



**PLANIFICACIÓN DE LAS ACCIONES DURANTE EMERGENCIAS (PADE)
COMPLEJO HIDROELÉCTRICOCHIRIQUÍ
CENTRAL HIDROELÉCTRICA LA ESTRELLA**



**ELABORADO POR:
CONSULTORIA, ESTUDIOS Y DISEÑOS, S.A.
ENERO 2012
Modificado Abril 2014
Revisado Septiembre 2014
Revisado Septiembre 2015
Revisado Octubre 2016
Revisado Agosto 2017**

Índice General

1	Planificación de las Acciones durante Emergencias (PADE)	6
2	Descripción de la Central Hidroeléctrica La Estrella	7
3	Identificación de las Emergencias	14
3.1	Implementación de un sistema de alerta hidrológico	14
3.2	Detección de la Anomalía	14
3.3	Tipos de Alerta	16
3.4	Diagramas de Aviso.....	17
	Alerta ROJA.....	19
4	Procedimiento para Declarar la Emergencia	20
5	Procedimiento Para el Manejo de las Emergencias	20
6	Situaciones de Emergencia	22
6.1	Por Colapso Estructural en Condición de Operación Normal.....	23
6.2	Por Colapso Estructural durante Crecidas Extraordinarias.....	24
7	Estudio de Afectación de Ribera de Embalse y Valle	25
8	Estudio Hidrológico y Modelación Hidráulica	27
8.1	Crecidas calculada de la Central Hidroeléctrica La Estrella	27
8.2	Boca Toma en el río Caldera	28
8.2.1	Reservorio Cámara de Carga La Estrella	32
8.3	Estudio de la Falla de una Presa	37
8.4	Caudales utilizados de acuerdo a los escenarios.....	41
8.5	Resultado de la Simulación	42
9	Vinculación con el Sistema de Protección Civil. Planes de Evacuación.....	50
10	Simulacros de Emergencia	53
11	Actualización del PADE	57

Índice de Tablas

Tabla 1. Datos significativos Presa Derivadora “Boca Toma”	9
Tabla 2. Datos significativos del Reservorio Cámara de Carga La Estrella.....	10
Tabla 3. Franjas de Operación de Central Hidroeléctrica La Estrella.....	11
Tabla 4. Lugar Poblado, aguas abajo de presa sobre río Caldera (Boca Toma)	12
Tabla 5. Lugar Poblado, aguas abajo de presa Reservorio Cámara de Carga la Estrella.....	12
Tabla 6. Categorización de la presa sobre río Caldera “Boca Toma” según el riesgo potencial.....	13
Tabla 7. Categorización de la presa en Reservorio Cámara de Carga La Estrella según el riesgo potencial.....	13
Tabla 8. Características de las diferentes alertas a implementar	16
Tabla 9. Definición de Alertas para cada Situación de Emergencia	23
Tabla 10. Resumen de los escenarios de afectaciones de riberas de embalse y valles.....	26
Tabla 11. Análisis de afectaciones por inundaciones aguas abajo de las presas.....	27
Tabla 12. Factores de distribución para diferentes periodos de retorno.....	29
Tabla 13. Caudales máximos instantáneos según el análisis regional de crecidas.....	29
Tabla 14. Hidrograma de crecidas adimensional río Caldera hasta el sitio de presa	30
Tabla 15. Caudales máximos para diferentes periodos de retorno: Toma en Río Caldera	31
Tabla 16. Factores de distribución para diferentes periodos de retorno.....	33
Tabla 17. Caudales máximos instantáneos según el análisis regional de crecidas	34
Tabla 18. Hidrograma de crecidas adimensional Quebrada sin nombre hasta el sitio del lago	35
Tabla 19. Caudales máximos para diferentes periodos de retorno: Reservorio Cámara de Carga La Estrella.....	36
Tabla 20. Resumen para el cálculo de volumen erosionado	39
Tabla 21. Cálculo de parámetros de brecha de acuerdo al método de MacDonald & Langridge-Monopolis.	39

Tabla 22. Calculo de parámetros de brecha de acuerdo al método de MacDonald & Langridge-Monopolis	40
Tabla 23. Caudales con diferentes periodos de retorno	41
Tabla 24. Caudales con periodos de retorno de 1 en 10 años.....	42
Tabla 25. Caudales con periodoos de retorno de 1 en 50 años.....	43
Tabla 26. Caudales con periodos de retorno de 1 en 100 años.....	43
Tabla 27. Caudales con periodos de retorno de 1 en 1000 años.....	44
Tabla 28. Caudales con periodos de retorno de 1 en 10,000 años.....	44
Tabla 29. Caudales con periodos de retorno de 1 en 10 años.....	46
Tabla 30. Caudales con periodos de retorno de 1 en 50 años.....	46
Tabla 31. Caudales con periodos de retorno de 1 en 100 años.....	47
Tabla 32. Caudales con periodos de retorno de 1 en 1,000 años.....	47
Tabla 33. Caudales con periodos de retorno de 1 en 10, 000 años.....	47
Tabla 34. Lista de ubicaciones de los diagramas de Avisos Impresos	51

Índice de Figuras

Figura 1. Vista de presa Derivadora sobre el RíoCaldera.....	9
Figura 2 Vista de presa de tierra en Reservoirio Cámara de Carga	10
Figura 3. Grafico Hidrograma de entrada para el Caudal Pico- Boca Toma de Caldera	30
Figura 4 Caudales máximos para diferentes periodos de retorno: Toma en ríoCaldera.....	32
Figura 5. Grafica Hidrograma de entrada para el Caudal Pico- Reservoirio Cámara de Carga La Estrella.....	34
Figura 6 Caudales máximos para diferentes periodos de retorno: Reservoirio Cámara de Carga La Estrella.....	37
Figura 7. Perfil longitudinal del Rio Caldera donde muestra los niveles de crecidas (Tr: 1 en 10 años y 1: 10,000 años)	45
Figura 8. Perfil longitudinal de la Quebrada Sin nombre, aguas abajo del Reservoirio Cámara de Carga La Estrella, donde muestra los niveles del agua con el caudal máximo de la Rotura de Presa de crecida de 1:10 años y 1:10,000 años.	48
Figura 9. Puente sobre quebrada existente a 1,000 metros aguas abajo de la Presa de Tierra en la calle colindante al Residencial Privado de Cielo Paraíso.....	49
Figura 10. Sección transversal 1K+ 090, vista transversal de la vía y el puente.	49
Figura 11 Vista de la Sección transversal 1K + 405 donde se puede apreciar que los niveles de inundación alcanzada en esta zona podrían afectar el área del Residencial privado Cielo Paraíso.	50

Este PADE ha sido preparado para ayudar al personal de AES Panamá en la Central Hidroeléctrica La Estrella, mediante la oportuna y confiable detección, evaluación, y clasificación de una situación de emergencia existente o potencial en la Presa ubicada en la Toma de Agua en el río Caldera y la presa del Reservorio Cámara de Carga La Estrella. Diversas situaciones serias que podrían llevar a la falla incluyen desastres naturales y situaciones relacionadas con actividades humanas, y este PADE establece clasificaciones de emergencia por falla de presa de acuerdo a su gravedad y urgencia. También se describen las condiciones o medidas para la detección y evaluación de una emergencia potencial o existente.

1 Planificación de las Acciones durante Emergencias (PADE)

El plan de acción de emergencias (PADE), define las responsabilidades y presenta los procedimientos para identificar, evaluar, clasificar y notificar a los organismos responsables sobre las emergencias que puedan ocurrir en las presas de la Central Hidroeléctrica La Estrella de acuerdo a las Normas de Seguridad de Presa establecidas según el ANEXO A de la Resolución AN No. 3932-Elec del 22 de octubre de 2010 por la Autoridad de los Servicios Públicos de la República de Panamá (ASEP).

Así pues el PADE es la herramienta que establece la organización de los recursos humanos y materiales necesarios para el control de los factores de riesgo que puedan comprometer la seguridad de las presas en la Central La Estrella. Además, el PADE propone acciones que deben realizarse durante una emergencia para salvaguardar la vida y bienes de la población que se encuentra aguas abajo de las presas, mediante los sistemas de información, alerta y alarma que se establezcan. El Plan debe facilitar la puesta en disposición preventiva de los servicios y recursos que deben intervenir para la protección de la población y el medio ambiente circundante en caso de rotura o falla grave de la presa, a la vez de posibilitar que la población potencialmente afectada pueda ser auxiliada por los organismos competentes.

En resumen el PADE, sirve para identificar las emergencias, proveer los planes para actuar en tales circunstancias y diseñar los diagramas de avisos. Consiste básicamente en:

- Buscar aspectos comunes de las posibles situaciones de emergencia y realizar el correspondiente análisis de seguridad.
- Delimitar claramente las responsabilidades de intervención para el control

de situaciones que puedan implicar riesgos de rotura o falla grave de la presa y establecer la organización adecuada para su desarrollo.

- Desarrollar la organización y medios adecuados para poder difundir una estrategia de acción entre los posibles protagonistas de la emergencia para comunicar la información sobre incidentes, la comunicación de alertas y la puesta en funcionamiento, de los sistemas de alarma que se establezcan.
- Identificar grupos afectados, determinar la zona inundable en caso de emergencia hídrica y/o rotura de la presa, indicando los tiempos de propagación de la onda de crecida y alturas del agua y efectuar el correspondiente análisis de riesgo.

Por otra parte, AES posee las condiciones para operar la emergencia en forma segura para lo cual se cuenta con lo siguiente:

- Lugar seguro para la operación de la presa en emergencia.
- Distintos tipos de sistemas de comunicación.
- Generación eléctrica o baterías de emergencia (grupo electrógeno, combustible y nivel de carga de baterías).
- Movilidad propia a salvo de la emergencia, con reserva de combustible.
- Agua, alimentos y abrigo.

Como parte complementaria al PADE, AES Panamá cuenta con una serie de planes que forman parte del sistema de gestión integrado basado en las OHSAS 18001 e ISO 14001.

2 Descripción de la Central Hidroeléctrica La Estrella

La Central Hidroeléctrica La Estrella se encuentra localizada en el Corregimiento de Caldera, Distrito de Boquete, Provincia de Chiriquí, 40 kilómetros al norte de la ciudad de David. Esta Central Hidroeléctrica utiliza las aguas fluyentes del Río Caldera desviado aproximadamente dos kilómetros al sur del poblado de Boquete a una cota normal de operación de 979 msnm. En el mapa 1 se presenta la localización de la Central Hidroeléctrica La Estrella.

La Central Hidroeléctrica La Estrella cuenta con una presa derivadora, un sistema de conducción de agua, un embalse y una cámara de carga como principales estructuras. Esta planta tiene dos unidades con una capacidad instalada de 47.2 Megavatios.

A continuación se describen las principales estructuras que componen la Central Hidroeléctrica La Estrella.

Presa Derivadora (Boca Toma)

La presa o Boca Toma sobre el río Caldera es una presa de derivación, está ubicada en las coordenadas UTM (WGS 84) 966484.208 N, 343696.103 E, posee un aliviadero tipo rebose que forma parte integral de la presa derivadora, el mismo está diseñado para permitir el paso de caudales de avenidas del río Caldera. Su capacidad de diseño es de 1400.00 m³/s, la cresta está ubicada en la elevación 985 m, tiene una altura máxima de 5 m y una longitud total de 120 m, la cuenca de drenaje de esta presa es de 136.61 km².

Esta presa se caracteriza por ser de gravedad de hormigón (Figura 1), cuenta con un vertedero con pendientes de 2:1 aguas arriba y 1.5:1 aguas abajo cuenta con compuertas de limpieza para la purga de sedimentos.

Sobre la margen derecha del río Caldera se encuentra la estructura de entrada al canal, con rejas, ataguías y dos (2) compuertas que derivan un caudal de diseño de 15 m³/s hacia el reservorio Cámara de Carga La Estrella, a través de un sistema de conducción.

El sistema de conducción de agua está compuesto por un túnel superior no revestido en forma de herradura, con base de 3 m de ancho, con una sección transversal de 12 m² y de 2,022 m de longitud. Un canal de 2,810 m de longitud, no revestido con una base de 2 m de ancho de sección trapezoidal y con tuberías de acero forzado de 1.9 -2.1 m de diámetro y una longitud de 2,200 m.



Figura 1. Vista de presa Derivadora sobre el Río Caldera

Tabla 1. Datos significativos Presa Derivadora “Boca Toma”¹

BOCA TOMA	
Elevación	Cresta: 985.0 msnm
Área de Drenaje ²	136.61 km ²
Volumen del embalse	150 000 m ³
	Área de espejo de agua: 3.5 ha
Altura de Presa	5.0 m
Longitud de Cresta	120 m
Número de vertederos	1
Caudal de Diseño de Vertedero	1 400 m ³ /s
Coordenadas UTM (WGS-84)	966484.208 N, 343696.103 E ³
Características básicas de la Presa	Recurso: Río Caldera
	Vertedero de Concreto Gravedad tipo Ogee Libre
	Elevación máxima El. 985 m Elevación mínima El. 980 m

¹ Informe de Inspección y Seguridad, Central Hidroeléctrica La Estrella. MWH, Septiembre 2011

² CEDSA, noviembre 2011

³ Datos de campo, CEDSA 2011

Reservorio Cámara de Carga La Estrella.

El reservorio Cámara de Carga la Estrella se encuentra ubicado en la coordenadas UTM (WGS-84) 964987 N, 347814 E, se caracteriza por ser un reservorio con capacidad de 155,097 m³ en la cota 977 msnm (volumen útil), cuenta con un área de superficie de 38, 878 m². Este reservorio posee una presa o dique (Figura 2) de tierra de 5 m de alto, por 5 de ancho y una longitud de 260 m de longitud.

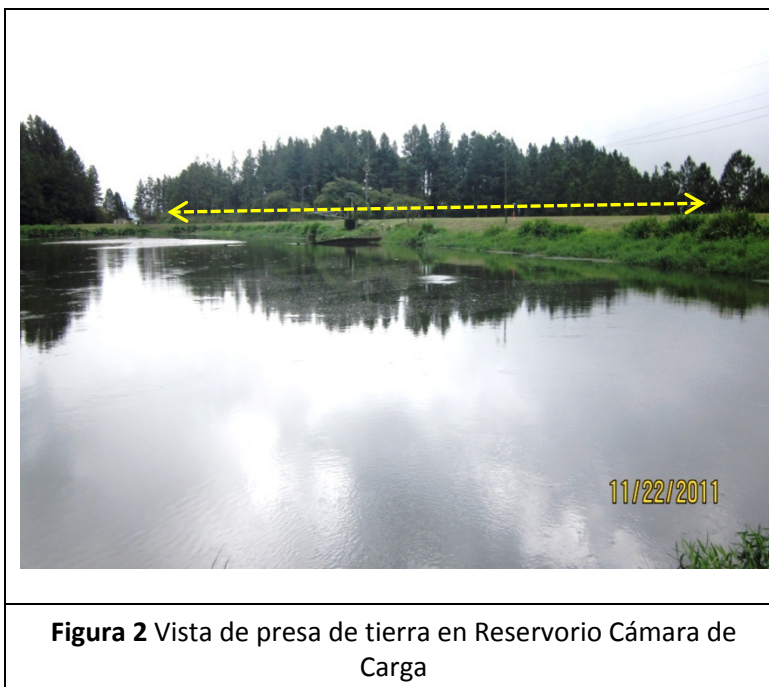


Tabla 2. Datos significativos del Reservorio Cámara de Carga La Estrella⁴

Elevación	980.0 msnm 977. msnm (nivel útil del embalse)
Volumen	155,097 m ³ (Cota 977 msnm)
Área	38, 878 m ²
Coordenadas	964987 N, 347814 E, ⁵
Características básicas de la Presa	Recurso: Río Caldera
	Presa de Tipo: Tierra y enrocado
	Elevación máxima El. 978.5 m Elevación mínima El. 973.5 m

⁴ Informe de Inspección y Seguridad, Central Hidroeléctrica La Estrella. MWH, Septiembre 2011

⁵ Datos de campo, CEDSA 2011

Monitoreo y detección de Anomalías

Para el monitoreo y detección de anomalías la Central Hidroeléctrica La Estrella cuenta con los siguientes instrumentos:

- Medidores de apertura de fisuras
- Inclínómetros portátiles
- Extensómetro de cinta
- Puntos de control de movimientos en las cámaras de inspección

Franjas de Operación de Embalses

En la Tabla 3 se presentan las franjas de operación de la presa y embalse de la Central Hidroeléctrica La Estrella.

Tabla 3. Franjas de Operación de Central Hidroeléctrica La Estrella.

Franjas de normas de operación	Boca Toma sobre Rio Caldera	Reservorio Cámara de Carga La Estrella
	Cota (m)	Cota (m)
NmiOE	No aplica	No aplica
NmiON	985	979
NMON	986	980
NMOE	987	980
NMCE	988	No aplica

Dónde:

NmiOE: Nivel Mínimo de Operación Extraordinaria

NmiON: Nivel Mínimo de Operación Normal

NMON: Nivel Máximo de operación Normal

NMOE: Nivel Máximo de operación Extraordinario

NMCE: Nivel Máximo de Crecida Extraordinaria

Lugares poblados Aguas abajo de Boca Toma en río Caldera y Reservorio Cámara de Carga La Estrella.

Los sitios poblados que se localizan en la ribera del río Caldera aguas abajo de la presa (Boca Toma), y aguas abajo del Reservorio Cámara de Carga La Estrella se presentan en la Tabla 4 y 5:

Tabla 4. Lugar Poblado, aguas abajo de presa sobre río Caldera (Boca Toma)⁶

Lugar Poblado	Población Total Censo 2010	Viviendas totales Censo 2010	Elev. msnm ⁷
Manga Vieja	63	5	990
Las Huacas	6	2	979
El Peñón	2	1	987
La Tranca	355	102	908
Alto Boquete	4746	1,294	1010
Total	5172	1404	

Tabla 5. Lugar Poblado, aguas abajo de presa Reservorio Cámara de Carga la Estrella⁶.

Lugar Poblado	Población Total Censo 2010	Viviendas totales Censo 2010	Elev. msnm ⁷
Alto Jaramillo	342	111	820
La Estrella	257	102	984
Total	599	213	

El Residencial Privado Lucero Golf & Country Club (antiguo Residencial Cielo Paraíso), que se ubica muy próximo al Reservorio Cámara de Carga La Estrella, no se contempla en la Tabla 5 como lugar poblado; sin embargo, se debe tomar en cuenta al momento de realizar la aplicación de un evento de emergencia en el área del proyecto.

⁶ Volumen I: Lugares Poblados de la Republica, INEC, Contraloría General de la Republica. Junio 2011

⁷ Datos de Campo, CEDSA 2011.

Categorización de Presas

De acuerdo a la categorización por riesgos de potenciales impactos, establecidos en la Norma de Seguridad de presa aprobada por la Resolución AN No. 3932-Elec del 22 de octubre de 2010, las presas de la Central Hidroeléctrica La Estrella se categorizan según la Tabla 6 y 7:

Tabla 6. Categorización de la presa sobre río Caldera “Boca Toma” según el riesgo potencial

Categoría	A	B	C
Riesgo	Alto	Significativo	Bajo
Pérdida directa de vidas humanas			✓
Pérdida de servicios esenciales			✓
Pérdidas en propiedades			✓
Pérdidas Ambientales			✓

Tabla 7. Categorización de la presa en Reservorio Cámara de Carga La Estrella según el riesgo potencial

Categoría	A	B	C
Riesgo	Alto	Significativo	Bajo
Pérdida directa de vidas humanas			✓
Pérdida de servicios esenciales			✓
Pérdidas en propiedades			✓
Pérdidas Ambientales			✓

Estas presas se categorizaron tipo C “Bajo riesgo potencial” lo que establece que son aquellas en las que las fallas o mala operación resultan en una improbable pérdida de vidas humanas y bajas pérdidas económicas y ambientales. Las pérdidas importantes se limitan a las estructuras del cierre. Pendiente. No se presenta en este informe.

3 Identificación de las Emergencias

3.1 Implementación de un sistema de alerta hidrológico

La utilización de un sistema de alerta hidrológico puede prever de forma muy acertada el hidrograma de las avenidas que entrarán a la presa, si a esto sumamos el conocimiento del nivel actual del embalse, se puede contar con un amplio panorama que permitirá realizar simulaciones rápidas para predecir el nivel al que puede ascender el embalse y la toma de decisiones oportunas, ya sea, la declaración de un sistema de alerta y las acciones que esto conlleve aguas debajo de la presa.

La combinación de estas dos herramientas, conjuntamente con los datos que arroje el resto de la instrumentación de la presa, es fundamental para activar algún sistema de alerta e iniciar el nivel de comunicación que corresponda. Además de esto, la presa derivadora o Boca Toma tiene sensores de nivel en el embalse, razón por la cual los operadores siempre tienen conocimiento de su nivel actual; y pueden determinar si está subiendo con una velocidad fuera de lo normal.

Por lo tanto, los operadores de la central hidroeléctrica saben la importancia de la lectura diaria de la elevación del nivel del agua en el embalse, realizan el balance hídrico y están pendientes de los datos indicados por el sistema de alerta temprana.

3.2 Detección de la Anomalía

El personal de AES Panamá en la Central Hidroeléctrica La Estrella, está preparado para la oportuna y confiable detección, evaluación, y clasificación de las situaciones de emergencia existente o potencial, enumeradas en la sección 6, en la presa de derivación boca toma en el río Caldera y la presa del Reservorio Cámara de Carga La Estrella.

Es más conveniente activar una alerta mientras se confirma la magnitud de la emergencia, que esperar a que esa situación se produzca. El personal de mantenimiento de la Central La Estrella está entrenado para buscar condiciones que podrían afectar la integridad de la presa o sus estructuras asociadas. Durante la inspección, el personal de Mantenimiento Civil buscará condiciones tales como grietas y hundimientos, filtraciones, corrosión interna, intemperismo, asentamiento, deterioro y/o disolución de la roca para la presa. Esta inspección se registrará en el formulario AES.SGI.PA.08.12 de Inspecciones Estructurales y Geotécnicas La Estrella (Anexo 1).

En cuanto a la detección de anomalías en el caso de fallas estructurales hay un sistema de vigilancia de piezómetros, que miden desplazamientos horizontales. Además de la vigilancia visual de grietas, encendido y apagado de las bombas de los sumideros, medición de los puntos de control en la corona de las presas, le indican a la empresa si existe alguna falla estructural por agotamiento de la estructura. Al menos debemos enfocar este capítulo en el desarrollo de estas anomalías que son las que inician o no una emergencia.

Diversas situaciones serias que podrían llevar a la falla incluyen desastres naturales y situaciones relacionadas con actividades humanas. Las actividades humanas pueden aumentar el potencial de impactos serios por falla de las presas, aguas abajo de la misma. Cuando las personas desarrollan actividades productivas y establecen sus hogares dentro de los límites de una inundación, el riesgo y potencial de peligro aumentan.

Desastres Naturales

Los peligros naturales más importantes que podrían impactar las presas son crecidas ordinarias y extraordinarias; así como los movimientos telúricos. Las altas precipitaciones como tal, no representan un riesgo especial a la presa; no obstante, generan posibles deslizamientos de los taludes en el embalse y saturación de sedimentos en el cuerpo de la presa. Los cuales pueden causar diferentes situaciones de emergencia.

La Central Hidroeléctrica La Estrella, hasta ahora, ha sido principalmente vulnerable a las crecidas. La actividad sísmica no es anticipable en el tiempo, por lo que en el plan se plantea la detección del suceso y los resultados de una inspección posterior.

Actividades Humanas

Las afectaciones asociadas a las actividades humanas están relacionadas principalmente a fallas de las estructuras por deterioro de material o mala construcción y/o diseño; también se pueden incluir errores de operación del personal responsable. Este tipo de actividades no serán consideradas dado que escapan de la capacidad de predecir.

De forma ocasional, es posible que las presas sean objeto de vandalismo, sabotaje y/o actos bélicos, el cual puede resultar en daños estructurales. Debido al vandalismo y la preocupación por la seguridad pública, el acceso a las estructuras de la presa está normalmente restringido.

Tomando en consideración la experiencia de operación de la empresa AES Panamá, es poco probable que ocurran estos eventos, por lo cual no se considerarán en este informe. Se debe indicar que este punto no forma parte de los alcances contemplados en el Anexo A de la Resolución AN. No. 3932-Elec del 22 de octubre de 2010.

3.3 Tipos de Alerta

La definición de la alerta es el punto de inicio del desarrollo de operaciones para afrontar la emergencia y para su manejo apropiado. A continuación se clasifican las alertas de acuerdo a los indicadores para cada uno de las situaciones, y de las características de las presas del Reservorio Cámara de Carga La Estrella y la Presa de derivación de la Central Hidroeléctrica La Estrella y los elementos que identifican y distinguen cada una. En la Tabla 8 se describen las características para cada una de los tipos de Alerta.

Tabla 8.Características de las diferentes alertas a implementar

Alertas	Identificación de la emergencia	Características
Blanca	Vigilancia reforzada	Por ser la Presa sobre el Río Caldera (Boca Toma) una presa <i>derivadora</i> , la condición de alerta blanca no aplica, debido a que se mantiene un caudal de vertimiento permanente sobre esta y por lo tanto, no existe una situación de vertimiento controlado. Además, esta alerta no se aplica al Reservorio Cámara de Carga La Estrella porque no tiene compuertas para el escenario de vaciado controlado.
Verde	Preocupaciones serias	Se aplica la alerta verde cuando se está desarrollando un comportamiento anormal o una situación de contingencia en la(s) presa(s). En esta situación se presenta una erogación imprevista de caudales que puede ser provocado por el comportamiento anormal de una presa o estructura componente de la misma. Esta alerta involucra procedimientos y actividades a desarrollar por personal con responsabilidades asignadas en el PADE. No está en peligro la presa al momento de la observación. De acuerdo a los resultados obtenidos en la simulación hidráulica (sección 8), esta condición no aplica para esta presa y por ende no se implementa la alerta verde para la Central Hidroeléctrica La Estrella.
Amarilla	Peligro Inminente	Existen condiciones que hacen que la estructura sea inestable creando una situación potencialmente peligrosa de una presa con posibilidad de falla. O las condiciones de operación sean tales que pueden amenazar vidas. No se presume que haya tiempo de retardo para la falla o tiempo para evaluar y controlar la situación. Son situaciones que pueden conducir a este peligro: sismo con epicentro próximo a la zona de obras; potencial deslizamiento de laderas en el embalse; principio de desarrollo de falla; anomalías

Planificación de las Acciones Durante Emergencias, Planta Hidroeléctrica La Estrella

Alertas	Identificación de la emergencia	Características
		detectada por los instrumentos de auscultación internos o externos; actos de vandalismos o sabotaje De acuerdo a los resultados obtenidos en la simulación hidráulica (sección 8), esta condición no aplica para esta presa y por ende no se implementa la alerta amarilla para la Central Hidroeléctrica La Estrella.
Roja	Rotura constatada	La falla, el colapso parcial o total es inminente o ha ocurrido, con pérdida incontrolable de agua del embalse. Se tiene que la crecida catastrófica afectará a la población de aguas abajo de la presa, la situación es extremadamente seria y debe iniciarse la evacuación. Es un hecho incontrolable que conduce a la falla. No hay tiempo para evaluar ni controlar la situación. Se interrumpe la operación, han ocurrido grandes daños estructurales en la presa y sus condiciones físicas se han deteriorado de modo tal que su reparación no es posible.

Se debe indicar que el establecimiento de los umbrales y su asignación a los diferentes escenarios se realizarán en cada caso en función del análisis de seguridad de presa y de las experiencias en su comportamiento.

3.4 Diagramas de Aviso

Para las situaciones de emergencias señaladas en la sección 6, el Coordinador del PADE por el Complejo Hidroeléctrico Chiriquí, realizará notificaciones según el Diagrama de Aviso respectivo. Si no se puede localizar a la persona listada en los diagramas utilizar el Listado de Contactos Alternos, (ver Anexo 2). Estos diagramas de aviso se han realizado basados en la Resolución AN No 3932 de Elec. del 22 de octubre de 2010 los cuales incluye a la Unidad Técnica de Seguridad de Presas de ASEP (UTESEP) y la Autoridad del Manejo de agua. Los mensajes por alerta son los siguientes:

Alerta Blanca

No Aplica (Ver Tabla 8)

Alerta Verde

No Aplica (Ver Tabla 8)

Alerta Amarilla

No Aplica (Ver Tabla 8)

Alerta Roja⁸

*“Soy el Coordinador del PADE por AES del Complejo Hidroeléctrico Chiriquí planta La Estrella, la cual tiene la siguiente situación de emergencia, **especificar la causa**, para la **presa de derivación en el Rio Caldera o Presa del Reservorio Cámara de carga La Estrella**, Repito: la Central Hidroeléctrica La Estrella, la cual tiene la siguiente situación de emergencia; **especificar la causa**. Por favor comuníqueme la recepción de este mensaje, confirme que ha entendido y proporcione su nombre y apellido”.*

El mensaje anteriormente descrito es una guía, se debe recordar la información necesaria que el Coordinador del PADE deberá notificar, según lo señalado en el diagrama respectivo, durante el mensaje. A continuación listamos dicha información;

- Nombre de la presa (Presa de derivación en el Rio Caldera o Presa del Reservorio Cámara de Carga La Estrella)
- Situación de emergencia (Condiciones de Crecidas Ordinarias y Extraordinarias, Por Colapso Estructural en Condición de Operación Normal, Por Colapso Estructural durante Crecidas Extraordinarias, Por Apertura Súbita de Compuertas, Por Falla de Operación de las Estructuras Hidráulicas de DescargaGravedad de la situación)
- Tipo de falla que está ocurriendo o se está desarrollando (por ejemplo, rebose o rotura)
- Hora exacta de la observación
- Hora exacta de la falla, si ya ha ocurrido y se conoce, sino estimar

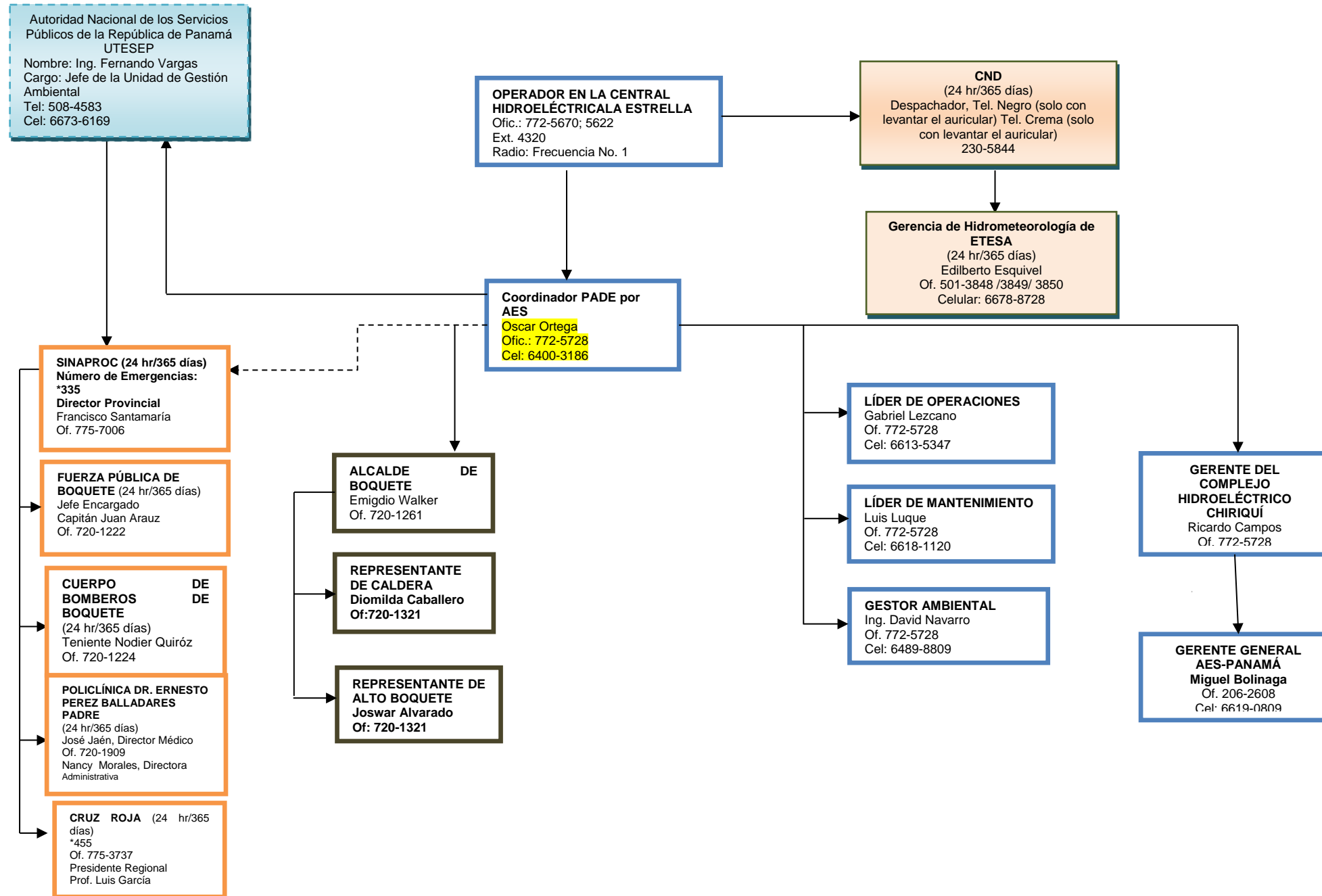
A continuación se presenta el diagrama de aviso para la Alerta Roja.

⁸Mensaje de Notificación la UTESEP según la Resolución AN N° 3932-Elec, 2009

Diagrama de Aviso

Alerta ROJA

Declara la Alerta Roja⁹



⁹Según lo establecido en el Anexo A de la Resolución AN N° 3932-Elec del 22 de Octubre de 2010

4 Procedimiento para Declarar la Emergencia.

La detección precoz y evaluación de la(s) situación(es) o hecho(s) determinante(s) que inician o requieren una acción de urgencia son cruciales. El establecimiento de los procedimientos de información fiable y oportuna clasificación de una situación de emergencia es imprescindible para garantizar que la acción más adecuada se basa en la urgencia del caso.

Estos planes de emergencia involucran desde el personal a cargo de la operación de la central, personal jerárquico de AES Panamá, así como también de la ASEP. Por lo tanto, una vez que se identifica una condición de emergencia, es esencial para el éxito del PADE que el personal responsable responda inmediatamente para llevar a cabo la notificación por parte de AES Panamá y las medidas necesarias para la ejecución de la emergencia por parte de los estamentos de seguridad.

Después de la observación de una situación peligrosa en la Central Hidroeléctrica La Estrella, el inicio de la activación de planes de emergencia se puede dar tanto por el observador como por los representantes del sitio que conducen las labores de mantenimiento e inspección rutinarios. El personal de AES Panamá que labora en la Central La Estrella inspecciona regularmente la presa y sus estructuras asociadas. Es su responsabilidad reconocer señales de peligros en desarrollo, tales como los anotados en la sección 3, y tomar la iniciativa de actuar de acuerdo a la situación.

5 Procedimiento Para el Manejo de las Emergencias

Los planes de emergencia establecidos dentro del Sistema de Gestión Integrado, SGI, forman parte de este documento, donde se activa el PADE. Las medidas que se toman en cada uno de los planes de emergencia dependerán de la naturaleza del problema y el tiempo estimado que hay disponible para llevar adelante las medidas correctivas o de mitigación.

A continuación se describen responsabilidades específicas de las personas u organizaciones para el mantenimiento y operación de la presa y para implementar las diferentes fases del cada uno de los planes que comprenden el PADE.

El observador de una falla inminente o real tiene el compromiso de notificar al operador de sala de control de la Central Hidroeléctrica La Estrella y el operador notificará al Coordinador del PADE

y este a su vez notificará a las autoridades correspondientes a acuerdo al diagrama de notificación incluido en este documento.

El **Coordinador del PADE** es responsable de las actividades relacionadas con el PADE, incluyendo revisar y solicitar modificaciones al plan, distribuir copias del plan y los diagramas de flujo, establecer el entrenamiento para el personal a cargo de la presa, y coordinar una prueba anual del plan. Él es también la persona a contactar si surge cualquier pregunta sobre el plan. El Coordinador del PADE, además, coordinará de cerca los esfuerzos durante la emergencia. Dirigirá actividades directas de reparación dentro de la Central Hidroeléctrica durante la emergencia.

La **sala de control** de la Central Hidroeléctrica servirá como centro de comunicaciones durante la emergencia.

El **Coordinador del PADE** mantendrá un registro de todas las comunicaciones y/o notificaciones realizadas con respecto a esta emergencia según el diagrama de aviso, indicándole la hora de la llamada de notificación y la información reportada en la llamada de notificación. El personal de AES Panamá y el personal de supervisión que deben ser notificados y el orden de su notificación se muestran en cada uno de los diagramas de aviso.

El **Director del Complejo Hidroeléctrico Chiriquí** designa el Coordinador del PADE, durante las emergencias, el Gerente del Complejo Hidroeléctrico Chiriquí tendrá las siguientes responsabilidades:

1. Asumir la dirección y la responsabilidad de toda emergencia que requiera de la activación del Centro de Operaciones de Emergencias.
2. Velar por la seguridad del personal, visitantes y terceras personas afectados por una emergencia.
3. Coordinar y proveer dirección al Líder de Operaciones o al Coordinador del PADE en cuanto a las prioridades de respuesta.
4. Autorizar la inversión de los recursos económicos y humanos en las actividades de respuesta y control de emergencias.

El **Director General o la persona que este designe**, hablará en nombre de AES Panamá y del personal de operaciones de la Central.

Al definir las responsabilidades mencionadas, se entiende que tanto la Presa del Reservorio Cámara de Carga La Estrella como la Presa de derivación, en la toma de agua tienen instrumentación adecuada para verificar la seguridad de las presas, la casa de máquinas y otras estructuras de la central, la cual estará en funcionamiento las 24 horas del día.

El personal AES Panamá responsable de monitorear la(s) presa(s) durante una situación de emergencia mantendrá informado a las autoridades locales y a SINAPROC, de las condiciones de la(s) presa(s) desde el momento de iniciada una emergencia hasta que se concluya la misma. Se usarán todos los medios de comunicación disponibles. El principal medio de comunicación será el teléfono. También se podrán usar celulares, radio e internet.

AES Panamá será responsable de tomar la decisión de declarar que la situación de emergencia ya no existe en la(s) presa(s). Esto podría deberse a la disminución de caudales, o debido a otra recomendación de AES Panamá. AES Panamá diseminará esta información mediante notificación directa a las autoridades locales y a SINAPROC.

6 Situaciones de Emergencia

La detección precoz y evaluación de la situación o hecho determinante que inicia o requiere una acción de urgencia, son cruciales para las siguientes situaciones de emergencia:

1. Condiciones de Crecidas Ordinarias y Extraordinarias
2. Por Colapso Estructural en Condición de Operación Normal
3. Por Colapso Estructural durante Crecidas Extraordinarias
4. Por Apertura Súbita de Compuertas
5. Por Falla de Operación de las Estructuras Hidráulicas de Descarga
6. Por Vaciado Controlado o Vaciado Rápido a causa de un problema en la presa

Para cada una de estas situaciones de emergencia existe un Diagrama de Avisos, ver la sección 3, de acuerdo al tipo de Alerta declarado. Dichos diagramas sintetizan claramente los esquemas de comunicación para cada condición de emergencia. Además, indican el orden o jerarquía prevista, las personas que serán avisadas, los cargos que ocupan, sus alternos y los medios de comunicación principales y alternativos.

En la Tabla 9, se han establecido las alertas que se aplicarán para cada una de las situaciones de emergencia para las presas de Derivación en el río Caldera y del reservorio Cámara de Carga La Estrella

Tabla 9. Definición de Alertas para cada Situación de Emergencia

Situaciones de emergencias “Norma para la seguridad de Presa”	Tipo de Alerta Aplicada	
	Presa de derivación en el Río Caldera	Presa del Reservorio Cámara de Carga La Estrella
Bajo Condiciones de crecidas Ordinarias y Extraordinarias	No aplica	No aplica
Por Colapso Estructural en Condiciones de Operación Normal	Roja	Roja
Por colapso Estructural durante Crecidas Extraordinarias	Roja	Roja
Por Apertura Súbita de Compuertas	No aplica	No aplica
Por Falla de Operación de las Estructuras Hidráulicas de Descarga	No aplica	No aplica
Por Vaciado Controlado o Vaciado Rápido a causa de un problema en la presa	No aplica	No aplica

Para el caso de la Central Hidroeléctrica La Estrella, solo se analizarán los escenarios por colapso estructural en condiciones de operación normal y en crecidas extraordinarias. A continuación se presentan las situaciones de emergencias definidas según la Norma para la Seguridad de Presas.

6.1 Por Colapso Estructural en Condición de Operación Normal

En el caso de presas de estructura mixta, como la presa en estudio, se requerirá que la parte de hormigón y sus estructuras accesorias cumplan con lo requerido en estructuras de hormigón de tal naturaleza, y por lo tanto las deformaciones admitidas para la estructura de suelo o enrocado no deben introducir deformaciones que impliquen el deterioro de los elementos de hormigón. Se analizará si las laderas del embalse son estables, las deformaciones permanentes bajo la acción del sismo de operación normal luego del llenado del embalse que las sumerja parcialmente dentro de los posibles niveles de operación extremos

Para el escenario de rotura de presa en condición de operación normal, se declara la alerta roja para las presas de la boca Toma sobre el río Caldera y para el Reservorio Cámara de Carga La Estrella.

Para la presa de derivación ubicada en la Toma de Agua del Río Caldera, que tiene aproximadamente un volumen de 150 000 m³, se generará un caudal de 7.08 m³/s (Tabla 21, sección 8).

En el caso de la presa del Reservorio Cámara de Carga La Estrella, la simulación de crecida por la rotura generará un caudal pico de 138.36 m³/s (Tabla 23, sección 8). La simulación indica que la planicie de inundación producirá afectaciones a una carretera cercana al sitio de estudio y atravesará el proyecto residencial Lucero Golf & Country Club (antiguo Residencial Cielo Paraíso) (Mapa 4). Por lo tanto, dentro del procedimiento para declarar emergencias, los residentes de este complejo habitacional deben ser notificados del evento de rotura de la presa.

6.2 Por Colapso Estructural durante Crecidas Extraordinarias

Bajo el escenario de colapso estructural durante crecidas extraordinarias se declara la alerta roja, según los criterios dados por la norma de seguridad de presa.

Para la presa Boca Toma sobre el río Caldera el caudal simulado será de 753.24 m³/s (Tabla 23, sección 8), que corresponde a un periodo de retorno de 1:10,000. La planicie de inundación que se generó no refleja afectaciones a las casas cercanas al río (Mapa 3).

Para la rotura de la presa del Reservorio Cámara de Carga La Estrella, la simulación indica la planicie de inundación producirá afectaciones a una carretera cercana al sitio e estudio. Además, la huella de la crecida atravesará el proyecto residencial Lucero Golf & Country Club (antiguo Residencial Cielo Paraíso). Por lo tanto, dentro del procedimiento para declarar emergencias, los residentes de este complejo habitacional deben ser notificados del evento de rotura de la presa.

A continuación se describe el procedimiento para el manejo de emergencia asociada a los escenarios de rotura por colapso de la presa, descritos en la sección 6.1 y 6.2.”

Para los escenarios de emergencias de colapso estructural el **Coordinador del PADE** debe informar a las autoridades correspondientes según el Diagrama de Aviso de Alerta Roja, de la sección 3.3.

El **Director de Emergencia** activa el Centro de Operación de Emergencias (COE) con los estamentos de seguridad según indica el AES.SGI.PG.14 “Preparación y Respuesta ante Emergencias. Además, coordina con la Administración los aspectos logísticos de la operación.

El **Líder de Operaciones o Coordinador del PADE** debe notificar al Centro Nacional de Despacho (CND) de la posibilidad de ruptura de presa, producto una crecida extraordinaria.

El **Operador de Planta (sala de Control)** debe monitorear las condiciones atmosféricas, apoyándose en www.hidromet.com.pa/sp/diarioFrm.htm.

El **Coordinador del PADE** debe comunicar por los medios disponibles al personal de la Planta, la situación. Coordina con personal de logística la adquisición de agua adicional y alimentación para el personal participante, incluyendo SINAPROC, POLICÍA, BOMBEROS.

Declara el Fin de la Emergencia.

7 Estudio de Afectación de Ribera de Embalse y Valle

El estudio de afectación de ribera de embalse y valle de la Central Hidroeléctrica La Estrella se basa en los criterios establecidos en Resolución AN N° 3932 de 22 de octubre de 2010, “por la cual se aprueban las normas para la seguridad de presas del sector eléctrico”.

También, se cumple con los lineamientos propuestos en la “Norma de Seguridad de Presas”, apéndice G: Criterios para la propagación de ondas de crecida aguas debajo de presas; el cual sugiere que el análisis debe incluir: Usuarios de los resultados, descripción del caso, referencias a crecidas históricas, antecedentes del proyecto, resumen de documentos más importantes del proyecto, normas de manejo de agua de embalse y central hidroeléctrica en estudio, datos de análisis de condiciones de borde, áreas donde pueden generarse cantidades importantes de material en suspensión, mapas en escala de la zona de estudio y que muestren afectación potencial de áreas, datos para calibración del modelo, toda información referente a niveles máximos del río, métodos computacionales utilizados, límites a usar en análisis de sensibilidad, interpretación de resultados en una evaluación de riesgos de inundación, PADE y plan de rescate, condiciones de hidrograma base e hipótesis de propagación de la onda para su empleo en el análisis de riesgos.

Para el estudio de afectaciones de ribera de embalse y valle de la Central Hidroeléctrica La Estrella, se utilizó información suministrada por AES Panamá, información levantada en campo y los resultados del estudio Hidrológico y Modelación Hidráulica donde se presentan las áreas que probablemente se afectarán por las diferentes situaciones que se describen en la Resolución. A continuación en la Tabla 10 se analizan las afectaciones de los escenarios según norma:

Tabla 10. Resumen de los escenarios de afectaciones de riberas de embalse y valles.

Escenarios de afectaciones	Descripción de las afectaciones
Por la ocurrencia de diferentes ondas de crecida	Esta situación no se prevé en el Reservorio-Cámara de Carga, La Estrella dado a que este recibe agua de forma controlada y por su pequeño tamaño no representa riesgo Alguno. En cuanto a la Boca Toma sobre el río Caldera, el comportamiento sería similar a una crecida típica en el río Caldera, dado que los niveles del agua sobrepasarían la presa de la Boca Toma.
Por remanso hidráulico.	El remanso hidráulico se puede presentar por un aumento acelerado del nivel del Reservorio Cámara de Carga La Estrella, pero dado a su tamaño reducido y a que no existen poblaciones cercanas, no representa riesgo. En la Boca Toma no se prevé este efecto.
Por probables usos de la estructura de evacuación	La modificación en el uso de estructuras hidráulicas de alivio no deberá producir mayores afectaciones aguas abajo que las originalmente previstas ni tampoco las márgenes del lago que formará la presa.
Por cambios en las funciones de la presa	No se prevé cambios en el uso de las presas.
Por transporte de sedimento	Este efecto no es aplicable al Reservorio Cámara de Carga La Estrella. Para la Boca Toma sobre el río Caldera el efecto no es importante, dado que la corriente propia del río aguas arriba de la presa genera más sedimento que arrastra, producto de las crecidas que experimenta.
Por inundación súbita	No se prevé inundaciones súbitas en el Reservorio Cámara de Carga La Estrella, ya que se construyó con material suelto (enrocado). Para Boca Toma sobre el río Caldera tampoco se espera el efecto de inundaciones súbitas, ya que históricamente el río Caldera ha sobrepasado los niveles de la estructura.

Análisis de las afectaciones en los embalses y valles de las presas del Reservorio Cámara de Carga La Estrella y Boca Toma sobre el Río Caldera

Las afectaciones del vertido de agua por rotura de se describen en la Tabla 11.

Tabla 11. Análisis de afectaciones por inundaciones aguas abajo de las presas

Componente	Daños	Descripción
Infraestructura	Cierre parcial de caminos	Es posible que aguas abajo de la presa del Reservorio Cámara de Carga La Estrella se presente un cierre parcial de la vía, ya que dependiendo de dónde se genera la rotura. Según la Figura 9, solo hay un camino de tierra. Para la presa de la Boca Toma sobre el río Cadera no se espera que existan daños a puentes y caminos, ya que según la simulación, el cauce del río será capaz de transportar el volumen de agua que se presente.
Ambiental	Pérdida de cobertura vegetal y de especies acuáticas	Para el Reservorio Cámara de Carga La Estrella, el posible daño ambiental estaría relacionado con la pérdida de cobertura vegetal inmediatamente después de la presa. Para la presa de la Boca Toma sobre el río Cadera la afectación se asocia a la deposición de sedimentos agua abajo de la presa
Agrícola	Inundación de área de pastizales	Es posible que exista afectación de la actividad agrícola por la inundación de pastizales usada para la cría de ganado vacuno y caballar en el sector aguas abajo de la presa del Reservorio Cámara de Carga La Estrella.
Industrial	Cierre parcial de caminos	La inundación por la rotura de la presa del Reservorio Cámara de Carga La Estrella afectaría temporalmente las actividades industriales relacionada con la cría de aves de corral, que se localizan en el área de influencia del Reservorio.
Población	Daños a viviendas	No se prevé daños a las viviendas relacionadas directamente con la rotura de las presas del Reservorio Cámara de Carga La Estrella y la Boca Toma sobre el río Caldera. Sin embargo, en los escenarios simulados, la crecida por la rotura de la presa del Reservorio de Cámara de Carga La Estrella afectará parte de las áreas de propiedad del complejo residencial Cielo Paraíso.

8 Estudio Hidrológico y Modelación Hidráulica

8.1 Crecidas calculada de la Central Hidroeléctrica La Estrella

Para la estimación de las crecidas máximas de caudales con diferentes periodos de retornos de la Central Hidroeléctrica, se utilizó la metodología desarrollada en la publicación Análisis Regional de Crecidas Máximas De Panamá 1971-2006, publicado en septiembre del 2008 por la Gerencia de Hidrometeorología de la Empresa de Transmisión Eléctrica, S.A. (ETESA), la cual es una actualización de la publicación realizada en 1986 por el Departamento de Hidrometeorología del entonces Instituto de Recursos Hidráulicos y Electrificación (IRHE), bajo el título de Análisis Regional de Crecidas Máximas.

8.2 Boca Toma en el río Caldera

Aplicación Del Método De Análisis Regional De Crecidas Máximas

A continuación se enumeran los pasos a seguir para el cálculo o determinación del caudal máximo instantáneo crecida máxima que se pueda presentar en el sitio de Presa (Toma de agua en Río Caldera), para distintos periodos de retorno mediante la utilización del método de Análisis Regional De Crecidas Máximas de Panamá de ETESA:

- Se delimita y se mide el área de drenaje de la cuenca hasta el sitio de interés, en kilómetros cuadrados, para este caso es de 136.61 Km². (Mapa 2)
- Mediante el uso del mapa del capítulo 4, acápite 4.3, figura 73 del Resumen Técnico del Análisis Regional de Crecidas Máximas de Panamá de ETESA, se determina a qué zona hidrológica homogénea pertenece la cuenca hidrográfica del río Caldera hasta la Toma de agua en Río Caldera. Esta cuenca se encuentra localizada dentro de la Región Hidrológica Homogénea 7 (cuenca 108 color naranja).
- Se calcula el caudal promedio máximo utilizando la ecuación correspondiente a la zona hidrológica homogénea, que para este caso corresponde a la Ecuación 4: $Q_{\text{máx}} = 9A^{0.59}$ por lo que el caudal máximo instantáneo para la cuenca hidrográfica del río Caldera hasta el sitio de presa es igual a 163.75 m³/s.
- Se calcula el caudal máximo instantáneo para distintos periodos de recurrencia, multiplicando el caudal promedio máximo que se obtuvo al aplicar la ecuación correspondiente a la zona hidrológica homogénea en donde se encuentra el punto o lugar de interés, que en nuestro caso es la Toma de Agua en el río Caldera, por los factores que se presentan en Tabla 12, que corresponde a un fragmento del Cuadro 6, Tabla 3 del Resumen Técnico Análisis Regional de Crecidas Máximas de Panamá periodo 1971-2006.

Tabla 12. Factores de distribución para diferentes periodos de retorno.

Periodo de Retorno (Tr) Años	Tabla 3
1.005	0.30
1.05	0.45
1.25	0.64
2	0.92
5	1.32
10	1.60
20	1.88
50	2.24
100	2.53
1,000	3.53
10,000	4.60

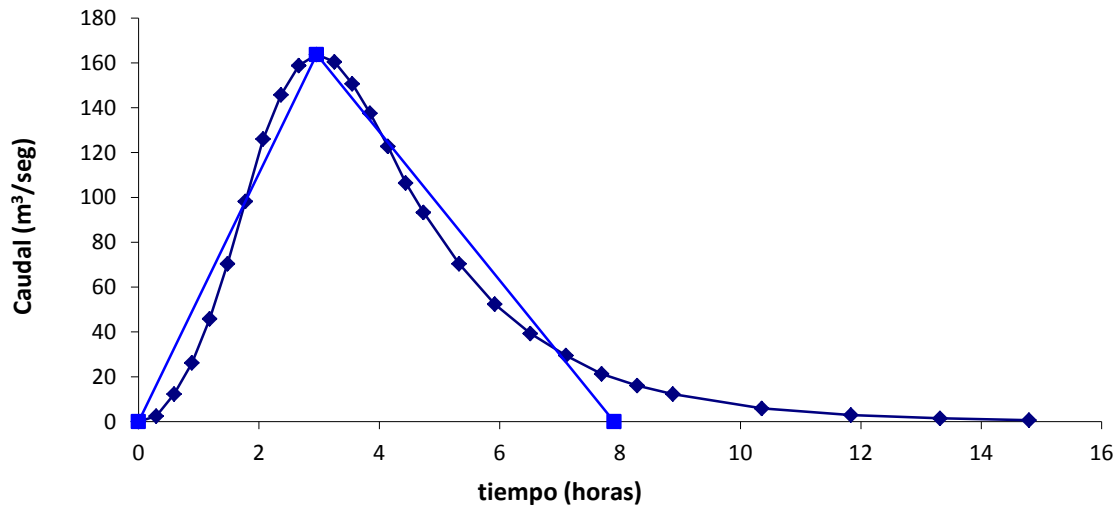
Fuente: Resumen Técnico Análisis Regional de Crecidas Máximas de Panamá periodo 1971-2006.

Tabla 13. Caudales máximos instantáneos según el análisis regional de crecidas

Tr Años	Caudal m ³ /s
1.005	49.12
1.05	73.69
1.25	104.80
2	150.65
5	216.15
10	262.00
20	307.85
50	366.80
100	414.28
1,000	578.03
10,000	753.24

Cálculo Hidrograma De Crecidas Máximas.

El método del Análisis Regional de Crecidas proporciona el valor del caudal máximo instantáneo para diferentes periodos de retorno, mas no así los hidrogramas correspondientes.

Figura 3. Grafico Hidrograma de entrada para el Caudal Pico- Boca Toma de Caldera

Para calcular el hidrograma de los caudales máximos obtenidos, se utilizó el hidrograma Triangular basado en la pendiente de la cuenca, longitud del cauce al sitio de estudio, tiempo de concentración. El hidrograma adimensional se presenta en la Tabla 14 donde se muestran los coeficientes del hidrograma adimensional obtenido.

Tabla 14. Hidrograma de crecidas adimensional río Caldera hasta el sitio de presa

Tiempo Hora	Q/Q_{MAX}
0.00	0
0.32	0.015
0.64	0.075
0.97	0.16
1.29	0.28
1.61	0.43
1.93	0.6
2.25	0.77
2.58	0.89
2.90	0.97
3.22	1
3.54	0.98
3.87	0.92
4.19	0.84
4.51	0.75
4.83	0.65
5.15	0.57
5.80	0.43

Tiempo Hora	Q/Q_{MAX}
6.44	0.32
7.09	0.24
7.73	0.18
8.38	0.13
9.02	0.098
9.66	0.075
11.27	0.036
12.89	0.018
14.50	0.009
16.11	0.004

Se obtuvieron los caudales máximos para diferentes periodos de retorno (Tabla 15) multiplicando los diferentes coeficientes (Tabla 14) por los valores obtenidos del análisis de crecidas Máximas (Tabla 13).

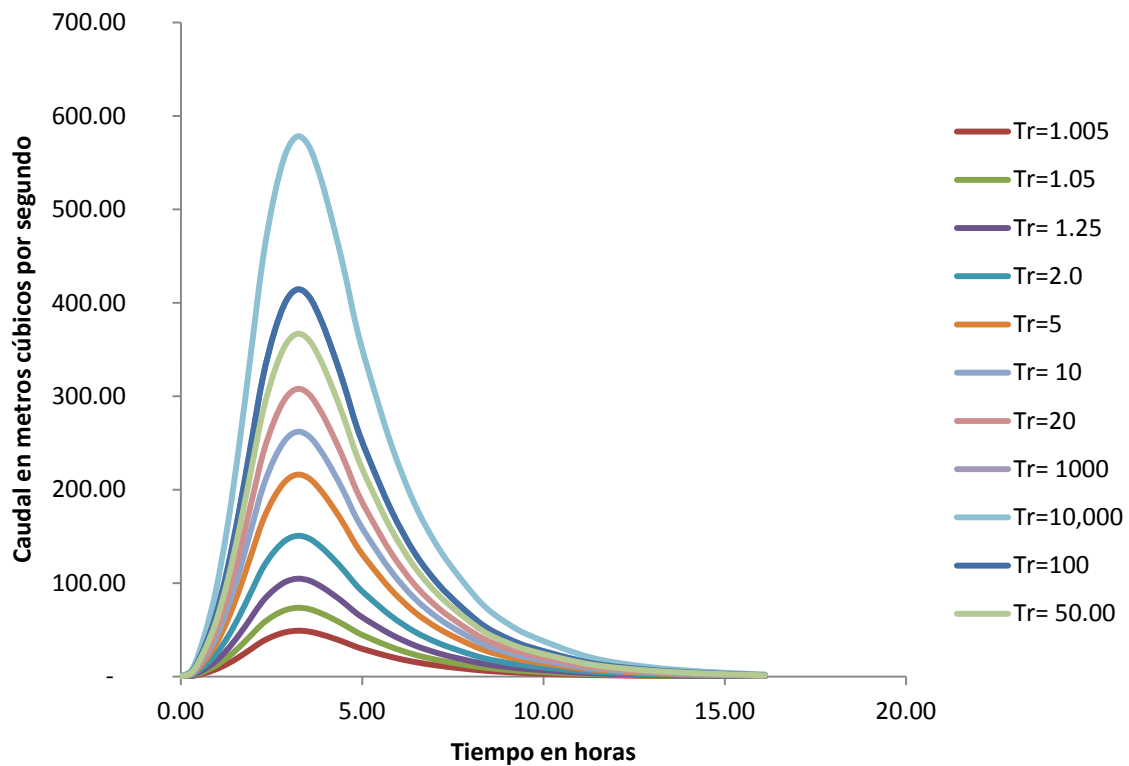
Tabla 15. Caudales máximos para diferentes periodos de retorno: Toma en Rio Caldera

Tiempo	Periodo de Retorno										
	1.005	1.05	1.25	2	5	10	20	50	100	1,000	10,000
0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.32	0.74	1.11	1.57	2.26	3.24	3.93	4.62	5.50	6.21	8.67	11.30
0.64	3.68	5.53	7.86	11.30	16.21	19.65	23.09	27.51	31.07	43.35	56.49
0.97	7.86	11.79	16.77	24.10	34.58	41.92	49.26	58.69	66.29	92.49	120.52
1.29	13.75	20.63	29.34	42.18	60.52	73.36	86.20	102.70	116.00	161.85	210.91
1.61	21.12	31.69	45.06	64.78	92.94	112.66	132.37	157.72	178.14	248.55	323.89
1.93	29.47	44.21	62.88	90.39	129.69	157.20	184.71	220.08	248.57	346.82	451.95
2.25	37.83	56.74	80.70	116.00	166.43	201.74	237.04	282.43	319.00	445.08	580.00
2.58	43.72	65.58	93.27	134.08	192.37	233.18	273.98	326.45	368.71	514.45	670.39
2.90	47.65	71.48	101.66	146.13	209.66	254.14	298.61	355.79	401.86	560.69	730.65
3.22	49.12	73.69	104.80	150.65	216.15	262.00	307.85	366.80	414.28	578.03	753.24
3.54	48.14	72.21	102.70	147.64	211.82	256.76	301.69	359.46	406.00	566.47	738.18
3.87	45.19	67.79	96.42	138.60	198.86	241.04	283.22	337.45	381.14	531.79	692.98
4.19	41.26	61.90	88.03	126.54	181.56	220.08	258.59	308.11	348.00	485.55	632.72
4.51	36.84	55.27	78.60	112.99	162.11	196.50	230.89	275.10	310.71	433.52	564.93
4.83	31.93	47.90	68.12	97.92	140.50	170.30	200.10	238.42	269.28	375.72	489.61
5.15	28.00	42.00	59.74	85.87	123.20	149.34	175.47	209.07	236.14	329.48	429.35
5.80	21.12	31.69	45.06	64.78	92.94	112.66	132.37	157.72	178.14	248.55	323.89
6.44	15.72	23.58	33.54	48.21	69.17	83.84	98.51	117.37	132.57	184.97	241.04
7.09	11.79	17.68	25.15	36.16	51.88	62.88	73.88	88.03	99.43	138.73	180.78
7.73	8.84	13.26	18.86	27.12	38.91	47.16	55.41	66.02	74.57	104.05	135.58
8.38	6.39	9.58	13.62	19.58	28.10	34.06	40.02	47.68	53.86	75.14	97.92
9.02	4.81	7.22	10.27	14.76	21.18	25.68	30.17	35.95	40.60	56.65	73.82
9.66	3.68	5.53	7.86	11.30	16.21	19.65	23.09	27.51	31.07	43.35	56.49
11.27	1.77	2.65	3.77	5.42	7.78	9.43	11.08	13.20	14.91	20.81	27.12
12.89	0.88	1.33	1.89	2.71	3.89	4.72	5.54	6.60	7.46	10.40	13.56

Tiempo	Periodo de Retorno										
	1.005	1.05	1.25	2	5	10	20	50	100	1,000	10,000
14.50	0.44	0.66	0.94	1.36	1.95	2.36	2.77	3.30	3.73	5.20	6.78
16.11	0.20	0.29	0.42	0.60	0.86	1.05	1.23	1.47	1.66	2.31	3.01

Hora de ocurrencia de Caudal Máximo= 3.22 horas

Figura 4 Caudales máximos para diferentes periodos de retorno: Toma en río Caldera



8.2.1 Reservorio Cámara de Carga La Estrella

8.2.1.1 Aplicación Del Método De Análisis Regional De Crecidas Máximas

Utilizando el Método de Análisis Regional de Crecidas máximas de Panamá ETESA aplicado para la Boca Toma en el Río Caldera, fueron determinados los caudales máximos instantáneos o crecida máxima que se puede presentar en el Reservorio Cámara de Carga La Estrella. Los pasos seguidos fueron los siguientes:

- Sedelimita y se mide el área de drenaje de la cuenca hasta el sitio de interés, en kilómetros cuadrados, para este caso es de 0.432Km².(Mapa 2)
- Mediante el uso del mapa del capítulo 4, acápite 4.3, figura 73 del Resumen Técnico del Análisis Regional de Crecidas Máximas de Panamá de ETESA, se determina a qué zona hidrológica homogénea pertenece la cuenca hidrográfica del río Caldera hasta el Reservorio Cámara de Carga La Estrella. Esta cuenca se encuentra localizada dentro de la Región Hidrológica Homogénea 7 (cuenca 108 color naranja).
- Se calcula el caudal promedio máximo utilizando la ecuación correspondiente a la zona hidrológica homogénea, que para este caso corresponde a la Ecuación 4: $Q_{\text{máx}} = 9A^{0.59}$ por lo que el caudal máximo instantáneo para la cuenca hidrográfica de la Quebrada Sin nombre hasta el sitio de presa es igual a 5.49 m³/s.
- Se calcula el caudal máximo instantáneo para distintos periodos de recurrencia, multiplicando el caudal promedio máximo que se obtuvo al aplicar la ecuación correspondiente a la zona hidrológica homogénea en donde se encuentra el punto o lugar de interés, que en nuestro caso es el Reservorio Cámara de Carga La Estrella en la Quebrada Sin Nombre, por los factores que se presentan en la Tabla 16 que corresponde a un fragmento del Cuadro 6, Tabla 3 del Resumen Técnico Análisis Regional de Crecidas Máximas de Panamá periodo 1971-2006.

Tabla 16. Factores de distribución para diferentes periodos de retorno

Periodo de Retorno(Tr) Años	Tabla 3
1.005	0.30
1.05	0.45
1.25	0.64
2	0.92
5	1.32
10	1.60
20	1.88
50	2.24
100	2.53
1,000	3.53
10,000	4.60

Fuente: Resumen Técnico Análisis Regional de Crecidas Máximas de Panamá periodo 1971-2006.

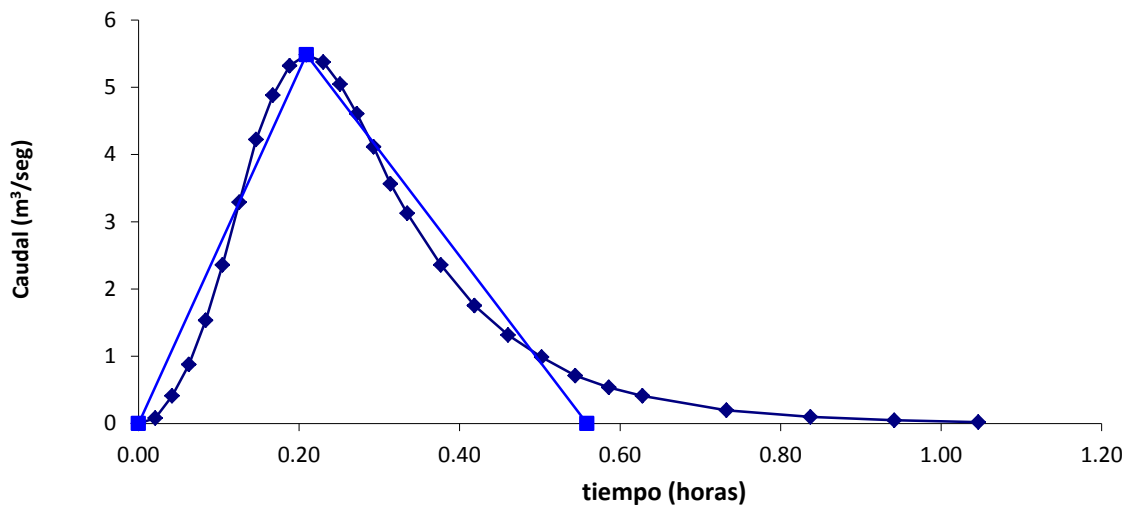
Tabla 17. Caudales máximos instantáneos según el análisis regional de crecidas

T_r Años	Caudal m³/s
1.005	1.65
1.05	2.47
1.25	3.51
2	5.05
5	7.24
10	8.78
20	10.31
50	12.29
100	13.88
1,000	19.36
10,000	25.23

Cálculo Hidrogramas de Crecidas Máximas.

El método del Análisis Regional de Crecidas proporciona el valor del caudal máximo instantáneo para diferentes periodos de retorno, mas no así los hidrogramas correspondientes.

Figura 5. Grafica Hidrograma de entrada para el Caudal Pico- Reservoirio Cámara de Carga La Estrella



Para calcular el hidrograma de los caudales máximos obtenidos, se utilizó el hidrograma Triangular basado en la pendiente de la cuenca, longitud del cauce al sitio de estudio, tiempo de

concentración. El hidrograma adimensional se presenta en la Tabla 18, donde se muestran los coeficientes del hidrograma adimensional obtenido.

Tabla 18. Hidrograma de crecidas adimensional Quebrada sin nombre hasta el sitio del lago

Tiempo Hora	Q/Q_{MAX}
0.00	0
0.32	0.015
0.64	0.075
0.97	0.16
1.29	0.28
1.61	0.43
1.93	0.6
2.25	0.77
2.58	0.89
2.90	0.97
3.22	1
3.54	0.98
3.87	0.92
4.19	0.84
4.51	0.75
4.83	0.65
5.15	0.57
5.80	0.43
6.44	0.32
7.09	0.24
7.73	0.18
8.38	0.13
9.02	0.098
9.66	0.075
11.27	0.036
12.89	0.018
14.50	0.009
16.11	0.004

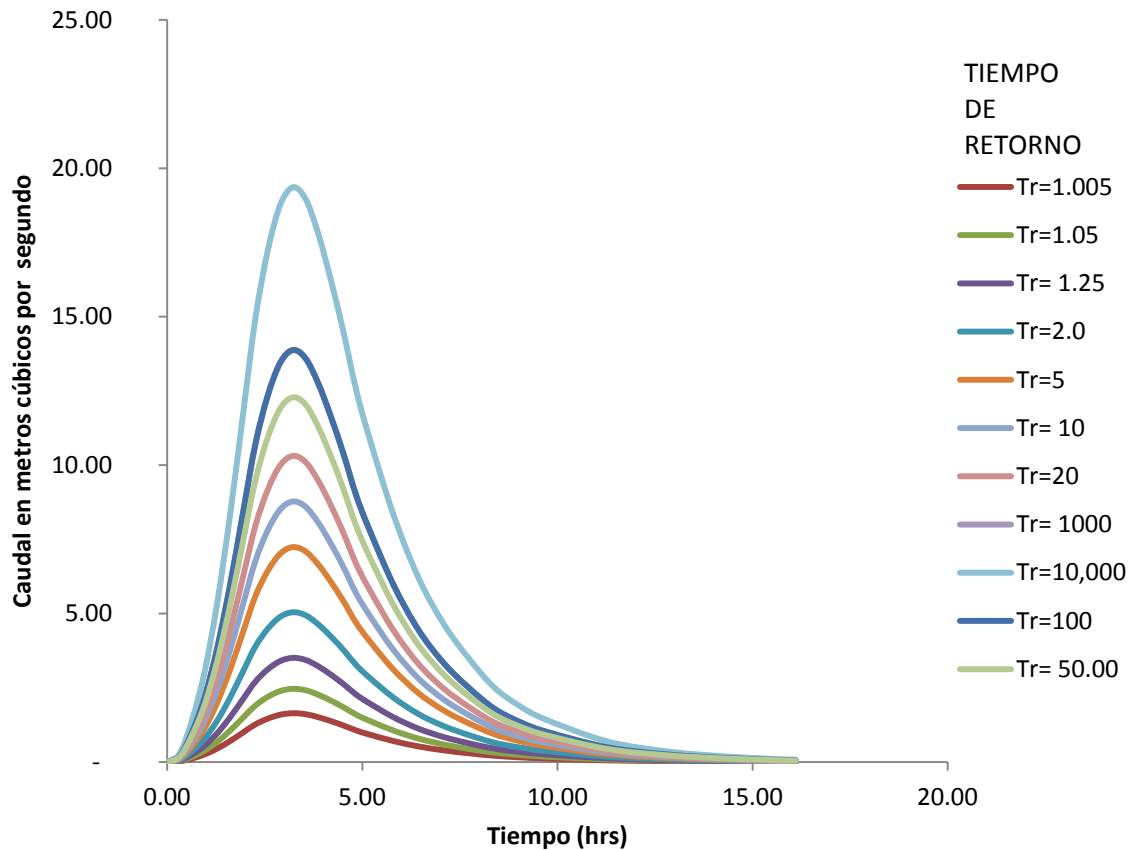
Se obtuvieron los caudales máximos para diferentes periodos de retorno (Tabla 19) multiplicando los diferentes coeficientes (Tabla 18) por los valores obtenidos del análisis de crecidas Máximas (Tabla 17).

Tabla 19. Caudales máximos para diferentes periodos de retorno: Reservoirio Cámara de Carga La Estrella

Tiempo	Periodo de Retorno										
	1.005	1.05	1.25	2	5	10	20	50	100	1,000	10,000
0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.32	0.02	0.04	0.05	0.08	0.11	0.13	0.15	0.18	0.21	0.29	0.38
0.64	0.12	0.19	0.26	0.38	0.54	0.66	0.77	0.92	1.04	1.45	1.89
0.97	0.26	0.39	0.56	0.81	1.16	1.40	1.65	1.97	2.22	3.10	4.04
1.29	0.46	0.69	0.98	1.41	2.03	2.46	2.89	3.44	3.89	5.42	7.06
1.61	0.71	1.06	1.51	2.17	3.11	3.77	4.43	5.28	5.97	8.33	10.85
1.93	0.99	1.48	2.11	3.03	4.34	5.27	6.19	7.37	8.33	11.62	15.14
2.25	1.27	1.90	2.70	3.89	5.57	6.76	7.94	9.46	10.69	14.91	19.43
2.58	1.46	2.20	3.12	4.49	6.44	7.81	9.18	10.93	12.35	17.23	22.46
2.90	1.60	2.39	3.41	4.89	7.02	8.51	10.00	11.92	13.46	18.78	24.47
3.22	1.65	2.47	3.51	5.05	7.24	8.78	10.31	12.29	13.88	19.36	25.23
3.54	1.61	2.42	3.44	4.95	7.10	8.60	10.11	12.04	13.60	18.97	24.73
3.87	1.51	2.27	3.23	4.64	6.66	8.07	9.49	11.30	12.77	17.81	23.21
4.19	1.38	2.07	2.95	4.24	6.08	7.37	8.66	10.32	11.66	16.26	21.19
4.51	1.23	1.85	2.63	3.78	5.43	6.58	7.73	9.21	10.41	14.52	18.92
4.83	1.07	1.60	2.28	3.28	4.71	5.70	6.70	7.99	9.02	12.59	16.40
5.15	0.94	1.41	2.00	2.88	4.13	5.00	5.88	7.00	7.91	11.04	14.38
5.80	0.71	1.06	1.51	2.17	3.11	3.77	4.43	5.28	5.97	8.33	10.85
6.44	0.53	0.79	1.12	1.61	2.32	2.81	3.30	3.93	4.44	6.20	8.07
7.09	0.39	0.59	0.84	1.21	1.74	2.11	2.47	2.95	3.33	4.65	6.06
7.73	0.30	0.44	0.63	0.91	1.30	1.58	1.86	2.21	2.50	3.49	4.54
8.38	0.21	0.32	0.46	0.66	0.94	1.14	1.34	1.60	1.80	2.52	3.28
9.02	0.16	0.24	0.34	0.49	0.71	0.86	1.01	1.20	1.36	1.90	2.47
9.66	0.12	0.19	0.26	0.38	0.54	0.66	0.77	0.92	1.04	1.45	1.89
11.27	0.06	0.09	0.13	0.18	0.26	0.32	0.37	0.44	0.50	0.70	0.91
12.89	0.03	0.04	0.06	0.09	0.13	0.16	0.19	0.22	0.25	0.35	0.45
14.50	0.01	0.02	0.03	0.05	0.07	0.08	0.09	0.11	0.12	0.17	0.23
16.11	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.04	0.04	0.05	0.06	0.08	0.10

Hora de ocurrencia de Caudal Máximo= 3.22 horas

Figura 6 Caudales máximos para diferentes periodos de retorno: Reservorio Cámara de Carga La Estrella



8.3 Estudio de la Falla de una Presa

Los mecanismos de falla de una presa, depende fundamentalmente del tipo de material del cual es construida la presa. Tradicionalmente estos mecanismos se clasifican en dos categorías:

- Fallas debido a la remoción de una parte o partes de la estructura de retención como resultado de una condición de esfuerzo excesivo.
- Fallas producidas por la erosión del material de relleno.

El primer mecanismo se refiere a posibles fallas en presas de hormigón, mientras que el segundo mecanismo se refiere a fallas por rebasamiento o erosión interna del material granular que forma la presa.

Para el análisis de la falla de una presa por ruptura de uno de sus elementos constituyentes, se deben investigar los cuatro elementos críticos que intervienen en este tipo de falla:

- Estimación de los parámetros de la falla. (forma y dimensiones de la brecha, tiempo de falla).
- Caudal máximo que circulará por la falla y determinación del hidrograma de flujo, en la falla.
- Tránsito del hidrograma, del caudal que circula por la falla.
- Estimación de los daños causados por el paso del hidrograma por las diversas partes del cauce.

El más popular de los análisis de ruptura de una presa se basa en ecuaciones desarrolladas por la observación de eventos similares que se han estudiado en el pasado. Los métodos más aceptados para este tipo de análisis son:

- Las ecuaciones derivadas por MacDonald y Langridge – Monopolis (1984)¹⁰
- Las ecuaciones derivadas por el United States Bureau of Reclamation (USBR), (1988).
- Las ecuaciones derivadas por Von Thun y Gillette, (1990)
- Las ecuaciones derivadas por Froehlich (1995 y 2008).

Estos métodos han mostrado una razonablemente buena correlación cuando se comparan los valores predichos, por estas ecuaciones, con los valores observados en campo.

El método desarrollado por MacDonald y Langridge-Monopolis determina el volumen de la presa erosionado durante la formación de la falla, esto se basa en el producto del volumen del embalse (V_w) y el nivel máximo alcanzado por el agua (H_w). Este producto se denomina Factor de Formación de Brecha, (BFF) y representa el potencial erosivo de las aguas almacenadas en el reservorio. Las dimensiones de la falla se calculan basadas en el volumen del material en la presa erosionada y la geometría de la presa. Este método toma en cuenta la geometría de la presa (altura, ancho de la cresta y pendientes de la presa) y el período de tiempo requerido para la formación de la falla se relaciona directamente al volumen de material erosionado. A continuación se muestra un resumen de este método para el cálculo de volumen erosionado (Tabla 20) y el tiempo de formación de la brecha, los cuales varían dependiendo del tipo de embalse.

¹⁰ Colorado Division of Water Resources, Colorado Dam Safety Branch and <http://water.state.co.us>. 10 de Febrero, 2010. *Guidelines for Dam Breach Analysis*.

Tabla 20. Resumen para el cálculo de volumen erosionado

Tipo de embalse	Fórmula para calcular el volumen del embalse erosionado	Fórmula para el tiempo de formación de la brecha.	Referencia
Tierra (Cohesiva)	$Ver=3.264(BFF)^{0.77}$	$Tf=0.036 Ver^{0.36}$	MacDonald y Langridge – Monopolis (1984) & Washington State (2007)
Enrocado	$Ver=0.714(BFF)^{0.852}$	$Tf=0.02Ver^{0.36}$	MacDonald y Langridge – Monopolis (1984) & Washington State (2007)

El método de Froehlich (2008) depende del volumen del embalse y las dimensiones de la falla. Este método distingue entre una falla por tubificación o una por rebosamiento de la presa, utilizando un coeficiente denominado Factor de Modo de Falla, Ko. Si todas las variables se mantienen iguales, la falla por rebosamiento produce una falla de dimensiones mayores que una falla por tubificación.

El método de Froehlich no hace distinción entre una falla por rebasamiento o tubificación, al momento de determinar el de tiempo que toma la aparición de la falla. El período de tiempo que toma la falla es inversamente proporcional a las dimensiones de la falla y directamente proporcional al volumen del reservorio. Esto significa que las presas de mayores alturas tienden a producir períodos de tiempo más pequeños para un determinado volumen del embalse el cual parece ser una conclusión válida ya que la carga hidráulica que causa la formación de la falla es mayor.

A continuación procederemos a calcular las diferentes variables para los embalses de Reservorio Cámara de Carga La Estrella y Boca toma sobre el río Caldera (Tabla 21 y 22).

Tabla 21. Cálculo de parámetros de brecha de acuerdo al método de MacDonald&Langridge-Monopolis.

Presa: Boca Toma del río Caldera

Tipo: Enrocado con recubrimiento de concreto

Parámetros	Valor	Comentario
Elevación del agua sobre la elevación base de la brecha (Hw):	5	metros
Volumen del agua almacenada en el embalse en el momento de la falla (Vw):	7237.2	metros cúbicos
Área de superficie del embalse a Hw (As):	3883.5	metros cuadrados

Parámetros	Valor	Comentario
Ancho de la Cresta	5	metros
Altura de la brecha (Hb):	5	metros
Pendiente de la cara de la presa aguas arriba (Zu)	1.5	Z(H):1(V)
Pendiente de la cara de la presa aguas abajo (Zd):	2	Z(H):1(V)
Relación H-V en la brecha (Zb)	0.05	Z(H):1(V)
Coeficiente del orificio de la piping (Cp):	0.61	Usado para calcular el pico de descarga a través del hueco de la tubería
Clase de tamaño de la presa	Menor	Se asume embalse lleno al momento de la brecha
Características	Valor	Comentario
Factor de formación de la brecha (BFF)=	96.25	
Volumen del dique erosionado (Ver)=	26.73	Metros cúbicos
Ancho de la presa promedio (Wavg)=	13.75	Metros
Ancho de la brecha promedio (Bavg)=	0.39	Metros
Ancho del fondo de la brecha (Bb)	0.14	Metros
Tiempo de formación de la brecha (Tf)	0.072	Horas
Intensidad guardada (SI)=	1447.44	Metros cúbicos entre metro
Caudal pico durante la rotura de presa (Qp)	7.08	Metros cúbicos por segundo

Tabla 22. Cálculo de parámetros de brecha de acuerdo al método de MacDonald&Langridge-Monopolis

Presa: Reservorio Cámara de carga La Estrella Tipo: Tierra Cohesiva

Parámetros	Valor	Comentario
Elevación del agua sobre la elevación base de la brecha (Hw):	8	metros
Volumen del agua almacenada en el embalse en el momento de la falla (Vw):	280343.88	metros cúbicos
Área de superficie del embalse a Hw (As):	44662	metros cuadrados
Ancho de la Cresta	5	metros
Altura de la brecha (Hb):	8	metros
Pendiente de la cara de la presa aguas arriba (Zu)	2.92	Z(H):1(V)
Pendiente de la cara de la presa aguas abajo (Zd):	2.92	Z(H):1(V)
Relación H-V en la brecha (Zb)	1	Z(H):1(V)
Coeficiente del orificio de la piping (Cp):	0.73	Usado para calcular el pico de descarga a través del hueco de la tubería

Parámetros	Valor	Comentario
Clase de tamaño de la presa	Pequeña	Se asume embalse lleno al momento de la brecha
Características	Valor	Comentario
Factor de formación de la brecha (BFF)=	5965.31	
Volumen del dique erosionado (Ver)=	2015.56	Metros cúbicos
Ancho de la presa promedio (Wavg)=	28.36	Metros
Ancho de la brecha promedio (Bavg)=	8.88	Metros
Ancho del fondo de la brecha (Bb)	0.88	Metros
Tiempo de formación de la brecha (Tf)	0.61	Horas
Intensidad guardada (SI)=	35042.98	Metros cúbicos entre metro
Caudal pico durante la rotura de presa (Qp)	138.36	Metros cúbicos por segundo

8.4 Caudales utilizados de acuerdo a los escenarios

Determinados los caudales de crecidas de la sección 8.1 y los valores de caudales al momento de tener la rotura de la presa determinaremos los caudales para cada uno de los escenarios que se van a estudiar en el modelo HEC –RAS Versión 4.10.

Tabla 23. Caudales con diferentes periodos de retorno

Escenario	Presa derivadora Boca Toma sobre el río Caldera Q en m ³ /s	Presa Reservorio Cámara de Carga La Estrella Q en m ³ /s
Bajo Condiciones de Crecidas Ordinarias y Extraordinarias		
1:10 (Q10)	262.00	8.78
1:50 (Q50)	366.80	12.29
1:100 (Q100)	414.28	13.88
1:1000 (Q1000)	578.03	19.36
1:10000 (Q10000)	753.24	25.23
Por Colapso Estructural en Condición de Operación Normal		
Caudal de Rotura de Presa (Qb)	7.08	138.36
Por Colapso Estructural durante Crecidas Extraordinarias		
1:10 + Qb	269.08	147.14
1:50+Qb	373.88	150.65
1:100+Qb	421.36	152.02
1:1000+Qb	585.11	157.72

Escenario	Presa derivadora Boca Toma sobre el río Caldera Q en m ³ /s	Presa Reservoirio Cámara de Carga La Estrella Q en m ³ /s
1:10000+Qb	753.24	163.59
Por Apertura Súbita de Compuertas		
	No aplica	No Aplica
Por Falla en la Operación de las Estructuras Hidráulica de Descarga		
	No Aplica	No Aplica
Por vaciado Controlado o Vaciado rápido a causa de un problema en la presa		
	No Aplica	No Aplica

8.5 Resultado de la Simulación

El Complejo Hidroeléctrico La Estrella está compuesto por dos (2) embalses, uno es denominado Boca Toma sobre el Río Caldera y el otro es la Reservoirio Cámara de Carga La Estrella.

El primer sitio estudiado es la Presa de derivación denominada Boca Toma sobre el Río Caldera. Para el estudio de planicie de Inundación se dividió el río en siete (7) secciones transversales, completando una longitud de 3073.59 m. El estudio inició en las coordenadas 966478.8 N y 343673.87 E y finalizando en las coordenadas 964417.01 N y 34117.72 E.

Se estudiaron tres (3) escenarios para esta presa, sin embargo, sólo se realizó la simulación de uno de ellos ya que debido a la poca diferencia existente entre los escenarios de condiciones de crecidas ordinarias y extraordinarias y los de colapso estructural durante crecidas extraordinarias (menos del 2% de diferencia). Los resultados de la simulación para este tramo se muestran en el mapa 3 Planicie de Inundación de Boca Toma sobre río Caldera.

Escenario: Bajo Condiciones de Crecidas Ordinarias y Extraordinarias

Tabla 24. Caudales con peridos de retorno de 1 en 10 años

Periodo de retorno: 10 años. Caudal: 262.00 m³/s

Estacionamiento	Elev. Del Canal Mínimo(m)	Elev. De la superficie del agua (m)	Vel. Del canal (m/s)	Ancho (m)
0k+00	984.68	987	3.57	57.39
0k+220	972.55	975.81	4.13	36.89
0k+440	967.18	974.55	0.72	86.28
0k+840	965.65	967.26	3.63	53.88

1k+420	947	950.87	3	37.95
2k+620	937.84	940.22	3.99	40.63
3k+073.59	924.08	928.02	4.01	40.51

Tabla 25. Caudales con periodos de retorno de 1 en 50 años

Periodo de retorno: 50 años.

Caudal: 366.88 m³/s

Estacionamiento	Elev. Del Canal Mínimo(m)	Elev. De la superficie del agua (m)	Vel. Del canal (m/s)	Ancho (m)
0k+00	984.68	987.33	3.96	58.32
0k+220	972.55	976.29	4.45	41.97
0k+440	967.18	975.08	0.9	90.76
0k+840	965.65	967.61	4	56.62
1k+420	947	951.34	3.47	41.58
2k+620	937.84	940.66	4.36	43.35
3k+0.73.59	924.08	928.49	4.25	47.58

Tabla 26. Caudales con periodos de retorno de 1 en 100 años

Periodo de retorno: 100 años.

Caudal: 414.28 m³/s

Estacionamiento	Elev. Del Canal Mínimo(m)	Elev. De la superficie del agua (m)	Vel. Del canal (m/s)	Ancho (m)
0k+00	984.68	987.47	4.12	58.71
0k+220	972.55	976.47	4.59	44.42
0k+440	967.18	975.31	0.97	92.61
0k+840	965.65	967.76	4.15	57.72
1k+420	947	951.52	3.65	43.02
2k+620	937.84	940.84	4.51	44.47
3k+0.73.59	924.08	928.68	4.35	50.1

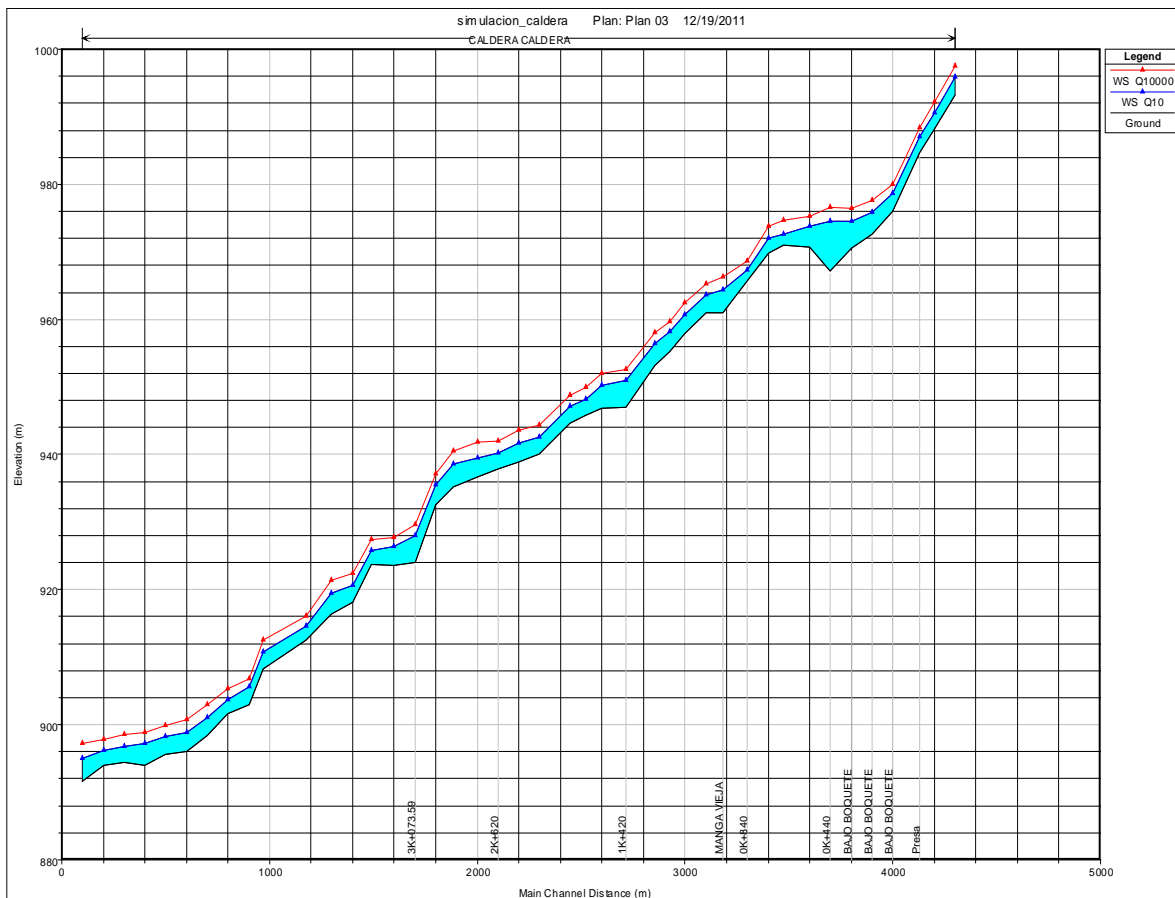
Tabla 27. Caudales con periodos de retorno de 1 en 1000 añosPeriodo de retorno: 1,000 años.Caudal: 578.03 m³/s

Estacionamiento	Elev. Del Canal Mínimo(m)	Elev. De la superficie del agua (m)	Vel. Del canal (m/s)	Ancho (m)
0k+00	984.68	987.91	4.57	59.94
0k+220	972.55	977.05	5	52.02
0k+440	967.18	975.99	1.19	98.29
0k+840	965.65	968.22	4.52	61.33
1k+420	947	952.07	4.17	50.43
2k+620	937.84	941.39	4.93	47.87
3k+0.73.59	924.08	929.19	4.73	54.03

Tabla 28. Caudales con periodos de retorno de 1 en 10,000 añosPeriodo de retorno: 10,000 años.Caudal: 753.24 m³/s

Estacionamiento	Elev. Del Canal Mínimo(m)	Elev. De la superficie del agua (m)	Vel. Del canal (m/s)	Ancho (m)
0k+00	984.68	988.33	4.96	61.14
0k+220	972.55	977.6	5.32	59.2
0k+440	967.18	976.64	1.4	102.6
0k+840	965.65	968.66	4.86	64.49
1k+420	947	952.57	4.61	56.64
2k+620	937.84	941.91	5.26	51.16
3k+0.73.59	924.08	929.66	5.09	56.75

Figura 7. Perfil longitudinal del Rio Caldera donde muestra los niveles de crecidas (Tr: 1 en 10 años y 1: 10,000 años)



La segunda área de estudio es el Reservorio Cámara de Carga La Estrella. Para el estudio se seccionó el mismo en siete (7) secciones transversales, completando una longitud de 3173.88 m. El estudio inició en las coordenadas 965146.63 N y 347963.94 E y finalizando en las coordenadas 963459.87 N y 346391.46 E.

Los resultados de la simulación para este tramo se muestran en el Mapa 4 planicie de Inundación del reservorio Cámara de Carga La Estrella.

Escenario: Por colapso estructural durante crecidas extraordinarias.

Tabla 29. Caudales con peridos de retorno de 1 en 10 años

Periodo de retorno: 10 años. Caudal: 147.14 m³/s

Estacionamiento	Elev. Del Canal Mínimo(m)	Elev. De la superficie del agua (m)	Vel. Del canal (m/s)	Ancho (m)
0k+00	975	977.46	1.53	60.32
0k+280	950.56	952.22	3.23	42.76
ok+550	917.42	918.96	3.11	48.76
1k+090	893	894.71	0.8	162.19
1k+910	859	860.37	0.76	159.21
2k+600	829.22	831.01	3.38	37.9
3k+173.81	757.57	759.61	3.31	39.91

Tabla 30. Caudales con peridos de retorno de 1 en 50 años

Periodo de retorno: 50 años. Caudal: 150.65 m³/s

Estacionamiento	Elev. Del Canal Mínimo(m)	Elev. De la superficie del agua (m)	Vel. Del canal (m/s)	Ancho (m)
0k+00	975	977.48	1.54	60.65
0k+280	950.56	952.24	3.25	42.97
ok+550	917.42	918.98	3.13	49.16
1k+090	893	894.73	0.8	163.17
1k+910	859	860.39	0.77	159.62
2k+600	829.22	831.03	3.4	38.13
3k+173.81	757.57	759.62	3.35	40.05

Tabla 31. Caudales con periodos de retorno de 1 en 100 añosPeriodo de retorno: 100 años.Caudal: 152.02 m³/s

Estacionamiento	Elev. Del Canal Mínimo(m)	Elev. De la superficie del agua (m)	Vel. Del canal (m/s)	Ancho (m)
0k+00	975	977.49	1.55	60.78
0k+280	950.56	952.25	3.26	43.05
0k+550	917.42	918.99	3.12	49.38
1k+090	893	894.73	0.8	163.6
1k+910	859	860.39	0.77	159.77
2k+600	829.22	831.04	3.41	38.21
3k+173.81	757.57	759.62	3.36	40.15

Tabla 32. Caudales con periodos de retorno de 1 en 1,000 añosPeriodo de retorno: 1,000 años.Caudal: 157.72m³/s

Estacionamiento	Elev. Del Canal Mínimo(m)	Elev. De la superficie del agua (m)	Vel. Del canal (m/s)	Ancho (m)
0k+00	975	977.52	1.57	61.3
0k+280	950.56	952.28	3.29	43.39
0k+550	917.42	919.01	3.16	49.92
1k+090	893	894.76	0.81	165.62
1k+910	859	860.42	0.78	160.4
2k+600	829.22	831.07	3.44	38.55
3k+173.81	757.57	759.66	3.38	40.58

Tabla 33. Caudales con periodos de retorno de 1 en 10, 000 añosPeriodo de retorno: 10,000 años.Caudal: 163.59 m³/s

Estacionamiento	Elev. Del Canal Mínimo(m)	Elev. De la superficie del agua (m)	Vel. Del canal (m/s)	Ancho (m)
0k+00	975	977.56	1.6	61.83
0k+280	950.56	952.31	3.32	43.74
0k+550	917.42	919.04	3.18	50.56
1k+090	893	894.79	0.81	167.77
1k+910	859	860.44	0.8	161.02
2k+600	829.22	831.1	3.47	38.9
3k+173.81	757.57	759.69	3.42	40.92

Tal y como se puede apreciar en el perfil adjunto, la pendiente de este canal es suave y produce flujo subcrítico lo que se traduce en niveles bajos para estos flujos. El canal que va a servir de descarga para el lago existe es atravesado por un pequeño puente, y al momento de un escenario de ruptura puede ser afectado. Además encontramos luego de este puente el complejo residencial privado Cielo Paraíso.

Figura 8. Perfil longitudinal de la Quebrada Sin nombre, aguas abajo del Reservorio Cámara de Carga La Estrella, donde muestra los niveles del agua con el caudal máximo de la Rotura de Presa de crecida de 1:10 años y 1:10,000 años.

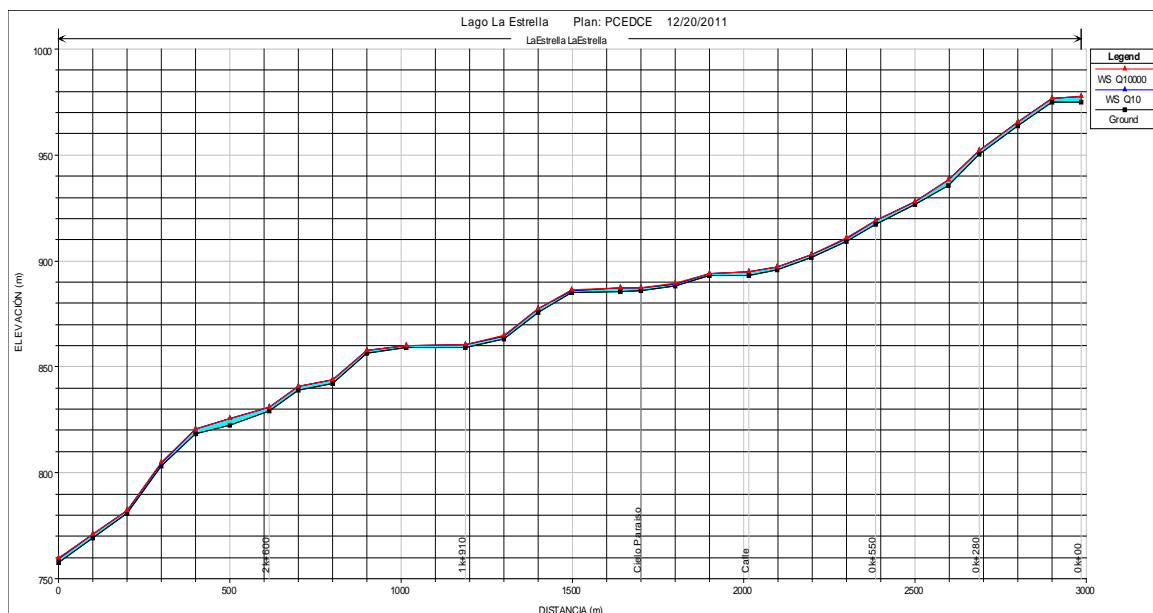
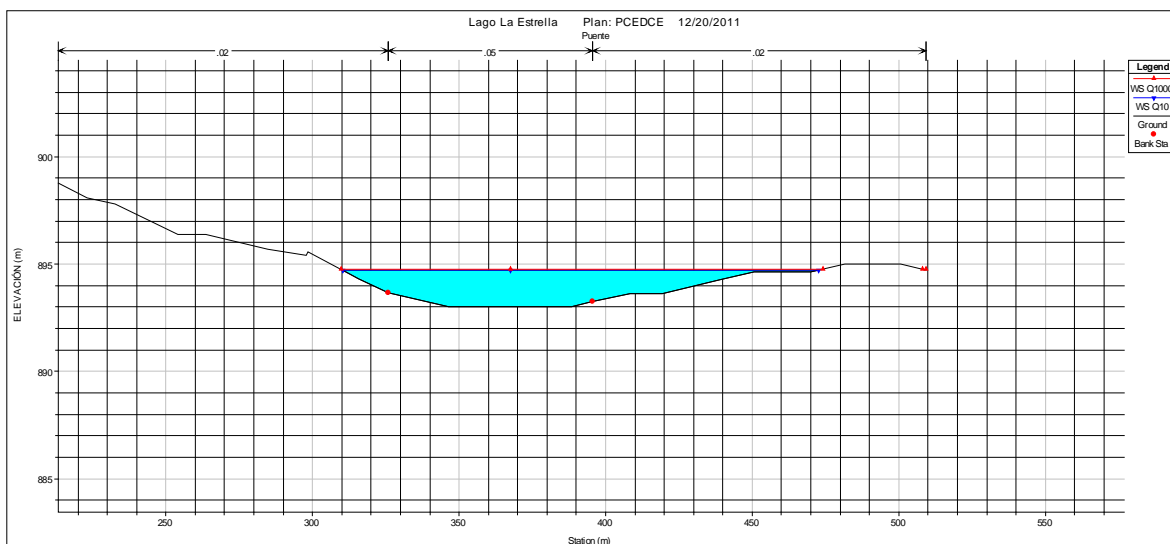




Figura 9. Puente sobre quebrada existente a 1,000 metros aguas abajo de la Presa de Tierra en la calle colindante al Residencial Privado de Lucero Golf & Country Club (antiguo Cielo Paraíso).

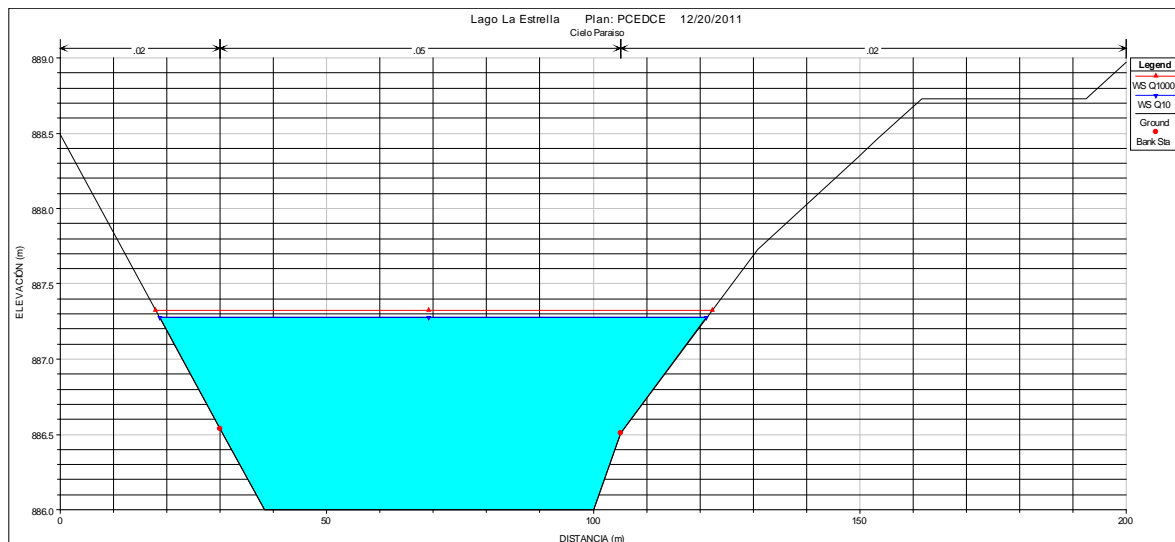
El puente se localiza en la sección transversal 1 K + 090 y a una elevación de 895 msnm. La sección transversal realizada para este puente se muestra en la Figura 10 y se puede apreciar que el nivel de agua producto de esta simulación puede que afecte el puente y la vía en ese tramo mientras permanezca la pasada de la onda de agua de la rotura del embalse.

Figura 10. Sección transversal 1K+ 090, vista transversal de la vía y el puente.



Al final de la simulación, en la sección transversal 1 K + 405 se localiza parte del complejo residencial privado Lucero Golf & Country Club (antiguo Residencial Cielo Paraíso). De acuerdo a los resultados de la simulación, si la presa estudiada tuviera una falla estructural el nivel de agua encontrado en esta sección podría afectar parte del complejo de este complejo residencial.

Figura 11 Vista de la Sección transversal 1K + 405 donde se puede apreciar que los niveles de inundación alcanzada en esta zona podrían afectar el área del Residencial privado Cielo Paraíso.



9 Vinculación con el Sistema de Protección Civil. Planes de Evacuación

Una situación de emergencia que se genere en la presa de derivación en el Río Caldera y en la presa del Reservorio Cámara de Carga La Estrella puede causar daños y pérdidas en las comunidades que se ubican aguas abajo. AES Panamá trabaja en forma coordinada con las autoridades locales, organizaciones no gubernamentales, radioaficionadas, escuelas e instituciones públicas, que por sus funciones participan en la prevención y mitigación de riesgo, en la preparación y atención de emergencia; con el objetivo de salvaguardar la vida y bienes de las poblaciones aguas abajo de las presas.

Por esta razón, AES Panamá ha establecido como estrategia de imagen y comunicación; Identificación; gestión y firma de los acuerdos con las instituciones y organizaciones que forman parte del Sistema Nacional de Protección Civil. Además de instituir protocolos de avisos, Lista de contactos, Diagrama de avisos para cada categoría de emergencia, Códigos y Validación. De igual

forma debe establecer un Sistema de mantenimiento de información actualizada de contactos; Responsabilidad de los funcionarios para el mantenimiento de la documentación técnica entregada y la Distribución del PADE. A continuación la lista de ubicaciones de los diagramas de Aviso, establecidos en la sección 3.3. Diagramas de Aviso (Tabla 34).

Tabla 34. Lista de ubicaciones de los diagramas de Avisos Impresos

<i>Ubicaciones en La Central Hidroeléctrica</i>	
1.	Sala de Control
2.	Oficina del Gerente del Complejo Hidroeléctrico Chiriquí
3.	Escritorio de la Asistente Administrativa
<i>Ubicaciones en Casas</i>	
1.	Gerente del Complejo Hidroeléctrico Chiriquí
2.	Líder de Operaciones
3.	Coordinador del PADE
<i>Ubicaciones en Entidades Públicas</i>	
1.	Fuerza Pública
2.	Cuerpo de Bomberos de Boquete
3.	Oficina Regional de David de SINAPROC
4.	Centro Nacional de Despacho, Subestación Panamá, Oficina del Director

Para iniciar con este proceso de vinculación, se hará una presentación y distribución del PADE, a todas las autoridades locales, gubernamentales y no gubernamentales que participaran en forma efectiva ante la ocurrencia de una situación de emergencia citada en este PADE. Cada una de estas autoridades se les invita a participar de los simulacros.

La planificación de la alerta y evacuación son responsabilidades de las autoridades locales (Representantes), con apoyo del Sistema Nacional de Protección Civil (SINAPROC). En todos los niveles de alerta, tanto las autoridades locales como el SINAPROC serán responsables de estudiar y coordinar las áreas afectadas y de desarrollar planes de notificación y evacuación. No obstante, AES se reunirá con las partes interesadas; representantes de corregimiento, Organismos No Gubernamentales (ONG's) y las instituciones de seguridad pública para suministrarles y explicarles los diferentes escenarios que contempla este PADE y sus respectivos planos de inundación.

Las autoridades locales y SINAPROC son responsables de la determinación de actividades de acciones de emergencia o de la evacuación (según sea el caso), incluyendo la publicación de notas de prensa para la radio, televisión, o medios impresos. Las autoridades locales y la policía local

serán responsables de la seguridad dentro de las áreas afectadas durante y después de una emergencia, esto último para asegurar la entrada apropiada a las áreas afectadas para proteger al público.

A las autoridades gubernamentales se les ha aclarado que la responsabilidad de la duración, seguridad, seguimiento y conclusión es de AES Panamá. El personal apropiado de AES Panamá responsable de monitorear la(s) presa(s) durante una situación de emergencia mantendrá a las autoridades locales y a SINAPROC informados de condiciones de la(s) presa(s) desde el momento de la determinación inicial que existe una emergencia hasta que la emergencia ha concluido. Se usarán todos los medios de comunicación disponibles. El principal medio de comunicación será el teléfono. Otros medios de comunicación incluyen teléfonos celulares, radio, microondas, y mensajería.

El PADE contempla acciones que serán implementadas por el Gerente del Complejo Hidroeléctrico Chiriquí o el Líder de Operaciones y su equipo de trabajo. Las acciones como: diseño e implementación de un sistema de alerta temprana; la organización de las comunidades que se ubican aguas abajo de la presa dentro de la planicie de inundación son responsabilidad de las autoridades locales y las instituciones que forman parte del Sistema Nacional de Protección Civil.

Estas acciones deberán contemplar como mínimo, planes de evacuación; ubicación de los albergues temporales; seguridad del área afectada; la evaluación de los daños y análisis de necesidad y la rehabilitación de los servicios básicos.

Otro punto importante y fundamental que se tiene que trabajar, con las Autoridades Municipales y el Ministerio de Vivienda, es el ordenamiento territorial, tomando como base los planos de inundaciones presentados en el PADE., con el objetivo de organizar a la población que habita las zonas inundables y las mismas ser reubicadas en sitios en que no pongan en riesgo su vida.

El primer camino para evitar o minimizar las consecuencias de este fenómeno natural es, sin duda, la previsión. De ahí que se entienda que el mejor modo de afrontar una situación de emergencia de este tipo es adelantarse a su generación a través de los medios disponibles. En este caso, a través de los sistemas de predicción meteorológica, por lo que es necesarios **Fortalecer y mejorar la Red Hidrometeorológica de la Gerencia de Hidrometeorología de ETESA (sistemas de monitoreo y vigilancia).**

Este fortalecimiento permite contar con información confiable y en tiempo real para la toma de decisiones para la seguridad de la estructura de las centrales hidroeléctricas, el máximo aprovechamiento de los caudales en la generación de la energía, y el control de inundaciones en las zonas ubicadas aguas abajo de la presa.

Incluye acciones de vigilancia y monitoreo de fenómenos hidrometeorológicos que por su magnitud tienen el potencial de causar daños a las personas, bienes y el ambiente. Consiste en mejorar los sistemas, que permitan pronosticar la probabilidad de ocurrencia de un evento.

Es importante analizar y evaluar el estado actual de la Red Hidrometeorológica de ETESA y establecer acuerdos para el intercambio o flujo de información; esto evitara una mayor inversión en este tema.

Otros de los aspectos fundamentales es el proceso de Organización de las Comunidades que se ubican en la zona de impacto por la ocurrencia de una emergencia: Organizar a las comunidades nos permitirá que ellas mismas elaboren e implementen los planes de evacuación; coordinen los albergues temporales y principalmente tomen conciencia del riesgo a que están expuesta y permita a todos los actores locales ser un ente de cambio y desarrollo para sus comunidades.

La Organización comunitaria debe ser complementada con un Sistema de Alerta Temprana, que permita avisar a las comunidades aguas abajo de la presa, de la existencia de una emergencia y el mismo está vinculada con la red de vigilancia y pronóstico de amenaza hidrometeorológicas. Su objetivo es anticipar la incidencia de una amenaza, definiendo cuándo y dónde se concretará la misma; lo que permite comunicar la información a quienes la requieren, con la antelación suficiente para tomar las medidas previstas en un plan de emergencias.

10 Simulacros de Emergencia

El Coordinador del PADE conducirá una sesión anual de simulacro de emergencia definidas en el PADE, para habituar y disciplinar el comportamiento del personal de la Complejo Hidroeléctrico Chiriquí, en todas las situaciones de emergencia contempladas en la sección 6 “Situaciones de Emergencia” de este documento. El coordinador del PADE será el responsable de programar,

coordinar y dirigir ¹¹ el simulacro de la situación de emergencia correspondiente.

El coordinador del PADE presentará los diferentes escenarios de forma detalladas, al personal de AES Panamá, con la finalidad de evaluar los conocimientos de todo el personal del Complejo Hidroeléctrico Chiriquí, sobre los procedimientos y protocolos que se deben seguir ante una situación de emergencia descrita en el PADE.

El coordinador del PADE presentará, las acciones a desarrollar según sea el caso al personal de AES Panamá, quienes deberán tomar decisiones al respecto. Los resultados obtenidos en el simulacro, permitirá hacer los ajuste en los procedimientos o implementar procesos de capacitación del personal.

El objetivo general que se quiere con la capacitación del personal es que adquieran los conocimientos y capacidad de reacción para que, en el momento que sea necesario, activar y dar seguimiento a las diferentes situaciones de emergencia presentadas en este Plan de Acción Durante Emergencias.

Para la situación de emergencia más significativa, crecidas ordinarias y extraordinarias, AES Panamá hará un simulacro de nivel alto que se llevará a cabo mediante un ejercicio en el que se ensayarán las medidas a seguir ante una situación hipotética de emergencia. Dicho simulacro se diseña de manera que sea realista, basándose en eventos pasados. El Coordinador del PADE escogerá la situación y hora; además, la asignación de un observador el cual verificará las acciones y notificaciones subsecuentes (quién, cuándo y los medios de comunicación), y determinará si todos los participantes tiene la versión actualizada del PADE.

La coordinación de este simulacro se extenderá hasta las instituciones, según los diagramas de Aviso. Se involucrará en este simulacro a personal interno del Complejo Hidroeléctrico Chiriquí y a todas las instituciones que tienen responsabilidades en el PADE.

Durante este simulacro se abarcarán todas las fases contempladas en una situación de emergencia real:

- Detección del Evento
- Determinación del Nivel de Emergencia

¹¹ El simulacro podrá ser dirigido por un proveedor

- Niveles de Comunicación y Notificación
- Acciones Durante la Emergencia
- Terminación de la Emergencia

Para las otras situaciones de emergencia, enumeradas en la sección 6, los simulacros se ejecutarán a diferentes niveles según los siguientes criterios:

Bajo: Verificación de los sistemas de comunicaciones, los números telefónicos, nombres y cargos de los responsables en la cadena de avisos.

Medio: Seminarios–Taller en donde se discutan las acciones a seguir en caso una de las situaciones de la emergencia

Alto: Incluye desde simulaciones o ejercicios de gabinete hasta la simulación a escala real de una emergencia. Los simulacros deben incluir múltiples fallas. En cada simulacro debe plantearse un escenario de emergencia diferente. Debe abarcar todas las fases contempladas en una situación de emergencia real.

Los simulacros y/o simulaciones se ejecutarán bajo los siguientes criterios:

- No debe realizarse un nivel de ejercitación si no se han comprendido las consignas y procedimientos del simulacro.
- Se realizarán cuando la central hidroeléctrica esté en situación normal y en una época del año en que las circunstancias permitan prever, con cierta garantía que no va a acontecer un incidente que genere una situación extraordinaria o de emergencia real.
- Se interrumpirán cuando durante su desarrollo surja alguna situación extraordinaria o de emergencia real o sea imprescindible la atención del personal para garantizar la operación normal de la central.
- No se permitirá el tráfico de personas o vehículos salvo que sean imprescindibles dentro del ejercicio del simulacro.
- La duración del ejercicio del simulacro dependerá del nivel del simulacro.
- Se involucrará a todo el personal necesario para llevar a cabo las tareas a realizar de acuerdo a la situación de emergencia en simulacro.

- Las comunicaciones deberán estar disponibles para el ejercicio.

Todas las acciones ejecutadas durante los simulacros se registrarán en el formulario AES.SGI.PG.14.05 “Evaluación de Simulación y Simulacros” del procedimiento AES.SGI.PG.14 Preparación y Respuesta Ante Emergencias (Anexo 3), el cual contiene la siguiente información:

- Descripción del ejercicio planteado, incluyendo nivel de dificultad, el escenario y el personal al que va dirigido y descripción de la situación simulada.
- Desarrollo detallado del ejercicio.
- Objetivos buscados con el ejercicio.
- Grado de preparación individual del personal.
- Nivel de coordinación entre el personal y con terceros.
- Dificultades presentadas.
- Problemas de los sistemas de comunicación.
- Adecuación de los medios y materiales disponibles.
- Grado de cumplimiento de los objetivos buscados con el ejercicio.
- Fallas del PADE y modificaciones propuestas para la siguiente actualización.

Durante el desarrollo del ejercicio del simulacro, el observador asignado controlará y registrará en este formulario o bitácora todas las acciones que se desarrollen y se pondrá mayor interés en los siguientes aspectos:

- Utilización de los sistemas de comunicación.
- Tiempo de respuesta del personal.
- Comprobación de los sistemas básicos de comunicación y energía.
- Medidas de seguridad y protección personal.
- Adquisición de datos de auscultación.
- Seguimiento y control de los equipos de instrumentación del embalse.

AES Panamá anualmente evaluará el entrenamiento y preparación del personal clave responsable de acciones durante una emergencia, para determinar cuánto saben sobre los diferentes planes de emergencia y acciones requeridas.

Durante el ejercicio de simulación o simulacro se evaluarán los siguientes aspectos: (1) tratará sobre preocupaciones respecto a los contactos telefónicos, (2) evaluará el tiempo para completar

el simulacro e identificará maneras de acortar el tiempo, (3) tratará sobre las pruebas de energía y equipos, (para apertura o cierre, tales como vertederos y otras estructuras hidráulicas de descarga) y (4) indicará si los participantes tenían el PADE más reciente.

Se verificará la efectividad y funcionamiento de sensores automáticos disparándolos manualmente, o bien simulando y dando la alarma en forma verbal.

Además debe verificarse como se manejarán los equipos (para apertura o cierre, tales como vertederos y otras estructuras hidráulicas de descarga) ante alguna de las siguientes posibilidades de Situación de Emergencia en el simulacro:

- Operación del embalse en Situación de Emergencia para el caso de crecida extraordinaria, alertada y verificada a partir del conocimiento del pronóstico con suficiente antelación.
- Cierre automático de los equipos de operación en caso de sismos.
- Apertura automática de elementos de operación del embalse (a anular de inmediato dado que se trata de un simulacro).
- Puesta a salvo del personal de operación de la presa.
- Comunicación de la Situación de Emergencia a las autoridades con jurisdicción aguas abajo de la presa indicando que tipo de emergencia se ha producido, constatando que se desarrolle el operativo de emergencia a cargo de otras Autoridades.
- Verificación que las autoridades mencionadas se encuentren en condiciones de asociar la emergencia con los potenciales efectos determinados en el PADE. Debe verificarse, en principio si las autoridades disponen de un ejemplar del PADE, si alguien lo ha estudiado, si se ha instrumentado su aplicación, y si se han previsto las medidas de mitigación necesarias.

Dentro de los 45 días después del simulacro, el Coordinador del PADE, emitirá un informe del ejercicio del simulacro a la Autoridad Nacional de los Servicios Públicos, detallando todas las incidencias, observaciones, conclusiones, recomendaciones o lecciones aprendidas y oportunidades de mejoras que permitan introducir en los procedimientos de actuación.

11 Actualización del PADE

AES Panamá revisará periódicamente y actualizará todos los aspectos del PADE, que hayan recibidos modificaciones, de acuerdo con el contrato de Concesión de Generación. Se conducirá una revisión completa cada cinco años. Las continuas actualizaciones reflejarán los cambios de

nombres, títulos, números telefónicos, y señales de radio de las personas responsables de tomar acciones durante una emergencia de presa.

La revisión identificará cualquier nuevo desarrollo u otros cambios aguas arriba o aguas abajo los cuales podrían necesitar la modificación del PADE. Si ocurren tales cambios, AES Panamá informará rápidamente al director de la Autoridad Nacional de los Servicios Públicos, determinará en consulta con agencias y otros si las modificaciones son necesarias, y distribuirá cualquier modificación resultante.

Las revisiones serán marcadas con un sello de documento controlado, fechada, y distribuidas a todos los que poseen el plan.

AES Panamá actualizará el PADE, con una periodicidad mínima de un año, particularmente en lo atinente a cambios de personas o entidades con responsabilidad específica, direcciones, números telefónicos, frecuencias e identificaciones de radio y toda otra información crítica para la eficacia de las acciones previstas. De no haber cambios durante el año, AES Panamá enviará a la ASEP una nota notificando que no ha habido cambio alguno.

Los cambios y/o modificaciones dentro del documento serán resaltados y deberán llevar una nota al pie que indique el Número de revisión la fecha y el año, como por ejemplo "Revisión No. Mes/año.

AES Panamá enviará cada cinco años al Director de la Autoridad Nacional de los Servicios Públicos (1) una declaración que el PADE ha sido revisado completamente, (2) la última fecha en que fue aprobado, y (3) cualquier modificación o actualización o una declaración que ninguna fue necesaria.

MAPAS

ANEXOS

ANEXO 3. Procedimiento de Preparación y Respuesta ante Emergencias
Formulario de evaluación de simulaciones y simulacros