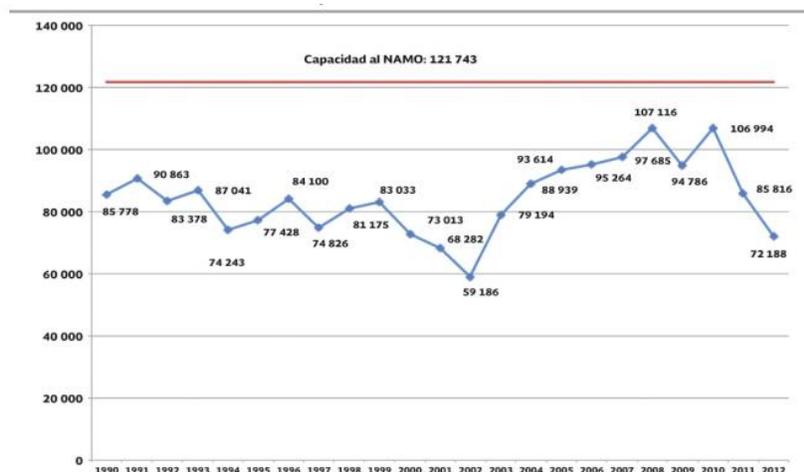


Figura 5.- Volumen anual de las principales 172 presas en México (hm³). Nota: Volumen al 31 de diciembre de cada año. (Tomado de CONAGUA, Subdirección General Técnica, 2013).

Tan solo la cantidad de presas principales mencionadas, representan el 80 % de la totalidad de presas existentes. En el Anexo A se presentan a detalle las características y los diferentes usos de cada una de ellas.

1. Antecedentes

Dentro de esta amplia variedad de presas existentes a nivel nacional, es importante mencionar algunos ejemplos de registros que se han identificado de fallas presentadas en presas por diversas causas y factores.

Se tiene identificado que una presa puede llegar a fallar, por alguna deficiencia o falta de calidad en el desarrollo de los procedimientos, durante sus principales etapas de existencia, es decir, que durante su diseño, construcción u operación y mantenimiento se presente algún evento o actividad que ponga en riesgo las condiciones y entorno que se encuentre.

1.1. Fallas de presas en México y sus consecuencias

Para un mejor entendimiento de la información mencionada anteriormente, así como para crear una mayor conciencia de la importancia y grandes aplicaciones que puede tener esta metodología con carácter preventivo de tales desastres, hablaremos de cuatro casos específicos de rupturas de presas y fallas de bordos que han causado graves consecuencias y sobre todo pérdidas y daños irreversibles, principalmente a las poblaciones colindantes a ellas.

1.1.1. Presa El Conejo, Irapuato, 1973

En el año de 1973, en Irapuato se presentó un periodo donde la presencia de lluvia fue bastante constante desde finales del mes de junio hasta el mes de agosto, en el que esta ciudad fue inundada.

El 18 de agosto de 1973, se presentaron volúmenes extraordinarios de escurrimiento, desde la subcuenca del río la Llave, que rebasaron la capacidad de almacenamiento de varias presas y bordos localizados aguas arriba de la presa El Conejo, de forma adicional se detectó que la capacidad del vertedor de esta presa no era suficiente para el desalojo de los volúmenes que estaban incorporándose a sus embalses; por lo que se decidió abrir una escotadura sobre los bordos de tierra y de esta forma permitir el paso de un volumen adicional, pero esta misma descarga se salió de control, y provocó una mayor erosión en los materiales de la presa que hicieron que finalmente fallara por completo una sección de la cortina.

En total seis presas se desbordaron, provocando la inundación de las poblaciones aledañas, aproximadamente el 90% de las viviendas de adobe afectadas por la

inundación fueron destruidas completamente, además se reportaron decenas de muertos y desaparecidos, la gente tuvo que permanecer refugiada en los techos de sus casas o en lugares donde encontraron como refugiarse alrededor de dos o tres días. La comida era insuficiente y se reportaron varios robos debido a la falta de acceso a los alimentos.



Figura 6.- Personas afectadas por la inundación en Irapuato. (Fuente: EXCELSIOR, 2013).



Figura 7.- Imagen de la presa El Conejo, en el instante de la falla. (Fuente: EXCELSIOR, 2013).



Figura 8.-Daños causados por la inundación aguas debajo de la presa El Conejo.

(Fuente: EXCELSIOR, 2013).



Figura 9.- Personas afectadas por la inundación debido a la falla de la presa El Conejo.

(Fuente: EXCELSIOR, 2013).

1.1.1. Falla de un bordo, La Paz, 1976

Debido a que se tenía identificados frecuentes y periódicos problemas de inundación por el desbordamiento de los arroyos El Cajoncito y El piojillo, se decidió llevar a cabo la construcción de obras de protección para la desviación de la corriente del arroyo El Cajoncito hacia el arroyo El Piojillo. Lo anterior provocó el aumento de asentamientos humanos cerca del cauce El Cajoncito.

El 30 de septiembre de 1976, la presencia del huracán Liza, provocó que los escurrimientos máximos estimados aumentaran de forma severa, rebasando completamente la capacidad de los bordos localizados en el cauce, y ocasionando que gran parte de la ciudad se inundara.

Ante esta catástrofe, entre 10,000 y 12,000 habitantes resultaron afectados, además se reportaron más de 1,000 víctimas. Los daños y pérdidas estimadas fueron aproximadamente 3.1 millones de dólares.²

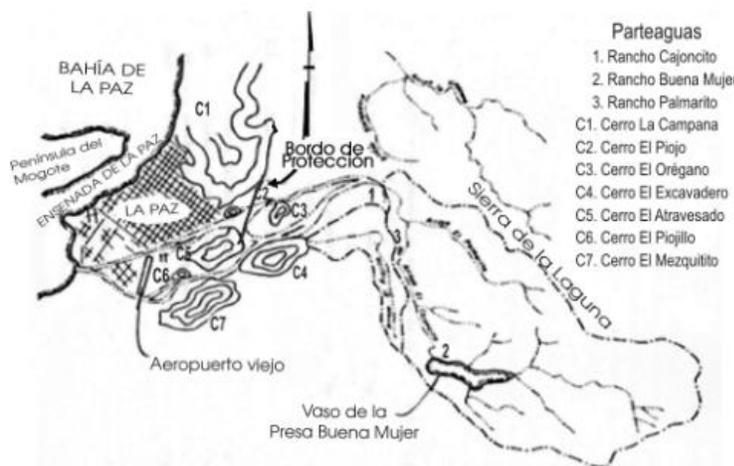


Figura 10.- Esquema de la zona afectada por la falla del bordo en el arroyo El Cajoncito, Baja California Sur, (Fuente: CENAPRED 2014, Franco 1983).

² Fuente: CENAPRED, 2014.



Figura 11.- Daños causados por la inundación debido a la falla del bordo en el arroyo El Cajoncito, Baja California Sur, 2 de octubre de 1976. (Fuente: Patt Morrison 1976, Hurricane Liza devastates La Paz. Los Angeles Times).



Figura 12.- Daños materiales en viviendas y autos debido al huracán Liza, en Baja California Sur, La Paz, 2 de octubre de 1976. (Fuente: Patt Morrison 1976, Hurricane Liza devastates La Paz. Los Angeles Times).



Figura 13.- Personas afectadas afuera de sus casas con diversos daños debido a la presencia del huracán Liza, en Baja California Sur, La Paz, 2 de octubre de 1976. (Fuente: Patt Morrison 1976, Hurricane Liza devastates La Paz. Los Ángeles Times).

1.1.2. Fractura de la Presa Dolores en San Luis Potosí y de la Presa El Capulín en Zacatecas, 2003

En el mes de agosto, durante los días 14 y 15 de agosto, se presentaron fuertes lluvias en el estado de Zacatecas y San Luis Potosí, que ocasionaron la falla de las presas Dolores en Zacatecas y El Capulín en San Luis Potosí. Dichas fallas provocaron a su vez la inundación de poblados cercanos y el registro de varias muertes y daños importantes en la agricultura, ganadería, vivienda y servicios municipales, en ambos estados de la república.

Ambas presas llevaban más de 100 años construidas por lo que ya habían rebasado y concluido su vida útil además de que presentaban algunas deficiencias en su funcionamiento y deterioro en los materiales de la cortina.

1.1.2.1. Presa Dolores en San Luis Potosí

La cortina de esta presa, sufrió algunas modificaciones durante su vida útil, ya que fue sobreelevada en al menos tres ocasiones, debido a que su capacidad se vio reducida por la acumulación excesiva de azolves. Adicionalmente, esta presa contaba con algunas filtraciones en el cuerpo de la cortina que provocaron el desarrollo y crecimiento de vegetación de forma descontrolada en el paramento aguas abajo de la presa, asimismo las obras de excedencias se encontraban cerradas intencionalmente para el almacenamiento de un mayor volumen de agua. Conjuntamente estos factores pusieron en riesgo la estabilidad y condiciones de operación de la presa, provocando que finalmente colapsara ante el aumento excesivo de los niveles del cauce.

Los daños estimados fueron de aproximadamente 9 millones de pesos y más de 2,250 personas afectadas, así como aproximadamente más de 2,250 personas que sufrieron algún tipo de afectación.

En la figura 14 es posible observar las condiciones de la cortina en el momento de la falla de la presa. En la figura 15 y 16 se muestran las condiciones generales de la presa en funcionamiento.



Figura 14.- Vista aérea de la presa Dolores (Fuente: <http://www.proteccioncivil.gob.mx>).



Figura 15.- Vista de los vertedores clausurados con mampostería y compuertas de madera colocadas para elevar el nivel del embalse. (Fuente: <http://www.proteccioncivil.gob.mx>).



Figura 16.- Vista panorámica de la presa Dolores y la prolongación del cauce en las inmediaciones de La Ventilla. (Fuente: <http://www.proteccioncivil.gob.mx>).

1.1.2.1. Presa “El Capulín” en Zacatecas.

La cortina de esta presa consistía básicamente en un muro de mampostería de 12m de altura por 0.8 m de ancho, con un terraplén de apoyo en el paramento aguas abajo de la cortina. Esta presa también presentaba una excesiva acumulación de azolves que reducían su capacidad de almacenamiento y regulación, de forma similar a la presa Dolores en San Luis Potosí, sus vertedores se encontraban clausurados para aumentar su capacidad de almacenamiento. Debido a estos factores fue que se desbordó durante las lluvias torrenciales presentadas en el mes de agosto del 2003, ya que los azolves existentes absorbían aproximadamente el 71% de su capacidad total.

En total más de 50,000 personas se vieron afectadas y se reportaron pérdidas humanas equivalentes al 10% de la población, además se registraron daños estimados en 188 millones 425 mil pesos, donde el 83.7% corresponden a daños directos y el restante 16.3% a daños indirectos.³

En las siguientes imágenes se observa a detalle las condiciones en que quedó la cortina de esta presa después de haber sufrido el desbordamiento de los volúmenes excesivos presentados.



Figura 17.- Falla de la presa El Capulín. Vista de los azolves. (Fuente: <http://www.proteccioncivil.gob.mx>).

³ Fuente: <http://www.proteccioncivil.gob.mx>



Figura 18.- Muro de mampostería y terraplén de apoyo en el paramento aguas abajo de la cortina.

(Fuente: <http://www.proteccioncivil.gob.mx>).

Es evidente la necesidad de un mayor conocimiento y monitoreo por parte de las autoridades y usuarios responsables, de los aspectos técnicos referentes a la seguridad de presas.

En el país se identifican diversas problemáticas, como las siguientes:

- Gran parte de la infraestructura hidráulica tiene una antigüedad que supera los 40 años.
- Se cuenta con escasos estudios acerca de la seguridad de presas, que permitan determinar las condiciones en las que se encuentran hoy en día.
- Existe una falta de mantenimiento de las presas, además de una operación inadecuada de las mismas.
- Los programas de inspecciones periódicas, así como de los planes de acción ante emergencias son insuficientes.
- La documentación e información técnica es muy pobre.

Anudado a lo anterior y considerando el riesgo que representa la eventual falla de una presa, para la población, es importante garantizar la conservación adecuada de estas estructuras, y minimizar los riesgos asociados a su operación y funcionamiento.

En nuestro país existen pactos y compromisos presidenciales que involucran la construcción de presas de almacenamiento, la rehabilitación de 115 presas catalogadas con riesgo alto, entre otros proyectos dentro de la infraestructura hidráulica. Para su cumplimiento algunas instituciones gubernamentales y privadas se han visto involucradas en la revisión y análisis de información de dichas presas, además en la realización de informes que permitan el seguimiento y vinculación entre los registros actuales y la documentación futura.

Por parte de la CONAGUA, se ha impulsado el desarrollo y mejoramiento de las condiciones de las presas existentes en el país, que sirven como fundamento para el progreso y los avances reflejados en el diseño de presas en construcción y las futuras. Actualmente se cuenta con un Sistema Informático del que hablaremos posteriormente, y una importante participación en las modificaciones y actualizaciones consideradas dentro de la normatividad existente en gestión de seguridad de presas.

1.2. Contribución del Sistema informático de Seguridad de Presas

El Sistema Informático de Seguridad de Presas, que es un programa perteneciente a la CONAGUA, cuenta con un acervo de información para el monitoreo constante y control de las presas existente y aquellas que están en proceso de construcción. Desde 1995 a la fecha, mediante una plataforma, se ha logrado integrar un registro con más de 4,900 de los diversos tipos de presas existentes, como derivadoras, de almacenamiento, control de avenidas y bordos de protección contra inundaciones, con el objeto de seguir actualizando los datos ya obtenidos y contar con información suficiente que sirva como herramienta en el desarrollo de estrategias para el diseño, construcción, conservación, rehabilitación o abandono de las mismas.

Como parte de esta actualización se han llevado a cabo revisiones y análisis constante de la información ya recopilada, además de inspecciones en el sitio, que permitan un diagnóstico más amplio y una evaluación correcta sobre los posibles riesgos que podrían representar en el entorno al que están expuestas, y a partir de estas inspecciones determinar el tipo de acciones que habrá de tomarse así como los estudios posteriores requeridos.

El SISP es completamente público y de fácil acceso, mediante un portal de internet el usuario, previamente registrado, puede ingresar y consultar información general acerca de las presas registradas, el estado actual de cada una de ellas, así como algunos anexos donde es posible descargar diversos informes y documentos con información adicional de carácter técnico, realizadas por diversas instituciones,

como CFE, IMTA, Cenapred, etc. En la figura 19 se observa la página de inicio del SISP en el portal, donde el usuario ingresa algunos datos requeridos para la búsqueda y consulta de información de cada presa solicitada.

SISTEMA DE SEGURIDAD DE PRESAS

Los datos contenidos en el Inventario de Presas, son los más recientes disponibles, obtenidos del diseño, información documental y visitas de campo. Esta información se encuentra en constante proceso de verificación y actualización.

PRESAS

CONTACTANOS

Log-In

Usuario:

Password:

[Inicio](#)
[¿Quédate tu conectado?](#)

- [CENAPRED](#)
- [COMAGUA](#)
- [IMTA \(Instituto\)](#)
- [Metzrokolon](#)
- [Metzrokolon 2](#)
- [SH \(Interno Comagua\)](#)
- [Sistemático Nacional](#)

Buscar Presas

BUSQUEDA BASICA

PRESA ID:

NOMBRE OFICIAL:

NOMBRE COMUN:

ESTADO: [TODOS] ▼

MUNICIPIO: [TODOS] ▼

REGION CHA: [TODOS] ▼

REGION HIDROLOGICA: [TODOS] ▼

CUENCA: [TODOS] ▼

CORRIENTE:

LATITUD: DESDE: * HASTA: *

LONGITUD: DESDE: * HASTA: *

ZONA SISMICA: [TODOS] ▼

ALMACENAMIENTO AL NIMO: DESDE: hm3 HASTA: hm3

PROPOSITO DE LA OBRA: [Todos] ▼

USO DE AGUA:

RIESGO: [TODOS] ▼

GENERACION ELECTRICA: [TODOS] ▼

AGUA POTABLE: [TODOS] ▼

ABREVADERO: [TODOS] ▼

ACUACULTURA Y PESCA: [TODOS] ▼

RECREATIVO: [TODOS] ▼

NAVEGACION: [TODOS] ▼

INFILTRACION: [TODOS] ▼

OTROS: [TODOS] ▼

ALTURA DE CORTINA: DESDE: m HASTA: m

TIPO DE VERTEDOR: [TODOS] ▼

TIPO DE OBRA DE TOMA: [TODOS] ▼

[+ BUSQUEDA AVANZADA](#)

SEMARNAT - ALOUJOS DERECHOS RESERVADOS © 2012 - POLÍTICAS DE PRIVACIDAD

Figura 19.- Pantalla de inicio del SISP, para la búsqueda y consulta de información por los usuarios.

1.3. Legislación actual en México, en materia de Seguridad de Presas

En cuanto a la legislación perteneciente a nuestro país en gestión de la seguridad de presas, existen diversas leyes, normas, reglamentos, decretos y algunos acuerdos que son base fundamental para la uniformidad entre las diversas instituciones, organismos y otros propietarios, los cuales tienen la responsabilidad de asegurar que las presas se mantengan en adecuadas condiciones.

Contar con una legislación bien estructurada agiliza el proceso que constituye la conservación de la seguridad de una presa. En México se cuenta con la Ley de Aguas Nacionales, donde se habla de forma general sobre cuestiones del agua en nuestro país pero no específicamente del tema de infraestructura. Además de ésta también se cuenta con el reglamento de la Ley de Aguas Nacionales y algunos otros como el reglamento interior de la CNA, así como diversas normas: las normas oficiales mexicanas (NOM) y las normas mexicanas (NMX).

Actualmente en nuestro país se ha emitido la iniciativa de una norma, donde se establecen los requisitos generales de seguridad de presas, aplicables a aquellas que están en proceso de construcción y a las existentes dentro del territorio nacional.

Este proyecto de norma mexicana, llamado “Operación Segura de Presas”, continúa en desarrollo y actualmente cuenta con una primera parte acerca del análisis de riesgo y clasificación de presas dividida en dos capítulos, donde se establece los requisitos que deben cumplir las presas en operación en el territorio nacional para determinar su grado de riesgo o potencial de daños en la zona de posible inundación aguas abajo debido a la operación, falta de mantenimiento o de cuidado de las presas, por una descarga, o por falla parcial o total de la presa.

En general dicho proyecto de norma dictamina lo siguiente:

-Definiciones concernientes al tema de seguridad de presas. Donde es posible identificar algunos conceptos básicos para el desarrollo de esta tesis, como la definición de riesgo, peligro y vulnerabilidad:

- **Riesgo:** Daños o pérdidas probables en términos monetarios sobre un agente afectable, resultado de la interacción entre su vulnerabilidad y la presencia de un agente perturbador.

- **Peligro:** Probabilidad de ocurrencia de un agente perturbador potencialmente dañino de cierta intensidad, durante un cierto periodo y en un sitio determinado.
- **Vulnerabilidad:** Susceptibilidad o propensión de un agente afectable a sufrir daños o pérdidas ante la presencia de un agente perturbador determinado por factores físicos, sociales, económicos y ambientales.

-El campo de aplicación y disposiciones generales asignadas al concesionario, asignatario o responsable de la obra.

-Los requisitos para la realización de análisis de riesgo, un plan de acción en emergencia y un plan de inspección adecuados para las condiciones de la presa.

-Una clasificación inicial de las presas con base en su potencial de daños.

En este apartado encontramos los principales antecedentes en los cuales estará fundamentado el desarrollo de la metodología propuesta.

Ya que se establece la estimación del riesgo en las presas mediante la siguiente fórmula:

$$R_{N,\$} = \rho_C \times \rho_R \times C_{N,\$}$$

Donde:

$R_{N,\$}$ = Riesgo anualizado expresado en términos de pérdida de vidas (H) o en términos monetarios del daño (\$).

ρ_C = Probabilidad anual de ocurrencia de una amenaza o acción que pueda causar la falla de la presa: carga hidráulica del embalse, carga sísmica, desbordamiento, entre otros.

ρ_R = Probabilidad anual de ocurrencia de un mecanismo de falla o de la respuesta de la presa dada la ocurrencia de ρ_C .

$C_{N,\$}$ = Consecuencia de la falla de una presa expresada en términos de pérdida de vidas (H) o en términos monetarios del daño (\$), dada la ocurrencia de ρ_R .

Además, se presentan unas tablas con la clasificación de las consecuencias aguas abajo de una presa en caso de que ocurra una falla y una gráfica con los criterios de aceptación del riesgo, a partir de los cuales se podrá emitir un dictamen final.

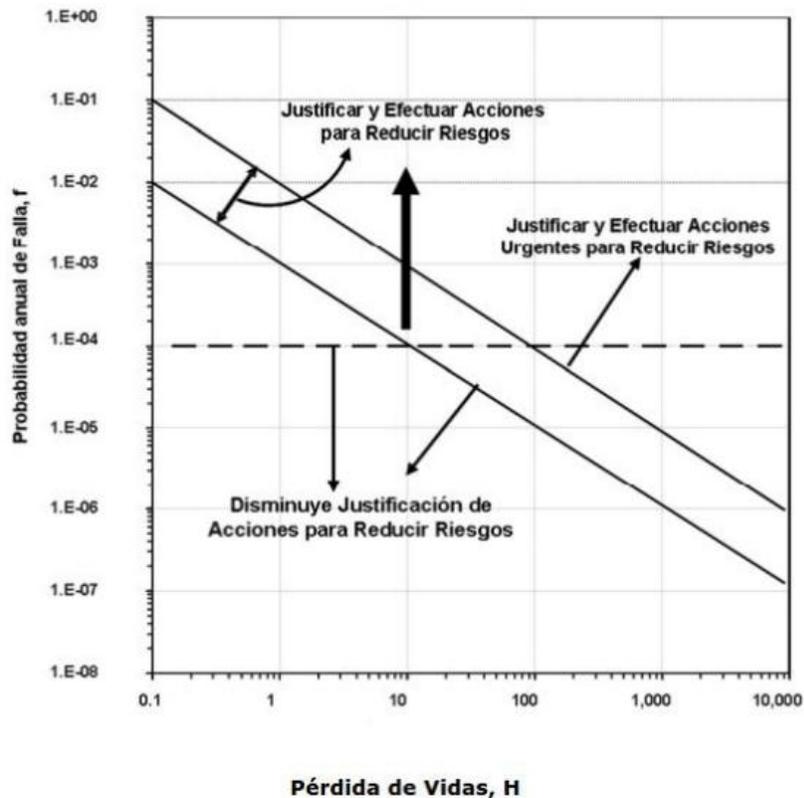
Tabla 1.- Clasificación de consecuencias aguas abajo de una presa.

Clasificación de Consecuencia	Consecuencias de una Falla		
	Pérdida de Vidas Humanas	Daños Materiales Posibles	Daños Ambientales ^{b)}
ALTA	Población en riesgo > 100 personas	Daños a casas habitación, desarrollos industriales, comerciales, de servicios públicos, o a instalaciones de recreación permanentes. Interrupción de líneas vitales o vías de comunicación principales, o de instalaciones estratégicas esenciales y accesos de servicio críticos ^{a)} .	No es factible mitigar la contaminación o daño ambiental
MEDIA	Población en riesgo entre 10 y 100 personas	Daños en zonas habitacionales rurales o casas habitación aisladas donde no existen desarrollos urbanos, o el uso del suelo es para actividades transitorias o instalaciones de recreación temporal de duración semanal. Interrupción de vías de comunicación secundarias, líneas vitales o de instalaciones y accesos de servicios secundarios no esenciales.	Es factible mitigar la contaminación o daño ambiental
BAJA	Población en riesgo < 10 personas	Daños en zonas agrícolas donde no existen instalaciones o desarrollos permanentemente habitados: granjas, bosques, tierras agrícolas, caminos rurales y vecinales. Sin interrupción de vías de comunicación principales, ni de líneas vitales o de instalaciones estratégicas y accesos de servicios críticos.	Sin contaminación y sin daño ambiental

Notas:

- ^{a)} Instalaciones estratégicas esenciales: Instalaciones médicas, vías de comunicación principales (puentes, vados, carreteras federales y autopistas, vías de ferrocarril, caminos y accesos a presas, vertederos o a instalaciones estratégicas para el país). Líneas vitales: acueductos, oleoductos, gasoductos, líneas de transmisiones eléctricas y telefónicas y canales. Vías de comunicación secundarias (puentes, vados, carreteras estatales, caminos rurales vecinales rurales).
- ^{b)} Daño potencial a la biodiversidad y ecosistemas frágiles o únicos.

Tabla 2.- Criterios de aceptación de riesgo.



En este proyecto de norma también se indica que la responsabilidad de la operación, mantenimiento y conservación de las presas en el país, es única y exclusiva del concesionario o propietario. Por lo que es importante identificar a los principales responsables de dichas presas, ya que de ellos dependerá que exista un mantenimiento y mejoramiento de las condiciones en materia de seguridad de las mismas, y entre las cuales debe haber una adecuada comunicación para la integración uniforme de la información obtenida en cada presa y así mantener un constante monitoreo de ellas.

En la siguiente gráfica se identifica que la mayoría de las presas y bordos en el país pertenecen a asociaciones de varios usuarios de las presas y particulares. Una vez identificados a los principales responsables es importante impulsar más la difusión y consulta de la documentación e investigaciones actuales acerca del comportamiento de cada una, para asegurar que se lleven a cabo las medidas requeridas para la conservación de todas las presas en el país.

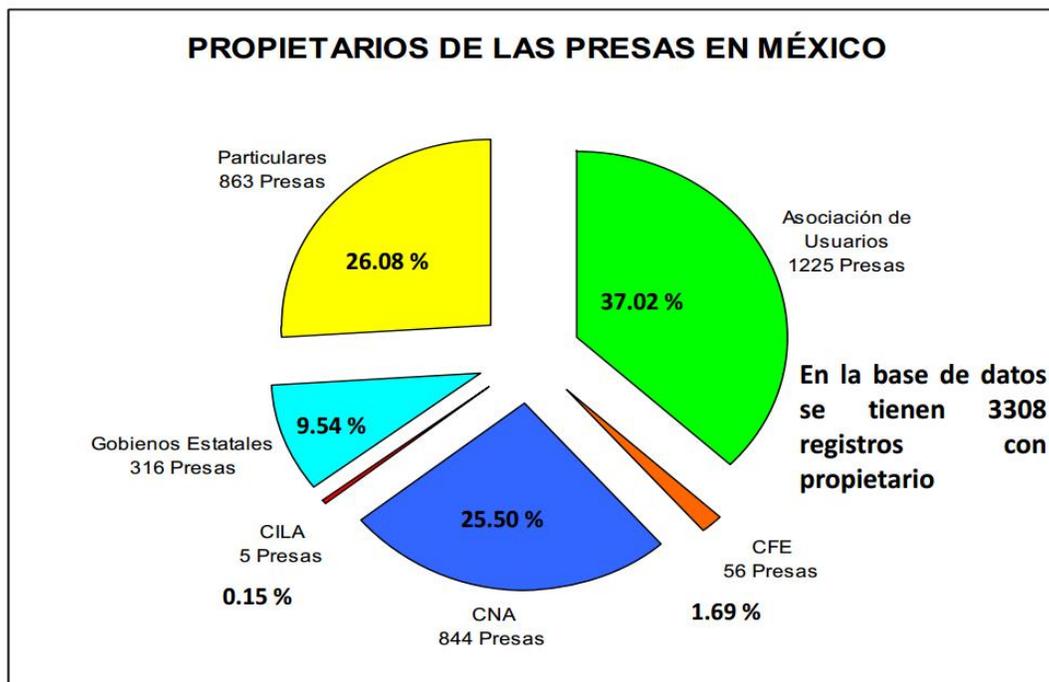


Figura 20.- Principales propietarios de las presas en México. (Fuente: Marengo Mogollón Humberto, 2012).

Como se podrá observar más adelante, parte de la normatividad mexicana en gestión de seguridad de presas, está basada y relacionada con la normatividad existente en otros países del mundo (principalmente con Estados Unidos), ya que las características generales de las presas son similares en distintos países, aunque varíen las condiciones y los criterios de diseño, construcción y operación de las mismas.

1.4. Algunas legislaciones en otros países

Debido a que se han reportado incidentes de presas que han fallado y provocado grandes daños y pérdidas, muchas veces incalculables, por la falta de ingeniería y mantenimiento adecuados además de otros factores relacionados, se reconoció en diversos países la necesidad de contar con algún tipo de regulación para la conservación de la seguridad de presas.

A continuación, se mencionan algunos aspectos relevantes de la normatividad vigente acerca de seguridad de presas, en ciertos países, donde se han establecido estructuras bastante organizadas además de diferentes normas y reglamentos que regulan y aseguran el adecuado funcionamiento de las presas.

1.4.1. Estados Unidos

En este país existe un Inventario Nacional de Presas, elaborado por The U.S. Army Corps of Engineers, el cual contiene información acerca de 79 000 presas; éste es accesible para trabajadores del gobierno que tiene cuentas; y los usuarios que no pertenecen al gobierno pueden consultar esta información, aunque no pueden descargarla.

La distribución de todas estas presas con base en el uso principal se muestra en la siguiente gráfica, donde se identifica que la mayoría de las presas en EUA están destinadas a la recreación en el entorno donde se encuentran, y le siguen en número aquellas que son utilizadas para control de inundaciones y como estanques.

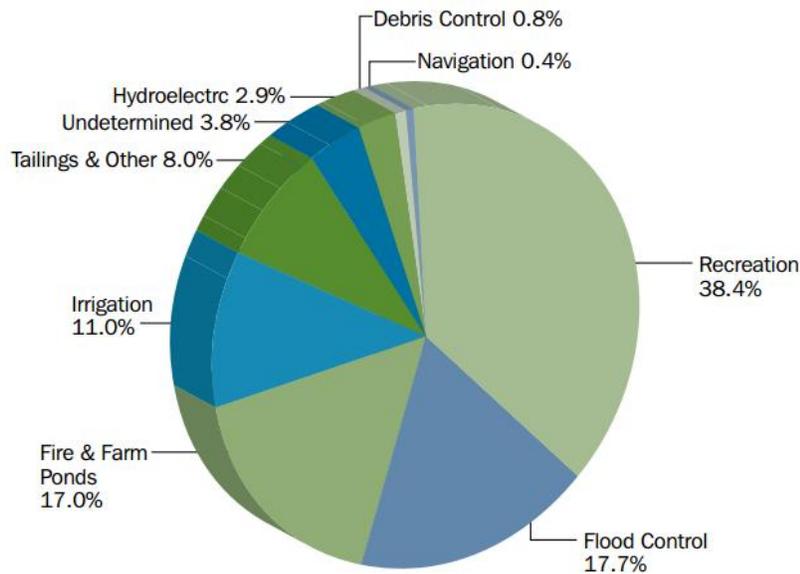


Figura 21.- Distribución de las presas en EUA según su principal propósito. (Fuente: Department of Homeland Security, 2007).

En cuanto a la normatividad encargada de regular y mantener la seguridad en las presas, en este país hay dos tipos de leyes que constituyen el marco normativo de la seguridad de presas: la Ley Federal y la Ley Estatal.

La Ley Federal

Este país cuenta con diversas Agencias Federales, cuyos representantes constituyen aproximadamente el 16% de los miembros del ASDSO (Association of State Dam Safety Officials), alrededor del 14% de las presas en EE.UU. son propiedad federal y están regulados por las agencias federales.

El Departamento de Seguridad Nacional, al que pertenece la Agencia Federal para el Manejo de Emergencias, no posee ni regula las presas, administra el Programa Nacional de Seguridad de Presas, el cual coordina todos los programas de seguridad de presas federales y ayuda a los estados a mejorar sus programas de regulación de la seguridad de presas, suministrando apoyo económico y fondos para la investigación y manejo de nueva tecnología, con el objetivo de reducir los riesgos a la infraestructura crítica de la nación.

Algunas agencias federales involucradas son las siguientes:

- Departamento de Agricultura de EE.UU.
- Departamento de Defensa.
- Servicio de Conservación de Recursos Naturales
- Servicio de Investigación Agrícola.
- Cuerpo de Ingenieros del Ejército
- Centro de Ingeniería Hidrológica (HEC)
- Departamento del Interior
- Bureau of Reclamation
- Nuclear Regulatory Commission (Comisión de Regulación Nuclear).
- Tennessee Valley Authority (Autoridad del Valle de Tennessee).

En conjunto, forman el Comité Interagencial de Seguridad de Presas (ICODS), supervisado por la Agencia Federal de Administración de Emergencias (FEMA), como jefe del Programa Nacional de Seguridad de Presas. Este Comité debe fomentar la creación de programas de seguridad, federales y estatales y facilitar el intercambio de información entre los organismos federales y estatales siguiendo las Directrices Federales de Seguridad de Presas (expedido por el FEMA).

La Ley del Programa Nacional de Seguridad de Presas (NDSPA), es la ley federal básica en este país, posteriormente es incorporada a la Ley de Desarrollo de los Recursos del Agua. Esta Ley ayuda a los estados a mejorar sus programas de seguridad, propicia mayor capacitación técnica para los ingenieros involucrados, suministra apoyo en la investigación de seguridad de presas y mantiene el Inventario Nacional de Presas.

La FEMA debe aprobar y revisar los planes estatales, así como presentar un informe al Congreso. Por lo tanto, es importante:

- Cumplir con los requisitos antes de que se proporcione asistencia por la FEMA.
- Ingenieros profesionales calificados y con experiencia, lleven a cabo las inspecciones.
- Los programas estatales tengan autoridad para revisar y aprobar los planes para construir y modificar presas, y realizar inspecciones al menos cada 5 años.
- El estado apruebe la puesta en marcha de las presas construidas.
- El programa estatal pueda obligar al propietario a realizar reparaciones en la presa y tomar medidas correctivas.

- Exista un plan de emergencia para hacer frente a la falla de la presa.
- El Estado haga una asignación presupuestaria para la seguridad de presas.

El Secretario del ejército deberá inspeccionar todas las presas de EE.UU. a excepción de: las que están bajo jurisdicción del Bureau of Reclamation, el TVA y la Comisión Internacional de Fronteras, o que no significan una amenaza para de vidas humanas o daños materiales.

La Ley Estatal

ADSO se inició en 1984 por un grupo de funcionarios de seguridad de presas estatales de varios estados en todo el país, con un interés en la organización de una asociación nacional para mejorar la seguridad de las presas. Los representantes de cada Estado constituyen los miembros votantes de la ASDSO y la junta de gobierno se elige a partir de estos 50 individuos.

Todos los estados, excepto Alabama (que aún está en proceso), cuentan con programas de seguridad de presas reglamentarios. Los gobiernos estatales tienen la responsabilidad de reglamentación para el 95 % de las 78 000 presas registradas aproximadamente en el Inventario Nacional de Presas. Estos programas presentan variaciones en cuanto a la autoridad que las ejerce, pero normalmente las actividades principales dentro de ellos son las siguientes:

- 1.- Evaluaciones de la seguridad de las presas existentes.
2. Revisión del proyecto y las especificaciones establecidas, para el diseño, construcción o rehabilitaciones requeridas.
- 3.- Inspecciones periódicas de los trabajos de construcción en nuevas presas y las existentes.
- 4.- Revisión y aprobación de planes de mitigación de emergencia.

La mayoría de las presas en EE.UU. se rigen por los programas estatales de seguridad de presas. Algunos compendios que forman parte del esquema básico son los siguientes:

- Para construir una presa se debe pedir permiso a una agencia reguladora estatal, ya que éstas tienen la jurisdicción sobre las presas y su seguridad.
- Las presas se encuentran clasificadas generalmente en tres categorías: el peligro potencial de la presa, el tamaño o la condición en que se encuentre.
- Se establece al propietario como responsable de la presa, por lo tanto, él es el que debe de realizar las inspecciones requeridas, así como la supervisión

de la construcción y funcionamiento de la presa. Aunque también debe ser personal calificado.

- El organismo regulador tiene la facultad de obligar al propietario a realizar medidas correctoras o llevarlas a cabo y recuperar los cotes del propietario. También puede imponer multas o llevar al propietario a prisión.
- En varios estados, las autoridades tienen inmunidad por los daños causados por las presas bajo su jurisdicción o para las que hayan expedido un permiso.

En la mayoría de los estados, se requiere la implementación de un Plan de Acción de Emergencia (PEA), el cual está en función de la peligrosidad de la presa. En este plan se establecen diversos procedimientos para minimizar los riesgos para la vida y los bienes en el momento en que la integridad de la presa o estructura similar se encuentre en peligro; para lo cual, se tendrán en cuenta todas las situaciones potenciales de emergencia, como:

- Presencia o predicción de precipitaciones intensas o deshielo.
- Terremotos.
- Funcionamiento inadecuado, estructuralmente.
- Funcionamiento inadecuado, hidráulicamente.
- Vandalismo, terrorismo, sabotajes.
- Filtraciones excesivas o desprendimiento del terraplén.

La ejecución de un Plan de Acción de Emergencia, se prepara con asistencia del NRCS y orientación del Manual Nacional de Ingeniería y las normas estatales y locales para desarrollar el EAP.

En la siguiente tabla se puede observar de qué forma se clasifica el riesgo existente, el cual, al igual que en este país, depende de la probabilidad de pérdidas humanas y daños o afectaciones económicas y ambientales.

Tabla 3.- Clasificación del peligro potencial en las Presas (FEMA-333).

ALTO POTENCIAL DE PELIGRO		
Presas asignadas al alto potencial de peligro para la clasificación son aquellos en los que la falla o mala operación probablemente pueda causar pérdidas de vidas humanas.		
Clasificación potencial de riesgo	Pérdidas de vidas humanas	Perdidas económicas, ambientales
Baja	Ninguna	Baja y generalmente limitadas a los propietarios.
Significativa	Ninguna	Si
Alta	Probable. Una o más esperada.	Si (pero no necesariamente para esta clasificación).

1.4.2. España

Este país cuenta con aproximadamente 1200 presas, por lo cual ocupa un lugar destacado a nivel mundial junto con otros países como EEUU, China, India y Japón. Debido a este y a otros fenómenos España es considerado como uno de los países precursores en la difusión de normativas técnicas dentro de la realización de proyectos, así como en la construcción, mantenimiento y conservación de sus presas. En general la legislación existente en España a partir del siglo XX es la siguiente:

- Ley de Aguas de 1879.
- Instrucción para el proyecto de Pantanos de 1905.
- Normas transitorias para Grandes Presas de 1960.
- Instrucción para el Proyecto, Construcción y Explotación de Grandes Presas de 1962/1967.
- Ley de aguas de 1985.
- Reglamento técnico sobre la Seguridad de Presas y Embalses de marzo de 1996.
- Real Decreto 9/2008, de 11 de enero por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico.

La Ley de Aguas, en ambas versiones, solo hace referencia a los recursos, al dominio público hidráulico, a la planificación hidrológica, etc., pero no hace mención sobre la infraestructura y las presas.

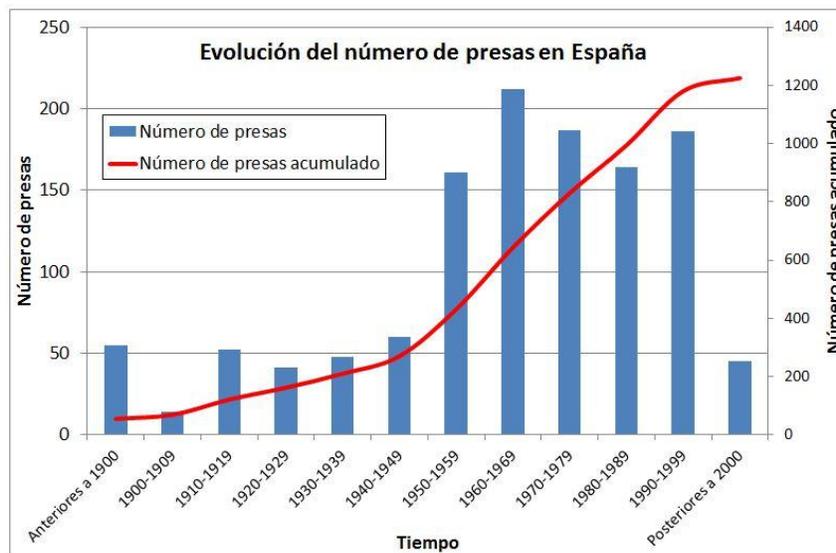


Figura 22.- Evolución del número de Presas en España. (Fuente Pablo García Cerezo, 2012).

La rotura de la presa de Vega de Tera, a principios de 1959 llevó a la Administración a crear el Servicio de Vigilancia de Presas, perteneciente a la Comisaría Central de Aguas., quienes redactaron las Normas Transitorias sobre Vigilancia de Presas. Durante este mismo año se crea la Comisión de Normas para Grandes Presas, perteneciente a la Dirección General de Obras Hidráulicas (D.G.O.H.), a la que se le encomendó la redacción de una normativa que posteriormente se convirtió en la Instrucción para el Proyecto, Construcción y Explotación de Grandes Presas de 1962/1967, con participación de oficiales, instituciones privadas y los propios usuarios, la cual continúa en vigor.

Por acuerdo del Consejo de Ministros, en 1994, se aprueba la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones, la cual cuenta con un capítulo específico donde se incluyen aspectos innovadores como la clasificación de presas ante el riesgo potencial y los Planes de Emergencia de tales presas.

En función del riesgo potencial que pueda derivarse de su posible rotura o de su funcionamiento incorrecto, todas las presas deberán clasificarse, de acuerdo con la Directriz de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones, en alguna de las siguientes categorías:

Los criterios para la definición de las categorías, que son la base para la clasificación de las presas, responden a lo establecido en el apartado 3.5.1.3 de la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones; y en el artículo 3.2 del Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses. En ambos, se establece que las presas se clasifiquen en tres categorías, respecto al riesgo potencial:

- Categoría A. Presas cuya rotura o funcionamiento incorrecto puede afectar gravemente a núcleos urbanos o servicios esenciales, o producir daños materiales o medioambientales muy importantes.
- Categoría B. Presas cuya rotura o funcionamiento incorrecto puede ocasionar daños materiales o medioambientales importantes o afectar a un reducido número de viviendas.
- Categoría C. Presas cuya rotura o funcionamiento incorrecto puede producir daños materiales de moderada importancia y sólo incidentalmente pérdida de vidas humanas. En todo caso a esta categoría pertenecerán todas las presas no incluidas en las Categorías A o B.⁴

Además en marzo de 1996, la D.G.O.H. aprobó el Reglamento Técnico Sobre la Seguridad de Presas y Embalses, realizado por la C.P.N.G.P., que también continúa vigente. El cual tiene por objetivo determinar las normas técnicas precisas para la seguridad de las presas y embalses. A tal fin, establece los requisitos y condiciones técnicas que deben cumplirse durante las fases de proyecto, construcción, puesta en carga, explotación y estado de fuera de servicio de las presas y embalses, en orden a alcanzar sus óptimas condiciones de utilidad y seguridad que eviten daños a las personas, a los bienes y al medio ambiente.⁵

Ambos documentos conforman la normativa en gestión de la seguridad de presas. Aunque el real Decreto 9/2008 publicado en ese dispone de la elaboración, redacción y aprobación de tres Normas Técnicas de Seguridad, con el objeto de unificar los criterios de seguridad ya propuestos en las normativas vigentes, y aplicarlo a todas las presas, embalses y balsas, así como delimitar las competencias de las Administraciones que competen en materia de seguridad, una vez aprobados, éstos serán los únicos textos legales vigentes.

⁴ Fuente: <http://www.academia.edu/>

⁵ Fuente: Pablo García Cerezo, 2012

1.4.3. Francia

A partir de la ruptura de dos importantes presas, la de Bouzey en 1895 y la de Malpasset en 1959, se comenzó a tener mayor importancia el tema de seguridad de presas, desde el enfoque político.

Principalmente responsabiliza al propietario, operador o concesionario de la obra, así como al Estado de preservar la seguridad en este tipo de infraestructura. Por una parte el responsable particular de la presa debe evitar un mal funcionamiento o posible falla de la presa, a partir del mantenimiento y supervisión del mismo, o en caso de ser necesaria, la revisión y rehabilitación de sus principales elementos, como vertedores, válvulas, obras de toma, etc. y por otra parte la responsabilidad del Estado es verificar que el propietario cumpla con sus obligaciones y la presa no represente ningún riesgo para la seguridad civil, este solo supervisa y evalúa los estudios e informes realizados por los propietarios.

La reglamentación en Francia acerca de presas, consiste principalmente en dos regímenes jurídicos: la ley del 16 de octubre de 1919 sobre la utilización de la energía hidráulica y la ley del agua reglamentada dentro del código del medio ambiente (artículos L. 214-1 y L. 214-2 del código del Medio Ambiente).

Actualmente se tienen registradas cerca de 750 presas de más de 10 m de altura, pero falta añadir varios miles de obras de menos de 10 m de altura, sobre todo en el sur-oeste de Francia.

El Control de la Seguridad de Presas por parte del Estado es responsabilidad de cada autoridad de Departamento. Se ejerce con base en el régimen jurídico de y a través de los distritos competentes como:

Direcciones Regionales de Industria, Investigación y Medio Ambiente (DRIRE) para el caso de obras aprobadas por la Ley del 16 de octubre de 1919.

Servicios de policía para el agua en el caso de obras consideradas dentro de los artículos L. 214-1 y L. 214-2 del código del Medio Ambiente, o autorizadas en la Ley del 16 de octubre de 1919.



Figura 23.- Principales presas en Francia, de más de 20m de altura y cuyo volumen supera los 15 millones de metros cúbicos). (Fuente: République Francaise, 2012).

1.4.1. Brasil

En este país, actualmente, existen aproximadamente 13 259 presas registradas mediante instituciones de control a nivel federal y estatal. Dentro de las cuales:

- 1 1748 son destinadas para abastecimiento humano, riego, abastecimiento industrial, actividades recreativas y uso ganadero.
- 1 261 se utilizan para la generación de energía hidroeléctrica.
- 264 son para usos mineros.
- 256 son para usos industriales.

En la siguiente imagen se muestra de forma gráfica esta distribución.

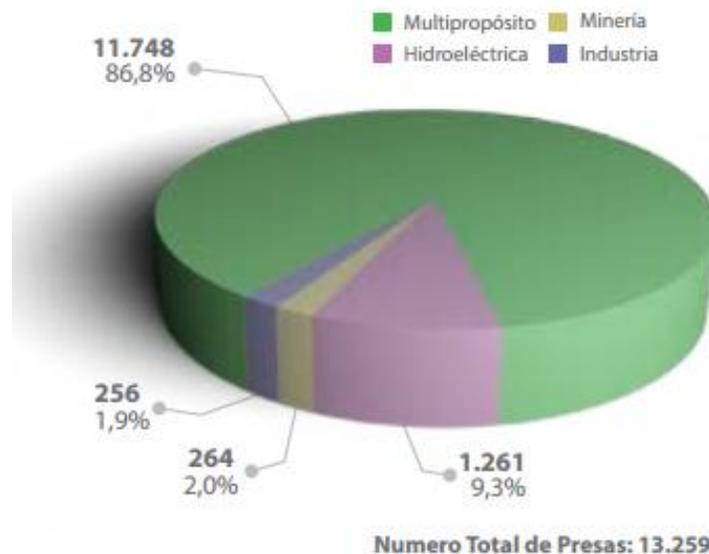


Figura 24.- Distribución de las presas en Brasil, de acuerdo con su uso, (Fuente: Informe Anual de Presas, Agencia Nacional de Agua, 2011).

Como podemos observar, a diferencia de otros países, en Brasil, existen presas destinadas para acumular relaves minerales y residuos industriales, lo cual representa un beneficio importante para el país, pero también implica otros riesgos en caso de una posible ruptura, como la contaminación del agua, destrucción de la vida acuática, contaminación del medio ambiente en general y el riesgo de pérdida de vidas humanas.

Cabe destacar, que desde 1993, La Compañía de Gestión de los Recursos Hídricos del Estado de Ceará (COGERH) opera y realiza acciones ejemplares de mantenimiento y seguridad de presas. A su vez, el Comité Brasileño de Presas comenzó actuar en gestión de dicho tema, a través de la realización de eventos, cursos y publicaciones, a partir de 1979.

En general, Brasil cuenta con 38 organismos reguladores de la seguridad de Presas, entre los cuales se encuentran, las siguientes agencias federales, responsables de la supervisión de diversas presas en el país.

- La Agencia Nacional de Agua (ANA).
- La Agencia Nacional de Energía Eléctrica (ANEEL).
- El Departamento Nacional de Producción Mineral (DNPM).
- El Instituto Brasileño de Medio Ambiente y Recursos Naturales Renovables (IBAMA).

Además de veinte agencias estatales administradoras de los recursos hídricos y del medio ambiente, siete órganos estatales gestores de recursos hídricos, y otros siete gestores ambientales. A partir de esta información es evidente la complejidad existente en materia de seguridad de presas, y el gran reto que representa estandarizar los procedimientos, considerando la posibilidad de que a un mismo contratista puede ser regulado por diferentes organismos reguladores.

También se cuenta con la Ley N°12.334 (20 de septiembre de 2010), conocida como la Ley de Seguridad de Presas, donde se establece la Política Nacional de Seguridad de Presas (PNSP), cuyo objetivo es garantizar el cumplimiento de las normas de seguridad de presas para reducir la posibilidad de accidentes y sus consecuencias negativas. A partir de esta Ley se crearon nuevas responsabilidades al contratista, para agentes privados y gubernamentales que tienen derecho real sobre la tierra donde se encuentra la presa y el embalse, o que usan la presa a beneficio propio o al de la comunidad; así como para agencias reguladoras de presas. Dichas responsabilidades están determinadas con base en el propósito de la presa y el origen de su autorización, licencia, o concesión de implementación. Esta Ley aplica para presas que tienen por lo menos una de las siguientes características:

- Una altura de muro de contención (cortina), superior o igual a 15 m.
- Una capacidad de embalse similar o superior a 3 millones de metros cúbicos.
- Que su embalse contenga residuos peligrosos.
- Estar clasificada como de medio o alto en la categoría de daño potencial asociado.



Figura 25.- Principales organismos reguladores y flujo de información para el SNISB, (Fuente: ANA, 2013).

La ANA también es responsable de la organización, implementación y administración del Sistema Nacional de Información sobre Seguridad de Presas (SNISB), éste tiene como objetivo primordial registrar, de manera electrónica, las condiciones de seguridad de presas en todo el país, y se planea que cuente con un sistema de recolección, procesamiento, almacenamiento y recuperación de sus informaciones que incluirá represas en construcción, las que ya están en operación y las que han quedado fuera de funcionamiento.

Es evidente que en estos países se ha comenzado a concientizar a las instituciones, organismos, técnicos y demás responsables, sobre la importancia del buen conocimiento y manejo de la seguridad de presas, así como una implementación adecuada de ésta en las presas existentes y las futuras. En este proceso se ha comprobado la complejidad implícita de este tipo de infraestructura hidráulica, ya que un adecuado diseño, construcción, operación y mantenimiento puede ser determinante para la prevención de grandes riesgos, como daños al ambiente, o en casos extremos, pérdidas en bienes materiales y vidas humanas.⁶

⁶ Fuente: <http://www.foroconsultivo.org.mx/>

2. Metodología propuesta

Las presas, al mismo tiempo que benefician a la humanidad en sus actividades de riego, control de avenidas y generación de energía, representan una amenaza potencial, debido a que sus fallas causan pérdidas de vidas humanas y propiedades o deterioro del medio ambiente. De ahí la importancia primordial de la seguridad de estas estructuras.

Antes de iniciar con el desarrollo de la metodología es importante comprender que el análisis del comportamiento de una presa en sus condiciones actuales resulta un proceso de gran complejidad debido a la diversidad de tipos de presas existentes, a los factores que participan en su diseño, construcción, mantenimiento y operación, así como en la variedad de escenarios que pueden presentarse en cada presa.

La metodología consiste en cuatro etapas subdivididas a su vez en otras, que permiten llevar a cabo el análisis y estudio correspondiente a cada caso de forma ordenada. Inicialmente se propone la identificación de las características principales de la presa donde ésta se clasifica y se entiende la problemática general de la misma, posteriormente la etapa del análisis y revisión desde los enfoques multidisciplinarios básicos: Hidrológico, Hidráulico, Geotécnico, Estructural, y Electro-mecánico, dentro del cual se recomienda que se realice cada uno de ellos, sobre todo aquellos donde la presenta mayores deficiencias en comparación con el comportamiento óptimo que debería tener, para esta etapa los estudios, herramientas y equipo utilizado depende de la tipificación hecha desde la etapa anterior. En la siguiente etapa se presentan los resultados obtenidos y se establece el dictamen para cada caso, a partir del cual se toman diversas decisiones; la cuarta y última etapa dependen del diagnóstico realizado y las conclusiones ejecutadas en la etapa tres, ya que a partir de esta información se emiten recomendaciones generales, o se desarrollan los proyectos y rehabilitaciones necesarias en mejora de las condiciones actuales; en casos extremos también se puede decidir poner fuera de servicio la presa.

Estas cuatro etapas son las siguientes:

- Etapa 1. Análisis y generación de información.
- Etapa 2. Evaluación y diagnóstico.
- Etapa 3. Dictamen.
- Etapa 4. Toma de decisiones y acciones a efectuar.

En la figura 26 se muestran las principales disciplinas que se propone sean consideradas para un adecuado diagnóstico de las condiciones de una presa.

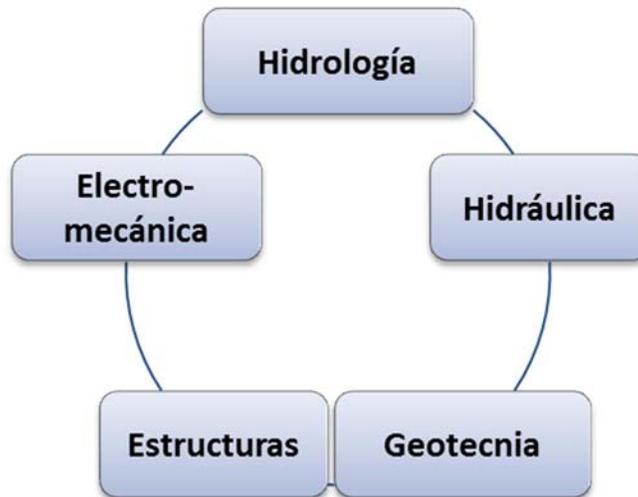


Figura 26.- Gráfica que muestra la interacción entre las diferentes disciplinas que participan en la revisión de una presa. (Fuente: IIUNAM (Instituto de Ingeniería de UNAM). Estudios para la caracterización y diagnóstico de la seguridad de 8 presas, en los estados de Jalisco, Michoacán y Querétaro, clasificadas con alto riesgo. 2013, México, D. F.).

Algunos de los factores que pueden convertir la presa en una amenaza en lugar de una obra útil para la sociedad, pueden ser: el propósito de la obra, las dimensiones y material con el que están construidas, el clima al que están expuestas y las condiciones hidrológicas existentes en el sitio de trabajo, así como el ordenamiento territorial, es decir cómo se presenta el crecimiento territorial y qué tanto invade la zona de influencia de la presa.

De forma previa al desarrollo de los procedimientos involucrados en la metodología es conveniente definir y conformar un equipo de trabajo con los perfiles multidisciplinarios requeridos, así como los instrumentos y herramientas determinadas que serán necesarias dentro de las primeras etapas y contemplar las que podrían ser solicitadas posteriormente.

2.1. Etapa 1. Análisis y generación de información

En esta etapa se realiza una recopilación de toda la información previa que esté disponible y que nos sea útil para un previo diagnóstico de la presa en estudio. Es importante la elaboración de un plan de trabajo a partir del cual se pueda estimar la cantidad de personal que será requerido para llevar a cabo el diagnóstico, así como la herramientas y equipo necesario para los estudios y visitas de inspección, u otros procedimientos.

2.1.1. Identificación de la zona de estudio

Desde el inicio se identifica el sitio donde se localiza la presa, con el objetivo de delimitar la zona que será estudiada, para una búsqueda más rápida y eficaz, de la información y documentación requerida para su análisis y diagnóstico. En este proceso se definen los aspectos técnicos y características generales del entorno donde se localiza la presa. Además se concientiza al personal de la cantidad y la calidad de la información con la que se puede contar y lo que será necesario actualizar o complementar posteriormente.

2.1.2. Recopilación de Información Regional

La recopilación consiste en la revisión de la documentación e información técnica que se disponga de la presa en estudio, tales como documentos públicos gubernamentales e históricos, planos de estudios y de proyecto, acervos y bases de datos, literatura relacionada o registros de cualquier tipo de evento trascendente.

La documentación existente puede consultarse mediante las siguientes fuentes de información:

-El Archivo Histórico del Agua, donde se puede consultar información de eventos registrados hasta 1985 o en fechas anteriores.

-El Sistema Integral de Seguridad de Presas, donde se cuenta con una recopilación de eventos desde 1990 a la fecha.

-Las Direcciones Locales de cada Estado, donde se cuenta con documentación del seguimiento de los diferentes trabajos realizados en las presas localizadas en cada uno de ellos.

De forma complementaria también se puede consultar y utilizar información técnica obtenida de otras fuentes como INEGI (LIDAR, MDE), así como el apoyo de algún software que se determine sea útil para el tipo de presa en estudio.

2.1.3. Análisis de información recopilada

En este proceso es posible identificar la ubicación política y geográfica con más precisión, además de las vías de comunicación y acceso. Si se cuenta con la información, se analizan desde los anteproyectos hasta la construcción y puesta en operación; lo que permite conocer todo tipo de problemas presentados en la vida de la presa que pueden ir desde problemas sociales hasta problemas específicamente de ingeniería. Una vez conocido el comportamiento que ésta ha tenido a partir de su construcción y la situación actual es mucho más sencillo proponer una mejora, conociendo incluso las propuestas que se han hecho con anterioridad y por qué han sido desechadas.

En este paso también se identifica si la calidad de información técnica es suficiente o es necesario algún estudio complementario, o en su defecto, se determinan las limitantes que se tendrán al utilizar esta información.

2.1.4. Visitas de Inspección

Una vez que se cuenta con una base documentada sobre la presa a evaluar, se requiere la verificación de esta información, mediante todas las características observables más representativas de las condiciones y el comportamiento de la presa en ese momento, además de la detección de otros factores no identificados durante la recopilación, que podrían provocar problemas en la operación de la presa o causar la falla de la misma.

A partir de las visitas de inspección se determina con mayor claridad los trabajos de campo a realizar, para la obtención de valores que permitan un mejor estudio y análisis de la problemática existente, y así tener un registro para el diagnóstico más confiable y actualizado.

Las actividades que son parte del proceso de una visita de inspección son las siguientes:

- **Revisión de los datos del proyecto.**
- **Preparación de un plan de inspección en campo.** Que consiste en:
 - × **Zonas de visita y rutas a seguir**, donde se plantean las posibles vías de acceso y se determinan las más óptimas.
 - × **Material y equipo** que será indispensable en la realización de la visita.
 - × Preparación de lineamientos de inspección o de una lista de verificación, donde se ordenen los aspectos más críticos para una detección más eficiente de alguna anomalía en la presa.
 - × **Preparación de los objetivos de la inspección**, donde se establece lo más importante que se requiere verificar en el sitio respecto a la presa y del entorno donde se localiza.
 - × **Establecimiento de preparativos especiales**, en caso de que la presa lo requiera, como la necesidad de dispositivos o herramientas específicas o la realización de algún trámite para el acceso, y permanencia en el sitio.
 - × **Inclusión de aspectos relacionados con la seguridad personal**, del equipo, así como establecer las condiciones que se tendrán que respetar para evitar poner en riesgo al propio personal de la visita.
- **Realización de una inspección de seguridad de presas**, (más adelante se explica el desarrollo de la misma).
- **Documentación de los resultados de una inspección de seguridad de presas.** Realizar un registro escrito de todas las observaciones, así como tomar fotografías o algunas muestras, para asegurar la conservación de información de calidad que tal vez requiera ser consultada posteriormente por otros integrantes.

2.1.4.1. Realización de una inspección de seguridad de presas.

En el sitio, principalmente, se debe cumplir con la inspección de los siguientes aspectos, a partir de los cuales es importante identificar visualmente las deficiencias o malas condiciones de la presa.

- **Localización y vías de acceso.**
 - × Descripción del estado de mantenimiento y el trazo de las vías de acceso a la presa.
 - × Accesibilidad del personal técnico de operación y equipos de mantenimiento.

- **Entorno geológico.**
 - × Observación de las condiciones del vaso y el cauce del río donde se encuentra la presa, como el nivel de azolves, la presencia de vegetación dentro de estos, el comportamiento del agua dentro y a través de la cortina de la presa.
 - × Identificación de la magnitud y dimensiones del vaso y cauce, para la verificación o reclasificación del tipo de presa y del impacto, con base en estos factores.

- **Corona, paramentos y galerías (para presas rígidas y flexibles).**
 - × Identificación del tipo de material con el que fue construida.
 - × Observación de asentamientos a lo largo de la corona (para el caso de cortinas flexibles), es decir, si existe una desnivelación.
 - × Presencia de daños en el material con el que está hecha, como erosión, desgaste, deterioro o pérdida del mismo.
 - × Condiciones favorables en los empotramientos.
 - × Presencia de grietas, filtraciones, fugas o vegetación a lo largo de la cortina, en la base o corona de la misma.
 - × Madrigueras de roedores.
 - × Hondadas por erosión o erosión en el material de los paramentos por oleaje.
 - × Daños en la instrumentación o desplazamientos de bancos de nivel, piezómetros, inclinómetros, vertedores, etc.

- **Vertedores y obras de desfogue.**
 - × Primera estimación de la capacidad y funcionamiento de la presa, además de identificar el estado en el que se encuentra, es decir si están o no en funcionamiento y en caso de que así sea, éste no ponga en riesgo la presa y a los asentamientos cercanos.

- × Se observa el deterioro del material con el que están contruidos, si existe cavitación y erosión, en el caso del concreto, o deslizamientos y/o hundimientos, en el caso de ser de materiales graduados.
 - × En las partes metálicas se examina la presencia de corrosión, cavitación, erosión, escamación, picaduras o descascaramiento del material.
- **Equipos mecánicos.**
 - × Se identifica la existencia de daños superficiales en las válvulas y compuertas, así como en los sistemas de operación de las mismas, como grietas, corrosión y oxidación.
 - × Niveles inadecuados de fluidos o fugas.
 - × Evaluar la operación de los mecanismos, es decir, detectar cualquier indicio de problema, como motores forzados o con zumbidos excesivos, vibraciones o atascamiento, o que éstos no estén trabajando forzosamente.
 - **Instrumentación.** La instrumentación en una presa se puede clasificar en dos categorías:
 - × *La instrumentación original* que fue planeada e instalada para monitorear el comportamiento y la seguridad de la presa.
 - × *Cualquier otra instrumentación adicional* que se pudo haber instalado durante los periodos de construcción o posterior a ésta para investigar problemas o riesgos específicos.

Es muy importante la existencia y el monitoreo constante de los registros de instrumentación, para determinar si el funcionamiento de la presa es similar al de las hipótesis durante su diseño, para identificar cualquier problema existente. En la tabla 4 y la tabla 5, se muestran los instrumentos que se utilizan con más frecuencia, para las presas de concreto y materiales graduados:

Tabla 4.- Instrumentación para presas de cortina rígida.⁷

Instrumentos	Datos típicos medidos
Cimacios y canalones de filtración.	Filtración y fugas.
Piezómetros.	Filtración y subpresiones.
Pozos de observación.	Profundidades de flujo de filtración.
Plomadas y péndulos.	Rotación vertical de la presa.
Inclinómetros.	Deflexión y rotación de la presa, los empotramientos o las orillas del embalse.
Medidor de deformación o extensómetro.	Movimientos de suelo o de estructuras.
Extensómetros.	Movimientos de suelo o de estructuras.
Medidor o calibrador de esfuerzo.	Presiones en suelo o en estructuras.
Deformómetros de cimentación o placas de asentamiento.	Movimientos de cimentación.
Sismógrafos.	Aceleraciones sísmicas.
Movimientos superficiales.	Movimientos en alineación o elevación.
Termómetros.	Temperaturas y cambios de temperatura.
Instrumentos de medición electrónica de distancia.	Desplazamientos estructurales.
Extensómetros Whittermore.	Deformaciones debidas a cargas y a cambios de temperaturas.
Medidores de juntas.	Movimiento entre monolitos.

⁷ Fuente: Manual para Capacitación en Seguridad de Presas. CONAGUA 2011.

Tabla 5.- Instrumentación para presas de cortina flexible.⁸

Instrumentos	Datos típicos medidos
Piezómetros.	Filtración y subpresiones.
Movimientos superficiales.	Movimientos en alineación o elevación.
Placas de asentamiento en el contacto entre la presa y su cimentación.	Consolidación de los suelos.
Inclinómetros	Deformación y rotación de la presa, los empotramientos o las orillas del embalse.
Indicadores de movimiento (en juntas y grietas).	Movimiento relativo de masas intactas a ambos lados de una junta o de una grieta.
Dispositivos internos de medición de movimientos verticales y horizontales e indicadores de deformaciones.	Asentamiento total y consolidación total del material de fundación.
Celdas de presión de tierra.	Presión estática total (suelo y agua).
Acelerómetros.	Movimientos fuertes por actividad sísmica.

- **Empotramientos.**

- × Se observa la presencia de filtraciones o indicios de las mismas, vegetación abundante, deslizamientos, grietas, depresiones, dolinas, remolinos, túneles de roedores, existencia de fallas.

- **Zona inundable.**

- × Se identifica la existencia de poblaciones o infraestructura dentro de la zona inundable de la presa, sobre todo en el vaso y aguas abajo de la misma, ya que en caso de la falla, podría causar graves pérdidas humanas y de bienes materiales.

En caso de encontrar alguna persona con la disposición, considerar aquella información complementaria si se identifica que esta puede ser de utilidad, como la existencia de vandalismo, la frecuencia o magnitud de algún evento extraordinario presenciado, o comentarios adicionales sobre el funcionamiento general de la presa.

⁸ Fuente: Manual para Capacitación en Seguridad de Presas. CONAGUA 2011.

2.1.4.1. Trabajos de campo.

Inicialmente se debe identificar el material, herramientas y personal especializado que será el más óptimo para desarrollar estos trabajos y pruebas, y nos permita encontrar la información buscada.

Dentro de estos trabajos de campo se consideran los siguientes:

- **Levantamientos.**
 - × Batimétricos. Se conocen las profundidades y longitudes del vaso de la presa, para la estimación de la capacidad de la misma, las cuales representan la información base para la realización de cálculos y estudios posteriores.
 - × Topográficos. Se obtienen las dimensiones exactas de la cortina, de los elementos que la componen, los cuales complementan la información anterior y son muy importantes para los análisis cualitativos y cuantitativos que se realizan posteriormente.
 - × De las Obras de toma. Específicamente se determinan las dimensiones de las obras de toma, para determinar si su capacidad y funcionamiento son suficientes para lo que han sido diseñados y construidos, lo que se determina con los estudios y estimaciones efectuadas en la siguiente etapa.
- **Exploración geotécnica.** Se realiza para conocer las características geotécnicas de la cortina y contacto del suelo o roca de cimentación, además de las condiciones estratigráficas del sitio, ésta puede ser mediante los siguientes métodos:

-Métodos directos⁹.

En los métodos directos se obtienen muestras representativas, alteradas o inalteradas que sometidas a pruebas de laboratorio sirven para clasificar y determinar las propiedades físicas, mecánicas e hidráulicas del suelo. Los métodos directos más conocidos son:

⁹ CONAGUA (2010); *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*, Geotecnia en Suelos Inestables. Comisión Nacional del Agua. Diciembre 2010, México DF.

- Pozos a cielo abierto. Este tipo de prueba permite examinar los diferentes estratos de suelo en su estado natural, así como darse cuenta de las condiciones precisas referentes al agua contenida en el suelo. Se obtienen pruebas alteradas o inalteradas.
- Perforación con pala posteadora y barrenas helicoidales
- Sondeos de penetración estándar
- Muestreo inalterado con tubo shelby
- Muestreo con barril Denison
- Sondeos de cono eléctrico
- Sondeos de cono dinámico
- Sondeos exploratorios en roca

-Métodos indirectos¹⁰.

Este tipo de métodos, permiten la recopilación de información sobre el subsuelo sin necesidad de extraer muestras, a continuación, se enlistan los métodos indirectos más usuales:

- Fotogeología
- Métodos geofísicos
 - × Sísmicos
 - × Eléctrico
 - × Electromagnético
 - × Gravimétrico
 - × Magnético
- Métodos eléctricos
 - × Método de resistividad
 - × Métodos de caídas de potencial
- Geosísmico
 - × Reflexión
 - × Refracción

¹⁰ M. I Haas Mora Hugo Sergio, (2010); *Exploración y muestreo de los Geomateriales*. Facultad de Ingeniería, UNAM. México DF.

2.1.4.2. Pruebas de Laboratorio

Son un importante complemento para el estudio de muestras tomadas en campo mediante los métodos explicados anteriormente. Éstas pueden ser:

- **Pruebas índice**

Las cuales son útiles para la clasificación de los suelos y entender sus correlaciones con las propiedades mecánicas de los suelos.

- **Pruebas mecánicas**

Permiten conocer el comportamiento de los suelos, bajo esfuerzos inducidos y cambios del medio ambiente.

Tabla 6.-Pruebas de laboratorio seleccionadas para investigaciones de presas de concreto.¹¹

Prueba	Propósito de la prueba	Tipo de muestra	
		U	D
GEOTÉCNICAS			
Prueba de corte	Análisis de estabilidad de cimentaciones, empotramientos y taludes de embalse.	X	
Prueba de consolidación	Análisis de asentamiento de cimentaciones y empotramientos.	X	
Prueba de permeabilidad	Análisis de filtración en cimentaciones y empotramientos.	X	
Análisis granulométrico	Confirmación de la granulometría de drenes requeridos.		X
Clasificación	Correlación de sondeos con pruebas en muestras inalteradas.		X
Pruebas químicas	Identificación de sustancias químicas agresivas o perjudiciales (sulfatos de sodio, ácidos, suelos dispersivos).		X
Prueba de resistividad/pH	Identificación del potencial de corrosión.		X
CONCRETO			
Resistencia a la compresión y prueba de densidad.	Evaluación de corazones sometidos a compresión, en el sitio.	X	
Prueba de tensión	Evaluación de resistencias a la tensión en corazones en el sitio.		
Prueba de resistencia al corte	Evaluación de resistencias a la tensión en el sitio.	X	
Módulo de elasticidad	Evaluación de módulos de elasticidad en el sitio (elástico y dinámico).	X	
Relación de Poisson	Evaluación de la relación de Poisson en el sitio.	X	
Prueba de agregados	Prueba de tamaño, granulometría, dureza, durabilidad, reactividad e impurezas.		X
Análisis químico	Identificación de contenido químico de componentes del mortero de cemento, impurezas, reacciones químicas indeseables.		X
Prueba de densidad, permeabilidad	Pruebas de densidad, permeabilidad, congelamiento y deshielo en el sitio.	X	

. U = Inalterada; D = Alterada.

¹¹ Fuente: Manual para Capacitación en Seguridad de Presas. CONAGUA 2011.

2.1.4.1. Pruebas en el sitio

Las cuales pueden ser:

- **Geotécnicas**

Como pruebas de densidad, de permeabilidad, de capacidad de carga o resistencia, en el sitio.

- **Concreto.**

Prueba de sanidad con martillos suecos, prueba en el sitio para localizar el acero de refuerzo y recubrimiento.

Los puntos identificados servirán para proponer medidas de preservación y conservarla en las mejores condiciones. En esta etapa se definen los trabajos de exploración necesarios para un mejor diagnóstico y se conlleva a la realización de las siguientes etapas, o simplemente se concluye la valoración de la presa de forma efímera, recomendando inspecciones con cierta frecuencia estipulada, dependiendo del dictamen, o que ésta quede fuera de funcionamiento.

2.2. Etapa 2. Evaluación y diagnóstico

Partiendo de la información obtenida en la etapa previa, en esta etapa se realizan las revisiones y evaluaciones requeridas desde cada enfoque mencionado (hidráulico, hidrológico, geotécnico, estructural, funcional, etcétera), donde la información resulta mucho más precisa para un diagnóstico acertado, así como la elección más asertiva de las soluciones propuestas ante las circunstancias identificadas.

2.2.1. Revisión de estabilidad en la cortina

En esta revisión es importante identificar y clasificar la presa según los materiales con los que está construida la cortina. Ya que los procesos de análisis son diferentes en cada tipo, pues el comportamiento varía de forma significativa. Una vez que se clasifica, se determinan los procesos de análisis según las características generales principales que presente cada presa.

2.2.1.1. Consideraciones generales

Las presas se pueden clasificar, según los materiales con que esté construida, de la siguiente forma:

Cortinas rígidas (concreto o mampostería):¹²

- Gravedad. Consiste en una estructura de concreto masiva, de forma casi triangular y diseñada de tal forma que su peso asegure la estabilidad estructural contra la presión hidrostática del agua embalsada y otras fuerzas que pueden actuar en la misma presa. Dependiendo de la alineación del eje de la cortina, éstas pueden clasificarse con rectas o con curvas.
- Arco. Es una estructura de concreto sólida, por lo general más delgada que la presa de gravedad, y está arqueada aguas arriba. Éstas reciben gran parte de su estabilidad por medio de la trasmisión de la carga del embalse a las paredes del cañón mediante la acción del arco.
- Contrafuertes o machones. Está compuesta de dos o tres elementos estructurales básicos: un paramento de aguas arriba impermeable, machones que soportan el paramento y transfieren la carga del paramento a la cimentación y, en ocasiones, un delantal de concreto. Estas presas dependen de su propio peso y el peso del agua que actúa en el paramento de aguas arriba para mantener la estabilidad. Algunas variaciones de esta clase de cortinas son:
 - × Contrafuertes abiertos.
 - × Contrafuertes cerrados.
 - × Cortina tipo Ambursen.

¹² Fuente: Manual para Capacitación en Seguridad de Presas. CONAGUA 2011.

Cortinas flexibles:

- *Materiales homogéneos.* Consisten en costinas construidas de un solo tipo de material, natural, sin cimentación. La clasificación de esta clase de presas incluye varios tipos, según la clase del material y el procedimiento constructivo utilizado, en la mayoría de los casos se construyen de tierra.
- *Materiales graduados.* Se da este nombre a las cortinas en que los materiales se distribuyen en forma gradual, de manera que en el corazón se tienen suelos finos e impermeables; después se tienen los materiales de filtro protegiendo a dicho corazón impermeable, y posteriormente se tienen transiciones de enrocamientos en forma de respaldos.
- *Enrocamiento y corazón impermeable.* Las presas de enrocamiento requieren de cimentaciones que no experimenten grandes asentamientos que originen el rompimiento de la membrana impermeable. Esto significa que se debe tener en la cimentación roca o una grava y arena densas. Esta clase de presas se construyen en sitios remotos donde existe una buena disponibilidad de roca en buen estado, o no se tiene material de suelo para la construcción de una presa de tierra, o donde la construcción de una presa de concreto resultaría muy costosa.

Acciones participantes.

Además de identificar y clasificar el tipo de presa por los materiales de la cortina, también es importante tomar en cuenta las diversas fuerzas actuantes a las que puede estar sometida la cortina. Estas generalmente se clasifican de acuerdo con su duración y su intensidad máxima sobre la estructura. Tomando en cuenta la experiencia de varios países: EUA (USBR, 1961), Rusia (SNIP, 1987), Inglaterra (Novak, et al 1996; CIRIA, 1996), Bulgaria (Papazhev, 1991; Patokov, 1995) y México (CNA e IMTA, 1996), se definen tres categorías principales de acciones:

- *Permanentes.*
 - Peso propio.
 - Peso de máquinas y mecanismos (compuertas, grúas, turbinas, transformadores, etc.), los cuales no cambian su localización durante la operación.
 - El empuje hidrostático del agua del embalse (NAMO) y aguas abajo (si es el caso).
 - La subpresión y las fuerzas de filtración.
 - El empuje horizontal y vertical de la cimentación.

- Variables.
 - El empuje del azolve.
 - El empuje hidrodinámico por oleaje causado por viento, sismo y deslizamientos de masas de tierra dentro del embalse.
 - Los efectos por temperatura.
 - El empuje del hielo (si existe).
 - Los esfuerzos generados por asentamientos diferenciales en la cimentación.
 - El empuje hidrodinámico por oleaje causado por viento.
- Accidentales.
 - El empuje hidrostático del agua del embalse (NAME).
 - La subpresión y las fuerzas de filtración, (en caso de que la presa presente agrietamiento o alguna fuga o falla).
 - Las acciones sísmicas.
 - Los efectos de vaciado rápido del embalse.

Para llevar a cabo el análisis de estabilidad en la cortina de una presa, independientemente del tipo de cortina o de la clasificación que se haya determinado, principalmente se tienen que revisar y analizar tres combinaciones de acciones:

- Usual (al NAMO)
- Inusual (al NAME)
- Extrema. (Combinación de acciones en la situación más desfavorable, es decir al NAME)

Todas estas acciones pueden variar en la forma que se presentan, así como en la forma que interactúan entre ellas; en la tabla 47.

Tabla 7.- Combinaciones de las acciones.¹³

Acciones	Descripción	Combinación de las acciones		
		Usual	Inusual	Extrema
Permanentes				
Peso propio		Sí	Sí	Sí
Peso de mecanismos		Sí	Sí	Sí
Empuje hidrostático				
Aguas arriba	Nivel de agua= NAMO	Sí	No	Sí
	Nivel de agua= NAME	No	Sí	No
Aguas abajo	Nivel de agua= máx	Sí	No	Sí
	Nivel de agua= mín	No	Sí	No
Subpresión	Drenaje funcionando	Sí	Sí	Sí
	Drenaje bloqueado	Sí	Sí	Sí
Variables				
Empuje de azolves		Sí	Sí	Sí
Oleaje del viento	Confiabilidad de viento 2%	Sí	No	No
	Confiabilidad de viento 50%	No	Sí	No
Temperatura de concreto	Amplitud normal de las temperaturas	Sí	No	Sí

2.2.1.1. Modos de falla en cortinas rígidas.

Al igual que las cortinas flexibles, las cortinas de concreto o mampostería, están sujetas a varias cargas o acciones (las cuales también fueron mencionadas anteriormente). Los análisis de estabilidad que se realizan, nos cercioran de la capacidad que la presa tiene de ajustarse de forma segura a estas cargas.

Principalmente, en este tipo de cortinas, existen dos tipos de estabilidad: estática y sísmica.

-Estabilidad estática: Capacidad de una presa de resistir fuerzas estáticas que tienden a inducir deslizamiento o volteo.

-Estabilidad sísmica: Capacidad de una presa de resistir fuerzas dinámicas adicionales inducidas por movimientos del suelo originados por un sismo.

¹³ Fuente: Manual para Capacitación en Seguridad de Presas. CONAGUA 2011.

2.2.1.1.1. Modos de falla de estabilidad estática.

Los tipos de fallas estáticas que pueden existir en las presas de cortina rígida, se dividen en dos categorías: deslizamiento y volteo.

Fallas por deslizamiento.

En el caso de las fallas por deslizamiento, las condiciones más importantes que pueden causar una falla de este tipo, son:

- Baja resistencia al esfuerzo cortante de la cimentación.
- Planos de estratificación y juntas que contengan material débil, como arcilla o bentonita.
- Juntas de materiales permeables, si la filtración a través de ellos no es controlada para evitar subpresión perjudicial.
- Fallas y zonas de cizallamiento.

Fallas por volteo.

Algunos factores responsables de ocasionar este tipo de falla, son los siguientes:

- Peso insuficiente o distribución inadecuada de peso en la sección transversal de la presa para resistir las fuerzas aplicadas.
- Agrietamiento por tensión sobre parte de la base de la estructura que no está en compresión, provocando mayores fuerzas de subpresión y menor resistencia al volteo.
- Erosión de la cimentación de roca al pie de la presa debido a volteo o deterioro de rocas.
- Altas subpresiones ocasionadas por control de filtración inadecuado o liberación de presión.
- Excesivas presiones hidrostáticas debido a severas condiciones de avenidas que producen mayores niveles en el embalse de los de diseño.

Deterioro del concreto.

Los principales factores que influyen en este fenómeno son los siguientes:

- Factores ambientales.
- Factores químicos.
- Calidad inferior en el material o que resulte defectuoso desde su fabricación.

2.2.1.1.2. Modos de falla de estabilidad sísmica.

Dentro de las fallas que pueden existir en este tipo de estabilidad de la cortina, son las siguientes:

Falla interna.

Bajo condiciones sísmicas, la presa se somete a ciertas cargas dinámicas que producen esfuerzos de tensión mayores que la resistencia estática del concreto, este tipo de esfuerzos provocan en un inicio la existencia de grietas en la cortina de la presa, que pueden llevar a la falla definitiva de la presa si el embalse no se puede mantener el tiempo suficiente para tomar medidas correctivas.

Fallas de la cimentación.

Bajo condiciones sísmicas, también se puede ver afectada la cimentación de la cortina, lo que podría provocar diversos comportamientos de ésta, al extremo tal, de llegar a ocasionar la falla de la presa, dichos comportamientos pueden ser los siguientes:

- Deformación, asentamiento y movimiento de fallas.
- Licuación.
- Acontecimientos secundarios.

2.2.1.2. Factores de seguridad para cortinas rígidas

A continuación, se presenta una tabla con los valores recomendados de los factores de seguridad, con base en la condición de carga a que se esté sometida (de lo cual hablaremos más adelante).

Dichos valores permiten hacer una comparación con los valores obtenidos en el análisis de estabilidad y determinar el nivel de riesgo de falla de la presa.

Tabla 8.- Factores de seguridad para cortinas rígidas.

Condición de carga	Factor de seguridad
Para presas con alto o significativo potencial de riesgo:	
Común	3.0
Inusual	2.0
Extremo	Mayor de 1.0
Para presas con bajo potencial de riesgo:	
Común	2.0
Inusual	1.25
Extremo	Mayor de 1.0

2.2.1.3. Análisis de estabilidad en cortinas rígidas

La información primordial que debe de considerarse de forma previa para llevar a cabo el análisis de estabilidad estructural de la cortina es la siguiente:

- Configuración geométrica de la presa.
- Propiedades físicas de los diversos materiales con los que está construida la cortina de la presa, y su cimentación.
- Características geotécnicas del sitio de la presa.
 - Propiedades de los materiales
 - Resistencias del material.
- Condiciones de carga a las que estuvo, está y estará sometida la cortina de la presa.
- La interacción de ésta con la cimentación y empotramientos.
- Métodos de análisis usados para cálculos de esfuerzos sometida a cargas estáticas y cargas sísmicas.

Estabilidad estática.

Una vez que se cuenta con esta información precedente, se analizan y evalúan los requisitos de seguridad que deben de cumplirse para garantizar la estabilidad de la cortina, y por tanto, la seguridad de la presa; además de obtener los factores de seguridad que permiten determinar los esfuerzos permisibles en una presa. Existen diversos métodos para este tipo de análisis; entre los más usuales se encuentran los siguientes:

- Método de gravedad.
- Método de carga de prueba.
- Método de elementos finitos bidimensionales y tridimensionales.
- Método de equilibrio límite.
- Análisis de base agrietada.

Tabla 9.- Métodos para el análisis de estabilidad en cortinas rígidas.

Método	Descripción y aplicación
Método de Gravedad	Proporciona un medio aproximado para determinar los esfuerzos en una sección transversal de una presa de gravedad. Es aplicable a secciones de gravedad con un paramento de aguas arriba vertical y un talud aguas abajo constante y aquellas secciones con talud variable en uno o ambos paramentos.
Método de carga de prueba	Se usa en presas de gravedad de altura moderada que están hechas de una serie de elementos montados verticalmente en elevación cuya interacción ocasionara una torsión de los elementos y momentos torsionales. En ocasiones se usa el análisis de presas de arco.
Método bidimensional de elementos finitos	Se usa para modelar la configuración real de una estructura y su interacción con la cimentación. Puede usarse para analizar la mayoría de los problemas asociados con variaciones en la geometría de secciones de la presa. Es capaz de solucionar esfuerzos de manera económica. Es adaptable al análisis de presas de gravedad cuando se usa la hipótesis de planaridad. Permite que se incluya la cimentación con la presa en el análisis.
Método tridimensional de elementos finitos	Se usa donde la estructura o la carga es tal que las condiciones no pueden modelarse adecuadamente en dos dimensiones, donde la estabilidad de la presa depende de la distribución de esfuerzos paralela al eje de la presa (como en una estructura curva en planta) o donde la sección transversal de la presa o su carga no es uniforme.
Método de equilibrio limite	Se basa en principios de mecánica estructural y geotécnica, aplicando un factor de seguridad a los parámetros de resistencia de material y suponiendo que los materiales de cimentación se encuentran en un estado limite. Coloca la fuerza que actúa en la estructura y en la cimentación en equilibrio por deslizamiento. Considera solo el equilibrio de fuerzas no el equilibrio de momento.
Análisis de base agrietada	Se usa para determinar el agrietamiento en una presa. En presas construidas, se supone el agrietamiento de la base para todas las condiciones de carga, siempre que la grieta se estabilice dentro de la base de la presa y se obtengan factores de seguridad de deslizamiento adecuados usando solo la porción no agrietada de la base.

Para llevar a cabo este tipo de análisis, en la actualidad se encuentra disponible software, basado en planteamientos similares de los métodos anteriormente mencionados, el cual permite agilizar el procedimiento analítico, aunque siempre es indispensable conocer la teoría y comparar los resultados obtenidos mediante el programa con los obtenidos mediante cálculos realizados manualmente.

Estabilidad sísmica.

Para el análisis de este tipo de estabilidad existen distintos métodos

- Estabilidad por volteo y por deslizamiento, método de coeficiente sísmico.
- Análisis de esfuerzos internos.
- Métodos de análisis del espectro de respuesta.
 - Método del espectro de respuesta simplificada.
 - Método de espectros de respuesta de elementos finitos.
- Métodos de elementos finitos de historial de aceleración-tiempo.

La elección de cada uno de ellos depende del entorno y circunstancias presentes en cada presa, así como de los elementos y herramientas disponibles.

2.2.1.4. Modos de falla en cortinas flexibles.

De forma previa, al igual que en las cortinas rígidas, es importante identificar y conocer los diferentes tipos de falla que pueden presentarse en este tipo de cortinas.

La falla de dichas presas puede ser provocada por diversos factores, bajo condiciones asísmicas o a partir de la ocurrencia de un sismo.

2.2.1.4.1. Condiciones asísmicas.

La falla de la presa bajo estas condiciones puede deberse a:

- **Desbordamiento.** Que a su vez es causada por.
 - Insuficiencia en la capacidad del vertedor.
 - Deslizamiento de grandes volúmenes de tierra de forma rápida en el cauce.
 - Ausencia de bordo libre, o dimensiones pequeñas del mismo.
- **Falla del talud.** Ésta puede deberse a:
 - Deficiencias en el diseño, planeación, y construcción de la presa.
 - Medidas correctivas soslayadas.
- **Tubificación.** Se genera principalmente por la erosión interna en trayectorias de baja resistencia como las siguientes:
 - Por conductos.
 - A través de grietas situadas en la sección del núcleo impermeable de la presa.
 - A través de material con superficies diaparejas en su contacto.
 - En zonas propicias de erosión.

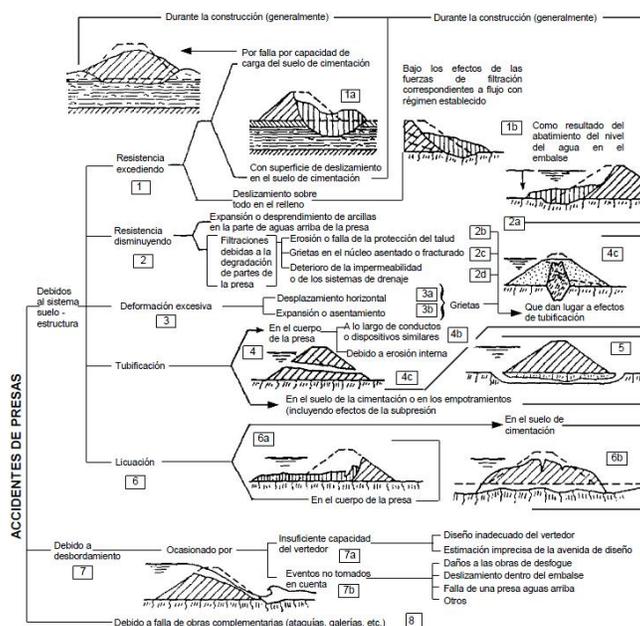


Figura 27.- Descripción esquemática de los modos de falla en presas de materiales graduados.

2.2.1.5. Factores de seguridad para cortinas flexibles.

A continuación, se presenta una tabla con los valores recomendados de los factores de seguridad, con base en la condición de carga a que se esté sometida (de lo cual hablaremos más adelante).

Dichos valores permiten hacer una comparación con los valores obtenidos en el análisis de estabilidad y determinar el nivel de riesgo de falla de la presa.

Tabla 10. Factores de Seguridad Admisibles y recomendados por la CONAGUA para cortinas flexibles.

Condición	FS	Talud	Notas
Flujo establecido	1.5	Ambos	Agua al NAME
Vaciado rápido	1.2	Ambos	El agua pasa del NAME al NAMINO
Sismo	1.0	Ambos	Agua al NAME

2.2.1.5.1. Análisis de estabilidad en cortinas flexibles

Para llevar a cabo un adecuado análisis de estabilidad es importante haber identificado el tipo de materiales y el estado en el que se encuentran interactuando en la presa, con base en las pruebas en campo y de laboratorio. Se utilizan algunos programas de cómputo como:

-GEOESTUDIO 2004.

-SEEP/W. Mediante el cual se hacen análisis del flujo en medios porosos, y está basado en el Método de Elementos Finitos.

-SLOPE/W 2004. Que se basa en el método de equilibrio límite y toma en cuenta las presiones de poro determinadas con los análisis de flujo establecido y de vaciado rápido.

Con ayuda de estos programas se realizan los cálculos y análisis numéricos requeridos para obtener los valores de los factores de seguridad, los cuales se comparan con los estándares admisibles, para llegar al diagnóstico adecuado.

También se realizan análisis del flujo de agua a través de la cortina y contacto del suelo o roca de cimentación.

Para el análisis de estabilidad inicialmente se determinan los escenarios bajo los cuales está sometida la presa, además de otras condiciones en la que se podría encontrar que representen cierto riesgo de falla. Esto con el objetivo de estimar el comportamiento de la presa, con base en las características geológicas (ya determinadas en la etapa anterior) y en el tipo de cargas y acciones participantes (de acuerdo a el análisis del entorno, a la capacidad del embalse, etc). Generalmente para presas de cortinas flexibles, se sigue el siguiente proceso:

Flujo interno

Antes de analizar el comportamiento de la cortina, se identifica el flujo de agua a través de ésta y al contacto con el suelo o roca de cimentación; para encontrar los valores del gasto total que pasara a través de la cortina considerando que el nivel del agua se encontrara al NAME y al NAMO, así como la distribución de la carga total a lo largo de la cortina.

Principalmente se establece una condición usual, inusual y extrema a la que podría estar sometida la presa y estas son las siguientes:

Ante flujo establecido.

En este escenario se parte de la condición de que después de cierto tiempo de operación de la presa, los materiales han sido saturados y han alcanzado condiciones de flujo establecido. Determinando ciertos valores del gasto del flujo a través de la cortina y la distribución de carga total cuando el agua está al nivel de NAME y del NAMO.

Vaciado Rápido

Esta condición es un tanto inusual, pero también puede suceder a lo largo de la vida de la presa. En este caso se considera que el vaciado de la presa se presentara de manera instantánea, es decir, que el agua del embalse de la presa (NAME o NAMO) disminuirá de forma inmediata siguiendo la superficie del talud aguas arriba hasta llegar al NAMINO, mientras que la condición del agua dentro de la cortina se mantiene sin cambios.

Estabilidad de taludes

Una vez obtenidos los valores anteriores, a través de diversos métodos, y con ayuda de diversos programas se analiza y determina el comportamiento de la cortina de acuerdo a cada tipo de condición propuesta y conociendo el gasto y la carga total que estará afectando de manera considerable a este comportamiento. Este análisis se hace para las mismas condiciones: Flujo Establecido (al NAMO y al NAME), ante un vaciado rápido y bajo condiciones sísmicas.

Ante flujo establecido (NAMO)

Se analiza el comportamiento de la cortina de la presa considerando que ésta tiene cierto tiempo de operación de la presa, los materiales han sido saturados y han alcanzado condiciones de flujo establecido.

Se obtienen factores de seguridad en el talud aguas arriba y aguas abajo, así como las superficies de falla a lo largo de secciones prestablecidas desde las toma de muestras y la realización de pruebas de campo y de laboratorio.

Vaciado Rápido

También se hace el análisis del comportamiento de la cortina considerando que estará sometida a una disminución del nivel del agua del embalse de forma inmediata desde el NAME o NAMO hasta el NAMINO.

Para esta condición al igual que en las demás se estiman los factores de seguridad aguas arriba y aguas abajo, y se identifican las superficies de falla (en caso de que existan), a partir del seccionamiento previo realizado en las etapas anteriores (en la realización de pruebas de campo y de laboratorio).

Condiciones sísmicas.

Ante la presencia de un sismo, una presa de materiales graduados u homogéneos, puede fallar por los siguientes factores.

- Debido a deformaciones excesivas y/o acumulación de presiones de poro.
- Por la densificación repentina de suelos sueltos, saturados y sin cohesión que puede generar presiones de poro de forma súbita.

Para el caso de cortinas flexibles se realiza una interpretación geotécnica de la cortina y contacto de suelo o roca de cimentación hasta la profundidad que se realizó la exploración geotécnica, se registran los valores obtenidos acerca de las características físicas en cada estrato, de las propiedades mecánicas e hidráulicas de la cortina, y de la permeabilidad de cada tipo de suelo encontrado.

Estos valores son utilizados, junto con los valores asignados a las acciones participantes en cada sección en estudio, para realizar modelaciones y análisis numérico, que permitan entender el comportamiento de la cortina ante diversas condiciones a las que pudo estar, se encuentra o estará expuesta.

2.2.2. Revisión Hidrológica-Hidráulica

En general este tipo de revisión consiste en el análisis de manera conjunta del comportamiento hidráulico-hidrológico del sistema que conforma la presa y el embalse donde ésta se localiza, ya que si alguno de los elementos que son parte de este sistema sufre alguna alteración o modificación, se verá afectado todo el sistema en general, independientemente del enfoque que se esté evaluando.

Inicialmente se describen y analizan los siguientes aspectos de carácter hidrológico:

- El efecto que tiene la hidrología en la seguridad de presas.
- La selección de un valor de IDF para el análisis de seguridad de presas.
- La manera que ha evolucionado la filosofía para la selección de la IDF hasta llegar a los procedimientos de selección actuales más avanzados.
- Los diversos modos de falla que se relacionan con la insuficiencia hidrológica.

2.2.2.1. Características Fisiográficas

Inicialmente se describen e identifican las características fisiográficas predominantes de la cuenca, esta información es básica para realizar una evaluación y análisis más preciso acerca de la seguridad hidráulica de la presa, pues existe una relación importante entre el comportamiento del agua desde la sección aguas arriba, mientras esta permanece almacenada en la presa y cuando fluye hacia aguas abajo de la misma.

Resulta una actividad medular, debido a que en esta etapa se estiman valores principales acerca de la cuenta donde esté ubicada la presa, tales como el área de la cuenca, la longitud, pendiente y volumen del cauce, el tipo de uso de suelo, etcétera; a partir de estos valores nos damos una idea general sobre la capacidad y condiciones óptimas de las estructuras hidráulicas del tipo de presa en estudio.

2.2.2.2. Análisis de tormentas

Posteriormente se buscan los valores más exactos de la precipitación media de la cuenca en estudio, mediante datos registrados en estaciones climatológicas, o en caso de que no se tengan los suficientes, se calculan a través de métodos estadísticos; con el objetivo de contar con información suficiente para la elaboración de hidrogramas (principalmente de entrada a la presa). A partir de la obtención del hidrograma de entrada, se puede realizar el tránsito de la avenida en el vaso de la presa, que sirve de base para la obtención del hidrograma de salida (de la misma), y de esta forma realizar un análisis más exacto de la seguridad hidrológica e hidráulica de forma cuantitativa, ya que nos permite determinar el comportamiento del cauce hacia aguas abajo de la presa, e identificar las zonas de posible inundación, previniendo así que dentro de estas zonas se encuentren bienes materiales o vidas humanas en riesgo.

En esta etapa también se determina el periodo de retorno o los diversos periodos de retorno más óptimos para el análisis del tránsito de avenidas en la presa. En la tabla 11 **Error! Reference source not found.** se observan algunas recomendaciones mexicanas para la selección del periodo de diseño de presas.

Tabla 11.- Recomendaciones mexicanas para la selección del periodo de retorno para el diseño de presas.¹⁴

Categoría	Capacidad de almacenamiento (Mm ³)	Altura (m)	Potencial de daños		Periodo de retorno sugerido
			Pérdida de vidas	Daños materiales	
Pequeña	<1.5	<15	Ninguna	Menor que el costo de la presa	500
			Moderada	Del orden del costo de la presa	1,000
			Considerable	Mayor que el costo de la presa	10,000
Mediana	Entre 1.5 y 60	Entre 12 y 30	Ninguna	Dentro de la capacidad financiera	1,000 a 10,000
			Moderada	Ligeramente mayor que la capacidad financiera	10,000
			Considerable	Mayor que la capacidad financiera	10,000 o tormentas maximizadas
Grande (No se tolera la falla)	>60	>18	Considerable	Excesivos o como norma política establecida	AMP Tormentas maximizadas o 10,000 años

2.2.2.3. Tránsito de la avenida en el vaso de la presa

El tránsito de una avenida consiste en un procedimiento que permite la evaluación del comportamiento de una avenida aguas arriba de la presa, durante su almacenamiento en la misma y aguas abajo de ésta. Permite un cálculo más exacto entre los niveles del agua del cauce (que se obtienen con la información anterior) y los niveles que habrá en la presa, con base en la inspección y los análisis ya realizados, para finalmente llegar a conclusiones concretas sobre su seguridad hidráulica-hidrológica.

¹⁴ Fuente: Gerencia de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos, CONAGUA

Curva elevaciones capacidades

A partir de la información topográfica se estima la capacidad del embalse para diferentes elevaciones de la cortina. Y se obtiene lo que se conoce como curva elevaciones-capacidades que siguen una tendencia como la mostrada en la gráfica siguiente:

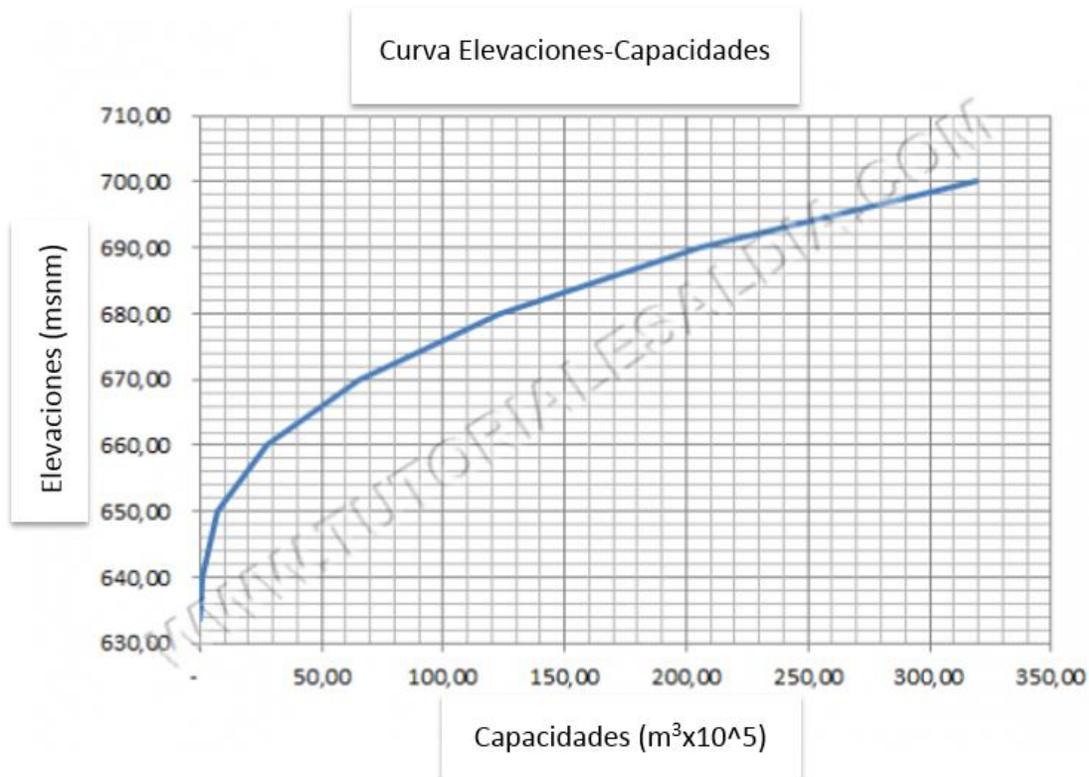


Figura 28.- Curva elevaciones capacidades.

Existen numerosas metodologías basadas en diferentes criterios que permiten la obtención de datos representativos para el entendimiento del cambio de forma y desplazamiento en el tiempo del hidrograma de entrada en el vaso de la presa. Además de que en la actualidad existen diversos tipos de software que permiten la modelación y estimación más precisa del flujo del agua a través del tiempo y el espacio.

Curva Elevaciones Descargas

La curva elevaciones descargas se obtiene a partir de la longitud total del vertedor, partiendo de la idea de que se trata de un vertedor de pared delgada; de tal forma que el gasto que fluye a través de este se puede estimar con la expresión de Francis:

$$Q = C_d L H^{3/2}$$

donde:

- C_d = Coeficiente de gasto, (se utilizan coeficientes entre 1.7-2.0).
- L = Longitud de la cresta, en m.
- H =Carga efectiva sobre la cresta-carga estática+carga de velocidad, en m.

Una vez que se conocen los hidrogramas de entrada al vaso, la curva elevaciones capacidades, y la curva elevaciones descargas, es posible conocer el comportamiento de los gastos de entrada y salida para diferentes periodos de retorno.

2.2.2.4. Evaluación de resultados obtenidos

El objetivo principal de la revisión desde el enfoque hidrológico es, la determinación del valor adecuado de la avenida de diseño con la cual debe estar diseñada la presa para el manejo adecuado de ésta sin que represente algún tipo de daño para el entorno. El nivel de daño se determina a partir de la valoración de la pérdida adicional de vidas y propiedades que podría ocurrir si la presa llegará a fallar bajo un cierto intervalo de condiciones afluentes desde las normales hasta la avenida máxima probable.

Una vez que se obtienen los resultados en cada tipo de análisis, ya mencionado anteriormente, de forma conjunta se evalúa el comportamiento general desde aguas arriba de la presa, mientras el agua se encuentra dentro de la presa y aguas abajo, para dictaminar el nivel de riesgo desde este enfoque específicamente.

Los parámetros utilizados para este dictamen de riesgo se presentan en la siguiente etapa, de forma conjunta con los parámetros de los otros enfoques.

2.2.3. Revisión Funcional

A partir de este tipo de revisión se determina la funcionalidad y operatividad de las presas garantizando que el comportamiento de éstas sea seguro y se cumplan con los objetivos para los cuales fueron diseñadas y construidas cada una de ellas. Inicialmente se describirán ambos conceptos para definir los alcances y resultados obtenidos.

Funcionalidad

Es el conjunto de características pertenecientes a cada estructura de la presa que la hacen segura, útil y fácil de operar.

Operación

Conjunto de acciones que permiten a la estructura cumplir con los objetivos y de forma conjunta contribuir en el desarrollo funcional de la presa.

La revisión funcional, consiste en la integración de los análisis anteriores, además de una evaluación en particular a aquellos elementos primordiales en la adecuada operación de una presa, para determinar, finalmente, si el comportamiento de ésta es conveniente. Entre dichos elementos tenemos los siguientes:

- Personal responsable del funcionamiento de la presa.
- Políticas o protocolos de operación.
- Componentes principales dentro de la obra para ésta cumpla con sus objetivos de origen de forma eficiente:
 - Obras de toma.
 - Obras de excedencias.
 - Obras de desfogue.
 - Mecanismos electromecánicos.
 - Instrumentación.

Personal responsable del funcionamiento de la presa

En este apartado, la seguridad funcional de la presa, está referida a la capacidad del equipo encargado de llevar a cabo las maniobras que sean requeridas en cada caso, así como para la toma de decisiones en situaciones de operación normal y eventos extremos para preservar la seguridad de la presa, considerando que aunque desde el punto de vista estructural o hidráulico una presa sea suficientemente segura, invariablemente puede darse el caso que una mala operación comprometa la seguridad.

Para este análisis es necesario realizar una descripción completa del personal y su capacitación técnica, las condiciones de trabajo e idoneidad de las instalaciones in situ, y los materiales de los cuales se dispone para llevar a cabo las funciones.

Se debe verificar que el personal cuenta con el entrenamiento necesario para llevar a cabo las maniobras de operación en cada situación.

Adicionalmente se debe estimar el tiempo de respuesta y la disponibilidad horaria del equipo en función, de que la permanencia en las instalaciones de la presa sea continua o no.

Políticas o protocolos de operación

Los manuales de procedimientos y normas de explotación deben explicar de la manera más simplificada y unívoca posible la actuación del equipo responsable de la explotación ante los diferentes escenarios cuya aparición sea previsible durante la vida de la obra.

Las políticas o protocolos de operación también describen los procedimientos de operación de la presa en conjunto o de forma individual, con la necesidad de preservación de la seguridad de la estructura y las poblaciones aguas debajo de la misma.

Componentes principales dentro de la obra para ésta cumpla con sus objetivos de origen de forma eficiente:

Obras de toma y desfogue.

- Funcionamiento de Compuertas
- Funcionamiento de Válvulas.
- Revisar existencia de corrosión, oxido, rupturas o falta de piezas.

Obras de excedencias y estructuras auxiliares (vertedor, conducción y descarga)

- Material constructivo en buen estado
- Revisar el funcionamiento de estructuras auxiliares como compuertas
- Vegetación
- Si existen rehabilitaciones, extensión o disminución de su capacidad
- y su correcto funcionamiento
- Empotramientos con la cortina en caso de existir
- Revisión de velocidades permisibles adecuadas al material
- Velocidades de descarga al cauce

Mecanismos electromecánicos. (Bombas y turbinas)

- Correcto funcionamiento de Bombas y turbinas
- Funcionamiento de Válvulas.
- Revisar existencia de corrosión, oxido, rupturas o falta de piezas.

Instrumentación. (Piezómetros, medidor de infiltraciones, movimientos internos, deformaciones, desplazamientos, puntos de control topográfico, medición de grietas, vibraciones, movimientos sísmicos o acelerografos, estaciones climatológicas)

- Existencia y permanencia de la instrumentación
- Mantenimiento y monitoreo
- Que se encuentre operando al día de la visita

2.2.4. Revisión de ordenamiento territorial.

El peligro aguas debajo de una presa se considera como la pérdida de vidas humanas, daños materiales agua debajo de una presa, de acuerdo con el Bureau of Reclamation.

Estos daños pueden ocasionarse ya sea por la formación de una brecha, es decir la falla parcial o total en la cortina o puede deberse a descargas no controladas.

En caso de inundaciones pueden existir dos componentes peligrosas: la profundidad de la inundación o la velocidad del flujo.

Para hacer este tipo de análisis se utilizan datos topográficos, y los hidrogramas de salida de la presa, calculados en la revisión hidrológica. Actualmente se utilizan modelos matemáticos para conocer las capacidades del cauce aguas abajo de la presa así como su interacción con estructuras como puentes o cruces carreteros. Un ejemplo de ellos son el HEC-RAS y GEO-RAS (como complemento dentro del programa ARC-GIS) los cuales permiten el análisis unidimensional del flujo y la identificación de zonas inundables.

Otro ejemplo es el programa de origen español IBER, el cual es alimentado con la topografía de la zona de estudio y permite la visualización de zonas inundables obtenidas del comportamiento bidimensional del flujo.

Ambos programas permiten conocer las velocidades que se presentan.

Una vez identificadas las zonas inundables se localizan las poblaciones afectadas y con ayuda de los datos estadísticos de población que proporciona el INEGI, se estima el número de habitantes afectados.

El peligro asociado a la velocidad se determina con el principal propósito de evitar la erosión del cauce, y el deterioro o falla de la infraestructura aguas abajo de la presa dentro de la cual se pueden incluir casas habitación

2.3. Etapa 3. Dictamen

El dictamen consiste en emitir un juicio de forma crítica y con fundamentos suficientes, con el objeto de mejorar o modificar algún aspecto, característica, proceso, etc. En el caso de las presas, en esta etapa se realiza una reflexión final con base en el análisis puntual anteriormente hecho, y finalmente se hace la evaluación de forma integral de la presa en conjunto.

Antes de proponer mejoras o emitir las recomendaciones más apropiadas, se realiza un registro del diagnóstico general de la presa a partir de cada resultado ya obtenido de forma previa; principalmente este diagnóstico consiste en la identificación, descripción y explicación del nivel y el tipo (o los tipos) de riesgo, que se han detectado en la presa, así como las consecuencias que puede provocar, reflejado en pérdidas humanas y materiales, para tener un panorama más claro, en cuanto a las mejores medidas de prevención que deben y pueden tomarse en cada caso.

2.3.1. Determinación del riesgo

El riesgo se puede definir como la probabilidad de ocurrencia de uno o varios sucesos adversos. Un análisis basado en la determinación del riesgo consiste en la evaluación y/o comparación de riesgos y consecuencias de eventos desfavorables, de tal forma que se pueda llegar a una decisión acerca de acciones particulares que deben de aplicarse.

El Comité de Trabajo sobre selección de avenidas para diseño de vertedores de la American Society of Civil Engineers, ha establecido que “el análisis de riesgo por sí mismo no es una técnica aislada sino más bien, una serie de estrategias afines que resulta útil dentro de una amplia gama de contextos de toma de decisiones”. Con base en el Manual de Evaluación de la Suficiencia Hidrológica elaborado por CONAGUA, a continuación, se describen distintos tipos de análisis de riesgo con aplicación a los diversos enfoques propuestos:

- Evaluación subjetiva. Donde la mayor parte de los factores relacionados con una decisión no se puedan cuantificar o no se puedan tomar en cuenta sistemáticamente. El análisis de riesgo favorece este proceso al ofrecer un marco de referencia para análisis y criterios que permitan incluir u omitir factores. Las evaluaciones subjetivas pueden no llevar a decisiones óptimas, aunque la experiencia con problemas semejantes mejora la calidad del raciocinio.

- Evaluaciones basadas en índices. Donde al menos algunos factores importantes para una decisión se pueden cuantificar, puede ser posible llevar a cabo una evaluación de riesgos basada en índices. Este tipo de análisis es más general y completo que una evaluación subjetiva pero no permite hacer comparaciones numéricas de posibilidad o de costo esperado.
- Evaluación cuantitativa. Una evaluación cuantitativa (formal) de riesgos implica estimaciones de frecuencias de ocurrencia, de probabilidades relativas de niveles de respuesta y de daños, y de varios componentes de costo y consecuencias. En su forma más común, el análisis de riesgo del diseño de seguridad de presas incluye los siguientes pasos:

-Se identifican los eventos o secuencias de eventos que pueden llevar a la falla de la presa y se estima su posibilidad de ocurrencia.

-Se identifican los modos potenciales de falla que pueden derivarse de varios sucesos adversos de inicio.

-Se evalúa la posibilidad de que una falla particular de presas pudiera ocurrir de conformidad con una serie específica de circunstancias.

-Se determinan las consecuencias de falla para cada modo potencial de falla.

-Se calculan los costos de riesgos (la suma de las pérdidas esperadas: económicas, sociales y ambientales) para cada serie de posibles consecuencias de la falla. La evaluación creciente de riesgos es, en esencia, un enfoque basado en riesgos. Es el método más directo para seleccionar el valor apropiado de la IDF para un proyecto. Por lo tanto, en gran parte de este módulo se hará referencia a la evaluación creciente de riesgos.

Estos pasos se analizan y evalúan desde los siguientes enfoques, a partir de los cuales se establecen las condiciones y los parámetros para la elaboración de un dictamen más objetivo que permita llegar a soluciones efectivas. Estos enfoques son los siguientes:

Riesgo Hidrológico-Hidráulico. Depende principalmente de las elevaciones máximas que podrían poner en riesgo a la presa, es decir, causar una inundación aguas abajo o provocar algún daño en la cortina y/o demás elementos de la presa, así como incitar la falla de la misma.

Riesgo Geotécnico. Éste depende de los factores de seguridad, los cuales se buscan que sean menores en todo momento a los recomendados.

Riesgo Estructural. Se determina a partir del análisis de los esfuerzos de tensión, compresión, cortante o distorsiones excesivos, con el objetivo de aumentar la probabilidad de falla de la presa.

Riesgo Funcional. Se diagnóstica que existe un riesgo de este tipo si el funcionamiento de la presa ha sido alterado y no es el adecuado, si las condiciones del vertedor, corona, obras de toma, y mecanismos electromecánicos no son buenas y su operación no es efectiva.

Riesgo en Ordenamiento Territorial. Se refiere a la invasión de localidades o asentamientos dentro de la zona de influencia de la presa.

Cada uno de ellos está basado en los análisis y estudios realizados, ya que una vez que se tienen los resultados de forma cualitativa y cuantitativa, se hace una valoración en conjunto con la intervención de los distintos expertos y disciplinas involucrados en el proceso, para integrar un registro único sobre el dictamen general de la presa.

Con base en la normatividad mencionada anteriormente, podemos realizar una estimación del riesgo identificado en la presa, mediante la fórmula propuesta, y la valoración de las consecuencias aguas abajo consideradas en cada caso particular, de acuerdo con la clasificación realizada en la misma norma.

Esta clasificación de las consecuencias, como puede observarse, está en función, principalmente, de los daños materiales potenciales, los daños ambientales y la afectación a vidas humanas, a las que están expuestas las presas, que dependen de varios factores, ya analizados en las etapas previas. Una vez identificadas las consecuencias, se puede estimar que tan aceptable es el riesgo identificado y por lo tanto las acciones y medidas a efectuar.

2.4. Etapa 4. Toma de decisiones y acciones a efectuar

De acuerdo al diagnóstico determinado en la etapa previa, en esta etapa, se eligen las posibles soluciones a los problemas identificados, con base en las condiciones existentes, el potencial de riesgo y las consecuencias que podrían ocasionarse, se van diseñando y estructurando las medidas de mitigación más viables para cada caso, así como las acciones a implementar para los diversos tipos de riesgo, o en el mejor de los casos, simplemente dictaminar recomendaciones generales.

Para diferenciar la importancia y magnitud de las diversas acciones a efectuar, se definirán a continuación lo que implica cada una de ellas: las recomendaciones generales, la realización de planes de acción y planes de emergencia, y el desarrollo y ejecución de proyectos para posibles rehabilitaciones o mejoras a las condiciones actuales, donde se requiere una mayor inversión en costos, personal y tiempo.

Una vez que se ha realizado el diagnóstico de la presa, el tipo de acciones a efectuar que son propuestas, son muy diversas, y pueden variar en cuanto al tiempo, a la frecuencia, a los costos, al personal involucrado, a la complejidad y dimensión, etc. Por lo tanto, es importante definir cada una de ellas:

Recomendaciones generales.

Las recomendaciones, como su nombre lo dice, son acciones que pueden efectuarse o no, debido a que el impacto de las mismas no resulta inmediato para el estado actual de las presas ni para su entorno; el tiempo y frecuencia propuestos para llevarse a cabo también pueden ser modificados; son de carácter preventivo y usualmente se consideran cuando el diagnóstico realizado indica un riesgo bajo, así como pocas probabilidades de causar daños. Algunos ejemplos pueden ser los siguientes:

- Limpieza general de la presa.
- Necesidades o rehabilitación de instrumentación.
- Reparación de grietas o desacomodos.
- Monitoreo del vaso: del nivel del agua, de la contaminación, la distribución, almacenamiento o aprovechamiento de ésta, etc.

Emisión de acciones a efectuar.

Este tipo de acciones requieren de mayor planeación y su realización implica un mejoramiento inmediato de las condiciones identificadas, éstas pueden diseñarse desde un enfoque específico (a partir de los mismos que se proponen en la etapa del dictamen), es decir que pueden emitirse diversos tipos de acciones, como las siguientes:

- Acciones hidrológicas e hidráulicas:
 - Adecuación o construcción de vertedores.
 - Construcción de tanques amortiguadores.
 - Re-nivelación de la corona de la cortina.
 - Rectificación de canales y cauces aguas abajo.

- Acciones geotécnicas y estructurales:
 - Construcción de bermas, filtros, respaldos, etc.
 - Refuerzo con contrafuertes.
 - Restitución de bordos.
- Adecuación de políticas de operación.
 - Apertura de tomas y compuertas.
 - Realización de las mismas en caso de que no existan y se requiera de ellas.
 - Modificación o actualización de las mismas.

Los trabajos a efectuar, también pueden ser una composición de las acciones mencionadas, en algunos casos será necesario la planeación y ejecución de un proyecto ejecutivo, el cual tendrá que desarrollarse de forma independiente, sin dejar de considerar el diagnóstico identificado, pero con una programación y confección diferente.

Asimismo, la decisión de poner completamente fuera de funcionamiento la presa, es otro tipo de acción emitida en respuesta del dictamen obtenido.

Realización de planes de acción y emergencias.

Éstos suelen proponerse en situaciones extremas o ante la ocurrencia de un suceso extraordinario, que esté previsto o no. En estos casos se requiere actuar de inmediato y las decisiones tomadas tienen un impacto considerable, por lo que el tiempo de ejecución debe ser el mínimo. Dentro de la normatividad propuesta en nuestro país, se proporciona información acerca de los responsables de elaborar y ejecutar estos planes, así como la frecuencia y las consideraciones mediante las cuales debe llevarse a cabo. En la tabla 12, se observa, con base en el riesgo dictaminado, la demanda e importancia de la existencia de un plan de acción en emergencias.

Tabla 12.- Plan de Acción de emergencia y frecuencia de inspección. ¹⁵

Riesgo	Plan de acción en emergencia	Frecuencia de inspección formal de seguridad de la presa
Alto	Se requiere	Cada cuatro años o después de un suceso extraordinario
Medio	Se requiere	Cada seis años o después de un suceso extraordinario
Bajo	No se requiere	Cada ocho años o después de un suceso extraordinario

¹⁵ Fuente: Anteproyecto de la NOM-012-CNA-0000.

Cabe mencionar que, en cualquiera de los casos, la información y documentación obtenida debe estar registrada y monitoreada con el objetivo de mantener un seguimiento constante entre las acciones realizadas y las acciones futuras.

3. Ejemplo de aplicación de una presa existente en México

3.1. Introducción.

A continuación, se presenta un ejemplo de la aplicación que puede tener esta metodología propuesta en las presas existentes en nuestro país. Es posible observar que los pasos propuestos (de forma general) son completamente objetivos, ya que dependen de las características y circunstancias específicas de la presa en estudio y permiten la realización de un análisis más asertivo de las condiciones actuales de la presa, basándose en información y registros previos, para asegurar el funcionamiento adecuado de la presa por el tiempo de vida estimado.

3.2. Etapa 1. Análisis y generación de información

La presa elegida para analizar y presentar como ejemplo de aplicación está clasificada como una presa grande, según ICOLD (International Commission on Large Dams); por las dimensiones de la cortina, altura máxima de **17 m** al desplante, de **14.9 m** al cauce y de **12.0 m** al pie del talud aguas abajo (medida), con una longitud de **600 m** (medida), y una capacidad al NAME de **4.69 hm³**.

Vaso y cauce

El almacenamiento se logra mediante la captación de escurrimientos del arroyo La Yerbabuena. Su cuenca tiene **34.98 km²**. El vaso cuenta con un área de **48 ha** al NAMO y de **68.8 ha** al NAME; con una capacidad estimada al NAMO de **3.60 hm³**, y una capacidad de azolve de **0.10 hm³**, capacidad muerta de **0.10 hm³**, y un volumen útil de **2.80 hm³**; un superalmacenamiento de **1.09 hm³** y una capacidad al NAME de **4.69 hm³**.

Cortina

La cortina es flexible de tierra homogénea con una capa de enrocamiento sobre ambos taludes y una berma de enrocamiento sobre el talud aguas abajo en una extensión de **52%** de su longitud. En promedio la corona está a la elevación **1834.26 msnm**, mientras que el desplante se encuentra a **1820.67 msnm**, y la corona de la berma aguas abajo a **1828.00 msnm**, en tanto que la cresta del vertedor está a **1832.08 msnm**.

La cortina es de eje recto, en dos cuerpos de tierra, entre los cuales está el vertedor, de manera que mide **526 m** de longitud sin vertedor (**40 m**), con un cuerpo de **83 m** de largo del lado de la margen derecha, y el cuerpo principal de **477 m** de largo del lado de la margen izquierda; tiene **12.0 m** de altura, medida entre la corona y el pie del talud aguas abajo, en la sección más alta, y un ancho promedio en la corona de **4.0 m**, con un volumen de tierra de **85,144 m³**, aproximadamente.

Instrumentación

La presa en estudio no cuenta con instrumentación que ayude a observar y tener registro de su comportamiento.

Paramento

El talud del respaldo aguas arriba tiene una inclinación de 24.7° , en promedio, o sea 2.15:1.00 (H:V), desde la corona hasta el cauce; en tanto que los taludes del respaldo aguas abajo de enrocamiento de la cortina y de la berma, poseen una inclinación de 25° , o sea 2.10:1.00 (H:V), desde la corona hasta el pie del talud.

Vertedor

El vertedor de excedencias se ubica en el extremo de la margen derecha, entre dos cuerpos de cortina, y es un vertedor con cimacio de cresta libre, recta y con perfil redondeado, de mampostería de basalto con aplanado de mortero de 1 cm de espesor, con un canal de descarga de **100 m** de longitud y un ancho uniformemente variable desde **40 m**, al pie del cimacio, hasta **25 m** al final; el canal tiene un eje longitudinal curvo y sección transversal rectangular, muros laterales de mampostería de basalto y muros bajos de mampostería de basalto perpendiculares a la corriente, que forman dos tanques amortiguadores someros, los cuáles funcionan como zona de transición para reducir la velocidad del agua. El primer tanque amortiguador, junto al cimacio, tiene **40 m** de largo por **10 m** de ancho y profundidad de **1.10 m**. El segundo, pegado al primero, tiene una profundidad de sólo **0.60 m**. El piso del canal de descarga cuenta con una capa de mampostería de basalto de **30 cm** de espesor.

Obra de toma

La única obra de toma (OT#1) es para riego y funciona a través de una tubería a presión, la cual cuenta con una estructura de mampostería con rejilla en la entrada, y luego sigue una trayectoria recta, pero inclinada aproximadamente 45° en planta y hacia la margen izquierda, donde se encuentra la salida; tiene un tubo de acero al carbón, de 12" (304.8 mm) de diámetro, y una válvula de compuerta de 12" (304.8 mm) de diámetro, para control del aprovechamiento, con una capacidad de descarga de 320 l/s. Está protegida con un registro de concreto reforzado de 4.00 x 2.00 x 2.05 m, tapado con una rejilla de acero con portacandado y candado; descarga en un canal revestido que conduce el agua para riego agrícola por la ladera de la margen izquierda.

3.2.1. Identificación de la zona de estudio

La presa en estudio se localiza al noreste de estado de Michoacán de Ocampo. Está sobre el cauce del arroyo La Yerbabuena, que es un afluente del río Tlazazalca, y este último del río Duero y a su vez del río Lerma. La cuenca del río Duero se localiza en la región hidrológica RH-12 "Lerma-Santiago", en la zona hidrológica "río Lerma-Chapala". Corresponde a la Región Administrativa VIII "Lerma-Santiago-Pacífico", a cargo del Organismo de Cuenca R08 de la CONAGUA; la administración del uso y seguridad de la presa es atendida, en primera instancia, por la dirección local de CONAGUA en el estado de Michoacán (E16).

3.2.2. Recopilación de Información Regional

Para la presa en estudio se tuvieron tres fuentes potenciales de información:

1. Información contenida en el Sistema Informático de Seguridad de Presas (SISP), en www.conagua.gob.mx.
2. Información proporcionada por las direcciones locales.
3. Información recopilada en el Archivo Histórico del Agua (AHA). Oficinas en Balderas 94, Centro Histórico, delegación Cuauhtémoc, México, Distrito Federal.

La recopilación de información constituyó el punto de partida para conocer las características geométricas y de funcionamiento de la presa, así como para evaluar el comportamiento de la presa a lo largo de su periodo de vida.

3.2.2.1. Actividades previas en materia de Seguridad de Presas (SISP).

En este apartado se presenta un resumen sobre los acontecimientos más importantes en materia de seguridad de la presa en estudio, a partir de la información contenida en el Sistema de Seguridad de Presas con que cuenta actualmente la Comisión Nacional del Agua. De la presa en estudio se encontraron dos reportes de inspección:

1. 04 de mayo del 2000. Inspección realizada por la gerencia estatal en Michoacán, a través de la subgerencia de Ingeniería.
2. 13 de noviembre del 2012. Inspección realizada por la dirección local en Michoacán, a través de la Subdirección de Asistencia Técnica Operativa y del Departamento de Aguas Superficiales.

A partir de los cuales se concluyeron los siguientes aspectos, de forma general:

- Realizar un sondeo y monitoreo para asegurar la conservación de los materiales en la cortina y revisar su comportamiento.
- Mayor continuidad en la realización de visitas de inspección para la detección oportuna de algún riesgo en el funcionamiento de la presa.
- Obras de mantenimiento y rehabilitaciones en la estructura y obra de toma (tuberías, válvulas y rejilla de protección) de la presa en estudio.

Bajo estas conclusiones, se determinó que el carácter de seguimiento debía ser rutinario, y se calificó con un nivel de riesgo bajo.

3.2.2.2. Información proporcionada por la Dirección Local en Michoacán.

La información proporcionada por la dirección local de la CONAGUA en Michoacán incluyó información climatológica diaria de temperaturas máximas, mínimas, precipitación y evaporación. Se obtuvo una tabla con 22 datos de precipitación comprendidos en el periodo del mes de febrero de 1949 y noviembre de 1950 de una estación climatológica (Urepetiro, Tlazazalca).

3.2.2.3. Información recopilada en el Archivo Histórico del Agua.

La información recopilada en el Archivo Histórico del Agua, incluye 4 expedientes del fondo documental "Colección Fotográfica" y 3 del fondo "Consultivo Técnico".

El primero contenía 4 fotografías que muestran una vista panorámica del vaso y la cortina de la presa tomadas en el año de 1975.

En el segundo se encontró una recopilación de expedientes con información acerca de visitas de inspección llevadas a cabo en 1979, 1980, 1983, con algunos planos generales de la presa y otras secciones de la misma, así como fotografías, muestras y registros de datos técnicos de la presa.

3.2.3. *Análisis de información recopilada*

Con la información recopilada y las visitas de campo, así como la información generada para el estudio, y con la finalidad de realizar una evaluación y diagnóstico acertado, se realizaron los siguientes cálculos especializados:

- Revisión hidrológica.
- Capacidad actual del embalse.
- Tránsito de avenidas.
- Revisión de estabilidad de la cortina.
- Revisión funcional y operacional de la estructura.
- Delimitación de las zonas de peligro por descargas controladas y no controladas.

A partir de este análisis se pudo obtener un diagnóstico inicial sobre el riesgo que representaba esta presa en sus condiciones actuales. Con base en éste primer dictamen, se realizó un programa más acertado para llevar a cabo una visita de inspección en el sitio mediante la cual identificar los principales elementos a mejorar y obtener información realmente necesaria para el desarrollo de los estudios posteriormente realizados.

3.2.4. Visitas de inspección

Para la recopilación de información más puntual y la corroboración de la información previa obtenida fue necesaria la realización de una visita de inspección.

Las conclusiones obtenidas fueron las siguientes:

- El nivel de peligro que representa la presa en el momento de la visita es Bajo, sin indicadores o manifestaciones de inseguridad.
- La cortina se encuentra en condiciones seguras de operación.
- No presenta problemas que comprometan la estabilidad (no hay grietas, asentamientos considerables, deslizamientos, filtraciones).
- Se registra un hundimiento de 40 *cm* en un área de 2 *m*², en el talud del respaldo aguas abajo.
- No hay filtraciones al pie de la cortina ni por el terreno de cimentación; no obstante, el nivel del embalse estaba bajo (25 % del NAMO).
- El vaso está libre de invasiones, pero se observó que el ganado ingresa al mismo playón, a pastar y abrevar directamente en el embalse.
- Existen descargas de aguas residuales sin tratar, por parte de la localidad de Jamanducuaró.
- El vertedor de excedencias se encuentra en buen estado estructural y de funcionamiento hidráulico en su cimacio, tanque de amortiguamiento y canal de descarga, si bien éste tiene algo de maleza.
- El canal de descarga termina en un muro de tecorrall y no existe encauzamiento que permita conducir adecuadamente el agua hasta su cauce. Sin embargo, a escasos 400 metros, se observó un puente alcantarilla que podría impedir el flujo adecuado de los excedentes.
- La obra de toma y el canal de riego están en condiciones de funcionamiento, pero con cierto deterioro por falta de mantenimiento.

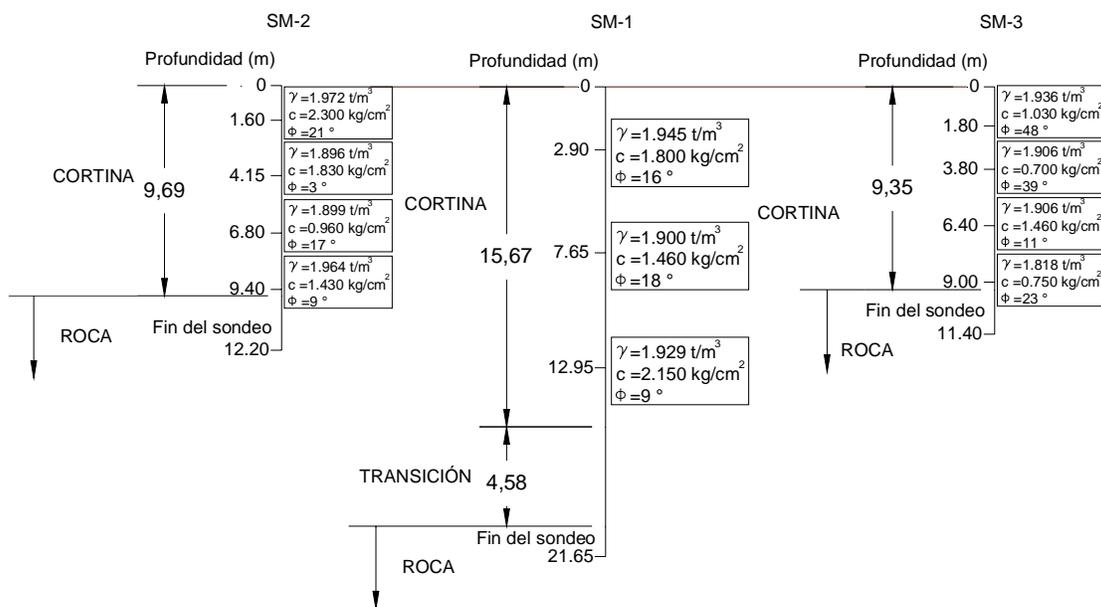
3.2.4.1. Trabajos de campo

Se hizo el levantamiento de la cortina y las obras auxiliares de la presa, así como la batimetría del vaso y la topografía de un tramo del cauce aguas abajo de la presa. Con estos resultados se contó con la información necesaria para hacer los estudios de seguridad geotécnica estructural de la cortina y, en su caso de las obras auxiliares de la presa, así como la topografía de la cortina, vertedor y obra de toma, y la topobatimetría del vaso y del cauce para apoyar los estudios hidrológicos y de seguridad hidrológica e hidráulica de la presa y sus obras auxiliares.

Los trabajos de geotecnia de campo para conocer las características geotécnicas de la cortina y contacto del suelo o roca de cimentación consistieron en una campaña de exploración de tres sondeos de tipo mixto denominados SM-1 a SM-3, a una profundidad variable entre los y 25 m, así como 4 pruebas de permeabilidad Lefranc a las profundidades de 3 m, 6 m, 10 m y 15 m.

Con las muestras de la cortina y contacto de suelo o roca de cimentación, se llevaron a cabo las pruebas de laboratorio que permitieron clasificar los suelos y determinar las propiedades índice y mecánicas de interés. Así mismo, con los resultados obtenidos se determinaron los perfiles estratigráficos de la presa y las propiedades mecánicas e hidráulicas para los análisis de flujo de agua y estabilidad de taludes de la presa.

Estos resultados se muestran en las figuras siguientes:



• Propiedades determinadas de las probetas de los ensayos de compresión triaxial consolidada no drenada, tipo CU

Figura 29. Estratigrafía de la presa.

Tabla 13. Propiedades mecánicas e hidráulicas de los materiales.

Tipo de suelo	Peso volumétrico	Ángulo de fricción	Cohesión	Conductividad
	γ (kN/m ³)	f (°)	c (kPa)	k_s (cm/s)
Cortina	18.79	11.67	131.51	5.15E-07
Suelo	17	10	80	1.0E-07
Enrocamiento	24	42	0	--

Tabla 14. Valores de Permeabilidad.

Profundidad (m)	k (cm/s)	Tipo de suelo
2.75 a 3.25	1.02039E-03	Cortina
5.75 a 6.25	3.01788E-05	Cortina
9.75 a 10.25	5.15616E-07	Cortina
14.25 a 15.75	1.50485E-07	Cortina

3.3. Etapa 2. Evaluación y diagnóstico

A continuación, se presentan los diversos estudios realizados desde los diversos enfoques con el objetivo de realizar un diagnóstico del estado actual de la presa.

3.3.1. Revisión de estabilidad de la cortina

Inicialmente se hizo el levantamiento de la cortina y las obras auxiliares de la presa, así como la batimetría del vaso y la topografía de un tramo del cauce aguas abajo de la presa. Con estos resultados se contó con la información necesaria para hacer los estudios de seguridad geotécnica estructural de la cortina.

Posteriormente se hicieron trabajos de exploración geotécnica, a partir de los cuales se tomaron muestras de la cortina y se llevaron a cabo pruebas de laboratorio donde se permitió la clasificación de los suelos y la determinación de sus propiedades además de la realización de un perfil estratigráfico a partir del cual se realizaron los estudios y modelaciones para estimar el comportamiento y la estabilidad de la cortina. Los resultados de las pruebas y los valores estimados se encuentran desarrollados desde la etapa previa (Análisis y Generación de información).

3.3.1.1. Consideraciones generales

La cortina está desplantada sobre un basalto vesicular, de calidad regular a buena. Del lado de margen izquierda, la boquilla presenta series de derrames basálticos del cerro La Palma, y del lado de la margen derecha, el terreno tiene una pendiente suave y está formado por derrames basálticos cubiertos con brechas volcánicas y suelos residuales producto del intemperismo de estas últimas, las cuales se aprecian en el cauce del arroyo.

3.3.1.2. Análisis de estabilidad

Los análisis se llevan a cabo a partir de la modelación numérica de las condiciones de flujo establecido, vaciado rápido y ante condiciones sísmicas. Estos se realizaron en dos dimensiones utilizando el programa de cómputo GEOSTUDIO 2004.

Para los análisis de estabilidad de taludes se utiliza el programa SLOPE/W 2004 que se basa en el método de equilibrio límite y que toma en cuenta las presiones de poro determinadas en los análisis de flujo establecido. Los resultados del Factor de Seguridad (FS) presentados en este análisis se obtuvieron con los métodos de Bishop y Morgenstern-Price.

Para conocer el flujo interno del agua en el cuerpo de la cortina se utilizó el programa SEEP/W.

Finalmente, el comportamiento geomecánico de la presa se evalúa a partir de los Factores de Seguridad obtenidos del análisis de estabilidad de taludes.

3.3.1.2.1. Flujo de agua a través de la cortina y contacto de suelo o roca de cimentación

Los análisis se hicieron considerando secciones transversales de la presa correspondientes a los sitios de los sondeos durante la campaña de exploración (SM-1, SM-2 y SM-3). La sección máxima corresponde al sondeo SM-1 con altura de la cortina de 15.67 m. El NAME está a la elevación 1832.57 msnm, el NAMO a la elevación 1832.08 msnm y el NAMINO a la elevación 1826.91 msnm.

Para los análisis de vaciado rápido, se considera que a partir del NAME o NAMO se inicia el proceso de vaciado rápido hasta que el tirante hidráulico disminuye al NAMINO.

Para los diversos escenarios analizados se consideró el nivel del agua tanto al NAME como al NAMO, se presentarán las imágenes de los resultados obtenidos al NAME para visualizar la presentación de los resultados generados por el programa utilizado.

3.3.1.2.1.1. Flujo Establecido

Para realizar el análisis, se parte de la condición de que después de cierto tiempo de operación de la presa, los materiales han sido saturados y han alcanzado condiciones de flujo establecido.

De la figura 30 a la figura 32, se presentan los resultados de los análisis de flujo establecido al NAME para cada sección. El gasto total que pasa a través de cortina al NAME es de $4.00E-06 \text{ m}^3/\text{s}$ ó $0.35 \text{ m}^3/\text{día}$.

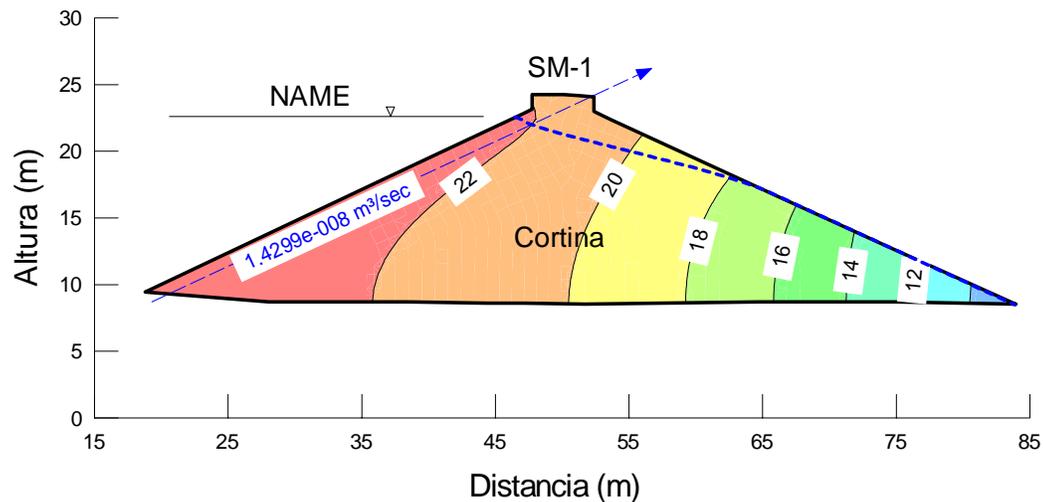


Figura 30. Distribución de la carga total y el gasto al NAME, sección SM-1.

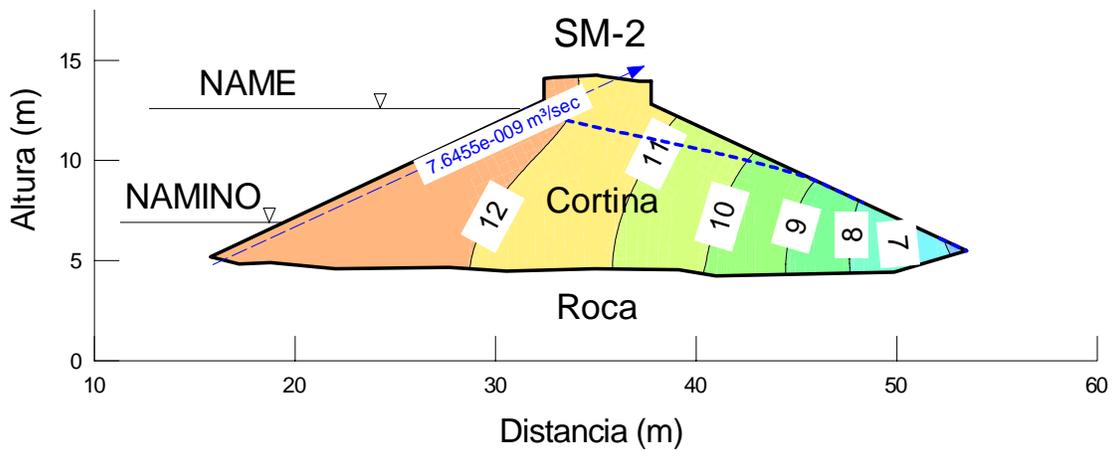


Figura 31. Distribución de la carga total y el gasto al NAME, sección SM-2.

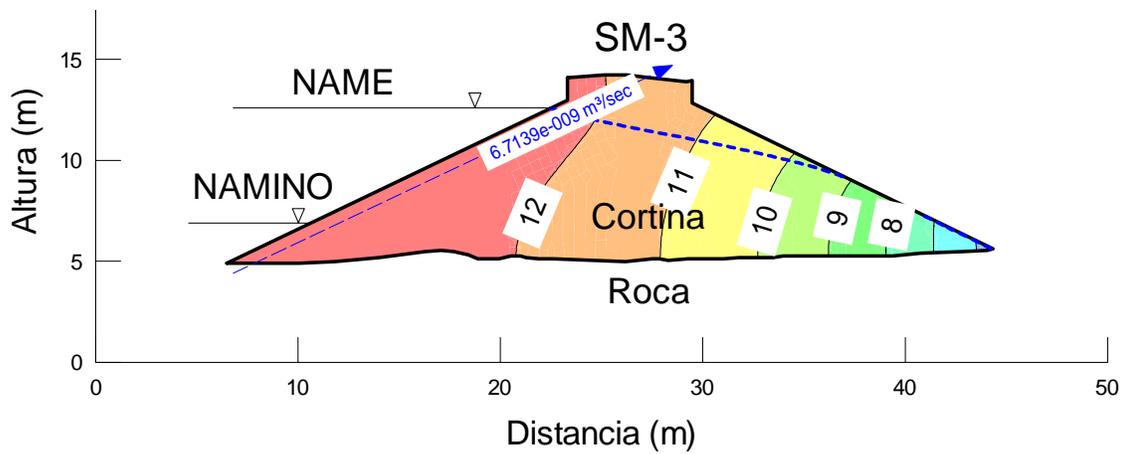


Figura 32. Distribución de la carga total y el gasto al NAME, sección SM-3.

La tabla 15 presenta el resumen de los gastos que pasan a través de cada sección, y el gasto total que pasa a través de la cortina de la presa al NAME y NAMO.

Tabla 15. Gasto que pasa a través de la cortina, NAME y NAMO.

Sección	Gasto al NAME por mL (m ³ /s/m)	Gasto al NAMO por mL (m ³ /s/m)	Cadenamientos (m)		Longitud (m)	Gasto al NAME (m ³ /s)	Gasto al NAMO (m ³ /s)
SM-1	1.43E-08	1.31E-08	0+ 142.80	0+ 260.00	117.2 0	1.68E-06	1.53E-06
SM-2	7.65E-09	6.64E-09	0+ 260.00	0+ 474.30	214.3 0	1.64E-06	1.42E-06
SM-3	6.71E-09	5.78E-09	0+ 040.00	0+ 142.80	102.8 0	6.90E-07	5.94E-07
GASTOS TOTALES (m ³ /s)						4.00E-06	3.55E-06
GASTOS TOTALES						0.35 m ³ /día	0.31 m ³ /día

3.3.1.2.1.2. Vaciado Rápido

Esta condición se produce cuando el nivel de agua adyacente a un talud desciende rápidamente en relación con el tiempo requerido para desalojar el agua contenida dentro del talud.

En las figuras siguientes, se presentan los resultados de los análisis de flujo transitorio al NAME para cada sección.

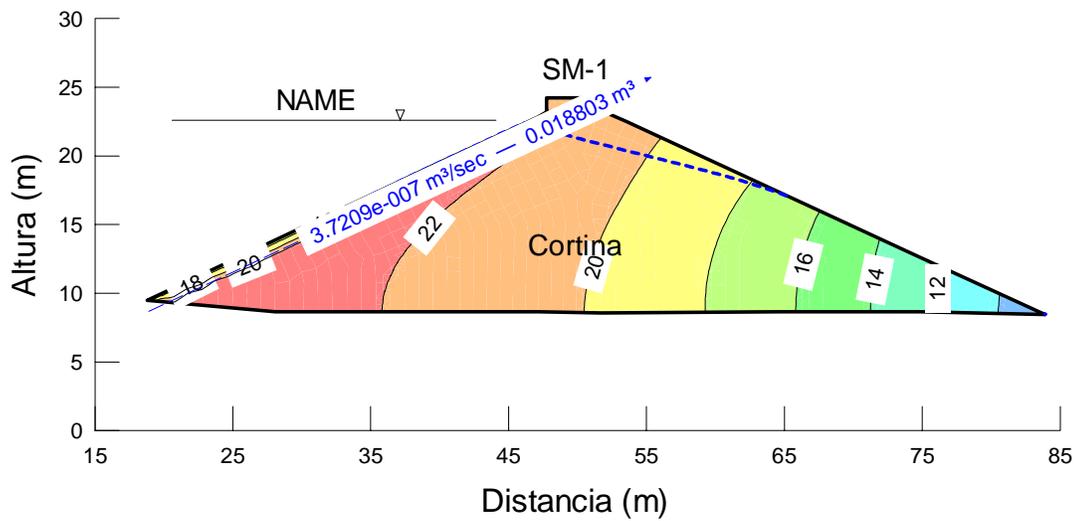


Figura 33. Distribución de la carga total y gasto al NAME (vaciado rápido), sección SM-1.

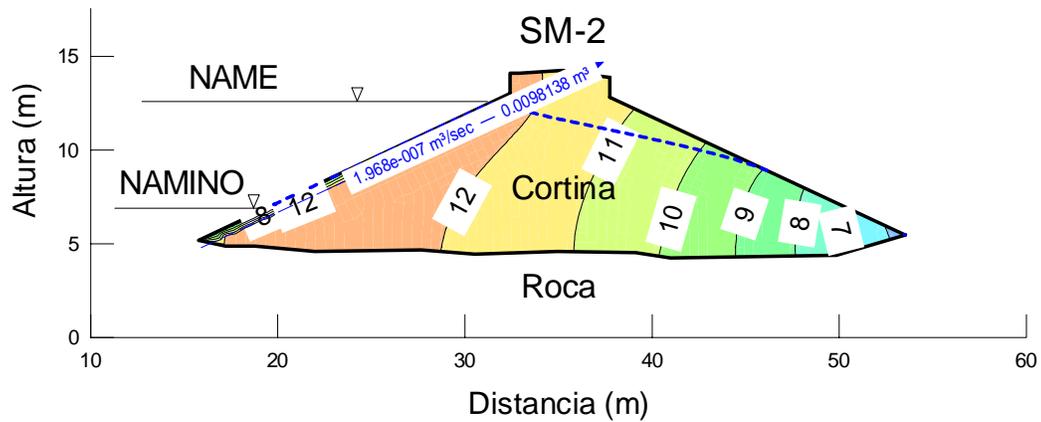


Figura 34. Distribución de la carga total y gasto al NAME (vaciado rápido), sección SM-2.

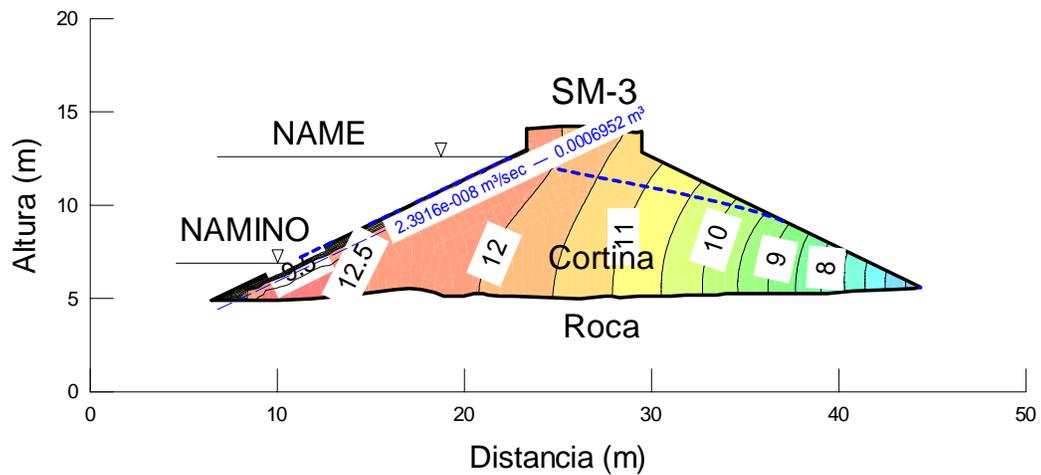


Figura 35. Distribución de la carga total y gasto al NAME (vaciado rápido), sección SM-3.

3.3.1.2.1. Análisis de estabilidad del talud de la cortina.

Los resultados del programa SLOPE/W se representan visualmente como se muestra en la figura siguiente, en donde se puede observar (en verde) la superficie de falla y la división de dovelas. El factor de seguridad más desfavorable se identifica por medio de un punto rojo de mayor magnitud que los mostrados en la malla, seguidos del valor del factor de seguridad.

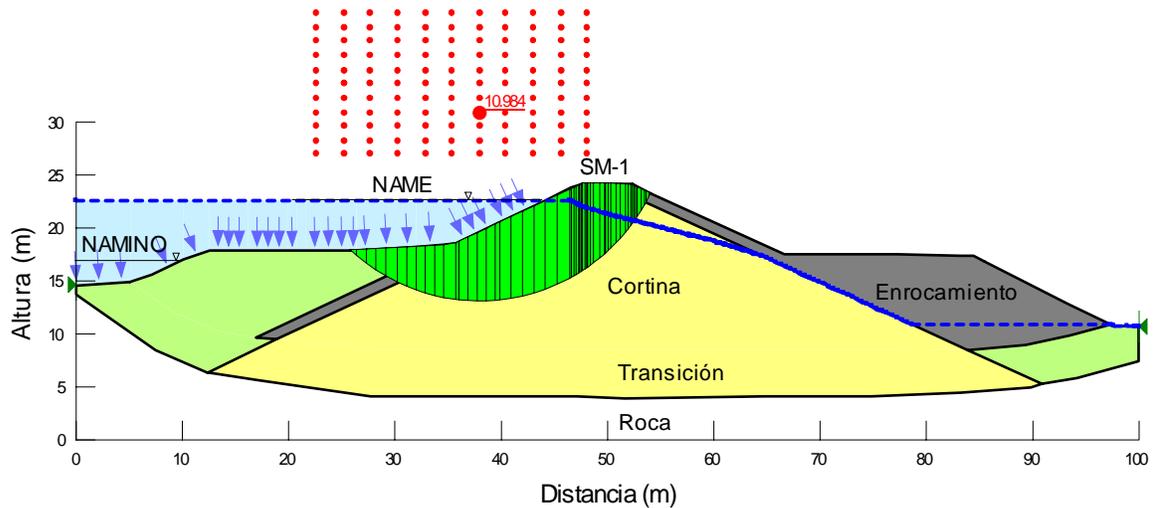


Figura 36. Factor de seguridad y superficie de falla en talud aguas arriba, análisis de flujo establecido (NAME), sección SM-1.

3.3.1.2.1.1. Flujo Establecido

En las siguientes tablas se pueden observar los resultados obtenidos de los factores de seguridad, aguas arriba y aguas debajo de la presa, considerando tanto el nivel al NAME como al NAMO para cada una de las secciones: SM-1, SM-2 y SM-3, para los métodos de Morgenstern-Price y Bishop.

Tabla 16. Factores de seguridad obtenidos del análisis de estabilidad de taludes en condiciones de flujo establecido, sección SM-1.

Condición	Talud	FS Método Morgenstern-Price (Equilibrio de Fuerzas y Momentos)	FS Método Bishop (Equilibrio de Momentos)	Notas
Flujo establecido	Aguas Arriba	10.984	10.979	Agua al NAME
Flujo establecido	Aguas Abajo	6.459	6.458	Agua al NAME
Flujo establecido	Aguas Arriba	10.216	10.211	Agua al NAMO
Flujo establecido	Aguas Abajo	6.511	6.510	Agua al NAMO

Tabla 17. Factores de seguridad obtenidos del análisis de estabilidad de taludes en condiciones de flujo establecido, sección SM-2.

Condición	Talud	FS Método Morgenstern-Price (Equilibrio de Fuerzas y Momentos)	FS Método Bishop (Equilibrio de Momentos)	Notas
Flujo establecido	Aguas Arriba	12.056	12.052	Agua al NAME
Flujo establecido	Aguas Abajo	6.481	6.480	Agua al NAME
Flujo establecido	Aguas Arriba	11.005	10.999	Agua al NAMO
Flujo establecido	Aguas Abajo	6.840	6.841	Agua al NAMO

Tabla 18. Factores de seguridad obtenidos del análisis de estabilidad de taludes en condiciones de flujo establecido, sección SM-3.

Condición	Talud	FS Método Morgenstern-Price (Equilibrio de Fuerzas y Momentos)	FS Método Bishop (Equilibrio de Momentos)	Notas
Flujo establecido	Aguas Arriba	10.867	10.860	Agua al NAME
Flujo establecido	Aguas Abajo	6.527	6.525	Agua al NAME
Flujo establecido	Aguas Arriba	9.751	9.746	Agua al NAMO
Flujo establecido	Aguas Abajo	6.600	6.599	Agua al NAMO

3.3.1.2.1.1. Vaciado Rápido

De manera semejante se realizaron los análisis para la condición de vaciado rápido, obteniendo los resultados mostrados a continuación para los sondeos SM-1, SM-2, SM-3, para los métodos de Morgenstern-Price y Bishop.

Tabla 19. Factores de seguridad obtenidos del análisis de estabilidad de taludes en condiciones de vaciado rápido, sección SM-1.

Condición	Talud	FS Método Morgenstern-Price (Equilibrio de Fuerzas y Momentos)	FS Método Bishop (Equilibrio de Momentos)	Notas
Vaciado rápido (inmediato)	Aguas Arriba	6.885	6.881	El agua pasa del NAME al NAMINO
Vaciado rápido (inmediato)	Aguas Abajo	6.462	6.462	El agua pasa del NAME al NAMINO
Vaciado rápido (inmediato)	Aguas Arriba	6.897	6.892	El agua pasa del NAMO al NAMINO
Vaciado rápido (inmediato)	Aguas Abajo	6.485	6.483	El agua pasa del NAMO al NAMINO

Tabla 20. Factores de seguridad obtenidos del análisis de estabilidad de taludes en condiciones de vaciado rápido, sección SM-2.

Condición	Talud	FS Método Morgenstern-Price (Equilibrio de Fuerzas y Momentos)	FS Método Bishop (Equilibrio de Momentos)	Notas
Vaciado rápido (inmediato)	Aguas Arriba	8.031	8.030	El agua pasa del NAME al NAMINO
Vaciado rápido (inmediato)	Aguas Abajo	6.481	6.480	El agua pasa del NAME al NAMINO
Vaciado rápido (inmediato)	Aguas Arriba	7.814	7.810	El agua pasa del NAMO al NAMINO
Vaciado rápido (inmediato)	Aguas Abajo	6.840	6.841	El agua pasa del NAMO al NAMINO

Tabla 21. Factores de seguridad obtenidos del análisis de estabilidad de taludes en condiciones de vaciado rápido, sección SM-3.

Condición	Talud	FS Método Morgenstern-Price (Equilibrio de Fuerzas y Momentos)	FS Método Bishop (Equilibrio de Momentos)	Notas
Vaciado rápido (inmediato)	Aguas Arriba	6.887	6.887	El agua pasa del NAME al NAMINO
Vaciado rápido (inmediato)	Aguas Abajo	6.660	6.661	El agua pasa del NAME al NAMINO
Vaciado rápido (inmediato)	Aguas Arriba	6.492	6.492	El agua pasa del NAMO al NAMINO
Vaciado rápido (inmediato)	Aguas Abajo	6.600	6.599	El agua pasa del NAMO al NAMINO

3.3.1.2.1.1. Sismo

Para al análisis incluyendo la acción sísmica, método pseudoestático, se presenta un análisis bidimensional empleando la formulación del método de equilibrio límite, haciendo uso del programa SLOPE/W 2004.

Se obtuvo la aceleración máxima del terreno en función de las coordenadas geográficas del sitio y de la importancia estructural. En este caso se ubicó la presa dentro del tipo de estructuras del grupo B. La aceleración máxima del terreno rocoso dio un valor de 0.11g, o sea un coeficiente sísmico horizontal de 0.11 y vertical de 0.073.

En las siguientes tablas se pueden observar los resultados obtenidos de los factores de seguridad, aguas arriba y aguas debajo de la presa, considerando tanto el nivel al NAME como al NAMO para cada una de las secciones: SM-1, SM-2 y SM-3, para los métodos de Morgenstern-Price y Bishop.

Tabla 22. Factores de seguridad obtenidos del análisis de estabilidad de taludes en condiciones sísmicas al NAME y NAMO, sección SM-1.

Condición	Talud	FS Método Morgenstern-Price (Equilibrio de Fuerzas y Momentos)	FS Método Bishop (Equilibrio de Momentos)	Notas
Sismo	Aguas Arriba	5.432	5.428	Agua al NAME
Sismo	Aguas Abajo	3.360	3.363	Agua al NAME
Sismo	Aguas Arriba	5.097	5.101	Agua al NAMO
Sismo	Aguas Abajo	3.289	3.292	Agua al NAMO

Tabla 23. Factores de seguridad obtenidos del análisis de estabilidad de taludes en condiciones sísmicas al NAME y NAMO, sección SM-2.

Condición	Talud	FS Método Morgenstern-Price (Equilibrio de Fuerzas y Momentos)	FS Método Bishop (Equilibrio de Momentos)	Notas
Sismo	Aguas Arriba	7.319	7.312	Agua al NAME
Sismo	Aguas Abajo	4.618	4.614	Agua al NAME
Sismo	Aguas Arriba	6.774	6.765	Agua al NAMO
Sismo	Aguas Abajo	4.900	4.896	Agua al NAMO

Tabla 24. Factores de seguridad obtenidos del análisis de estabilidad de taludes en condiciones sísmicas al NAME y NAMO, sección SM-3.

Condición	Talud	FS Método Morgenstern-Price (Equilibrio de Fuerzas y Momentos)	FS Método Bishop (Equilibrio de Momentos)	Notas
Sismo	Aguas Arriba	6.551	6.542	Agua al NAME
Sismo	Aguas Abajo	4.602	4.600	Agua al NAME
Sismo	Aguas Arriba	5.966	5.955	Agua al NAMO
Sismo	Aguas Abajo	4.721	4.720	Agua al NAMO

3.3.2. Revisión Hidrológica-Hidráulica

3.3.2.1. Principales características fisiográficas.

La cuenca de la presa se encuentra en el estado de Michoacán de Ocampo, en la región hidrológica Lerma-Santiago. Comprende un área de drenaje de 34.978 km².

La cuenca de la presa fue delimitada con base en las curvas de nivel, en la Red Hidrográfica escala 1:50000. Las principales características físicas de la cuenca se determinaron mediante el uso de un (Sistema de Información Geográfica (SIG); a continuación se muestran dichos resultados:

- Área = 34.978 km².
- Longitud cauce principal= 10.822 km.
- Cota inicial= 1832 msnm, Cota final= 2401 msnm, Δh= 569 m.
- $S_c = 0.0526$.

El tiempo de concentración de la cuenca se determinó por medio de la fórmula de Kirpich (Ecuación 1). Se obtuvo un tiempo de concentración igual a 1.291 h.

$$T_c = 0.000325 \left(\frac{l}{\sqrt{S_c}} \right)^{0.77} \quad (1)$$

$$T_c = 1.291 \text{ h}$$

3.3.2.2. Análisis de tormentas.

Se buscaron las estaciones climatológicas y solamente se trabajó con la información de la estación más cercana. Se obtuvieron parámetros estadísticos, errores estándar y para el caso de esta presa se seleccionó la función Gumbé.

Para la elaboración del hietograma de diseño se aplicó la metodología propuesta por Chen, encontrando que la duración total de la lluvia de diseño es aproximadamente igual a tres veces el tiempo de concentración; así que la lluvia de diseño tiene una duración total de 9 horas, expresada en intervalos de 30 minutos, como se muestra en la tabla siguiente:

Para la elaboración del hietograma de diseño se aplicó la metodología propuesta por Chen, encontrando que la duración total de la lluvia de diseño es aproximadamente igual a tres veces el tiempo de concentración, así que la lluvia de diseño tiene una duración total de 9 horas, expresada en intervalos de 30 min, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 25. Datos hietograma de diseño, cuenca de la presa en estudio.

d (min)	$(P_d^T/P_1^T) K$	Incrementos		Tr=10	Tr=100	Tr=500	Tr=1000	Tr=10000
			P en 24 horas (mm)	57.87	75.99	88.44	93.79	111.56
			Factores organizados	Lluvia de diseño para 4 horas (mm)				
			bloques alternos					
30	0.523	0.52325	0.0209	1.21	1.59	1.85	1.96	2.33
60	0.650	0.12675	0.0241	1.39	1.83	2.13	2.26	2.69
90	0.715	0.06464	0.0459	2.65	3.49	4.06	4.30	5.12
120	0.761	0.04586	0.1268	7.34	9.63	11.21	11.89	14.14
150	0.789	0.02890	0.5233	30.28	39.76	46.28	49.08	58.37
180	0.813	0.02362	0.0646	3.74	4.91	5.72	6.06	7.21
210	0.837	0.02410	0.0289	1.67	2.20	2.56	2.71	3.22
240	0.858	0.02088	0.0236	1.37	1.79	2.09	2.22	2.63
			P en 4 horas (mm)	49.65	65.20	75.88	80.47	95.72

Posteriormente se utilizó el método del número de curva, desarrollado por el Soil Conservation Service (SCS), para determinar el valor ponderado de CN se utilizaron los mapas de tipo y uso de suelo obtenidos por el INEGI. Posteriormente se aplicó la precipitación en exceso y con base en la relación entre ésta y la precipitación se calculó el coeficiente de escurrimiento ($C_e=Pe/P$). Obteniendo un CN ponderado=81.21, y las precipitaciones en exceso asociadas a un periodo de retorno quedan como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 26. Precipitación de exceso para CN ponderado, cuenca de la presa en estudio.

<i>T (años)</i>	<i>P (mm)</i>	<i>P_e (mm)</i>	<i>C_e</i>
10	49.65	14.857	0.299
100	65.2	25.455	0.390
500	75.88	33.462	0.441
1000	80.47	37.039	0.460
10000	95.72	49.394	0.516

En general se observa que los valores de coeficientes de escurrimiento tienen una gran variación para los diferentes periodos de retorno; el valor de C_e para 10 000 años llega a ser aproximadamente igual a 2 veces el C_e para 10 años, lo que podría indicar una sobrestimación en los eventos, por lo cual se recomendó hacer una calibración, y se llegó a los siguientes resultados:

Tabla 27. Coeficiente de escurrimiento y CN calibrados, cuenca de la presa en estudio.

<i>T (años)</i>	Ce Calibrado	CN calibrado	P (mm)	Pe (mm)
10	0.234	77.96	49.65	11.629
100	0.256	74.25	65.20	16.690
500	0.271	72.18	75.88	20.559
1000	0.277	71.39	80.47	22.319
10000	0.299	69.12	95.72	28.592

El modelo lluvia escurrimiento se efectuó con ayuda del Hidrologic Modeling System (HEC-HMS), el cual fue alimentado con los hietogramas de diseño, mencionados anteriormente, la transformación de la lluvia de exceso a escorrentía se calculó con el método del Hidrograma Unitario de Clark y se obtuvieron Hidrogramas de Diseño tanto para el CN ponderado (tabla 28) como para el CN calibrado (tabla 29):

Tabla 28. Hidrogramas de diseño para CN ponderado, cuenca de la presa en estudio.

Hora	Q (m ³ /s)				
	Tr=10	Tr=100	Tr=500	Tr=1000	Tr=10000
00:00	0	0	0.0	0	0
00:30	0	0	0.0	0	0
01:00	0	0	0.0	0	0
01:30	0	0	0.0	0	0
02:00	0	0.6	1.4	1.8	3.6
02:30	17.5	32.3	44.4	50	70
03:00	56	99.3	132.5	147.6	199.8
03:30	73	126.4	166.6	184.6	246.3
04:00	57.6	97.4	126.9	140	184.9
04:30	37.7	62.4	80.6	88.6	115.9
05:00	22.7	37.1	47.7	52.3	68.1
05:30	12.3	19.9	25.6	28	36.4
06:00	6.3	10.2	13.1	14.4	18.7
06:30	3.2	5.2	6.7	7.3	9.6
07:00	1.6	2.7	3.4	3.7	4.8
07:30	0.5	0.7	0.9	1	1.3
08:00	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4
08:30	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
09:00	0	0	0.0	0	0

Tabla 29. Hidrogramas de diseño para CN calibrados, cuenca de la presa en estudio.

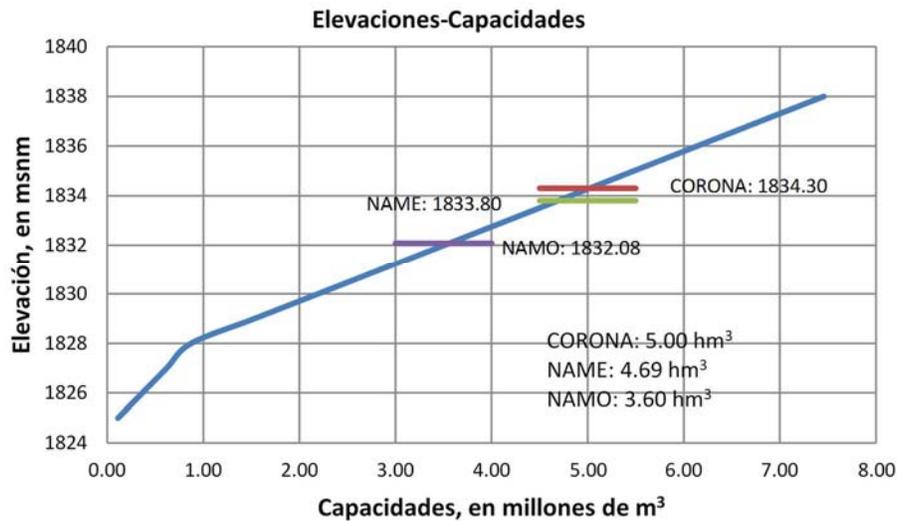
Hora	Q (m ³ /s)				
	Tr=10	Tr=100	Tr=500	Tr=1000	Tr=10000
02:00	0	0	0	0	0
02:10	0.3	0.6	0.8	0.9	1.2
02:20	2.3	3.6	4.7	5.2	7.2
02:30	7.8	11.9	15.2	16.8	22.5
02:40	17.3	25.8	32.6	35.7	47.2
02:50	29	42.8	53.6	58.6	76.7
03:00	41.2	60.2	75.1	81.9	106.6
03:10	51.6	75.1	93.3	101.6	131.6
03:20	58.5	84.6	104.8	114	146.9
03:30	60.7	87.4	107.9	117.2	150.4
03:40	58.2	83.4	102.6	111.4	142.4
03:50	52.6	75.1	92.2	100	127.5
04:00	46.5	66.2	81.1	87.9	111.9
04:10	40.9	58.1	71.1	77	97.8
04:20	35.7	50.6	61.9	67	84.9
04:30	31	43.8	53.5	57.9	73.3
04:40	26.6	37.6	45.9	49.6	62.7
04:50	22.5	31.8	38.8	41.9	53
05:00	18.8	26.5	32.3	34.9	44.1
05:10	15.4	21.8	26.5	28.6	36.1
05:20	12.5	17.6	21.5	23.2	29.3
05:30	10.1	14.2	17.3	18.7	23.6
05:40	8.1	11.4	13.9	15	19
05:50	6.5	9.2	11.2	12.1	15.3
06:00	5.3	7.4	9.0	9.8	12.3
06:10	4.2	6	7.3	7.9	9.9
06:20	3.4	4.8	5.9	6.3	8
06:30	2.8	3.9	4.7	5.1	6.4
06:40	2.2	3.1	3.8	4.1	5.2
06:50	1.8	2.5	3.1	3.3	4.2
07:00	1.4	2	2.4	2.5	3.2
07:10	1	1.3	1.6	1.7	2.2
07:20	0.5	0.7	0.9	1	1.2
07:30	0.4	0.6	0.7	0.7	0.9
07:40	0.3	0.4	0.5	0.5	0.6
07:50	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4
08:00	0.1	0.2	0.2	0.3	0.3
08:10	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2
08:20	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
08:30	0	0.1	0.1	0.1	0.1
08:40	0	0	0	0	0

3.3.2.3. Tránsito de avenidas.

3.3.2.3.1. Curva Elevaciones Capacidades

La curva elevaciones capacidades y la construcción de las curvas elevaciones descargas fueron necesarias para conocer las condiciones actuales de la estructura y para realizar los tránsitos de avenidas, con el fin de analizar el funcionamiento del embalse ante la ocurrencia de avenidas con distintos periodos de retorno.

Con la información obtenida en campo se pudo estimar la capacidad de almacenamiento actual, mostrada en la figura siguiente:



37.- Curva Elevaciones-Capacidades.

3.3.2.3.1. Curva Elevaciones descargas

Para la obtención de la curva se utilizó la longitud total del vertedor, equivalente a 40 m (medidos en campo), el coeficiente de gasto se consideró con un valor igual a 2, obteniendo la curva elevaciones descargas que se muestra en la siguiente figura:

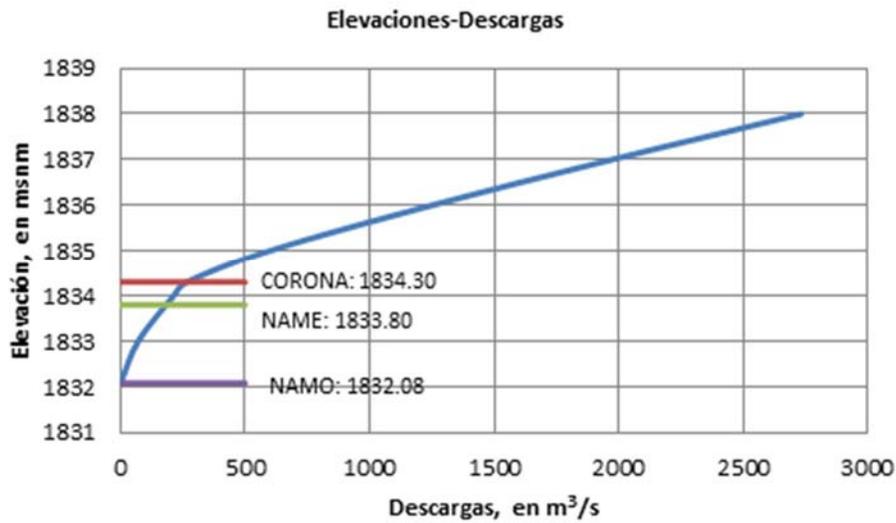


Figura 38.- Curva Elevaciones descargas.

Con los hidrogramas de entrada al vaso, la curva elevaciones capacidades y elevaciones descargas, se realizaron los tránsitos de avenida por el vaso, con lo que se obtuvieron los resultados mostrados en las figuras siguientes, para 100, para 1000 y para 10 000 años de periodo de retorno:

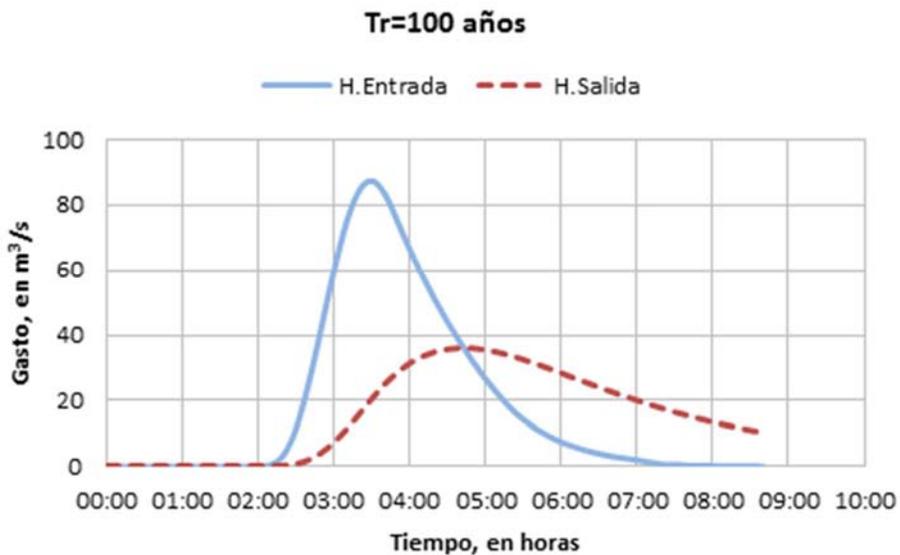


Figura 39.- Tránsito de la avenida con periodo de retorno de 100 años.

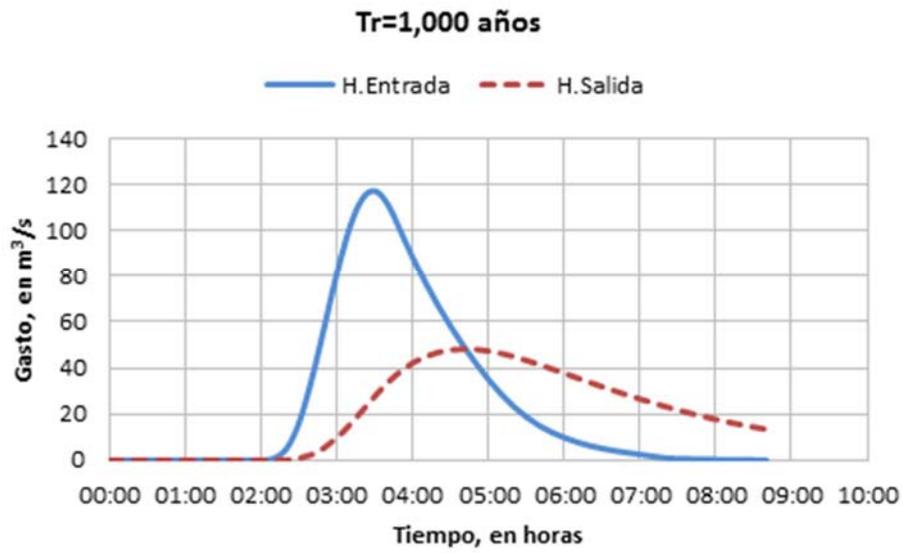


Figura 40.- Tránsito de la avenida con periodo de retorno de 1000 años.



Figura 41.- Tránsito de la avenida con periodo de retorno de 10000 años.

3.3.2.4. Evaluación de la seguridad hidrológica de la presa.

3.3.2.4.1. Resumen de resultados.

Con la finalidad de representar un panorama más claro de los resultados del tránsito de avenida por el vaso, se generó la figura 42; la línea de color púrpura representa la elevación de la corona de la estructura, la línea azul el nivel del NAME, la línea verde el nivel del NAMO, y en rombos azules el nivel máximo alcanzado para cada uno de los tránsitos realizados (100, 1000 y 10000 años) en msnm. Se observa que en ninguno de los periodos de retorno analizados se rebasa el NAME y, por consiguiente, tampoco el nivel de la corona.

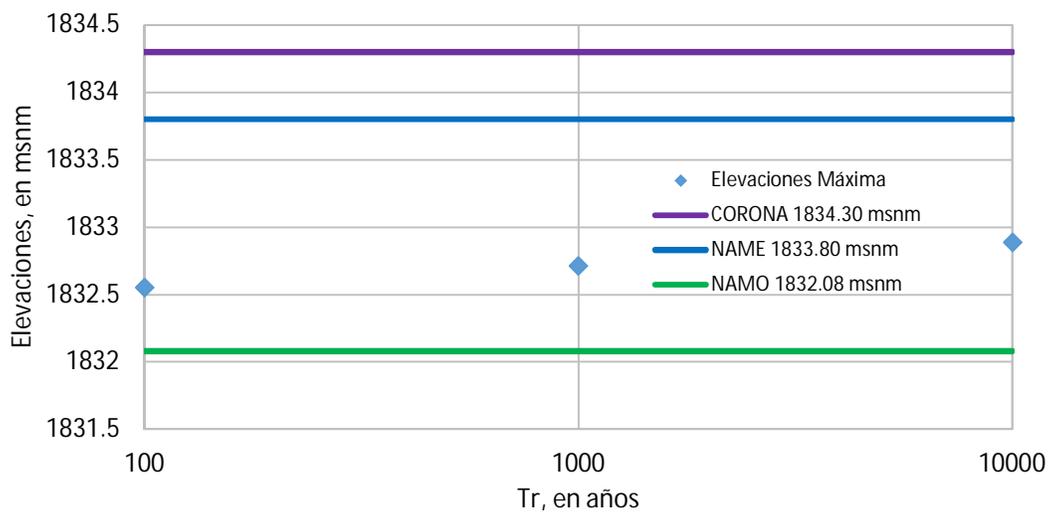


Figura 42. Niveles máximos alcanzados para cada uno de los periodos de retorno analizados.

Tabla 30. Resumen de resultados del tránsito.

	NAME	Tr			
		100	1,000	10,000	
Elevación Máxima	1833.80	1,832.55	1,832.71	1,832.89	msnm
Δy (respeto a la corona)	0.50	-1.75	-1.59	-1.41	m
Δy (respeto al NAME)		-1.25	-1.09	-0.91	m
Gasto Máximo de Entrada		87.40	117.20	150.40	m ³ /s
Gasto Máximo Descargado		36.18	48.43	62.08	m ³ /s

La tabla 30 muestra el resumen general de los análisis realizados para cada uno de los tránsitos, así como los niveles máximos alcanzados respecto al NAME, y la corona de la estructura. Se observa que para ninguno de los periodos analizados se rebasa el nivel del NAME, por lo que se puede decir que la estructura es hidrológicamente segura y con un **riesgo hidrológico bajo**.

3.3.1. Revisión funcional y operacional.

Durante la visita de inspección se realizó la revisión de las condiciones de funcionamiento y operación de cada una de las estructuras que componen la presa, y de las cuales se hace mención a continuación:

3.3.1.1. Obra de toma.

La presa cuenta con una obra de toma, localizada aproximadamente a 355 metros del vertedor de demasías, compuesta por un tubo de acero de 10" de diámetro, que en seguida y en la misma caja de operación cambia a 12" de diámetro, el cual se conserva hasta el final de la estructura.

A la salida de la cortina aguas abajo, se localiza la caja de válvulas, la cual consiste en una estructura de concreto reforzado, protegida en la parte superior por una rejilla horizontal. Cuenta con un paso hombre y permite el acceso libre hacia la válvula de operación.

La tubería descarga (con un codo formado por la misma tubería de 90°) en una pileta o tanque amortiguador de concreto; cuenta con una sección rectangular, a manera de aforo, para medir el gasto, el cual se vierte directamente a un canal prismático a cielo abierto construido de tierra.

El control de la salida del agua en la presa se realiza mediante una válvula de compuerta de 12", la cual, al momento de la visita, contaba con el vástago y volante de accionamiento; esta válvula requiere de mantenimiento, ya que, por sus condiciones físicas, se ve que no se lo han otorgado.

Las estructuras de la obra de toma se encuentran en condiciones de operación; sin embargo, requieren de un mantenimiento severo, el cual debe incluir limpieza con chorro de arena y pintura o recubrimiento epóxico de los elementos mecánicos, llámense rejillas, tubería y válvula; esta última deberá desarmarse y engrasar los componentes que la accionan; también debe colocarse un candado o cerradura para que únicamente el personal de operación de la obra de toma pueda acceder a esta cámara.

No existen interferencias en la zona de captación (obstrucciones, sedimentos, derrubio, maleza acuática ó pérdida de geometría hidráulica); las anomalías en el equipamiento hidromecánico se deben a la falta de seguridad, al permitir el acceso a la estructura que contiene la válvula de operación. Al no estar en operación dicha toma, al momento de la visita, se desconoce si se presentan vibraciones, filtraciones o pérdidas de gasto durante la captación.

3.3.1.2. Vertedor.

Debido a que el vertedor es recto, y está alineado con la cortina, éste se empotra en el extremo derecho de la cortina, por lo que el canal de aproximación es propiamente el mismo embalse; no existen obstrucciones u obstáculos que impidan el flujo normal del agua hacia el vertedor.

La cresta del vertedor está compuesta por una zona plana con zampeado regular, cimentada en el terreno semirocoso; de forma general no se observa erosión en la zona. Los muros de encauce, construidos a base de mampostería, se encuentran en buenas condiciones; sólo el de la margen derecha tiene algunas rajaduras sin importancia; sin embargo, se recomienda arreglarlas para que en un futuro la fractura no se haga más grande.

El vertedor de demasías cuenta con una estructura de disipación de energía en su salida; no existe canal que conduzca el agua hacia el cauce; el encauzamiento se realiza a través del terreno natural; por ende, no hay dispositivos de aireación ni bloques de impacto; el terreno de descarga es semi rocoso. Sin embargo, como ya se mencionó, no se advierte socavación en la salida de la descarga del vertedor, aunque ésta no se ubica cerca del pie de la cortina.

La sección de restitución al cauce no cuenta con geometría hidráulica regular, aunque se puede decir que es estable; la descarga se realiza por el terreno natural y no existe impedimento para que escurra libremente hasta el cauce.

3.3.1.3. Visita e inspección ocular de los instrumentos de medición.

No existen instrumentos de medición en la presa.

3.3.1.4. Equipamientos hidromecánicos.

El equipo hidromecánico de las obras de toma es del tipo válvula de compuerta, como ya se mencionó; en el momento de la visita esta válvula tenía un vástago y volante para accionarla. El estado de conservación de estos elementos no era bueno, pues faltaban piezas importantes en la operación de los mismos, como la válvula de emergencia y la válvula de admisión y expulsión de aire, además de protección anticorrosiva a la tubería.

No existe protocolo para la puesta en funcionamiento del equipo. Tampoco se detectaron datos garantizados de fabricación de la válvula de compuerta, ni protocolos de ensayo y garantías.

No hay programas y rangos de apertura de compuertas para operación normal y situaciones de emergencia.

Las condiciones de accesibilidad al equipo hidromecánico son deficientes, ya que la zona se encuentra completamente enmontada, y se dificulta el acceso a la obra de toma; la llegada al sitio es por ambos márgenes, por lo que si la corona y los taludes de la cortina estuvieran libres de monte no se tendrían problemas para arribar a esta área.

Como ya se mencionó, el resguardo a este equipamiento es nulo; falta el candado de la tapa del paso hombre de la rejilla de protección de la caja de operación de la válvula. Además de lo anterior, es necesario limpiar las rejillas y recubrirlas con material epóxico, o simplemente con pintura anticorrosiva, de acuerdo con las especificaciones de la CONAGUA.

3.3.2. Revisión de ordenamiento territorial.

Como parte de este estudio se evaluaron las zonas de peligro por descargas controladas y no controladas de la presa en estudio; se utilizaron los datos topográficos disponibles, a través del continuo de elevaciones mexicano CEM 3.0 (INEGI, 2013), publicado el 02 de octubre del 2013, con una resolución horizontal de 15 x 15 m, y los hidrogramas de salida, calculados en la revisión hidrológica. Esta información se cargó en un modelo bidimensional con el cual se determinaron los tirantes y áreas de inundación, y las velocidades desarrolladas para ambos tipos de descarga.

Aunque no existe unificación en los límites que deben observar las variables profundidad y velocidad, para fines de este estudio se considera que las zonas de peligro alto de la presa están definidas en función de los siguientes valores:

- Profundidad ≥ 1.00 m.
- Velocidad ≥ 1.00 m/s.
- Producto ≥ 0.50 m²/s.

Tomando en cuenta los resultados del tránsito de avenidas por el vaso, como parte de la revisión hidrológica, y la correspondiente descarga del vertedor para un periodo de retorno de 100 años.

El hidrograma simulado corresponde al mostrado en la figura 42:

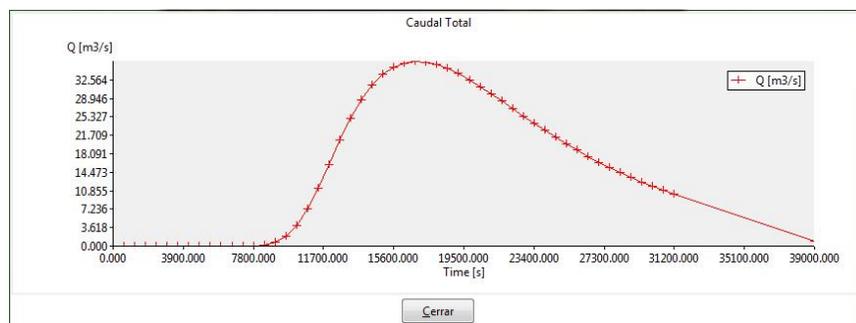


Figura 43. Hidrograma simulado aguas abajo de la presa Ignacio, para un periodo de retorno de 100 años, con un pico de descarga de 36.18 m³/s.

En las figuras 43 y 44 se presentan los resultados de las profundidades, velocidades y elevaciones de la superficie libre del agua máximas de las descargas de la presa, para un periodo de retorno de 100 años.



Figura 44. Mapas de máximas profundidades alcanzadas aguas abajo de la presa, por las descargas de ésta, para un periodo de retorno de 100 años.



Figura 45. Mapas de máximas velocidades alcanzadas aguas abajo de la presa, por las descargas de ésta, para un periodo de retorno de 100 años.

De la modelación de las zonas de peligro se obtuvo una superficie de inundación, para un periodo de retorno de 100 años, de 1.96 km², que corresponden a tierras de cultivo en su totalidad.

Los resultados anteriores, no reflejan la obstrucción de la alcantarilla ubicada inmediatamente aguas abajo de la presa; sin embargo, para fines estimativos, se considera que este puente tiene 9 tubos de 0.60 m de diámetro. Si se toma en cuenta una carga de 1.50 m y un coeficiente de descarga de 0.82, el gasto que pasaría por cada tubo es de $1.25 \text{ m}^3/\text{s}$, pero si son 9 tubos podrían pasar únicamente $11.25 \text{ m}^3/\text{s}$. Este cálculo refleja que la alcantarilla es insuficiente para dejar fluir libremente las descargas de la presa.

En cuanto a las descargas no controladas), se utilizaron las ecuaciones de Froehlich para obtener el hidrograma de salida por la brecha de la falla. Con lo que se obtuvo que se forma una brecha de 29.84 m la cual permite el flujo de un gasto de $355 \text{ m}^3/\text{s}$ en un tiempo de 1.39 h. Considerando que la ruptura se presenta en el pico del hidrograma, quedando un hidrograma de salida de ruptura como se muestra en la figura 45.

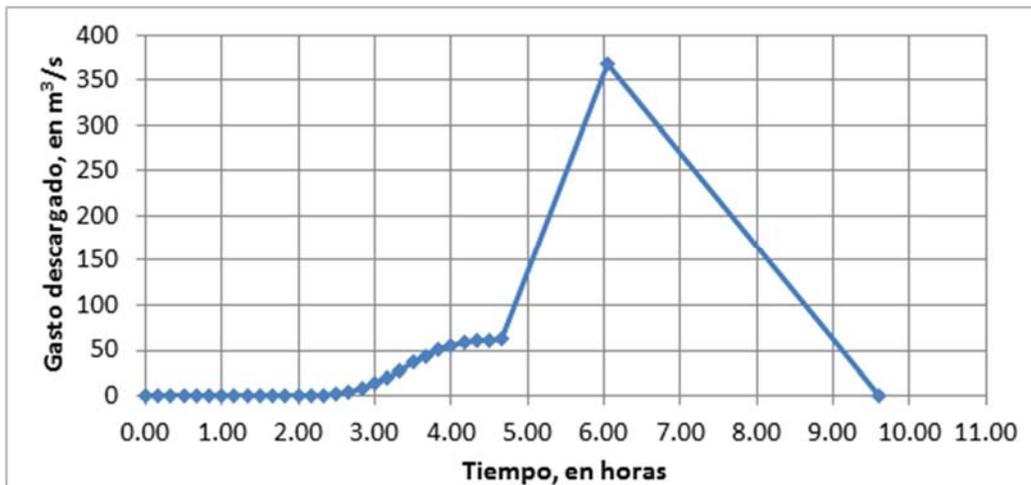


Figura 46.-Hidrograma de Salida de ruptura de la presa en estudio.

Para la modelación bidimensional se supusieron las mismas condiciones que la modelación de las zonas de peligro por descargas controladas, pero esta vez alimentada con los datos del hidrograma de ruptura, con lo que se obtuvieron los resultados mostrados en las figuras siguientes:



Figura 47. Profundidades máximas presentadas durante la simulación del hidrograma de ruptura de la cortina.



Figura 48. Velocidades máximas presentadas durante la simulación del hidrograma de ruptura de la cortina.

3.4. Etapa 3. Dictamen

3.4.1. Determinación del riesgo

Con base en el proceso de análisis de riesgo mencionado en el proyecto de norma “Operación Segura de Presas” y siguiendo la metodología propuesta, a continuación se enlistan los eventos, escenarios o mecanismos de falla potenciales que pueden ocasionar la falla de la presa desde los distintos enfoques:

- De la recopilación de información se obtuvieron datos valiosos, principalmente los del Archivo Histórico del Agua, donde se pudo constatar que entre el 17 y el 28 de agosto de 1979 ocurrió un deslizamiento de 45 m en el talud aguas abajo, atribuido a la falta de compactación y preparación del talud para recibir el enrocamiento. Este deslizamiento fue reparado con una berma de 25 m de ancho aguas abajo y con enrocamiento a volteo en el talud aguas arriba. El 28 de julio de 1983 se reportó un nuevo deslizamiento, pequeño, de 6 m, en el extremo derecho de la reparación anterior. Esta falla se debió a la falta de transición entre el material térreo del cuerpo de la cortina y el enrocamiento. Sin embargo, después de estos dos acontecimientos no se informó sobre problemas posteriores de consideración, salvo asentamientos pequeños aguas abajo, a lo largo de 36 m, reportados en el año 2000.
- En la visita de inspección realizada por personal del Instituto de Ingeniería, como parte de los alcances de este convenio, se reporta un nivel de riesgo bajo, ya que la presa se encuentra en condiciones seguras de operación, sin evidencia de desbordamiento por la corona, o problemas que comprometan la estabilidad, pues no hay grietas, asentamientos de consideración o deslizamientos; existen algunos movimientos de piezas de enrocamiento, pero es un problema de conservación.
- Se identificó que la presa en estudio tiene un riesgo alto de tipo geotécnico, de acuerdo con las visitas de inspección y la historia de los problemas presentados en la cortina por deslizamientos y agrietamientos.

- Desde el punto de vista hidrológico la obra es segura, ya que las condiciones del vaso hacen que la avenida se regule; se verificó que el vertedor cuenta con capacidad suficiente para desalojar los excedentes sin que la elevación máxima de la superficie libre del agua, incluyendo el periodo de retorno de 10,000 años, sobrepase el nivel del NAME y, por consiguiente, el nivel de la corona.
- Para evaluar el comportamiento de la presa, se llevaron a cabo análisis de estabilidad de taludes para las condiciones de flujo establecido, vaciado rápido inmediato y ante condiciones sísmicas. Para la condición de flujo establecido se determinaron factores de seguridad mayores que el 1.5 recomendado por la CONAGUA; asimismo, para el caso de vaciado rápido inmediato, y ante condiciones sísmicas, se muestra que los factores de seguridad son considerablemente reducidos; sin embargo, para cada condición, estos factores son mayores que los recomendados por la CONAGUA, por lo que se concluye que la presa ha tenido un comportamiento estructural satisfactorio, después de la reparación efectuada en el año 1984.
- De la revisión funcional se concluyó que de la obra de toma se encuentran en condiciones de operación; sin embargo, requiere mantenimiento, el cual debe incluir pintura o recubrimiento epóxico de todos los elementos mecánicos: rejillas, tubería y válvula; esta última deberá desarmarse y engrasar los componentes que la accionan; también debe colocarse un candado o cerradura para que únicamente el personal de operación de la obra tenga acceso a esta cámara. La tubería se encuentra sobre el terreno natural, y existe duda sobre la existencia de protección a través del cuerpo de la cortina. Con respecto al vertedor, únicamente se observó una grieta de poca consideración.

- De la modelación de las zonas de peligro se obtuvo una superficie de inundación, para un periodo de retorno de 100 años, de 1.96 km², que corresponden a tierras de cultivo en su totalidad. Para el caso de la ruptura de la cortina se calculó una superficie de inundación, con tirantes de 0.10 m o mayores, de 4.84 km², y la superficie con peligro alto se estimó en 2.56 km². Estas áreas corresponden también a tierras de cultivo en su totalidad, sin afectación de zonas pobladas; afirmación que resulta del detalle topográfico utilizado, correspondiente al continuo de elevaciones mexicano CEM 3.0 del INEGI.

Con los resultados de los distintos estudios especializados que se elaboraron en la presa Ignacio López Rayón, se concluye que esta presa tiene un riesgo **BAJO**, además de que aguas abajo existen daños potenciales mínimos, asociados a la pérdida de cultivos.

3.5. Etapa 4. Toma de decisiones y acciones a efectuar

3.5.1. Recomendaciones.

Los estudios para la caracterización y diagnóstico de la seguridad de la presa, clasificada previamente como de alto riesgo, tiene como fin último establecer las medidas de mitigación pertinentes para reducir el posible riesgo de las personas asentadas aguas abajo. Como resultado general de este estudio, se recomienda lo siguiente:

Tipo de riesgo	Actividades realizadas	Nivel de riesgo determinado	Acciones de mitigación de riesgos recomendadas	Observaciones
Geotécnico	<ul style="list-style-type: none"> * Visita de inspección * Levantamiento topobatimétrico * Revisión hidrológica * Tránsito de avenidas por el vaso * Análisis de la estabilidad de la cortina. * Revisión funcional y operacional. * Mapas de peligro * Análisis de opciones de mitigación de riesgos. 	BAJO	<p>Mantenimiento general de la cortina y obras complementarias. Instalación de testigos superficiales.</p> <p>Reparación de grietas en tanque amortiguador y muro de encauce.</p> <p>Solicitar a las autoridades correspondientes dar suficiencia hidráulica al puente de la carretera a la localidad La Yerbabuena.</p>	El mantenimiento debe ser continuo.

3.5.2. *Diseño Conceptual De Mitigación De Riesgo.*

Las acciones de mitigación de riesgos se refieren a las medidas para reducir el riesgo de la presa en estudio; sin embargo, de acuerdo con los resultados de los estudios especializados, se concluyó que ésta tiene un nivel de riesgo bajo.

Por lo anterior, se hacen recomendaciones referentes al mantenimiento general de la cortina y al monitoreo del comportamiento. Al respecto se aconseja lo siguiente:

- Eliminar la vegetación existente en la cortina de la presa, el tanque amortiguador y el canal de descarga.
- Instalar testigos superficiales para monitorear las deformaciones de la cortina.
- Reparar la grieta presente en el tanque amortiguador y en el muro de encauce en el lado derecho del vertedor.
- Solicitar a las autoridades correspondientes, que se dé suficiente capacidad hidráulica al puente de la carretera que lleva a la localidad cercana, localizado a 400 m, aproximadamente, aguas abajo.

Otras recomendaciones que no influyen directamente en la seguridad de la obra, pero ayudarán a los usuarios para aprovechamiento adecuado de la presa, con fines de riego son:

- Dar mantenimiento con pintura y recubrimiento epóxico a la obra de toma.
- Engrasar los componentes de accionamiento.
- Instalar una válvula de admisión y expulsión de aire.
- Colocar una válvula de emergencia.
- Construir una caseta de operación y protegerla con candados.

4. Conclusiones

La seguridad de presas ha despertado una preocupación plenamente justificada a nivel mundial, ya que la súbita liberación de miles de toneladas de agua sobre asentamientos humanos importantes puede causar enormes pérdidas humanas y materiales, además de graves daños al medio ambiente; es decir, las presas no deben fallar (Marengo, 1998a).

Un análisis de seguridad permitirá (Marengo, 1994) construir presas más seguras y económicas, corregir algunas de las construidas con criterios audaces y tomar en cuenta la confiabilidad que deben tener estructuras temporales como las obras de desvío. La seguridad por sí misma debe ser una consideración de gran importancia para el ingeniero civil (Marengo, 1998a), ya que deben tomarse en cuenta todos los factores que razonablemente pueden ser identificados.

La seguridad de presas depende de tres factores predominantes: diseño, calidad de construcción y mantenimiento-operación. En cuanto al diseño, los criterios usuales de factores de seguridad están empezando a ser cuestionados, empleándose cada vez más los criterios probabilísticos; estos son más científicos y el concepto de confiabilidad está inherente, aunque algunos expertos aún no lo consideran aceptado por la profesión. Sin embargo, hoy en día se están haciendo esfuerzos importantes para que puedan adoptarse en el diseño de presas y en la revisión de algunas de las ya construidas, lo cual permitirá tomar las medidas necesarias para que las nuevas presas sean más seguras y económicas, y para que las ya construidas también resulten así.

Es importante mencionar que en la etapa de diseño, como sucede en otros países, debe implantarse un panel que revise el diseño del consultor o del grupo que lo efectúa y que, además, lo haga oportunamente para que las medidas que se consideren necesarias se puedan llevar a cabo.

Es importante tomar en cuenta la experiencia y competencia del ingeniero en el diseño, construcción y supervisión de presas. Así como impulsar la preparación y participación de expertos para la revisión de los conceptos y características principales en materia de seguridad de presas; en la actualización y mejora de los esquemas estructurales implementados en la evaluación del riesgo, como en la elaboración de planes de inspección de forma periódica, planes de atención a emergencias, etc.

También como aspecto complementario, es necesario promover el entrenamiento local del personal para el monitoreo de la seguridad en las presas.

Tomar en cuenta que los estudios y análisis requeridos, aunque se realicen de forma fraccionaria, finalmente deben de integrar un solo diagnóstico, un solo estudio completo, homogéneo, que tenga los fundamentos necesarios para contar con un registro confiable y actualizado, para futuras consultas y modificaciones, que permita continuidad en el mantenimiento o recuperación de la seguridad de presas.

La presa en estudio fue clasificada como una obra de alto riesgo de tipo geotécnico, sobre todo por los dos deslizamientos del enrocamiento sucedidos en los años de 1979 y 1983. La reparación de estos deslizamientos incluyó la incorporación de una berma de 25 metros que ha logrado estabilizar el talud aguas abajo de la cortina. Sin embargo, dadas las observaciones de la visita de inspección, y de acuerdo con la información del Archivo Histórico del Agua, al talud aguas abajo se le colocó una transición de materiales granulares para recibir el enrocamiento; aguas arriba sólo se puso enrocamiento a volteo. En tal situación, podrían presentarse nuevamente deslizamientos o acomodo de las rocas, pero que no provocarían una falla por el cuerpo de la cortina.

De acuerdo con el testimonio de los usuarios durante la visita de inspección, y los trabajos geotécnicos de campo, la presa se ha mantenido con niveles bajos durante muchos años, por lo que no se ha podido reportar el comportamiento de la cortina ante niveles altos, principalmente enfocados a la detección de filtraciones por el cuerpo y por la tubería de la obra de toma. Es necesario, sin embargo, la instalación de testigos superficiales y dar un monitoreo continuo a las deformaciones de la cortina y a su relación con los niveles del vaso.

Hidrológicamente la presa es segura, y el vertedor es suficiente para desalojar los excedentes ante una avenida extraordinaria con periodo de retorno de 10,000 años.

Las acciones de mitigación de riesgos, descritas en el apartado anterior, están enfocadas al mantenimiento general que debe darse a la presa para que no permanezca descuidada, tal como se observó durante la visita de inspección. La falta de mantenimiento puede ocasionar problemas futuros que pondrían en riesgo la integridad de la cortina y las obras complementarias.

Anexo A

Información de las 172 principales presas en México:

Núm.	Clave SGT	Nombre oficial	Nombre común	Capacidad al NAMO (hm³)	Región hidrológico-administrativa	Usos
1	693	Dr. Belisario Domínguez	La Angostura	15 549.20	Frontera Sur	G
2	706	Netzahualcóyotl	Malpaso o Raudales	12 373.10	Frontera Sur	G, I, C
3	1453	Infiernillo	Infiernillo	9 340.00	Balsas	G, C
4	2754	Presidente Miguel Alemán	Temascal	8 119.10	Golfo Centro	G, I, C
5	2516	Aguamilpa Solidaridad	Aguamilpa	5 540.00	Lerma-Santiago-Pacífico	G, I
6	345	Internacional La Amistad	La Amistad	4 174.00	Río Bravo	G, I, A, C
7	3617	General Vicente Guerrero Consumador de la Independencia Nacional	Las Adjuntas	3 910.00	Golfo Norte	A, I
8	3440	Internacional Falcón	Falcón	3 258.00	Río Bravo	A, C, G
9	3148	Adolfo López Mateos	El Humaya o Varejonal	3 086.61	Pacífico Norte	G, I
10	3243	Álvaro Obregón	El Oviachic	2 989.20	Noroeste	G, I, A
11	3218	Miguel Hidalgo y Costilla	El Mahone	2 921.42	Pacífico Norte	G, I
12	3216	Luis Donaldo Colosio	Huites	2 908.10	Pacífico Norte	G, I
13	750	La Boquilla	Lago Toronto	2 893.57	Río Bravo	G, I
14	1084	Lázaro Cárdenas	El Palmito	2 872.97	Cuencas Centrales del Norte	I, C
15	3320	Plutarco Elías Calles	El Novillo	2 833.10	Noroeste	G, I
16	2742	Miguel de la Madrid	Cerro de Oro	2 599.51	Golfo Centro	I
17	3210	José López Portillo	El Comedero	2 580.19	Pacífico Norte	G, I
18	2538	Leonardo Rodríguez Alcaine	El Cajón	2 551.70	Lerma-Santiago-Pacífico	G
19	2519	Ing. Alfredo Elías Ayub	La Yesca	2 292.92	Lerma-Santiago-Pacífico	G
20	3203	Gustavo Díaz Ordaz	Bacurato	1 859.83	Pacífico Norte	G, I
21	1463	Ing. Carlos Ramírez Ulloa	El Caracol	1 458.21	Balsas	G
22	1679	Ing. Fernando Hiriart Balderrama	Zimapán	1 390.11	Golfo Norte	G
23	701	Manuel Moreno Torres	Chicoasén	1 384.86	Frontera Sur	G
24	494	Venustiano Carranza	Don Martín	1 312.86	Río Bravo	A, C, I
25	2689	Cuchillo-Solidaridad	El Cuchillo	1 123.14	Río Bravo	A, I
26	688	Ángel Albino Corzo	Peñitas	1 091.10	Frontera Sur	G
27	3241	Adolfo Ruíz Cortines	Mocúzari	950.30	Noroeste	G, I, A
28	2708	Presidente Benito Juárez	El Marqués	946.50	Pacífico Sur	I
29	1436	Solís	Solís	800.03	Lerma-Santiago-Pacífico	I, C
30	3490	Ing. Marte R. Gómez	El Azúcar	781.70	Río Bravo	I
31	3302	Lázaro Cárdenas	La Angostura	703.38	Noroeste	A, I
32	3229	Sanalona	Sanalona	673.47	Pacífico Norte	G, I, A
33	2206	Constitución de Apatzingán	Chilatán	601.19	Balsas	I, C
34	3211	Josefa Ortíz de Domínguez	El Sabino	595.30	Pacífico Norte	I
35	3557	Estudiante Ramiro Caballero Dorantes	Las Ánimas	571.07	Golfo Norte	I
36	2257	José María Morelos	La Villita	540.80	Balsas	G, I
37	1710	Cajón de Peña	Tomatán o El Tule	466.69	Lerma-Santiago-Pacífico	A, I
38	3693	Chicayán	Paso de Piedras	456.92	Golfo Norte	I
39	2382	Tepuxtepec	Tepuxtepec	425.20	Lerma-Santiago-Pacífico	G, I
40	3154	Ing. Aurelio Benassini Vizcaino	El Salto o Elota	415.00	Pacífico Norte	I, C
41	1825	Manuel M. Diéguez	Santa Rosa	403.00	Lerma-Santiago-Pacífico	G
42	1477	El Gallo	El Gallo	400.04	Balsas	I
43	2126	Valle de Bravo	Valle de Bravo	394.39	Balsas	A
44	813	Francisco I. Madero	Las Vírgenes	355.29	Río Bravo	I, C
45	49	Plutarco Elías Calles	Calles	350.00	Lerma-Santiago-Pacífico	I
46	1045	Francisco Zarco	Las Tórtolas	309.24	Cuencas Centrales del Norte	I, C
47	2826	Manuel Ávila Camacho	Valsequillo o Balcón del Diablo	303.70	Balsas	I
48	3202	Ing. Guillermo Blake Aguilar	El Sabiná	300.60	Pacífico Norte	I, C
49	2631	José López Portillo	Cerro Prieto	300.00	Río Bravo	A, I
50	825	Ing. Luis L. León	El Granero	292.47	Río Bravo	I, C
51	1507	Vicente Guerrero	Palos Altos	250.00	Balsas	I
52	1782	General Ramón Corona Madrigal	Trigomil	250.00	Lerma-Santiago-Pacífico	I
53	1035	Federalismo Mexicano	San Gabriel	245.43	Río Bravo	A, C, I
54	3478	Presidente Lic. Emilio Portes Gil	San Lorenzo	230.78	Golfo Norte	I
55	4365	Solidaridad	Trojes	220.81	Lerma-Santiago-Pacífico	I
56	3239	Abelardo L. Rodríguez	Hermosillo	219.50	Noroeste	A, C, I
57	2167	El Bosque	El Bosque	202.40	Balsas	A, C
58	2286	Melchor Ocampo	El Rosario	200.00	Lerma-Santiago-Pacífico	I
59	2136	Villa Victoria	Villa Victoria	185.72	Balsas	A

Núm.	Clave SGT	Nombre oficial	Nombre común	Capacidad al NAMO (hm³)	Región hidrológico-administrativa	Usos
60	1583	Endhó	Endhó	182.00	Aguas del Valle de México	I, C
61	1315	Ignacio Allende	La Begoña	150.05	Lerma-Santiago-Pacífico	I, C
62	1926	Tacotán	Tacotán	149.24	Lerma-Santiago-Pacífico	I, C
63	1702	Basilio Vadillo	Las Piedras	145.72	Lerma-Santiago-Pacífico	I
64	3747	El Chique	El Chique	139.95	Lerma-Santiago-Pacífico	I
65	1203	Santiago Bayacora	Bayacora	130.05	Pacífico Norte	I
66	3308	Ing. Rodolfo Félix Valdéz	El Molinito	130.04	Noroeste	I, C
67	1499	Revolución Mexicana	El Guineo	127.00	Pacífico Sur	I, C
68	917	El Tintero	El Tintero	125.08	Río Bravo	I, C
69	2011	Huapango	Huapango	121.50	Golfo Norte	I
70	3790	Gobernador Leobardo Reynoso	Trujillo	118.07	Cuencas Centrales del Norte	I
71	1365	La Purísima	La Purísima	110.03	Lerma-Santiago-Pacífico	I, C
72	1459	Andrés Figueroa	Las Garzas	102.50	Balsas	I
73	1057	Presidente Guadalupe Victoria	El Tunal	90.22	Pacífico Norte	I
74	3197	Lic. Eustaquio Buelna	Guamúchil	90.06	Pacífico Norte	A, C, I
75	731	Abraham González	Guadalupe	85.44	Noroeste	I, C
76	1887	El Salto	El Salto	85.00	Lerma-Santiago-Pacífico	A
77	2202	Cointzio	Cointzio	84.80	Lerma-Santiago-Pacífico	A, I
78	5133	Derivadora Las Blancas	Las Blancas	84.00	Río Bravo	I, C
79	836	Las Lajas	Las Lajas	83.27	Río Bravo	I, C
80	1800	Ing. Elías González Chávez	Puente Calderón	80.00	Lerma-Santiago-Pacífico	A
81	1040	Francisco Villa	El Bosque	78.70	Pacífico Norte	I
82	237	Abelardo L. Rodríguez	Rodríguez o Tijuana	76.90	Península de Baja California	A, C
83	3807	Miguel Alemán	Excamé	71.61	Lerma-Santiago-Pacífico	G, I, C
84	2886	Constitución de 1917	Presa Hidalgo	69.86	Golfo Norte	I
85	711	Juan Sábines	El Portillo II o Cuxquepeques	68.15	Frontera Sur	I
86	2113	San Andrés Tepetitlán	Tepetitlán	67.62	Lerma-Santiago-Pacífico	I
87	2359	San Juanico	La Laguna	60.48	Balsas	I, C
88	2005	Guadalupe	Guadalupe	56.70	Aguas del Valle de México	I
89	4677	Ing. Juan Guerrero Alcocer	Vinoramas	55.00	Pacífico Norte	A, C, I
90	3562	República Española	Real Viejo o El Sombrero	54.78	Golfo Norte	I
91	3639	San José Atlanga	Atlanga	54.50	Balsas	I
92	2931	San Ildefonso	El Tepozán	52.75	Golfo Norte	I
93	1639	Requena	Requena	52.50	Aguas del Valle de México	I
94	4531	Ing. Guillermo Lugo Sanabria	La Pólvora	51.70	Lerma-Santiago-Pacífico	I
101	1918	Ing. Santiago Camarena	La Vega	44.00	Lerma-Santiago-Pacífico	I
102	1666	La Laguna	Tejocotal	43.53	Golfo Centro	G
103	1664	Taxhimay	Taxhimay	42.80	Aguas del Valle de México	I
104	3267	Cuahtémoc	Santa Teresa	42.50	Noroeste	I
105	241	El Carrizo	El Carrizo	40.87	Península de Baja California	A
106	2668	Rodrigo Gómez	La Boca	39.49	Río Bravo	A
107	514	Laguna de Amela	Tecomán	38.34	Lerma-Santiago-Pacífico	I
108	4559	Guaracha	San Antonio	38.20	Lerma-Santiago-Pacífico	I
109	2024	José Antonio Alzate	San Bernabé	35.31	Lerma-Santiago-Pacífico	I
110	3782	Ing. Julián Adame Alatorre	Tayahua	34.48	Lerma-Santiago-Pacífico	I
111	1120	Peña del Águila	Peña del Águila	31.73	Pacífico Norte	I
112	3524	Pedro José Méndez	Pedro José Méndez	31.26	Golfo Norte	A, I
113	1995	Danxhó	Danxhó	31.05	Golfo Norte	I
114	1505	Valerio Trujano	Tepecoacuilco	31.01	Balsas	A, I
115	1757	El Cuarenta	El Cuarenta	30.60	Lerma-Santiago-Pacífico	I
116	1945	El Tule	El Tule	30.00	Lerma-Santiago-Pacífico	I
117	2829	Necaxa	Necaxa	29.06	Golfo Centro	G

Núm.	Clave SGT	Nombre oficial	Nombre común	Capacidad al NAMO (hm³)	Región hidrológico-administrativa	Usos
118	2458	La Laguna	El Rodeo	28.00	Balsas	I
119	3827	Ramon López Velarde	Boca del Tesorero	27.00	Lerma-Santiago-Pacífico	I
120	3739	El Cazadero	El Cazadero	26.85	Cuencas Centrales del Norte	I
121	2848	Tenango	Tenango	26.82	Golfo Centro	G
122	2840	Los Reyes	Omittepec	26.05	Golfo Centro	G
125	1357	Peñuelitas	Peñuelitas	23.83	Lerma-Santiago-Pacífico	I
126	2282	Malpaís	La Ciénega	23.74	Lerma-Santiago-Pacífico	I
127	3661	La Cangrejera	La Cangrejera	23.50	Golfo Centro	I
128	2298	Los Olivos	Los Olivos	21.75	Balsas	I
133	2013	Ignacio Ramírez	La Gavia	20.50	Lerma-Santiago-Pacífico	I
134	2671	Salinillas	Salinillas	19.00	Río Bravo	I
135	2161	Aristeo Mercado	Wilson	18.34	Lerma-Santiago-Pacífico	I
136	3297	Ignacio R. Alatorre	Punta de Agua	17.78	Noroeste	I
137	2045	Nadó	Nadó	16.80	Golfo Norte	I
138	152	El Niágara	El Niágara	16.19	Lerma-Santiago-Pacífico	I
139	2	Abelardo L. Rodríguez	Abelardo L. Rodríguez	15.99	Lerma-Santiago-Pacífico	I
140	2144	Agostitlán	Mata de Pinos	15.95	Balsas	I
141	2194	Tercer Mundo	Chincua	15.58	Lerma-Santiago-Pacífico	I
142	1078	Isidoro Jerónimo Hernández	Santa Elena	15.10	Pacífico Norte	I
145	1879	La Red	La Red	14.25	Lerma-Santiago-Pacífico	I
146	2400	Urepetiro	Urepetiro	13.00	Lerma-Santiago-Pacífico	I
147	2037	Madín	Madín	12.95	Aguas del Valle de México	A
148	2830	Nexapa	Nexapa	12.50	Golfo Centro	G
149	1989	La Concepción	La Concepción	12.11	Aguas del Valle de México	I
150	3850	Santa Rosa	Santa Rosa	11.37	Cuencas Centrales del Norte	I
151	118	Derivadora Jocoque	Derivadora Jocoque	10.98	Lerma-Santiago-Pacífico	I
152	1935	Tenasco	Boquilla de Zaragoza	10.50	Lerma-Santiago-Pacífico	I
153	2253	Jaripo	Jaripo	10.20	Lerma-Santiago-Pacífico	I
154	1354	El Palote	El Palote	10.01	Lerma-Santiago-Pacífico	A
155	2003	Francisco José Trinidad Fabela	Isla de las Aves o El Salto	9.93	Lerma-Santiago-Pacífico	I
156	2321	Pucuato	Pucuato	9.58	Balsas	I
157	1462	La Calera	La Calera	9.39	Balsas	I
163	881	El Rejón	El Rejón	6.53	Río Bravo	A
164	2207	Copándaro	Copándaro de Corrales	6.50	Lerma-Santiago-Pacífico	I
165	1773	El Estribón	El Estribón	6.40	Lerma-Santiago-Pacífico	A, I
166	1307	La Golondrina	La Golondrina	6.00	Lerma-Santiago-Pacífico	I
167	67	La Codorniz	La Codorniz	5.37	Lerma-Santiago-Pacífico	I
168	2347	Sabaneta	Sabaneta	5.19	Balsas	I
169	1585	La Esperanza	La Esperanza	3.92	Golfo Norte	I
170	242	Emilio López Zamora	Ensenada	2.73	Península de Baja California	A
171	2954	La Venta	La Venta	2.48	Golfo Norte	I
172	158	Derivadora Pabellón	Derivadora Potrerillos	2.04	Lerma-Santiago-Pacífico	I
				121 743		

Nota: Abreviaturas = G: Generación de energía eléctrica, I: Irrigación, A: Uso abastecimiento público, C: Control de avenidas.
 NAMO: Nivel de Aguas Máximas Ordinarias. La presa Pico del Águila no tiene un nombre común, es por ello que se utiliza el nombre oficial como nombre común.
 La clave corresponde al Inventario Nacional de Presas.
 Fuente: CONAGUA. Subdirección General Técnica. 2013.

Referencias

- Salas M. A., Jiménez M. (2013); ***Inundaciones***, Serie, Fascículos, CENAPRED Centro Nacional de Prevención de Desastres, Secretaría de Gobernación. México D.F.

Disponible en versión Electrónica:

<http://www.files.cenapred.gob.mx/es/publicacionesRelevantes/FASCICULO_INUNDACIONES_2013.pdf>.

[Consulta: septiembre 2014].

- Bitrán D., et al, (2003); ***Impacto Socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2002***, Capítulo 4 de la Serie Impacto Socioeconómico de los desastres en México, CENAPRED, Secretaría de Gobernación. México D.F.

Disponible en versión Electrónica:

<http://www.proteccioncivil.gob.mx/work/models/ProteccionCivil/Resource/375/1/images/no_4.pdf>.

[Consulta: septiembre 2014].

- UNESCO (2014); ***Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo 2014***, Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, Agua y Energía, Datos y Estadísticas. Edición 2014.

Disponible en versión Electrónica:

< <http://unesdoc.unesco.org/images/0022/002269/226961s.pdf> >

[Consulta: septiembre 2014].

- Rosales M., (2009); ***Desarrollo de un protocolo para la evaluación de la seguridad de Presas en Venezuela: Aplicación al Embalse de Tres Ríos “El Diluvio”***. Tesis de Maestría en Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente, Universidad Politécnica de Valencia, Venezuela, abril de 2009.

<www.ipresas.upv.es_docs_Protocolo_Seguridad_Presas_Venezuela>. [Consulta: septiembre 2014].

- CONAGUA (2010); **Estadísticas del Agua en México, Edición 2010**, Capítulo 4 Infraestructura Hidráulica. Comisión Nacional del Agua, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México DF.

Disponible en versión Electrónica:

<[http://www.cmic.org/comisiones/Sectoriales/infraestructura hidraulica/publicaciones_conagua/Gesti%C3%B3n%20del%20agua/Estadisticas%20del%20Agua%20en%20Mexico-2010.pdf](http://www.cmic.org/comisiones/Sectoriales/infraestructura_hidraulica/publicaciones_conagua/Gesti%C3%B3n%20del%20agua/Estadisticas%20del%20Agua%20en%20Mexico-2010.pdf)>

[Consulta: septiembre 2014].

- CENAPRED. (2014); **Inundaciones**, Serie, Fascículos, CENAPRED Centro Nacional de Prevención de Desastres, Secretaría de Gobernación. México D.F.

Disponible en versión Electrónica:

< <http://www.cenapred.unam.mx/es/Publicaciones/archivos/3-FASCCULOINUNDACIONES.PDF>>.

[Consulta: septiembre 2014].

- CONAGUA (2011); **Estadísticas del Agua en México, Edición 2011**, Capítulo 4 Infraestructura Hidráulica. Comisión Nacional del Agua, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México DF.

Disponible en versión Electrónica:

http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/SINA/Capitulo_4.pdf >.

[Consulta: septiembre 2014].

- CONAGUA (2008); **Programa Nacional Hídrico 2007-2012**. Comisión Nacional del Agua, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México D.F.

Disponible en versión electrónica:

Febrero de 2008. <www.conagua.gob.mx_CONAGUA07_Contenido_Documentos_PNH_05-08>.

[Consulta: octubre 2014].

- Alonso F. M., Zaragoza G.G. (2001). **Normativa sobre Seguridad de Presas en España**. Artículo para el congreso Especial XX Congreso Internacional de Grandes Presas. Marzo 2001.

Disponible en versión electrónica:

<
http://hispagua.cedex.es/sites/default/files/hispagua_articulo//obraspub/075-83.pdf>.

[Consulta: octubre 2014].

- Carrillo S. J. M., (2009). **Evaluación de la Seguridad Hidrológico-Hidráulica de la Presa de Compuerto (T.M. de Velilla del Río Carrión, Provincia de Palencia) perteneciente a la Cuenca Hidrográfica del Duero**. Tesis para obtener el título de Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Valencia. septiembre de 2009. Venezuela.

Disponible en versión electrónica:

< http://www.upct.es/hidrom/publicaciones/Tesis_pfc/PFC_UPV-Jose_Maria_Carrillo_Sanchez.pdf>.

[Consulta: octubre 2014].

- Monie N., (2008); **Sécurité de Barrages en France: qui fait quoi?**, Artículo para: Bureau de la prévention des inondations et de la gestion des rivières Sous-direction des milieux aquatiques et de la gestion de l'eau de la direction de l'eau, Instituto de Riesgos Mayores. Grenoble. Francia.

Disponible en versión electrónica:

<http://www.irma-grenoble.com/PDF/risques_infos/N20/20article03.pdf>

[Consulta: octubre 2014].

- SECOFI., (1993); **NORMA Oficial Mexicana NOM-012-SCFI-1994, Medición de flujo de agua en conductos cerrados de sistemas hidráulicos-Medidores para agua potable fría-Especificaciones (esta Norma cancela a la NOM-012-SCFI-1993)**. Comisión Federal de Mejora Regulatoria. Secretaría de Economía. México DF.

Disponible en versión electrónica:

<
www.conagua.gob.mx_CONAGUA07_Noticias_Unidad13NMXAA01419801849.59.59.1.NOM012definitiva_01>

[Consulta: octubre 2014].

- INEGI (2014); ***Estadísticas a propósito del... Día Mundial del Agua (22 de marzo)***. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México DF.

Disponible en versión electrónica:

< <http://www.inegi.org.mx/saladeprensa/aproposito/2014/agua0.pdf> >

[Consulta: octubre 2014].

- Barthelemy F., et al, (2004); ***La réglementation en matiere de securite des barrages es des digues.***”, Conseil General des Mines. Inspection Generale de l’enviroment. Francia.

Disponible en versión electrónica:

< <http://www.ladocumentationfrancaise.fr/var/storage/rapports-publics/054000110.pdf>>

[Consulta: octubre 2014].

- Aldo I. Ramírez, (2011). ***La seguridad de Presas desde la perspectiva hidrológica.*** Artículo publicado en Tecnología y Ciencias del Agua. Asociación Mexicana de Hidráulica. Junio 2011. México DF.

Disponible en versión electrónica:

< http://www.revistatlaloc.org.mx/edicion_51/art_03_edi51.htm>

[Consulta: septiembre 2014].

- Ministerio de Medio Ambiente, (2011). ***Clasificación de Presas en función de su riesgo potencial.*** Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas. Noviembre 1996. Madrid.

Disponible en versión electrónica:

< http://www.magrama.gob.es/es/agua/publicaciones/clasificacion_presas_tcm7-28834.pdf >

[Consulta: septiembre 2014].

(Ref pag 31)

- Jimenez Cisneros Blanca y Galizia Tundisi José, (2012). ***Diagnóstico del agua en las Américas.*** Foro Consultivo Científico y Tecnológico. Marzo 2012. México.

Disponible en versión electrónica:

< http://www.foroconsultivo.org.mx/libros_editados/agua_2012/brasil.pdf >

[Consulta: septiembre 2014].

- ANA, (2014). **La Seguridad de Presas en Brasil, Ingeniería al servicio de la sociedad**. Agencia Nacional del Agua, El Banco Mundial, Ministerio de Medio Ambiente. Enero 2014. Brasil.

Disponible en versión electrónica:

<http://www-wds.worldbank.org/external/default/WDSContentServer/WDSP/IB/2014/07/14/000442464_20140714142342/Rendered/PDF/865000SPANISH00a0de0Barragens0FINAL.pdf>

[Consulta: septiembre 2014].

- Hebe Marta Barber, (2011). **Plan de Acción durante Emergencias, Contenidos mínimos**. Organismo Regulador de Seguridad de Presas. España.

Disponible en versión electrónica:

< <http://www1.herrera.unt.edu.ar/faceyt/wp-content/uploads/2011/08/07-BARBER-PLANES-ACCION-DURANTE-EMERGENCIAS-EN-PRESAS.pdf> >

[Consulta: septiembre 2014].

- Comité Nacional Español de Grandes Presas, (2013). **Análisis de Riesgos Aplicado a la Gestión de Seguridad de Presas y Embalses**. Guía Técnica de Explotación de Presas y Embalses, Tomo 1. Edición 2013. España

Disponible en versión electrónica:

<http://www.spancold.es/Archivos/Monografia_Analisis_Riesgos.pdf>

[Consulta: septiembre 2014].

- CONAGUA (2010); Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, Geotecnia en Suelos Inestables. Comisión Nacional del Agua. Diciembre 2010, México DF.

Disponible en versión Electrónica:

<
<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/Libros/20GeotecniaEnSuelosInestables.pdf>>.

[Consulta: octubre 2014].

- CONAGUA (2012); Servicio Meteorológico Nacional: 135 años de historia en México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Comisión Nacional del Agua. Marzo 2012, México DF.

Disponible en versión Electrónica:

<
<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/CGSMN-1-12.pdf>>.

[Consulta: octubre 2014].

- Department of Homeland Security, (2007). **Dams Sector Security Awareness Guide**. A Guide for Owners and Operators. United States.

Disponible en versión electrónica:

<
http://www.damsafety.org/media/documents/DownloadableDocuments/DamsSectorSecurityAwarenessGuide_508.pdf>

[Consulta: octubre 2014].

- Marengo Mogollón Humberto, (2012). **Los retos y oportunidades del desarrollo de la infraestructura hidráulica, una proyección al 2025**. Instituto de Ingeniería, UNAM, Semana del Agua. Abril 2012. México, D.F:

Disponible en versión electrónica:

<<http://www.iingen.unam.mx/es-mx/BancoDeInformacion/MemoriasdeEventos/SemanaAgua2012/Jueves/HumbertoMarengo.pdf>>

[Consulta: octubre 2014].

- García Cerezo Pablo, (2012). **Obras de nuevas presas en España, en Ejecución**. Junio 2012. Madrid, España:

Disponible en versión electrónica:

< http://www.magrama.gob.es/es/agua/temas/delimitacion-y-restauracion-del-dominio-publico-hidraulico/Obras_de_nuevas_presas_en_Espa%C3%B1a_en_ejecuci%C3%B3n_-_Viernes_15_de_junio_tcm7-212129.pdf>
[Consulta: octubre 2014].

Páginas electrónicas

- Academia.edu (2015); Comité Español de Grandes Presas de la cuenca del Ebro en Función del Riesgo Potencial. Unated States of America. Disponible en:
http://www.academia.edu/8941878/COMIT%89_NACIONAL_ESPA%C3%91OL_DE_GRANDES_PRESAS_CLASIFICACI%93N_DE_LAS_PRESAS_ESTATALES_DE_LA_CUENCA_DEL_EBRO_EN_FUNCI%93N_DEL_RIESGO_POTENCIAL . Consultado en Octubre 2014.
- CONAGUA, (2012); INAI-Sistema Infomex, Portal de Obligaciones de Transparencia. Comisión Nacional del Agua. Marco Normativo. Disponible en: <http://www.cna.gob.mx/Contenido.aspx?n1=2>
Consultado en Octubre 2014
- SAGARPA, (2015); Normas Oficiales Mexicanas Pesqueras y Acuícolas. Secretarías de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Disponible en:
http://www.conapesca.sagarpa.gob.mx/wb/cona/cona_cuadro_de_noms
Consultado en Octubre 2014.
- Blogspot (2009); La inundación de 1973. Disponible en:
http://irapatoguanajuato.blogspot.mx/2009/02/la-inundacion-de-1973_22.html
Consultado en Octubre 2014.
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, (2015); Legislación aplicable en materia de Seguridad de Presas. Gobierno de España. Disponible en:
<http://www.magrama.gob.es/es/agua/temas/seguridad-de-presas-y-embalses/marco-legislativo/legislacion.aspx>

Consultado en Octubre 2014.

- Patt Morrison (1976); Hurricane Liza devastates La Paz. Los Angeles Times. Disponible en: <http://framework.latimes.com/2014/06/25/hurricane-liza-devastates-la-paz/>
Consultado en Septiembre 2014.
- Kim Zetter (2013); Hacker Breached U.S. Army Database Containing Sensitive Information on Dams. Disponible en: <http://www.wired.com/2013/05/hacker-breached-dam-database/>
Consultado en Septiembre 2014. (Ref pag 25)
- Cátedra UNESCO IMTA (2012); Noticia sobre el debate entre Brasil y Portugal sobre Seguridad de Presas. Atl: Portal de Agua en México. Disponible en: http://www.atl.org.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=5475:brasil-y-portugal-debatiran-sobre-seguridad-de-presas&catid=138:noticias-internacionales&Itemid=780
Consultado en Septiembre 2014.
- ECOLOGÍA VERDE, (2015); Desarrollo sostenible para un mundo mejor. Distribución del agua en el mundo. Disponible en: <http://www.ecologiaverde.com>
Consultado en Octubre 2014.
- EXCELSIOR, (2013); Desarrollo sostenible para un mundo mejor. Distribución del agua en el mundo. Disponible en: <http://www.excelsior.com.mx/nacional>
Consultado en Octubre 2014.
- République Francaise, (2012); **Risques Auvergne**. Francia. Disponible en: <http://risques.auvergne.pref.gouv.fr/quest-ce-quun-risque-majeur>
Consultado en Octubre 2014.
Consultado en Octubre 2014.