

COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA

SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA

**GERENCIA DE AGUAS SUPERFICIALES E INGENIERÍA
DE RÍOS**

**INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA
COORDINACIÓN DE HIDRÁULICA**

**SUBCOORDINACIÓN DE OBRAS Y EQUIPOS
HIDRÁULICOS**

CONVENIO DE COLABORACIÓN NO: 2016-B08-B08-GC-09-RF-AD-A-CC-0001

**“ESTUDIOS ESPECIALIZADOS A CINCO PRESAS DE
ALMACENAMIENTO, DERIVADORAS Y BORDOS EN ALTO
RIESGO DEL NORESTE DEL PAÍS, AÑO 2016”**

Octubre 2016



NOMBRE OFICIAL: RANCHERÍAS

NOMBRE COMÚN: RANCHERÍAS

ID 2664



MUNICIPIO DE LINARES

ESTADO DE NUEVO LEÓN

**INFORME FINAL DE LA EVALUACIÓN DEL
RIESGO Y DIAGNÓSTICO**



ÍNDICE DE CONTENIDO

EVALUACIÓN DEL RIESGO Y DIAGNÓSTICO.....	3
1. ANTECEDENTES	3
2. OBJETIVO	3
3. ALCANCE.....	3
4. METODOLOGÍA	4
5. ANÁLISIS DE RIESGO.....	9
6. DIAGNÓSTICO.....	53
7. ANTEPROYECTO DE ALTERNATIVA DE ATENUACIÓN DE RIESGO SELECCIONADA	54
8. REFERENCIAS	6
ANEXOS	8
ANEXO 1 INFORMACIÓN RECOPIADA.....	8
ANEXO 2 INFORME DE INSPECCIÓN.....	8
ANEXO 2.1 ÁLBUM FOTOGRÁFICO	8
ANEXO 3 RESULTADOS DE CAMPO Y LABORATORIO	8
ANEXO 3.1 TOPOGRAFÍA DE LA CORTINA	8
ANEXO 3.2 TOPOGRAFÍA DE CAUCE AGUAS ABAJO	8
ANEXO 3.3 EXPLORACIÓN DE CAMPO Y LABORATORIO	8
ANEXO 4 ANÁLISIS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS	8
ANEXO 5 ANÁLISIS DE PELIGRO SÍSMICO	8
ANEXO 6 REVISIÓN DE ESTABILIDAD DE LA CORTINA	8
ANEXO 7 REVISIÓN FUNCIONAL Y OPERACIONAL DE LA PRESA	8
ANEXO 8 ZONAS DE PELIGRO.....	8
ANEXO 9 MEMORIAS DE CÁLCULO DE LOS ANÁLISIS ESTADÍSTICOS	8
ANEXO 10 DISEÑO CONCEPTUAL DE MITIGACIÓN DE RIESGOS.....	8



EVALUACIÓN DEL RIESGO Y DIAGNÓSTICO

1. ANTECEDENTES

Hasta fechas relativamente recientes, la seguridad de presas y embalses se había centrado en la estructura u obra de ingeniería y con un enfoque determinista, este enfoque clásico se ha mostrado insuficiente para dar respuesta a todas las necesidades que la explotación actual de un sistema presa-embalse demanda ignorando sistemáticamente la parte probabilística de que se produzcan unas determinadas sollicitaciones sobre la estructura asociado a las consecuencias derivadas de un fallo en la seguridad. Es por ello que se ha materializado 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.

Estas técnicas integran toda la información referente a la seguridad de dichas infraestructuras y es una herramienta útil para la toma de decisiones y permite detectar aspectos débiles del sistema no siempre visibles en la práctica tradicional.

2. OBJETIVO

Determinar el grado de riesgo o potencial de daños en la zona de posible inundación aguas abajo debido a la operación, falta de mantenimiento o de cuidado de las presas, por una descarga, o por falla parcial o total de la presa.

3. ALCANCE

Realizar un dictamen para conservar y, en su caso, mejorar la seguridad de las presas por medio de instrumentos regulatorios tendientes a mitigar los posibles efectos negativos o daños a terceros debidos a una descarga de sus obras de desfogue o a su falla parcial o total que puedan provocar pérdida de vidas humanas o daño a zonas urbanas, infraestructura, y medio ambiente.

4. METODOLOGÍA

Procedimiento metodológico holístico para el análisis probabilista de la seguridad y la evaluación del riesgo de presas

El análisis probabilista de la seguridad y la evaluación del riesgo de cada presa, se efectuó en función del **procedimiento metodológico** que se presenta a continuación y considerando la literatura indicada por la CONAGUA. Así como en una amplia revisión bibliográfica y con base en los desarrollos y la experiencia de los participantes cuando se han desarrollado proyectos de evaluación del riesgo y seguridad de presas, el cual se extiende sobre diversas actividades o procesos del procedimiento, y otros más recientes o novedosos, de acuerdo con la literatura internacional especializada sobre análisis probabilista de la seguridad y evaluación del riesgo de presas y subtemas relacionados.

En la Figura 1.1, se muestra esquemáticamente el **procedimiento metodológico** que se siguió para abordar esta parte que es medular para dar cumplimiento a los trabajos que se solicitan.

La parte correspondiente a la Actividad: **Probabilidad de ocurrencia de un mecanismo de falla, a partir de las acciones hidráulicas y sísmicas**, se abordará con los siguientes procesos del Procedimiento Metodológico Holístico para el análisis probabilista de la seguridad y la evaluación del riesgo de cada presa, como se muestra en la Figura 1.1.

Revisión de la información

Se revisó la información documental disponible en el Sistema de Información de Seguridad de Presas (SISP) de la CONAGUA (<http://201.116.60.136/inventario/hinicio.aspx>), así como otras informaciones encontradas y que tienen carácter técnico y de hemeroteca, incluyendo la información de carácter poblacional y económico, así como de la infraestructura que podría ser dañada en el caso de un problema de seguridad de presas en el caso de cada una de las cinco presas que son objeto de este trabajo. Esta información se presenta en Anexo para su incorporación en el capítulo de Recopilación de Información del Informe a CONAGUA.

Visitas de inspección de campo

Se efectuaron visitas de inspección física en campo con la finalidad de observar e identificar, medir y caracterizar todos los aspectos hidrológicos, geológicos, geotécnicos, estructurales, hidráulicos, ambientales, operacionales y funcionales, que se tienen detectados desde la revisión de la información del SISP, como aquellos que se obtuvieron gracias a las visitas de campo.

Asimismo, estas visitas de campo permitieron observar, identificar y registrar los datos necesarios, para finalmente complementar la información para la identificación y el cálculo de las consecuencias de los diferentes modos de falla de la presa.

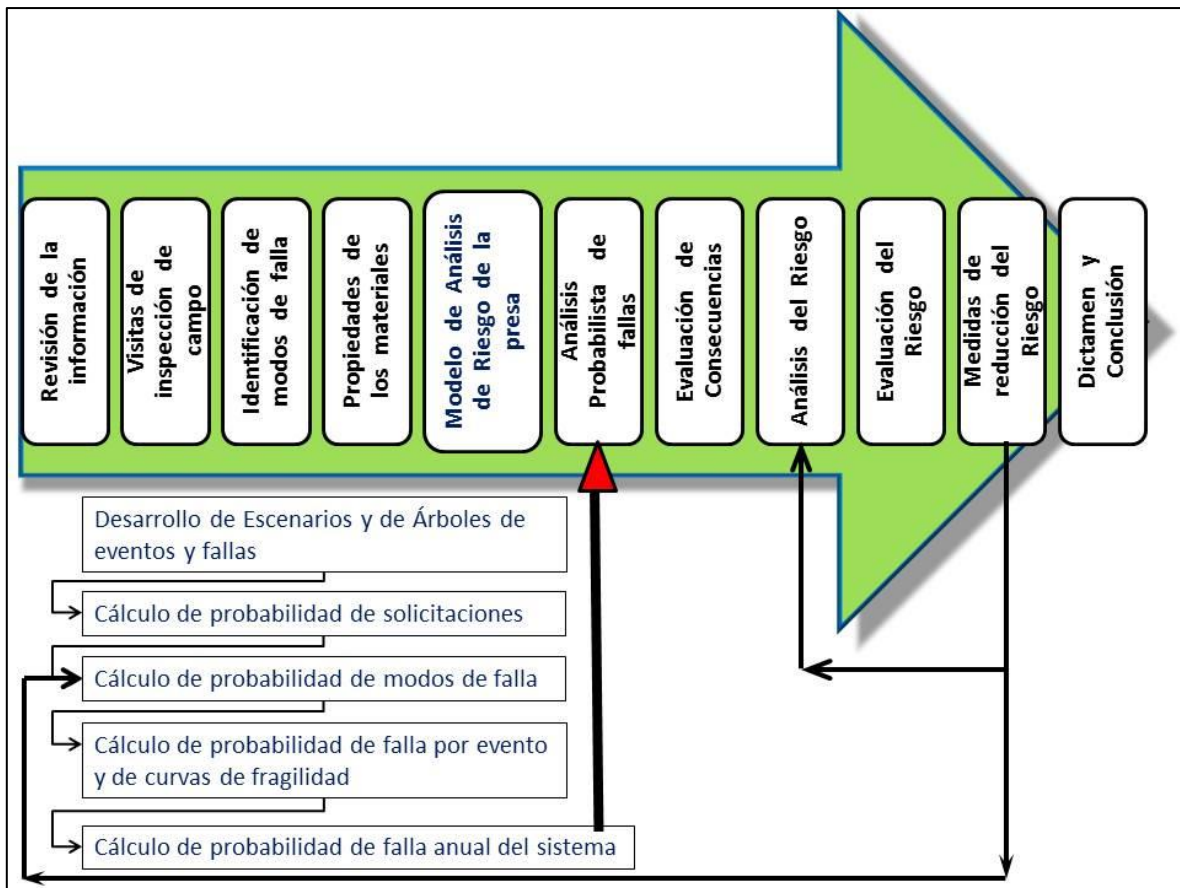


Figura 1.1 Procedimiento metodológico propuesto para hacer el análisis probabilista de la seguridad y evaluación del riesgo de las cinco presas del Noreste de México.

Árbol de eventos e identificación de modos de falla

A partir del modelo geotécnico estructural de cada cortina y, en su caso incluyendo obras auxiliares de la presa como sería el caso del vertedor para control de excedencias, de la obra de toma, las laderas de márgenes, etc., y de los resultados de los análisis geotécnico estructurales del modelo presentado en el capítulo de Revisión de la estabilidad, se identificaron los diversos modos de falla en función del tipo de estructura de que se trata, por ejemplo por estabilidad e taludes o erosión interna en el caso de la cortina de tierra, o por zonas de esfuerzos de tensión o por erosión de la cimentación y colapso parcial de la estructura en el caso de elementos de concreto o mampostería.

Se desarrolló un árbol de eventos para identificar las diferentes causas y mecanismos para configurar los modos de falla de la cortina, ya que estos modos podrían conducir a la falla de la presa.

De todos ellos, los eventos posibles en el caso concreto de la presa, aquéllos que podrían llevar a la falla de la presa, son los eventos con origen hidrológico, ya que éstos, al causar diversas condiciones de operación y flujo de agua en la masa térrea, pueden desencadenar una serie de eventos que conduzcan a un problema de desbordamiento, tubificación o inestabilidad global.

En el caso del desbordamiento, existe la posibilidad de que falle la cortina debido a inestabilidad con deslizamiento de taludes aunada a la generación de asentamientos progresivamente, conforme avanza el deslizamiento, hasta que se rompe la estabilidad y sobreviene una falla incontenible de la masa por deslizamiento con la apertura de una brecha en la cortina.

Por otra parte; los suelos de la presa son susceptibles a la erosión interna, la cual puede conducir a una falla por tubificación; con la apertura de una brecha en la cortina. Y, finalmente, la falla por deslizamiento de los taludes de la cortina debido a la combinación de las cargas hidráulicas, con las fuerzas de filtración debidas al flujo del agua en la cortina.

En la Figura 1.2, se presenta el árbol de eventos general para este trabajo.

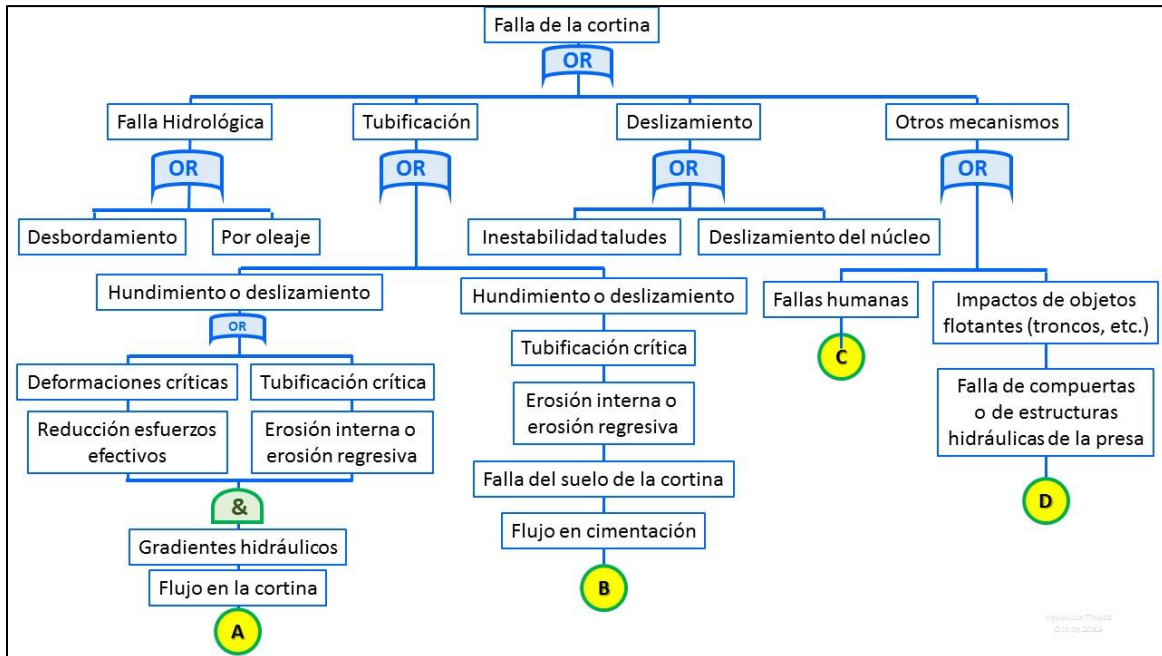


Figura 1.2 Árbol de eventos general para la presa.

Propiedades de los materiales

Para calcular las probabilidades de falla en los distintos modos y derivados de los distintos eventos o escenarios, se determinaron paquetes de las propiedades índices y mecánicas de los suelos de la cortina y del subsuelo, esto con base en los estudios de gabinete combinando la experiencia del analista con los resultados publicados en la literatura para el tipo de suelos particular, las visitas de inspección de campo y (en espera de) de los resultados de las investigaciones de campo (sondeos, PCA, etc.), y de las pruebas de laboratorio.

A esos paquetes de propiedades se les determinaron sus rangos de variación, con base en la experiencia de los analistas que participan en el desarrollo de estos trabajos y de los resultados de las inspecciones e investigaciones en campo y laboratorio.

Con la finalidad de analizar la influencia de las propiedades y poder profundizar sobre la geostatística de las propiedades mecánicas (resistencia al esfuerzo cortante) y el peso volumétrico, de los suelos que componen la cortina, considerando que el paquete se puede presentar razonablemente bien con tres grupos de suelo, como se presentó en el modelo geométrico geotécnico estructural de la cortina en la revisión de la estabilidad para los análisis deterministas de la seguridad de la cortina. En la

Figura 1.3, se presentan las distribuciones y parámetros estadísticos de los tres grupos del paquete de suelos para efectuar los análisis probabilistas de la seguridad de esta cortina.

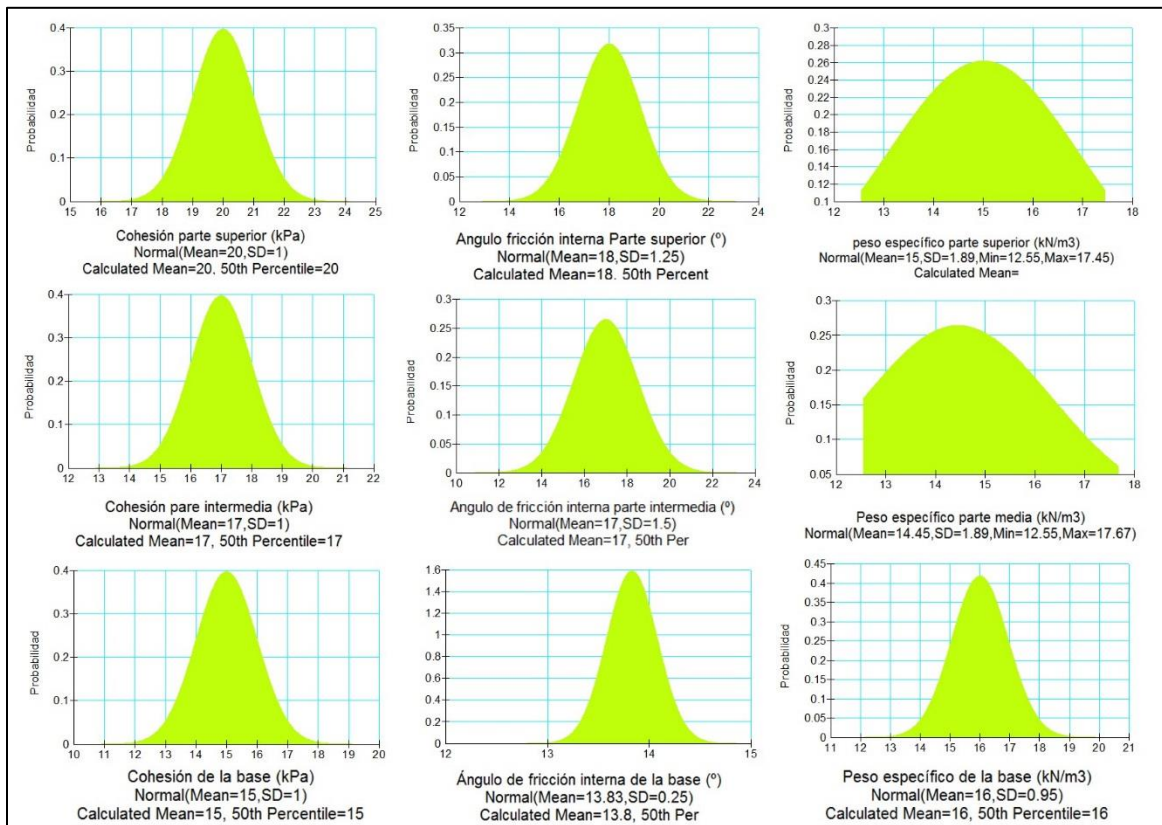


Figura 1.3 Geoestadística de las propiedades de los suelos con sus distribuciones de probabilidad y parámetros de la distribución normal.

5. ANÁLISIS DE RIESGO

Análisis probabilista de fallas por tubificación

Con base en toda la información y sujeto a retroalimentación durante el desarrollo de los diferentes procesos del procedimiento en caso de que una o algunas de las medidas de reducción del riesgo lleven a replantear el modelo, como sería en el caso de cambiar algún elemento importante de la presa, se desarrolló un modelo de análisis de riesgo de la presas en lo particular.

Desarrollo del árbol de eventos y falla por tubificación

El desarrollo de escenarios mediante la técnica de árboles de eventos y fallas permitirá despiezar o descomponer los distintos casos de eventos que pueden desencadenar la falla de un elemento o del sistema completo, es decir, de la presa. Por ejemplo el caso del escenario Hidrológico podría conducir a una serie de eventos como desbordamiento, aumentos de niveles del vaso, etc., los cuales, a su vez, podrían conducir a una falla por tubificación (modo de falla por erosión interna) por aumento de las presas del agua en los poros del suelo de las cortinas de tierra o a una falla por incremento de los esfuerzos de tensión en la cortina de mampostería.

Este proceso trata del planteamiento y elaboración de los árboles de eventos y de falla para cada uno de los escenarios y para cada una de las presas.

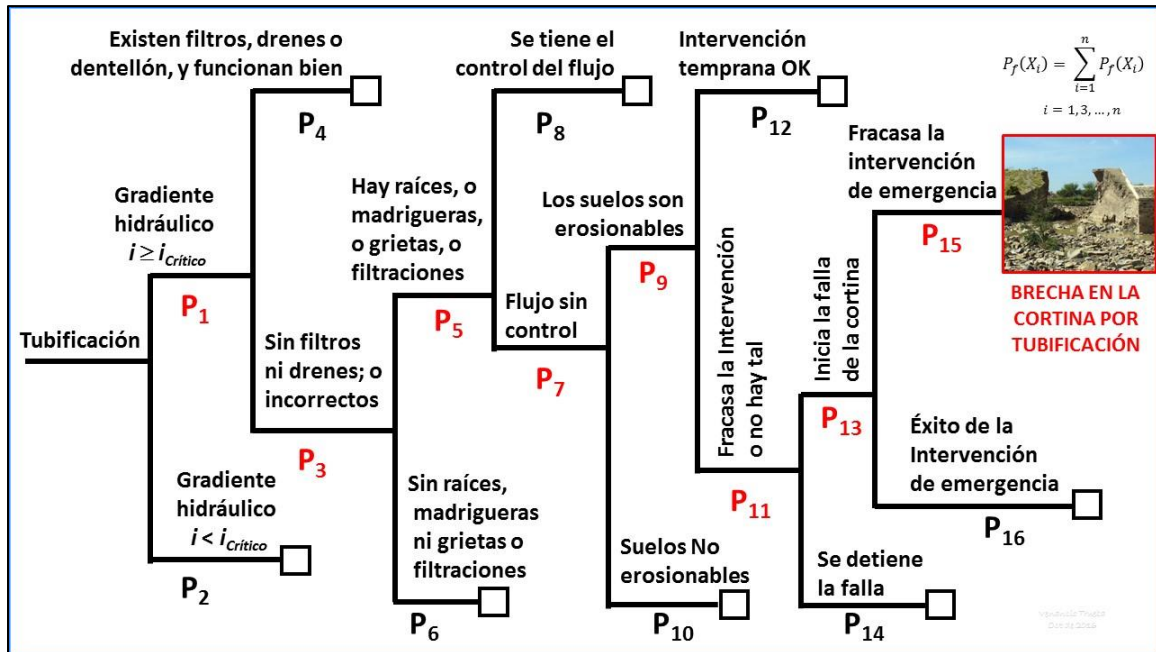


Figura 1.4 Árbol de eventos de la presa por tubificación.

Cálculo de probabilidad de solicitaciones

Para el análisis del problema de tubificación de la presa, se recurrió a los valores y rangos de las solicitaciones hidrológicas, que se presentan en el Capítulo correspondiente, y a partir de ello se eligieron las condiciones de operación de la presa que se presentan en la tabla siguiente.

Estas solicitaciones hidrológicas se han considerados cuantitativamente en el cálculo o por elementos finitos de los gradientes particularmente en la salida, y el análisis de ello para evaluar, en función del tipo de suelo de la cortina de la presa, el potencial y, en consecuencia, determinar o estimar un primer valor de la probabilidad de falla por tubificación.

Tabla 1.1 Condiciones de operación consideradas y probabilidad de ocurrencia

Operación	Prob Ocurrencia	Observaciones
Normal	3.33×10^{-1}	Nivel del agua a la cresta de vertido
Inusual	1.00×10^{-4}	Llenado total del vaso (NAME)

Inusual	6.67×10^{-3}	Vaciado rápido de la presa (6 h)
Inusual	1.00×10^{-2}	Llenado rápido de la presa (4 h)
Extrema	1.00×10^{-3}	Sismo Máximo Creíble
Inaceptable	1.00×10^{-5}	Desbordamiento de la cortina por 1 h o más

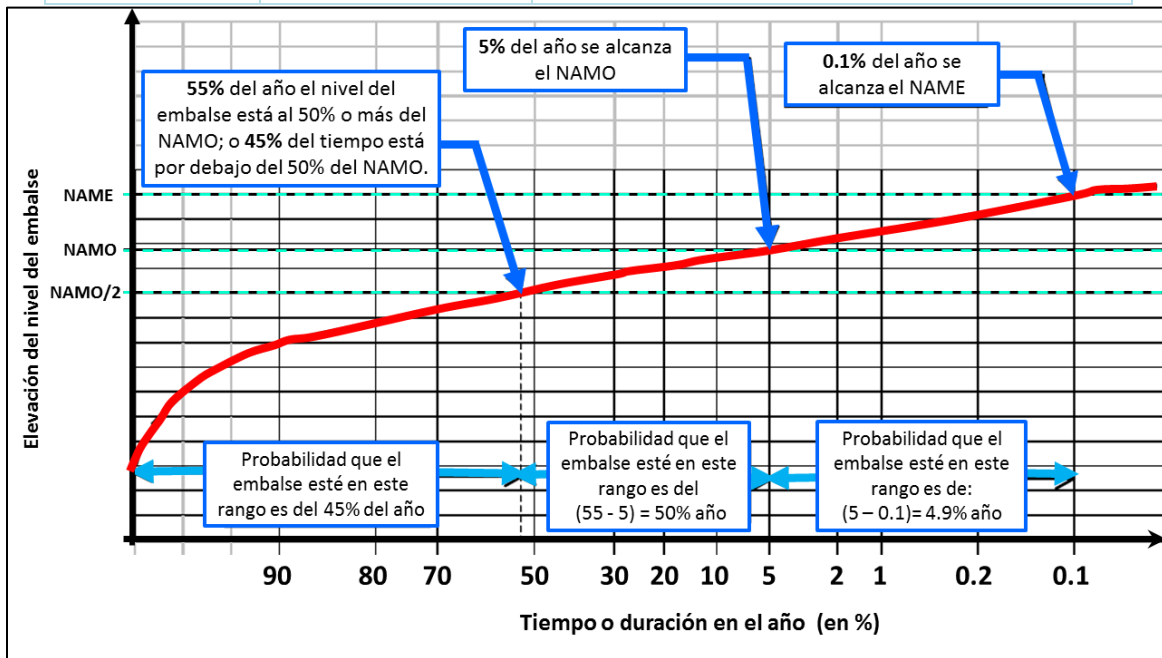


Figura 1.5 Se consideran distintos niveles del embalse, incluyendo el caso de desbordamiento que permite modelar los cambios de pendientes y pérdida de suelo de la cortina.

Cálculo de gradientes hidráulicos

Con lo anterior, se procedió a efectuar el cálculo de gradientes hidráulicos para las distintas condiciones de operación, y los resultados se presentan en la siguiente tabla.

Cálculo de la probabilidad de falla por tubificación

La modelación de la permeabilidad de los suelos de los estratos que conforman la cortina de tierra, permitió cuantificar, aplicando el método analítico del cálculo por elementos finitos, determinar en cada caso el valor del gradiente de las presiones de

poro y los esfuerzos efectivos en todos los sitios de la cortina y el subsuelo, y determinar sus rangos de variación para su comparación con el gradiente crítico. De esta manera se estimaron los valores de la probabilidad de falla anual por erosión interna o tubificación. Estos valores son

Curvas de fragilidad por la probabilidad de falla por tubificación

Se presentan de manera cualitativa, ejemplos de curvas de fragilidad en función de la carga o nivel del embalse, incluyendo los casos de desbordamiento, ya que para la determinación de las curvas de fragilidad se utilizan los datos derivados de la ocurrencia de los eventos hidrológicos que podrían provocar el desencadenamiento de la falla por deslizamiento o tubificación, u otras causas, que son las fallas más frecuentes, y además, aquéllas que realmente amenazan a la presa.

Así, y con base en el trabajo de Vorogushyn et al. (2009), en las siguientes figuras se ilustran los otros casos a considerar para determinar las curvas de fragilidad de la presa. En la , se muestran las curvas de fragilidad obtenidas a partir de un estudio de sensibilidad con espesor del estrato permeable, por ejemplo en la cimentación, lo cual provoca altas velocidades y gradientes hidráulicos, que arrastrarán progresivamente los suelos de la cortina, provocando la tubificación de ésta y con ello, asentamientos y pérdida de masa de suelo y resistencia al deslizamiento de taludes de la masa térrea que forma la obra de contención, así como asentamientos que podrían provocar el paso del agua sobre la cortina, haciendo el problema más complejo al provocar la erosión del respaldo aguas abajo de la cortina; y todo esto podría finalizar en el colapso de parte de la estructura y la apertura de una brecha de la cortina.

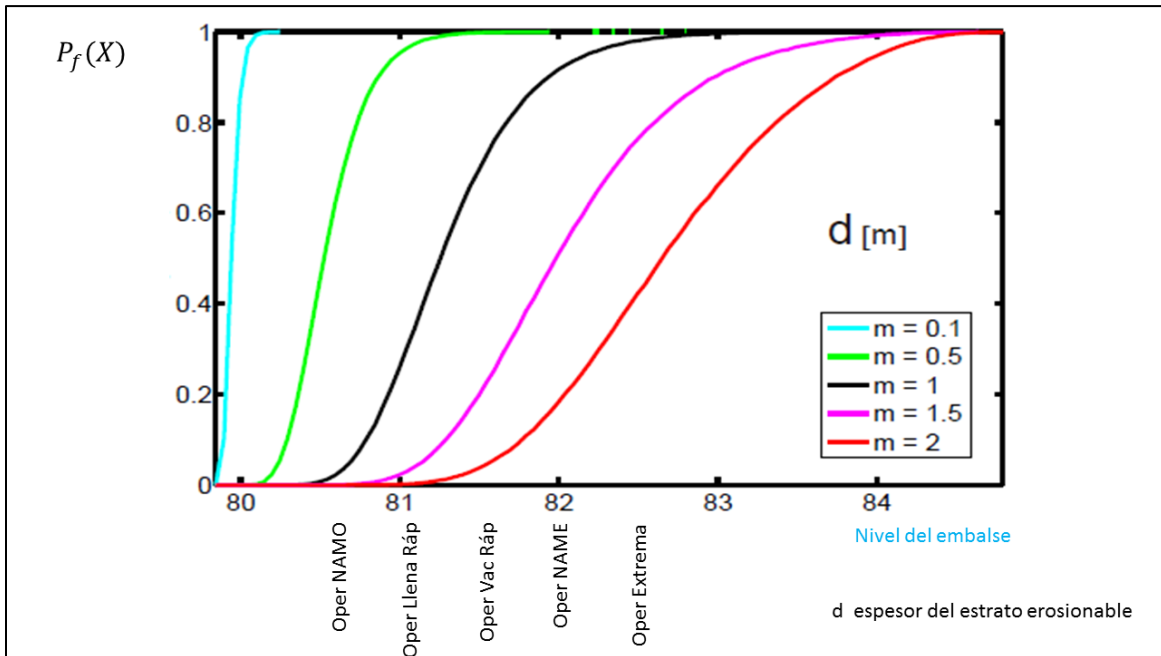


Figura 1.6 Curvas de fragilidad por la sensibilidad del espesor de suelo erosionable d .

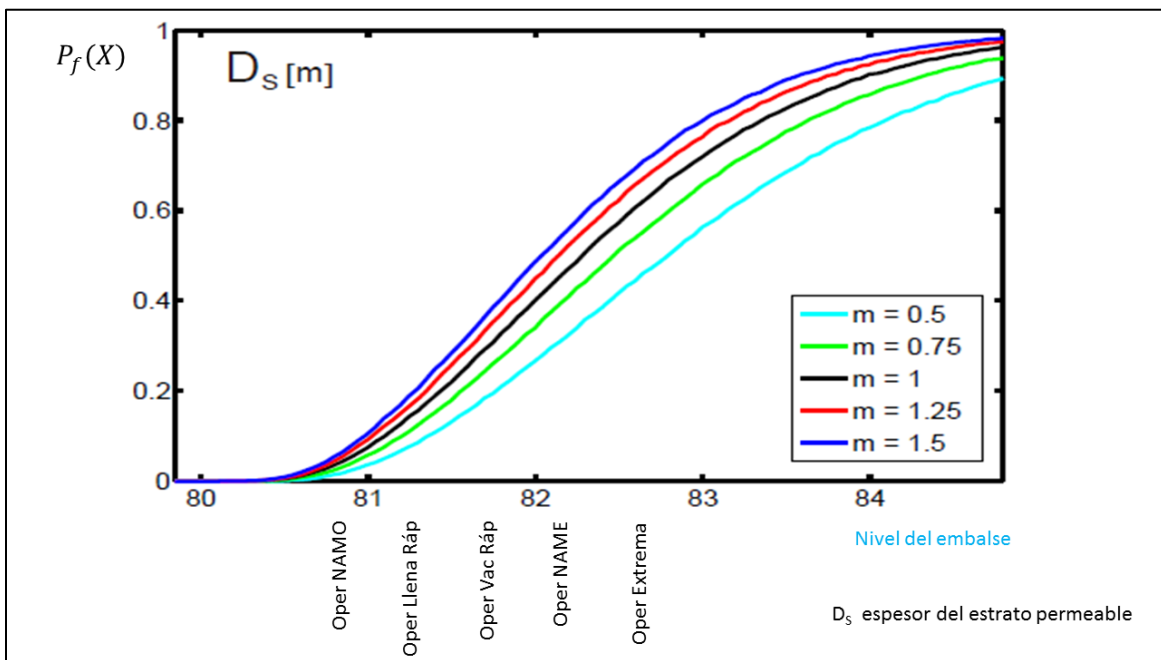


Figura 1.7 Curvas de fragilidad por la sensibilidad del espesor del estrato permeable D_s .

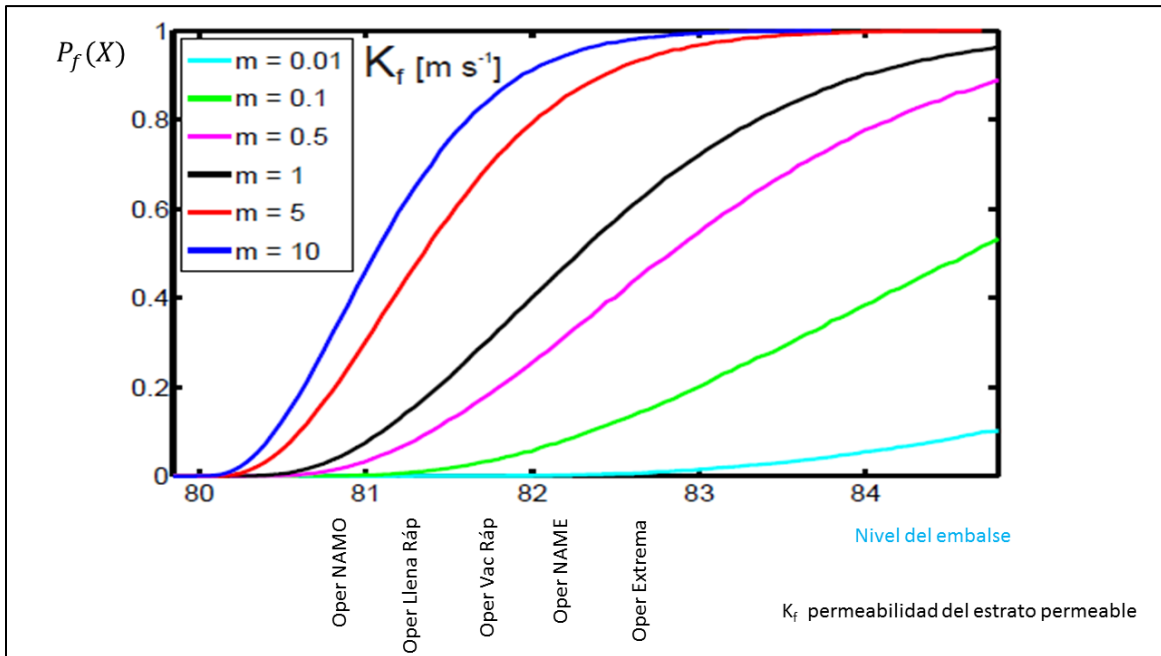


Figura 1.8 Curvas de fragilidad por la sensibilidad de la permeabilidad del suelo.

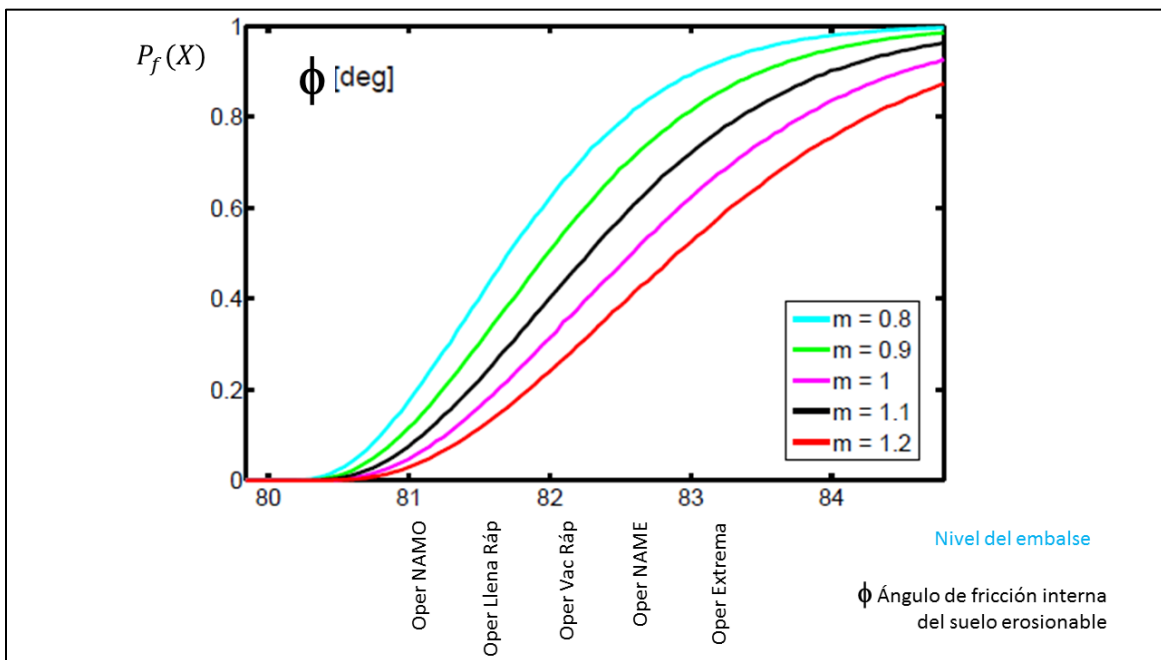


Figura 1.9 Curvas de fragilidad por la sensibilidad del ángulo de fricción interna de la cortina.

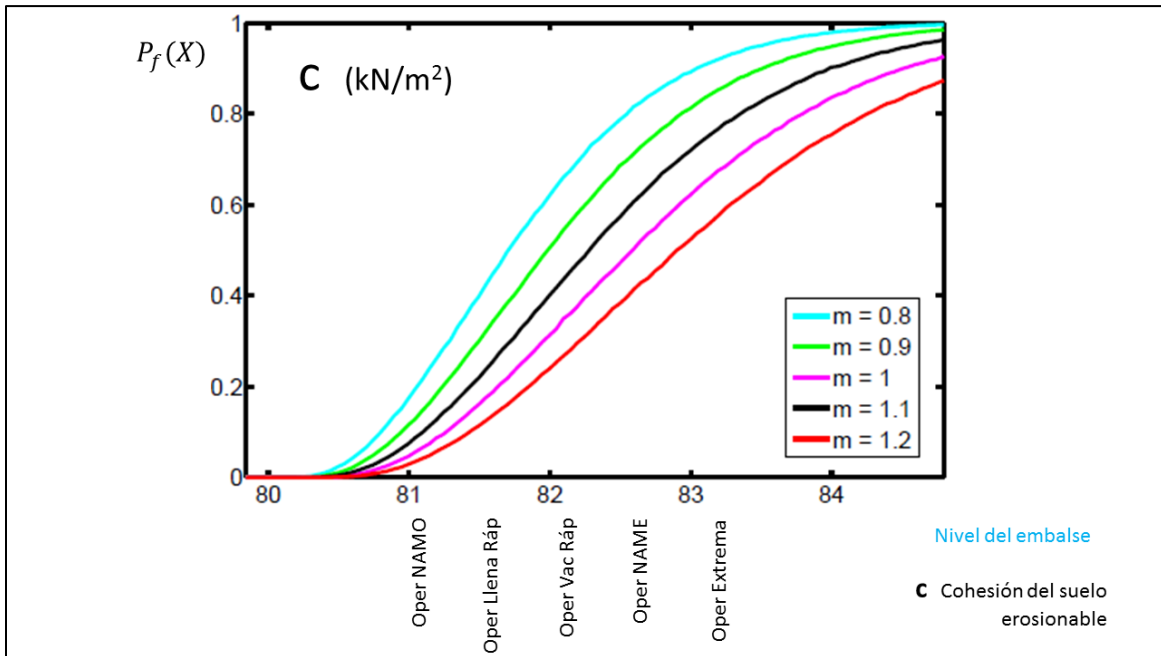


Figura 1.10 Curvas de fragilidad por la sensibilidad de la cohesión de la cortina.

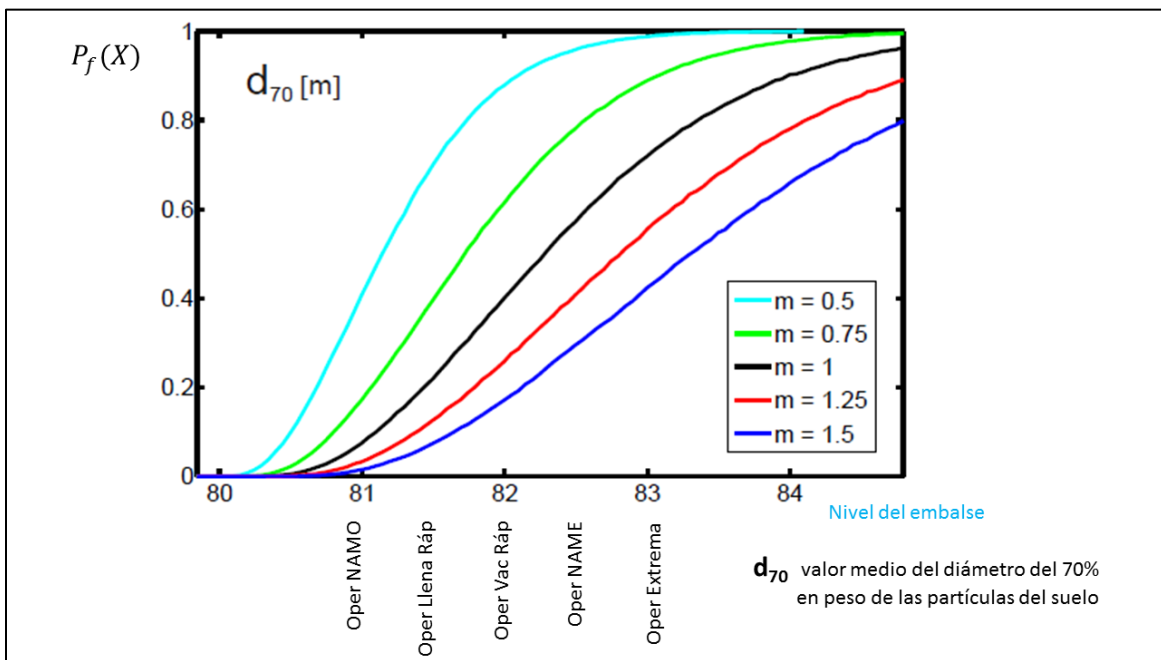


Figura 1.11 Curvas de fragilidad por la sensibilidad de la granulometría de los suelos de la cortina.

Análisis probabilista de fallas por deslizamiento

Con base en toda la información y sujeto a retroalimentación durante el desarrollo de los diferentes procesos del procedimiento en caso de que una o algunas de las medidas de reducción del riesgo lleven a replantear el modelo, como sería en el caso de cambiar algún elemento importante de la presa, se desarrolló un modelo de análisis de riesgo de la presas en lo particular.

Desarrollo del árbol de eventos y falla por deslizamiento

El desarrollo de escenarios mediante la técnica de árboles de eventos y fallas permitirá despiezar o descomponer los distintos casos de eventos que pueden desencadenar la falla de un elemento o del sistema completo, es decir, de la presa. Por ejemplo el caso del escenario Hidrológico podría conducir a una serie de eventos como desbordamiento, aumentos de niveles del vaso, etc., los cuales, a su vez, podrían conducir a una falla por tubificación (modo de falla por erosión interna) por aumento de las presas del agua en los poros del suelo de las cortinas de tierra o a una falla por incremento de los esfuerzos de tensión en la cortina de mampostería.

Este proceso trata del planteamiento y elaboración de los árboles de eventos y de falla para cada uno de los escenarios y para cada una de las presas.

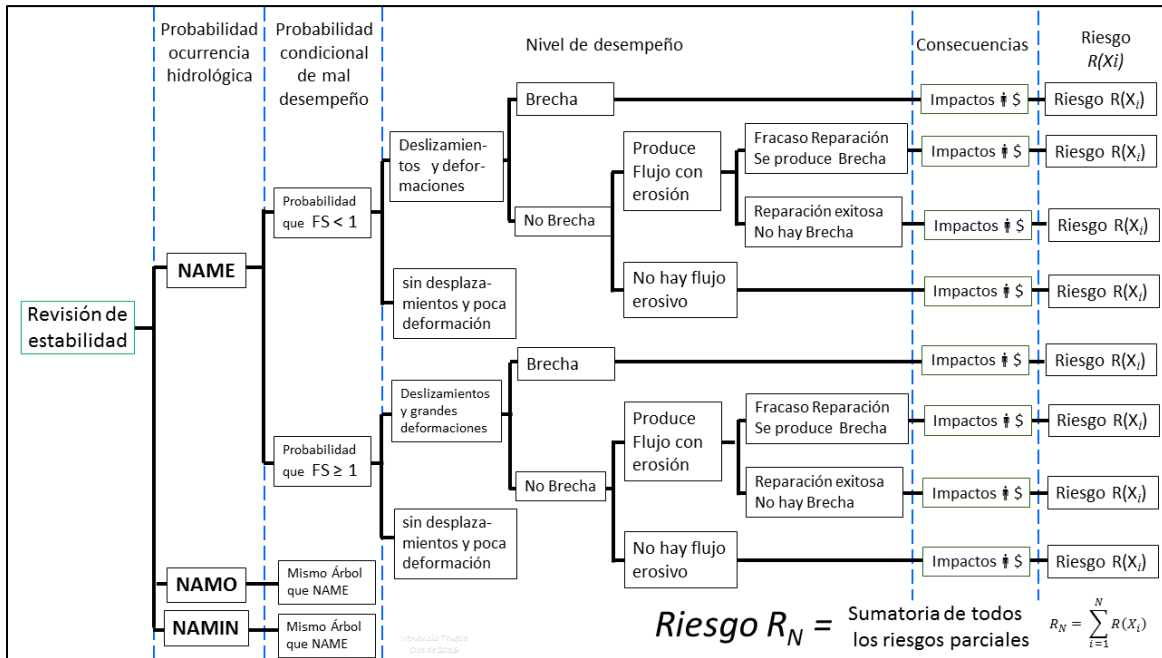


Figura 1.12 Árbol de eventos de la presa por deslizamiento.

Cálculo de probabilidad de solicitaciones

Para el análisis del problema de tubificación de la presa, se recurrió a los valores y rangos de las solicitaciones hidrológicas, que se presentan en el capítulo correspondiente, y a partir de ello se eligieron las condiciones de operación de la presa que se presentan en la tabla siguiente.

Estas solicitaciones hidrológicas se han considerados cuantitativamente en el cálculo o por elementos finitos de los gradientes particularmente en la salida, y el análisis de ello para evaluar, en función del tipo de suelo de la cortina de la presa, el potencial y, en consecuencia, determinar o estimar un primer valor de la probabilidad de falla por tubificación.

Tabla 1.II Condiciones de operación consideradas y probabilidad de ocurrencia

Operación	Prob Ocurrencia	Observaciones
Normal	3.33×10^{-1}	Nivel del agua a la cresta de vertido (NAMO)
Inusual	1.00×10^{-4}	Llenado total del vaso (NAME)
Inusual	6.67×10^{-3}	Vaciado rápido de la presa (6 h)

Operación	Prob Ocurrencia	Observaciones
Inusual	1.00×10^{-2}	Llenado rápido de la presa (4 h)
Extrema	1.00×10^{-3}	Sismo Máximo Creíble
Inaceptable	1.00×10^{-5}	Desbordamiento de la cortina por 1 h o más

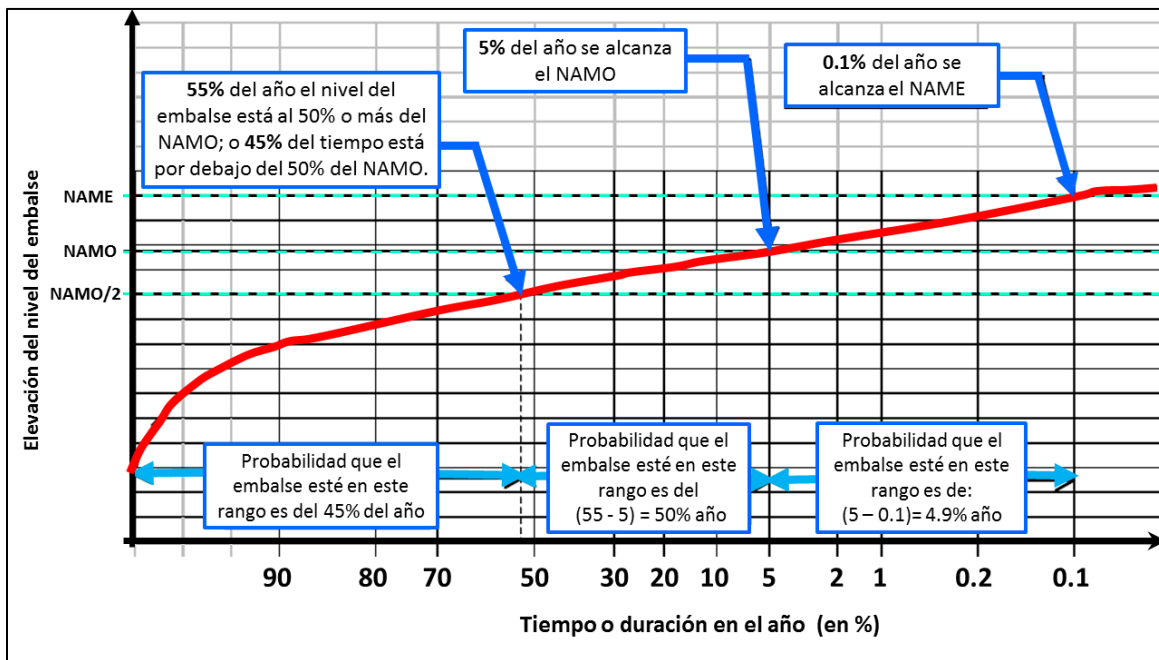


Figura 1.13 Se consideran distintos niveles del embalse, incluyendo el caso de desbordamiento que permite modelar los cambios de pendientes y pérdida de suelo de la cortina.

Análisis de sensibilidad para estudiar la estabilidad de la cortina

En adición, se efectuó un estudio geoestadístico de la seguridad de la cortina en cuanto que se hicieron paquetes considerando diez combinaciones de propiedades mecánicas para estudiar la sensibilidad de la estabilidad de los respaldos y taludes mojado y seco de la cortina, ante el cambio de las propiedades mecánicas, para todas las combinaciones posibles de dichos parámetros.

En las siguientes figuras se presentan los resultados obtenidos de ese estudio de la seguridad geotécnica estructural de la cortina en términos del análisis de estabilidad de taludes para el estudio de la sensibilidad a las propiedades mecánicas, el peso

específico y las aceleraciones sísmicas. En dichas figuras se presentan en abscisas los valores de los rangos de sensibilidad de cada uno de los parámetros que se hicieron variar y que sirvieron para hacer las combinaciones y los cálculos, y en el eje de las ordenas se presenta el valor del factor de seguridad calculado para cada caso de análisis.

En la Figura 1.14 y la Figura 1.15, se presentan los resultados obtenidos en condiciones de operación normal, es decir, con el embalse a nivel del NAMO. En la Figura 1.16 y la Figura 1.17, se presentan los resultados calculados de la sensibilidad en condiciones de operación inusual con el embalse a nivel del NAME.

En la Figura 1.18 y la Figura 1.19, se presentan los resultados en condiciones de operación inusual por vaciado rápido del vaso simulando que el nivel del embalse pasa del NAME al NAMIIN por la apertura de una brecha o tubificación importante. En la Figura 1.20 y la Figura 1.21, se presentan los valores calculados en condiciones de operación inusual por llenado rápido del vaso simulando que el nivel del embalse pasa del NAMIIN al NAME por presentarse una crecida muy importante que llenaría el vaso, inicialmente vacío, hasta el nivel del NAME, condición importante de analizar en el caso de esta obra construida con suelos susceptibles de sufrir erosión interna. Y, finalmente, En la Figura 1.22 y la Figura 1.23, se presentan valores de los rangos de sensibilidad de los diferentes parámetros, incluyendo la variación de las aceleraciones, horizontal y vertical, del sismo, en condiciones de operación extrema, cuando ocurre un temblor y el embalse se encuentra a nivel del NAMO.

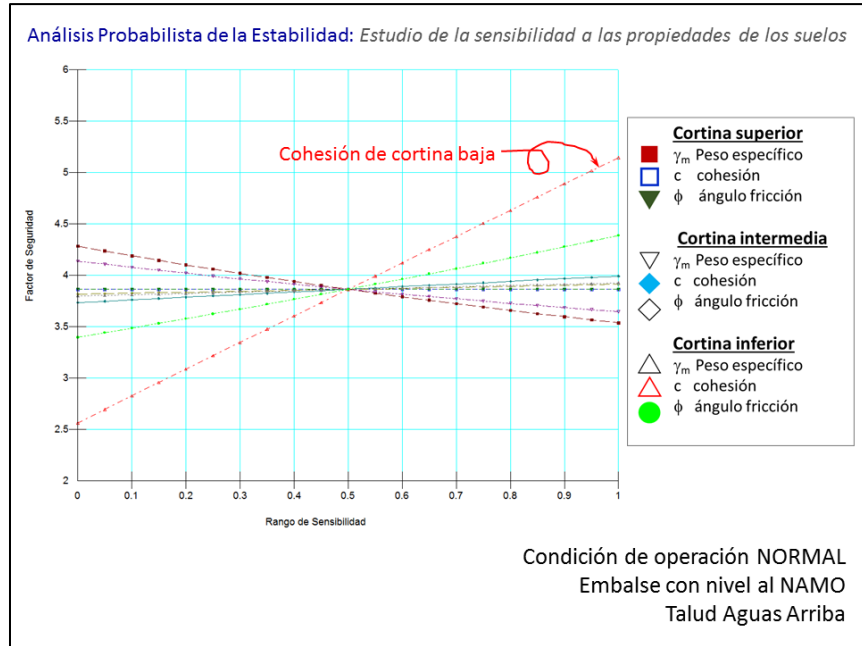


Figura 1.14 Análisis de sensibilidad y estabilidad del talud mojado con el embalse al NAMO.

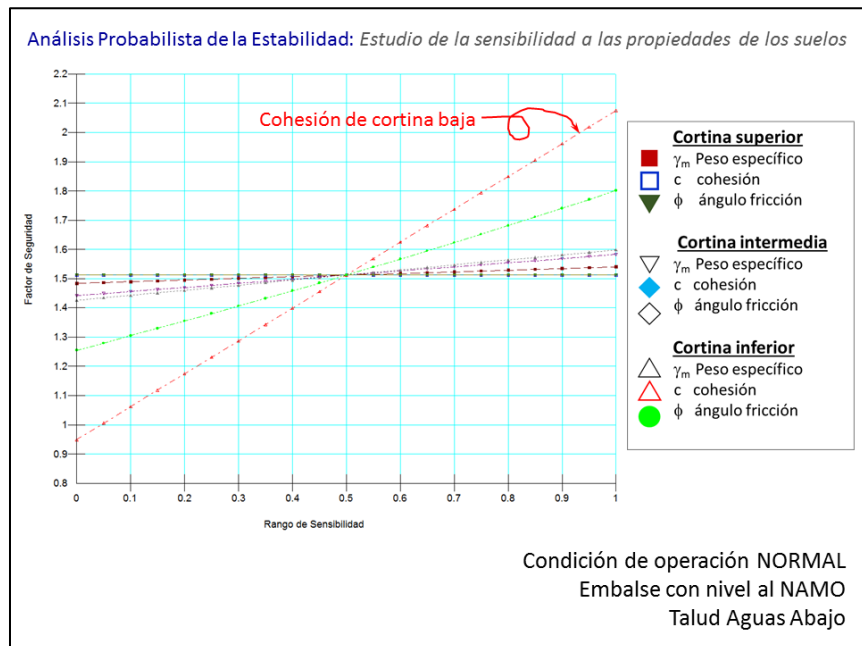


Figura 1.15 Análisis de sensibilidad y estabilidad del talud seco con el embalse al NAMO.

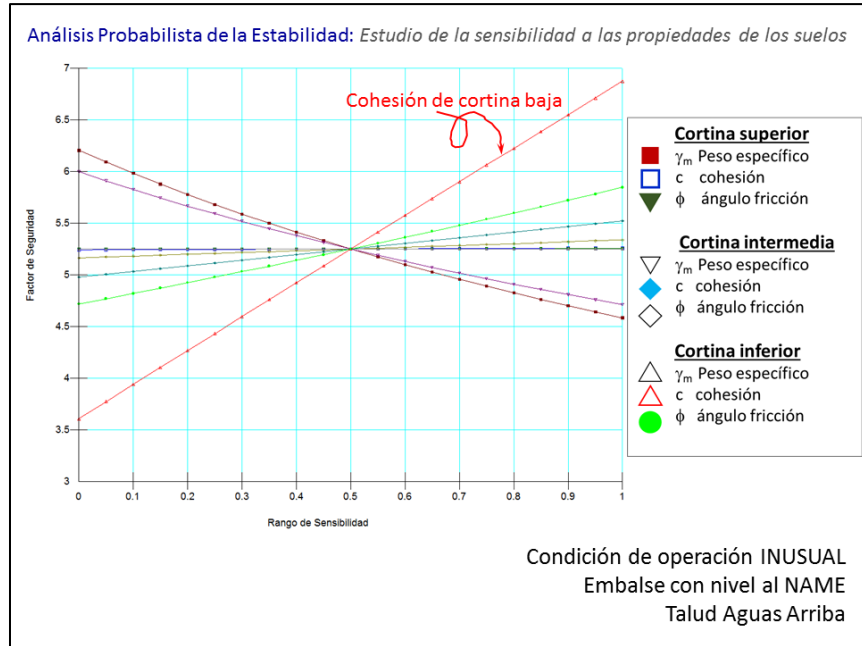


Figura 1.16 Análisis de sensibilidad y estabilidad del talud mojado con el embalse lleno al NAME.

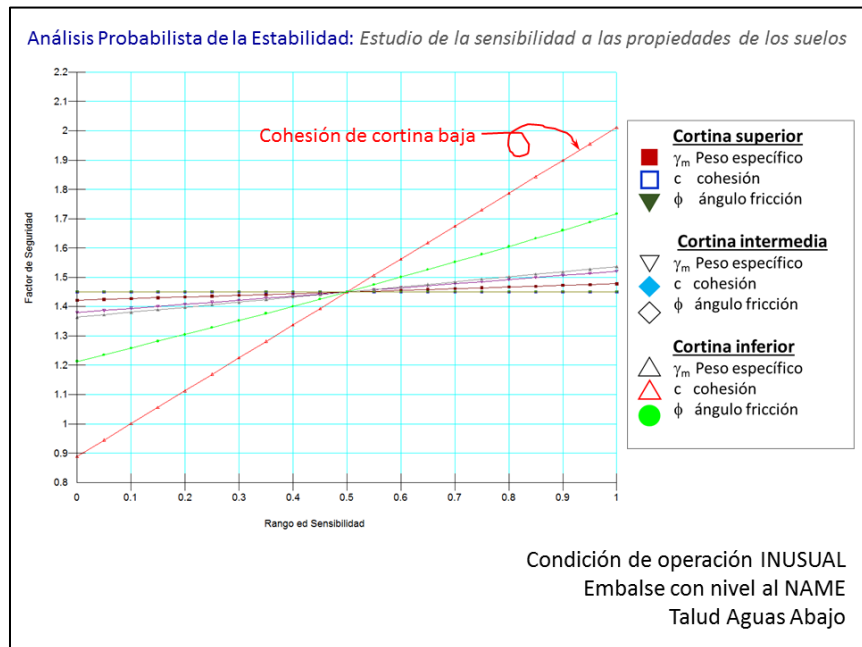


Figura 1.17 Análisis de sensibilidad y estabilidad del talud seco con el embalse lleno al NAME.

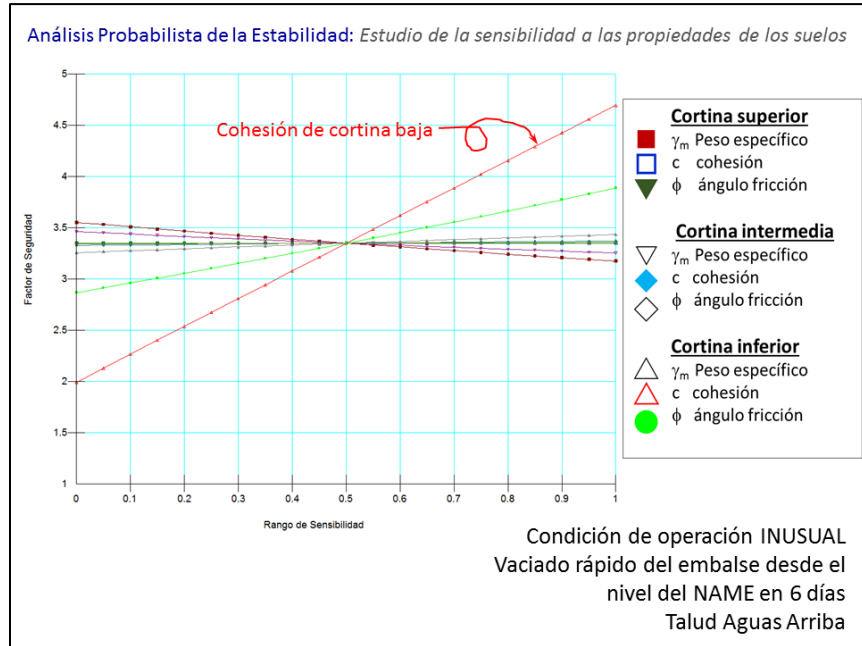


Figura 1.18 Análisis de sensibilidad y estabilidad del talud mojado durante un vaciado rápido.

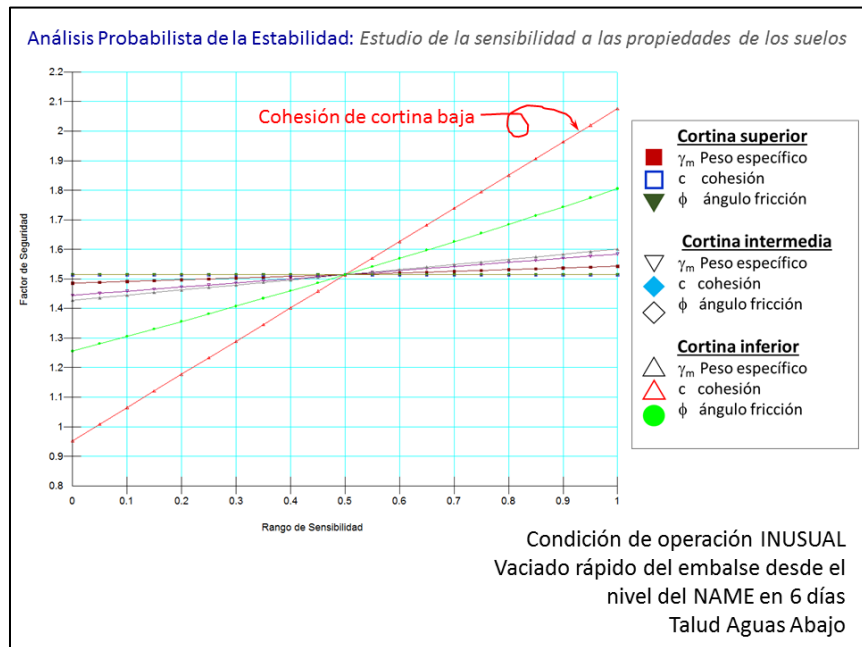


Figura 1.19 Análisis de sensibilidad y estabilidad del talud seco durante un vaciado rápido.

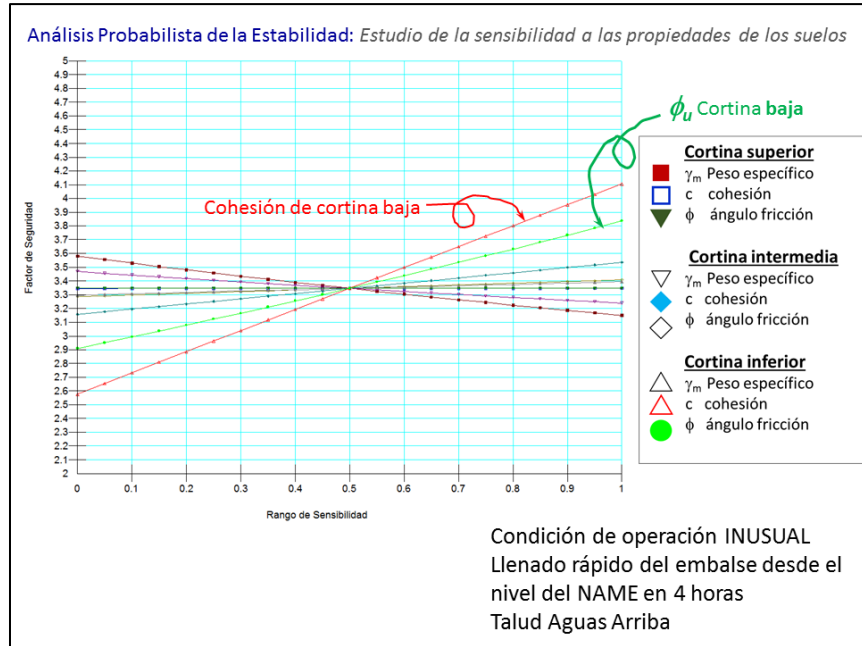


Figura 1.20 Análisis de sensibilidad y estabilidad del talud mojado durante un llenado rápido.

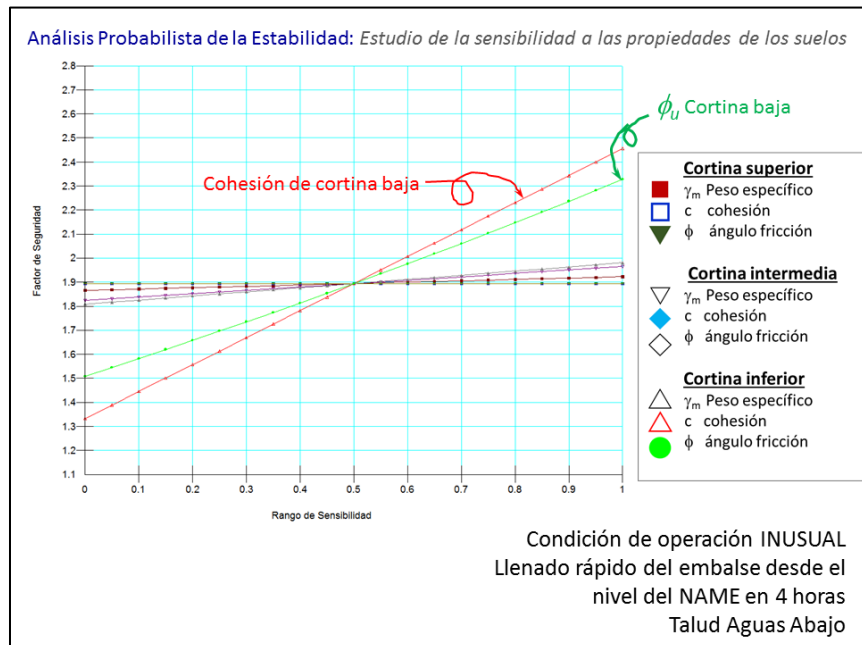


Figura 1.21 Análisis de sensibilidad y estabilidad del talud seco durante un llenado rápido.

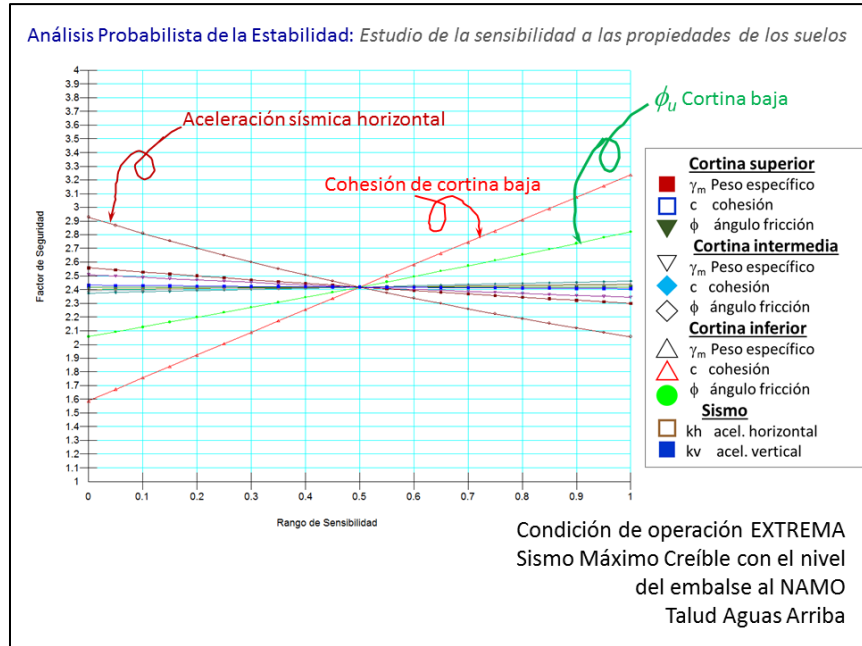


Figura 1.22 Análisis de sensibilidad y del talud mojado durante el sismo y nivel del NAMO.

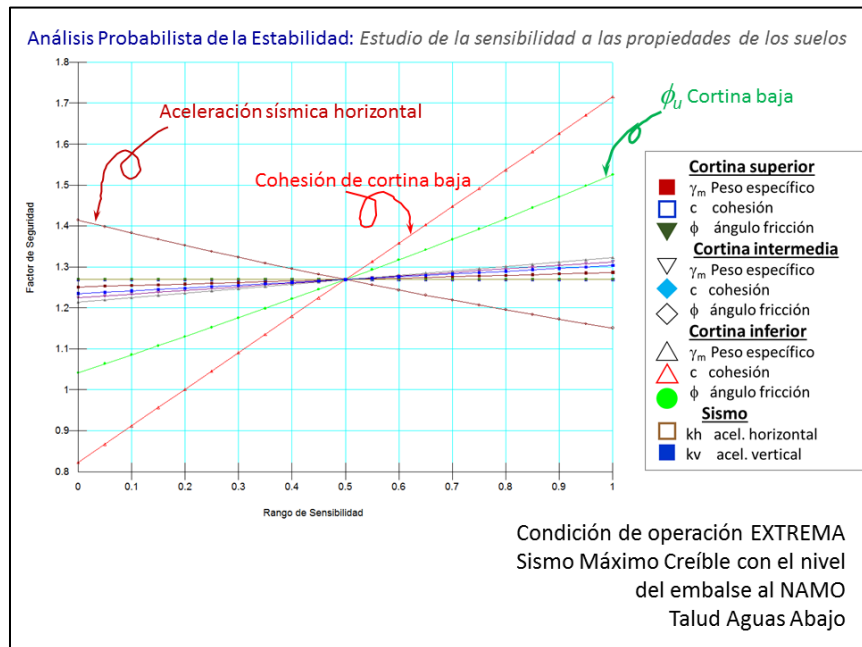


Figura 1.23 Análisis de sensibilidad y del talud seco durante el sismo y nivel del NAMO.

Es importante destacar que mediante estos estudios de sensibilidad, se pudieron estudiar las características geoestadísticas que mejor representan a los grupos de suelos presentes en al cortina de la presa, determinados a partir de las investigaciones en campo y laboratorio, así como con base en la experiencia y juicio de los especialistas en Geotecnia, toda vez que la obra de contención considerada presenta variaciones espaciales importantes de la granulometría de los suelos por una parte, así como una variación espacial importante de los valores de los parámetros de resistencia al cortante e inclusive del peso volumétrico, debido a los cambios de la composición y grado de compactación de los suelos. Es por ello, que estos análisis de sensibilidad nos permitieron mejorar sustancialmente los rangos de valores de las propiedades índices y mecánicas a emplear en los análisis probabilistas de la seguridad geotécnica estructural de la cortina.

Cálculo de la probabilidad de falla por deslizamiento

En el caso de aquellos modos de falla que son modelables mediante un cálculo analítico o determinista, será evaluada mediante técnicas de cálculos de confiabilidad para producir un análisis de confiabilidad, mediante diferentes estrategias, como la de propagación de las incertidumbres de los datos de entrada del modelo de riesgo, como sería el caso de las propiedades mecánicas de los materiales o el modelo geométrico o la estructuración de la cortina, de tal manera que en lugar de un valor determinista se obtendrá una probabilidad. De esta manera, entre otras técnicas, se utilizará la técnica de Monte Carlo para el análisis probabilista de la estabilidad de los taludes de las cortinas de tierra y, con ello lograr la determinación de la probabilidad de falla en cada escenario, modo de falla por deslizamiento y falla por cortante, y también este proceso permitirá obtener los resultados necesarios para poder generar las curvas de fragilidad en cada uno de los casos de falla. El mismo modelo geotécnico estructural empleado para hacer los análisis deterministas, será utilizado en estos procesos, y al conceder un carácter estocástico a las propiedades mecánicas de los suelos de las cortinas, se estarán produciendo salidas de resultados de naturaleza estocástica, y por lo tanto se permite la construcción de las matrices de probabilidades de falla por una parte, y la construcción de las curvas de fragilidad por la otra.

De esta manera, a continuación se presentan los resultados de los análisis probabilistas de la seguridad de la cortina mediante el método generalizado de estado

límite o GLE para el análisis de estabilidad de cada caso de composición de propiedades de los suelos, determinado en caso mediante el Método de Monte Carlo para considerar las combinaciones de propiedades mecánicas y del peso específico en los tres grupos de suelos del paquete que conforma la obra de contención cortina en condiciones de nivel del embalse al NAMO.

En la y la se presenta el análisis probabilista de seguridad de la cortina en condiciones de operación normal, es decir, con el embalse a nivel del NAMO. En la y la se presenta el análisis probabilista de seguridad de la cortina en condiciones de operación inusual con el embalse a nivel del NAME. En la y la se presenta el análisis probabilista de seguridad de la cortina en condiciones de operación inusual por vaciado rápido del vaso simulando que el nivel del embalse pasa del NAME al NAMIN por la apertura de una brecha o tubificación importante. En la y la se presenta el análisis probabilista de seguridad de la cortina en condiciones de operación inusual por llenado rápido del vaso simulando que el nivel del embalse pasa del NAMIN al NAME por presentarse una creciente muy importante que llenaría el vaso, inicialmente vacío, hasta el nivel del NAME, condición importante de analizar en el caso de esta obra construida con suelos susceptibles de sufrir erosión interna. Y, finalmente, En la y la se presenta el análisis probabilista de seguridad de la cortina en condiciones de operación extrema, cuando ocurre el Sismo Máximo Creíble y el embalse se encuentra a nivel del NAMO.

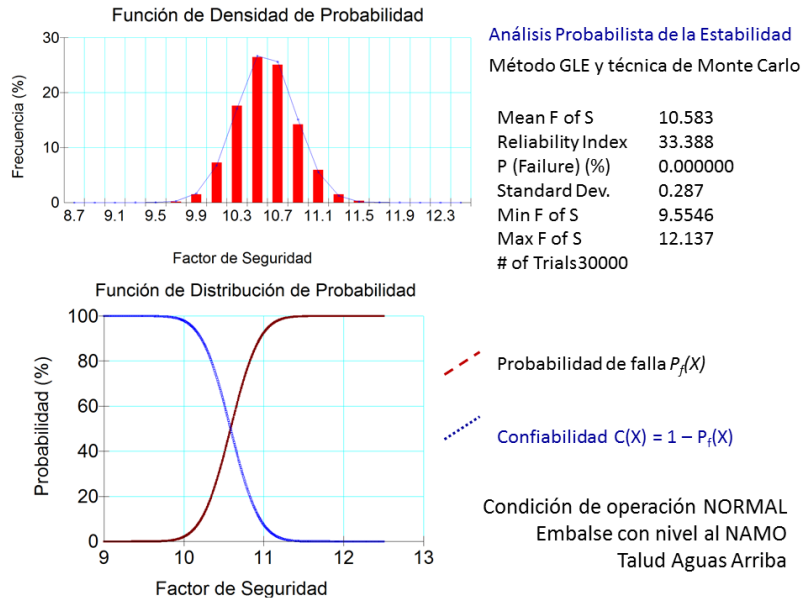


Figura 1.24 Análisis probabilista de estabilidad del talud mojado con el embalse al nivel del NAMO.

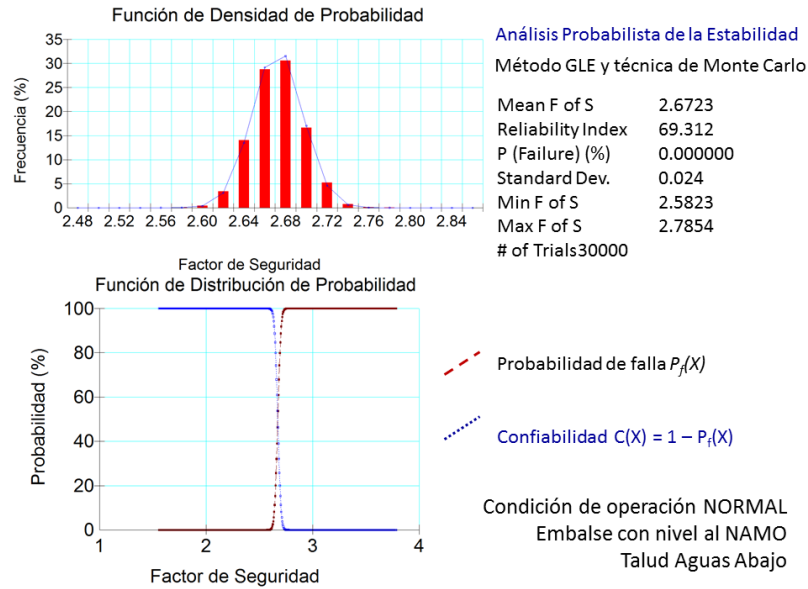


Figura 1.25 Análisis probabilista de estabilidad del talud seco con el embalse al nivel del NAMO.

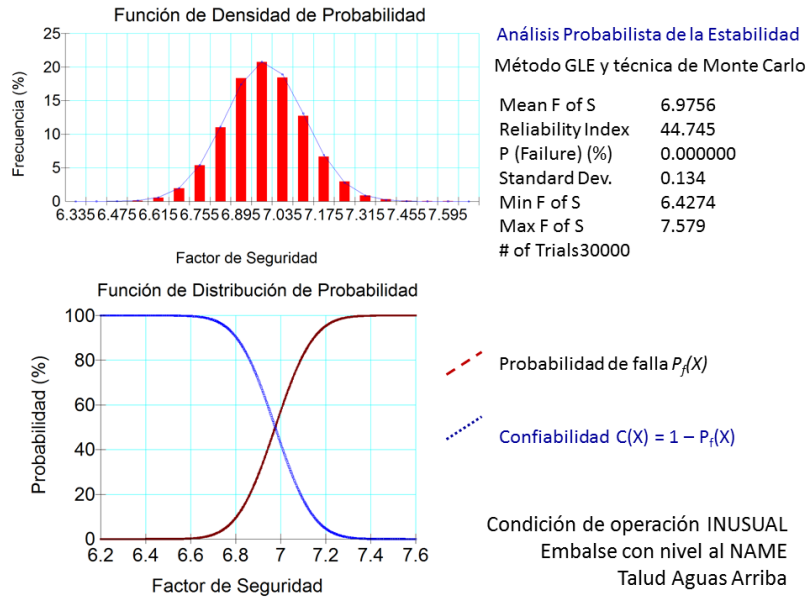


Figura 1.26 Análisis probabilista de estabilidad del talud mojado con el embalse lleno al NAME.

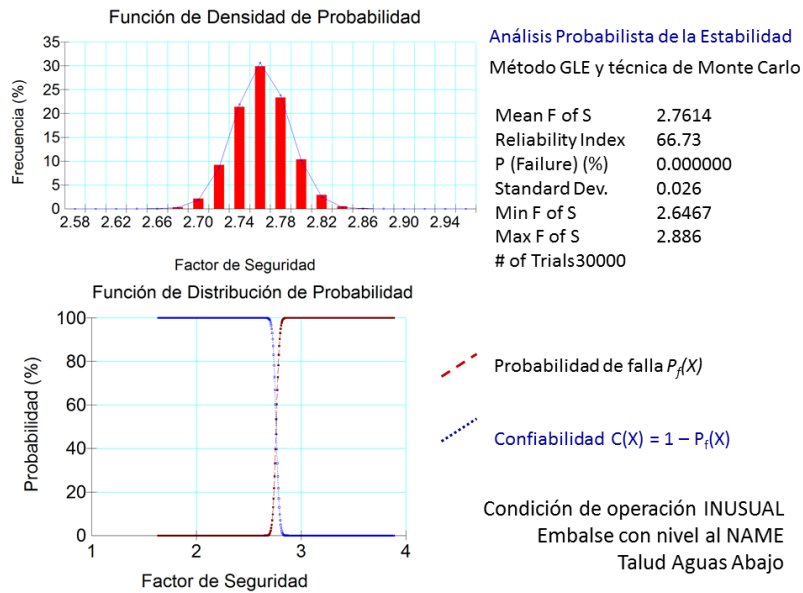


Figura 1.27 Análisis probabilista de estabilidad del talud seco con el embalse lleno al NAME.

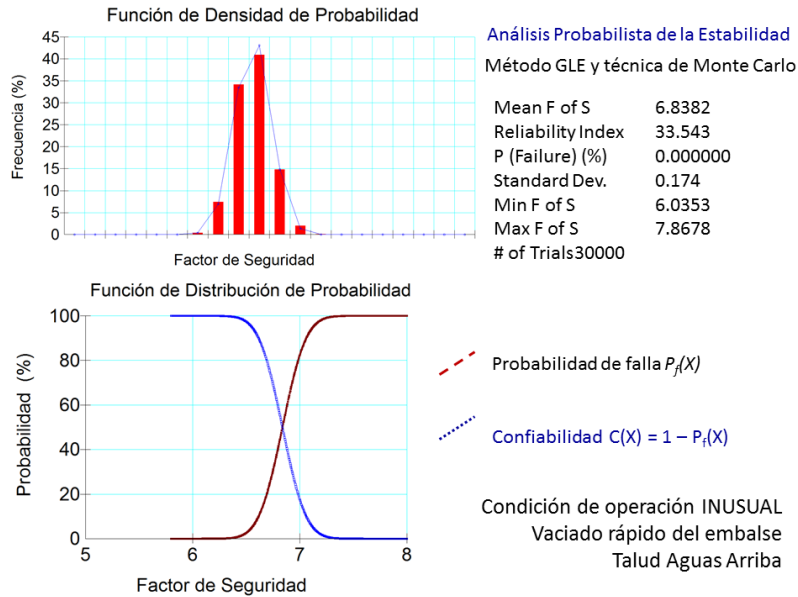


Figura 1.28 Análisis probabilista de estabilidad del talud mojado durante un vaciado rápido.

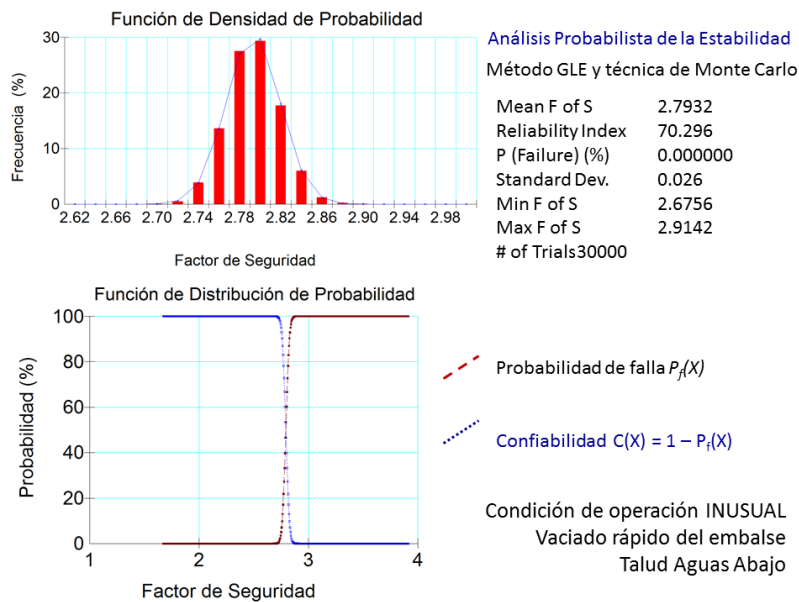


Figura 1.29 Análisis probabilista de estabilidad del talud seco durante un vaciado rápido.

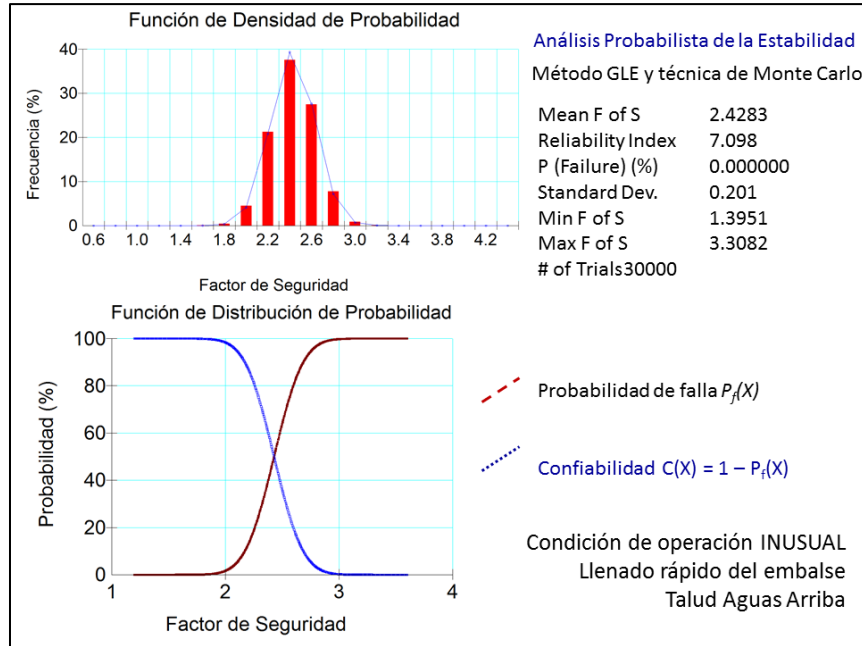


Figura 1.30 Análisis probabilista de estabilidad del talud mojado durante un llenado rápido.

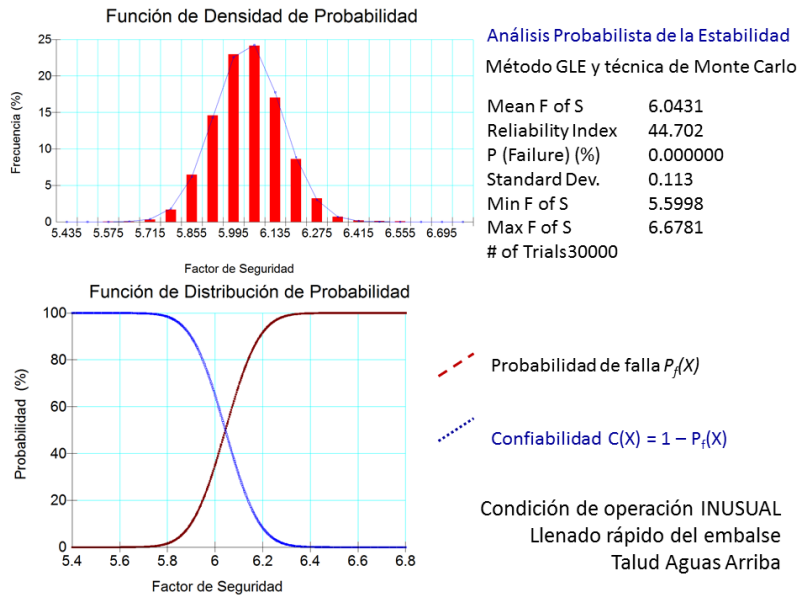


Figura 1.31 Análisis probabilista de estabilidad del talud seco durante un llenado rápido.

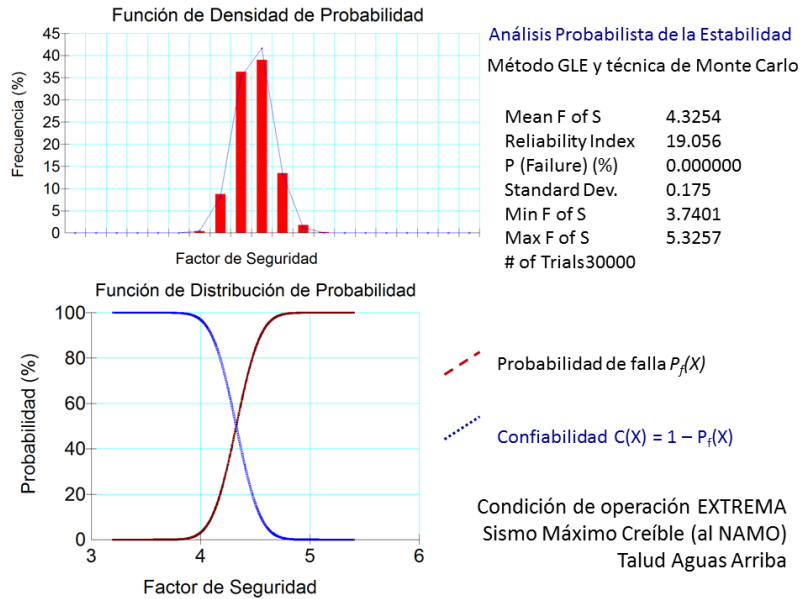


Figura 1.32 Análisis probabilista del talud mojado durante el sismo con embalse al nivel del NAMO.

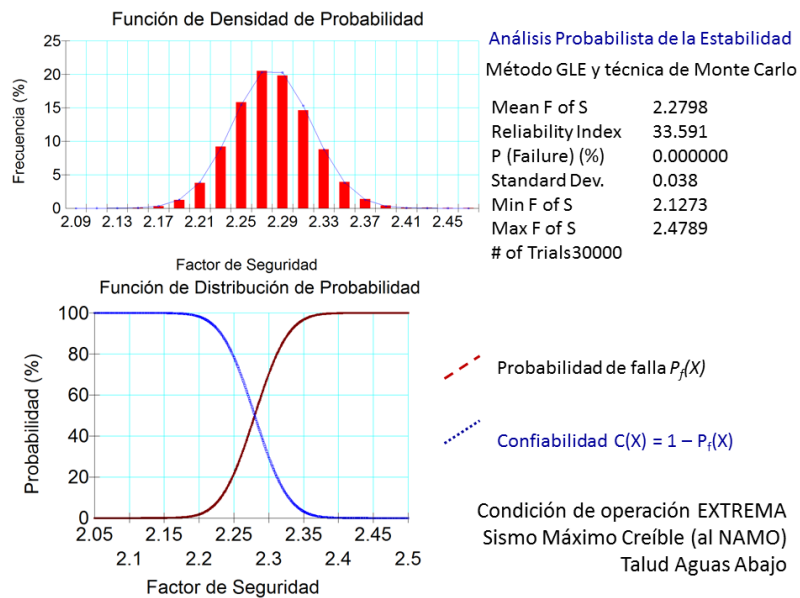


Figura 1.33 Análisis probabilista del talud seco durante el sismo con embalse al nivel del NAMO.

Curvas de fragilidad por la probabilidad de falla por deslizamiento

En la , se presenta el caso de las curvas de fragilidad derivadas del desbordamiento de la cortina, las cuales se obtienen suponiendo que el paso del agua sobre el respaldo y talud aguas abajo, o incluso en ambos taludes, va provocando la erosión del suelo y arrastrando materiales, quedando cada vez más, una sección de cortina cada vez más vulnerable a sufrir una falla de estabilidad de taludes y el colapso de parte de la cortina, provocando así una brecha en ésta.

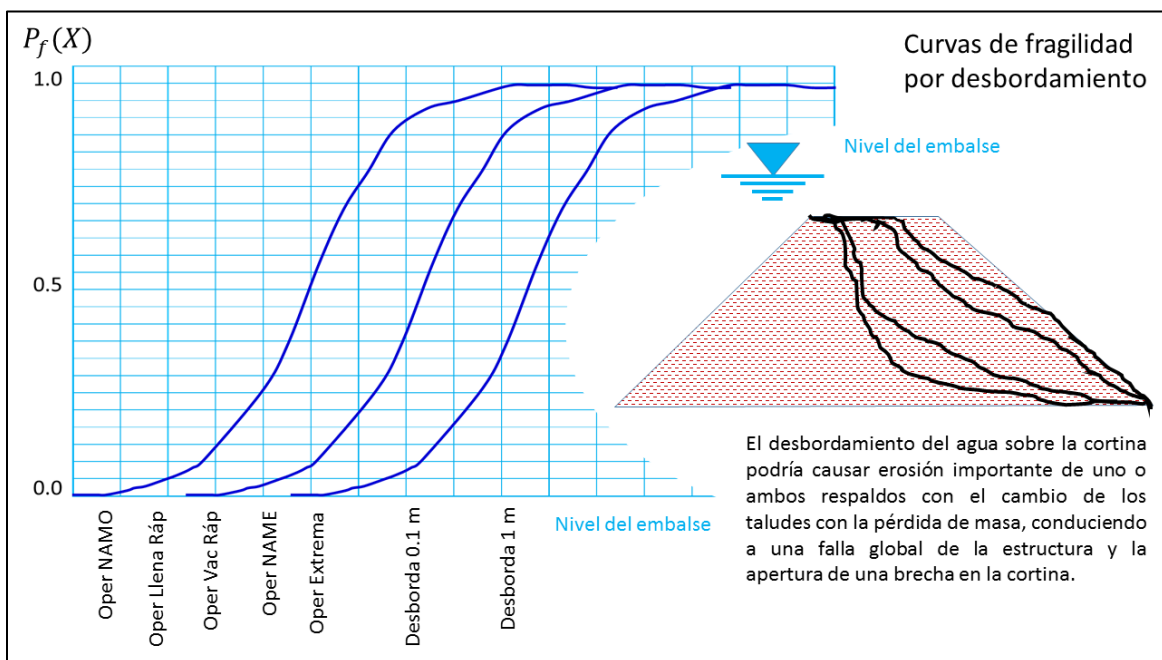


Figura 1.34 Curvas de fragilidad por la sensibilidad de la cortina en condiciones de desbordamiento.

Cálculo de probabilidad de falla anual del sistema

Con base en los resultados que permitan obtener los valores de la probabilidad anual de falla para los diferentes modos de falla de los elementos del sistema (la presa), se calculará como resultado final la probabilidad anual de falla del sistema, es decir, de la presa.

Recopilación de información y contexto

El esfuerzo de recopilar la mayor cantidad de información posible sobre la presa estudiada es muy importante, tanto con el enfoque tradicional de la seguridad como con el basado en riesgo. Por tanto, se ha reunido documentos genéricos que pueden denominarse de distinta manera en cada país. Entre ellos se puede apuntar:

- Estudios previos de soluciones o anteproyectos.
- Informes geológicos e investigaciones “in situ” efectuadas en el pasado.
- Proyecto de construcción con las eventuales revisiones o modificados.
- Estudios de impacto ambiental y declaración.
- Informes de la construcción con sus correspondientes fotografías.
- Informes geológicos posteriores al proyecto.
- Proyecto de liquidación.
- Informes de seguridad.
- Informes de auscultación.
- Normas de explotación y plan de emergencia.
- Informes sobre incidentes; etc.

En paralelo con la anterior actividad, en los dos casos se ha tenido conversaciones con los ingenieros responsables de la explotación o construcción y su equipo, así como con cualquier otra persona relacionada directamente con la presa. Cuando ha resultado factible, también se ha conversado con las personas involucradas en el diseño y construcción de la presa.

- De la misma forma, se ha llevado a cabo una inspección detallada de la presa y su zona inundable. No obstante, una vez revisada la documentación y antes de tener la visita de campo se ha concretado los siguientes aspectos:
- Definición del sistema del embalse, es decir, la presa/s, el aliviadero/s, el o los desagües diversos, tomas, vaso, cuenca drenante, zona inundable aguas abajo, sistemas de auscultación y de seguridad hidrológica, etc.
- Descripción para cada uno de esos componentes del sistema.
- Prognosis de cómo puede cambiar el riesgo en ellos a lo largo del tiempo por deterioro, modificaciones, mejora de auscultación, cambio de población aguas abajo, cambio del personal de explotación, cambio en las normas de explotación o la implementación del plan de emergencia, etc.
- Además, en la pertinente visita a las presas se ha indagado los potenciales modos de rotura y durante la inspección de la zona inundable se ha considerado las posibles consecuencias derivadas del paso de caudales extraordinarios.

Eventos de carga: escenarios

En los casos de estudio presentados, se ha definido los escenarios de solicitud partiendo de unos eventos de naturaleza estática, hidrológica y sísmica. Se ha descartado, por tanto, escenarios relacionados con errores de operación, terrorismo, incendio, deslizamientos de ladera en el vaso, etc.

De esta forma, en aras de la máxima claridad se utiliza la acepción “evento” para concretar la naturaleza de la solicitud que permite definir un determinado escenario de carga. Dentro del marco del análisis de riesgos, se entiende este último como la combinación única de estados (evento de inicio, nivel previo de embalse, caudal fluyente, etc.) en el sistema “presa-embalse”.

Evento de cargas estáticas

El dominio de cargas estáticas (por dominio se entiende el rango total de magnitudes que pueden presentarse) se deriva habitualmente del registro histórico de niveles en el embalse, aunque habría de eliminarse los valores máximos por corresponder al evento hidrológico. Lógicamente, la función de distribución ajustada se considera representativa de las condiciones previsibles para el periodo en que se realiza el AR, aunque también sería posible llevar a cabo una extrapolación de niveles o emprender una simulación estocástica de niveles (Fell et al [53])

Conviene reseñar que los niveles de embalse dependen directamente de la forma en que se explote el embalse y sus usos; por consiguiente, cualquier cambio en los mismos se ha tenido en cuenta. Por otra parte, se ha definido los escenarios estáticos, únicamente, a partir del nivel de la lámina libre de agua, aunque se podrían haber identificado a partir del estado de diversos componentes o elementos del embalse (por ejemplo: nivel previo, situación de las compuertas y órganos de desagüe, velocidad del viento, caudal entrante al embalse, etc.). En tal caso, la probabilidad de ocurrencia para dicho escenario se obtendría multiplicando las probabilidades discretas del estado de los componentes (asumiendo que fuesen independientes entre sí).

Cuando se ha evaluado los niveles de embalse se ha tenido en mente el modo de fallo considerado dado que niveles concretos pueden llegar a determinar un umbral como, por ejemplo, la cota a la que se ubica una anomalía geológica susceptible de iniciar un determinado modo de rotura. Para otros modos se ha aplicado un rango continuo de niveles (USBR).

Al tratarse este estudio de un AR preliminar o de Nivel 2 (apartado 2.4), tal y como es habitual, se ha supuesto el embalse fijo al Nivel Máximo Normal (N.M.N).

Evento hidrológico

Para el caso del evento hidrológico, lo normal es emplear un caudal o nivel punta en el embalse y relacionarlo con una probabilidad anual de excedencia. La parte con menores períodos de recurrencia se ha obtenido mediante los trabajos habitualmente efectuados en España, partiendo de un análisis de frecuencia y ajustando a una función de máximos (CNGP). Sin embargo, en el contexto de los AR es necesario estimar probabilidades todavía mucho más bajas y, por tanto, se ha recurrido a la realización de notables extrapolaciones. En fases más avanzadas del análisis podría contemplarse el estudio de paleo-avenidas al objeto de facilitarlas (USBR; Stedinger et al y Putcha et al).

Tal y como resulta habitual en estudios preliminares o dedicados a un sistema de presas, se ha supuesto que se parte del N.M.N. en el evento hidrológico.

Evento sísmico

Para el evento sísmico, la variable utilizada para definir los escenarios de carga ha sido una representación del nivel de movimiento generado en el terreno, en concreto, la aceleración horizontal. Este parámetro integra todas las posibles contribuciones, amplificadores o amortiguadores de la energía del sismo.

A veces se emplea otros parámetros, como el espectro de respuesta, o se trata de analizar por separado las variables contribuyentes aunque, en cualquiera de los casos, para estadios más avanzados del análisis la función probabilística de excedencia debería fundamentarse sobre un estudio sismo-tectónico.

En presas de materiales sueltos también debe tenerse en cuenta la influencia de la licuefacción que, además de la aceleración, también se hace depender de la magnitud del sismo (Gutiérrez et al). Sin embargo, en la ataguía de materiales sueltos se ha despreciado esta influencia al emplear un procedimiento simplificado y resultar el riesgo sísmico mucho menor que el asociado a los eventos estático e hidrológico.

Modos de fallo

La identificación de los modos de fallo es una parte fundamental del proceso del AR y, además, determina la magnitud y contexto del trabajo restante. Una de las técnicas más utilizadas para revisarlos sistemáticamente es el FMEA ("Failure Modes and

Effects Analysis”) utilizado por primera en la industria aeroespacial (ANCOLD y Hartford y Baecher); comprende:

- Realizar una lista de todos los componentes de la presa y su embalse.
- Encontrar la forma en que cada componente puede dejar de desempeñar su función considerando todas las solicitaciones posibles.
- Estimar los efectos de dicho fallo sobre el sistema.
- La anterior actividad se ha desarrollado con el máximo nivel de detalle posible, diferenciando los componentes concretos donde puede iniciarse el mecanismo de rotura, y estimando si dicho proceso es susceptible de terminar en rotura catastrófica o un simple incidente. De esta forma, se ha concluido el análisis desechando aquellos modos de fallo que resultaban en un riesgo efectivo despreciable.

Probabilidad condicional de rotura

Juicio ingenieril y juicio de experto

Para estimar la probabilidad condicional de rotura se ha empleado diversas aproximaciones al problema, brevemente mencionadas en el estado del conocimiento (apartado

2.5.5). Ahí se ha apuntado la necesidad de aplicar, a lo largo de todo el proceso, el juicio ingenieril como herramienta fundamental para discernir el orden de magnitud de las cosas y su importancia relativa. También se ha destacado la utilidad del *juicio de experto* a la hora de asignar probabilidades totales así como para componer las probabilidades condicionales dentro de los nodos de un árbol de eventos o para un determinado mecanismo de rotura en función de la información disponible.

Método tradicional

Se ha utilizado el *tradicional enfoque determinista* basado en evaluar la seguridad mediante coeficientes de seguridad que relacionan resistencias con solicitaciones. Esta técnica obliga a emplear magnitudes fijas y exactas en las variables que influyen en el problema y, al final del cálculo, no proporciona una información clara sobre “lo cerca que nos encontramos de la rotura”.

Dentro del contexto del análisis de riesgos, se ha manejado para determinar algún umbral de rotura, aunque aquí se recomienda usar en los cálculos los valores esperados para las variables y no los más conservadores; estos últimos serían los utilizados en un diseño convencional clásico.

Métodos históricos

Además se ha contado con los *métodos históricos* que utilizan el comportamiento pasado de otras presas similares para inferir una frecuencia de fallo o rotura. Resulta habitual separar el análisis para las fases del primer llenado, o los cinco primeros años de funcionamiento, y el resto de años de vida. A pesar de que cada presa es única, cuando los métodos históricos se basan en una población numerosa de embalses y se ajustan en función de la edad de la presa analizada y sus condiciones particulares, constituyen una herramienta muy valiosa.

Estos métodos no suelen tener en cuenta el nivel de embalse ni los detalles últimos de la presa (Foster et al y Douglas et al) y, por tanto, han sido aplicados en la presa de gravedad y en la ataguía de materiales sueltos para establecer una probabilidad inicial de referencia en alguno de los modos de rotura y como comprobación de los cálculos posteriores.

Análisis

Por último, se ha aplicado el método consignado como análisis que, en el presente caso, se contextualiza dentro de la mencionada toma de decisiones bajo incertidumbre.

Además se trata de un análisis basado en una técnica probabilística que podría englobarse dentro de las que incluyen, o se denominan, “análisis de fiabilidad” (Mínguez).

Enlazando con lo anterior, se puede empezar por establecer una clasificación taxonómica de la incertidumbre manejada (véase también el apartado 2.2). Por tanto, se diferencia:

- Variabilidad natural: relacionada con la aleatoriedad inherente a los procesos físicos tanto en el tiempo como en el espacio.
- incertidumbre epistémica: asociada a la limitación de información y el conocimiento exacto de la realidad. Puede desglosarse en la incertidumbre relativa al modelo que se define para describir el proceso físico y la vinculada a los parámetros (inferencia de valores procedentes de ensayos, errores de lectura o ejecución, etc.).
- Incertidumbre en la toma de decisiones: surge a raíz del limitado conocimiento sobre el estado del sistema analizado (circunstancias ocurridas durante la construcción o explotación, deterioro, errores humanos, etc.) así como de los

objetivos sociales que se persiguen (vida útil esperada, beneficio social esperado, capacidad de inversión, etc.).

Por otra parte, las aproximaciones a la teoría de la probabilidad y su aplicación han sido diversas a lo largo de la historia. En este momento, es importante resaltar que la técnica seguida para inferir la probabilidad de fallo en el contexto de la seguridad de presas constituye una amalgama que utiliza los postulados clásicos, tradicionalistas y bayesianos (Hartford y Baecher).

A fin de aclarar brevemente la forma en que se aplicados los distintos postulados probabilísticos se utiliza un ejemplo sencillo. Es fácil comprender la diferencia entre llevar a cabo un análisis de frecuencia con un “dado del parchís” (en esencia, igual que el de un Ingeniero Industrial cuando estudia las manchas en el capó de los coches a la salida de la factoría, un Aeronáutico cuando examina la resistencia de los remaches en un avión o un Ingeniero Civil cuando efectúa un ajuste a extremos hidrológicos con métodos clásicos) o analizar la “posición de los naipes” una vez barajados (en esencia, igual que cuando un Ingeniero Civil analiza el ángulo de fricción en una formación geológica o en el cuerpo de una presa).

El ejemplo de los “naipes” parece mucho más complejo que el del “dado de parchís”, y puede mostrar la necesidad del enfoque bayesiano cuando se dispone de muy pocos datos. No debe olvidarse que este enfoque tiene su mayor cabida en el contexto geotécnico o estructural donde se intenta modelizar sistemas complejos y habitualmente muy prefijados por la naturaleza (como una cimentación de presa o sus materiales).

Donde un Industrial tiene miles de muestras procedentes del árbol de levas de un coche, un Geotécnico dispone de escasos sondeos o ensayos. Esto hace que sea estrictamente necesario el uso del juicio ingenieril y la subjetividad.

Continuando con la estimación de la probabilidad condicional de rotura, existe múltiple y compleja bibliografía al respecto y, a menudo, se confunde entre sí métodos, conceptos y herramientas. No obstante, los pasos seguidos en el presente documento para definir la probabilidad de rotura mediante análisis han sido:

I. Definir un modelo que represente la respuesta del sistema; puede ser determinista o numérico. En este último caso se ha basado en diferencias finitas o simples cálculos.

En caso de ser determinista, lo habitual es utilizar una función de estado, como el clásico coeficiente de seguridad.

II. Describir los parámetros de entrada al modelo, tanto los fijados completamente como los considerados variables aleatorias. Para estas últimas, se ha utilizado la esperanza matemática y la desviación típica (momentos de primer y segundo orden), aunque siempre es deseable disponer una función de distribución.

III. Delimitar de forma concreta cuál es el criterio de fallo o rotura considerado; puede tratarse de una deformación o tensión máxima o un valor límite para el coeficiente de seguridad clásico.

IV. Escoger un método para describir estadísticamente los resultados obtenidos al utilizar el modelo de respuesta, con los parámetros de entrada estimados y el criterio de fallo escogido. Aquí es donde se ha obtenido la conclusión final materializada a través de:

- La función de distribución de la probabilidad de rotura.
- Un coeficiente de fiabilidad.

La mejor manera de estimar directamente la función de distribución de la probabilidad de rotura es a través de simulaciones por Monte Carlo. Se trata de una serie de experimentos numéricos efectuados con un modelo que puede ser de cualquier tipo, bien numérico, una fórmula matemática, un árbol de eventos, o una combinación de los mismos. Sólo precisa que las variables aleatorias de entrada sean definidas mediante su función de distribución o densidad (Harr; Kottegoda y Rosso y USBR).

En este trabajo no se ha utilizado las técnicas de Monte Carlo, aunque sí se ha estimado una partición en rangos para dicha función de distribución. Es decir, se ha obtenido de forma aproximada la integral de la función de densidad conjunta para todas las variables aleatorias involucradas. Para ello se ha empleado el coeficiente de fiabilidad, índice que proporciona una medida de la seguridad del sistema y refleja tanto la mecánica del problema como la incertidumbre en las variables aleatorias que lo condicionan (Harr y Kottegoda y Rosso). Se desarrolló en la ingeniería estructural para tener una medida de la fiabilidad relativa entre sistemas sin necesidad de conocer la forma exacta la función de distribución precisa para estimar la probabilidad de rotura.

Este índice es el número de desviaciones típicas que separan la esperanza matemática de la función de estado (el coeficiente de seguridad, por ejemplo) y su estado límite (ver Figura 3.1). Proporciona una medida relativa de la seguridad que obvia completamente la distribución de probabilidad que realmente tiene la función de estado.

En el presente caso, al querer obtener una probabilidad de fallo en lugar de esa medida relativa, se ha hecho necesario conocer la distribución de probabilidad que posee la función de estado. Aplicando el juicio ingenieril, se ha escogido una distribución lognormal y se ha obtenido la probabilidad de rotura a partir de esta función de distribución y el coeficiente de fiabilidad calculado.

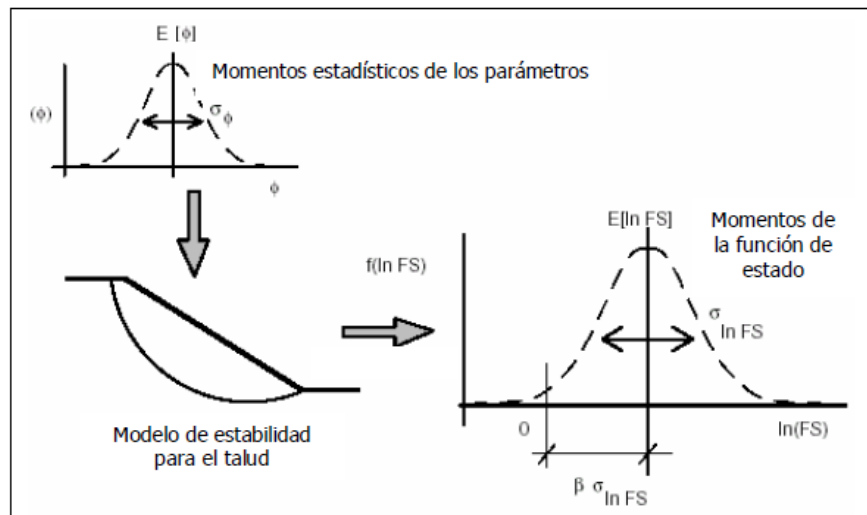


Figura 3.1. Índice de fiabilidad en la estabilidad de taludes. Fuente: Profesor Wolff en [107].

Los métodos habitualmente empleados para obtener el coeficiente de fiabilidad son los basados en la teoría lineal de segundo orden (FOSM) o los de primer orden (FORM).

En definitiva, permiten obtener distribuciones de probabilidad derivadas, es decir, asociadas a una función (la de estado) de diferentes variables aleatorias. La distribución de probabilidad asociada a esta función de estado depende de la distribución de probabilidad de las variables aleatorias que la forman así como de las relaciones funcionales del modelo de estado (que es un jacobiano). Al resultar la solución analítica para esa función de distribución derivada inabordable, se utiliza aproximaciones como las de los métodos mencionados (Mínguez [90]).

En el presente documento se ha aplicado la teoría lineal de segundo orden (FOSM) mediante el método de las Series de Taylor. Para calcular el coeficiente de fiabilidad (β) se ha obtenido los momentos de primer orden de la función de estado (el coeficiente de seguridad “FS”) y, al haber asumido una distribución lognormal para la función de estado, el coeficiente de fiabilidad se ha obtenido según la expresión:

$$\beta = \frac{E[\ln(FS)] - \ln(FS_{crít})}{\sigma_{\ln(FS)}} \quad (\text{Ec. 3.1})$$

donde ($FS_{crít}$) es el valor crítico escogido para la función de estado, es decir, aquel que delimita el estado límite que precede a la rotura o el funcionamiento incorrecto del sistema.

Para ello se ha efectuado un desarrollo en serie de Taylor de la función de estado alrededor de los valores medios. De esta manera, se puede demostrar que la esperanza matemática de la función de estado se obtiene evaluándola, a su vez, con la esperanza matemática de las variables aleatorias involucradas según:

$$E[\ln(FS)] = FS(E[X_1], E[X_2], \dots, E[X_n]) \quad (\text{Ec. 3.2})$$

donde las (X_i) representan a las variables aleatorias (cohesión, ángulo de fricción, permeabilidad, módulo de elasticidad, etc.)

También es demostrable que la varianza de la función de estado se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$Var[FS] = \sum \left(\frac{\partial FS}{\partial X_i} \right)^2 \sigma_{X_i}^2 + 2 \sum \left(\frac{\partial FS}{\partial X_i} \frac{\partial FS}{\partial X_j} \right) \rho_{X_i, X_j} \sigma_{X_i} \sigma_{X_j} \quad (\text{Ec. 3.3})$$

donde (ρ) es el coeficiente de correlación entre las variables aleatorias (X_i) y (X_j) y (σ) es la desviación típica de las variables aleatorias. En nuestro caso, al considerar estas últimas independientes entre sí, el segundo sumando de la ecuación se ha hecho cero.

Las derivadas parciales de la ecuación 3.3 son calculadas en el valor medio de cada una de las variables aleatorias y, en el presente trabajo, han sido estimadas numéricamente utilizando diferencias finita

Con lo anteriormente indicado, la probabilidad de rotura o funcionamiento incorrecto del sistema se ha aproximado a partir de la expresión:

$$\Pr_f = 1 - \Phi(\beta)$$

(Ec. 3.4)

donde $\Phi(\beta)$ (implica evaluar una distribución normal estándar para el coeficiente de fiabilidad definido en la ecuación 3.1.

Por último, se hace mención a los *árboles de eventos*, también utilizados en el presente documento para evaluar probabilidades en el caso de los modos de rotura asociados al sifonamiento y la erosión interna. Con estas representaciones gráficas se refleja la secuencia lógica de ocurrencia para una serie de eventos o estados concretos del sistema. El árbol representa un modelo determinista de los estados funcionales binarios de la presa y aplica un análisis de tipo inductivo (Hartford y Baecher).

Cada uno de los nodos representa una situación en la que dos o más eventos, excluyentes entre sí, pueden acaecer habida cuenta de que los eventos existentes en un camino precedente al nodo ya han ocurrido. Por tanto, para cada una de las ramas que surgen del nodo se asigna una probabilidad condicional de ocurrencia de tal forma que todas sumarán la unidad. Aplicando la teoría matemática de la probabilidad (Harr) puede colegirse que multiplicando los valores a lo largo de uno de los caminos que atraviesan el árbol se obtiene la probabilidad de ocurrencia para el evento recogido en el último nodo.

Los árboles de eventos, realmente, no están vinculados directamente a ningún método probabilístico. De hecho, los valores de probabilidad en los nodos se han estimado mediante las diferentes formas ya mencionadas. En particular:

- Cálculo de la probabilidad de insatisfacción de algún criterio a partir de una función que tiene en cuenta la variabilidad de los parámetros involucrados y los modelos analíticos (aquí se enmarca los métodos FOSM).
- Cálculo de la probabilidad de ocurrencia empleando distribuciones de probabilidad generadas a partir de datos históricos sobre eventos similares y una vez ajustada una función a los registros disponibles.
- Estimación de la probabilidad de ocurrencia mediante un proceso que tenga en cuenta la opinión de expertos en la materia.

Tabla 1.3 Parámetros del terraplén y cimentación de la presa Rancherías

Parámetros						
	Terraplén			Cimiento		
	Wd kN/m ³	C kN/m ²	Φ grados	Wd kN/m ³	C kN/m ²	Φ grados
Máximo	19.9	111.87	31	17.52	76.23	27
Mínimo	17.43	10.89	26	16.63	36.63	23
Promedio	18.665	61.38	28.5	17.075	56.43	25

Tabla 1.4 Variación de parámetros para obtención del factor de seguridad de la presa Rancherías

CT	FIT	GAMMAT	CC	FIC	GAMMAC
61.380	28.500	18.665	56.430	25.000	17.075
10.890	28.500	18.665	56.430	25.000	17.075
111.870	28.500	18.665	56.430	25.000	17.075
61.380	26.000	18.665	56.430	25.000	17.075
61.380	31.000	18.665	56.430	25.000	17.075
61.380	28.500	17.430	56.430	25.000	17.075
61.380	28.500	19.900	56.430	25.000	17.075
61.380	28.500	18.665	36.630	25.000	17.075
61.380	28.500	18.665	76.230	25.000	17.075
61.380	28.500	18.665	56.430	23.000	17.075
61.380	28.500	18.665	56.430	27.000	17.075
61.380	28.500	18.665	56.430	25.000	16.630
61.380	28.500	18.665	56.430	25.000	17.520

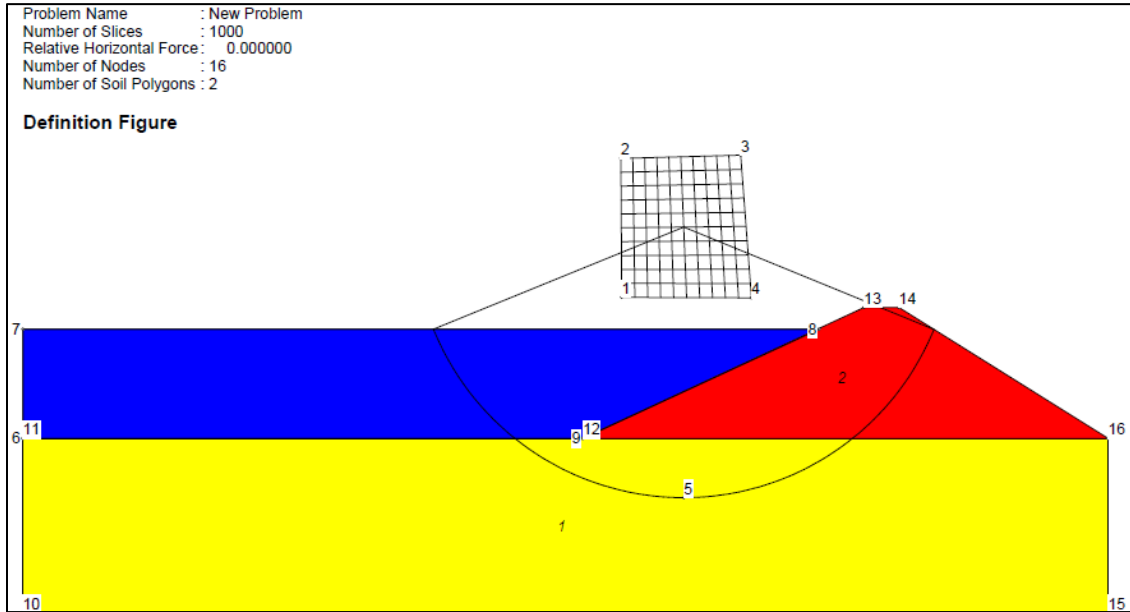


Figura 1.35 Obtención de los factores de seguridad mediante el método de Bishop simplificado a distintos niveles del embalse

Tabla 1.5 Factores de seguridad a presa vacía (nivel cero)

NORMAL			
	FS	Var[FS]	% VARIANZA
PROM	5.531	3.11E+00	77.11%
CT	2.821		
	6.129		
FIT	5.499	1.09E-03	0.03%
	5.565		
GAMMAT	5.84	8.31E-02	2.06%
	5.264		
CC	4.629	8.10E-01	20.10%
	6.429		
FIC	5.366	2.79E-02	0.69%
	5.7		
GAMMAC	5.511	5.56E-04	0.01%
	5.558		

	TOTAL =	4.03006E+00	100%
	#N/A		

Tabla 1.6 Log Normal de los factores de seguridad a presa vacía (nivel cero)

NORMAL EQUIVALENTE			
FS	LN(FS)	Var[ln(FS)]	% VARIANZA
5.531	1.71037		
2.821	1.03709	1.78E-01	85.27%
6.129	1.81303		
5.499	1.70457	3.56E-05	0.02%
5.565	1.7165		
5.84	1.76473	2.70E-03	1.29%
5.264	1.66089		
4.629	1.53234	2.70E-02	12.98%
6.429	1.86082		
5.366	1.68008	9.12E-04	0.44%
5.7	1.74047		
5.511	1.70675	1.82E-05	0.01%
5.558	1.71524		
	TOTAL =	2.08355E-01	100%
	#N/A		

Tabla 1.7 Resumen de los datos estadísticos a presa vacía (nivel cero)

ESTADISTICOS			
DE LA NORMAL		log NORMAL	
FS CRIT =	1	LN(FSCRIT) =	0
E[FS]=	5.531	E[LN(FS)] =	1.710368631
Var[FS]=	4.030056	Var(LN(FS)) =	0.208355
s(FS) =	2.0075	s (LN(FS)) =	0.456459165

Tabla 1.8 Probabilidad de falla a presa vacía (nivel cero)

BETA =	3.747035357
RO(BETA) =	0.999910532
PR FALLA=	8.95E-05

Tabla 1.9 Factores de seguridad de presa con nivel al NAMÍN

NORMAL			
	FS	Var[FS]	% VARIANZA
PROM	6.123		
CT	3	4.17E+00	77.57%
	6.841		
FIT	6.084	1.77E-03	0.03%
	6.168		
GAMMAT	6.517	1.34E-01	2.50%
	5.785		
CC	5.09	1.04E+00	19.39%
	7.132		
FIC	5.962	2.69E-02	0.50%
	6.29		
GAMMAC	6.099	5.76E-04	0.01%
	6.147		
	TOTAL =	5.37627E+00	100%
	#N/A		

Tabla 1.10 Log Normal de los factores de seguridad de presa con nivel al NAMÍN

NORMAL EQUIVALENTE			
FS	LN(FS)	Var[ln(FS)]	% VARIANZA
6.123	1.81205		
3	1.09861	2.00E-01	86%
6.841	1.92293		
6.084	1.80566	4.71E-05	0%

6.168	1.81937		
6.517	1.87441	3.55E-03	2%
5.785	1.75527		
5.09	1.62728	2.85E-02	12%
7.132	1.96459		
5.962	1.78541	7.17E-04	
6.29	1.83896		
6.099	1.80812	1.54E-05	
6.147	1.81596		
	TOTAL =	2.32996E-01	100%
	#N/A		

Tabla 1.11 Resumen de los datos estadísticos de presa con nivel al NAMÍN

ESTADISTICOS			
DE LA NORMAL		log NORMAL	
FS CRIT =	1	LN(FSCRIT) =	0
E[FS]=	6.123	E[LN(FS)] =	1.812052172
Var[FS]=	5.376271	Var(LN(FS)) =	0.232996
s(FS) =	2.31868	s (LN(FS)) =	0.482696236

Tabla 1.12 Probabilidad de falla de presa con nivel al NAMÍN

BETA =	3.754021756
RO(BETA) =	0.99991299
PR FALLA=	8.70E-05

Tabla 1.13 Factores de seguridad de presa con nivel al NAMO

NORMAL			
	FS	Var[FS]	% VARIANZA
PROM	8.15		
CT	3.614	8.67E+00	75.49%

	9.135		
FIT	8.086	8.52E-03	0.07%
	8.268		
GAMMAT	8.987	5.88E-01	5.12%
	7.455		
CC	6.648	2.18E+00	19.02%
	9.604		
FIC	7.962	3.30E-02	0.29%
	8.325		
GAMMAC	8.108	1.27E-03	0.01%
	8.179		
	TOTAL =	1.14870E+01	100%
	#N/A		

Tabla 1.14 Log Normal de los factores de seguridad de presa con nivel al NAMO

NORMAL EQUIVALENTE			
FS	LN(FS)	Var[ln(FS)]	% VARIANZA
8.15	2.09802		
3.614	1.28482	2.56E-01	86%
9.135	2.21211		
8.086	2.09013	1.27E-04	0%
8.268	2.11239		
8.987	2.19578	8.74E-03	3%
7.455	2.00888		
6.648	1.89432	3.40E-02	11%
9.604	2.26218		
7.962	2.07468	4.97E-04	
8.325	2.11926		
8.108	2.09285	1.92E-05	
8.179	2.10157		
	TOTAL =	2.99043E-01	100%
	#N/A		

Tabla 1.15 Resumen de los datos estadísticos de presa con nivel al NAMO

ESTADISTICOS			
DE LA NORMAL		log NORMAL	
FS CRIT =	1	LN(FSCRIT) =	0
E[FS]=	8.15	E[LN(FS)] =	2.098017927
Var[FS]=	11.487027	Var(LN(FS)) =	0.299043
s(FS) =	3.389251736	s (LN(FS)) =	0.546848502

Tabla 1.16 Probabilidad de falla de presa con nivel al NAMO

BETA =	3.836561534
RO(BETA) =	0.999937616
PR FALLA=	6.24E-05

Tabla 1.17 Factores de seguridad de presa con nivel al NAME

NORMAL			
	FS	Var[FS]	% VARIANZA
PROM	9.365		
CT	3.996	1.21E+01	72.98%
	10.517		
FIT	9.3	4.36E-03	0.03%
	9.432		
GAMMAT	10.61	1.22E+00	7.33%
	8.41		
CC	7.555	3.22E+00	19.42%
	11.146		
FIC	9.172	3.72E-02	0.22%
	9.558		
GAMMAC	9.31	2.97E-03	0.02%
	9.419		
	TOTAL =	1.65983E+01	100%

Tabla 1.18 Log Normal de los factores de seguridad de presa con nivel al NAME

NORMAL EQUIVALENTE			
FS	LN(FS)	Var[ln(FS)]	% VARIANZA
9.365	2.23698		
3.996	1.38529	2.79E-01	84%
10.517	2.35299		
9.3	2.23001	4.97E-05	0%
9.432	2.24411		
10.61	2.3618	1.35E-02	4%
8.41	2.12942		
7.555	2.02221	3.79E-02	11%
11.146	2.41108		
9.172	2.21616	4.25E-04	
9.558	2.25738		
9.31	2.23109	3.39E-05	
9.419	2.24273		
	TOTAL =	3.31187E-01	100%
	#N/A		

Tabla 1.19 Resumen de los datos estadísticos de presa con nivel al NAME

ESTADISTICOS			
DE LA NORMAL		log NORMAL	
FS CRIT =	1	LN(FSCRIT) =	0
E[FS]=	9.365	E[LN(FS)] =	2.236979336
Var[FS]=	16.598259	Var(LN(FS)) =	0.331187
s(FS) =	4.074096055	s (LN(FS)) =	0.575488747

Tabla 1.20 Probabilidad de falla de presa con nivel al NAME

BETA =	3.887094831
RO(BETA) =	0.999949274
PR FALLA=	5.07E-05

Tabla 1.21 Probabilidad de falla para cada condición de nivel de la presa Rancherías

DESlizamiento					
		Condición			
		Vacío	NAMÍN	NAMO	NAME
		0 m	2 m	4.5 m	5.5 m
N. Corrida	Descripción	FS			
1	Promedio de los parámetros	5.531	6.123	8.15	9.365
2	Cohesión mínima del terraplén	2.821	3.000	3.614	3.996
3	Cohesión máxima del terraplén	6.129	6.841	9.135	10.517
4	fi mínimo del terraplén	5.499	6.084	8.086	9.300
5	fi máximo del terraplén	5.65	6.168	8.268	9.432
6	Peso mínimo del terraplén	5.840	6.517	8.987	10.610
7	Peso máximo del terraplén	5.264	5.785	7.455	8.410
8	Cohesión mínima del cimient	4.629	5.090	6.648	7.555
9	Cohesión máxima del cimient	6.429	7.132	9.604	11.146
10	fi mínimo del cimient	5.366	5.962	7.962	9.172
11	fi máximo del cimient	5.700	6.290	8.325	9.558
12	Peso mínimo del cimient	5.511	6.099	8.108	9.310
13	Peso máximo del cimient	5.558	6.147	8.179	9.419
PR FALLA		8.95E-05	8.7E-05	6.24E-05	5.07E-05

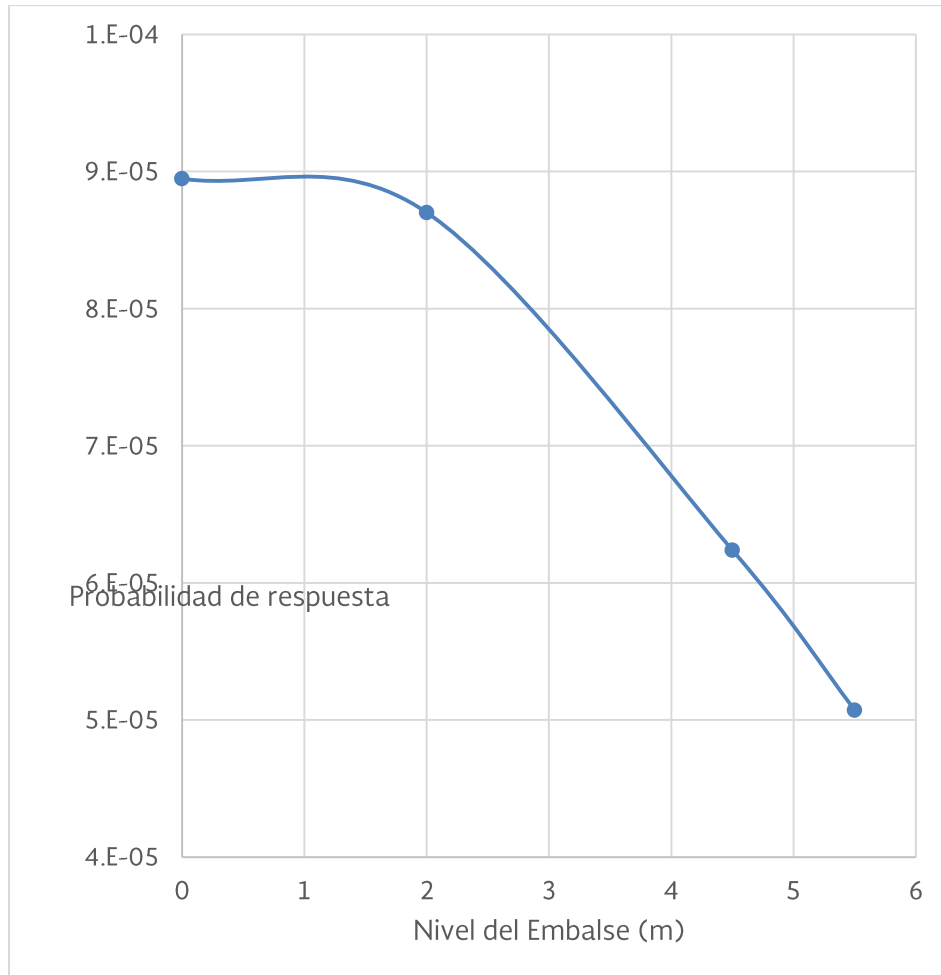


Figura 1.36 Curva de fragilidad por deslizamiento para el talud aguas arriba de la presa Rancherías

6. DIAGNÓSTICO

Delimitación de zonas de peligro y evaluación de las consecuencias

Esta parte se requiere conocer las consecuencias, tanto en número estimado de pérdida de vidas humanas como en costos estimados por los daños, con la finalidad de poder calcular el riesgo.

Evaluación de las Consecuencias

La parte correspondiente a la Actividad: **Evaluación del riesgo vigente y con las medidas de reducción consideradas**, se abordará con los siguientes procesos del Procedimiento Metodológico holístico para el análisis probabilista de la seguridad y la evaluación del riesgo de cada presa

En estos casos, se considerarán cuando menos tres alternativas de modificación para reducir o atenuar el riesgo a niveles aceptables. Las alternativas pueden incluir el caso de poner fuera de servicio la presa o restricciones de niveles de operación en el embalse.

En nuestro Procedimiento Metodológico Holístico (figura 3), contemplamos que las consecuencias que podría causar la falla geotécnica o estructural de la cortina, o por un problema operacional o funcional, incluyendo un desbordamiento que aunque no cause la falla de la obra de contención, sí podría causar consecuencias aguas debajo de la presa, se determinarán, en términos de dos clases de consecuencias:

- Pérdida de vidas humanas y heridos en la población.
- Consecuencias económicas, sociales y culturales.

Se utilizó la metodología de Wayne Graham para la estimación de las consecuencias en términos de pérdida de vidas humanas. También se aplicarán otras metodologías para estimar las consecuencias, principalmente las metodologías de:

- USBR (2006) de los USA
- BCHydro de Canadá
- SUFRI (Sustainable Strategies of Urban Flood Risk Management) de la UE
- Jonkman
- LIFESim

Para los daños económicos, sociales y culturales se utilizará principalmente la relación Tirante – Daños que expresa la relación entre el grado de destrucción y la profundidad del tirante de la corriente durante la inundación.

A nivel de nuestra participación en cuanto a la identificación, cálculos y evaluación de las consecuencias tanto en términos de pérdida de vidas humanas y heridos en la población como de daños económicos, sociales y culturales, determinar la amplitud (superficie), los tirantes y las velocidades en función del tiempo de la inundación que se provoque en los distintos escenarios; pero nosotros requerimos diferentes grados de intervención con la finalidad de poder calcular y evaluar el Riesgo y poder así desarrollar nuestro Procedimiento Metodológico de trabajo.

Análisis del Riesgo

El análisis del riesgo permitirá calcular los valores anualizados del riesgo, considerando la combinación matemática de las probabilidades de falla y las consecuencias, para determinar valores cuantitativos en términos de pérdidas de vida anual y de costo anual. En esta parte se desarrollaron aspectos y partes relativas a las cuestiones hidrológicas y determinación de las zonas de inundación, así como de los contornos de las velocidades y los tirantes del agua pasando por los poblados que encuentre la avenida a su paso aguas abajo de la presa.

Evaluación del Riesgo

La evaluación del riesgo se efectuaron considerando lo que incluye la NOM publicada por CONAGUA, pero también se emplearon otras referencias, con la finalidad de hacer aportaciones técnicas en términos de tolerancia de riesgo, distinguiendo cuando menos los siguientes casos (por utilizar la actualidad en ICOLD y otros), como son: Riesgo inaceptable, Riesgo tolerable, y Riesgo ampliamente aceptable.

Y traduciendo esos términos en niveles de Riesgo: Alto, Medio y Bajo, para darle conformidad con lo usual por la CONAGUA y el SISP, así como para no incurrir en responsabilidades legales en la ausencia de un trabajo más profundo que haya dado las normas oficiales mexicanas y legislación pertinente para su utilización en la práctica y la comunicación social.

7. ANTEPROYECTO DE ALTERNATIVA DE ATENUACIÓN DE RIESGO

SELECCIONADA

En función de los resultados, se proponen algunas medidas arquitectónicas, geotécnicas, estructurales, hidráulicas, operacionales, funcionales, alertamiento, etc., para reducir el riesgo.

La evaluación de factibilidad y efectividad de dichas medidas implica una retroalimentación parcial o total del procedimiento descrito en la figura 1, en donde se indica con flechas esta retroalimentación.

Finalmente, los responsables de estos resultados, emitiremos un Dictamen Técnico por escrito, firmado, con los resultados de los análisis probabilistas de la seguridad y la evaluación del riesgo de falla de las cuatro presas de tierra y la presa de mampostería que abarcan estos trabajos. Asimismo, se escribirán las conclusiones del trabajo desarrollado.

A continuación se presentan las opciones de solución y los trabajos de ingeniería para su implementación en la presa Rancherías, con la finalidad de atender los problemas relacionados con la carencia de un vertedor adecuado, conservación de la cortina, el mal estado de las obras de toma, las filtraciones por los empotramientos de ambos márgenes en el vaso y el control de la erosión en el cauce.

Rehabilitación de la cortina

No son suficientemente extensas y claras las reseñas efectuadas ni se dispone de toda la información sobre dimensiones y características del deslizamiento y menos aún, del comportamiento del flujo de agua en la cortina. Sin embargo, a la luz de la información disponible, se deduce que en el hombro del talud aguas abajo, el deslizamiento tenía un ancho de 7.5 m, y al pie se pudo haber ampliado el ancho hasta 15 m. Ahora bien, si se tiene como eje el cadenamiento 0+277.50, esto llevaría a considerar la remoción y reconstrucción del talud aguas abajo entre los cadenamientos 0+265 y 0+290, con un ancho de 25 metros, removiendo parte del respaldo de aguas abajo colocado a volteo en esa franja y reconstruyendo la cortina en esa zona. En la Figura 1.37, se muestra la zona de trabajo con los taludes actuales de la cortina.

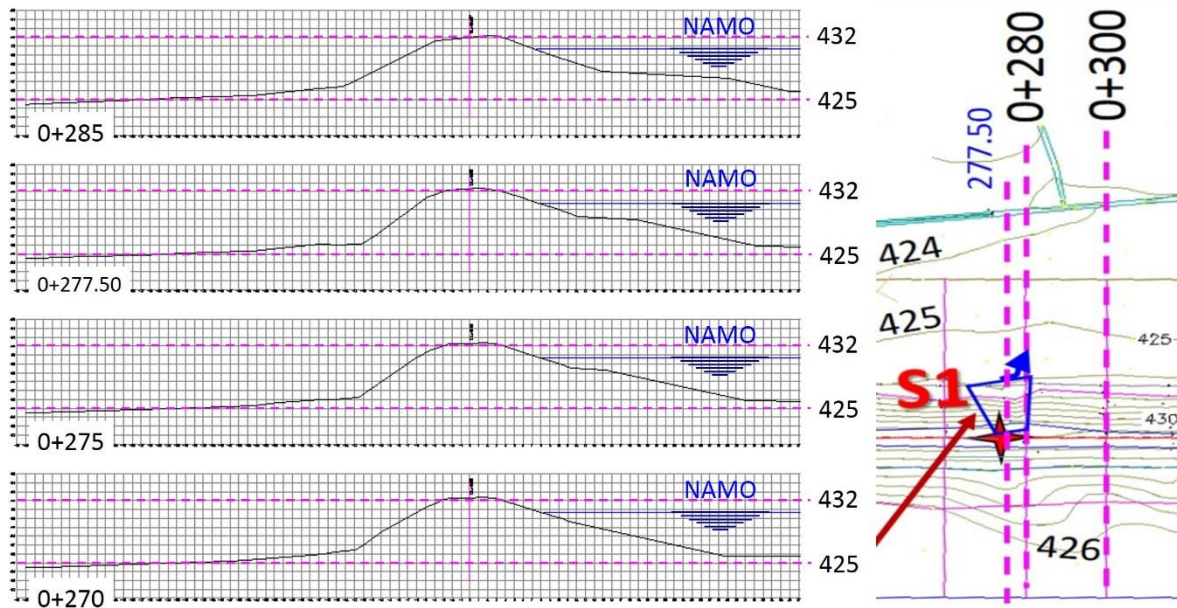


Figura 1.37 Zona propuesta de reparación de la cortina entre los cadenamientos 0+265 y 0+290.

Como ya se ha comentado, debido a las condiciones de la vegetación sobre la cortina, como parte del proyecto ejecutivo con el fin de ubicar y dimensionar el volumen de los trabajos a realizar, previamente es necesario realizar una limpieza general de la cortina que incluye la poda de la vegetación, extrayendo todos los arbustos y dejando la vegetación con una altura máxima de 30 cm sobre el suelo del talud aguas abajo, para que le sirva como protección contra los escurrimientos pluviales. Estos trabajos deben hacerse de manera más detallada entre los cadenamientos 0+260 y 0+300, en la zona del deslizamiento, con desenraice de todas las plantas, arbustos, árboles, roza y en general remoción de toda la materia vegetal; para que posteriormente se efectúe una visita al sitio por expertos en Geotecnia e Ingeniería de Presas para verificar y, en su caso, adaptar la solución propuesta.

Tentativamente, el procedimiento de reparación de la cortina sería el siguiente:

Eta **1. LIMPIEZA DE LA CORTINA.**

Una vez desarrollado el proyecto ejecutivo, en caso de que la cortina haya sido nuevamente cubierta por vegetación, se deberán realizar los trabajos de limpieza de

forma similar a la planteada anteriormente como trabajos previos a la realización de dicho proyecto.

Etapa 2. NIVEL DEL EMBALSE.

De preferencia, ejecutar los trabajos en la temporada de estiaje, cuando el vaso se encuentre en su mínimo nivel. En el caso de que se detecten filtraciones durante los trabajos de rehabilitación de la zona afectada, será necesario operar la obra de toma y bajar el embalse hasta los niveles donde ya no se generen las filtraciones.

Etapa 3. EXCAVACIÓN Y REMOCIÓN EN LA ZONA DEL DESLIZAMIENTO.

Remover el suelo de la cortina, en el respaldo aguas abajo, entre los cadenamientos 0+265 y 0+290, dejando escalones de liga en las tres caras del corte, con un ancho mínimo de 4 metros para que una máquina compactador liso vibratorio de 7 a 9 t pueda maniobrar y compactar las capas que se colocarán a continuación. Se deberá asegurar que la remoción del respaldo ha llegado hasta las lutitas, o hasta un nivel del terreno por debajo de la elevación 424.00 *msnm*, en donde se colocará la primera capa de reconstrucción del respaldo de la cortina. Los cortes se harán con taludes de 45° contra la cortina, como se muestra en la Figura 1.38, formando escalones para poder disponer de superficies horizontales amplias para utilizar la maquinaria de compactación y que su trabajo sea efectivo. Los suelos removidos del respaldo se colocarán al pie del talud aguas abajo, fuera de la franja o zona de trabajo, en donde lo prevea el proyecto ejecutivo.

Etapa 4.- SUELO DE RECONSTRUCCIÓN.

Se utilizarán suelos de banco de préstamo, recomendándose las siguientes características:

- Arcilla de mediana plasticidad (CL).
- Más de 80% de finos.
- Hasta 20% de arena fina, sin gravas ni boleos o cantos de roca.
- Límite líquido entre 35 y 45% e índice plástico entre 15 y 25%.
- Densidad de sólidos de 2.60 a 2.70.
- Porcentaje de dispersión en pruebas de doble hidrómetro (al menos tres para el banco seleccionado) no mayor que 25%.
- Peso volumétrico seco máximo Proctor estándar no menor que 17.16 kN/m³ (1.75 t/m³).
- A los suelos a emplear en la construcción se les harán pruebas de compactación Proctor estándar, una prueba por cada 150 m³, para supervisar

que cumplan las especificaciones del proyecto. En caso necesario, se añadirá un 2 a 3% de cal hidratada en peso al suelo a compactar, mezclándolo manualmente con ayuda de una pala en el sitio de colocación después de cernir la cal sobre el suelo de la capa.

Etapa 5. COLOCACIÓN DE CAPAS DE SUELOS EN LA ZONA DEL DESLIZAMIENTO.

Se colocarán de acuerdo como se indique en el proyecto ejecutivo (Figura 1.38), de manera que se coloquen los siguientes suelos:

(5.a) FILTRO. Se colocará una capa de filtro con una arena bien graduada, con un espesor de 30 cm. Esta capa se colocará contra los cortes hechos en la cortina y contra o sobre esta capa de arena bien graduada, se colocarán las capas de arcilla CL con arena fina que son el suelo de reconstrucción. La capa de filtro se colocará con un contenido de humedad de 3% por encima del Proctor estándar para este suelo y se compactará manualmente con bailarina previo a que se pase la máquina de compactación.

(5.b) SUELO DE RECONSTRUCCIÓN (ARCILLA CL). Colocar el suelo de reconstrucción en capas de 30 cm de espesor, con un contenido de humedad uniformizado, que sea 2% a 3% mayor que el contenido de agua óptimo Proctor estándar. Previo a la colocación de una nueva capa de suelo a compactar, se asegurará que la capa que recibe se encuentra ligeramente húmeda, con contenido de humedad de 2 a 3% superior al óptimo Proctor estándar, para recibir a la siguiente. Cada capa se colocará y se compactará en el sentido longitudinal de la cortina, verificándose con topografía que las capas estén prácticamente horizontales.

Etapa 6. COMPACTACIÓN.

Las capas de suelo se compactarán mediante 8 pasadas o más, de un compactador tipo pata de cabra y en su caso, en las zonas de difícil acceso, con bailarina de impacto neumático. Para controlar la calidad de la compactación, a cada tres capas (una sí y una no) se harán dos calas distribuidas a lo largo de la capa y a la mitad del ancho. A cada cala se le hará la determinación del peso volumétrico y el contenido de agua para asegurarse que cumpla con el grado de compactación propuesto en el punto anterior. En caso necesario, se pasará nuevamente el compactador y se removerán capas mal colocadas y se volverán a colocar y compactar. Se continuará este proceso hasta que se alcance el nivel de rasante de la corona en esa franja.

Etapa 7. RECUBRIMIENTO CON VEGETACIÓN.

Una vez finalizada la reconstrucción del respaldo aguas abajo de la cortina, se procederá a plantar zacate o vegetación similar en todo el talud, hasta que quede completamente cubierto. Esta vegetación sirve como protección contra la erosión debido a los escurrimientos pluviales.

Etapas 8. TRABAJOS COMPLEMENTARIOS EN EL RESTO DE LA CORTINA.

Se recomienda también realizar un trabajo de relleno, a modo de bacheo, en las zonas sobre el talud aguas abajo que han sido erosionadas por los escurrimientos pluviales, mismas que debieron ser ubicadas y dimensionadas durante los trabajos de limpieza previos, para lo cual se pueden utilizar los mismos materiales de banco recomendados para la rehabilitación en la zona del deslizamiento. Se recomienda también reponer los enrocamientos en el talud de aguas arriba, en las zonas en donde se ha perdido esta protección ya sea por la intemperización de las lutitas que lo conforman o por el corrimiento debido a la vegetación y a la acción del agua del embalse sobre él.

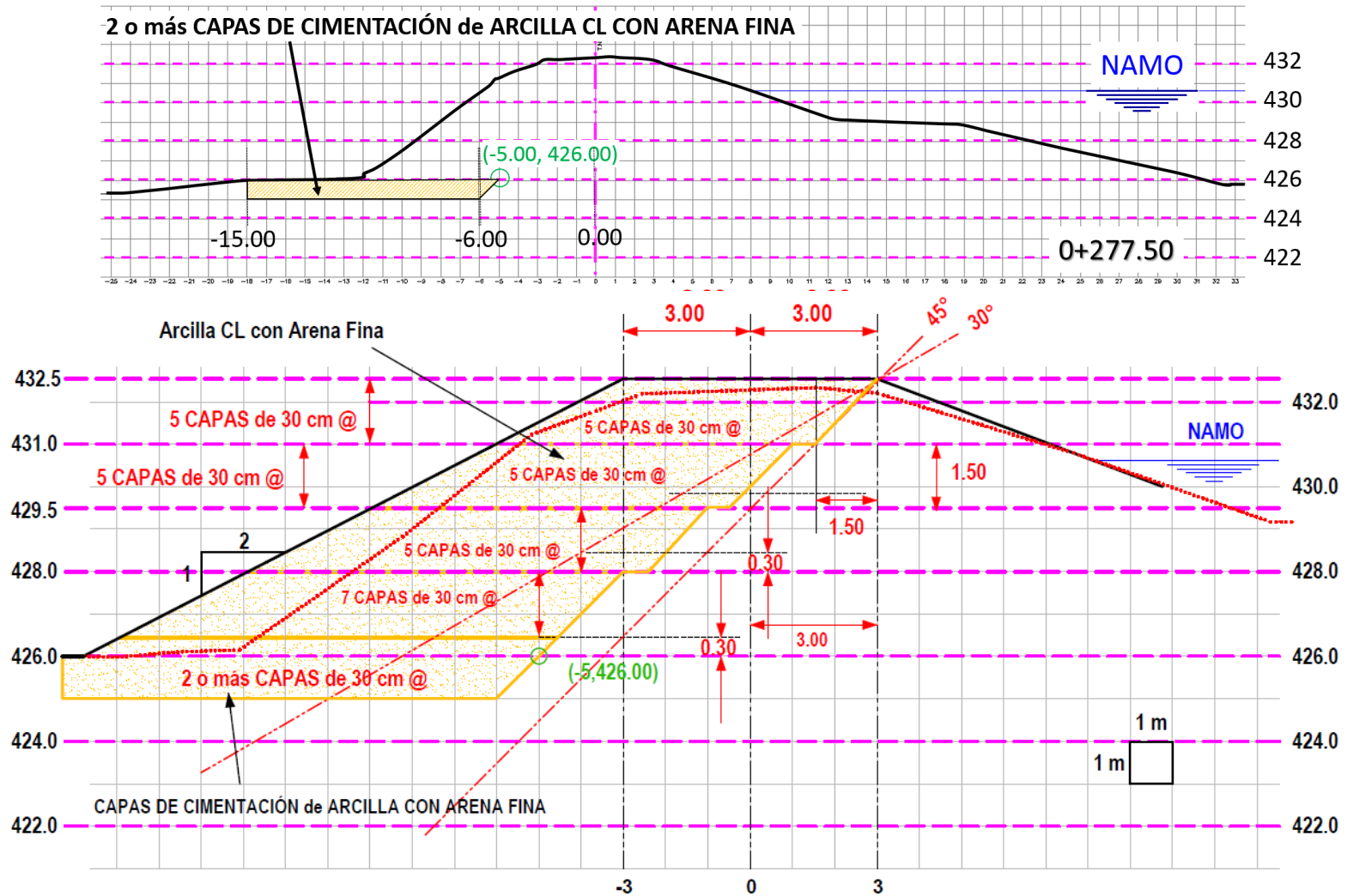


Figura 1.38 Esquema de reconstrucción de la cortina entre las secciones 0+265 y 0+290.

Rehabilitación de la obra de excedencias

La obra de excedencias de la presa Rancherías es un vertedor en lavadero, de descarga libre, con cresta recta, de 36 metros de longitud de cresta y un desnivel de 1.84 m con respecto a la corona de la cortina. De acuerdo a la revisión hidrológica la capacidad del vertedor es segura para regular el gasto de la avenida con período de retorno de 10,000 años. El vertedor fue excavado en la margen izquierda, en rocas lutitas, poco alteradas y poco fracturadas, y descarga por la ladera del terreno hasta que encontrar el antiguo cauce del arroyo Rancherías aguas abajo de la presa.

El vertedor es perfectamente funcional actualmente. Desde el punto de vista geotécnico y estructural, el vertedor no presenta ningún problema de seguridad, solamente tiene una zona con socavación y rotura de la mampostería del final de la chapa de protección de la cortina, dentro del embalse (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), así como una erosión del lado del talud aguas abajo debido del camino de acceso, en donde se ha removido suelo de apoyo detrás de la mampostería, como se muestra en la Fotografía 1.2.



Fotografía 1.1 Zona socavada en la base de la protección de mampostería, dentro del embalse.



Fotografía 1.2 Zona erosionada detrás de la chapa de protección.

Se requiere rehabilitar la mampostería y tapar con la misma mampostería, la zanja de socavación que se ha producido en la zona que protege la cortina dentro del embalse, como se muestra en la Figura 1.39 y también reparar la erosión detrás de la chapa de mampostería en la parte adyacente al camino rellenándola con el material de banco recomendado para la rehabilitación de la cortina, considerando la construcción de una extensión de la chapa de mampostería en esa zona, que evite vuelva a ocurrir la erosión.

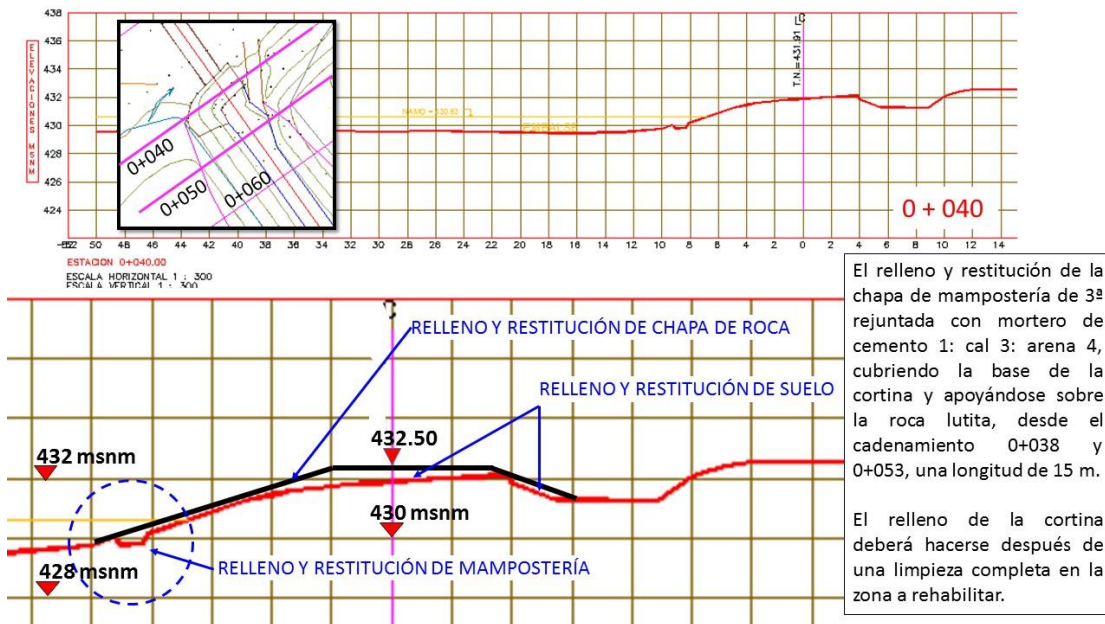


Figura 1.39 Esquema de rehabilitación de la chapa y cimiento del muro del vertedor.

Rehabilitación de la obra de toma

La obra de toma es de tipo tubería a presión y está formada por un ducto de acero de 0.25 m (10 pulgadas) de diámetro y se localiza a aproximadamente 90 m de la ladera en el extremo izquierdo de la cortina. Esta obra de toma es operada por los usuarios mediante un par de válvulas de compuerta. La de emergencia es de 0.25 m (10 pulgadas) y la de servicio es de 0.31 m (12 pulgadas), que es el diámetro a las que se realiza la descarga al canal de distribución.

La salida está formada por una estructura de concreto que originalmente formaba la caja de válvulas, pero cuya pared frontal se demolió, dejando el aspecto con el que se encuentra actualmente, con las varillas del muro demolido expuestas. El tren de descarga está azolvado hasta la mitad del tubo; debido a que se tienen fugas en las válvulas; el azolve tiene una consistencia de lodo, sobre el que ya ha crecido vegetación Fotografía 1.3.



Fotografía 1.3 Obra de toma en octubre de 2016.

Las válvulas se encontraron sin manerales, con fugas y con exceso de oxidación, con los sellos deteriorados por lo que no es posible el cierre perfecto, que se manifiesta por la existencia de un pequeño gasto de descarga. Se recomienda la limpieza de la caja de válvulas, eliminando el azolve y vegetación; asimismo es necesario darle mantenimiento a ambas válvulas de modo que operen correctamente, sin pérdida del agua del embalse por las fugas, considerando incluso su sustitución por dos del mismo diámetro (254.0 mm), debido a que esta obra es el único medio para controlar el nivel de la presa en caso de alguna emergencia. Una vez hechas las reparaciones, sustituciones y mantenimiento del tren de descarga, se recomienda la pintura de todos los elementos metálicos para evitar su oxidación. Asimismo es recomendable reponer el muro demolido de la caja de válvulas e instalar una rejilla Irving en la parte superior con portacandado, para evitar operaciones inadecuadas de la obra de toma o vandalismo.

La obra de toma descarga a un canal de distribución de sección trapecial, revestido de concreto, que se apreció con algunas grietas y desgaste, pero en buen estado en términos generales. Algunos metros aguas abajo de la descarga se apreció azolve y vegetación sobre el canal de fácil eliminación.

Del punto de vista de la seguridad geotécnica y estructural, la obra de toma no presenta problemas, ya que no se observan fugas que pudiesen indicar la rotura de

la tubería o las juntas de ésta o problemas de filtración en las zonas adyacentes a dicha tubería.

8. REFERENCIAS

- Inciso 4.2 Estudio formal del riesgo, expresados en la Norma Mexicana NMX-AA-175-SCFI-2015 "Operación segura de presas. Parte Uno. Análisis de Riesgo Y
- Clasificación de presas", Secretaría de Economía, 2015.
- Proyecto de Norma Mexicana PROY-NMX-AA-175/2-SCFI-2015 "Operación segura de presas. Parte 2. Inspecciones de seguridad", Secretaría de Economía
- Capítulo 11. Practica! Risk Assessment for Embankments, Dams, and Slopes, del libro Risk and Reliability in Geotechnical Engineering, Silva-Tulla F., Altarejos-García L., Escudero-Bieno I., Morales-Torres A. Taylor and Francis Book, 2015.
- Beyond the Factor of Safety: Developing Fragility Curves to Characterize System Reliability, US Army Corps of Engineers, Schultz Martin T., Gouldby Ben P., Simm Jonathan D. , Wibowo Johannes L. July 2010. ERDC SR-10-1.
- Capítulo 4.1. Programa de estudios de inundaciones fluviales para las ciudades medias del país, Primera Etapa. Zona de Coatzacoalcos-Minatitlán-Cosoloacaque. Conagua-Instituto de Ingeniería, UNAM. 2015
- Best Practices in Dam and Levee Safety Risk Analysis. Evaluación de Riesgo
- Geotécnico-Estructural de Presas y Bordos. Curso SMIG-USACE, Ciudad de México
- 2015.
- Lineamientos para la Elaboración de Mapas de Peligro por Inundación, Subdirección General Técnica, Gerencia de aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos, 2014.
- Evaluación de la Longitud de Peligro por Rompimiento de Bordos de Almacenamiento con capacidad menor a 250,000 m³, XXII Congreso Nacional de Hidráulica, Acapulco Guerrero, México, Noviembre, 2012.

- Manual de diseño de obras civiles, diseño por sismo, 2015.
- Manual para Capacitación en Seguridad de Presas USBR-CONAGUA, 2000.
- Manual de la US Army Corps of Engineers EM 1110-2-1902, octubre de 2003, "Slope Stability"
- Manual de la US Army Corps of Engineers EM 1110-2-2200, junio de 1995, "Gravity Dam Design.
- Basic Geotechnical Description of Rock Masses. International Society of Rock Mechanics (ISRM).
- A physically based model for scour prediction at Srisailem dam. Ballaert, EFR, Masan, P.J. Hydropower & Dams, Issue Four, 2006.
- Selecting seismic parameters for large dams, International Commission on Large Dams (ICOLD), Bulletin 72, 2010

ANEXOS

ANEXO 1 INFORMACIÓN RECOPIADA

ANEXO 2 INFORME DE INSPECCIÓN

ANEXO 2.1 ÁLBUM FOTOGRÁFICO

ANEXO 3 RESULTADOS DE CAMPO Y LABORATORIO

ANEXO 3.1 TOPOGRAFÍA DE LA CORTINA

ANEXO 3.2 TOPOGRAFÍA DE CAUCE AGUAS ABAJO

ANEXO 3.3 EXPLORACIÓN DE CAMPO Y LABORATORIO

ANEXO 4 ANÁLISIS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS

ANEXO 5 ANÁLISIS DE PELIGRO SÍSMICO

ANEXO 6 REVISIÓN DE ESTABILIDAD DE LA CORTINA

ANEXO 7 REVISIÓN FUNCIONAL Y OPERACIONAL DE LA PRESA

ANEXO 8 ZONAS DE PELIGRO

ANEXO 9 MEMORIAS DE CÁLCULO DE LOS ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

ANEXO 10 DISEÑO CONCEPTUAL DE MITIGACIÓN DE RIESGOS