

Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas

Facultad de Construcciones

Departamento de Ingeniería Hidráulica



TRABAJO DE DIPLOMA

TÍTULO: Tendencias actuales en el análisis de la integridad de presas de tierra

Autora: Ibeth Leiva Llerena

Tutor: Dr. Lamberto Álvarez Gil

Santa Clara

Curso: 2016-2017

"Año 59de la Revolución."

DEDICATORIA

A mis padres por guiarme en la vida, apoyarme siempre y por su constante preocupación y ayuda durante toda mi carrera.

A mis abuelos por ayudarme en todo lo necesario y preocuparse siempre por mí.

A mi novio por ayudarme y acompañarme siempre.

A mi amiga Beatriz por la amistad y el cariño que siempre me ha brindado.

Mi tutor Lamberto Álvarez por toda la ayuda y los consejos que me brindó para poder realizar este trabajo.

Y a toda mi familia.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, a mi hermanita, a mis abuelos, a mi tío, a mi novio, a mi amiga Beatriz, a mi tutor por brindarme sus conocimientos y su tiempo, y a toda mi familia.

RESUMEN

En el presente trabajo se realiza un estudio de los antecedentes relacionados con la integridad de las presas de tierra. Mediante un estudio bibliográfico se realizan varias clasificaciones de las presas de tierra según distintos autores y se mencionan algunos criterios para la evaluación de las mismas. Se define el principal objetivo de la auscultación y los componentes básicos de los equipos de medición. Se resumen los factores de los que depende la estabilidad estática e interna de las presas de tierra y se muestra un análisis de métodos que facilitan la solución de problemas de estabilidad de taludes. Se hace una investigación de algunas presas que han fallado en Cuba y en el mundo, haciéndose una descripción de los diferentes tipos de fallos que se han presentado y sus causas. Se estudiaron varios procedimientos para la evaluación de las presas de tierra y se propuso uno de ellos para tomarlo y adaptarlo a las condiciones de Cuba mediante un ejemplo real llegando a varias conclusiones.

ABSTRACT

In the present work a study of the antecedents related to the integrity of the earth dams is realized. Through a bibliographic study several classifications of the earth dams according to different authors are made and some criteria are mentioned for their evaluation. It defines the main objective of auscultation and the basic components of the measuring equipment. It summarizes the factors on which the static and internal stability of the earth dams depends and an analysis of methods is presented that facilitate the solution of problems of Stability of slopes. It is an investigation of some prey that have failed in Cuba and in the world, making a description of the different types of failures that have been presented and their causes. Several procedures were studied for the evaluation of the earth dams and one of them was proposed to take it and adapt it to the conditions of Cuba by means of a real example arriving at several conclusions.

TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
RESUMEN.....	iv
ABSTRACT.....	iv
INTRODUCCIÓN.....	7
CAPÍTULO 1. Revisión bibliográfica y estudio de antecedentes	11
1.1 Clasificación de las presas de materiales locales	11
1.2 Criterios para evaluar la integridad total de las presas.....	15
1.3 Auscultación en presas de tierra	17
1.4 Estabilidad estática e interna de presas de tierra.....	19
1.5 Comportamiento de presas en Cuba y en el mundo. Ejemplos de roturas de presas	23
CAPÍTULO 2. Análisis y propuesta de un procedimiento para evaluar la integridad de las presas de tierra. 27	
2.1 Propuestas de procedimientos para evaluación de seguridad de las presas de tierra	27
CAPITULO 3 EVALUACIÓN MEDIANTE UN EJEMPLO CON LOS DATOS DISPONIBLES LA INTEGRIDAD DE UNA PRESA DE TIERRA EN CUBA	61
3.1 Procedimiento para evaluación de seguridad de las presas de tierra aplicada a la presa Palmarito.....	61
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	89
Bibliografía:.....	93
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:	91
ANEXOS	¡Error! Marcador no definido.

INTRODUCCIÓN

Las presas constituyen un preciado bien de la sociedad por sus aportes al bienestar y desarrollo de los pueblos, tales como el control de crecidas, la provisión de agua para uso consuntivo, producción de energía, áreas de esparcimiento y otros.

La Seguridad de Presas ha sido un tema de constante preocupación y desarrollo, en función de exigencias de la sociedad cada vez mayores. Con los años mejoraron fuertemente los criterios de seguridad aplicados al proyecto y la construcción, así como los sistemas operativos, la auscultación y el control de las obras, a la vez que se incorporaron previsiones para situaciones de emergencias. También se avanzó con legislación específica y se crearon organismos regulatorios y de fiscalización, existiendo en la actualidad numerosos documentos en la materia.

La seguridad pública y la protección ambiental plantean exigencias cada vez mayores en materia de la administración y la seguridad de estas instalaciones. A fin de dar respuesta a las exigencias planteadas, se requieren *Sistemas de Gestión y Seguridad* de las presas y embalses, que aseguren la integridad y operación de las obras de acuerdo con las mejores prácticas y los estándares internacionalmente aceptados.

El objetivo fundamental de la Seguridad de Presas es proteger a las personas, los bienes y el medio ambiente, de los efectos perjudiciales de una operación inadecuada o del eventual colapso de las obras.

El objetivo mencionado se logra mediante la retención del embalse y el control de los flujos de salida de agua dentro de límites establecidos. Para lo mismo deberán implementarse todas las medidas razonablemente posibles tendientes a prevenir una falla de la obra, así como tomar las previsiones para actuar en caso de emergencias.

Todas las sociedades reconocen mayoritariamente los extraordinarios beneficios asociados a las grandes presas que, en el caso de los países del tercer mundo,

constituyen infraestructuras imprescindibles para el desarrollo. Entre otros provechos, las presas aseguran el abastecimiento de recursos hídricos a grandes ciudades, permiten el desarrollo de la agricultura, protegen territorios de los efectos de grandes avenidas, proporcionan energía eléctrica de un gran valor estratégico, facilitan la navegación interior en muchos países del mundo, pueden llegar a establecer nuevos ecosistemas para la flora y la fauna, contribuyen al desarrollo de actividades turísticas y de ocio en su entorno, etc.

Las presas se proyectan habitualmente de manera conservadora, se construyen adecuadamente y se explotan con meticulosidad. No obstante, resulta indiscutible que los beneficios enumerados vienen acompañados de un riesgo, muchas veces impuesto, sobre un gran número de personas y propiedades (ORSEP).

Diseño Metodológico de la Investigación

Interrogantes de la investigación:

¿Cómo Identificar las causas que ponen en riesgo la integridad de las pesas de tierra, donde se haga una descripción de las mismas, diagnóstico técnico y las soluciones necesarias para devolverle el correcto funcionamiento a la obra?

¿Cómo puede utilizarse el programa computacional GeoStudio 2007 para modelar y analizar la integridad de una presa de tierra?

Problema científico:

Cuáles son las principales causas que ponen en riesgo la seguridad integral durante proceso de explotación de las presas de tierra y los distintos métodos actuales que pueden ser utilizados como técnicas de auscultación para solucionarlos.

Hipótesis:

Si son utilizados los criterios de seguridad aplicados al diseño y la construcción de presas de tierra, entonces se podrá realizar la auscultación y control de las obras para asegurar la integridad y operación de las presas de tierra de acuerdo con los estándares internacionalmente aceptados.

Objetivo general:

Evaluar las tendencias actuales en el análisis de la integridad de las presas de tierra teniendo en cuenta el comportamiento estructural e hidráulico.

Objetivos específicos:

1. Establecer el marco teórico para la evaluación de la integridad de las presas de tierra mediante la revisión bibliográfica de las fuentes de información disponibles.
2. Caracterizar las principales causas que atentan contra la seguridad de las presas de tierra, a partir de las que han fallado en Cuba y en el mundo.
3. Identificar los diferentes métodos para la evaluación de la seguridad de las presas de tierra que garantizan su integridad.
4. Aplicar un criterio de auscultación para evaluar la integridad estructural de presas de tierra a partir de los datos disponibles de la obra en estudio.

Campo de la investigación:

La auscultación en presas de tierra.

Objeto de la investigación:

El análisis de la integridad/seguridad de las presas de tierra.

Tareas de Investigación:

1. Recopilación bibliográfica, definición, aprobación del tema y elaboración del plan de trabajo.
2. Estudio de las principales causas que han originado el fallo en presas de tierra.
3. Estudio de los métodos propuestos para la evaluación de la seguridad de las presas de tierra.

-
4. Elaboración de una metodología de trabajo para el análisis de la integridad estructural de las presas de tierra.

Novedad Científica:

La elaboración de un documento donde se resuman los principales problemas que puedan presentar las presas de tierra que ponen en riesgo su estabilidad, permitiendo definirlos y proponer soluciones para ser intervenidos y mostrar el catálogo para los mismos.

Aportes científicos:

El principal aporte de este trabajo es contribuir al aumento del conocimiento de las presas de tierra teniendo en cuenta la estabilidad estática de sus taludes, la estabilidad interna y los desplazamientos, mediante procedimientos y metodologías basadas en las investigaciones más actuales relacionadas con métodos de diseño, modelos y utilizados para el estudio de estos fenómenos, que permitirá ampliar su uso en la ingeniería hidráulica y civil de nuestro país.

Valor metodológico:

Este trabajo constituye un aporte al conocimiento sobre las presas de tierra en Cuba, es un documento donde se recogen los aspectos más importantes y relevantes a considerar para el análisis de la integridad de estas, teniendo en cuenta la estabilidad estática de sus taludes, la estabilidad interna y los desplazamientos, su uso en la docencia y práctica ingenieril permitirá establecer las ventajas y desventajas de su aplicación en nuestro país.

Estructura de la Tesis

Capítulo I: Revisión bibliográfica y estudio de antecedentes.

Capítulo II: Análisis y propuesta de un procedimiento para evaluar la integridad de las presas de tierra.

Capítulo III: Evaluar mediante un Ejemplo con los datos disponibles la integridad de una presa en Cuba.

CAPÍTULO 1. Revisión bibliográfica y estudio de antecedentes

1.1 Clasificación de las presas de materiales locales

Las presas de tierra son estructuras comunes en países en vías de desarrollo, debido a la relativa facilidad que representa la obtención del material para su construcción (Horta, 1982, Armas, 1993).

Tabla 1. Clasificación de las presas de tierra.

Presas de sección homogénea	<ul style="list-style-type: none">✓ Construida por un solo material (arcilla, arena arcillo limosa, limo, arena, etc.).✓ Pueden tener otros materiales que no contribuyen en nada a la estabilidad de la presa, como son el enrocamiento de protección aguas arriba y de protección a la corona.
Presas de sección graduada	<ul style="list-style-type: none">✓ Constan de varios materiales colocados en cierto orden y en cantidades similares.✓ Pueden ser de pantalla y de núcleo, dependiendo de la colocación del material impermeable (arcilla) en la zona del talud aguas arriba o en centro de la cortina o terraplén.
Presas de sección mixta	<ul style="list-style-type: none">✓ constan de dos materiales, uno impermeable y el otro resistente son capas de filtro entre uno y otro.✓ Pueden ser también de pantalla y de núcleo, tierra y piedra, y enrocamiento.

Sección homogénea

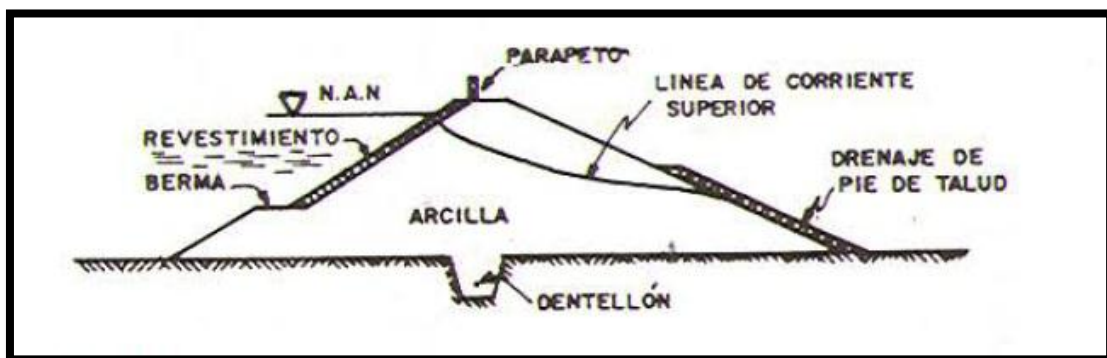


Figura 1. Sección homogénea.

Sección graduada

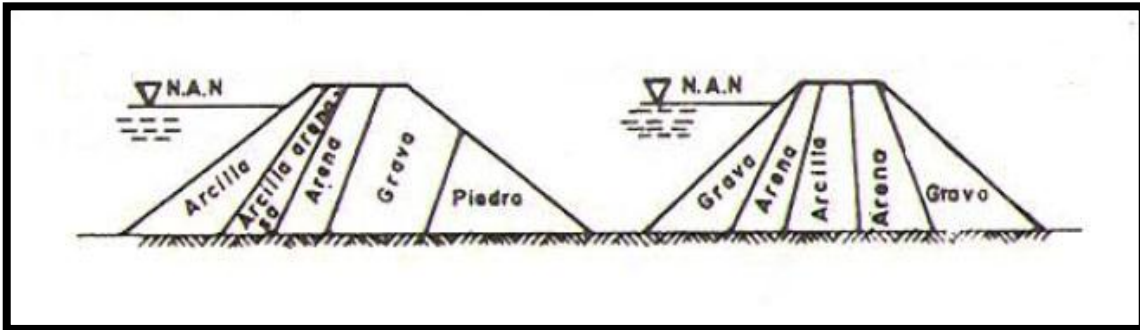


Figura 2. Sección graduada.

Sección mixta

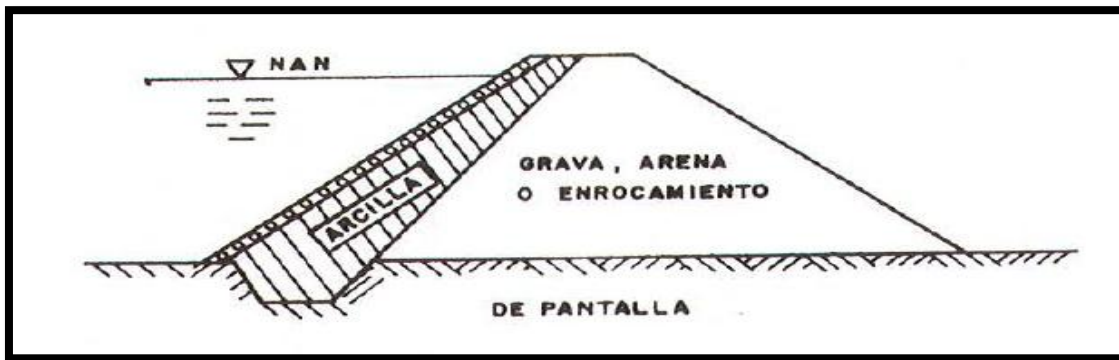


Figura 3. Sección mixta.

Sección mixta

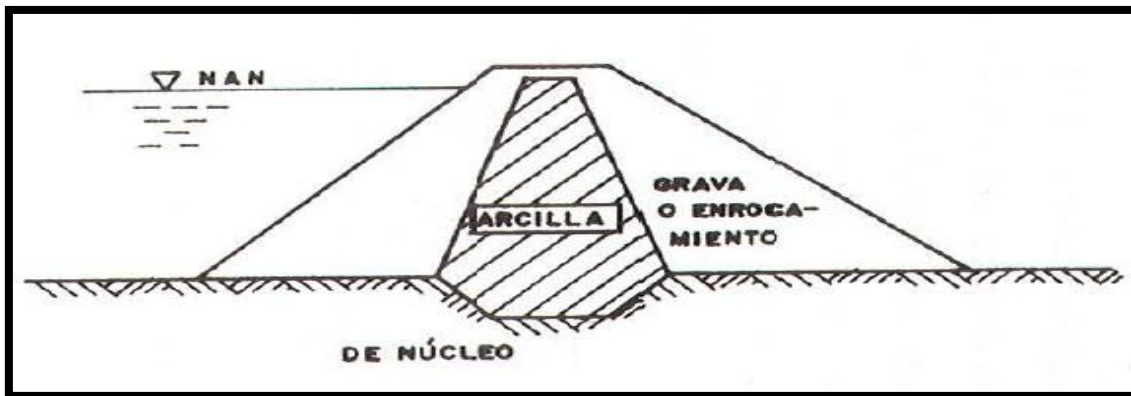


Figura 4. Sección mixta.

Sección mixta

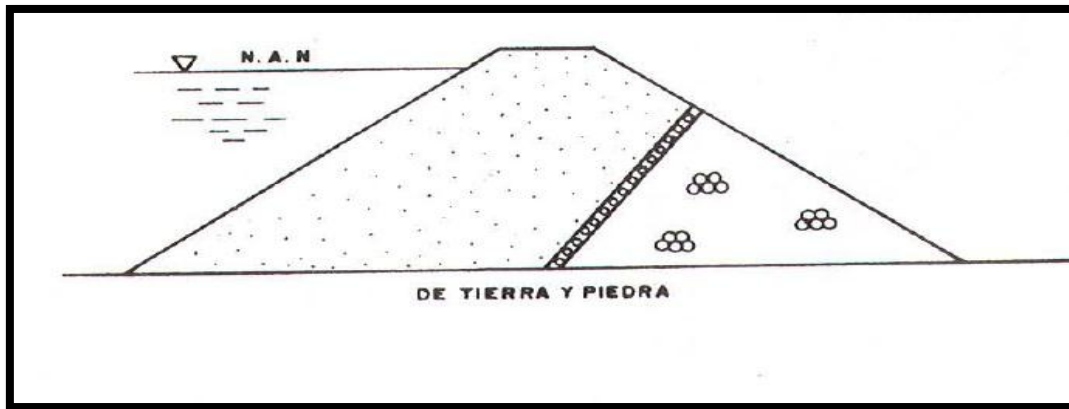


Figura 5. Sección mixta.

Tabla 2. Otra clasificación sobre las presas según (ROSALES and ESCUDER, 2010).

Presas de diafragma	<ul style="list-style-type: none"> ✓ el cuerpo del terraplén se compone de material permeable (arena, grava o roca), y se construye un diafragma delgado de material impermeable para formar una barrera hidráulica. ✓ La posición del diafragma puede variar ya sea que se coloque como una pantalla sobre el paramento aguas arriba, o como un núcleo vertical. ✓ El diafragma puede ser de tierra, de concreto, de cemento Portland, de, o de otro material.
Presas de material homogéneo	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Están compuestas de un solo material (excluyendo la protección de los paramentos ó taludes). ✓ Para lograr un buen comportamiento, el material que constituye la presa debe ser lo suficientemente impermeable, ya que permite la formación de una barrera efectiva para evitar el paso del agua.
Presas de sección compuesta	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Es el tipo más común de presas de tierra compactada. ✓ Esencialmente constan de un núcleo central impermeable, confinado por zonas de material considerablemente más permeables. ✓ La zona permeable puede ser de arena, grava, cantos o roca, o la mezcla de estos materiales. ✓ Una presa de núcleo impermeable, de anchura moderada, puede tener taludes exteriores relativamente inclinados, siempre que está constituida de material resistente.

Presas de tierra tipo diafragma

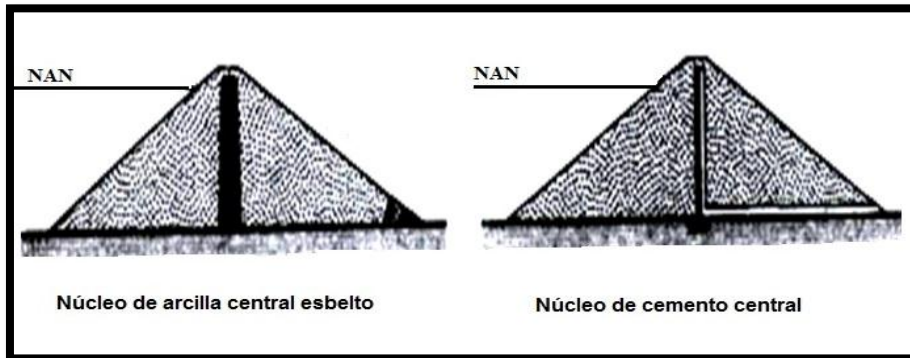


Figura 6. Presa de Diafragma.

De material homogéneo

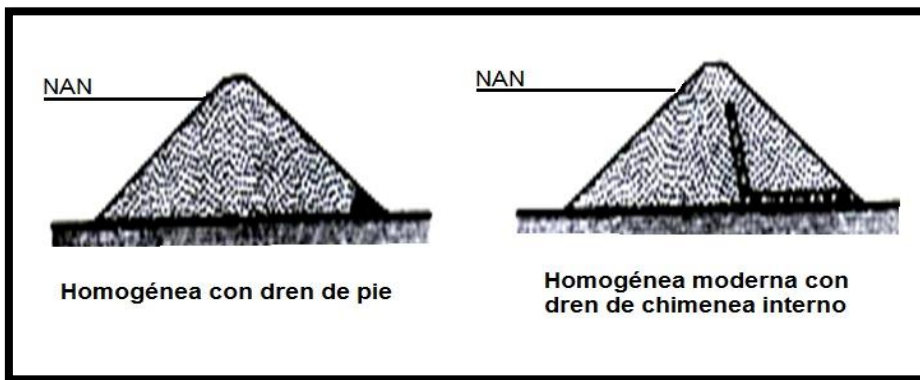


Figura 7. Presa de material homogéneo.

De sección compuesta

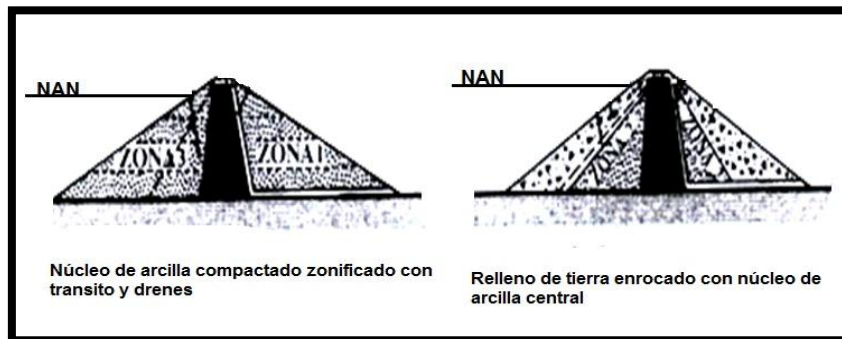


Figura 8. Presa de sección compuesta.

1.2 Criterios para evaluar la integridad total de las presas

Los objetivos principales de la evaluación del comportamiento de presas están destinados a garantizar la seguridad continua de tales obras de ingeniería, que representan un grave riesgo para los intereses existentes aguas abajo; a detectar los peligros potenciales en las primeras etapas de su desarrollo y a adoptar medidas de emergencia en caso de que algún evento ocurra. Debido a lo anterior, es importante que se cuente con mecanismos eficaces en el sitio para que el personal encargado de la operación de la presa, quienes son los que tienen la mejor oportunidad para observar frecuentemente el sitio, puedan reconocer y diagnosticar el desarrollo de las condiciones que son potencialmente adversas para la seguridad de las estructuras de control y aplicar efectivamente las medidas de mitigación en forma oportuna. Como ejemplo de condiciones que requieren de un riguroso escrutinio se mencionan las siguientes:

- Erosiones importantes, asentamientos o deslizamientos en el terraplén, empotramientos o taludes del vertedor o del canal de desfogue.
- Evidencia de tubificación, como es la descarga de aguas turbias en la zona de cualquier estructura.
- Cambios anormales en el flujo de los drenes de la cimentación, en las juntas estructurales, o en los drenes de las caras de las presas de concreto.
- Cualquier incremento en las filtraciones a través o debajo de los terraplenes o sus empotramientos.
- Cambios anormales en las mediciones de la presión de poro en los terraplenes, su cimentación o sus empotramientos, así como cambios de las subpresiones en las estructuras de concreto.
- Movimientos verticales u horizontales inusuales ó grietas en los terraplenes, en las estructuras de concreto o en sus empotramientos.
- Sumideros o hundimientos en las estructuras o en lugares adyacentes.
- Excesivas deformaciones, desplazamientos o vibraciones de las estructuras de concreto.

-
- Movimientos irregulares, excesivas deformaciones o vibraciones de las compuertas del vertedor o de las descargas.
 - Daños significativos o cambios en las estructuras, su cimentación, niveles del vaso, condiciones de las aguas subterráneas o respuestas anómalas de la instrumentación como consecuencia de eventos sísmicos.

El plan para la detección del peligro ha demostrado su valor para describir los procedimientos y medios para asegurar la identificación y evaluación confiables de emergencias potenciales o reales. Los elementos principales de este plan deben incluir:

- Una lista de las condiciones que pueden indicar una emergencia existente o potencial, tal como los descritos en la lista anterior.
- Una descripción de los datos y de los sistemas de recolección de información, el arreglo del monitoreo, los procedimientos de inspección y cualquier otra disposición para la detección temprana.

Los procedimientos, ayudas e instrucciones para interpretar la información y los datos para determinar la severidad y la magnitud de cualquier emergencia existente o potencial.

Para complementar el plan para la detección eficaz del peligro, se requiere de un plan para operaciones de emergencia y reparaciones que proporcione una guía al personal en el sitio para tomar decisiones operativas ante diversos tipos de emergencias. Tal plan debe identificar claramente la necesidad y los procedimientos para el aseguramiento del equipo, materiales, operaciones y otras necesidades para realizar las reparaciones de emergencia.

La síntesis anterior demuestra que los programas de evaluación del comportamiento de presas contienen una característica común a través de todos sus muy importantes aspectos: el factor humano; es decir, que aunque el programa contenga las guías bien establecidas para la inspección, medición, evaluación y reporte relacionadas

con el comportamiento de la presa, su éxito depende completamente de la buena voluntad y del empeño del personal involucrado (FLORES, 2012)

1.3 Auscultación en presas de tierra

El principal objeto de la auscultación es la ayuda en la observación del comportamiento de la presa. La tendencia creciente a la centralización, y automatización de los dispositivos de auscultación no debe sustituir nunca la observación directa por el personal responsable de la vigilancia de la presa (se puede evidenciar así la aparición de agrietamientos, goteos, humedades, etc, que de otra forma sería difícil) y del equipo encargado de su inspección (debe ser, preferentemente, un equipo claramente independiente).

La auscultación de una presa debe entenderse como un concepto global que va más allá de la existencia de una serie de sensores y de su lectura:

Establecimiento de una serie de controles (movimientos externos mediante topografía, movimientos internos y deformaciones del cuerpo de presa, deformaciones del cimiento, filtraciones, presiones intersticiales, etc), para cuya medida es necesaria la instalación de una cierta instrumentación.

Definición de la periodicidad de las lecturas, asociadas a los distintos controles (y sensores correspondientes).

Estandarización de los trabajos de lectura, archivo y proceso de la información para la traducción de estas lecturas a unidades físicas.

Jerarquización de controles (y sensores asociados): Esenciales, Importantes y Normales

Establecimiento de un sistema de niveles de alerta y alarma para cada uno de estos controles (y sensores asociados).

Redacción de documentación relacionada con el comportamiento de la presa (parte diario, informes mensuales, informes trimestrales, informes generales de

comportamiento de carácter anual, informes de revisión de la seguridad con periodicidad de 5-10 años, en función de la clasificación de la presa (CARO, 2007).

Cualquier sistema de instrumentación, independientemente de su simpleza o complejidad, está formado por tres componentes básicos conectados en serie: Sensor, Elementos conductores de la señal y Registrador o medidor (ORSEP, 2011).

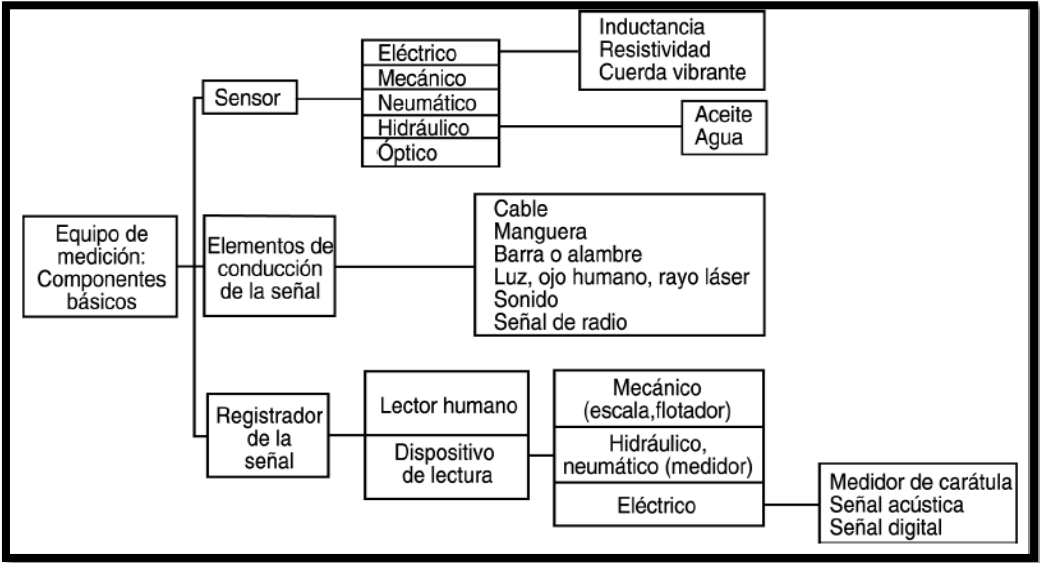


Figura 9. Componentes básicos de los equipos de medición.

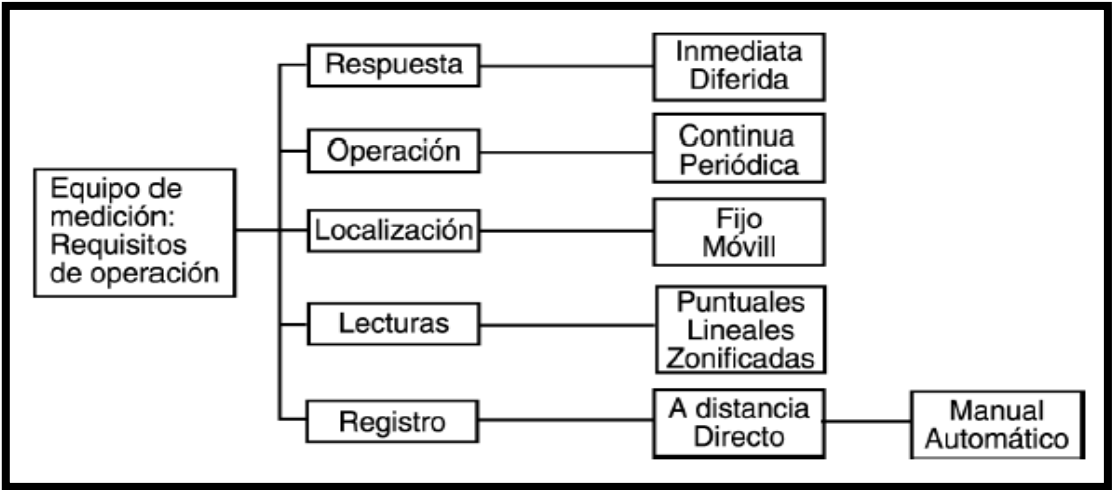


Figura 10. Equipos de medición, requisitos de operación (FLORES, 2012).

1.4 Estabilidad estática e interna de presas de tierra

En este epígrafe se analizarán los factores de los que depende la estabilidad estática e interna en las presas de tierra y los métodos utilizados para la solución de problemas de estabilidad de taludes.

Tabla 3. Resumen de los factores de los que depende la estabilidad estática e interna de las presas de tierra (Álvarez, 1998).

Factores de los que depende la estabilidad interna de una presa de tierra.	Factores de los que depende la estabilidad estática de una presa de tierra.
<ul style="list-style-type: none">✓ Un correcto comportamiento de las partes de la presa, como núcleo y la pantalla de impermeabilización.✓ La fisuración, agrietamiento, erosión externa e interna o sifonamiento y la posibilidad de fractura hidráulica.✓ Las deformaciones debidas al peso propio de los materiales en las presas o en la cimentación.✓ Grandes deformaciones causadas por saturación de los materiales de la presa.✓ Alta velocidad de deformación provocada por el llenado rápido del embalse.	<ul style="list-style-type: none">✓ El coeficiente de seguridad frente a un deslizamiento total o parcial que afecte a la presa o a su cimentación sea aceptable.✓ El peso propio de la obra.✓ Las fuerzas de filtración y de la presión intersticial del agua.✓ La resistencia al esfuerzo cortante de los materiales que la componen.✓ La estabilidad de taludes.

Tabla 4 Métodos para la solución de problemas de estabilidad de taludes para las presas de tierra(Hernández, 2014).

Métodos	Parámetros Utilizados	Ventajas	Limitaciones
Equilibrio límite	Genera un número único de factor de seguridad sin tener en cuenta el mecanismo de inestabilidad. El resultado difiere de acuerdo con el método que se utilice. No incluye análisis de las deformaciones.	Genera un número único de factor de seguridad sin tener en cuenta el mecanismo de inestabilidad. El resultado difiere de acuerdo con el método que se utilice. No incluye análisis de las deformaciones.	Genera un número único de factor de seguridad sin tener en cuenta el mecanismo de inestabilidad. El resultado difiere de acuerdo con el método que se utilice. No incluye análisis de las deformaciones.
Esfuerzo-deformación continuos	Geometría del talud, propiedades de los materiales, propiedades elásticas, elasto-plásticas y de "creep". Niveles freáticos, resistencia	Permite simular procesos de deformación. Permite determinar la deformación del talud y el proceso de falla. Existen programas para trabajar en dos y tres dimensiones. Se puede incluir análisis dinámico y análisis de "creep".	Es complejo y no lineal. Comúnmente no se tiene conocimiento de los valores reales a utilizar en la modelación. Se presentan varios grados de libertad. No permite modelar roca muy fracturada.
Discontinuos Esfuerzo-deformación elementos discretos	Geometría del talud, propiedades del material, rigidez, discontinuidades resistencia y niveles freáticos.	Permite analizar la deformación y el movimiento relativo de bloques.	Existe poca información disponible sobre las propiedades de las juntas. Se presentan problemas de escala, especialmente en los taludes en roca.
Cinemáticos estereográficos para taludes en roca	Geometría y características de las discontinuidades. Resistencia a las discontinuidades.	Es relativamente fácil de utilizar. Permite la identificación y análisis de bloques críticos, utilizando teoría de bloques. Pueden combinarse con técnicas estadísticas.	Útiles para el diseño preliminar. Se requiere criterio de ingeniería para determinar cuáles son las discontinuidades críticas. Evalúa las juntas.
Dinámica de caídos de roca	Geometría del talud, tamaño y forma de los bloques y coeficiente de restitución.	Permite analizar la dinámica de los bloques y existen programas en dos y tres dimensiones.	Existe muy poca experiencia de su uso en los países tropicales.
Dinámica de flujos	Relieve del terreno. Concentración de sedimentos, viscosidad y propiedades de la mezcla suelo-agua	Se puede predecir el comportamiento, velocidades, distancia de recorrido y sedimentación de los flujos.	Se requiere calibrar los modelos para los materiales de cada región. Los resultados varían de acuerdo con el modelo utilizado

Las grietas a través de la sección de la presa se pueden clasificar según la posición de la arista respecto al eje y la localización en el terraplén, teniéndose la clasificación siguiente:

Tabla 5. Clasificación de las grietas (Álvarez, 1998).

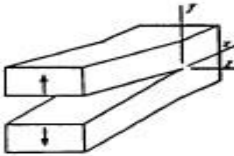
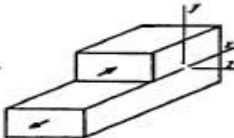
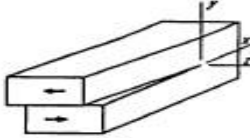
Criterio	Tipo de grieta
Según la posición de su arista respecto al eje del terraplén	a) Grietas Transversales. b) Grietas Longitudinales.
Según la localización en el terraplén	a) Grietas Interiores. b) Grietas Exteriores.

Esquema

Las grietas transversales constituyen un problema más serio que el de las grietas longitudinales, debido a que dejan paso libre al agua a través del núcleo impermeable de la presa, con la posibilidad de falla por tubificación(Álvarez, 1998).

En general, existen tres modos básicos de desplazamiento de las superficies de la grieta, cuya superposición es suficiente para describir el caso más general de deformación de la arista de la grieta y los campos de esfuerzo(Álvarez, 1998).

Tabla 6 Modos básicos de desplazamiento de las superficies de la grieta.

Modo I	Modo II	Modo III
<p>De agrietamiento por tensión, las superficies de la grieta se separan entre sí. El movimiento es causado por fuerzas de tensión normales a las caras de la grieta.</p> <p>Puede ocurrir bajo condiciones planas de esfuerzo o deformación</p>	<p>De agrietamiento por cortante, las superficies de la grieta se deslizan una sobre la otra en dirección perpendicular a la arista de la grieta.</p> <p>El desplazamiento es causado por los esfuerzos de cortante en la dirección del movimiento.</p> <p>Puede ocurrir bajo condiciones planas de esfuerzos o deformación.</p>	<p>De agrietamiento por cortante, las superficies de la grieta se deslizan una sobre la otra en dirección paralela a la arista de la grieta.</p> <p>El desplazamiento es causado por los esfuerzos de cortante en la dirección del movimiento.</p> <p>Puede ocurrir bajo condiciones planas de esfuerzos o deformación.</p>
Grieta de Tensión	Grieta de Cortante	Grieta de Cortante por torsión
		

En la tabla 7 se muestran los tipos de grietas y sus causas (Álvarez, 1998).

Tipo de Grieta	Ubicación	Causas del agrietamiento
Longitudinales	Coronación	<p>La deformación instantánea o diferida del cuerpo de la presa.</p> <p>La deformación instantánea o diferida de la cimentación.</p> <p>Una mayor deformabilidad de los espaldones.</p> <p>El colapso del material del espaldón de aguas arriba.</p> <p>Un comienzo de corrimiento en el espaldón de aguas arriba.</p>
	Interior del cuerpo de la presa	<p>En la parte inferior de núcleos inclinados si la cimentación es compresible.</p> <p>En la parte media de núcleos inclinados, si la cimentación rocosa tiene espaldones o salientes donde se apoya el núcleo.</p> <p>La fractura hidráulica que puede presentarse en núcleos verticales o subverticales delgados.</p>
Transversales o despegues entre presa y cimentación	Coronación	<p>La deformación instantánea o diferida de la cimentación.</p> <p>El colapso o asiento de la cimentación como consecuencia del embalse.</p> <p>La diferencia de asientos diferidos entre estribos y centro de la presa, debido al peso propio del terraplén.</p> <p>Fuertes cambios de altura o pendiente de las laderas.</p> <p>Fuertes irregularidades en el perfil del estribo, que puedan provocar despegues entre presa y terreno.</p>

1.5 Comportamiento de presas en Cuba y en el mundo. Ejemplos de roturas de presas

En este epígrafe se analizarán los tipos de presas, sus causas de falla y se describirán los hechos que llevaron a las presas al colapso.

Tabla 8. Descripción de los diferentes tipos de fallos en algunas presas en Cuba y en el mundo.

Nombre de la Presa	Tipo de presa	Descripción de los hechos	Causa de falla
Malpasset	Hormigón de arco de doble curvatura	Una falla tectónica fue encontrada como la causa más probable de la catástrofe. El agua recogida por la pared, incapaz de escapar a través de las rocas presionaba en diagonal hacia la pared de la presa, hubo 50 cm de lluvia, y 13 cm en las 24 horas antes del colapso. El nivel de agua en el dique era sólo de 28 cm de distancia desde el borde. La lluvia continuó, y el jefe de presa quiso abrir las válvulas de descarga, pero las autoridades se negaron, alegando que la construcción de la carretera tendría peligro de inundación. 5 horas antes del colapso, a las 18:00 en punto, se abrieron las válvulas, pero con una tasa de desagüe de 40 m ³ / s, no fue suficiente para vaciar la presa a tiempo.(2004)	Desplazamiento de la roca base de la presa.

Vega de Tera	Hormigón con contrafuerte	Según testimonios de trabajadores del embalse, las instalaciones tenían graves deficiencias estructurales como consecuencia de una mala construcción, El consultor Ricardo Fernández Cuevas basó sus hipótesis de la rotura en una cimentación muy superficial en los contrafuertes del 19 al 21. Se precisó que muy probablemente los contrafuertes 22 y 21 no se encontraron bien agarrados en la cimentación, hubo una subpresión en la roca bajo contrafuertes y se produjo la rotura.	Fallo de la cimentación del contrafuerte
Las Cabrerías	Materiales sueltos	Los resultados obtenidos de la investigación certifican la presencia de suelos dispersivos en dichas obras hidráulicas y se reporta a la presa Las Cabrerías como un caso histórico más de presas que han fallado por sifonamiento, Todo comenzó con una filtración por el cuerpo de la presa, ubicada en el talud aguas abajo por encima de la base, y que fue aumentando rápidamente debido a la concentración del flujo, con una ruptura total de un tramo de la cortina vez. El caso de la rotura por sifonamiento de la presa se inició con el efecto de las lluvias, durante el período de construcción y después de 6 años de operación, se produjo un deterioro de su terraplén en forma de cárcavas, cavidades, etc., asociado todo a la existencia de suelos dispersivos(Ing. Rolando Armas Novoa, 1993).	sifonamiento



Figura 11. Presa Malpasset.



Figura 12. Presa Vera de Tera.



Figura 13. Presa Vera de Tera.



Figura14. Presa Las Cabrerías.

CAPÍTULO 2. Análisis y propuesta de un procedimiento para evaluar la integridad de las presas de tierra.

2.1 Propuestas de procedimientos para evaluación de seguridad de las presas de tierra

El objetivo del presente capítulo es desarrollar una herramienta completa que permita realizar análisis de riesgos sobre cualquier presa o sistema de presas. Se desarrolla una metodología para realizar el análisis de riesgo y confiabilidad en las presas de tierra para así evitar la ocurrencia de un desbordamiento, o el deslizamiento del talud de la cortina aguas abajo, tubificación o la formación de brechas en el cuerpo de la cortina que pongan en riesgo su estabilidad.

Los pasos de un análisis de riesgo

El primer paso en un Análisis de Riesgo consiste como en cualquier otro tipo de estudio en determinar su alcance, objetivos y plazos. En esta fase previa también se debe conformar el equipo de profesionales que formará parte del análisis. Además del equipo de análisis propiamente dicho, el gestor de la presa debe incluirse en el proceso. También conviene contar con algún revisor externo.

El proceso de revisión del Archivo Técnico es especialmente relevante en un Análisis de Riesgo. No se trata únicamente de recopilar la información, sino que dicha información es discutida en una o varias sesiones de grupo. En este punto del análisis es posible que se identifiquen necesidades de estudios adicionales. La puesta en valor, estructuración y revisión de la información del Archivo Técnicos en sí mismo uno de los beneficios inmediatos de realizar un Análisis de Riesgo. Una vez todo el grupo ha tenido la ocasión de consultar la información de la presa, se debe realizar una inspección de la presa, para comprobar su estado actual e identificar posibles problemas en ella. Esta visita de campo se remata con una discusión en grupo sobre el estado actual de la presa. La identificación de modos de fallo es un proceso que se realiza en grupo y que trata de identificar, describir y estructurar

todas las posibles formas en que la presa puede fallar, sin restringirse a una lista predeterminada de comprobaciones (Serrano, 2011).

En los últimos años, se ha producido en el panorama internacional un acercamiento del campo de la seguridad de presas hacia las metodologías basadas en riesgo, en las que se combina la probabilidad de ocurrencia de eventos indeseados y sus consecuencias asociadas. Ante esta situación, el principal objetivo del presente trabajo es desarrollar una herramienta completa que permita realizar análisis de riesgos sobre cualquier presa o sistema de presas. En el esquema anterior se muestra cada una de las variables que forman parte de un modelo de riesgo y las relaciones existentes entre ellas.

Modelo de evaluación de riesgo y confiabilidad en presas de tierra.

El objetivo principal de la presente investigación es analizar el riesgo y la confiabilidad de una de las principales obras de infraestructura con las que México cuenta, las presas de tierra.

Esto, con base en las metodologías actuales y mediante la construcción de un modelo matemático general, que permita representar el comportamiento de las presas de tierra en el Estado de México.

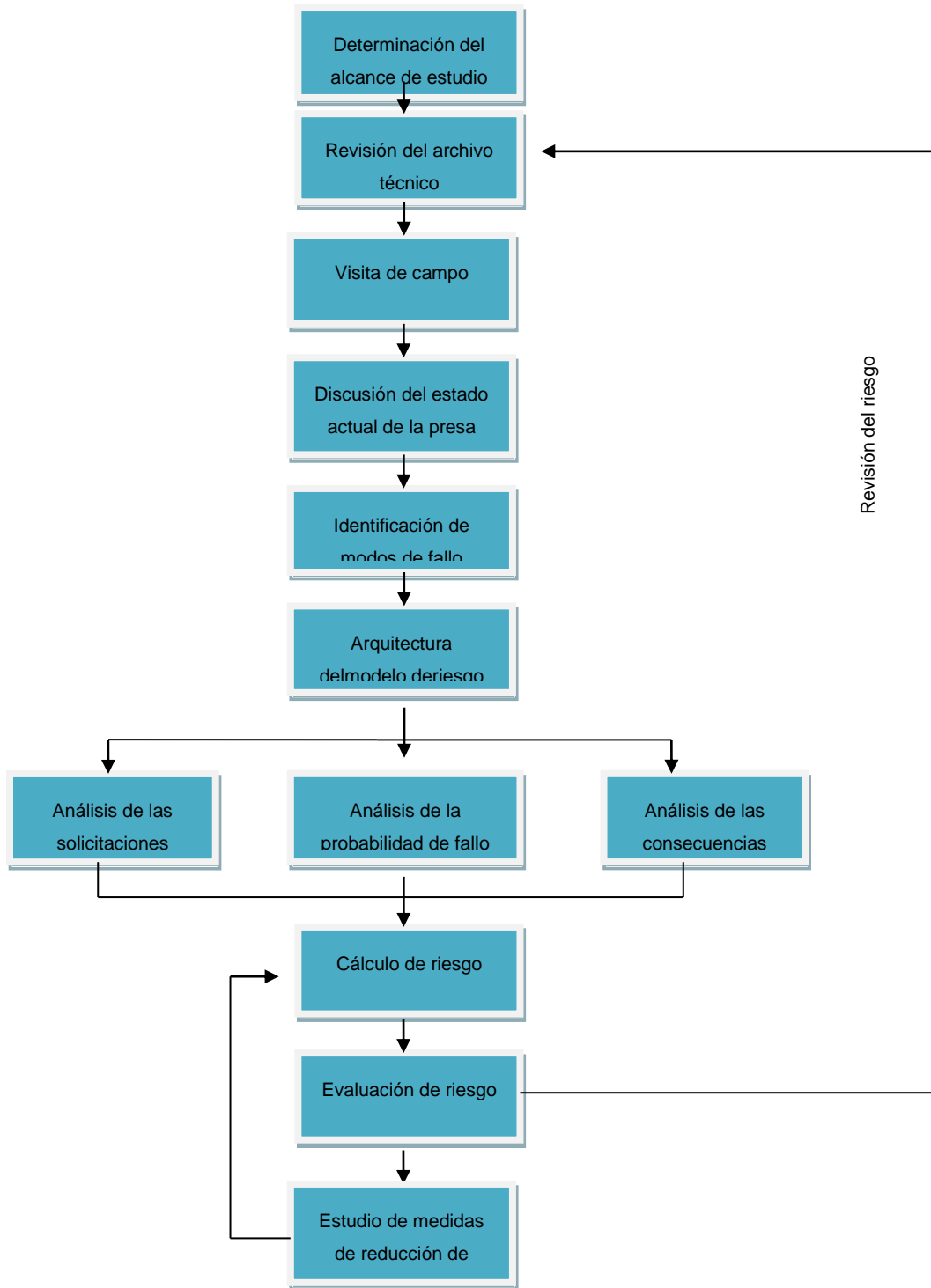


Figura 15. Esquema del proceso de Análisis de Riesgo (Serrano, 2011).

La elaboración de un modelo de evaluación de riesgos y confiabilidad en presas de tierra, tiene como finalidad representar las condiciones reales que conducen a la falla de estas estructuras en la práctica. Por ello, se ha tomado como eje rector el hecho de que el modelo este lo más apegado a la realidad, para poder “predecir” el comportamiento de la presa ante la presencia combinada de eventos, y finalmente reducir la incertidumbre de las consecuencias esperadas.

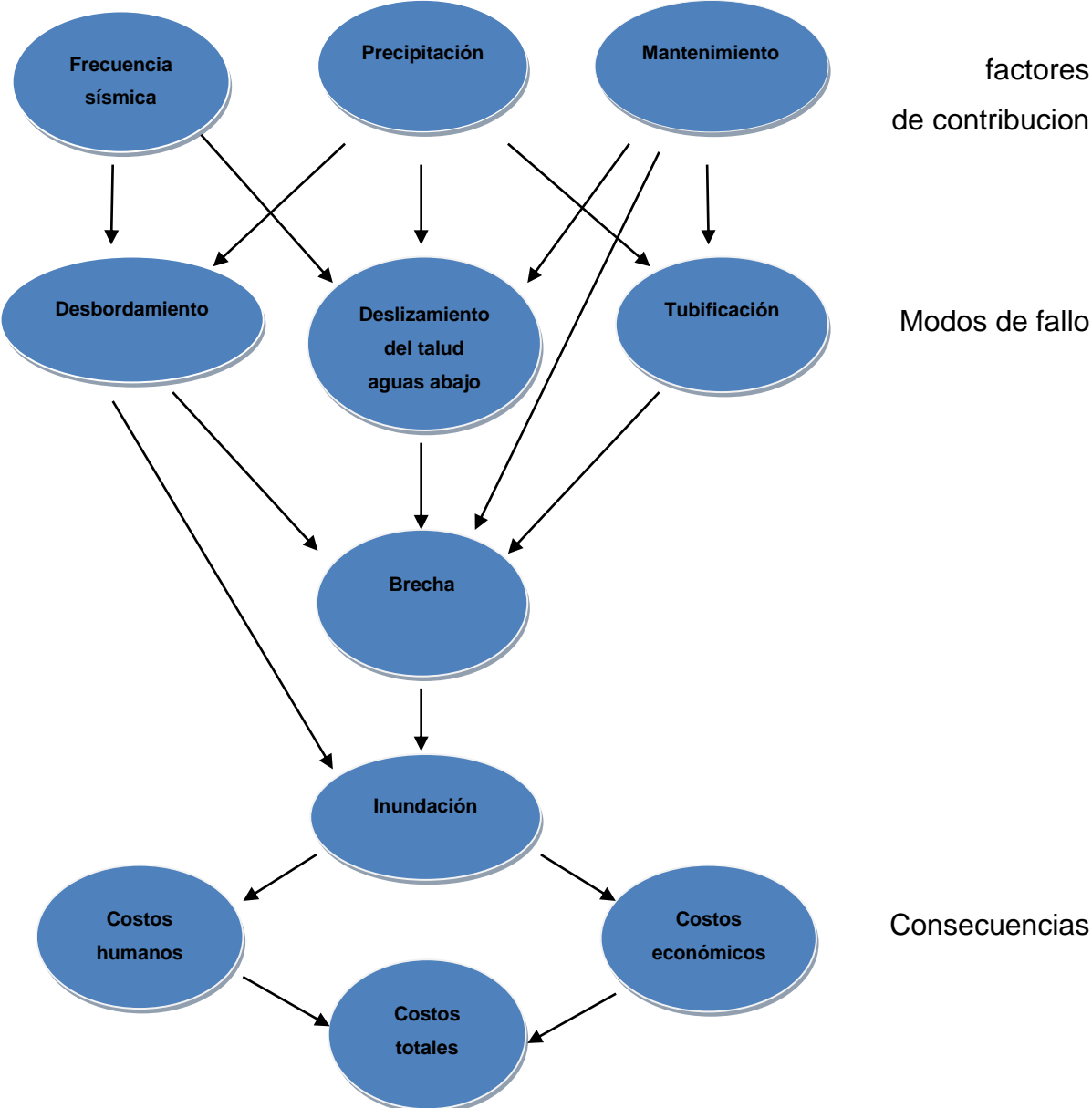


Figura 16. Modelo de evaluación de seguridad para presas de tierra (Pérez, 2009).

Para lograrlo, ha sido necesario seleccionar un método que garantice la representatividad de los fenómenos de interés, y que considere el mayor número de variables que intervienen en la secuencia de eventos que conducen a la falla (Pérez, 2009).

Como toda estructura, las presas de tierra corren el riesgo de tener una falla, evento que, aunque poco frecuente (en promedio sólo 1.2% llegan a colapsar), provoca no sólo importantes daños en la estructura de la cortina, sino también daños económicos directos e indirectos, sin tomar en cuenta la potencial pérdida de vidas humanas. Esta situación pone de manifiesto que el estudio y comprensión de sus causas de falla es relevante, pues contribuye a generar medidas de prevención y mantenimiento que minimicen los efectos de un eventual colapso.

La falla de una presa de tierra puede deberse a distintos factores como: lluvia en exceso, terremotos, deslizamiento de taludes, tubificación, desbordamiento y formación de brechas, los cuales normalmente producen inundaciones aguas abajo de la cortina, provocando las pérdidas mencionadas. Asimismo, la falla puede presentarse durante la construcción, en la operación o cuando se hace un vaciado rápido del agua contenida en el vaso.

En este trabajo se desarrolla una metodología para realizar el análisis de riesgo y confiabilidad en presas de tierra, tomando en cuenta las variables de contribución como son: frecuencia sísmica, precipitación y mantenimiento, las cuales pueden originar la ocurrencia ya sea de un desbordamiento, o el deslizamiento del talud de la cortina aguas abajo, tubificación o la formación de brechas en el cuerpo de la cortina ante diversos eventos que podrían poner en riesgo la estabilidad de la estructura. Cabe mencionar que el estudio se limita a la ocurrencia de fenómenos de carácter natural sobre la cortina de la presa, ya que es la principal estructura que es susceptible de daño, al presentarse uno o diversos eventos.

Protocolo de evaluación de la Seguridad de Presas y Embalses en funcionamiento en Venezuela.

A continuación, se presentan las pautas para llevar a cabo la evaluación clásica de la seguridad de una presa en funcionamiento, en el proceso se cubrirán aspectos que incluyen de la revisión de los archivos técnicos de la presa (Rosales, 2009).

La elaboración de un protocolo de análisis de la seguridad para las presas de Venezuela, conforma el primer paso para crear un proceso de discusión interna con diferentes sectores de la sociedad en miras hacia una gestión más eficiente segura de los embalses. El protocolo que se desarrolla en este trabajo está basado en la revisión clásica de la seguridad tal y como se efectúa normalmente en el marco de la legislación española, añadiendo un análisis complementario cualitativo de Modos de Fallo. Este protocolo fue aplicado a un caso de estudio, el embalse Tres Ríos ubicado en el Río Palmar, Venezuela.

Como resultado, se obtuvo una de las primeras evaluaciones completas de seguridad realizadas a una presa venezolana, se verificaron diferentes aspectos de la seguridad como la revisión del archivo técnico (que en este caso fue la conformación formal del mismo), inspección a la presa, seguridad hidrológica hidráulica, seguridad estructural, seguridad de accesos y comunicaciones, y seguridad funcional. Adicionalmente se conformó un grupo de trabajo para definir y analizar cualitativamente una serie de Modos de Fallo.

La sola elaboración de un protocolo de análisis de la seguridad aplicado al caso venezolano, representa un aporte en materia de gestión de la seguridad. La aplicación del mismo en un caso real, demuestra la utilidad práctica de esta metodología y deja de manifiesto una serie de necesidades que deben irse solventando para alcanzar un estado del conocimiento y de la técnica en el país acorde con los estándares internacionales en gestión de la seguridad de las presas y embalses.

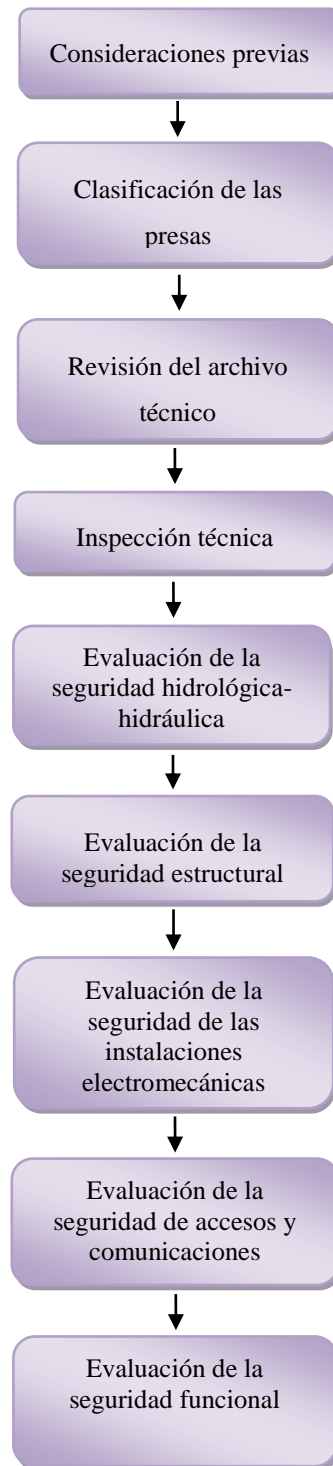


Figura 17. Protocolo para la evaluación de la seguridad de presas y embalses en funcionamiento de Venezuela (Rosales, 2009).

Después de haber analizado las tesis anteriores se decidió utilizar la tesis titulada: “Desarrollo de un Protocolo para la Evaluación de la Seguridad de Presas en Venezuela” para utilizar el procedimiento de evaluación de seguridad que ahí se aplica y adecuarlo a las condiciones de una presa cubana. A continuación, se muestran los pasos para llevar a cabo la evaluación de la seguridad para una presa.

I. Consideraciones Previas

Una evaluación de seguridad es la comparación entre los resultados del análisis del comportamiento de la estructura en función de los parámetros de diseño, solicitaciones y condiciones de operación; con una serie de “valores admisibles” de márgenes de seguridad. Estos últimos deben estar recogidos en reglamentos y/o recomendaciones técnicas especializadas.

Ante la ausencia de normativas técnicas en la materia, este protocolo de evaluación de la seguridad propone a su vez algunos de los parámetros de comparación necesarios para determinar si la presa es suficientemente segura en cada uno de los aspectos analizados separadamente

Una buena evaluación predecirá el comportamiento de la presa ante los diferentes escenarios de sollicitación con menor incertidumbre, en la medida que se cuente con información suficiente y de calidad, en combinación con hipótesis de cálculo de la respuesta del sistema bien fundamentadas.

I.1 Sobre la Titularidad

Es necesario establecer como principio, que las evaluaciones llevadas a cabo con el presente protocolo, tendrán utilidad y harán un aporte cierto a la gestión de la seguridad de la presa siempre y cuando el Titular de la obra, designe un equipo calificado como encargado de la explotación y lleve a cabo un seguimiento periódico del estado de conservación de las obras, ajustando los estándares de gestión según se actualice el estado del conocimiento en esta área.

La toma de decisiones en cuanto a las inversiones necesarias para mantener los niveles de seguridad en las presas, en los rangos que convencionalmente se tengan por aceptables, recae sobre el Titular. Dichas decisiones serán más

acertadas, eficaces y económicamente viables, en la medida que el Titular esté mejor informado sobre el estado de seguridad de la obra.

La realización de evaluaciones periódicas de la seguridad contribuirá a la mitigación de riesgos siempre que las recomendaciones y conclusiones de las mismas sean tomadas en cuenta oportunamente.

I.2 Sobre la Explotación

El equipo responsable de la explotación debe estar conformado por personal capacitado y entrenado en los conceptos básicos de seguridad de presas, su estructura organizacional será definida por el titular. Entre sus funciones fundamentales se indican las siguientes:

- a) Promover inspecciones periódicas y evaluaciones de seguridad para verificar el estado de conservación de las obras y equipos.
- b) Custodiar, mantener y actualizar los Archivos Técnicos.
- c) Efectuar la auscultación de la presa y conservar registros de la misma en los Archivos Técnicos correspondientes.
- d) Comunicar los episodios excepcionales y las circunstancias anómalas que pudieran producirse, promoviendo de manera simultánea su estudio y análisis, así como disponer los medios necesarios para proceder a su reparación en el caso que proceda.
- e) Elaborar las Normas de Explotación de la presa y el embalse, que se incorporarán al Archivo Técnico de la misma.

II. Clasificación de las Presas

Dada la heterogeneidad del parque de presas en cuanto a singularidades propias de cada obra, en beneficio del análisis, es necesario establecer distinciones entre las presas a analizar en términos de dimensiones, riesgo potencial y tipología.

Los criterios de clasificación dentro de los cuales deberá catalogarse la presa objeto de estudio serán los siguientes:

II.1. En función de sus dimensiones

La clasificación en función de las dimensiones se realizará siguiendo el criterio de la Comisión Internacional de Grandes Presas (ICOLD) como se explica a continuación.

Se clasificarán como “Grandes Presas” a aquellas que cumplan al menos una de las siguientes condiciones:

- a) Altura superior a 15 metros, medida desde la parte más baja de la superficie general de cimentación hasta la coronación.
- b) Capacidad de embalse superior a 1.000.000 de metros cúbicos.
- c) Capacidad de descarga superior a 2.000 metros cúbicos por segundo.

Se clasificarán como “Pequeñas presas” a todas aquellas que no cumplan ninguna de las condiciones señaladas anteriormente.

II.2. En función del daño potencial

Como función del daño potencial que pueda derivarse de su posible rotura o del funcionamiento incorrecto, las presas pueden clasificarse en las siguientes categorías:

- a) Presas Tipo A: Presas de importancia estratégica ya que su eventual rotura o funcionamiento incorrecto puede afectar gravemente a núcleos urbanos, pérdidas humanas, prestación de servicios esenciales, daños materiales y medioambientales muy importantes.
- b) Presas Tipo B: Presas cuya rotura o funcionamiento incorrecto puede ocasionar daños materiales o medioambientales moderados y/o afectar a un reducido número de viviendas con pérdidas humanas incidentales.

II.3. En función de su tipología

- a) Presas de materiales sueltos: Todas aquellas presas cuyos elementos no estén ligados entre sí por un conglomerante. Presas de tierra homogéneas o zonificadas, Presas de Enrocado etc.

-
- b) Presas de Fábrica: Todas aquellas presas construidas con algún tipo de concreto. Presas de Gravedad, Arco, Bóveda etc.

III. Revisión del Archivo Técnico

Toda evaluación de la seguridad de una Presa, tendrá como punto de partida la revisión detallada del Archivo Técnico.

El Archivo Técnico de una presa es el compendio de todos aquellos documentos relacionados con el proyecto, construcción, puesta en carga e historial de operación de cada una de las estructuras que intervienen en la regulación del embalse. La información básica contenida en este archivo será la base de los análisis de la seguridad que se lleven a cabo durante la vida de la presa. La custodia y actualización del mismo han de ser responsabilidades del Titular de la Presa.

La revisión del Archivo Técnico consiste en verificar la cantidad y calidad de la información catalogada. Para la organización de este archivo se distinguen tres categorías fundamentales:

- Archivo Técnico del Proyecto
- Archivo Técnico de la Construcción
- Archivo Técnico de la Explotación

A continuación se detalla la información mínima necesaria por cada una de estas categorías:

III.1. Archivo Técnico del Proyecto

En este aparte se debe encontrar toda la información disponible de la fase de proyecto, catalogada en las siguientes categorías:

- a) Estudios Preliminares: Estudio de Sitio de Presa, Estudio Hidrológico, Estudio Geológico, Estudio de Materiales y Préstamos.
- b) Anteproyecto: Elección del tipo y características de la presa, Ingeniería Básica de las obras.
- c) Proyecto Definitivo: Memoria descriptiva del proyecto a construir, Especificaciones de obra, Justificación de la capacidad de los sistemas de desagüe y aliviaderos, Instalaciones Electromecánicas,

Sistema de auscultación y vigilancia. Obras anexas, Accesos y comunicaciones.

d) Planos de Construcción: Todos los planos necesarios para definir completamente las obras y el terreno en el que se ubican. Como mínimo se deben encontrar: Plano de la cuenca hidrográfica, Plano de situación del embalse, Plano del embalse con curvas de nivel, Plano topográfico del sitio de presa, Planta general de la presa y de las obras relacionadas, Plano de excavaciones, Planta, perfiles y secciones suficientes para definir con entera claridad la presa y las obras e instalaciones, Planos de instalaciones electromecánicas, Planos detallados de los dispositivos de impermeabilización, Planos de las obras de desviación del río durante la construcción, Plano de los dispositivos previstos para el control y vigilancia de la presa, Planos de los accesos para la inspección y vigilancia de la obra.

e) Presupuestos y Pliegos de Licitación: Cantidades de obras, costos estimados y especificaciones de construcción. Condiciones que regulan la ejecución de las obras y las pruebas previstas.

III.2. Archivo Técnico de la Construcción

La documentación correcta del desarrollo de las obras y el proceso constructivo aportan una valiosa cantidad de información para el Análisis de la Seguridad. En este aparte se debe contemplar lo siguiente:

a) Memoria de Construcción: Informe de la inspección de obras que contemple todos los aspectos relacionados al desenvolvimiento de la construcción en términos de control de calidad, cantidades de obra ejecutadas, cumplimiento de las especificaciones del proyecto, lapsos de ejecución, e incidencias. Información fotográfica del desarrollo de la obra.

b) Modificaciones al Proyecto Original: las incidencias e imprevistos que surjan durante la construcción y conlleven justificadamente a

modificaciones del proyecto original deberán ser recopiladas en los informes de inspección de obras y forman parte4 de este archivo.

c) Controles de Calidad: Resultados de los ensayos y análisis de materiales de construcción, control de calidad de la fabricación y colocación de elementos concreto, selección colocación y compactación de materiales sueltos.

d) Información Geológica adicional: información proveniente de las excavaciones para la cimentación, tratamientos de impermeabilización y drenaje, estabilización de laderas etc.

e) Planos definitivos de Construcción: Planos detallados de cómo fueron construidas las obras, incluyendo todas las modificaciones sufridas durante el proceso constructivo.

III.3. Archivo Técnico de la Explotación

Durante la explotación normal del embalse se debe documentar e incluir en el Archivo Técnico, la siguiente información:

a) Informe de Puesta en Carga: el protocolo de puesta en carga, las incidencias del llenado y las lecturas de los instrumentos durante este proceso deben estar recopiladas en un informe que se integra a este archivo.

b) Datos históricos de Niveles y Caudales: registro de la evolución de los niveles del embalse, caudales descargados por los órganos de desagüe, frecuencia y datos de los alivios ocurridos, datos provenientes de estaciones de aforo aguas arriba y aguas abajo de la presa, datos meteorológicos.

c) Instrumentación: registro histórico de todos los aparatos de medición instalados interna y externamente a la presa, mediciones topográficas de los testigos de asentamiento, deformaciones, etc.

d) Inspecciones y Vigilancia: informes periódicos del seguimiento de la explotación de la presa enfatizando cualquier evento extremo. Inspecciones generales y extraordinarias realizadas durante la

explotación con sus correspondientes comentarios y recomendaciones.

e) Pruebas de las Instalaciones Electromecánicas: resultado de las evaluaciones realizadas a los accionamientos de válvulas y compuertas, informes de mantenimiento y reparaciones realizadas.

f) Informes de evaluación: todas las evaluaciones de seguridad, estado y comportamiento de la presa, fiabilidad de las instalaciones electromecánicas, documentación de actividades realizadas o cualquier aspecto que pueda afectar la seguridad de la presa, deben formar parte del Archivo Técnico.

g) Normas de Explotación: disposiciones necesarias para garantizar el buen funcionamiento y seguridad de la presa, tanto en condiciones normales como en las extraordinarias que fueran previsibles.

h) Planes de Emergencia: indicaciones a seguir en caso de ocurrencia de eventos extraordinarios que puedan suponer una reducción apreciable de los factores de seguridad.

Queda establecido que el Archivo Técnico es de carácter dinámico, se alimentará constantemente de los pormenores de la explotación de la presa y de los resultados de todas las inspecciones y evaluaciones periódicas de la seguridad que se lleven a cabo.

III.4. Identificación de Carencias de Información

Toda vez que se lleve a cabo una revisión del Archivo Técnico de la presa, se identificarán las carencias de información que este presenta, y se propondrán las acciones necesarias para completarlo, por medio de la actualización de los estudios hidrológicos y geológicos, realización de sondeos complementarios para determinar propiedades del terreno y de los materiales de construcción o cualquier otra actividad que el equipo revisor juzgue conveniente.

Nuevamente, el informe resultante de esta identificación de las carencias de información pasa a formar parte del Archivo Técnico como testimonio de una revisión previa y elemento facilitador para revisiones posteriores.

III.5. Identificación de las necesidades de inspección y análisis

De la revisión del Archivo Técnico también se debe identificar aquellos aspectos que no han sido cubiertos en inspecciones técnicas anteriores, con la finalidad de facilitar el trabajo de campo en los siguientes apartados del protocolo de análisis de la seguridad.

IV. Inspección Técnica

De manera imprescindible, la Evaluación de la Seguridad de una presa en funcionamiento requiere la verificación en sitio de todas aquellas características observables que reflejen el estado y comportamiento de la presa y sus obras auxiliares.

Una inspección técnica completa debe cubrir siempre que sean posible los siguientes aspectos:

- a) *Accesos*: descripción del estado de mantenimiento y trazado de las vías de acceso vehicular al cuerpo de presa, coronación y obras auxiliares. Accesibilidad del personal técnico de operación y equipos de mantenimiento a las galerías de inspección, casas de máquinas, casetas de válvulas y cualquier elemento involucrado en la operación de los desagües, compuertas y aliviaderos.
- b) *Entorno Geológico*: observación de la geología superficial de la cerrada, las laderas ubicadas en los estribos de la presa, el vaso de almacenamiento, y la zona inundable aguas debajo de la presa. Todo esto con la finalidad de identificar posibles deslizamientos incipientes que puedan poner en riesgo la presa o alguna de las estructuras auxiliares.
- c) *Paramentos*: observación superficial de los paramentos aguas arriba y aguas abajo identificando posibles oquedades, indicios de filtración, grietas, deslizamientos o cualquier característica anómala que pueda

indicar deterioro de los materiales de construcción o malfuncionamiento de los sistemas de drenaje y/o elementos impermeables.

d) *Coronación*: la inspección de la coronación de la presa servirá para observar posibles asentamientos.

e) *Cuerpo de Presa*: en aquellas presas que posean galerías de inspección es posible realizar una observación interna del cuerpo de presa, identificando la estanqueidad y el envejecimiento de los materiales, y si es posible los contactos con los estribos, pantalla de drenajes, filtraciones, arrastre de finos etc.

f) *Instrumentación*: la suficiencia y buen funcionamiento de los equipos de medición debe ser verificada en campo, se verificará que no existan filtraciones no contabilizadas, asentamientos e inclinaciones no medidos y que en general se están registrando todas las variables internas y externas que puedan tener relevancia en el análisis del estado de la seguridad de la presa.

g) *Desagües*: verificar que los órganos de desagüe están en condiciones operativas, presencia de posibles obstrucciones o daños estructurales en las conducciones producto del envejecimiento de los materiales (óxido, erosión, incrustaciones etc.), filtraciones o fugas en los elementos de unión, estado de mantenimiento y funcionamiento correcto de válvulas y compuertas.

h) *Aliviaderos Superficiales*: observación de las condiciones de la aproximación al elemento de control hidráulico identificando posibles obstrucciones producto de material flotante (restos de árboles principalmente); estado de mantenimiento y capacidad de operación de compuertas si las hubiere; inspección visual del canal rápido identificando posibles daños por cavitación o desprendimientos de material; inspección del pie del aliviadero, elementos de disipación de energía y canal de descarga al cauce receptor identificando posibles daños por erosión.

i) *Instalaciones Electromecánicas*: pruebas de la fiabilidad de los accionamientos electromecánicos y oleodinámicos según sea el caso, para la apertura de válvulas y compuertas. Verificación de la fiabilidad del sistema de alimentación eléctrica, redundancia de sistemas y posibilidad de accionamiento manual de todos los sistemas en caso de contingencia.

j) *Tomas*: verificación de la capacidad de la toma de agua, identificación de posibles obstrucciones, determinar su posible incidencia en la seguridad de la presa.

k) *Zona inundable*: inspección de las zonas inundables que deban ser objeto de monitoreo por los daños potenciales que puedan generar afectando la accesibilidad, la operación de los sistemas y produciendo daños aguas abajo.

De toda inspección realizada se compondrá un informe técnico que cubra los aspectos anteriormente mencionados, enunciando conclusiones y recomendaciones que serán añadidas al Archivo Técnico de la Explotación de la presa.

V. Evaluación de la seguridad Hidrológica-Hidráulica

El ciclo hidrológico impone en el sistema presa-embalse una dinámica de aparición de niveles de agua, subordinados principalmente a tres aspectos: el hidrograma de entrada al embalse producto de la relación lluvia-escorrentía, la capacidad de las estructuras de desagüe, y la manera en que sean operados los sistemas. Es por este motivo que la seguridad hidrológica-hidráulica debe ser analizada de manera conjunta

V.1 Seguridad Hidrológica

En este apartado se estudiará las características de la cuenca receptora y el régimen de lluvia-escorrentía al que estará sometido el embalse, basándose en los registros históricos disponibles de estaciones meteorológicas y de aforo en la propia cuenca y a nivel regional.

V.1.1. Estudio de Crecientes

El estudio de crecientes para el análisis de la seguridad de la presa contemplará las siguientes actividades:

- a) Se realizará un estudio probabilístico de los hidrograma de las crecientes entrantes al embalse y sus posibilidades de ser superadas anualmente. Para esta evaluación se considerarán los datos o referencias de las avenidas precedentes.
- b) Se evaluarán hidrograma complejos producidos por trenes de tormentas solapadas en forma secuencial y se estudiará el tránsito de estas crecientes a fin de determinar si imponen condiciones más desfavorables que las crecientes aisladas.
- c) Se formulará el hidrograma de la Creciente Máxima Probable (CMP) aislada, estimada con un modelo de lluvia escorrentía.
- d) Se analizará y evaluará la incidencia de los caudales desaguados por los embalses de aguas arriba y la laminación que produzcan los de aguas abajo cuando sea el caso.

V.1.2. Crecientes a considerar

En el proyecto y en la explotación de la presa se definirán razonadamente, en función de la clasificación frente al riesgo potencial de la presa, dos tipos de crecientes afluentes al embalse.

- a) *Creciente de diseño*: Máxima creciente que debe tenerse en cuenta para el dimensionado del aliviadero, los órganos de desagüe y las estructuras de disipación de energía, de forma que funcionen correctamente.
- b) *Creciente extrema*: La mayor creciente que la presa puede soportar. Supone un escenario límite al cual puede estar sometida la presa sin que se produzca su rotura, si bien admitiendo márgenes de seguridad más reducidos.

Se sugieren la selección de las siguientes crecientes en función de la clasificación de la presa objeto de análisis en la tabla 9:

**PERIODO DE RETORNO DE LAS
CRECIENTES**

Tipo de presa	Creciente del proyecto	Creciente extrema
A	1000	5000-CMP*
B	500	1000

El criterio de la Creciente Máxima Probable se adoptará en aquellas situaciones donde las series históricas registradas sean de escasa longitud y se verificará en todo caso que esta sea de una magnitud superior a la creciente de un período de retorno de 5.000 años.

V.2. Seguridad Hidráulica

En este apartado se evaluará la capacidad hidráulica, comportamiento y operación de los aliviaderos superficiales y desagües profundos.

V.2.1. Estrategia de Laminación

Las características de las crecientes entrantes al embalse, estudiadas en el aparte anterior, dependen del ciclo hidrológico y de las condiciones de la hoya receptora principalmente.

La presa constituye un elemento de regulación que modifica las condiciones del escurrimiento aguas abajo subordinadas a dos aspectos:

- 1) La capacidad física de los órganos de desagüe y aliviaderos
- 2) La operación de las válvulas y compuertas que controlen el caudal descargado.

A la relación entre el caudal entrante al embalse y aquel que se decide y se puede evacuar, en términos de magnitud y distribución en el tiempo; se le llama estrategia de laminación.

La estrategia de laminación será ideada por el equipo responsable de la explotación de la presa tomando en cuenta los siguientes factores:

- a) Preservación del borde libre (resguardo), que garantizan la seguridad de la presa (este concepto se ampliará más adelante).
- b) Mitigación de daños aguas abajo aprovechando el efecto amortiguador del vaso de almacenamiento.
- c) Aprovechamiento óptimo del recurso regulado (este aspecto no influye en la seguridad de la presa)

Los desagües profundos normalmente están dotados de dispositivos electromecánicos que permiten la regulación de los caudales descargados. Por su parte los aliviaderos superficiales pueden estar o no dotados de compuertas cuya operación condiciona la descarga.

V.2.2. Curvas de gasto de aliviaderos y desagües profundos

Se debe determinar analíticamente, una relación unívoca de Caudal Descargado Vs. Nivel del Embalse para cada uno de los elementos de desagüe en función del grado de apertura de válvulas y compuertas cuando sea el caso, valiéndose para ello de coeficientes de descarga debidamente justificados.

Cuando las singularidades del diseño hidráulico de los aliviaderos y descargas profundas así lo requieran, la determinación de las curvas de gasto se llevará a cabo mediante la realización de un modelo físico reducido en un Laboratorio de Hidráulica.

V.2.3. Tránsito de las Crecientes

Definidas las magnitudes de las crecientes a considerar, conocidas las características del vaso de almacenamiento y de las estructuras de alivio; se procede a realizar el tránsito de las mismas a través del embalse y determinar los niveles máximos alcanzadas durante el evento hidrológico.

Se considerarán las siguientes hipótesis para el tránsito de la crecienta:

- a) El embalse se encuentra en su Nivel de Aguas Normales (NAN) al inicio del evento hidrológico.

b) No se tomará en cuenta el caudal descargado por los desagües profundos a no ser que la capacidad de los mismos sea comparable a los caudales descargados por los aliviaderos superficiales y además se justifique suficientemente la fiabilidad de operación de los mismos.

c) Cuando se tome en cuenta el caudal descargado por los desagües profundos, se considerarán diversos escenarios de averías de los órganos de desagüe durante la explotación, analizando sus consecuencias sobre el tránsito de las crecientes.

d) Cuando los aliviaderos superficiales estén controlados por compuertas, se supondrá que al menos una de ellas no está operativa, quedando totalmente cerrada durante todo el evento y se verificará en estas condiciones el tránsito de la Creciente de Proyecto.

Partiendo de las hipótesis anteriores, se realizará el tránsito de la Creciente de Proyecto y la Creciente Extrema, obteniendo la siguiente información:

a) Hidrograma de Salida para cada Creciente

b) Comparación del Hidrograma de Entrada con el Hidrograma de Salida

V.2.4. Definición de niveles.

Para efecto de los análisis de seguridad se definen los niveles de embalse siguientes:

a) *Nivel de Aguas Normales (NAN)*: Es el máximo nivel que puede alcanzar el agua del embalse en un régimen normal de explotación sin que se produzca un alivio.

b) *Nivel de la Creciente de Proyecto (NCP)*: Es el máximo nivel que se alcanza en el embalse si se produce la creciente de proyecto, habida cuenta la acción laminadora del mismo.

c) *Nivel de Aguas Máximas (NAM)*: Es el máximo nivel que se alcanza en el embalse si se produce la creciente extrema, habida cuenta la acción laminadora del mismo.

V.2.5. Definición de Borde Libre

Se define como borde libre o resguardo, a la diferencia entre el nivel de agua del embalse en una situación concreta y la coronación de la presa, entendida ésta como la cota más elevada de la estructura resistente e impermeable del cuerpo de la presa.

En la estimación del borde libre se debe tomar en cuenta el oleaje previsible en condiciones de tormenta y sísmicas separadamente.

Para la estimación del oleaje se debe tener en consideración la geometría de la superficie del embalse y su orientación con respecto a la incidencia del viento, la velocidad y la dirección del viento predominante.

Se debe estimar igualmente la magnitud del oleaje inducido por el efecto sísmico.

En relación a los niveles del embalse anteriormente definidos, se definen el borde libre para las siguientes situaciones particulares del embalse:

- a) *Borde Libre Normal*: Es aquel relativo al Nivel de Aguas Normales (NAN). Este resguardo, además de ser suficiente para el desagüe de las avenidas, será igual o superior a las sobreelevaciones producidas por los oleajes máximos previsibles, incluyendo los debidos a efectos sísmicos.
- b) *Borde Libre Mínimo*: Es aquel relativo al Nivel de la Creciente de Proyecto (NCP). Este resguardo será igual o superior a las sobreelevaciones producidas por los oleajes máximos previsibles, sin incluir los debidos a efectos sísmicos.

Para la creciente extrema se tolerará un agotamiento parcial o total del borde libre para presas de fábrica; en las presas de materiales sueltos, salvo que estén proyectadas específicamente para ello, no se admitirán vertidos por coronación teniendo en cuenta el oleaje producido por los vientos.

Se estudiará la evolución del borde libre durante el tránsito de la creciente de proyecto y la creciente extrema. De este análisis se determinará si el borde libre es suficiente para garantizar el tránsito de las crecientes sin que se produzca sobrevertido. De no verificarse esta condición se indicará cuál es la probabilidad de agotamiento del borde libre y cuál sería la altura de la lámina sobrevertida.

V.2.6. Evaluación del comportamiento hidráulico de los Aliviaderos

Se comprobará que el funcionamiento de los aliviaderos en condiciones límite para la creciente de proyecto y la creciente extrema no compromete la seguridad de la presa. Se verificará la potencial ocurrencia de fenómenos de cavitación en las zonas donde sean previsibles depresiones y altas velocidades. Se constatará que las estructuras de aproximación a los aliviaderos superficiales son suficientemente amplias para permitir el paso de árboles u otros cuerpos flotantes que puedan llegar al embalse durante las crecientes.

V.2.7. Análisis del tiempo de vaciado

El vaciado parcial o total de una presa puede ser una maniobra fundamental para garantizar la seguridad de la misma cuando se presenten situaciones derivadas de eventos extremos o la explotación normal que así lo requieran.

Tratándose de volúmenes de agua considerables, se requiere que los órganos de desagüe estén en capacidad de llevar a cabo esta operación en él un tiempo razonable sin producir daños en la presa o aguas abajo.

Se considerarán las siguientes hipótesis para la estimación del tiempo de vaciado de la presa:

- a) El embalse se encuentra en su Nivel de Aguas Normales (NAN)
- b) Durante todo el proceso de vaciado del embalse, está ingresando el caudal medio del río

Se considerará que se ha efectuado un vaciado total de la presa cuando el nivel del embalse esté por encima de la captación más baja (descarga de fondo), sólo la altura de aguas mínima suficiente para que pueda circular el caudal medio del río a través de la misma.

El tiempo estipulado para alcanzar vaciado total no solo depende de la capacidad de los órganos de desagüe, está también ligado a las condiciones impuestas por el cauce receptor desde el punto de vista de la ocurrencia de inundaciones susceptibles a generar daños.

Por otra parte un vaciado muy rápido del embalse puede ser contraproducente desde el punto de vista estructural, no siendo en ningún caso recomendable

que ocurra una descompresión violenta de los cimientos y cambios bruscos en el estado tensional del cuerpo de presa.

Por último, cualquier operación de vaciado genera una onda de creciente artificial aguas abajo de la presa. Tratándose de una operación controlada, se debe llevar a cabo tomando en cuenta todos aquellos criterios de mitigación de daños aguas abajo.

V.2.8. Condiciones de la descarga

Debe verificarse que la restitución de los caudales descargados al cauce receptor se lleve a cabo de manera tal que no genere desequilibrios importantes en términos de arrastres de sedimento, provocando problemas de erosión que puedan comprometer las estructuras o la presa misma.

Por otra parte la maniobra de los órganos de desagüe no deberá dar lugar a caudales desaguados que originen daños aguas abajo superiores a los que se podrían producir naturalmente sin la existencia del embalse.

VI. Evaluación de la seguridad Estructural

En este apartado se llevará a cabo el análisis del comportamiento del conjunto presa cimiento ante la acción de diferentes combinaciones de solicitaciones. Se definirán las características mecánicas de los materiales de construcción y la caracterización geotécnica del sitio de presa, se definirán situaciones de análisis y se llevarán a cabo los análisis de estabilidad teniendo en cuenta las particularidades de las presas según dos tipologías: Presas de Fábrica y Presas de Materiales Suelos.

VI.1. Descripción estructural de la presa

Se describirá de forma general la geometría de los componentes de la presa, detalles constructivos de la cimentación, secciones transversales y longitudinales, drenajes y disposición de los materiales de construcción.

VI.2. Caracterización geotécnica del sitio de presa

Se analizará los resultados de las campañas de prospección, ensayos de laboratorio, perfiles geológicos e informes de caracterización geotécnica del emplazamiento de la presa a fin de evaluar la resistencia, deformabilidad,

permeabilidad, estructura, fisuración y estabilidad físico-química del material de la cimentación y estribos de la presa.

VI.3. Propiedades de los materiales de construcción

Deberá constatarse que los materiales de construcción poseen las propiedades mecánicas prescritas en el proyecto de la presa.

En las presas de fábrica se verificará, de los reportes de inspección de obras, que los agregados y el diseño de la mezcla del concreto fueron los adecuados, que la colocación del concreto se llevó a cabo según las especificaciones y que se tomaron muestras representativas para su posterior ensayo de laboratorio.

En las presas de materiales sueltos se verificará que se seleccionaron los materiales según la granulometría indicada en el diseño de la presa y que la colocación se llevo a cabo según lo previsto alcanzando las densidades de compactación indicadas en el proyecto.

Estas propiedades deberán estar indicadas en los informes de inspección de obras. Es aconsejable realizar campañas de sondeo de las propiedades de los materiales de construcción mediante la toma de muestras y ensayos de laboratorio que permitan corroborar la calidad de los acabados de construcción y la evolución de las propiedades mecánicas de los materiales en el tiempo.

De esta caracterización se obtendrán los parámetros geomecánicos que se utilizarán posteriormente en los análisis de estabilidad y comportamiento tenso – deformacional.

De esta caracterización se obtendrán los parámetros resistentes de los materiales de construcción que serán utilizadas posteriormente en los análisis de estabilidad y comportamiento tenso – deformacional de la presa.

VI.4. Situaciones de Análisis

Los análisis de la seguridad estructural se efectuarán considerando tres tipos de situaciones de análisis: normales, accidentales y extremas. Cada situación de análisis es un escenario de sollicitación en el cual la presa se encuentra en una serie de condiciones iniciales predeterminadas y está sometida a un conjunto de sollicitaciones dado. En cada situación de análisis se verificará la estabilidad

de la presa admitiendo distintos factores de seguridad, razonados en función de la probabilidad de aparición del escenario.

✓ **Situaciones Normales**

Corresponden a la acción del peso propio, empuje hidrostático y a las presiones intersticiales con el embalse para distintos niveles inferiores al Nivel de Aguas Normales (NAN). Se considerará también el empuje de los sedimentos y los efectos debidos a la temperatura. La persistencia en el tiempo de estas situaciones es generalmente prolongada.

✓ **Situaciones Accidentales**

Corresponden a acciones de duración limitada que producen incrementos en las sollicitaciones tales como: Empuje hidrostático debido a un incremento del nivel del embalse hasta el Nivel de la Creciente de Proyecto (NCP); aumento anormal de las presiones intersticiales; o acciones sísmicas, de magnitud inferior o igual al Terremoto de Proyecto (TP).

✓ **Situaciones Extremas**

Corresponde a situaciones como: empuje hidrostático debido a la Creciente Extrema (Nivel de Aguas Máximas), sobre elevación extraordinaria por avería de las compuertas, situaciones anómalas de disminución de resistencia u ocurrencia del Terremoto Extremo (TE).

VI.5. Análisis de estabilidad estática

En este apartado se comprobará la estabilidad a deslizamiento del conjunto presa–cimiento, tanto en su estructura global como en cualquier parte que por su morfología pueda tener movimiento independiente del resto.

La superficie más clara sobre la cual puede ocurrir deslizamiento será la de contacto entre la presa y su cimiento, sin embargo se analizará otras superficies factibles ubicadas principalmente en este entorno, especialmente cuando se identifiquen problemas de meteorización, bajo rozamiento interno, diaclasado, planos de discontinuidad en la cimentación o en los estribos, zonas de posible erosión etc.

La estabilidad frente al deslizamiento, deberá comprobarse en todas las situaciones anteriormente descritas (normales, accidentales y extremas) con excepción de aquellas en las que se encuentre el embalse vacío (ROSALES and ESCUDER, 2010).

Aplicación de la Teoría de la Seguridad

Se conoce que la ecuación general del cálculo para el 1Estado Límite es:

$$Y_1^* \leq Y_2^* / \gamma_s$$

Donde:

Y_2^* Función de las fuerzas resistentes con su valor de cálculo.

Y_1^* Función de las fuerzas actuantes con sus valores de cálculo.

γ_s coeficiente de seguridad adicional, que depende de las condiciones de trabajo generales de la obra (Álvarez, 1998, Hernández, 2014).

La ecuación que describe el Estado Límite Último de Rotura para la estabilidad del talud es:

$$\sum M^*_{desestabilizador} \leq \frac{\sum M^*_{estabilizador}}{\gamma_s}$$

La elección de los coeficientes de seguridad con respecto a la cohesión y al rozamiento, deberá estudiarse en función del tipo de presa y la situación de análisis, admitiéndose de manera general, coeficientes de seguridad menores en las situaciones extremas(ROSALES and ESCUDER, 2010).

A continuación, se propone una guía para la selección de los coeficientes de seguridad resumidos en la tabla 10:

Tabla 10. Factores de seguridad.

Situación	CLASIFICACIÓN DE LA PRESA			
	A		B	
	F1	F2	F1	F2
NORMAL	1.5	5.0	1.4	5.0
ACCIDENTAL	1.2	4.0	1.2	3.0
EXTREMA	>1,0	3.0	>1,0	2.0

En presas de arco y de bóveda o presas de gravedad en las cuales existan anisotropías geológico – geotécnicas importantes en el sentido longitudinal ala cerrada, que puedan suponer alteraciones en el comportamiento resistente bidimensional, se llevará a cabo un análisis de tipo tridimensional que reproduzca el efecto de transmisión de lateral de las cargas, justificando la metodología a emplear, haciendo énfasis en los estribos o zonas de diaclasado especial.

VI.6. Análisis de la estabilidad interna

La evaluación de la Estabilidad Interna en terraplenes de cortinas de presas de tierra se aborda aquí como una aplicación de la solución del problema tenso-deformacional de la masa de suelo de este tipo de estructura en el área de la ingeniería civil. Se desarrolla el análisis tenso-deformacional de la cortina y su solución a partir de la aplicación del método de los elementos finitos. Se realiza una caracterización de los problemas de la estabilidad interna por medio de los distintos estados de carga a que se ve sometida la obra y la forma de modelación por un cálculo en elementos finitos, teniendo en cuenta la geometría de la sección, cargas actuantes y propiedades tenso-deformacionales del suelo y se da una explicación de los resultados que obtenidos.

Se establecen las bases de cálculo y de conocimientos necesarios para aplicar la solución del problema tenso-deformacional en el análisis del comportamiento de la cortina de presas de tierra mediante un cálculo por elementos finitos, se identifican tres anomalías que conducen a una falta de inestabilidad interna, tales como: el riesgo de agrietamiento transversal y longitudinal, la fractura hidráulica y los asentamientos excesivos de la corona, que pueden poner en peligro la seguridad de la obra (Álvarez, 1998)

VI.7. Análisis del comportamiento tenso - deformacional

Se realizará un análisis del comportamiento elástico evaluando el reparto interno de tensiones en el cuerpo de presa utilizando métodos de cálculo justificados, que modele tanto la estructura como el terreno de apoyo. En la actualidad el método de elementos finitos, el de mayor aplicabilidad y difusión ya que brinda soluciones prácticas y aplicables a la mayoría de los problemas que se presentan en el cálculo de presas.

Cuando el conjunto presa – cimiento presenta características homogéneas a lo largo de la cerrada y la presa es de alineamiento recto, pueden emplearse modelos bidimensionales que reproduzcan el comportamiento de tensión y deformaciones planas.

Para presas en las cuales se deba considerar el efecto tridimensional de reparto de tensiones laterales bien sea presas de arco y bóveda como presas de alineamiento recto con anisotropías importantes en el sentido longitudinal, de emplearán modelos tridimensionales para el estudio del reparto de tensiones.

Cualquiera que fuera el método de cálculo empleado, el resultado de este análisis será determinar la distribución de esfuerzos en el conjunto presa – cimiento con la finalidad de verificar si las tensiones y deformaciones esperadas son compatibles con las propiedades resistentes de los materiales de construcción de la presa, la cimentación y los estribos sin que ocurra rotura en ningún punto de la estructura.

La relación entre los esfuerzos actuantes y las capacidades resistentes se expresará como un factor de seguridad, sobre el cual, se propone una selección de coeficientes a tomar en cuenta para esta verificación. Véase la tabla 11:

Tabla 11. Selección de factores de seguridad con respecto a las tensiones.

Situación	CLASIFICACIÓN DE LA PRESA	
	A	B
NORMAL	1.4	1.4
ACCIDENTAL	1.3	1.2
EXTREMA	>1,0	>1,0

VI.8. Análisis de estabilidad al deslizamiento

La comprobación de la estabilidad en presas de materiales sueltos, consistirá en determinar el coeficiente de seguridad al deslizamiento a lo largo de la superficie más desfavorable entre todas las posibles. La elección de la forma de las superficies de deslizamiento dependerá del tipo de presa en estudio.

Los métodos mayormente utilizados para el cálculo de la estabilidad son los de equilibrio límite, basados exclusivamente en las leyes de la estática para determinar el estado de equilibrio de una masa de terreno potencialmente inestable. No tienen en cuenta las deformaciones del terreno. Suponen que la resistencia al corte se moviliza total y simultáneamente a lo largo de la superficie de corte. En estos métodos se asume que el suelo se comporta como un material Mohr-Coulomb, y que el factor de seguridad será el mismo para todos los deslizamientos.

Dentro de estos métodos, los procedimientos de mayor uso en la actualidad son los basados en el “método de las rebanadas”, tales como Morgenstern – Price, Spencer, Jambu y Bishop.

Estos métodos se basan en elegir una superficie de deslizamiento adecuada; para ello, hay que tener en cuenta las propiedades de los materiales y la geometría de la presa. La única condición que debe cumplir una superficie de deslizamiento es que sea viable como tal, es decir que su geometría haga posible el deslizamiento. En general las superficies de deslizamiento no deben

cortar obras de concreto (como es el caso de las pantallas), ya que su cohesión las hace mucho más resistentes.

En algunos casos es necesario definir superficies mixtas planas, circulares, logarítmicas etc. En todo caso, se debe generar un número adecuado de superficies de deslizamiento coherentes con la estructura de la presa para que en su posterior análisis se pueda elegir aquella sobre la cual se estimen coeficientes de seguridad mínimos, siendo por lo tanto ésta la sección crítica.

Los métodos consistirán en dividir la superficie de deslizamiento en franjas verticales, asimilar a cada franja un elemento trapecial o triangular y evaluar de manera individual el equilibrio estático. Es aconsejable utilizar un método que tome en cuenta la interacción entre las rebanadas; en este sentido método de Jambu es uno de los más exactos, ya que el estado tensional de cada franja se plantea de manera general sin limitaciones ni hipótesis simplificadoras para las fuerzas entre las franjas.

Dada la complejidad de los cálculos se recomienda la utilización de un modelo numérico que reproduzca aceptablemente la geometría de la presa y su cimiento. Toda vez que se utiliza un modelo resistente basado en materiales con comportamiento según la ley de Mohr – Coulomb, el coeficiente de seguridad F , será el valor por el que han de dividirse la cohesión y la tangente del ángulo de rozamiento interno de cada material, de modo que el modelo de cálculo indique que la presa es inestable.

En algunas ocasiones, cuando las cerradas son muy estrechas conviene tener en cuenta de manera aproximada el efecto tridimensional.

A continuación se propone una selección de factores de seguridad a tener en cuenta en el análisis de estabilidad de presas de materiales sueltos definidos en función del tipo de presa y la situación de cálculo.

Tabla 12. Factores de seguridad.

SITUACIÓN	CLASIFICACIÓN DE LA PRESA	
	A	B
NORMAL	1.4	1.4
ACCIDENTAL	1.3	1.2
EXTREMA	>1	>1

VII. Evaluación de la seguridad de las Instalaciones Electromecánicas

En este apartado se debe evaluar las condiciones de operatividad de los accionamientos de válvulas y compuertas que ejerzan control sobre los desagües profundos y aliviaderos.

Se revisará el estado de conservación de las unidades oleodinámicas y motores eléctricos de accionamiento, basándose en su historial de funcionamiento y pruebas documentadas. Se estimará si es necesario o no realizar trabajos de rehabilitación, mantenimiento o sustitución de cualquier equipo que así lo amerite.

Se verificará el estado de conservación de los tableros eléctricos y sistemas electrónicos de control.

Las condiciones de la alimentación eléctrica han de ser revisadas enfocándose en la fiabilidad del suministro eléctrico en condiciones de operación normal y de contingencia. Se evaluará la presencia de sistemas de alimentación redundantes como grupos electrógenos alimentados con combustible ubicados en las casetas de accionamientos de válvulas y compuertas así como grupos electrógenos portátiles.

En aquellos casos en que la seguridad hidrológica – hidráulica este fiada a la operación de equipos electromecánicos, se debe prestar especial atención al estado de conservación de los equipos y a la realización periódica de pruebas de funcionamiento.

VIII. Evaluación de la seguridad de Accesos y Comunicaciones

La evaluación de la seguridad de Accesos y Comunicaciones consistirá en describir el estado de conservación, disposición y estructura de la red de accesos viales y peatonales a los dispositivos de control y zonas involucradas en la gestión de la seguridad de la presa; la infraestructura de comunicaciones entre el equipo encargado de la presa con el titular y autoridades competentes en materia de administración de situaciones de contingencia, también ha de ser analizada en este aparte.

✓ **Accesos**

Debe estudiarse de manera conjunta la accesibilidad a la presa y sus obras anexas medio de vehículos tales como carreteras y puentes, así como las conexiones internas practicables a pie por el personal encargado, tales como galerías de inspección, pasarelas, escaleras etc.

Se debe confirmar el estado de conservación y mantenimiento de todas las vías de comunicación y estudiar la vulnerabilidad de estos accesos en situaciones extremas como escenarios de crecientes y ocurrencia de sismos.

El acceso a todos los sistemas de regulación debe ser practicable durante la ocurrencia de la creciente de proyecto para cualquier presa, y durante la creciente extrema en aquellas presas en que los aliviaderos estén controlados por compuertas o la estrategia de laminación obligue a la utilización de los desagües profundos.

✓ **Comunicaciones**

El equipo encargado de la explotación debe contar, en el sitio de la presa con la capacidad de comunicarse con el titular de la presa, las autoridades de administración de emergencias a nivel local, gobierno regional, organizaciones comunitarias etc.

Sobre la capacidad de las comunicaciones se fundamenta la posibilidad de informar correcta y oportunamente de las condiciones de la explotación de la presa tales como niveles del embalse, caudales desaguados, lecturas de la instrumentación etc., de modo que la toma de decisiones pueda realizarse asertivamente contando con la mayor cantidad de información.

Se evaluará la capacidad instalada de comunicación por vía telefónica, radioeléctrica, Internet etc., tomando en cuenta el estado de conservación y mantenimiento de los equipos, y la capacidad de funcionamiento de estos durante situaciones de contingencia.

IX. Evaluación de la seguridad Funcional

La seguridad funcional está referida a la capacidad del equipo de explotación para llevar a cabo las maniobras que sean requeridas en cada caso para preservar la seguridad de la presa.

Sobre el equipo responsable de la explotación, se debe realizar una descripción completa del personal y su capacitación, 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 posee 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.

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 (Rosales, 2009).

CAPITULO 3 EVALUACIÓN MEDIANTE UN EJEMPLO CON LOS DATOS DISPONIBLES LA INTEGRIDAD DE UNA PRESA DE TIERRA EN CUBA

3.1 Procedimiento para evaluación de seguridad de las presas de tierra aplicada a la presa Palmarito

Principales características de la presa Palmarito

El embalse Palmarito se encuentra ubicado en el curso medio superior del Río Sagua la Grande en las coordenadas plano-rectangulares $X= 280.7\text{m}$ y $Y=598.4\text{m}$, en una zona con nombre geográfico conocido como Palmarito, a unos 10 km al suroeste de la ciudad de Santa Clara.

La cortina del dicho embalse posee una longitud de 2 422 m, con una altura máxima de 29,4 m y su cota de corona es 112,10 m.

El material que compone su estructura es de tipo rocoso con una pantalla de arcilla para impermeabilizar. El talud aguas arriba es 1:2,5 desde la corona a la berma y 1:3 por debajo de la berma, el talud de aguas abajo es 1:2, 1:2,5 y 1:3 con bermas intermedias.

Es una obra concebida para el riego de caña de azúcar y abasto a la zona Industrial de Santa Clara, las entregas para el riego se efectuarán por el cauce del río hasta la derivadora Ranchuelo, desde donde serán derivadas las entregas por un canal magistral hacia los sistemas de riego.

El relieve de la zona es llano presentando algunas ondulaciones, bastante suaves. Donde comienza la cortina y en la zona del aliviadero el relieve es más accidentado presentando algunas elevaciones.

En la zona predominan las rocas efusivas de forma generalizada, así como el aporte terrígeno como secundario. En la margen izquierda hasta el arroyo el burro encontramos areniscas y tobas zeolitizadas, al cruzar el arroyo comienza un corte arenoso arcilloso de los elementos aluviales, posteriormente aparece la argilita, la toba alterada y debajo de esta la toba carbonatada.

El agua subterránea en todos los casos se dirige hacia el río directamente o a través de cañadas y arroyos por lo que las pérdidas en el embalse serán por saturación.

Tabla 13. Parámetros característicos de la obra y el embalse

No	Denominación	UM	Cantidad
1	Nivel de Aguas Normales N.A.N	<i>m</i>	109.6
2	Nivel de Aguas Máximas N.A.M	<i>m</i>	110.0
3	Nivel de Volumen Muerto N.V.M	<i>m</i>	103.0
4	Área del Embalse	<i>km²</i>	11.7
5	Volumen Total del Embalse	$10^6 m^3$	80.0
6	Volumen Útil	$10^6 m^3$	55.0
7	Volumen Muerto	$10^6 m^3$	25.0
8	Escurrimiento Medio Hiperanual	$10^6 m^3$	49.3
9	Gasto de Avenida del 0,5%	m^3/s	1650.0
10	Volumen de Avenida del 0,5%	<i>hm³</i>	43.9
11	Gasto de Vertimiento para 0,5%	m^3/s	1350.0
12	Gasto de la Toma de Agua	m^3/s	7.0
13	Área de la Cuenca	<i>km²</i>	154.0
14	Área que Beneficia	<i>ha</i>	1610.0
15	Coeficiente de Regulación		0.91
16	Volumen de Entrega	$10^6 m^3$	
17	Cota de Corona	<i>m</i>	112.1
18	Longitud de la Corona	<i>m</i>	2422.0
19	Altura Máxima	<i>m</i>	29.4
20	Terraplén de Arcilla	$10^3 m^3$	858.5
21	Terraplén de Rocoso	$10^3 m^3$	1213.7
22	Excavación	$10^3 m^3$	533.6
23	Filtros	$10^3 m^3$	47.4
24	Rajón de Volteo	$10^3 m^3$	67.5
25	Hormigón	$10^3 m^3$	9.12
26	Costo de la Obra	$10^6 m^3$	8.18

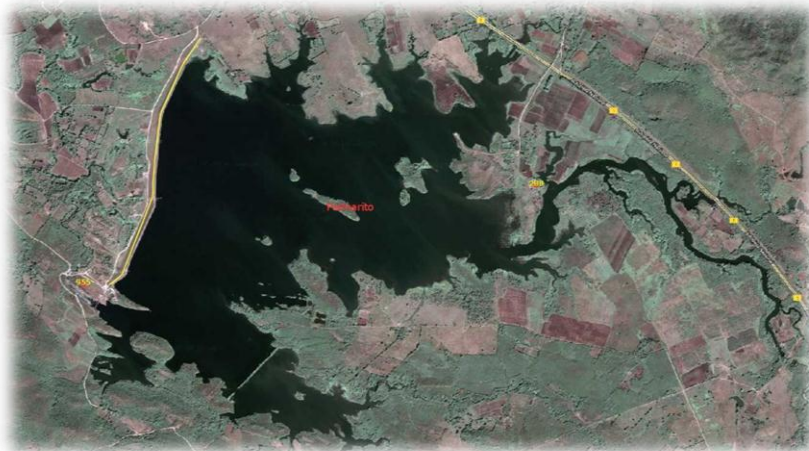


Figura 18. Foto satelital Palmarito.

Protocolo de evaluación de la seguridad aplicado a la presa Palmarito

I. Consideraciones previas

La Presa Palmarito, está actualmente en la etapa de explotación. Diversas circunstancias han marcado las etapas de diseño y construcción produciéndose modificaciones en la tipología de la presa, y usos del embalse entre otras particularidades que serán descritas a continuación.

El objeto de este análisis es determinar el comportamiento de la presa y sus obras anexas en términos de seguridad frente a las solicitaciones para las cuales han sido diseñadas, en condiciones de operación y situaciones extremas.

I.1. Sobre la Titularidad

El Titular de la Presa Palmarito es el Instituto Nacional de Recursos Hidráulico. Una vez concluidas las obras y puesta en funcionamiento, la presa suministrará agua para dos usos principales: para el riego de caña de azúcar y abasto a la zona Industrial de Santa Clara, las entregas para el riego se efectuarán por el cauce del río hasta la derivadora Ranchuelo, desde donde serán derivadas las entregas por un canal magistral hacia los sistemas de riego.

Para efectos de la seguridad de la presa, la explotación debe ser llevada a cabo siguiendo procedimientos que salvaguarden la integridad de las estructuras. Es imprescindible que el titular designe un equipo calificado que se haga responsable del manejo del embalse, promueva inspecciones periódicas y evaluaciones de seguridad, custodie y actualice los Archivos Técnicos y elaborare las Normas de Explotación de la presa entre otras múltiples funciones.

II. Clasificación de las Presa Palmarito

II.1 Clasificación en función de sus dimensiones:

En función de sus dimensiones, entra en el criterio de clasificación de **grandes presas** considerando que:

- a) $H_{m\acute{a}x}=29.4m$
- b) $Vol.Total = 80, 0 \times 10^6 m^3$
- c) Capacidad de descarga = $1350 m^3/s$

II.2 En función del daño potencial

La presa Palmarito tiene una gran importancia se encuentra ubicado en la parte alta de la cuenca en el Río Sagua la Grande. Su objetivo inicial fue el riego de caña pero posteriormente se determinó la utilización de todo su potencial de entrega en el abasto a Santa Clara con vistas a la desvinculación futura del Sistema de Abasto desde el embalse Paso Bonito ya muy deteriorado y de alto consumo energético. Se prevé prospectivamente incorporarle también el abasto al poblado de Ranchuelo.

La Estación de Bombeo se encuentra ubicada en la cola del embalse por lo que la Presa tiene un volumen muerto para esta actividad de $25 hm^3$. La Estación de Bombeo cuenta con 4 Bombas de 200 l/s cada una y una de 150 l/s para una capacidad total de 950 l/s. Esta estación incorpora al Sistema Paso Bonito-Santa Clara 800 l/s y compensa el Sistema Agabama-Gramal con 150 l/s. En caso de un fallo es de esperarse que ocurra una expansión de la onda mitigando sus efectos aguas abajo en términos de lámina inundada provocando

pérdidas de vida y daños a la economía. Por otra parte es previsible que ocurran daños considerables a la infraestructura de riego y al abasto de la población.

Como función del daño potencial y en vista de lo anteriormente expuesto, ésta presa se clasifica como Tipo A.

II.3 Clasificación en función de su tipología

Palmarito es una presa de tierra mixta, el material que compone su estructura es de tipo rocoso con una pantalla de arcilla para impermeabilizar. En la figura se observa la sección típica de la presa y la colocación de los diferentes materiales que la conforman.

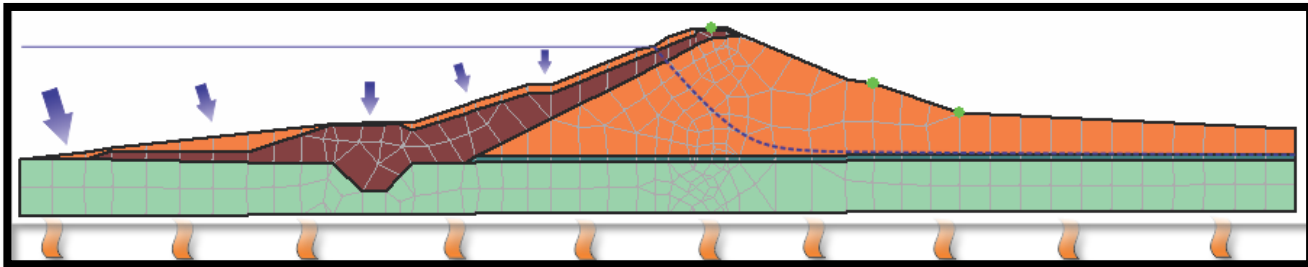


Figura20. Sección típica presa Palmarito (Álvarez et al., 2015).

III. Revisión del archivo técnico

La revisión del Archivo Técnico se realizó recopilando y catalogando toda la información disponible en formato digital y en físico.

Tabla 13. Parámetros principales de la presa Palmarito.

PARÁMETROS PRINCIPALES			
HIDROLÓGICOS			
Cuenca: Sagua la Grande			
Río: Sagua la Grande			
Coordenadas del cierre: N:280,70 E:598,80			
Área de la cuenca (km²):			154.0
Longitud del río (km):			25.6
Escorrentamiento medio (Hm³):			57.8
Escorrentamiento 75 % (Hm³):			33.8
Escorrentamiento 85% (Hm³):			
Escorrentamiento 95 % (Hm³):			
Gasto máx. en el cierre 0,5%(m³/s):			1260.0
EMBALSE			
	Nivel (m)	Área (ha)	Volumen (Hm³)
NAM	110.00	1175.80	85.47
NAN	109.60	1138.00	80.00
NM	94.35	50.00	2.19
CONSTRUCTIVOS Y DE DISEÑO			
Tipo de presa: Mixta. Material rocoso con núcleo de arcilla			
Longitud de la cortina (m): 2426 ,0			
Cota de corona (m): 112,00			
Altura máxima (m): 29,00			
Tipo obra toma: Torre, galería y compuertas			
Gasto máximo obra toma (m³/s): 52,00			
Tipo de aliviadero: Frontal recto con 4 compuertas			
Longitud sección vertedora (m): 48,00			
Gasto máximo del aliviadero 0,5% (m³/s): 1350,0			
Año de terminación: 1991			
Hidroeconómicas			
Entregas garantizada (Hm³): 28,9			
Tipo de regulación: Hiperanual			
Coefficiente de regulación: 0,91			

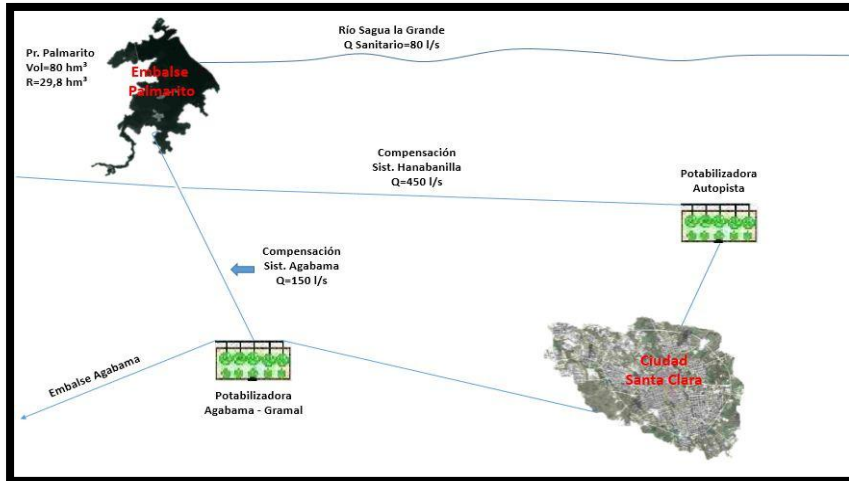


Figura 21.Presa Palmarito

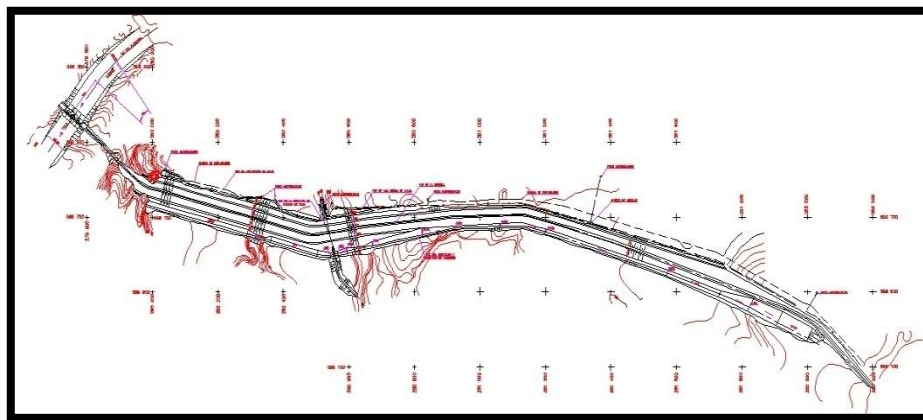


Figura 22.Planta del aliviadero

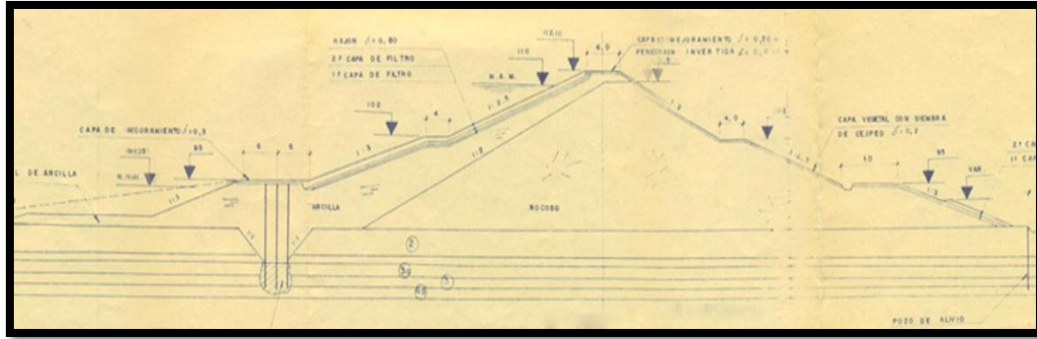


Figura 22. Sección típica presa Palmarito

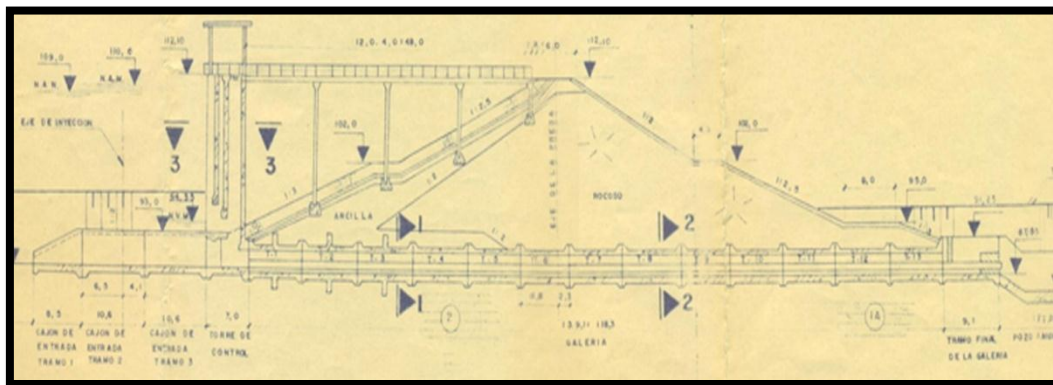


Figura 23. Sección Típica de la Obra de Toma.

IV. Inspección Técnica

Una inspección técnica completa debe cubrir siempre que sean posibles los siguientes aspectos:

IV.1 Accesos

La presa está ubicada a 12 Km de Villa Clara, se accede por la autopista nacional ramal Santa Clara-Santi Spiritus hasta encontrar el camino rural que lleva a la presa, la carretera de acceso tiene un ancho adecuado para permitir el paso de los equipos.

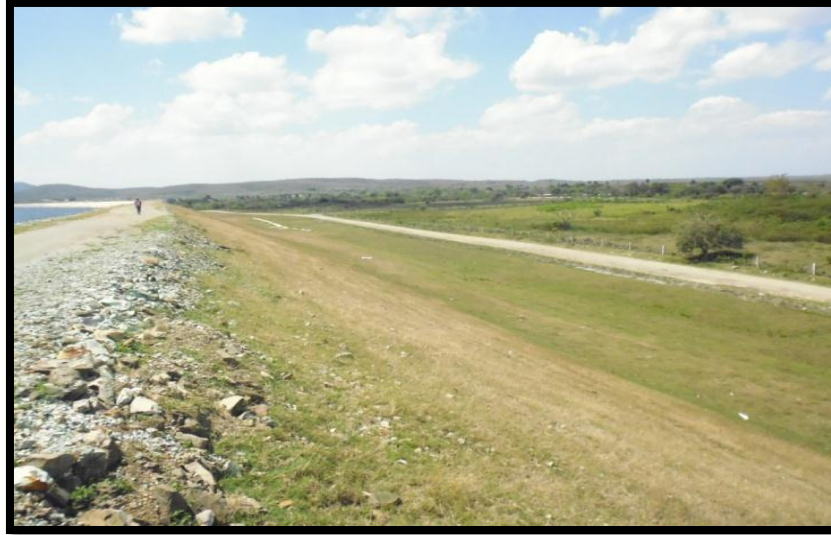


Figura 23. Accesos y corona de la presa Palmarito

IV.2 Entorno Geológico

El relieve de la zona es llano presentando algunas ondulaciones, bastante suaves. En el comienzo de la cortina y la zona del aliviadero, el relieve es más accidentado presentando algunas elevaciones.

En la zona predominan las rocas efusivas de forma generalizada, así como el aporte terrígeno como secundario. En la margen izquierda hasta el arroyo el burro encontramos areniscas y tobas zeolitizadas, al cruzar el arroyo comienza un corte arenoso arcilloso de los elementos aluviales, posteriormente aparece la argilita, la toba alterada y debajo de esta la toba carbonatada. El agua subterránea en todos los casos se dirige hacia el río directamente o a través de cañadas y arroyos por lo que las pérdidas en el embalse serán por saturación.

IV.3 Talud seco

Presenta erosión a lo largo del talud en la zona del filtro originado por el depósito de piedras en la corona para el revestimiento del talud mojado, al llenarse la presa salió una zona de filtraciones en el talud en un área de aproximadamente 30m de longitud a la entrada de la obra por lo que se debe

mantener las observaciones diarias y mantener el área estaquillada y encauzar la filtración con una canaleta.



Figura 24. Talud seco.

Talud mojado

El paramento de aguas arriba está revestido a volteo con piedras rajón, no se observa ningún indicio de asentamiento o deslizamiento del talud.



Figura 25. Talud aguas arriba.

IV.4 Coronación

Sobre la coronación existe una carretera de tierra por la cual se puede transitar. Se han instalado dispositivos que permiten la medición de los asentamientos, con lo cual, la observación superficial arroja información relevante sobre este aspecto. Presenta algunos baches producto del paso de algunos vehículos por la corona donde se acumulan las aguas pluviales.



Figura 26. Aspecto de la corona.

IV.5 Instrumentación

A través de la instrumentación la presa puede ser observada durante la inspección, posee equipos para medir las filtraciones y también posee marcas superficiales para medir los asentamientos en la presa.

IV.6 Aliviadero

Existen salideros por las juntas de las compuertas 1, 3 y 4, y por las deformaciones que existen en el hormigón. Los salideros por ambas compuertas son provocados por el mal estado de las juntas y deformación del hormigón. Sustituir las juntas de goma que están en mal estado por nuevas que hermeticen. En caso de cualquier problema en las compuertas del aliviadero no hay como solucionarlo por no tener colocadas las compuertas de reparación porque no fueron colocadas desde la construcción por lo que se deben colocar las compuertas.

Existen salideros por las juntas de las compuertas 1, 3 y 4, y por las deformaciones que existen en el hormigón. Los salideros por ambas compuertas son provocados por el mal estado de las juntas y deformación del hormigón. Sustituir las juntas de goma que están en mal estado por nuevas que hermeticen. En caso de cualquier problema en las compuertas del aliviadero no hay como solucionarlo por no tener colocadas las compuertas de reparación porque no fueron colocadas desde la construcción por lo que se deben colocar las compuertas.



Figura 27. juntas de las compuertas.



Figura 28. Aliviadero

IV.7 Instalaciones Electromecánicas

En las compuertas 2 y 4 los polipastos no dan vueltas, el cable de izaje resbala por la hendidura por estar expuesto las aguas pluviales y cuando se operan las compuertas por lo que hay que darle mantenimiento con la brigada electromecánica. No existen los elevadores de las compuertas de reparación por lo que no se puede poner y quitar cuando sea necesario por lo que hay que buscar y colocar los dos elevadores.



Figura 29. Polipastos del aliviadero.



Figura 30. Elevadores de compuertas.

IV.8 Obra de Toma

Existe un derrumbe de tierra en el canal frente a la galería que estrecha el canal y afecta la evacuación del agua, que fue provocado por el deslizamiento de tierra de los bordes del canal, para lo cual se debe limpiar el canal con un equipo pesado.



Figura 31. Acumulación de tierra en el canal.

Existe un gran deterioro de la estructura metálica por la cantidad de óxido provocado por la no constancia de mantenimiento de Anticorrosivo y esmalte para lo que se propuso raspar las estructuras y colocar Pintura anticorrosivas y una aplicación de esmalte.



Figura 32. Estructuras metálicas

4.9 Zona inundable

En la siguiente figura se muestra una imagen de los lugares que se podrían inundar en caso de crecidas.



Figura 33. Zona inundable

V. Evaluación de la seguridad Hidrológica-Hidráulica

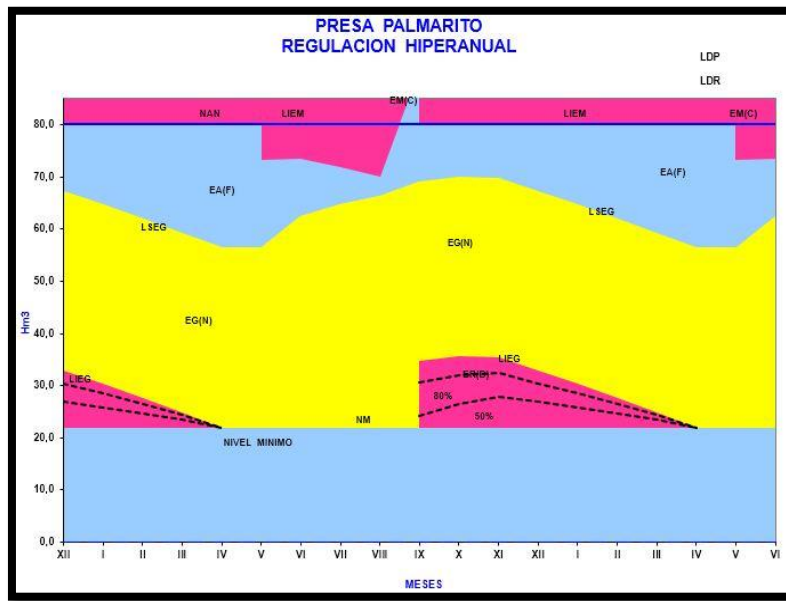


Figura 34. Gráfico de despacho de la presa Palmarito

Estudios Hidrológicos:

Las estructuras hidrotécnicas, que cumplen la función de evacuar los volúmenes en demasías de las avenidas que llegan a los embalses, son diseñadas a partir de la evaluación hidrológica de los gastos máximos para distintas probabilidades, así como los volúmenes de agua que se generen. Esos estudios tienen en cuenta una serie de parámetros físicos-geográficos de las cuencas y la intensidad extrema de precipitaciones y el escurrimiento y han sido elaborados tomando como base la información disponible en las estaciones de aforo y las metodologías propuestas para nuestro territorio por varios especialistas soviéticos que asesoraron dichos trabajos con vistas a evaluar aquellos cierres sin datos.

Diseño:

Los aliviaderos de compuertas son estructuras hidráulicas controladas, a partir de sus elementos electromecánicos, por la voluntad del hombre y tienen como principal finalidad la de evitar que el nivel máximo del embalse sobre pase al normal en gran medida, evitando así que se afecte por inundación un área mayor ocupada normalmente por las aguas.

Una adecuada explotación, manejando debidamente las compuertas, reducirá los efectos de las avenidas, lo cual juega un papel importantísimo como garantía máxima para cumplir el objetivo antes mencionado.

De acuerdo a las condiciones naturales de nuestro país en la que evidentemente, se define dos períodos; el húmedo que se comienza en mayo hasta fines de noviembre y el seco que abarca de diciembre hasta fines de abril, es preciso señalar que las avenidas que se destacan por sus altos caudales máximos, grandes volúmenes y muy rápidos ascensos y descensos catastróficos que transcurren en unos cuantos días , están relacionadas principalmente con el paso de los ciclones tropicales a través de la isla. La temporada ciclónica se establece desde el mes de junio hasta fines de noviembre coincidiendo prácticamente con el período húmedo.

Debido a ese hecho y teniendo en cuenta que cada presa cumple un objetivo bien definido en cuanto a las entregas de agua para satisfacer las demandas de sus usuarios, debería realizarse un análisis profundo de la situación de los niveles a través del gráfico de despacho y la valoración minuciosa de su comportamiento real para procurar tener el embalse en un nivel determinado más bajo que el normal, en el momento de comenzar una avenida que se tema sea de consideración, es decir , contar con un prisma de almacenamiento sin afectar la componente hiperanual de la regulación del escurrimiento ni causar afectaciones en el consumo de los diferentes usuarios.

En este trabajo se considera el embalse lleno ya que es la condición más crítica por la que puede transitarse en eventos hidrometeorológicos de extrema magnitud, cualquier otra supone una notable mejoría en todos los sentidos ya sea en el procedimiento práctico como en los pronósticos que pueden realizarse en correspondencia con los datos reales observados.

Procedimiento:

Tomando como punto de partida todo lo expresado anteriormente se propone operar las compuertas de los aliviaderos siguiendo principalmente las fluctuaciones del embalse, por encima del Nivel de Aguas Normales (N.A.N), en intervalos fijos de

tiempos determinados en función de las características de los hidrógrafos estudiados. Conocidos los volúmenes de agua almacenados para distintos niveles sobre el N.A.N, se establece una relación entre estos, el comportamiento inestable de las avenidas y la capacidad de evacuación del aliviadero.

Como cada embalse cuenta con sus particularidades específicas es necesario analizarlos por separado.

Tabla 14. Avenidas para una probabilidad de diseño.

Avenidas	Probabilidad	Q(m ³ /s)	W(hm ³)
Diseño	1.0%	1260	35.10
Comprobación	0.5%	1650	43.50

Compuertas: 4 de segmento (5 x 12 m)

Pasos para la operación:

1. En el momento en que el nivel del agua en el embalse alcance la cota 109.60 (NAN) se registrará la hora exacta en que esto ocurra. Ese será el momento de partida de todo el procedimiento.
2. Al cabo de una hora se volverá a observar el nivel del embalse y se procederá a abrir las compuertas con la abertura correspondiente a ese nivel de acuerdo con la tabla mostrada al final.
3. Las compuertas mantendrán su posición mientras el nivel del embalse no indique que debe pasarse a una mayor o menor abertura (Esto se corroborará a través de las lecturas que se efectúen del nivel de agua cada una hora).

-
4. No pasar una de las compuertas a otra abertura hasta tanto las restantes no tengan esa misma. por ejemplo si las compuertas están a 0.4 m abiertas, necesitándose evacuar más gasto con 0.6 m deberán pasar todas de forma uniforme a esa nueva posición y así sucesivamente hasta la abertura total. Para bajarlas se seguirá el mismo procedimiento.
 5. El orden de operación de las compuertas numerándolas de izquierda a derecha (1-2-3-4) debe ser 2-3-4-1 (para su apertura) y 1-4-2-3(para su cierre)
 6. El nivel del agua y las aberturas de las compuertas quedarán anotadas en cada lectura efectuada.(González, 1996)

Se adjunta además de abertura en función del nivel del embalse.

Tabla 15. PALMARITO Aberturas de las compuertas de acuerdo con el nivel del embalse.

Cota(msnm)	Abertura(m)	Cota(msnm)	Abertura(m)
109.60	0.00	109.79	2.40
109.61	0.10	109.80	2.50
109.62	0.25	109.81	2.70
109.63	0.40	109.82	2.80
109.64	0.50	109.83	3.00
109.65	0.60	109.84	3.10
109.66	0.80	109.85	3.30
109.67	0.90	109.86	3.40
109.68	1.00	109.87	3.60
109.69	1.10	109.88	3.70
109.70	1.20	109.89	3.90
109.71	1.40	109.90	4.20
109.72	1.50	109.91	4.30
109.73	1.60	109.92	4.50
109.74	1.80	109.93	4.70
109.75	1.90	109.94	4.90
109.76	2.00	109.95	5.00
109.77	2.20	109.96	5.00
109.78	2.30	110.00	5.00

Tabla 16. Volúmenes iniciales en los últimos 5 años de la presa Palmarito.

Años	Meses del año											
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
2012	57.23	54.71	52.72	50.48	48.73	58.8	58.8	58.4	58.85	58.40	59.84	60.02
2013	58.5	56.33	53.99	51.74	50.48	49.78	49.7	53	53.54	59.40	60.47	62.81
2014	62.18	60.29	60.83	57.95	54.8	53.99	56.06	54.44	55.34	58.40	59.93	58.22
2015	76.1	75.35	55.79	44.94	43.51	45.02	43.94	48.38	50.62	52.93	52.93	55.79
2016	75.05	72.35	69.65	67.22	64.88	63.53	62.9	62.18	61.55	61.19	64.34	64.25

VI. Evaluación de la seguridad Estructural

Chequeo de la estabilidad estática. Presa Palmarito.

La Presa Palmarito está ubicada en el curso del río Sagua La Grande y pertenece al municipio de Ranchuelo. Es una obra concebida para el riego de la caña de azúcar y abasto a la zona industrial de Santa Clara. La cortina de la presa tiene una longitud de 2 509,0 m y una altura máxima de 29 m, su sección es heterogénea con pantalla de arcilla arenosa y el resto de la sección está formada por un material rocoso de toba. El talud aguas arriba muestra por tres tramos con pendientes 1:2,5, 1:3 y 1:3 desde el pie del mismo en la cota 95,0. El talud aguas abajo está conformado por tres tramos con pendientes de 1:3, 1:2,5; 1:2 desde su pie en la cota 85,0 y bermas en las cotas 95,0 y 102,0 m

La sección típica de proyecto se modificó por una re-proyección, para lo cual se realizaron nuevos estudios de los parámetros físico-mecánicos a partir de ensayos de cortante lento, saturado y pre-consolidado en el laboratorio y estos resultados se completan con pruebas de carga y cortante “in situ”, con el fin de determinar los

parámetros de resistencia al cortante del material de rocoso. Tabla14. Parámetros físico mecánicos de materiales usados en los cálculos.

Propiedades de los materiales de construcción.

Material	γ_f	c	ϕ	Observaciones
	kN/m ³	kPa	grados	
Arcilla	19,1	8,0	16	Proyecto original
Rocoso	19,4	18,0	28	Proyecto original
	-	17,0	24	ensayo laboratorio
	-	12,0	35,4	ensayo in situ
Cimentación	19,5	19,0	15	Proyecto original

Teniendo en cuenta los resultados de los ensayos realizados se decide realizar un chequeo de la estabilidad de taludes de la cortina, determinando el factor de seguridad global al deslizamiento del talud. A manera de ejemplo se analiza la estabilidad para la etapa de Final de Construcción del talud aguas abajo, que fue objeto de la reprojeción al modificarse su pendiente de 1:2 a 1:1,75 a partir de la corona y hasta la cota 102 m.

Tabla15. Variantes de cálculo para el chequeo de la estabilidad del talud de aguas abajo.

Variante	Descripción
1-A	Chequeo de la falla local del talud a modificar con valores de c y ϕ de laboratorio
1-B	Chequeo de la falla general del talud a modificar con valores de c y ϕ de laboratorio
2-A	Chequeo de la falla local del talud a modificar con valores de c y ϕ de laboratorio aplicando los criterios de Estado Límite.
2-B	Chequeo de la falla local del talud a modificar con valores de c y ϕ de laboratorio aplicando los criterios de Estado Límite.

En la aplicación de los criterios de diseño por Estados Límites para el chequeo de la estabilidad de taludes es necesario comprobar si los coeficientes de seguridad parciales utilizados para minorar los parámetros de la resistencia al cortante pueden ser utilizados sin limitación o no.

Análisis realizado para el material del talud aguas abajo.

Material: Rocoso Fuente: Ensayos de cortante lento, saturado, pre-consolidado

Cohesión:

$c = 29\text{kPa}$, $c^* = 17\text{kPa}(\alpha = 95\%)$, $\gamma_{gc} = 1,705 > 1,45 \therefore \gamma_{gc} = \gamma_{gc\text{ maximo}} = 1,45$ Hay que limitar

$$\text{Entonces: } c^* = \frac{c}{\gamma_{gc}} = \frac{29}{1,45} = 20\text{kPa}$$

Ángulo de fricción interna:

$$\phi = 28^\circ, \phi^* = 24^\circ (\alpha = 95\%), \gamma_{g \tan \phi} = 1,19 = \gamma_{g \tan \phi \text{ maximo}} \quad \text{No hay que limitar.}$$

Peso específico:

$$\gamma^* = \gamma \cdot \gamma_{gy} = 19,4 \cdot 1,05 = 20,37 \text{ kN/m}^3$$

Como resultado de esta comprobación se obtiene que el coeficiente de minoración para la cohesión del estudio estadístico es superior al valor máximo obtenido en esta investigación, por lo que se asume este último valor para determinar el nuevo valor de cálculo de la cohesión, en cambio para el ángulo de fricción interna el coeficiente de minoración resultante del estudio estadístico se corresponde con el rango de los valores mínimo y máximo que debe tenerse en cuenta en un análisis de este tipo, por tanto no es necesario limitar dicho coeficiente. Con estos criterios se determinan los nuevos valores de cálculo de la cohesión y ángulo de fricción interna para ser utilizados en el cálculo del factor de seguridad del talud.

Los cálculos se realizan mediante el uso de programas de computación ESTABTAL y SLOPE/W, los resultados numéricos se muestran en la tabla 16.

Tabla 16. Factores de seguridad para el cálculo de estabilidad de taludes por distintos métodos.

Variante de cálculo	Coordenadas del centro		R	FS	Método
	x	y			
	98,4	6,0	16,0	1,719	Fellenius
1-A	98,4	7,3	17,3	1,89	Bishop
	98,5	5,3	15,3	1,68	Janbu
	135,5	70,4	65,4	1,478	Fellenius
1-B	137,8	70,3	65,3	1,685	Bishop
	136,1	68,1	63,1	1,483	Janbu
	99,77	47,55	18,55	1,979	Fellenius
2-A	100,22	49,77	20,77	2,196	Bishop
	99,22	46,11	17,11	1,92	Janbu
	135,4	70,4	65,4	1,49	Fellenius
2-B	137,8	70,3	65,3	1,699	Bishop
	136,1	68,10	63,1	1,498	Janbu

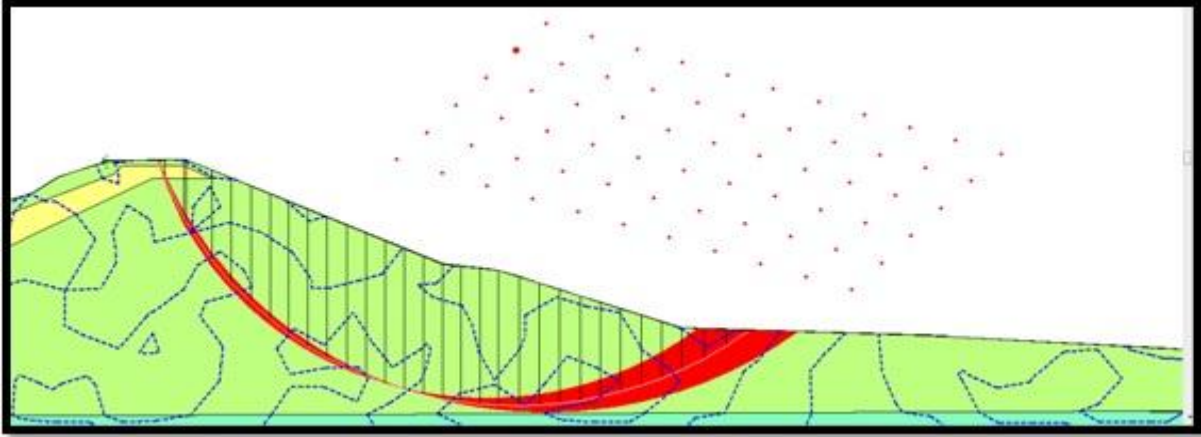


Gráfico representativo para la estabilidad de talud aguas abajo del embalse Palmarito (Cuevas, 2013).

De todo lo anterior se puede plantear que la geometría adoptada para la sección es lo suficientemente estable, pues no se encuentran posibles círculos de falla con factores de seguridad menores que los permisibles, por el contrario, se ha demostrado que se tiene seguridad en exceso, ya que los valores de los factores de seguridad obtenidos son superiores a 1,5 considerado como el límite superior del valor permisible, lo que trae como consecuencia que se desaproveche la resistencia al cortante del suelo del talud seco con su implicación económica.

Finalmente, los resultados a que se arriban al aplicar los criterios de diseño por estados límites, son coincidentes con los resultados del método del factor de seguridad global, pues la seguridad introducida en la estabilidad de la obra con la geometría que posee el talud es exagerada, ya que con la nueva forma de interpretar el valor del factor de seguridad del talud equivalente al coeficiente de seguridad adicional que se introduce en el diseño, se alcanzan valores por encima de la unidad, límite máximo para obras de primera categoría como se ha definido en la elaboración de la tabla 17, tanto más si esta obra es de tercera categoría con $\gamma_s = 0,90$ (Álvarez, 1998).

Tabla 17. Coeficiente de seguridad adicional.

Tipo de obras de tierra.	γ_s
Para taludes de presas de categoría I (base: roca $H > 100\text{m}$; base: suelo, $H > 50\text{m}$)	1.00
Para taludes de presas de categoría II (base: roca $50 < H \leq 100$; base: suelo $25 < H \leq 50$)	0.95
Para taludes de presas de categoría III (base: roca $20 < H \leq 50$; base: suelo $15 < H \leq 25$)	0.90
Para taludes de presas de categoría IV (base: roca $H \geq 20\text{m}$; base: suelo, $H \leq 15\text{m}$)	0.85
Para taludes de terraplenes y cortes ($H \geq 30\text{m}$)	0.90
Para taludes de terraplenes y cortes ($H < 30\text{m}$)	0.80

VII. Evaluación de la seguridad de las Instalaciones Electromecánicas

Las juntas de las compuertas del aliviadero no están en buen estado porque presentan salideros, por lo que fueron sustituidas, las estructuras metálicas necesitan mantenimiento con pintura y anticorrosivo y fueron sustituidos los botones de los mandos del polipasto.

VIII. Evaluación de la seguridad de los caminos y accesos

Los caminos están en buen estado de mantenimiento, se realizó una obra de fábrica para el drenaje de la zona alrededor de la filtración 1 en la cortina, se mantiene un estado de chapea excelente como está indicado en el procedimiento la hierba no

puede superar los 10 cm de altura para que se pueda observar cualquier fenómeno que ocurra.

IX. Evaluación de la seguridad Funcional

El Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (empresa de aprovechamiento) es el encargado de la explotación de la presa, se elaboran normas de explotación y manuales de procedimientos para diferentes escenarios. El equipo de la inspección técnica de las obras es el personal capacitado para operar los sistemas de desagüe, este personal permanece 8 horas diarias en las instalaciones, y cuando hay alertas ciclónicas trabajan 24 horas. Se puede asumir que el tiempo de respuesta entre la ocurrencia de un evento, y la puesta en práctica de alguna maniobra importante con el sistema de desagüe no será inferior a 24 horas.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Se estableció el marco teórico para la evaluación de la integridad de las presas de tierra mediante la revisión bibliográfica de las fuentes de información disponibles.
2. Se Caracterizaron las principales causas que atentan contra la seguridad de las presas de tierra, a partir de los ejemplos de presas que han fallado en Cuba y en el mundo.
3. Se establecieron los métodos para la evaluación de la seguridad de las presas de tierra garantizando su integridad y a partir de uno de ellos se realizó el análisis de la seguridad de la presa Palmarito.
4. Se aplicaron los criterios para evaluar la integridad estructural de la presa Palmarito a partir de los datos disponibles de la obra en estudio.
5. El análisis de la estabilidad del talud aguas abajo de la presa dio entre los rangos permisibles por lo que es estable.
6. Algunos hidromecanismos de la torre de control y del aliviadero presentaron problemas los cuales fueron solucionados asegurando el buen funcionamiento de estos objetos de obra.
7. Las aberturas de las compuertas del aliviadero de acuerdo con los niveles del embalse son las adecuadas para asegurar un buen funcionamiento del aliviadero.

RECOMENDACIONES

1. Realizar el análisis de la seguridad para otros embalses de la provincia de Villa Clara.
2. Realizar la modelación hidrológica e hidráulica de la presa Palmarito.
3. Proponer la realización de un Proyecto de Investigación a la Dirección de Ciencia y técnica del INRH para evaluar la seguridad integral de las presas en Cuba.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

2004. Catástrofe de la presa de Malpasset. *Wikipedia*.

ÁLVAREZ, G., LAMBERTO. 1998. *La estabilidad de cortinas de presas de tierra mediante la solución de los estados tenso-deformacionales y la aplicación de la teoría de seguridad*. Univercidad Central Marta Abreu de las Villas.

ÁLVAREZ, M., MARTÍNEZ, J. E. & ÁLVAREZ, L. 2015. SIMULACIÓN FÍSICO-NUMÉRICA PARA EVALUAR EL COMPORTAMIENTO SISMO RESISTENTE EN PRESAS DE TIERRA.

ARMAS, N., R.; ECHEMENDÍA, MARIÍNEZ, A ; GARCÍA ,DONÉSTEVEZ,CARLOS 1993. *Causa de falla por sifonamiento de la presa Las Cabrerías. Caso histórico*.

CARO, F. J. S. 2007. SEGURIDAD DE PRESAS: APORTACIÓN AL ANÁLISIS Y CONTROL DE DEFORMACIONES COMO ELEMENTO DE PREVENCIÓN DE PATOLOGÍAS DE ORIGEN GEOTÉCNICO

CUEVAS, Y. 2013. *Análisis de las deformaciones en cortinas de presas de tierra: Caso de Estudio Embalse «Palmarito»*.

FLORES, B., RAÚL ; BONOLA ,ALONSO,ISAAC 2012. Relevancia de la instrumentación en presas de tierra en México.

GONZÁLEZ, J. P. 1996. OPERACIÓN DE ALIVIADEROS CON COMPUERTAS PRESA PALMARITO.

HERNÁNDEZ, A. 2014. *Metodología para el análisis de estabilidad de taludes*.

HORTA, R. A. N. Y. E. 1982. *Presa de Tierra*.

LNG. ROLANDO ARMAS NOVOA, L. A. E. M., LNG. CARLOS GARCÍA DONÉSTEVEZ 1993. Causa de falla por sifonamiento de la presa Las Cabrerías. Caso histórico.

ORSEP 2011. LINEAMIENTOS DE SEGURIDAD DE PRESAS.

PÉREZ, P., BENJAMIN 2009. ANÁLISIS DE RIESGO Y CONFIABILIDAD EN PRESAS DE TIERRA: UN CASO EN EL ESTADO DE MÉXICO.

ROSALES, J. & ESCUDER, I. 2010. DESARROLLO DE UN PROTOCOLO PARA LA EVALUACIÓN DE LA SEGURIDAD DE PRESAS EN VENEZUELA: APLICACIÓN AL EMBALSE TRES RÍOS “EL DILUVIO”.

ROSALES, M., JOSÉ DANIEL 2009. DESARROLLO DE UN PROTOCOLO PARA LA EVALUACIÓN DE LA SEGURIDAD DE PRESAS EN VENEZUELA: APLICACIÓN AL EMBALSE TRES RÍOS “EL DILUVIO”.

SERRANO, L., ARMANDO 2011. Desarrollo de una herramienta completa de análisis y evaluación de riesgos en seguridad de presas.

BIBLIOGRAFÍAS:

1959. Catástrofe de Ribadelago (rotura presa vera de tera). *Wikipedia*.

2004. Catástrofe de la presa de Malpasset. *Wikipedia*.

(ORSEP), O. R. D. S. D. P. 2011. LINEAMIENTOS DE SEGURIDAD DE PRESAS.

•, R. M.-M. M. M.-S. D. G.-M. J. A. S.-S. Control de movimientos en presas mediante DGPS. Aplicación a la presa de La Aceña, España.

BAÑOS, F. J. C. 2010. PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DEL ESTADO DE SEGURIDAD EN PRESAS Y PRIORIZACIÓN DE ACTUACIONES.

CARO, F. J. S. 2007. SEGURIDAD DE PRESAS: APORTACIÓN AL ANÁLISIS Y CONTROL DE DEFORMACIONES COMO ELEMENTO DE PREVENCIÓN DE PATOLOGÍAS DE ORIGEN GEOTÉCNICO

CARO, J. L. U. S. Y. F. J. S. Reflexiones sobre seguridad y auscultación en presas de materiales sueltos.

GIL, I. L. Á. 1998. *La estabilidad de cortinas de presas de tierra mediante la solución de los estados tenso-deformacionales y la aplicación de la teoría de seguridad*. Univercidad Central Marta Abreu de las Villas.

GONZÁLEZ, J. P. 1996. OPERACIÓN DE ALIVIADEROS CON COMPUERTAS PRESA PALMARITO.

JOSÉ ROSALES*, I. E. Nov 2010. DESARROLLO DE UN PROTOCOLO PARA LA EVALUACIÓN DE LA SEGURIDAD DE PRESAS EN VENEZUELA: APLICACIÓN AL EMBALSE TRES RÍOS “EL DILUVIO”.

JULIAN, A. H. 2014. Metodología para el análisis de estabilidad de taludes.

LNG. ROLANDO ARMAS NOVOA, L. A. E. M., LNG. CARLOS GARCÍA DONÉSTEVEZ 1993. Causa de falla por sifonamiento de la presa Las Cabreras. Caso histórico.

M. SC. LNG. ROLANDO ARMAS NOVOA, L. A. E. M., LNG. CARLOS GARCÍA DONÉSTEVEZ 2005. Causa de falla por sifonamiento Presas las Cabreras

MANIGLIA, J. D. R. 2009. DESARROLLO DE UN PROTOCOLO PARA LA EVALUACIÓN DE LA SEGURIDAD DE PRESAS EN VENEZUELA: APLICACIÓN AL EMBALSE TRES RÍOS “EL DILUVIO”.

MONTORO, J. F. 2016. UNA CONTRIBUCIÓN AL ESTABLECIMIENTO DEL MARGEN DE SEGURIDAD CONTRA EL DESLIZAMIENTO DE PRESAS DE GRAVEDAD EN EXPLOTACIÓN EN FUNCIÓN DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE.

NOVOA, R. A. Presa de Tierra.

PLIEGO, B. P. 2009. ANÁLISIS DE RIESGO Y CONFIABILIDAD EN PRESAS DE TIERRA: UN CASO EN EL ESTADO DE MÉXICO.

RAÚL FLORES BERRONES, I. B. A. 2012. Relevancia de la instrumentación en presas de tierra en México.

SERRANO, A. 2011. Desarrollo de una herramienta completa de análisis y evaluación de riesgos en seguridad de presas.