



Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Estudios de Postgrado

Maestría en Gestión de Mercados Eléctricos Regulados

**EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA DE LAS INDISPONIBILIDADES DE PRESAS DE
USO HIDROELÉCTRICO Y PROPUESTA DE MEJORA AL MARCO REGULATORIO DE LAS
NORMAS DE SEGURIDAD DE PRESAS DE LA COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA
ELÉCTRICA**

Ing. César Aníbal de León Godínez

Asesorado por el MSc. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque

Guatemala, septiembre de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA DE LAS INDISPONIBILIDADES DE PRESAS DE
USO HIDROELÉCTRICO Y PROPUESTA DE MEJORA AL MARCO REGULATORIO DE LAS
NORMAS DE SEGURIDAD DE PRESAS DE LA COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA
ELÉCTRICA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ING. CÉSAR ANÍBAL DE LEÓN GODÍNEZ

ASESORADO POR EL MSC. ING. JUAN CARLOS FUENTES MONTEPEQUE

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

MAESTRO EN GESTIÓN DE MERCADOS ELÉCTRICOS REGULADOS

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
DIRECTOR	Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Víctor Manuel de León Contreras
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA DE LAS INDISPONIBILIDADES DE PRESAS DE
USO HIDROELÉCTRICO Y PROPUESTA DE MEJORA AL MARCO REGULATORIO DE LAS
NORMAS DE SEGURIDAD DE PRESAS DE LA COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA
ELÉCTRICA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 27 de enero de 2020.

Ing. César Aníbal de León Godínez

LNG.DECANATO.OI.643.2022

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Estudios de Posgrado, al Trabajo de Graduación titulado: **EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA DE LAS INDISPONIBILIDADES DE PRESAS DE USO HIDROELÉCTRICO Y PROPUESTA DE MEJORA AL MARCO REGULATORIO DE LAS NORMAS DE SEGURIDAD DE PRESAS DE LA COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA**, presentado por: **César Aníbal de León Godínez**, que pertenece al programa de Maestría en artes en Gestión de mercados eléctricos regulados después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada

Decana

Guatemala, septiembre de 2022

AACE/gaoc



Guatemala, septiembre de 2022

LNG.EEP.OI.643.2022

En mi calidad de Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del asesor, verificar la aprobación del Coordinador de Maestría y la aprobación del Área de Lingüística al trabajo de graduación titulado:

“EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA DE LAS INDISPONIBILIDADES DE PRESAS DE USO HIDROELÉCTRICO Y PROPUESTA DE MEJORA AL MARCO REGULADORIO DE LAS NORMAS DE SEGURIDAD DE PRESAS DE LA COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA”

presentado por **César Aníbal de León Godínez** correspondiente al programa de **Maestría en artes en Gestión de mercados eléctricos regulados** ; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”

Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director



**Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería**



Guatemala, 28 de septiembre de 2021.

M.Sc. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería USAC
Presente

Estimado Ingeniero Álvarez Cotí:

Por este medio informo que he revisado y aprobado el **INFORME FINAL** del trabajo de graduación titulado: "EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA DE LAS INDISPONIBILIDADES DE PRESAS DE USO HIDROELÉCTRICO Y PROPUESTA DE MEJORA AL MARCO REGULADORIO DE LAS NORMAS DE SEGURIDAD DE PRESAS DE LA COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA" del estudiante **César Aníbal de León Godínez** quien se identifica con número de carné 999001738 del programa de **Maestría en Gestión de Mercados Eléctricos Regulados**.

Con base en la evaluación realizada hago constar que he evaluado la calidad, validez, pertinencia y coherencia de los resultados obtenidos en el trabajo presentado y según lo establecido en el **Normativo de Tesis y Trabajos de Graduación aprobado por Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería Punto Sexto inciso 6.10 del Acta 04-2014 de sesión celebrada el 04 de febrero de 2014**. Por lo cual el trabajo evaluado cuenta con mi aprobación.

Agradeciendo su atención y deseándole éxitos en sus actividades profesionales me suscribo.

Atentamente,


M.Sc. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque
Coordinador
Área de Desarrollo Socio Ambiental y Energético
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería USAC



Guatemala, 29 de octubre 2020.

**Ingeniero M.Sc.
Edgar Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería USAC
Ciudad Universitaria, Zona 12**

Distinguido Ingeniero Álvarez:

Atentamente me dirijo a usted para hacer de su conocimiento que como asesor de trabajo de graduación del estudiante César Aníbal de León Godínez, Carné número 999001738, cuyo título es "**EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA DE LAS INDISPONIBILIDADES DE PRESAS DE USO HIDROELÉCTRICO Y PROPUESTA DE MEJORA AL MARCO REGULATORIO DE LAS NORMAS DE SEGURIDAD DE PRESAS DE LA COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA**", para optar al grado académico de Maestro en Gestión de Mercados Eléctricos Regulados, he procedido a la revisión del mismo.

En tal sentido, en calidad de asesor doy mi anuencia y aprobación para que el estudiante de León Godínez, continúe con los trámites correspondientes.

Sin otro particular, me es grato suscribirme de usted.

Atentamente,


Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque
M.Sc. en Hidrología y Recursos Hidráulicos
Asesor

Ing. Juan Carlos Fuentes M.
M.Sc. Hidrología y Recursos Hidráulicos
Colegiado No. 2,504

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por todas las bendiciones derramadas en mi vida y las de mi familia, manifestando que para cada anhelo hay un determinado tiempo, también por ser fortaleza y sabiduría en esos momentos de tribulación.
- Mis padres** Blanca Elizabeth Godínez Orozco y César Aníbal de León Vásquez (q. d. e. p.) por su cariño, consejos, paciencia y apoyo en todo momento; que el logro que hoy alcanzo sea un aliciente a sus esfuerzos.
- Mis hermanos** Juan Daniel, Patricia Elizabeth, Ingrid Lucrecia, Carlos Roberto y María de los Ángeles de León Godínez, por sus deseos y apoyo incondicional.
- Mi hija** Emily Beatriz de León de León, por ser un motor en mi vida.
- Mi esposa** Daniela Santos, por el cariño, apoyo y comprensión ante todo lo que emprendo.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad San
Carlos de Guatemala**

Por abrirme las puertas y brindarme la oportunidad de optar a educación superior.

Facultad de Ingeniería

Por proveerme de conocimientos y competencias ingenieriles que espero desarrollar y renovar en el tiempo a través del principio de la mejora continua.

**Escuela de Estudios
de Postgrado**

Por permitirme ampliar conocimientos a través del programa de Maestría en Gestión de Mercados Eléctricos Regulados

Mi asesor

Msc. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque, por brindarme su apoyo y confianza durante el desarrollo del trabajo de investigación.

Mis familiares

Por el apoyo brindado y muestras de aprecio a lo largo de mi vida.

**Mis amigos
y compañeros**

Por todos aquellos que me acompañaron y me acompañan en los distintos ámbitos en los que me he desenvuelto, gracias por su estima y confianza.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO.....	XI
RESUMEN.....	XIII
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	XV
OBJETIVOS.....	XIX
INTRODUCCIÓN	XXI
RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO	XXIII
1. MARCO REFERENCIAL.....	1
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Energía hidroeléctrica.....	5
2.1.1. Antecedentes de las hidroeléctricas	6
2.1.2. Clasificación de las centrales hidroeléctricas	9
2.1.3. Proceso de producción de energía hidroeléctrica.	11
2.1.4. Ventajas y desventajas de las centrales hidroeléctricas	12
2.2. Participación de la energía hidráulica en el mercado mayorista eléctrico guatemalteco	13
2.2.1. Capacidad instalada del parque de generación de Guatemala	14
2.2.2. Generalidad de los costos asociados a la generación hidroeléctrica.....	14

2.2.3.	Participación de las hidroeléctricas en la producción de energía.....	16
2.2.4.	Potencial hidroeléctrico en Guatemala.....	17
2.3.	Seguridad de presas de uso hidroeléctrico	20
2.3.1.	Presa.....	20
2.3.2.	Hitos acerca de las presas	21
2.3.3.	Tipología de presas.....	22
2.3.3.1.	Presas de gravedad	22
2.3.3.2.	Presas de materiales sueltos	25
2.3.4.	Estructuras accesorias	26
2.3.5.	Marco regulatorio de seguridad de presas en Guatemala.....	31
2.3.6.	Consideraciones generales para la gestión de seguridad de presas.....	32
2.3.6.1.	Aspectos hidrológicos-hidráulicos	35
2.3.6.2.	Aspectos estructurales	36
2.3.6.3.	Aspectos geológicos-geotécnicos	36
2.3.6.4.	Aspectos de equipamiento, instalaciones, accesos y comunicaciones.....	37
2.3.7.	Consideraciones generales de fallas en presas	38
2.4.	Aspectos relevantes en la generación de energía eléctrica en Guatemala.....	39
2.4.1.	Oferta de energía	39
2.4.2.	Costos variables de generación	39
2.4.3.	Precio spot	40
2.4.4.	Oferta firme y oferta firme eficiente centrales hidroeléctricas	40
2.5.	Disponibilidad e indisponibilidad de centrales de generación..	41

2.5.1.	Coeficiente de disponibilidad	41
2.5.2.	Transacción de desvíos de potencia	42
2.5.3.	Generación forzada	42
3.	DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	43
3.1.	Características del estudio.....	43
3.1.1.	Enfoque del estudio.....	43
3.1.2.	Alcance del estudio.....	43
3.1.3.	Diseño del estudio	44
3.2.	Unidades de análisis.....	44
3.3.	Variables.....	44
3.4.	Fases del estudio.....	46
3.4.1.	Recopilación y revisión de la información.....	46
3.4.2.	Análisis de datos	47
3.4.2.1.	Análisis preliminar de las NSP.....	47
3.4.2.2.	Presas objeto de fiscalización por la NSP	50
3.4.2.3.	Apreciación general de las NSP por las personas que las gestionan (fiscalizados).....	53
3.4.2.4.	Técnicas de análisis de la información ..	60
3.4.3.	Diseño y propuesta de mejoras a la gestión de seguridad de presas	60
4.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	61
4.1.	Medición de la apreciación general de las NSP por las personas que las gestionan (fiscalizados).....	61
4.2.	Análisis cualitativo de las Normas de Seguridad de Presas ...	73
4.3.	Análisis de indisponibilidades relacionadas con presas	75

4.3.1.	Principales causas de indisponibilidad en presas fiscalizadas con base en las NSP	76
4.4.	Propuestas de mejora a la gestión de las NSP	79
4.4.1.	Determinación de las multas por incumplimiento a las NSP	79
4.4.2.	Determinación del instrumento de calificación para profesionales a realizar ESPEAS.....	87
4.4.3.	Determinación de los ingresos no percibidos derivado de indisponibilidades	90
5.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	99
5.1.	Aspectos relevantes de la producción hidroeléctrica.....	99
5.2.	Evaluación de las NSP y propuesta de instrumentos que coadyuven a su gestión	101
5.3.	Variables consideradas para la estimación de los costos por indisponibilidad hidroeléctrica	104
	CONCLUSIONES.....	107
	RECOMENDACIONES	109
	REFERENCIAS.....	111
	ANEXOS.....	115

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Proceso de producción hidroeléctrico	12
2.	Potencial hidroeléctrico en Guatemala.....	14
3.	Costo variable de generación promedio año 2017	16
4.	Producción de energía por tipo de tecnología año 2017	17
5.	Potencial hidroeléctrico en Guatemala.....	19
6.	Presa tipo arco primer modelo	23
7.	Presa tipo arco segundo modelo.....	24
8.	Presa tipo contrafuertes	25
9.	Presa tipo materiales sueltos	26
10.	Esquema general presa y estructuras accesorias.....	27
11.	Formulario aspectos relacionados con las NSP, parte 1.....	55
12.	Gráfico circular, respuesta pregunta 1	62
13.	Gráfico circular, respuestas pregunta 2.....	62
14.	Gráfico circular, respuestas pregunta 3.....	63
15.	Gráfico circular, respuestas pregunta 4.....	63
16.	Gráfico circular, respuestas pregunta 5.....	64
17.	Gráfico circular, respuestas pregunta 6.....	64
18.	Gráfico circular, respuestas pregunta 7.....	65
19.	Gráfico circular, respuestas pregunta 8.....	65
20.	Gráfico de barras, respuestas pregunta 10	69
21.	Gráfico de barras, respuestas pregunta 11	69
22.	Gráfico de barras, respuestas pregunta 12	70
23.	Gráfico circular, respuesta pregunta 13	70
24.	Gráfico circular, respuesta pregunta 14	71

25.	Gráfica circular, respuesta pregunta 15	71
26.	Gráfico circular, respuestas pregunta 16	72
27.	Gráfico circular, respuestas pregunta 17	72
28.	Diagrama causa-efecto, gestión NSP	74
29.	Diagrama de Pareto, indisponibilidades de presas	78
30.	Fórmula 1 para el cálculo de sanciones.....	84
31.	Fórmula 2 para el cálculo de sanciones.....	85
32.	Fórmula 3 para el cálculo de sanciones.....	87
33.	Cálculo del factor de producción.....	93
34.	Cálculo de caudal excedente disponible (iteración 1 de 30)	93
35.	Cálculo de producción diaria (iteración 1 de 30)	94
36.	Cálculo costo no generación (iteración 1 de 30)	94
37.	Cálculo costo desvío de potencia (iteración 1 de 30).....	95
38.	Cálculo costo indisponibilidad diaria (iteración 1 de 30)	95

TABLAS

I.	Hidroeléctricas relevantes, previo a los años noventa	8
II.	Principales hidroeléctricas en Guatemala.....	9
III.	Presas más antiguas en el mundo.....	21
IV.	Tipos de variables.....	45
V.	Presas fiscalizables por la CNEE a través de las NSP	51
VI.	Respuestas pregunta 9.....	66
VII.	Tipos de indisponibilidad.....	75
VIII.	Indisponibilidades más frecuentes	77
IX.	Propuesta de tipificación de incumplimientos NSP	80
X.	Tipos de factores por considerar en el cálculo.....	82

XI.	Calificación de profesionales para optar para realizar ESPEA.....	88
XII.	Elementos por considerar en la valorización de los costos por indisponibilidades.....	90
XIII.	Insumos para cálculo de costo de no generación y costos de indisponibilidad.....	92
XIV.	Determinación de costos de no generación e indisponibilidad.....	96
XV.	Otros posibles costos asociados a la indisponibilidad.....	97

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
GW	Gigavatio
GWh	Gigavatio-hora
kW	Kilovatio
kWh	Kilovatio-hora
m	Metro
MW	Megavatio
MWh	Megavatio-hora
US\$/día	Dólares al día
US\$MWh	Dólares por megavatio-hora

GLOSARIO

AMM	Administrador del Mercado Mayorista. Ente encargado de la operación técnica-comercial del Mercado Mayorista en Guatemala.
CNEE	Comisión Nacional de Energía Eléctrica. Órgano técnico del Ministerio de Energía y Minas que regula el subsector eléctrico guatemalteco.
Embalse	Cuerpo de agua retenido por una o más presas, inclusive sus orillas y bordes y cualquier instalación necesaria para su operación.
Energías renovables	Energía que se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, ya sea por la inmensa cantidad de energía que contienen, o porque son capaces de regenerarse por medios naturales.
Gran usuario	Consumidor de energía cuya demanda de potencia excede cien kilovatios (kw), o el límite inferior fijado por el ministerio en el futuro.
LGE	Ley General de Electricidad.

Matriz energética	Es una radiografía de cómo está balanceado el consumo de energía entre distintas fuentes en un periodo de tiempo.
MEM	Ministerio de Energía y Minas. Órgano del Estado responsable de formular y coordinar las políticas, planes de Estado, programas indicativos relativos al subsector eléctrico y aplicar esta ley y su reglamento para dar cumplimiento a sus obligaciones.
Mercado Mayorista	Conjunto de operaciones de compra y venta de bloques de potencia y energía que se efectúan a corto plazo.
O&M	Operación y mantenimiento.
POE	Precio de oportunidad de la energía o precio <i>spot</i> . Costo marginal de corto plazo de la energía en cada hora, o en el período que defina la Comisión Nacional de Energía Eléctrica.
SNI	Sistema Nacional Interconectado. Toda la infraestructura eléctrica destinada a la prestación del servicio, interconectados o no, dentro del cual se efectúan las diferentes transferencias de energía eléctrica entre diversas regiones del país.
Usuario	Titular o poseedor del bien inmueble que recibe el suministro de energía eléctrica.

RESUMEN

La presente investigación se centró en el análisis del marco regulatorio de seguridad de presas de uso hidroeléctrico en Guatemala, la evaluación económica y la generación de propuesta instrumentos que ayuden al gestionar de las Normas de Seguridad de Presas, tanto para el ente fiscalizador, como para los fiscalizados.

Como punto de partida, se procedió a referir elementos relevantes del proceso de producción de energía hidroeléctrica, como: los distintos tipos de energía que se realizan mediante la utilización del recurso hídrico, la tipología de presas según su construcción, las distintas obras de conducción asociadas a una presa y su función. Guatemala es un país que cuenta con un potencial hidroeléctrico de 6,000 MW de los cuales únicamente se ha explotado un poco menos del 25 % según lo investigado, en contraste a este dato las centrales hidroeléctricas tienen la mayor participación de capacidad instalada en el SIN el cual equivale al 38.28 % lo cual es equivalente a 1,356.31 MW.

Las ventajas de un aprovechamiento hidroeléctrico en nuestro país radican en: la utilización de una fuente renovable como lo es el agua, estas centrales de generación son consideradas como parte de la base del despacho para cubrir la demanda, situación que busca la economía de este, tomando como premisas el orden demérito y el costo marginal.

Infiriendo la importancia de dicha tecnología dentro de la matriz energética guatemalteca y tomando en cuenta que las NSP buscan la preservación de las personas y la infraestructura asociada a las presas, se torna coherente el interés

en evaluar la normativa referida y poder aportar propuestas de herramientas técnico-administrativas para el gestionar de estas.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Contexto general

Las centrales hidroeléctricas están compuestas por un conjunto de infraestructura que contribuye a desarrollar el proceso de generación de energía eléctrica, uno de los principales elementos en que los propietarios y encargados de las centrales hidroeléctricas centran sus esfuerzos en materia de la gestión de mantenimientos y preservación de infraestructura es la casa de máquinas, recinto en el cual es resguardado el grupo turbina-generator.

Descripción del problema

De datos que son publicados por el Administrador del Mercado Mayorista en cuanto a planillas de mantenimiento y programaciones de largo plazo, se puede inferir que lo concerniente al mantenimiento de presas y obras de conducción pasa a un segundo plano, situación que a la vez provoca incumplimiento a las Normas de Seguridad de Presas, normativa que han sido emitidas por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica.

Dicha situación no podría garantizar que el proceso de generación sea efectivo y esté disponible a requerimiento del Administrador del Mercado Mayorista para satisfacer la demanda del suministro al sistema. Por ende, los compromisos contractuales de los agentes generadores y la seguridad de las personas se puedan ver comprometidos.

Con el desarrollo del trabajo de investigación se busca crear instrumentos de apoyo a la gestión de las Normas de Seguridad de Presas, también se busca brindar lineamientos para determinar los costos por inoperatividad a través el análisis de las indisponibilidades a las que podrían estar afectas las hidroeléctricas.

Formulación del problema

A continuación, se describen los cuestionamientos al respecto.

Pregunta central

¿Qué erogaciones y costos están asociados a la no generación hidroeléctrica, derivado incidencias relacionadas con la seguridad de presas?

Preguntas auxiliares

- ¿Cómo ayudan las Normas de Seguridad de Presas a asegurar la producción de energía hidroeléctrica?
- ¿Qué tipo de sanciones realiza la CNEE, a los agentes hidráulicos que no cumplen con medidas de seguridad a presas?
- ¿Cómo se relacionan los costos de no generación y los costos de indisponibilidad para un agente hidroeléctrico y que otros costos podrían estar relacionados?

Delimitación del problema

Las Normas de Seguridad de Presas, son de aplicabilidad permanente a las centrales hidroeléctricas que tengan una presa de por lo menos 2.5 metros de altura mínima y cuya capacidad de embalse sea de por lo menos 30,000 metros cúbicos. Tomando en cuenta la pregunta central y las preguntas auxiliares del numeral anterior y que el presente trabajo se plantea desde el punto propositivo, se espera que en la praxis los agentes generadores hidroeléctricos y la CNEE evalúen e incorporen en el mediano plazo (dos años) la adopción de los resultados de este.

OBJETIVOS

General

Desarrollar un marco referencia que cualquier agente generador hidráulico pueda adoptar para poder valorizar económicamente la falta de producción hidroeléctrica a causa de incidencias relacionadas con seguridad de presas

Específicos

1. Investigar, referir y describir aspectos relevantes de la producción hidroeléctrica.
2. Evaluar las Normas de Seguridad de Presas y proponer instrumentos técnico-administrativos, que puedan coadyuvar a la gestión de estas.
3. Inferir y referir las variables que deben ser consideradas por los agentes generadores hidráulicos en la estimación de los costos por indisponibilidad.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación se basa en evaluar aspectos técnico-económicos en cuanto a la generación hidroeléctrica poco explorados, como lo son las indisponibilidad parciales o totales de centrales hidroeléctricas que pudiesen ser provocados por una reducida o nula atención a la gestión de las Normas de Seguridad de Presas.

Las normas en cuestión fueron emitidas en el año 1999 y sufrieron reformas en el año 2016, de acuerdo con la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (2016), para: “Proveer los fundamentos para regular la seguridad de las presas dedicadas a la generación de energía eléctrica en Guatemala, para garantizar la protección de las personas, sus derechos y bienes” (p.12). En la actualidad no existen datos estadísticos u otro tipo de indicadores que puedan referenciar el cumplimiento y veracidad de dicha normativa, tanto para el ente fiscalizador, como los sujetos fiscalizados.

A través de la realización de la investigación se desarrollarán instrumentos técnico-administrativos que apoyen a la gestión del cumplimiento de las Normas de Seguridad de Presas para el caso de los agentes hidroeléctricos y se aportará un marco referencia optativo para el cual podría propiciar reformas a la normativa en cuestión por parte del ente regulador, las cuales propiciarían mejorar el cumplimiento de las normas en cuestión y agilizar gestiones en pro de centrar esfuerzos en actividades y acciones prioritarias en el que hacer de gestión de seguridad de presas de uso hidroeléctrico.

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

La investigación realizada es de tipo descriptiva, con un enfoque cualitativo-cuantitativo, lo cual permitió analizar coherentemente las variables objetos del estudio y presentar los resultados obtenidos de manera ilustrativa, sintetizada y coloquial, para no tender a confundir a los interesados en la misma.

Una central hidroeléctrica, que no es capaz de trasladar el recurso hídrico desde el punto de captación hacia casa de máquinas para su aprovechamiento, no aporta operativamente al despacho económico, situación que debe ser suplida por el operador del sistema a un costo superior con la finalidad de garantizar el abastecimiento de energía eléctrica y en la medida de su competencia el que no exista racionamiento de esta. Esto último en pro del beneficio común de los usuarios y la población en general.

La seguridad de presas como un conjunto de actividades que buscan la preservación de los distintos recursos con que se realiza e interactúa en el proceso de producción hidroeléctrico, se encuentra regulado en Guatemala por las Normas de Seguridad de Presas, Resolución CNEE-283-2016 de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica. El interés de evaluar la percepción y gestión de la normativa en cuestión se debió al aporte que las centrales de generación hidráulicas a la matriz energética, las cuales son tomadas como base en el despacho hidro-térmico y equivalen al 39.28 % de la potencia efectiva instalada en el SIN, aproximadamente 1,356.31 MW.

Los costos en los que incurren las centrales hidráulicas, derivado de indisponibilidades son sustanciales y podrían no solamente considerar la no

producción de energía. Para los casos de indisponibilidad que pudieran estar asociados con presas y estructuras accesorias, los costos se incrementarían significativamente con base en daños a terceros y penalizaciones que el ente rector pudiese aplicar derivado de incumplimientos a las Normas de Seguridad de Presas.

La retroalimentación respecto a los aspectos normativos de seguridad de presas, se obtuvieron de primera mano, es decir de la población o segmento que es fiscalizado por las NSP. Mediante la preparación de una encuesta electrónica que se hizo llegar a los representantes de los involucrados de la normativa en cuestión y mediante estadística descriptiva se analizaron distintas aristas al respecto, los análisis de causa-efecto y Pareto permitieron sintetizar datos y esquematizarlos de mejor manera.

De las apreciaciones obtenidas se constituyeron tres herramientas de apoyo a la gestión de las NSP, siendo dos posiblemente de interés del ente regulador y una para los fiscalizados. Dichos instrumentos pretenden dar certeza en temas sancionatorios, mejorar tiempos en gestiones de autorización y apoyar a la determinación del costo de oportunidad de la gestión de recursos.

1. MARCO REFERENCIAL

La energía eléctrica en la actualidad juega un papel relevante en el interactuar de las personas, a través de su utilización se prestan servicios y fabrican productos que consumimos en determinado momento. Para su producción se utilizan distintos tipos de tecnologías siendo unas más amigables que otras respecto al medio ambiente.

Las hidroeléctricas o centrales hidráulicas son consideradas pioneras en la producción eléctrica, en concordancia con lo referido por Fundación Solar (2013) expresa que:

La energía hidráulica se refiere al aprovechamiento de la fuerza que tiene el agua, que se obtiene buscando una caída de agua desde cierta altura a un nivel inferior, la que luego se transforma en energía mecánica (a través de la rotación de un eje), con el uso de una rueda hidráulica o turbina. (pp. 8-9)

De acuerdo con International Renewable Energy Agency (2015)

La energía hidroeléctrica existente es uno de los métodos más rentables para generar electricidad. La mayoría de las plantas se construyeron hace mucho tiempo y la inversión inicial para las presas y la infraestructura hidrogeológica han sido amortizadas por su parte. (p.9)

Esto en cuanto proyectos de por lo menos tienen una longevidad de 20 a 25 años, inicialmente sus inversiones son elevadas, pero su alta vida útil que en

promedio es de al menos 50 años, las hacen proyectos bastante rentables y viables, en concordancia con esta entidad después de esta amortización, los costos restantes tienen que ver con la operación y O&M, y el posible reemplazo de componentes de maquinaria después de varias décadas de operación.

La energía eléctrica es trascendente en ciertas actividades y se vuelve prioritario contar con ella, tal es el caso de: salud, alimentación, economía, industria entre otras actividades; es por ello que depender de una sola tecnología para la producción sería insuficiente, se deben tomar en cuenta potenciales contingencias, es por ello que en su normativa aplicable el Administrador del Mercado Mayorista (2000) establece: “la seguridad y el abastecimiento de energía eléctrica del país, tomando en consideración, la coordinación de la operación, el establecimiento de precios de mercado dentro de los requerimientos de calidad de servicio y seguridad” (p.1).

Para poder garantizar la provisión de energía eléctrica, se torna necesario contar principalmente con: las redundancias necesarias, una programación lo más precisa posible y una adecuada gestión de la infraestructura de producción energética. En el caso de las centrales hidroeléctricas en ocasiones los esfuerzos respecto a la seguridad operativa se canalizan a la casa de máquinas y se deja de lado el resto de infraestructura, la cual es relacionada a la presa y estructuras accesorias.

En el pasado, las presas se construían con el único fin de suministrar agua o de regar las tierras, Comisión Internacional de Grandes Presas (2007) refiere que:

Las presas se construyen para responder a objetivos bien precisos, el desarrollo de las civilizaciones ha conllevado el aumento de necesidades

para el suministro de agua, riego, control de avenidas, navegación, calidad del agua, control de sedimentos y energía hidroeléctrica. (p.19)

Organismo Regulador de Seguridad de Presas [ORSEP], (s.f.) refiere que:

La construcción de una presa se ejecuta siguiendo especificaciones técnicas previamente establecidas, donde se determinan, entre otras cosas, los tipos y calidades de los materiales por utilizar, los ensayos de calidad a efectuar, los límites aceptables para ciertos factores y la calidad de las terminaciones.

Lo anterior en cuanto a la etapa previa al primer llenado y puesta en operación de una determinada presa. Cuando una presa es operada de acuerdo con su finalidad, se debe mantener constante vigilancia respecto a su comportamiento, es por ello por lo que se puede inferir que los ingenieros encargados de la inspección de obra son los responsables de supervisar el cumplimiento de esas especificaciones para verificar que tanto los materiales como su colocación respondan a las exigencias del proyecto. (p.21)

Soriano e Ignacio (2008), refieren: “tradicionalmente, la gestión de la seguridad de presas y embalses implica, por un lado, actividades realizadas de forma sistemática y periódica - como las inspecciones ordinarias o el registro de la auscultación y, en definitiva, el cumplimiento de las Normas de Explotación” (pp.105-106).

Las normas y entidades fiscalizadoras ayudan en un cierto grado a mejorar el grado de asertividad respecto a una actividad, en Guatemala en materia de gestión de seguridad de presas la CNEE es quien tiene la atribución

por establecer la normativa aplicable de seguridad de presas, Comisión Nacional de Energía Eléctrica (2016) establece que “las Normas de Seguridad de Presas aplican para las presas con una altura mínima de dos punto cinco metros (2.5 m) y cuya capacidad de almacenaje de agua mínima es de treinta mil metros cúbicos (30,000 m³) y que están conectadas al Sistema Nacional Interconectado” (p.12).

2. MARCO TEÓRICO

En este primer capítulo, se desarrollan las principales nociones de la energía hidroeléctrica o energía hidráulica. Se puntualizan y enfatizan tópicos concernientes a su producción, infraestructura clave para su desarrollo, participación en el subsector eléctrico guatemalteco entre otros aspectos relevantes que se tornan importante conceptualizar, previo al desarrollo concéntrico de la presente tesis.

2.1. Energía hidroeléctrica

Inicialmente se define que la energía eléctrica es producida mediante el conjunto de infraestructura civil y equipamiento hidráulico, mecánico y eléctrico a través del aprovechamiento de un afluente.

Un concepto más elaborado al respecto podría ser lo referido por EPEC Educa (2018) el cual indica:

Es utilizar la energía potencial del agua almacenada y convertirla en energía eléctrica. Esto se realiza a través de un sistema de captación de agua, la cual es conducida a las turbinas. El agua, al pasar por las turbinas a gran velocidad, provoca un movimiento de rotación que finalmente se transforma en energía eléctrica por medio de los generadores. (p.10)

Otros autores definen la energía hidráulica o hidroeléctrica como:

Una central hidroeléctrica de pequeña escala es un conjunto de instalaciones que tienen como objetivo utilizar la energía potencial (asociada a la altura) y cinética (asociada al movimiento) que tiene un río, y transformarla en energía eléctrica. La potencia de una central hidroeléctrica se mide generalmente en kilovatio (kW), megavatio (MW) y gigavatio (GW) que equivale a mil, un millón y mil millones de vatios, respectivamente. (Fundación Solar, 2013, p.12)

Una noción un poco más elaborada y que complementa lo anteriormente descrito sería considerarla como el conjunto de infraestructura ingenieril que utiliza el afluente de uno o varios ríos para generar energía eléctrica. Su funcionamiento está basado en el salto de masas de agua. El agua que cae de un nivel superior a un nivel inferior, la energía potencial se convierte en gravitatoria, consecuentemente a energía cinética por el traslado del agua que se efectúa mediante las obras de conducción, hasta el grupo turbina-generador produciendo finalmente energía mecánica a eléctrica.

La energía producida es suministrada a la red eléctrica de alta y media tensión o distribución mediante un proceso de transformación de voltajes en una subestación periférica a la casa de máquinas.

2.1.1. Antecedentes de las hidroeléctricas

Aprovechar el agua para la producción de energía data de más de 3,000 años en el pasado, con el surgimiento de las primeras ruedas de madera que se utilizaban en molinos, EPEC Educa (2018) refiere:

Los griegos y los romanos las empleaban para moler granos y para elevar el agua por encima del cauce de los ríos para regadío. En el Medioevo, gigantescas ruedas elevadoras impulsaban martillos de hierro.

Desde mediados del siglo XIX, la energía hídrica se convirtió en un factor decisivo para la creciente industrialización. Cuando, en 1866, Werner von Siemens descubrió el principio dínamo eléctrico sentó las bases para la obtención de energía eléctrica. (p.3)

En Guatemala, la producción hidroeléctrica, se inicia en la década de los ochenta.

Al instalarse la primera hidroeléctrica en la finca El Zapote, al norte de la capital. Al año siguiente se forma la Empresa Eléctrica del Sur por empresarios alemanes que instalaron la hidroeléctrica Palín de 732 KW, la cual brindó servicio a los departamentos de Guatemala, Sacatepéquez y Escuintla. (Electricidad Ined Aneño Ency, 2011)

Otras hidroeléctricas que han sido relevantes en desarrollo de energía eléctrica para Guatemala, previo a la promulgación de la Ley General de Electricidad (LGE) son:

Tabla I. **Hidroeléctricas relevantes, previo a los años noventa**

No.	HIDROELÉCTRICA	INICIO DE OPERACIÓN	ÚLTIMA CAPACIDAD INSTALADA RECONOCIDA EN MW	SITUACIÓN ACTUAL
1	Santa María	1927	6.88	En operación
2	El Salto	1932	2.5	En operación
3	Río Hondo	1962	2.4	Inoperante
4	Los Esclavos	1966	14.00	En operación
5	Jurún Marinalá	1966	60.00	En operación
6	El Porvenir	1968	2.28	Inoperante
7	Aguacapa	1982	90.00	En operación
8	Chixoy	1983	300.00	En operación

Fuente: elaboración propia, utilizando datos del MEM.

Después de la difusión de la LGE y la desintegración vertical del Mercado Eléctrico de Guatemala, se propició que el sector privado desarrollara las inversiones necesarias para robustecer la cantidad de proyectos hidroeléctricos y otras tecnologías que conforman actualmente el parque de generación.

Para marzo del año 2019 el Ministerio de Energía y Minas (MEM) contabiliza 34 hidroeléctricas en operación para un total de 1,419.36 MW de capacidad instalada; 10 en construcción para un total de 206.46 MW de capacidad instalada, 13 que no han iniciado construcción para un total de 387.65 MW de capacidad instalada y 6 en trámite de autorización para un total de 211.66 MW de capacidad instalada, los datos referidos corresponden únicamente a centrales hidroeléctricas con capacidad instalada mayor a 5MW.

Del grupo de centrales hidroeléctricas que actualmente están en operación en Guatemala, destacan:

Tabla II. **Principales hidroeléctricas en Guatemala**

No.	HIDROELÉCTRICA	ÚLTIMA CAPACIDAD INSTALADA RECONOCIDA EN MW
1	Chixoy	300.00
2	Renace II (Fase I y II)	186.00
3	Hidro Xacbal	94.00
4	Aguacapa	90.00
5	Proyecto Renace IV	85.00
6	Palo Viejo	85.00
7	Hidro Xacbal Delta	75.00
8	Renace	68.10
9	Jurún Marinalá	60.00
10	Hidroeléctrica El Manantial	52.00

Fuente: elaboración propia, utilizando datos del MEM.

2.1.2. **Clasificación de las centrales hidroeléctricas**

Una clasificación bastante común y acertada respecto a las hidroeléctricas de acuerdo con el área donde se ubican, el tipo de afluente que aprovechan y su capacidad para almacenar agua es:

- Centrales de pasada: el terreno no presenta mucha pendiente o cambio de alturas, regularmente su caudal es constante y casi asegura la producción de energía o realizar la producción de energía en periodos específicos, estas centrales no poseen ninguna capacidad de reservorio o embalse.
- Centrales de embalses: cuentan con una o varias presas que retienen agua de forma natural debido al bloqueo que estas realizan al afluente, en otros casos se construye un embalse artificial en el cual se transfiere el agua que retiene la presa a dicho elemento estructural. En cualquiera de

los casos los embalses ya sea natural o artificial, se encuentran a una distancia y altura apropiada de la casa de máquinas donde se encuentran el grupo turbina-generator y la subestación. El embalse permite que se produzca energía la mayor parte del año. Generalmente estas hidroeléctricas requieren mayores inversiones para su construcción. Las centrales con embalse se pueden subdividir en:

- Centrales a pie de presa: regularmente la casa de máquinas se encuentra anexa o poco distante de la base del pie de la presa, utiliza el agua que es trasladada desde un nivel superior por gravedad hacia el grupo turbina-generator.
- Centrales por derivación: el agua de uno o varios ríos es desviada mediante una pequeña presa y es transportada mediante obras de conducción. Después, llegan hasta un punto en el cual el agua es redireccionada a casa de máquinas a una mayor presión.
- Centrales reversibles (bombeo): centrales que son instaladas o utilizan en sitios donde el agua es un recurso finito o escaso, para ello se instala una presa o embalse que almacena agua que es trasladada mediante una obra de conducción (tubería), desde un punto alto a un punto bajo, punto en el cual se encuentra la casa de máquinas y se realiza el proceso de transformación a energía eléctrica, el agua utilizada es depositada en un segundo embalse y posteriormente mediante un proceso mecánico-eléctrico es devuelta al punto inicial del cual surgió el aprovechamiento.

En Guatemala, por su participación en el parque de generación y Mercado Mayorista, se clasifican:

Según su capacidad de regulación, la capacidad de regulación se refiere a la capacidad del embalse para guardar agua suficiente para generar a plena carga y poder transferirla entre sus periodos comprendidos en el periodo de regulación.

Los parámetros anteriores permiten clasificar las centrales hidráulicas en los siguientes tipos: centrales de capacidad anual, centrales de capacidad mensual, centrales de capacidad semanal, centrales de capacidad diaria centrales de filo de agua. (Administrador del Mercado Mayorista, 2000, pp.28-29)

2.1.3. Proceso de producción de energía hidroeléctrica

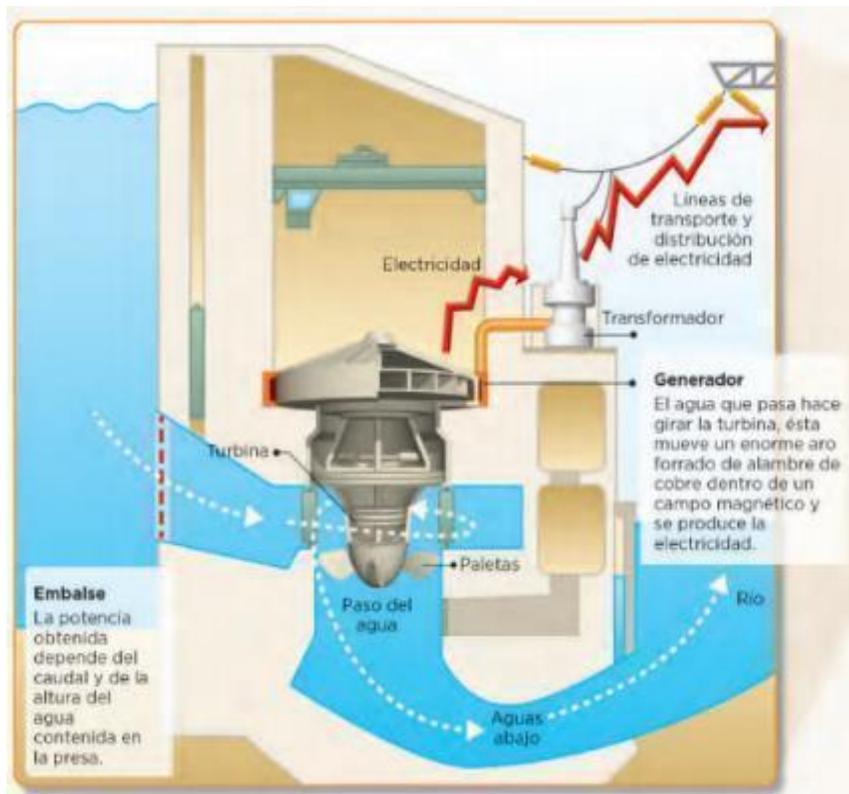
Inicia mediante la acumulación de un volumen de agua, el cual se realiza mediante una presa o un embalse, dicha acumulación es considerada como energía potencial, cuando se desea realizar la producción hidroeléctrica mediante elementos de regulación como compuertas se transfiere el agua a las estructuras de conducción.

Las estructuras de conducción sirven también como elementos de regulación de la velocidad, limpieza o retención de elementos extraños que pudieran llevar el agua y que por ende podrían provocar daños al grupo turbina-generador, dentro de dichos elementos extraños comunes están: basura y lodos. Esto como parte de la seguridad operativa.

Previo que el agua sea admitida y aprovechada por el grupo turbina-generador, comúnmente es precipitada por una tubería de alta presión o forzada, la cual permitirá una mayor aceleración de esta para su mayor aprovechamiento en la producción hidroeléctrica.

Cuando el agua transforma su movimiento cinético a energía mecánica actuando directamente en los álabes del rodete, este a su vez hace girar el generador produciendo energía eléctrica, la cual es suministrada a una red eléctrica. El agua utilizada para producir electricidad es desfogada nuevamente a los ríos o afluentes.

Figura 1. **Proceso de producción hidroeléctrico**



Fuente: ORSEP (s.f.). *Crece junto al dique.*

2.1.4. **Ventajas y desventajas de las centrales hidroeléctricas**

Algunas de las principales ventajas de la energía hidroeléctrica, son:

La hidroelectricidad posee buenos cocientes de entrada-salida de energía y niveles de eficiencia de más del 90 %. Esto proporciona una enorme ventaja sobre otros tipos de centrales eléctricas.

Además, su generación no contamina el agua ni la atmósfera y la larga vida útil de las instalaciones hidroeléctricas, así como su bajo costo de mantenimiento, hablan claramente en favor de generar electricidad a partir del agua. (EPEC Educa, 2018, p.5)

Por otro lado, también hay que considerar las desventajas de la energía hidroeléctrica, dentro de las cuales sobresalen:

Necesita mucha agua y una gran superficie para poder construir los embalses, presas y centrales, lo cual cuesta mucho dinero y tiempo. Por este motivo no suele ser competitiva en lugares donde abundan el petróleo o el carbón. Además, si no se realizan estudios profundos los embalses pueden inundar extensas regiones, destruir hábitats de la vida silvestre, desplazar pobladores y disminuir la fertilización natural de los terrenos agrícolas situados agua abajo de la presa. (EPEC Educa, 2018, p.5)

2.2. Participación de la energía hidráulica en el mercado mayorista eléctrico guatemalteco

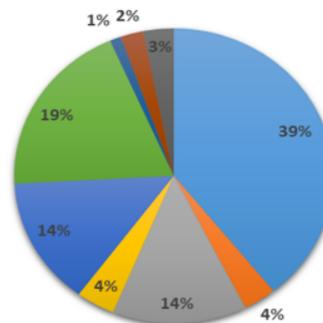
Desde el surgimiento de la energía eléctrica en Guatemala, las hidroeléctricas, han jugado un importante papel, es por ello por lo que en el desarrollo del presente apartado se enfatizaran datos al respecto.

2.2.1. Capacidad instalada del parque de generación de Guatemala

Según el Administrador del Mercado Mayorista (2018) durante el año 2018: “se incorporaron 93.347 MW de generación a la operación del Mercado Mayorista (capacidad instalada efectiva), por Oxec II (57.947 MW), Hidroeléctrica Cholivá (0.700 MW), Mini Hidroeléctrica Hidroxocobil (1.200 MW), Hidroeléctrica Hidrosán I (2.000 MW), Las Cumbres (31.500 MW)” (p.1). La potencia instalada de centrales hidroeléctricas en Guatemala, a finales del año 2018, se incrementó a 1,356.31 MW, dicha situación se esquematiza en la figura siguiente.

Figura 2. **Potencial hidroeléctrico en Guatemala**

PLANTAS GENERADORAS	MW	%
Hidroeléctricas	1,356.31	39
Generador distribuido renovable	114.72	4
Turbinas de vapor	470.78	14
Turbinas de gas	135.81	4
Motores de combustión interna	482.70	14
Ingenios azucareros	667.22	19
Geotérmica	39.28	1
Solar fotovoltaica	80.00	2
Eólicas	106.50	3
TOTAL	3,453.32	100



Fuente: elaboración propia, utilizando datos del AMM.

2.2.2. Generalidad de los costos asociados a la generación hidroeléctrica

En concordancia con la International Renewable Energy Agency (2015)

La energía hidroeléctrica existente es uno de los métodos más rentables para generar electricidad. La mayoría de las plantas se construyeron hace

mucho tiempo y la inversión inicial para las presas y la infraestructura hidrogeológica han sido amortizadas por su parte. (p.9)

Después de dicha amortización, los costos restantes tienen que ver con la O&M, es importante recordar que en promedio la vida útil de una hidroeléctrica es de 50 años, sin costos de reposición sustanciales.

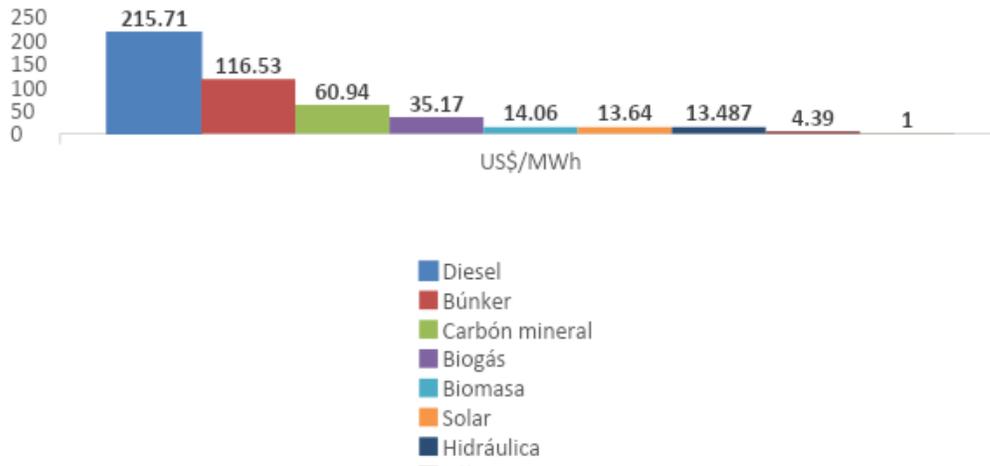
Respecto a la fuente de combustibles para la generación de energía eléctrica International Renewable Energy Agency (2012) refiere: “La naturaleza intensiva en capital de la mayoría de las energías renovables. Tecnologías de generación y el hecho de que los costos de combustible son bajos, o con frecuencia cero” (p.3).

Para el caso específico de Guatemala, los bloques de energía que se definan durante la realización de la programación semanal, el Administrador del Mercado Mayorista (2000), estipula que: “se hará competir las distintas ofertas hidráulicas con la oferta térmica y la oferta de generación con recursos renovables no hidráulicos, según los costos variables de generación correspondientes” (p.35).

El mercado eléctrico mayorista de Guatemala, se considera un mercado de costos, el cual trabaja y opera bajo un despacho económico con base en los costos variables declarados por las centrales de generación.

En la imagen anterior se puede apreciar que complementariamente a lo referido por la International Renewable Energy Agency, las centrales hidráulicas presentan una ventaja competitiva y favorecedora a la demanda de energía:

Figura 3. **Costo variable de generación promedio año 2017**

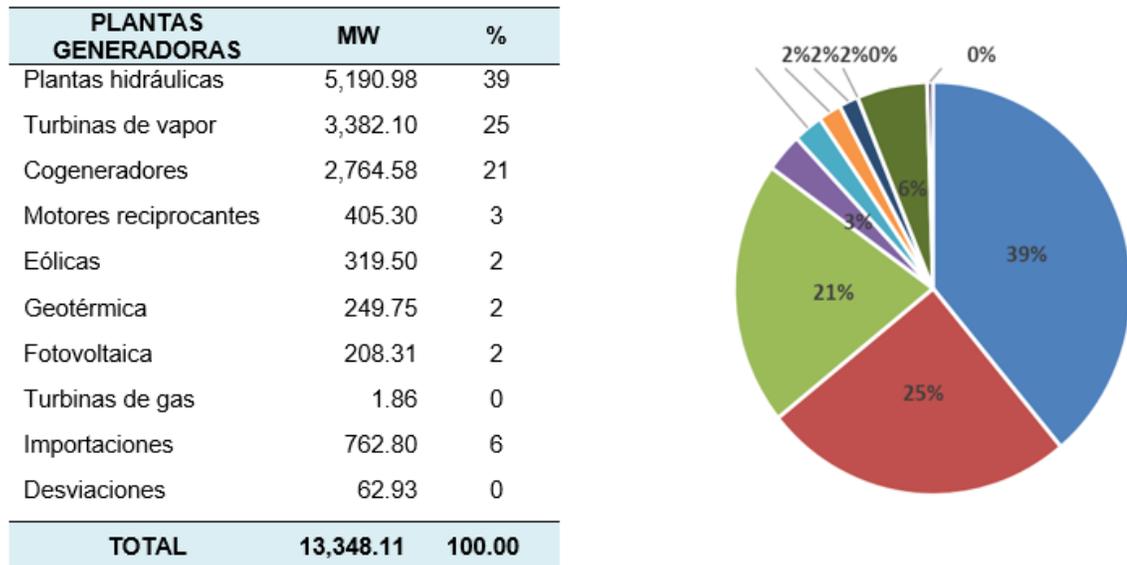


Fuente: elaboración propia, utilizando datos del MEM.

2.2.3. Participación de las hidroeléctricas en la producción de energía

El Administrado del Mercado Mayorista (2018), refirió que, durante ese año, en Guatemala: “La producción total de energía de 13,348.12 GWh, de los cuales 12,522.39 GWh fueron generados localmente y 825.73 GWh corresponde a energía importada del Mercado Eléctrico Regional y de México” (p.1).

Figura 4. Producción de energía por tipo de tecnología año 2017



Fuente: elaboración propia, utilizando datos del AMM.

De lo referido anteriormente se puede inferir que las centrales hidráulicas tienen un gran porcentaje de participación en el Parque de Generación de Energía de Guatemala, misma que se utiliza para abastecer la demanda del Sistema Nacional Interconectado, la cual está compuesta, tanto por demanda industrial (grandes usuarios), como por la demanda residencial (usuarios regulados).

2.2.4. Potencial hidroeléctrico en Guatemala

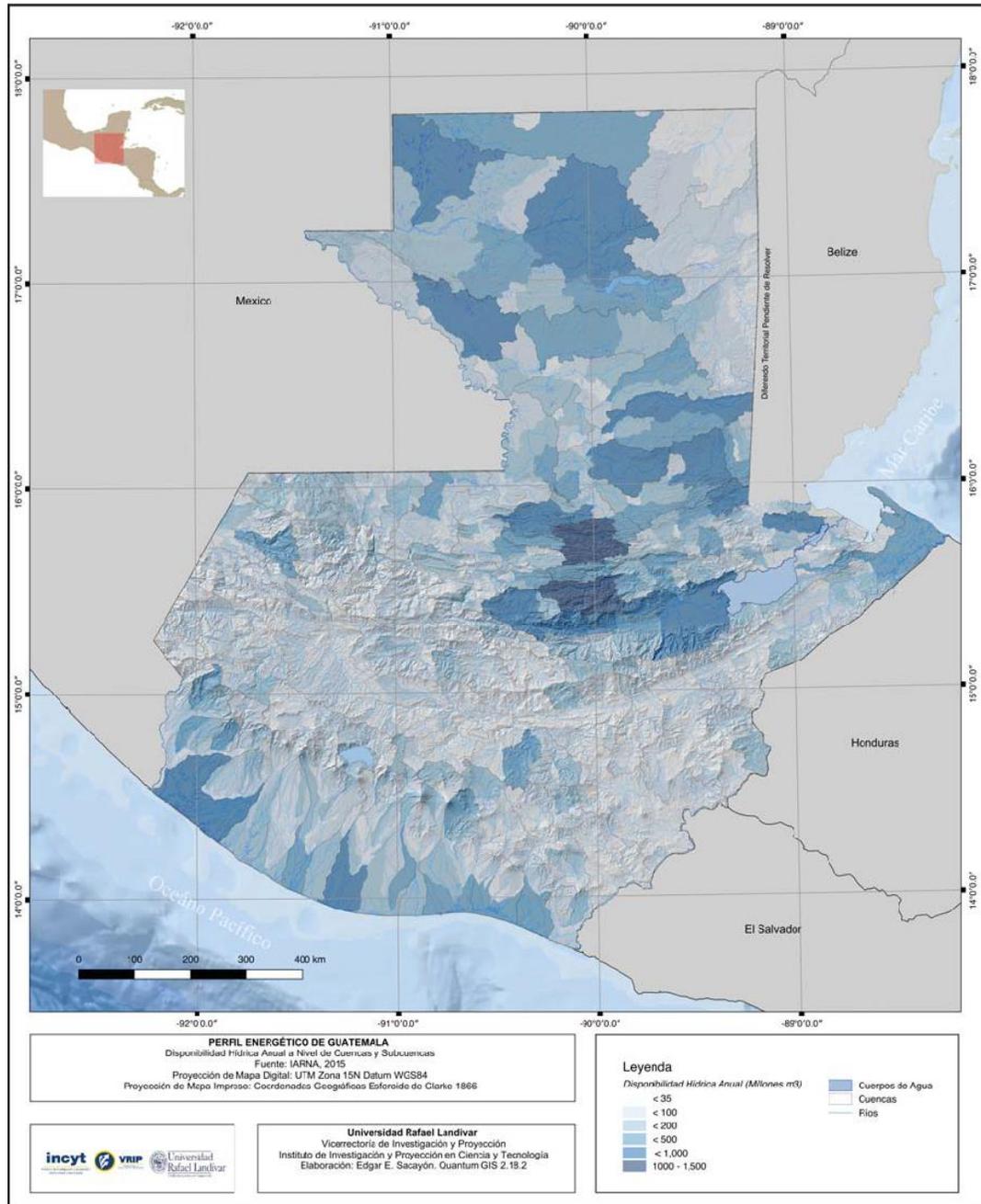
El Ministerio de Energía y Minas (2018) refiere: “Existiendo un potencial aprovechable de 6,000 MW de energía hidroeléctrica, a la fecha solamente se utiliza un 23.1 %” (p.2). Por otro lado:

La disponibilidad hídrica de cuencas y subcuencas, usando el modelo Weap desarrollado por el Iarna. Con base en esto, se estima que el potencial hidroeléctrico de Guatemala es de 6,000 MW. El AMM reporta para el 2016 un total de 1,248.21 MW de potencia de placa instalada; lo cual significa que actualmente se aprovecha el 25 % del potencial hidroeléctrico. (Universidad Rafael Landívar, 2018, p.124)

Por otra parte, Fundación Solar (2013) indica: “se estima que la potencia para generación de energía a través de fuentes hidráulicas es de 5,000 MW, de los cuales solamente se aprovecha el 17 % (853 MW)” (p.7).

Como se puede apreciar en el tiempo, se ha tratado de estimar de mejor manera lo concerniente al potencial hidroeléctrico guatemalteco, lo referido tanto por la Universidad Rafael Landívar, como por el MEM, muestran más alineación. En la siguiente imagen se presenta un mapa representativo al respecto.

Figura 5. **Potencial hidroeléctrico en Guatemala**



Fuente: Universidad Rafael Landívar (2018). *Perfil energético de Guatemala. Bases para el entendimiento del estado actual y tendencias de la energía.*

2.3. Seguridad de presas de uso hidroeléctrico

A continuación, se refieren los elementos más relevantes considerados al respecto.

2.3.1. Presa

Una presa puede definirse como:

Una barrera o una estructura colocada cruzando un curso de agua o de un río para retener el agua y así controlar el caudal. Las presas varían de tamaño, pudiendo ser un pequeño terraplén de tierra, a menudo para el uso de una granja, y otras pueden llegar a ser altas estructuras macizas de hormigón que sirven generalmente para el abastecimiento de agua, la energía hidroeléctrica y el riego. (Comisión Internacional de Grandes Presas, 2007, p.17)

En un ámbito más tropicalizado para el caso de Guatemala, la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (2016), una presa es considerada como: “Barrera artificial emplazada a través del río para la retención o derivación del agua. Comprende el muro, vertedero, descargador de fondo, compuertas, sus respectivos mecanismos de accionamiento y todos los otros bienes complementarios y auxiliares de éstos” (p.10).

De lo referido anteriormente por el ICOLD y la CNEE, se puede inferir que una presa para uso hidroeléctrico es: una estructura diseñada y construida para bloquear el flujo natural de uno o más ríos con la finalidad de constituir una masa de agua (embalse), que será aprovechada para un uso específico, para el presente estudio siendo de interés la producción de energía hidroeléctrica.

2.3.2. Hitos acerca de las presas

Históricamente las presas han jugado un papel importante para el abastecimiento de agua a la cual se le han dado múltiples usos, los cuales a su vez han contribuido en gran medida al desarrollo de comunidades, la Comisión Internacional de Grandes Presas (2007), indica: “Recientes descubrimientos arqueológicos nos muestran que las simples presas de tierra y las redes de canales se remontan a 2000 años antes de Cristo. Proporcionaban a la población la fuente fiable de agua que necesitaban para poder vivir” (p.18).

Los principales usos de dichas presas han sido: el riego para la agricultura en épocas de estiaje o sequía, usos domésticos, consumo humano entre otros, en algunos casos puntuales existen presas cuya longevidad ha superado su tiempo de vida útil, tal es el caso de:

Tabla III. Presas más antiguas en el mundo

No.	PRESA / UBICACIÓN	CAPACIDAD DE EMBALSE	ALTURA	INICIO DE OPERACIÓN
1	Quatinah Barrage / Lago Homs, Siria	90 hm ³	7 m.	284 AD
2	Proserpina / España	4 hm ³	21 m.	Siglo II a. C
3	Cornalvo / España	-	24 m.	Siglo II a. C
4	Kaerumataike / Japón	-	17 m.	162 AD.
5	Kallanai / Grand Anicut, India	-	20 m.	Siglo XNXXnd
6	Sayamaike, Japón	18.5 hm ³	7 m.	Siglo X
7	Manoike Dam, Japón	15.4 hm ³	-	1959 (ultima adaptación)
8	Sadd-e Kobar Dam, Irán	-	10 m.	Siglo X d. C.
9	Tonnur Kere / Moti Talab, India	-	12 m.	Siglo XNXX
10	Almansa, España	3 hm ³	25 m.	1,384

Fuente: elaboración propia, utilizando datos de Quinn.

2.3.3. Tipología de presas

Las presas según su forma de resistencia a los empujes y materiales de construcción se clasifican en:

- Presas de hormigón
 - Arco
 - Gravedad
 - Contrafuerte

- Presas de materiales sueltos

Esta clasificación es reconocida por entidades internacionales expertas en la materia, como: el Comité Nacional Español de Grandes Presas (SPANCOLD), la Comisión Internacional de Grandes Represas (AICOLD) y el Organismo Regulador de Seguridad de Presas (ORSEP), entre otros.

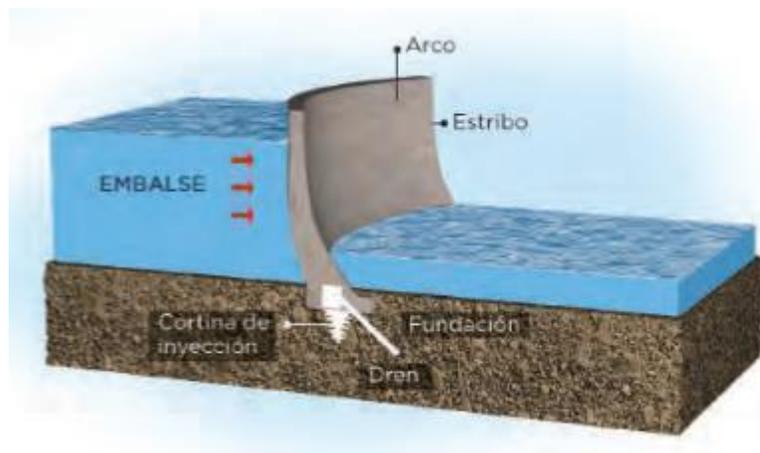
2.3.3.1. Presas de gravedad

Son obras ingenieriles, diseñadas y construidas para soportar fuerzas de empuje en correspondencia al entorno donde son situadas, generalmente áreas no muy estrechas, permite el trasvase de excedentes de agua a mediante su mismo cuerpo.

- Presas de arco: este tipo de presas de hormigón aprovechan el efecto arco para concentrar el empuje del agua sobre su base de apoyo y en los apoyos laterales. Tienen la ventaja de ser muy esbeltas, lo que supone poco volumen de material. Sin embargo, exigen la presencia de roca de

alta resistencia tanto en la base de apoyo como en los apoyos laterales.
(Organismo Regulador de Seguridad de Presas, [ORSEP], s.f.).

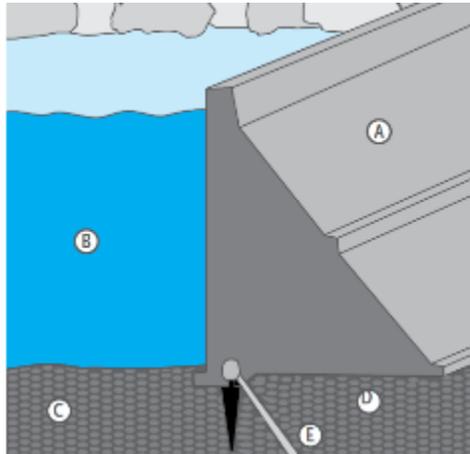
Figura 6. **Presa tipo arco primer modelo**



Fuente: Organismo Regulador de Seguridad de Presas [ORSEP], (s.f.). *Crecer junto al dique.*

- Presas de gravedad: Organismo Regulador de Seguridad de Presas (s.f.) refiere: “son obras de hormigón que resisten el empuje del agua gracias a su considerable peso. La estabilidad al vuelco se consigue ensanchando la base” (p.16).

Figura 7. Presa tipo arco segundo modelo

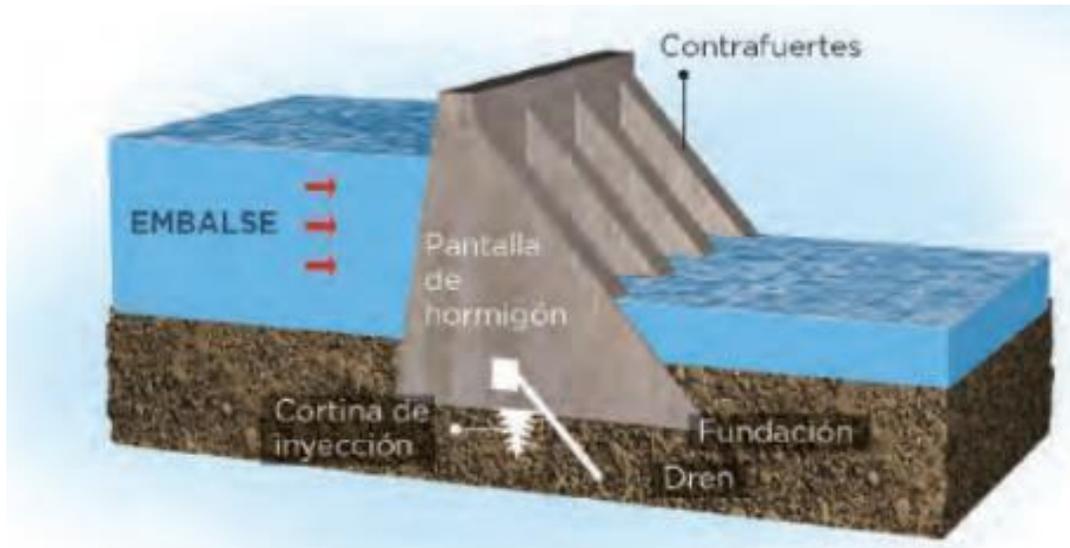


- A) Presa de gravedad.
- B) Embalse.
- C) Cortina de inyección.
- D) Roca de fundación.
- E) Dren.

Fuente: Organismo Regulador de Seguridad de Presas (2010). *Más de 10 años fiscalizando la seguridad estructural y operativa de las presas.*

- Presas de contrafuertes: Organismo Regulador de Seguridad de Presas (s.f.) indica: “son obras de hormigón. Los contrafuertes son las estructuras que resisten el empuje del agua. La impermeabilidad se consigue mediante una pantalla de hormigón sostenida por los contrafuertes” (p.16).

Figura 8. **Presa tipo contrafuertes**



Fuente: Organismo Regulador de Seguridad de Presas (s.f.). *Crecer junto al dique.*

2.3.3.2. **Presas de materiales sueltos**

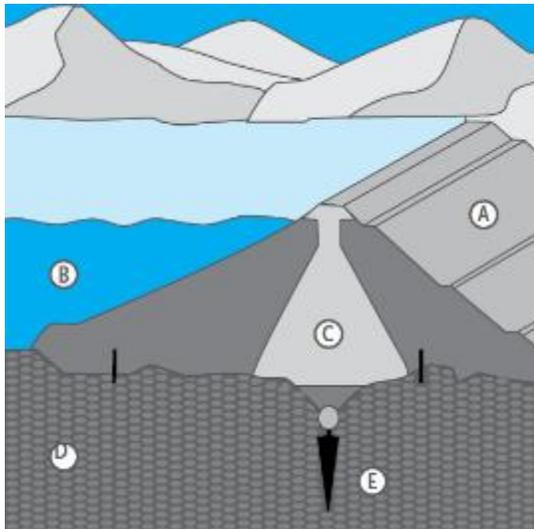
Este tipo de presas, son:

Grandes terraplenes compuestos por piedras, gravas, arenas, limos y arcillas, compactados hasta alcanzar una adecuada consistencia para brindar la impermeabilidad y la solidez necesarias para resistir el empuje del agua. Se utiliza un núcleo de arcilla compactada como barrera impermeable o una pantalla de hormigón. (Organismo Regulador de Seguridad de Presas [ORSEP], s.f., p.16)

Estas presas son construidas en áreas cerradas o encañonadas, para el recubrimiento de su núcleo usualmente se utiliza la misma roca que es extraída del cañón o montaña donde estas presas se sitúan, a diferencia de las presas de

hormigón, estas no deben ser trasvasadas por el agua de su parte posterior a la anterior.

Figura 9. **Presas tipo materiales sueltos**



- A) Presa de materiales sueltos.
- B) Embalse.
- C) Núcleo impermeable.
- D) Roca de fundación.
- E) Cortina de inyección.

Fuente: Organismo Regulador de Seguridad de Presas, (2010). *Más de 10 años fiscalizando la seguridad estructural y operativa de las presas.*

2.3.4. Estructuras accesorias

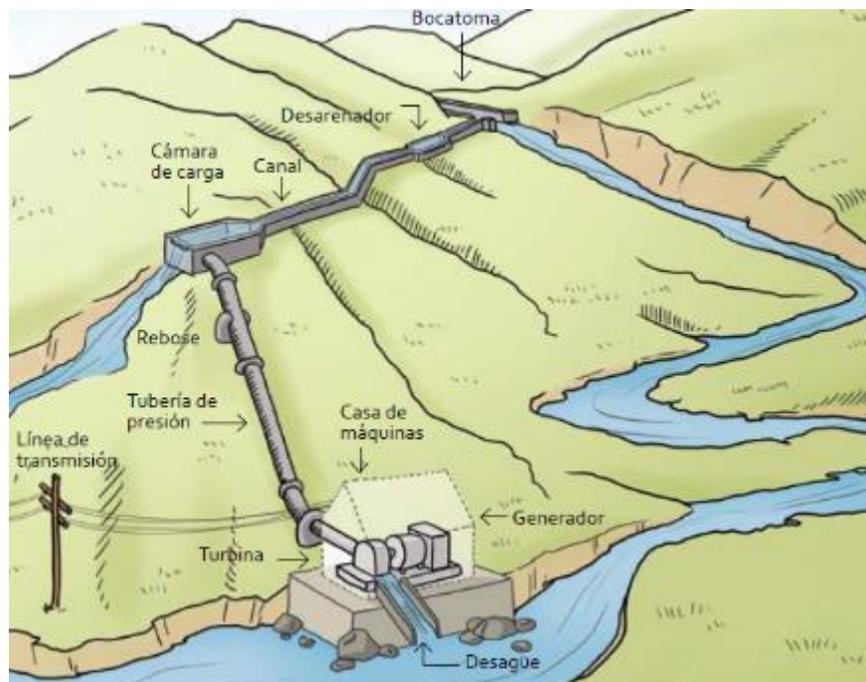
Para el caso de utilización hidroeléctrica:

Son las obras, estructuras y equipos, diferentes a la misma presa. Incluyen, pero no están limitadas a, reservorio; obras de toma-azudes derivadores-; vertederos; canales de conducción y derivación; túneles; descargador de fondo; maras de carga; chimeneas de equilibrios; tuberías de alta y baja presión; cámaras desarenadoras; equipamiento mecánico e hidromecánico. (Comisión Nacional de Energía Eléctrica, 2016, p. 8)

Una forma integral de interpretar lo concerniente a dichos componentes o estructuras anexas a una presa de uso hidroeléctrico sería: es toda aquella infraestructura asociada al proceso de generación hidroeléctrico exceptuando la presa, casa de máquinas y su subestación.

En la imagen inferior se realiza una esquematización de dicha consideración.

Figura 10. **Esquema general presa y estructuras accesorias**



Fuente: Fundación Solar (2013). *Centrales hidroeléctricas de pequeña escala.*

A continuación, se refieren algunos de los componentes más comunes asociados a una central hidráulica:

- Bocatoma: generalmente es una estructura de concreto, la cual esta provista de una reja, mediante la cual el agua es admitida para el inicio del proceso de generación hidroeléctrica.
- Sistemas de comunicaciones: conjunto de dispositivos que son utilizados para dar instrucciones o referencias respecto a las maniobras para realizar en la presa, usualmente son radios con una determinada frecuencia (canal de comunicación), o dispositivos telefónicos móviles.
- Puente grúa: equipo mecánico o mecánico eléctrico que se utiliza generalmente para efectuar mantenimientos, su principal función es el transporte de cargas de gran magnitud a lo largo, ancho y diferentes alturas de la sala de mando de una presa, según el tamaño de esta.
- Sistema limpiarrejas: equipos mecánicos-eléctricos, que constan de un brazo y peine, los cuales conjuntamente cumplen con la función de retirar los residuos sólidos orgánicos e inorgánicos que llegan a bocatoma, con la finalidad que no ingresen al resto de la infraestructura de la hidroeléctrica.
- Grúa de limpieza: de similares características y funciones que el sistema limpiarrejas, estos equipos retiraran sólidos orgánicos e inorgánicos cuyo tamaño sea de gran magnitud.
- Canal de aducción: estructura hidráulica, que se encarga de trasladar el flujo del agua ingresado a través de bocatoma hacia las estructuras desarenadoras, según su diseño pueden variar en canales abiertos o cerrados.

- Desarenador: componente de concreto, que generalmente posee forma trapezoidal, cuenta con compuertas de admisión en ambos extremos y de purga para poder evacuar los sedimentos que son acumulados en su propio fondo. Estos componentes también se encuentran provistos generalmente de barras desestabilizadoras, las cuales reducen la inercia del agua.
- Canal de conducción: al igual que el canal de aducción, este componente traslada el agua que ha sido trasladada desde los desarenadores con el mínimo posible de sedimentos hacia las estructuras restantes de una hidroeléctrica.
- Chimenea de equilibrio: componente que es utilizado para liberar sobrepresiones en el sistema de generación, derivado de crecidas súbitas en los aportes de caudal, por lo general están provistas por válvulas y compuertas.
- Cámaras de carga: estructuras de hormigón que cuentan con compuertas de admisión en ambos extremos, se utilizan como un último elemento regularte de velocidad del flujo de agua previo a que dicha agua sea aprovechada por el grupo turbina-generador.
- Sistema de compuertas: elementos mecánicos o mecánicos-eléctricos cuya principal función es la regulación de la cantidad de flujo de agua que se utiliza en la generación hidroeléctrica y por ende las compuertas deben ser instaladas en las obras de conducción. Según su uso y diseño se pueden clasificar en compuertas: planas, ataguías, radiales, basculantes, vagón entre otros tipos de compuertas. Según el tipo de tecnología que se

utiliza para realizar las maniobras de apertura y cierre, también se pueden clasificar en: manuales o automatizadas.

- Tubería forzada o de alta presión: elementos metalmecánicos de forma tubular que cuentan con una determinada inclinación, para poder precipitar con mayor fuerza la inercia del agua a trasladar a casa de máquinas, los espesores de estos elementos varían según su diseño y son recubiertas con resinas especiales, como protección ante las inclemencias del entorno natural donde han sido situadas.
- Plantas de emergencia o sistema auxiliar de energización: máquina mecánica-eléctrica cuya función es proveer energía eléctrica a los equipos de una presa, dentro de estos se puede mencionar: sistemas de comunicación, limpiarrejas, grúas, puentes grúas, sistemas de compuertas, bancos de baterías entre otros, equipos útiles para brindar continuidad en la operación de una presa de uso hidroeléctrico. Su arranque por lo general se efectúa a través de combustión de diésel o búnker.
- Instrumentación: conjunto de equipos o aparatos que ayudan a monitorear aspectos específicos de una presa, su entorno o de las estructuras de conducción, a instalación de estos equipos aumentan los niveles de la gestión de seguridad de presas, los equipos más comunes pueden ser: estaciones meteorológicas, equipo de medición hidrológica, piezómetros, estaciones totales, sismógrafos, caudalímetros, medidores de expansión de juntas, entre otros instrumentos de auscultación.

2.3.5. Marco regulatorio de seguridad de presas en Guatemala

Este tiene sus orígenes con la desintegración vertical del mercado eléctrico guatemalteco, la creación de la LGE y su reglamento.

Congreso de la República de Guatemala (1996) establece:

Se crea la Comisión Nacional de Energía Eléctrica, en adelante la Comisión, como un órgano técnico del ministerio. La Comisión tendrá independencia funcional para el ejercicio de sus atribuciones y de las siguientes funciones.

Complementariamente, también indica: emitir las normas técnicas relativas al subsector eléctrico y fiscalizar su cumplimiento en congruencia con prácticas internacionales aceptadas. (p.2)

En concordancia con lo referido anteriormente:

Para garantizar la protección de las personas, sus derechos y bienes, la Comisión elaborará las Normas de Seguridad de Presas, las cuales incluirán todos los aspectos de diseño, auscultación, operación de presas, así como las medidas de seguridad operativa y planes de emergencia que resulten necesarias para cumplir estos objetivos. (Congreso de la República de Guatemala, 1997, p.25)

En el año 1999, la CNEE emite la Resolución CNEE-29-99, la cual contenía la primera versión de las NSP, a finales del año 2016, la CNEE emite la Resolución CNEE-283-2016, la cual contiene la segunda versión de las NSP; con dicha reformulación es derogada la resolución CNEE-29-99.

La Resolución CNEE-283-2016 se vuelve más indicativa y orientativa respecto al que hacer en materia de la gestión de seguridad de presas, respecto a la primera versión de las NSP. En dicha resolución se puntualiza la formulación de lo que es considerado un plan de seguridad de presas y los elementos que darán soporte al mismo.

Sin embargo, en el quehacer de seguridad de presas como en todo sistema, la mejora continua debe estar presente y debe ser parte integral en las gestiones y prácticas que disminuyan la probabilidad de riesgo y fallo de las presas de uso hidroeléctrico.

2.3.6. Consideraciones generales para la gestión de seguridad de presas

La gestión de seguridad de presas debe tratar de realizarse de forma integral respecto a la vida útil de las misma, según Soriano e Ignacio (2008) “Un determinado modo de fallo queda descrito cuando se estipula el mecanismo concreto de rotura y los agentes o causas que lo provocan” (p.92).

Al tomar en cuenta que la probabilidad de fallo de las presas es mayor en las fases de primer llenado y fin de su vida útil, es necesario llevar un adecuado plan de seguridad de presas con base en la vigilancia y monitoreo de permanente, es por ello por lo que:

El responsable de la presa debe realizar las siguientes actividades: a) Elaborar un programa de seguridad, que incluya: inspecciones de rutina; inspecciones intermedias; inspecciones especiales; inspecciones extraordinarias; examen de seguridad de la presa y estructuras accesorias (ESPEA); Manual de Operación, Mantenimiento y Vigilancia (MOMV); y

Plan de Preparación ante Emergencias. (Comisión Nacional de Energía Eléctrica, 2016, p.16)

A continuación, se amplían aspectos relacionados con los componentes del plan de seguridad de presa:

- Inspecciones de rutina: son observaciones *in situ*, a lo largo de toda el área de influencia donde se encuentra situada una presa de uso hidroeléctrico, estas inspecciones deben realizarse con una frecuencia determinada, tratado de propiciar que las condiciones de inspección no varíen demasiado entre inspecciones.
- Inspecciones intermedias: normativamente en Guatemala son dos inspecciones semestrales de mayor profundidad que deberán ser realizadas por un grupo ingenieril multidisciplinario.
- Inspecciones extraordinarias: este tipo de evaluaciones se realizan ante eventos emergentes súbitos, los cuales tienen cierto grado de potencial riesgo a la presa o a las personas.
- ESPEA: en términos generales, es una evaluación que debe ser realizada por profesionales de la ingeniería que no pertenezcan al personal de la central hidroeléctrica, lo anterior con la finalidad que los resultados sean objetivos y brinden un panorama del desempeño de las inspecciones realizadas por el personal que, si forma parte del proyecto hidroeléctrico, al igual que en el caso de las inspecciones intermedias debe ser realizado por un grupo multidisciplinario ingenieril.

- MOMV: medularmente es un documento que contiene toda la información técnica concerniente a la infraestructura de la presa y que está relacionada con las medidas de preservación de esta.
- PPE: documento requerido con carácter de obligatoriedad para todo aquel que administra u opera una presa de uso hidroeléctrico, en el contenido debe figurar las contingencias relacionadas a eventos súbitos, tanto para el manejo de la infraestructura asociada a la presa, como posibles medidas de recuperación luego de haberse presentado dichos eventos.

Lo anteriormente descrito con la finalidad de controlar y disminuir los potenciales riesgos asociados a la actividad de las presas, la integridad de las personas, tanto de las que operan en el área de influencia de las plantas de generación hidroeléctrica, como terceros que se sitúan en las periferias de estos, otro factor a considerar debe ser los desabastecimientos o racionamientos de energía que se deriven de eventos emergentes.

De acuerdo con Bueno (2007)

La vulnerabilidad como factor de riesgo interno del sistema expuesto a una amenaza de origen natural, tecnológico o humano debe ser considerada cada vez más en obras constructivas con el objetivo de evitar o minimizar los daños para personas, bienes, servicios y el medioambiente causado.
(p.7)

Para el caso de las presas y la infraestructura asociada a estas se deberán considerar los aspectos de distintas disciplinas de la ingeniería como: hidrología, geología, obra gris, mecánica, eléctrica, hidráulica, geotécnica entre otras.

2.3.6.1. Aspectos hidrológicos-hidráulicos

Estos aspectos contemplan:

La evaluación de la seguridad hidrológica, entendida como la seguridad de una presa frente a episodios de avenida, no puede desligarse de las denominadas seguridad hidráulica y estructural dado que, los niveles de lámina de agua a partir de los cuales se analiza la estabilidad de la presa son consecuencia de: las avenidas consideradas, la capacidad de desagüe, la fiabilidad de operación de válvulas y compuertas, los resguardos establecidos, la estrategia de laminación adoptada. (Soriano e Ignacio, 2008, p.100)

Predecir con exactitud el comportamiento natural de uno o varios ríos, los fenómenos climáticos que influyen en los caudales de aporte a los mismos son difíciles, sin embargo, se torna importante su análisis para tratar de predecir comportamientos y tratar de definir mecanismos de actuar ante potenciales riesgos como.

El colapso de una presa que no ha recibido un mantenimiento adecuado en su obra gris o en sus estructuras accesorias, puede ser provocado por una crecida la cual provocaría una mayor fuerza de empuje al cuerpo de la presa y por ende a la inundación de zonas adyacentes provocando numerosos daños.

Es por ello por lo que todos aquellos instrumentos de medición y alertas tempranas juegan un papel importante en la gestión preventiva de seguridad de presas.

2.3.6.2. Aspectos estructurales

En más de un 70 % un proyecto hidroeléctrico está compuesto por infraestructura civil y obras grises, es por ello por lo que los datos estructurales de mayor relevancia que deben ser revisados a partir de la información contenida en el archivo técnico son:

- Propiedades asumidas para los materiales, cimentación y estribos
- Situaciones de carga previstas en proyecto
- Métodos de análisis que se emplearon en su momento
- Datos de auscultación del comportamiento (medidores de filtraciones, piezómetros, péndulos, extensómetros, termómetros, entre otros).

Las inspecciones presenciales en todas las estructuras civiles serán de vital importancia y el apoyo en la tecnología coadyuvará a detectar potenciales fallas en dichos elementos como: fisuras, grietas, disgregaciones de concreto, deformaciones de hormigón, entre otros.

El comportamiento estructural debe ser documentado y resguardado adecuadamente, esto con la finalidad de poder generar un histórico de aquellos aspectos que ameriten un seguimiento y tratamiento especial.

2.3.6.3. Aspectos geológicos-geotécnicos

En general las presas de uso hidroeléctrico están situadas en áreas encañonadas, de topografías irregulares y zonas naturales que en el tiempo pueden ser cambiantes, las estructuras accesorias no son la excepción, estas también pueden estar instaladas en entornos parecidos es por ello por lo que

resulta necesario realizar, con carácter general y previo, una evaluación del archivo técnico de la presa en lo relativos a los siguientes aspectos:

- Estudios geológicos geotécnicos del proyecto.
- Cartografía geológica de las excavaciones.
- Ensayos de comprobación durante la construcción.
- Descripción de los tratamientos del cimiento.
- Documentación geológico-geotécnica de posibles modificaciones del proyecto.
- Comportamiento del cimiento durante la puesta en carga.
- Reconocimientos del terreno posconstrucción.

Desde un punto de vista complementario a las inspecciones presenciales, el análisis del entorno en las cuales están situadas las presas y estructuras accesorias es importante en busca de potenciales cambios que podrían ser tomados como potenciales riesgos como: deslizamientos, socavaciones, tubificaciones, erosiones, asentamientos, entre otros aspectos.

Para los cambios o potenciales riesgos geológicos-geotécnicos, se deberá buscar una medida mitigatoria adecuada.

2.3.6.4. Aspectos de equipamiento, instalaciones, accesos y comunicaciones

Los equipos electromecánicos asociados a las presas y estructuras accesorias no pueden ser excepción a la gestión de seguridad de presas, esto debido a que la falta de certeza en el buen funcionamiento de estos puede provocar daños a otros componentes.

Los sistemas de limpieza mecánicos de presa, compuertas, tuberías y equipos especiales como plantas de emergencia y sistemas de comunicación deben ser puestos a prueba constantemente y debe existir un registro de sus intervenciones de mantenimiento al igual que los respectivos procedimientos o instructivos de operación.

2.3.7. Consideraciones generales de fallas en presas

De acuerdo con que el desbordamiento de una presa es a menudo un precursor de la falla de la presa. El desbordamiento puede deberse a un diseño inadecuado del vertedero, el bloqueo de escombros de los vertederos o el asentamiento de la cresta de la presa. (Comisión Internacional de Grandes Presas, s.f.)

En otra arista, también se conociera que existen factores naturales que deben ser considerados y que en el mediano o largo plazo atentan contra la integridad de las presas y estructuras accesorias como: movimientos verticales, erosiones, agrietamientos, filtraciones, excesivo crecimiento de vegetación; que de no ser atendidos de forma integral de manera temprana podrían provocar el cese parcial o total de operaciones de una hidroeléctrica.

También se refiere que: “Las otras causas de fallas en la presa incluyen la falla estructural de los materiales utilizados en la construcción de la presa y el mantenimiento inadecuado” (Comisión Internacional de Grandes Presas, s.f. Párr. 1). Siendo este un tópico importante debido a que no se puede intentar homologar procesos y procedimientos constructivos de edificaciones rurales a este tipo de obras.

2.4. Aspectos relevantes en la generación de energía eléctrica en Guatemala

Estos están relacionados con las normas comerciales del AMM, en cumplimiento y apego al mercado mayorista guatemalteco.

2.4.1. Oferta de energía

El concepto normado, indica:

Cada unidad generadora de los participantes productores a la máxima potencia neta – descontados sus consumos internos - capaz de producir, en función de sus características técnicas, su potencia máxima y disponibilidad, teniendo en cuenta las restricciones propias de la central o de su sistema de transmisión asociado. La suma de la oferta firme de todas las unidades generadoras de un participante productor se denomina oferta firme total [OFT]. (Administrador del Mercado Mayorista, 2001, p.1)

2.4.2. Costos variables de generación

Estos costos están asociados al combustible, la operación y al mantenimiento, la metodología de cálculo de costos variables de generación en apego a lo establecido por el AMM:

No podrá ser modificada durante el año y será función de parámetros que afectan los costos de producción. La metodología declarada deberá ser expresada como una fórmula y deberá incluir todas las explicaciones correspondientes, incluyendo las condiciones en las que pueden variar los parámetros distintos al costo de combustible, expresados en la fórmula de

cálculo declarada en la metodología, para que el AMM pueda realizar los cálculos. (Administrador del Mercado Mayorista, 2000, p.4)

2.4.3. Precio spot

También conocido como precio de oportunidad de la energía (POE) en el Mercado Mayorista de Guatemala:

Costo marginal de corto plazo de la energía en cada hora, definido como el costo en que incurre el sistema eléctrico para suministrar un kilovatio-hora (kWh) adicional de energía a un determinado nivel de demanda de potencia y considerando el parque de generación y transmisión efectivamente disponible. (Administrador del Mercado Mayorista, 2000, p.1)

2.4.4. Oferta firme y oferta firme eficiente centrales hidroeléctricas

En concordancia con el AMM se denomina, como oferta firme (OF):

De cada unidad generadora de los participantes productores a la máxima potencia neta – descontados sus consumos internos - capaz de producir, en función de sus características técnicas, su potencia máxima y disponibilidad, teniendo en cuenta las restricciones propias de la central o de su sistema de transmisión asociado. La suma de la oferta firme de todas las unidades generadoras de un participante productor se denomina oferta firme total [OFT]. (Administrador del Mercado Mayorista, 2001, p.1)

La oferta firme eficiente, según lo establecido por el Administrador del Mercado Mayorista (2001) se define como: “la cantidad máxima de potencia de una unidad, central generadora o transacción internacional que puede comprometerse en contratos para cubrir la demanda firme” (p.5).

2.5. Disponibilidad e indisponibilidad de centrales de generación

La disponibilidad de las centrales es atribuible por el AMM cuando una determinada planta es convocada a generar y suministrar energía a la red eléctrica y es capaz de cumplir con dicho requerimiento.

Por otro lado, el AMM tipifica los estados de indisponibilidad como: mantenimiento programado, degradación de capacidad, mantenimiento programado con degradación, causa externa, disparo de unidad, excedente de mantenimiento, falla al ser convocado, mantenimiento no programado y salida forzada.

2.5.1. Coeficiente de disponibilidad

Valor adimensional expresado en porcentaje (%), el cual es indicativo para la asignación de la oferta firme y oferta firme eficiente, en concordancia con

Administrador del Mercado Mayorista (2001) se define:

Con un programa de cómputo generará las órdenes de prueba que aseguren un procedimiento objetivo e imparcial de la prueba de la disponibilidad de cada central o unidad generadora de cada participante productor. Este programa debe estar basado en un algoritmo de muestreo estadístico. (p.14)

2.5.2. Transacción de desvíos de potencia

En términos generales se puede decir que son los saldos a favor o saldos que deben sufragar los participantes del Mercado Mayorista, derivado de las operaciones comerciales que se realizan en el mismo y que serán definidos por el AMM, como resultados mensuales de despacho.

Lo anterior en concordancia a lo estipulado por Administrador del Mercado Mayorista (2001) “Es el conjunto de intercambios en el Mercado Mayorista, que resulta de los excedentes o faltantes de potencia comprometida en contratos entre sus participantes” (p.1).

2.5.3. Generación forzada

De acuerdo con Administrador del Mercado Mayorista (2001) se define como:

Energía producida por una unidad generadora requerida para operar por razones distintas a su costo variable de generación. No se considerará forzada a la generación hidroeléctrica que se ocasiona por requerimientos de aguas abajo y por necesidad de mantener niveles máximos de embalse o para evitar vertimientos. (p.2)

3. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

En el desarrollo del presente capítulo se caracteriza los preceptos conceptualizados con que se llevó a cabo la investigación.

3.1. Características del estudio

El enfoque, alcance y diseño del estudio fueron abordados bajo las siguientes consideraciones.

3.1.1. Enfoque del estudio

El enfoque de la presente investigación es cualitativo-cuantitativo es decir mixto, esto debido a que se inicia evaluando aspectos cualitativos respecto al cumplimiento y gestión de las NSP y tipos de indisponibilidades de las centrales hidráulicas relacionadas con la infraestructura asociada a la presa, lo cual permite ahondar en los discernimientos cuantitativos que relacionan la energía eléctrica y los montos pecuniarios en los que se incurren por los distintos tipos de indisponibilidad de las centrales hidráulicas.

3.1.2. Alcance del estudio

El alcance de la presente investigación es descriptivo, dado que se realizó con el objetivo principal de desarrollar un marco referencia que cualquier agente generador hidráulico pueda adoptar para poder valorizar tanto técnicamente como económicamente la falta de producción hidroeléctrica por la falta de buenas prácticas en materia de seguridad de presas.

3.1.3. Diseño del estudio

La investigación se basó en un diseño de tipo no experimental, debido a que el análisis técnico-económico de las indisponibilidades de presas de uso hidroeléctrico, se apegó al marco normativo actual que aplique tanto del ente operador como el ente regulador del subsector eléctrico en Guatemala, determinando y proponiendo mejoras a las Normas de Seguridad de Presas, en busca de mejorar la gestión de seguridad de presas.

3.2. Unidades de análisis

Para el desarrollo de la investigación se tomó en cuenta toda la población objetivo, es decir las 39 presas que se identificaron que son objeto de fiscalización por las Normas de Seguridad de Presas, que son fiscalizables por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica.

3.3. Variables

Las variables utilizadas en la investigación se listan y describen en la siguiente tabla.

Tabla IV. Tipos de variables

VARIABLE	TIPO DE VARIABLE	DEFINICIÓN TEÓRICA	DEFINICIÓN OPERATIVA
Eventos de indisponibilidad relacionados con la infraestructura de presas	Cualitativa	Tipo de evento que provoca la inoperatividad de una central hidroeléctrica y que no está relacionado con la casa de máquinas o con la red eléctrica a la cual se conecta la central de generación.	<ul style="list-style-type: none"> ● Eventos de crecida ● Arrastre de sedimento ● Obstrucción por acumulación de basura ● Daño estructural ● Sismos ● Incendios ● Derrumbes de taludes ● Otro
Tiempo indisponible por evento	Cuantitativa	Tiempo en el cual no existe producción de energía eléctrica por parte de una unidad de generación o por una central de generación, los tipos de Indisponibilidad son: mantenimiento programado, degradación de capacidad, mantenimiento programado con degradación, causa externa, disparo de unidad, extensión de mantenimiento, falla al ser convocado, mantenimiento no programado y salida forzada.	Horas (Hrs.)
Caudal de aprovechamiento hidráulico	Cuantitativa	Volumen de agua que circula por el cauce de un río en un lugar y tiempo determinados	m ³ /s
Megavatios por hora	Cuantitativa	Energía eléctrica producida en un tiempo determinado.	MWh
Quetzales por megavatios hora	Cuantitativa	Monto pecuniario que se percibe o eroga por la producción de energía eléctrica.	QMWh

Fuente: elaboración propia.

3.4. Fases del estudio

La investigación se acota en tres fases, las cuales se realizaron de forma secuencial y sistémica, siendo estas:

- Recopilación y revisión de la información
- Análisis de datos
- Diseño y propuesta de mejoras a la gestión de seguridad de presas las actividades que conllevó la realización de cada fase también se desarrollaron de forma secuencial, en los siguientes sub numerales se amplía al respecto.

3.4.1. Recopilación y revisión de la información

En esta etapa se procedió a compilar documentación relacionada a la temática de investigación, siendo de interés principal, lo concerniente a: el proceso e infraestructura asociada a la generación hidroeléctrica, participación de la energía hidroeléctrica en Guatemala, seguridad de presas y su regulación.

Las principales referencias documentales consideradas como fuente de consulta fueron: las Normas de Seguridad de Presas, Resolución CNEE 283-2016, la Ley General de Electricidad, Decreto No. 93-96, libros, artículos académicos, artículos científicos y otros documentos publicados en sitios web oficiales de la CNEE y el AMM.

La información documental recabada y analizada permitió tener una visión más amplia en cuanto al hacer y gestionar que conlleva las NSP para los agentes hidráulicos sujetos al cumplimiento de dicha normativa, así mismo permitió avizorar en cuanto al tema cualitativo de la investigación algunos de los

elementos que podrían enriquecer la normativa en cuestión. En cuanto al tema cuantitativo que relaciona la parte de la determinación los costos por indisponibilidad las normas emitidas al respecto por el AMM orientan a la consideración de las variables adecuadas para la determinación de estos.

3.4.2. Análisis de datos

Este proceso se realizó durante el segundo cuatrimestre del año 2020, para su ejecución se tomaron en cuenta las herramientas, condiciones y restricciones que ha permitido sobrellevar lo relacionado a la emergencia sanitaria global derivada de la pandemia COVID-19.

Durante el desarrollo del capítulo 2 se pudo apreciar que un porcentaje relevante en la composición de la matriz energética de Guatemala es el aportado por las centrales hidroeléctricas, mismas que son tomadas como parte de la base del despacho económico de Guatemala por el AMM. Este tipo de centrales de generación son reguladas desde distintas aristas técnicas-operativas, para la presente investigación se analizará lo relacionado a las NSP.

3.4.2.1. Análisis preliminar de las NSP

Toda normativa es formulada con el espíritu de contar con lineamientos lo más precisos posibles o la mayor certeza en cuanto a regular una determinada actividad o grupo asociado a la misma. Los temas normativos no deben ser estáticos debido a que las personas, actividades y el mundo en general están sujetas a cambios continuos.

Se procedió a verificar el contenido de las NSP, a continuación, se hace referencia a las consideraciones particulares observadas del discernimiento preliminar:

- Las NSP contiene 56 artículos. No se identificó que existan directrices precisas o involucramiento en cuanto al programa de ejecución de las obras, reglas de manejo del agua y otros aspectos técnicos que deberían ser vinculantes al cumplimiento de las NSP en la fase de autorización de los proyectos hidráulicos, lo cual debería tener concordancia respecto al Artículo 14. Centrales hidroeléctricas y Artículo 15. Mecanismo de Concurso, de la Ley General de Electricidad. En contraste a lo anterior, se identificó una serie de lineamientos en los Artículos 8 y 9 de las NSP para realizar lo correspondiente a la transferencia de la propiedad y el retiro de servicio de una determinada presa respectivamente.
- En relación con el Artículo 2. Definiciones, de las NSP, se hace alusión al perímetro de aprovechamiento el cual debería estar definido en la autorización de uso de bienes de dominio público y reconocida por la CNEE, sin embargo, se identificó que lo que refiere la autorización de uso de bienes de dominio público es una cota máxima y mínima de operación.
- El Artículo 4. Alcance y aplicación, de las NSP refiere que una presa será objeto de fiscalización si cumple con las características mínimas de altura y capacidad de embalse de agua, las cuales fueron fijadas por la CNEE en 2.5 m. y 30,000 m³ respectivamente. Países como El Perú, Argentina y España, según su respectiva normativa y reglamento, refieren que las presas deberían ser objeto de fiscalización con valores mínimos de altura y capacidad de embalse iguales a 5 m. y 500,000 m³ no importando su actividad o finalidad para la cual fue construida, es decir dichas normativas

son inclusivas, no son limitativas al uso hidroeléctrico y la fiscalización es realizada por un ente técnico cuya competencia es exclusiva en la temática.

- El Artículo 5. Responsabilidades y obligaciones del responsable de la presa, es clave y específico en cuanto al tiempo y materia por realizar por los agentes hidráulicos en cumplimiento y gestión de las NSP las cuales fiscaliza la CNEE.
- El Artículo 6. Responsabilidades de la CNEE, tipifica los compromisos en tiempo y materia de la fiscalización y resolución de solicitudes planteadas que debe desarrollar la CNEE, sin embargo, las NSP no especifica quien será el ente que velará que la misma CNEE no sea infractora al respecto.
- El Título III. Inspección es de Seguridad, de las NSP que está conformado por los artículos del 12 al 18, en general es específico en cuanto al actuar, tanto de la CNEE, como de los fiscalizados en gestión de la normativa.
- El Título IV. Examen de seguridad de la presa, de las NSP que está conformado por los Artículos del 19 al 35, en general es específico en cuanto al actuar, tanto de la CNEE y los fiscalizados en gestión de la normativa, sin embargo, se consideró que el Artículo 34. Autorización del examinador, puede ser una oportunidad de mejora en cuanto a su gestión.
- Respecto al Título V. Manual de Operación Mantenimiento y Vigilancia (MOMV), de las NSP que está conformado por los artículos del 36 al 47 en general es específico en cuanto al actuar, tanto de la CNEE y los fiscalizados en gestión de la normativa, se consideró que lo concerniente

al Artículo 42. Pronóstico de inundaciones, por su naturaleza preventiva debería estar agrupado en el Título VI. Preparación ante emergencias.

- El Título VI. Preparación ante emergencias, de las NSP que está conformado por los artículos del 48 al 52 en general es específico en cuanto al actuar tanto de la CNEE y los fiscalizados en gestión de la normativa, se consideró que lo concerniente al Artículo 52. Estudios básicos, por su naturaleza debería estar agrupado en el Título IV. Examen de seguridad de la presa.
- El Título VII. Disposiciones finales, de las NSP que está conformado por los Artículos del 53 al 56 en general es específico en cuanto al actuar tanto de la CNEE y los fiscalizados en gestión de la normativa, se considera que el Artículo 54. Competencia de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica, es ambiguo en cuanto al proceder sancionatorio, aunque este proceder deberá estar alineado o ceñido a lo contemplado en el Artículo 80 de la Ley General de Electricidad no se considera que exista certeza en cuanto a que las sanciones no sean impuestas de forma arbitraria, derivado que el rango sancionatorio de Kw/h es demasiado amplio y oscila entre los 10,000 – 1,000,000 Kwh. Por otro lado, no se contempla algún mecanismo para que la resolución de casos no previstos por las CNEE en las NSP se vuelva precedente para posibles casos análogos.

3.4.2.2. Presas objeto de fiscalización por la NSP

Con base en información publicada en el sitio web oficial de la CNEE, se procedió a definir una base de datos relacionada a las presas que son objeto de fiscalización, esto con la finalidad de conocer un poco más respecto a la tipología de estas y algunas características técnicas particulares de las centrales

hidroeléctricas asociadas a dichas presas, la tabla V denota lo referido. Presas que son fiscalizadas por las NSP de la CNEE.

Tabla V. Presas fiscalizables por la CNEE a través de las NSP

No.	PRESA	CLASIFICACIÓN DE LA PRESA	UBICACIÓN	INICIO DE OPERACIÓN	TIPO DE PRESA	USO DE LA PRESA/EMBALSE	ALTURA DE PRESA (M)	VOLUMEN ALMACENADO DE AGUA (M3)
1	Agua Caliente	Alta consecuencia	Santa Rosa, Pueblo Nuevo Viñas	1982	Concreto estructural – Gravedad	Embalse regulación diaria	28.20	300,000.00
2	Chichaic	Alta consecuencia	Alta Verapaz, Cobán	1979	Concreto estructural – gravedad	Embalse regulación diaria	5.00	36,000.00
3	Compuertas de Amatitlán	Alta consecuencia	Guatemala, Amatitlán	1970	Concreto estructural – gravedad	Embalse regulación anual	6.50	27,220,000.00
4	El Cafetal	Muy alta consecuencia	Baja Verapaz, Purulhá	2016	Concreto estructural – gravedad	Embalse de regulación diaria	8.50	57,517.76
5	El Canadá	Baja consecuencia	Quetzaltenango, Zunil	2003	Concreto estructural – gravedad	Derivación de caudal	4.80	188,000.00
6	El Capulín	Muy baja consecuencia	Escuintla, Siquinalá	1905	Concreto estructural – gravedad	Embalse regulación diaria	8.80	11,935.00
7	El Cóbano	Muy alta consecuencia	Escuintla, Guanagazapa	2015	Presa de gravedad construida en concreto armado	Embalse de agua para generación de energía eléctrica	22.00	980,000.00
8	El Porvenir	Muy alta consecuencia	San Marcos, San Pablo	1988	Concreto estructural – gravedad	Embalse regulación diaria	4.10	7,000.00
9	El Recreo	Baja consecuencia	Quetzaltenango, El Palmar	2007	Bases de hormigón y compuertas semicirculares de acero tipo abatibles	Derivación de caudal	6.00	32,000.00
10	El Recreo II	Muy consecuencia	Retalhuleu, San Felipe	2016	Cámara de carga o compensación	Compensación para regulación diaria	12.00	26,783.00
11	El Salto	Baja consecuencia	Escuintla, Escuintla	1905	Concreto estructural – gravedad	Embalse regulación diaria	3.80	60,000.00
12	Embalse Santa Rosalía	Baja consecuencia	Zacapa, Río Hondo	2000	Concreto estructural – gravedad	Embalse regulación diaria	8.84	70,000.00
13	Jurún Marinalá	Alta consecuencia	Escuintla, Palín	1970	Concreto estructural – gravedad	Embalse regulación diaria	20.25	112,000.00
14	La Libertad	Muy alta consecuencia	Quetzaltenango, Colomba	2016	Gravedad de concreto	Para generación eléctrica	20.00	72,981.00
15	La Perla	Alta consecuencia	Alta Verapaz, San Miguel Tucurú	2011	Concreto estructural – gravedad	Embalse regulación diaria	6.50	44,454.00
16	Las Fuentes II	Baja consecuencia	Retalhuleu, San Felipe	2016	Suelo estabilizado con cemento	Embalse de regulación diaria	–	60,762.00
17	Las Vacas	Baja consecuencia	Guatemala, Chinautla	2002	Concreto estructural – gravedad	Embalse regulación diaria	18.85	258,969.00
18	Los Esclavos	Alta consecuencia	Santa Rosa, Cullapa	1986	Concreto estructural – Gravedad	Embalse regulación diaria	12.00	225,000.00
19	Matanzas	Baja consecuencia	Baja Verapaz, San Jerónimo	2002	Concreto estructural – gravedad	Embalse regulación diaria	8.90	85,634.00
20	Oxec II	Muy alta consecuencia	Alta Verapaz, Cahabón	2018	De gravedad de concreto vibrado reforzado	Regulación diaria	41.00	14,698,330.00

Continuación tabla V.

No.	PRESA	CLASIFICACIÓN DE LA PRESA	UBICACIÓN	INICIO DE OPERACIÓN	TIPO DE PRESA	USO DE LA PRESA/EMBALSE	ALTURA DE PRESA (M)	VOLUMEN ALMACENADO DE AGUA (M3)
20	Oxec II	Muy alta consecuencia	Alta Verapaz, Cahabón	2018	De gravedad de concreto vibrado reforzado	Regulación diaria	41.00	14,698,330.00
21	Oxec	Alta consecuencia (preliminar)	Alta Verapaz, Cahabón	2015	Gravedad con concreto armado	Embalse de regulación diaria	20.50	--
22	Palín II	Baja consecuencia	Escuintla, Palín	2005	Concreto estructural – gravedad	Embalse regulación diaria	5.40	30,000.00
23	Palo Viejo	Alta consecuencia	Quiché, San Juan Cotzal	2012	Concreto estructural – gravedad	Embalse regulación diaria	--	343,000.00
24	Panán	Baja consecuencia	Suchitepequez, San Miguel Panán	2011	Concreto estructural – gravedad	Embalse regulación diaria	9.00	101,000.00
25	Poza Verde	Muy baja consecuencia	Santa Rosa, Barberena y Pueblo Nuevo Viñas	2005	Concreto estructural – arcos múltiples	Embalse regulación diaria	18.00	780,000.00
26	Pueblo Viejo	Muy alta consecuencia	Alta Verapaz, San Cristóbal Verapaz	1983	Materiales sueltos con núcleo de arcilla	Embalse regulación anual	110.00	380,000.00
27	Raaxhá	Muy alta consecuencia	Alta Verapaz, Chisec	2016	Mixta, de gravedad de concreto vibrado y reforzado y de materiales sueltos.	Regulación	22.45	3,741,456.00
28	Renace	Muy baja consecuencia	Alta Verapaz, San Pedro Carchá	2004	Derivación de caudal	Derivación de caudal	7.50	120,000.00
29	Renace II fase 1	Muy alta consecuencia	Alta Verapaz, San Pedro Carchá	2016	Derivación	--	10.25	28,114.00
30	Renace II fase 2	Muy alta consecuencia	Alta Verapaz, San Pedro Carchá	2016	Derivación	Filo de agua	11.50	28,684.00
31	Renace IV – Fase 2	Muy alta (preliminar)	Alta Verapaz, San Pedro Carchá	2018	Concreto masivo	Derivación	11.20	11,256.00
32	Río Bobos	Baja consecuencia	Izabal, Morales	1995	Concreto estructural – gravedad	Embalse regulación diaria	5.00	62,556.08
33	San Isidro	Baja consecuencia	Baja Verapaz, San Jerónimo	2002	Concreto estructural – gravedad	Derivación de caudal	5.50	26,400.00
34	Santa María	Alta consecuencia	Quetzaltenango, Zunil	1927	Curvatura simple	Embalse regulación diaria	28.50	259,600.00
35	Santa Teresa	Alta consecuencia	Alta Verapaz, Tuourú	2011	Concreto estructural – gravedad	Embalse regulación diaria	34.20	615,000.00
36	Secacao	Muy baja consecuencia	Alta Verapaz, Senahú	1998	Concreto estructural – gravedad	Embalse regulación diaria	7.45	56,890.00
37	Visión de Aguila	Muy alta consecuencia	Alta Verapaz, Cobán	2013	De gravedad de concreto vibrado reforzado	Generación de energía eléctrica	10.70	32,140.00
38	Xacbal	Baja consecuencia	Quiché, Chajul	2010	Concreto estructural – gravedad	Embalse regulación diaria	11.00	753,217.00
39	Xacbal Delta	Muy alta consecuencia	Quiché, Chajul	2017	Gravedad	Regulación diaria	43.50	1,113,300.00

Fuente: elaboración propia, utilizando datos de la CNEE.

En la tabla V se pudo observar lo siguiente:

- Actualmente son 39 presas hidráulicas las que son objeto de fiscalización
- El 26 % de las presas que son fiscalizables por la CNEE son propiedad de la Empresa de Generación de Energía Eléctrica del INDE (EGEE-INDE), entidad autónoma y descentralizada del estado de Guatemala.
- El restante 74 % de las presas que son fiscalizables por la CNEE son de propiedad y administración privada, la cual se distribuye bajo los siguientes datos: 13 % a cargo de Corporación Multi Inversiones, 10 % a cargo de Enel Green Power, 5% a cargo Grupo Terra, 5 % a cargo de OXEC, S.A., 5 % a cargo de GENEPA S.A. – HIDROTAMA S.A. y 36 % a cargo de otros agentes generadores.
- El embalse Las Fuentes II, no tiene declarada una altura oficialmente.
- La presa Oxec, no tiene declarado oficialmente un volumen de embalse.
- Según lo publicado por la CNEE tanto en las NSP como en las guías de aplicación de las NSP, las presas: Pasabien, Santa Rosalia, Oxec II, Raaxhá, Renace II fase 1, Visión de Aguila, Xacbal Delta, no figuran dentro de los trimestres de fiscalización del MOMV, pero si cuentan con ficha como objeto de fiscalización.

3.4.2.3. Apreciación general de las NSP por las personas que las gestionan (fiscalizados)

Como tercera actividad de investigación y con base en las apreciaciones de las primeras actividades se procedió a realizar una serie de discernimientos a través de las apreciaciones de personas que están involucradas con el cumplimiento de las NSP y que no forman parte del ente regulador.

Realizando consultas y acercamiento con algunos de los denominados Ingenieros ESPEA, personas que por su involucramiento con las principales actividades que conlleva la gestión de las NSP, se pudo obtener las 35 direcciones de correo electrónico a las cuales la CNEE notifica y contacta a los responsables de la gestión de las NSP para los agentes generadores hidráulicos.

La obtención de las direcciones de correo electrónico referidas anteriormente fue relevante para poder determinar la perspectiva y apreciación de las NSP.

Tomando en cuenta que la mayoría de las centrales hidroeléctricas se encuentran en áreas con una distancia considerable a la ciudad de Guatemala e inclusive en áreas consideradas como inhóspitas y que durante la realización del estudio existieron restricciones de movilidad en general en el territorio nacional, derivado a la emergencia sanitaria global COVID-19, la realización de encuestas in situ no se pudo llevar a cabo.

Como medida sustitutiva se emplearon herramientas electrónicas, las cuales jugaron un papel importante en la obtención de datos, en tal sentido se procedió a estructurar y formular una encuesta a través de la herramienta electrónica de Google Forms, en las siguientes imágenes se hace alusión a dicho formulario.

Figura 11. **Formulario aspectos relacionados con las NSP, parte 1**



Indique su rol y/o interrelación con las Normas de Seguridad de Presas -NSP- *

- Ingeniero ESPEA
- Personal de apoyo al cumplimiento de las NSP
- Consultor de actividades relacionadas al cumplimiento de las NSP
- Otro

Considera que los valores mínimos fijados en las NSP (2.5 m. de altura y 30,000 m³ de capacidad de embalse), para que una presa sea objeto de fiscalización, son: *

- Adecuados
- Deben ser valores menores a los establecidos
- Deben ser valores mayores a los establecidos

Continuación figura 11.

Considera que las NSP, contienen los criterios adecuados para sancionar las infracciones en las que pudiera acaecer una determinada organización. *

Si

No

Considera que la CNEE cuenta con los indicadores y/o métricas, para determinar el cumplimiento de los plazos de la entrega de informes y documentos por parte de los responsables de la presa y del cumplimiento propio para resolver las solicitudes planteadas ante la CNEE.

Si

No

Con base a la pregunta anterior y tomando en cuenta el principio de equidad tanto de la LGE y las NSP considera que los indicadores y/o métricas deben ser publicadas y actualizadas periódicamente en la página web de la CNEE u otro medio de conocimiento general. *

Si

No

Continuación figura 11.

Consideraría adecuado, que para mejorar el cumplimiento de las NSP se debería crear un instrumento de apoyo (reglamento o manual) para la aplicación de las mismas, el cual a su vez se debería actualizar anualmente con base a la resolución de casos no contemplados en las NSP.

Si

No

Considera que es importante la vinculación de las NSP desde las muestras de interés de alguna persona y/o entidad para el desarrollo de un proyecto hidroeléctrico, para brindar certeza del uso de servidumbres, viabilidad técnica en la construcción y equipamiento de las obras asociadas a las presas y obras de conducción.

Si

No

Considera que los acercamientos y/o vinculaciones interinstitucionales son un quehacer tanto del personal que opera una central hidráulica como del ente regulador.

Si

No

Continuación figura 11.

Con base a su experiencia y conocimiento de las NSP, refiera de forma clara y concisa aspectos que a su criterio deberían ser objeto de mejorar en dicha normativa (máximo 5 aspectos). *

Texto de respuesta largo

Indique la cantidad de presas que tiene a su cargo y que son objeto de fiscalización con base a las NSP.

Texto de respuesta breve

Seleccione el tipo de eventos relacionados a la presa y/o estructuras accesorias que han provocado el paro de la o las centrales hidroeléctricas de la organización a la que pertenece, durante los últimos 5 años. *

- Eventos de crecida
 - Arrastre de sedimento
 - Obstrucción por acumulación de basura
 - Daño estructural en la presa
 - Daño estructural en estructuras accesorias
 - Sismos
 - Incendios (forestales y/o industriales)
 - Derrumbes de taludes
 - Otro
-

Con base a las opciones de la pregunta anterior, indique el estimado de eventos por opción durante los últimos 5 años (ejemplo: opción 1 = 2; opción 3= 1; entre otros).

Texto de respuesta breve

Continuación figura 11.

Conoce la metodología que emplea su organización para determinar los montos económicos *

Considera que las NSP deben ser objeto de fiscalización únicamente para el subsector eléctrico.

Sí

No

Ha participado en la determinación los montos económicos no percibidos por indisponibilidad y/o paro de la central de generación. *

Sí

No

Indique la cantidad estimada de procesos sancionatorios respecto a las NSP, que se han iniciado a las presas que opera y administra la organización a la que pertenece, durante los últimos 5 años.

0

de 1 a 3

de 4 a 7

de 8 a 10

más de 10

Fuente: elaboración propia, utilizando Google Forms.

Con base en el formulario electrónico definido y referido anteriormente en la figura 11, se procedió a trasladar la encuesta electrónica correspondiente, a las 35 direcciones de correo electrónico. Los resultados de estas serán profundizados en el capítulo 4 de la presente investigación.

3.4.2.4. Técnicas de análisis de la información

Estas técnicas consistieron en el uso de estadística descriptiva tomando en cuenta:

- El tamaño de la población de estudio
- El tipo de información obtenida de las encuestas electrónicas realizadas
- El ordenamiento de la información
- Que el tipo de salidas, producto de los análisis realizados incidió en la elaboración de tablas y gráficos para una adecuada interpretación de los datos obtenidos.

3.4.3. Diseño y propuesta de mejoras a la gestión de seguridad de presas

En esta etapa se formularon las consideraciones e instrumentos de apoyo orientativos, en pro de la mejora a las NSP y que deberían tomar en cuenta los agentes hidráulicos para el cálculo de la energía no producida derivado de indisponibilidades.

Dichos elementos se amplían en el desarrollo del capítulo 4 del presente trabajo de investigación y se considera que, de ser adoptadas por el ente regulador, estos coadyuvarán a dar certeza a aspectos no puntualizados en la gestión de la normativa.

4. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

En el presente capítulo se describe lo concerniente a los resultados obtenidos, derivado de lo planteado en el desarrollo de la investigación.

4.1. Medición de la apreciación general de las NSP por las personas que las gestionan (fiscalizados)

Con base en lo descrito en el capítulo 3, específicamente en el subnumeral 3.4.2.3 *Apreciación general de las NSP por las personas que las gestionan (fiscalizados)*, se procedió a trasladar por medio de correo electrónico la encuesta denominada aspectos relacionados con las NSP, la cual consistió en 17 cuestionamientos, a las 35 personas que gestionan las NSP para las 39 presas que son objeto de fiscalización por parte de la CNEE.

Es importante hacer denotar que de las 35 encuestadas trasladadas, se obtuvieron 22 formularios resueltos, esto como resultado de varios esfuerzos de comunicación vía correo electrónico con el total de la población en estudio. Los formularios resueltos constituyen un 63 % de la población lo cual aún es representativo para el estudio y más tomando en cuenta que dentro de los resultados obtenidos se pudo apreciar que hay personas que tienen a su cargo la gestión de seguridad de presas para más de una presa.

Los resultados obtenidos por cada una de las preguntas se presentan a continuación, al igual que los gráficos estadísticos que esquematizan el comportamiento de lo referido por los entrevistados y algunos aspectos que se consideraron necesarios ampliar.

Pregunta 1. Indique su rol y la interacción con las Normas de Seguridad de Presas (NSP).

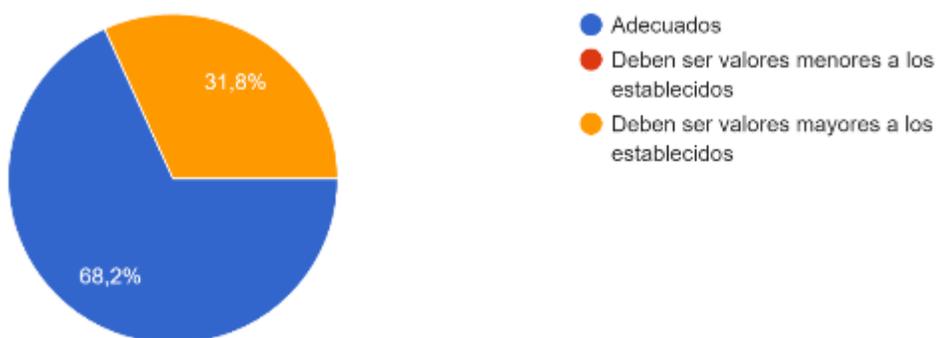
Figura 12. **Gráfico circular, respuesta pregunta 1**



Fuente: elaboración propia, utilizando Google Forms.

Pregunta 2. Considera que los valores mínimos fijados en las NSP (2.5 m. de altura y 30,000 m³ de capacidad de embalse), para que una presa sea objeto de fiscalización, son:

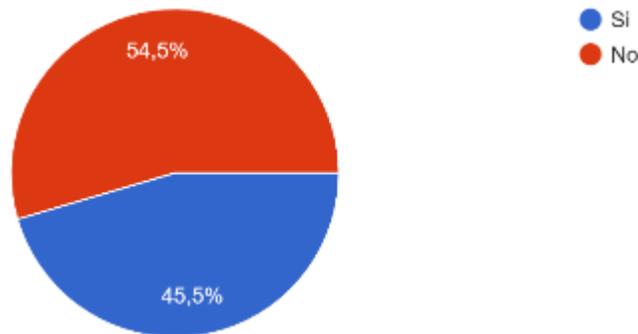
Figura 13. **Gráfico circular, respuestas pregunta 2**



Fuente: elaboración propia, utilizando Google Forms.

Pregunta 3. Considera que las NSP, contienen los criterios adecuados para sancionar las infracciones en las que pudiera acaecer una determinada organización.

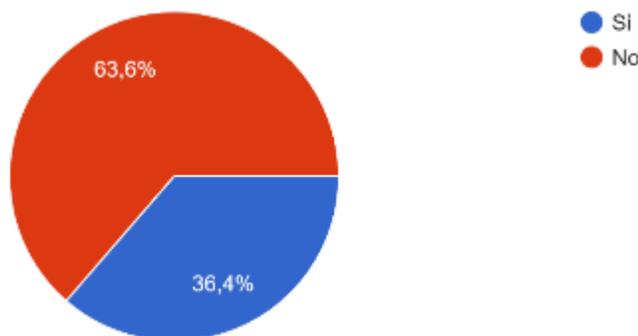
Figura 14. **Gráfico circular, respuestas pregunta 3**



Fuente: elaboración propia, utilizando Google Forms.

Pregunta 4. Considera que la CNEE cuenta con los indicadores y métricas, para determinar el cumplimiento de los plazos de la entrega de informes y documentos por parte de los responsables de la presa y del cumplimiento propio para resolver las solicitudes planteadas ante la CNEE.

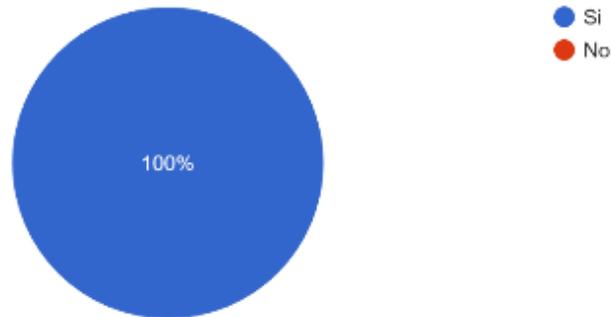
Figura 15. **Gráfico circular, respuestas pregunta 4**



Fuente: elaboración propia, utilizando Google Forms.

Pregunta 5. Con base en la pregunta anterior y tomando en cuenta el principio de equidad tanto de la LGE y las NSP considera que los indicadores y meritas deben ser publicadas y actualizadas periódicamente en la página web de la CNEE u otro medio de conocimiento general.

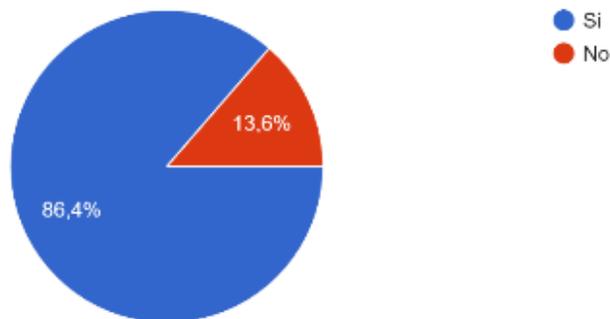
Figura 16. **Gráfico circular, respuestas pregunta 5**



Fuente: elaboración propia, utilizando Google Forms.

Pregunta 6. Consideraría adecuado, que para mejorar el cumplimiento de las NSP se debería crear un instrumento de apoyo (reglamento o manual) para la aplicación de estas, el cual a su vez se debería actualizar anualmente con base en la resolución de casos no contemplados en las NSP.

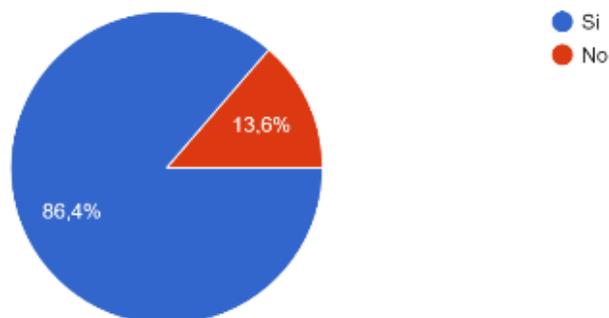
Figura 17. **Gráfico circular, respuestas pregunta 6**



Fuente: elaboración propia, utilizando Google Forms.

Pregunta 7. Considera que es importante la vinculación de las NSP desde las muestras de interés de alguna persona y entidad para el desarrollo de un proyecto hidroeléctrico, para brindar certeza del uso de servidumbres, viabilidad técnica en la construcción y equipamiento de las obras asociadas a las presas y obras de conducción.

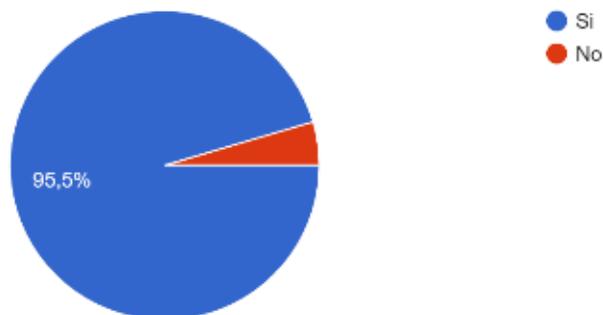
Figura 18. **Gráfico circular, respuestas pregunta 7**



Fuente: elaboración propia, utilizando Google Forms.

Pregunta 8. Considera que los acercamientos y vinculaciones interinstitucionales son un quehacer, tanto del personal que opera una central hidráulica, como del ente regulador.

Figura 19. **Gráfico circular, respuestas pregunta 8**



Fuente: elaboración propia, utilizando Google Forms.

Pregunta 9. Con base en su experiencia y conocimiento de las NSP, refiera de forma clara y concisa aspectos que a su criterio deberían ser objeto de mejorar en dicha normativa (máximo 5 aspectos).

Tabla VI. **Respuestas pregunta 9**

No. RESPUESTA	CONTENIDO DE LA RESPUESTA
1	<ul style="list-style-type: none"> ● Definir claramente el alcance de la normativa ● Definir claramente el alcance de los documentos ● No hacer requerimientos fuera del alcance de las NSP ● Al momento de la revisión de los documentos, ser objetivos ● Dar acompañamiento y asesoría en el cumplimiento de las NSP
2	<ul style="list-style-type: none"> ● Establecer claramente las sanciones que surjan del incumplimiento de las distintas exigencias contenidas en la norma ● Espaciar las entregas de informes, por mes, para que no se aglomeren todos los informes al inicio del trimestre ● Proporcionar más criterios de diseño, o en su defecto, referir a las normas especializadas por seguir
3	<ul style="list-style-type: none"> ● El proceso de calificación de evaluadores debiera ser más ágil ● Los plazos para las resoluciones debieran ser rápidos ● A veces se requieren estudios adicionales fuera del alcance de la normativa ● Se requieren que se implementen sistemas sofisticados que implican fuertes inversiones de capital para los propietarios de las hidroeléctricas ● Debiera implementarse programas de capacitación para los ingenieros de las hidroeléctricas como para los consultores actuales y futuros.
4	<ul style="list-style-type: none"> ● Ser más claros en cuanto parámetros a medir
5	<ul style="list-style-type: none"> ● Frecuencia de los informes ● Instrumentación de medición hidrometeorológica ● Estudios hidráulicos y operativos en plantas en serie
6	<ul style="list-style-type: none"> ● Ahondar más en el tema de auscultación, dándole lineamientos para la instrumentación de las presas.

Continuación tabla VI.

No. RESPUESTA	CONTENIDO DE LA RESPUESTA
8	<ul style="list-style-type: none"> ● Estipulación de multas. ● Diferenciar el grado de fiscalización respecto a la consecuencia de la presa.
9	<ul style="list-style-type: none"> ● Socializar el conocimiento de la norma para consultores y nuevos generadores a fin de contemplar el cumplimiento como parte la operación y mantenimiento desde fases de factibilidad. ● Lo anterior puede ser a través de MARN previo a uso de bienes de dominio público. ● Evitar en la medida de lo posible tener documentos externos como guías para evitar interpretaciones erróneas o bien incluir dichas guías como anexos a la norma.
10	<ul style="list-style-type: none"> ● Dejar solo los informes intermedios y quitar los trimestrales ya que ambos documentos contienen misma información.
11	<ul style="list-style-type: none"> ● Colocar rangos de intensidad sísmica para los avisos sísmicos.
12	<ul style="list-style-type: none"> ● El control de la Data que recopila el comité técnico de NSP, debe tener una interpretación dinámica con el objeto de proponer mejoras funcionales a los dueños de presa.
13	<ul style="list-style-type: none"> ● Establecer de forma clara los alcances del personal de la Comisión en cuanto a la asignación de la clasificación de la presa, pues es la labor de los expertos realizar dicha clasificación en función de la norma y buenas prácticas de ingeniería. ● Diferenciar si está la presa operativa o no, no se puede aplicar la norma con la misma severidad a una presa que no se encuentra operativa, como lo fue el caso de El Porvenir. ● Establecer un periodo para la actualización de la NSP, pues cada nuevo examen de seguridad que se elaboré puede exponer carencias de la norma. ● Establecer también sanciones a la comisión, si la comisión no cumple con los tiempos tanto para emitir comentarios como en la aprobación de los exámenes de seguridad. ● El excluir a profesionales con vínculos profesionales con el responsable de la presa o que hayan participado en el diseño, construcción, readecuación, ampliación, o supervisión en la fase de construcción y operación, de la presa y sus estructuras accesorias, de la central hidroeléctrica en estudio, reduce la cantidad de profesionales con experiencia y conocimientos específicos que pueden ser aprovechados en los exámenes de seguridad. Por lo que, en lugar de ser excluidos, se debería poder integrar al equipo estableciendo los alcances de participación de dicho profesional.

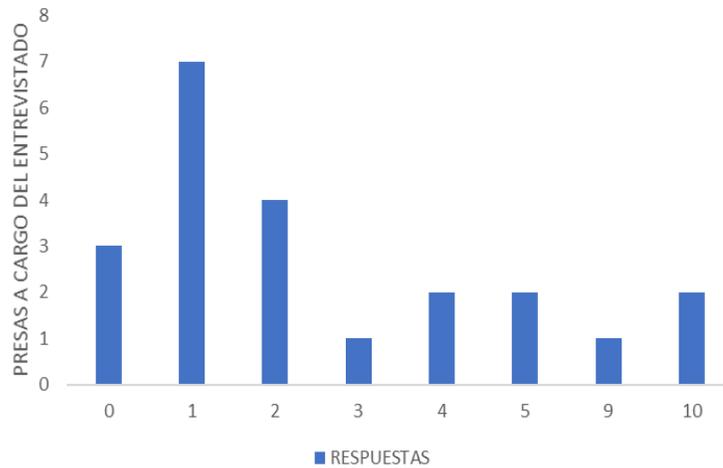
Continuación tabla VI.

No. RESPUESTA	CONTENIDO DE LA RESPUESTA
14	<ul style="list-style-type: none"> ● En lo que respecta a la realización de los informes de inspección de rutina e Intermedia, para instalaciones de baja consecuencia, resulta reiterativo la realización de 2 informes para periodos coincidentes, por lo que se considera que con la realización de los informes semestrales ya debería de incluirse el formulario de rutina, suprimiendo la realización del informe trimestral.
15	<ul style="list-style-type: none"> ● Criterios para calificar equipos examinadores ● Quizá no aplique al contenido de la NSP: A lo interno de la CNEE los técnicos deben tener los mismos criterios y enmarcados en los alcances de la especialidad correspondiente, para revisión de los distintos informes que los dueños de presas entregan.
16	<ul style="list-style-type: none"> ● No incluir estructuras accesorias fuera de la presa en sí. ● Vincular los resultados de las mediciones de la instrumentación con la seguridad de la presa. ● Exigir redundancia en los órganos de drenaje de la presa. ● No incluir estaciones meteorológicas en las NSP, más bien se debe tener una forma de tener certeza del caudal entrante a la presa, que dista mucho de esto y que implica más bien un trabajo de cuenca.
17	<ul style="list-style-type: none"> ● Mejorar los tiempos en la aprobación de equipos evaluadores para los ESPEAS. ● Que la norma se enfoque exclusivamente a la presa y no a sus estructuras accesorias.
18	<ul style="list-style-type: none"> ● Ampliar los criterios para que más profesionales con experiencia en diseño de presas y estructuras accesorias puedan realizar ESPEAS. Empezando con estructuras de presas pequeñas.
19	<ul style="list-style-type: none"> ● Interpretación de la norma y no quedar a criterio del personal de la CNEE
20	<ul style="list-style-type: none"> ● Todos los requerimientos deben formar parte de la norma, eso evita discrecionalidad en los funcionarios de la CNEE. ● Debe ser clara y concisa. ● Debe adecuar los requerimientos operacionales.

Fuente: elaboración propia.

Pregunta 10. Indique la cantidad de presas que tiene a su cargo y que son objeto de fiscalización con base en las NSP.

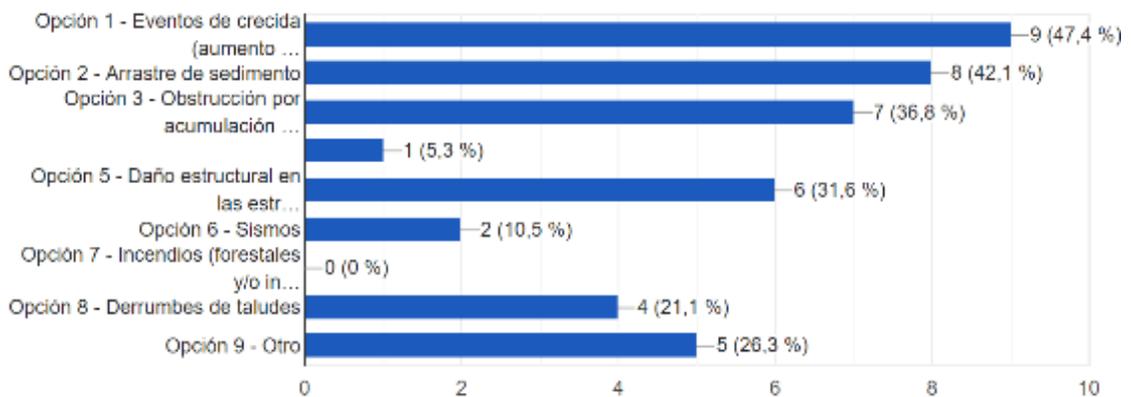
Figura 20. Gráfico de barras, respuestas pregunta 10



Fuente: elaboración propia.

Pregunta 11. Seleccione el tipo de eventos relacionados a la presa y estructuras accesorias que han provocado el paro de la o las centrales hidroeléctricas de la organización a la que pertenece, durante los últimos 5 años.

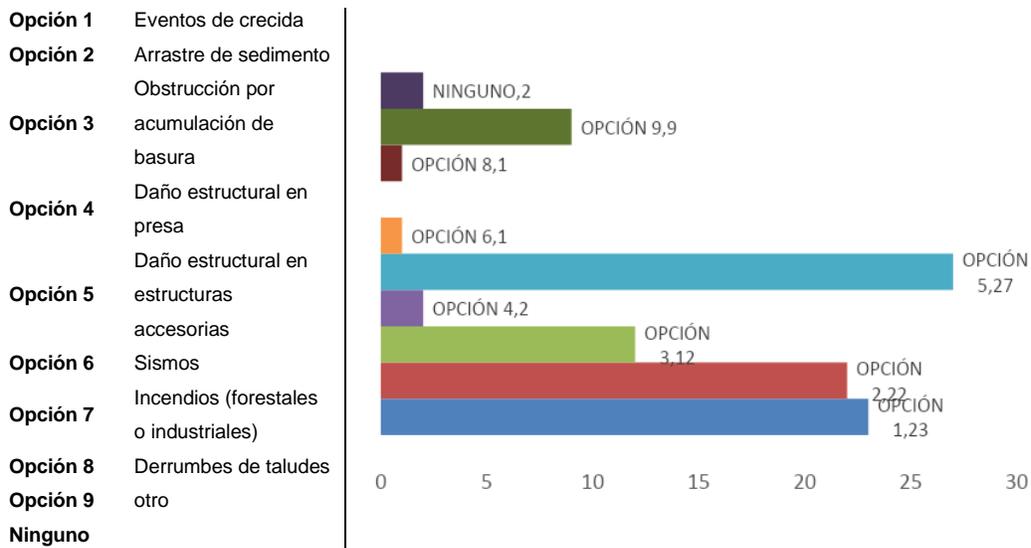
Figura 21. Gráfico de barras, respuestas pregunta 11



Fuente: elaboración propia.

Pregunta 12. Con base en las opciones de la pregunta anterior, indique el estimado de eventos por opción durante los últimos 5 años (opción 1 = 2; opción 3= 1; entre otros).

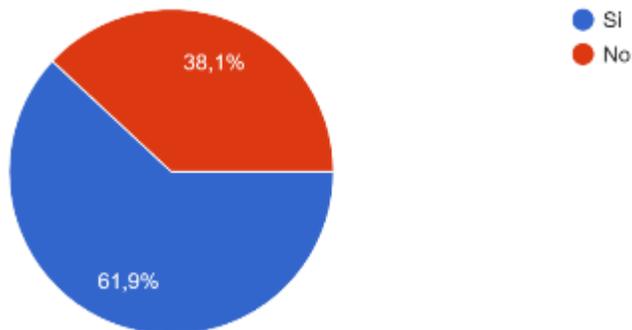
Figura 22. Gráfico de barras, respuestas pregunta 12



Fuente: elaboración propia.

Pregunta 13. Conoce la metodología que emplea su organización para determinar los montos económicos no percibidos debido a indisponibilidades y paros de la central de generación.

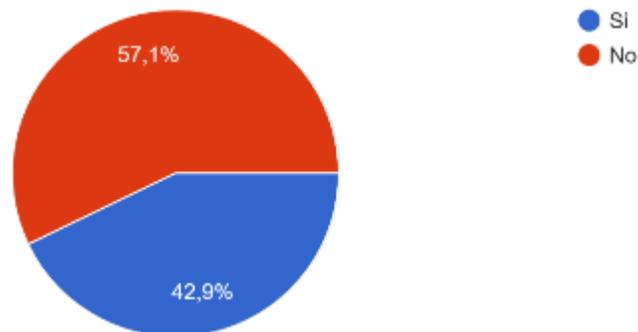
Figura 23. Gráfico circular, respuesta pregunta 13



Fuente: elaboración propia, utilizando Google Forms.

Pregunta 14. Ha participado en la determinación los montos económicos no percibidos por indisponibilidad y paro de la central de generación.

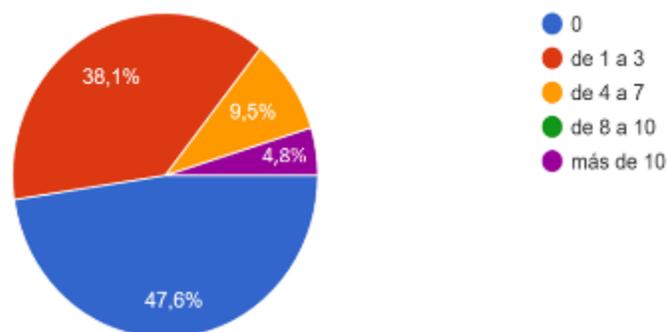
Figura 24. **Gráfico circular, respuesta pregunta 14**



Fuente: elaboración propia, utilizando Google Forms.

Pregunta 15. Indique la cantidad estimada de procesos sancionatorios respecto a las NSP, que se han iniciado a las presas que opera y administra la organización a la que pertenece, durante los últimos 5 años.

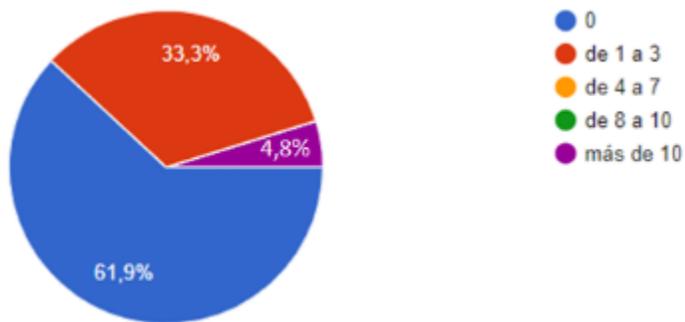
Figura 25. **Gráfica circular, respuesta pregunta 15**



Fuente: elaboración propia, utilizando Google Forms.

Pregunta 16. Indique la cantidad estimada de multas (sanciones en firme) respecto a las NSP, que se ha resuelto la CNEE a las presas que opera y administra la organización a la que pertenece, durante los últimos 5 años.

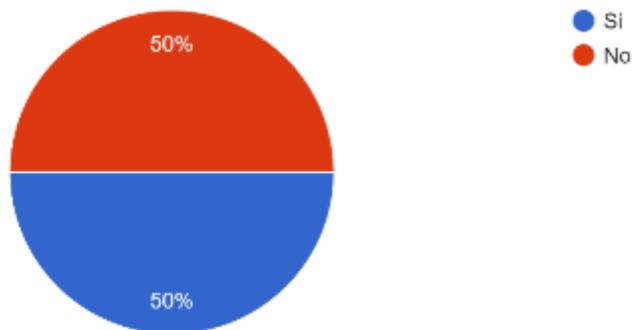
Figura 26. **Gráfico circular, respuestas pregunta 16**



Fuente: elaboración propia, utilizando Google Forms.

Pregunta 17. Considera que las NSP deben ser objeto de fiscalización únicamente para el subsector eléctrico.

Figura 27. **Gráfico circular, respuestas pregunta 17**



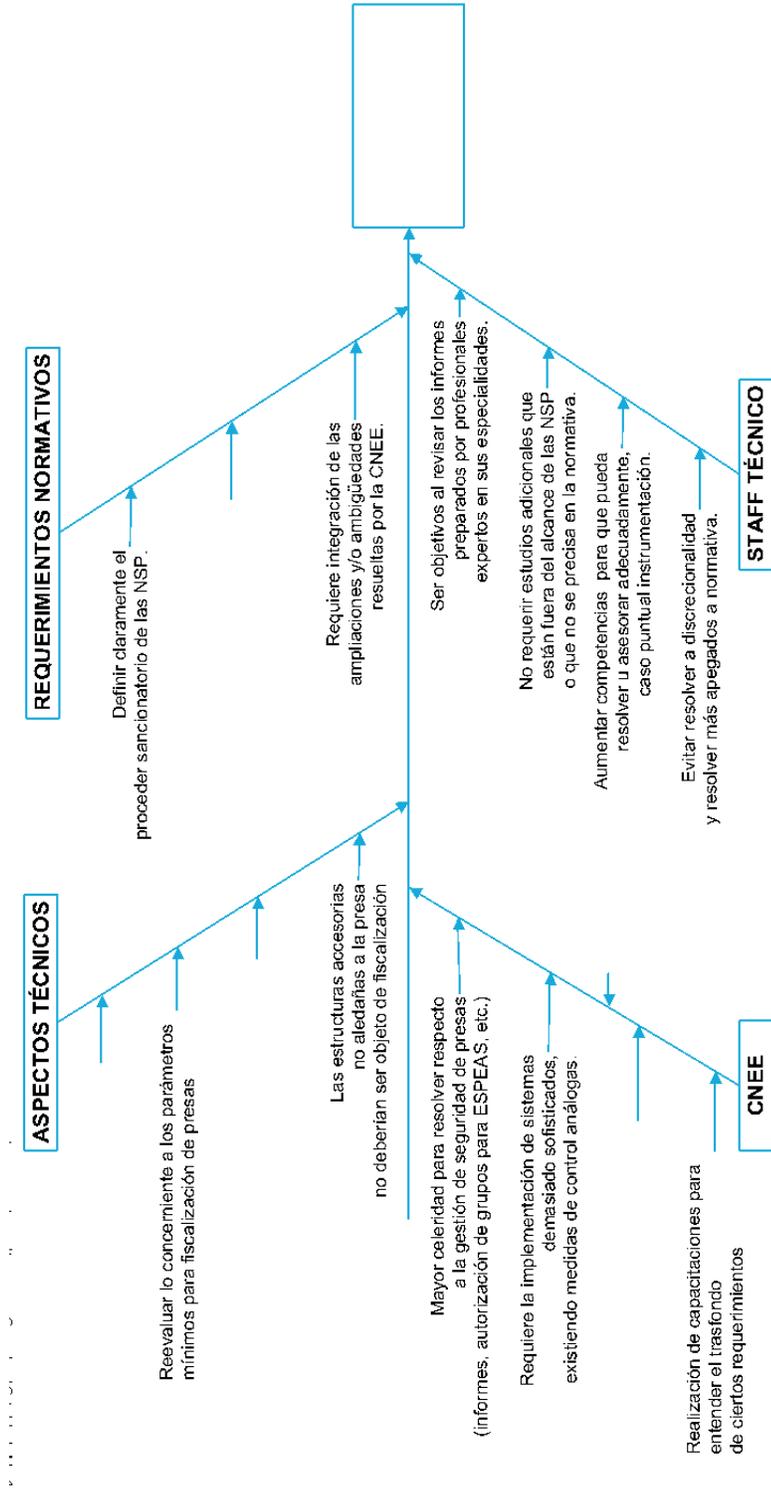
Fuente: elaboración propia, utilizando Google Forms.

4.2. Análisis cualitativo de las Normas de Seguridad de Presas

Para la realización de este análisis, se tomó como punto de partida los datos obtenidos de los formularios electrónicos relacionados a la medición de los aspectos normativos de seguridad de presas mencionados anteriormente. Durante el análisis se procedió a realizar una estratificación y condensación, de las apreciaciones obtenidas.

La herramienta de análisis empleada para la estratificación y condensación de datos fue el diagrama de causa-efecto, esto debido a la versatilidad del instrumento para poder apreciar el panorama general de las distintas aristas del tópico en evaluación, en este caso las NSP, el resultado obtenido se esquematiza de la siguiente manera:

Figura 28. Diagrama causa-efecto, gestión NSP



Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Visio.

4.3. Análisis de indisponibilidades relacionadas con presas

Tal como se refirió anteriormente, el estado de disponibilidad de una central de generación en general es la capacidad de dicha central para poder producir y suministrar energía al SNI a requerimiento del AMM. En contraste a lo anterior una indisponibilidad es el estado en el cual una determinada planta de generación no puede producir y suministrar energía a la red eléctrica.

En la siguiente tabla se representan y describen los estados de indisponibilidad al igual que la infraestructura relacionada con la presa que podrían originar dichos estados.

Tabla VII. Tipos de indisponibilidad

No.	TIPO DE INDISPONIBILIDAD	DESCRIPCIÓN	EVENTOS DE INDISPONIBILIDADES RELACIONADOS CON LA INFRAESTRUCTURA DE PRESA
1	Mantenimiento programado	Incapacidad de producir energía o suministrarla al SNI derivado de trabajos en pro de la conservación de la infraestructura de una central de generación, que fueron dispuestos a consideración del AMM con una antelación adecuada y en apego a normativa.	<ul style="list-style-type: none"> ● Trabajos de mantenimiento preventivo y predictivo a obra civil, equipos mecánicos-eléctricos ● Limpieza de embalse
6	Mantenimiento no programado	Incapacidad de producir energía o suministrarla derivado de la realización de trabajos en pro de la conservación de la infraestructura de una central de generación, que no cuenta con anuencia del AMM para realizar mantenimientos.	Reparaciones a: <ul style="list-style-type: none"> ● Obras civiles ● Equipamiento mecánico-eléctrico
4	Excedente de mantenimiento	Incapacidad de producir energía o suministrarla al SNI derivado a la excedencia en la duración de los trabajos en pro de la conservación de la infraestructura de una central de generación, que fueron dispuestos a consideración del AMM con una antelación adecuada y en apego a normativa.	Aumento en periodos autorizados por el AMM para realizar: <ul style="list-style-type: none"> ● Trabajos de mantenimiento preventivo, predictivo o correctivo a obra civil, equipos mecánicos-eléctricos ● Limpieza de embalse

Continuación tabla VII.

No.	TIPO DE INDISPONIBILIDAD	DESCRIPCIÓN	EVENTOS DE INDISPONIBILIDADES RELACIONADOS CON LA INFRAESTRUCTURA DE PRESA
2	Degradación de capacidad	Capacidad limitada de una central de generación, para producir o suministrarla energía a la red eléctrica.	<ul style="list-style-type: none"> ● Reducción de caudal. ● Problemas en apertura/cierre de compuertas. ● Obstrucción de bocatoma.
3	Causa externa	Incapacidad de producir o suministrar energía a la red eléctrica, derivado de situaciones fortuitas no imputables a una planta de generación.	<ul style="list-style-type: none"> ● Daños a obras civiles derivado de eventos naturales como: sismos, crecidas, vandalismo y sabotaje entre otros ● Obstrucción de bocatoma
7	Salida forzada.	Incapacidad de producir energía o suministrarla al SNI derivado de eventos súbitos atribuibles a la central de generación y que mayormente son acaecidos pro-falta de mantenimiento a la infraestructura de esta.	<ul style="list-style-type: none"> ● Obstrucciones en obras de conducción ● Falla de equipos mecánicos-eléctricos. ● Realización de mantenimientos correctivos.
5	Falla al ser convocado	Incapacidad de producir energía o suministrarla a la red eléctrica a requerimiento del AMM en un periodo determinado.	

Fuente: elaboración propia.

4.3.1. Principales causas de indisponibilidad en presas fiscalizadas con base en las NSP

Con base en los resultados obtenidos en las preguntas 11 y 12 de la encuesta practicada a los agentes hidráulicos, se realizó un análisis de Pareto 80-20, con la finalidad de esquematizar los principales hitos que han provocado paro en la producción de energía hidroeléctrica en los agentes estudiados, los resultados se presentan a continuación:

Tabla VIII. **Indisponibilidades más frecuentes**

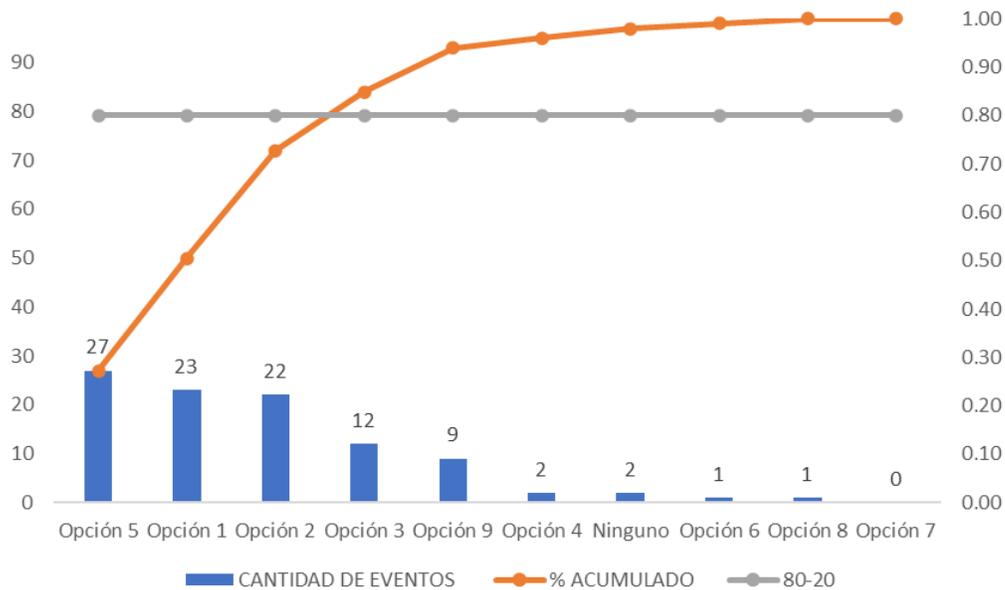
OPCIÓN	CANTIDAD DE EVENTOS	PORCENTAJE	PORCENTAJE ACUMULADO
Opción 5	27	0.27	0.27
Opción 1	23	0.23	0.51
Opción 2	22	0.22	0.73
Opción 3	12	0.12	0.85
Opción 9	9	0.09	0.94
Opción 4	2	0.02	0.96
Ninguno	2	0.02	0.98
Opción 6	1	0.01	0.99
Opción 8	1	0.01	1.00
Opción 7	0	0.00	1.00
TOTAL	99	1	

Donde: **Opción 5** = Daño estructural en las estructuras accesorias (obras de conducción y equipos); **Opción 1** = Eventos de crecida (aumento de caudal); **Opción 2** = Arrastre de sedimento; **Opción 3** = Obstrucción por acumulación de basura orgánica o inorgánica; **Opción 4** = Daño estructural en la presa; **Ninguno** = no existen indisponibilidades de planta debido a presa; **Opción 6** = Sismos; **Opción 8** = Derrumbes de taludes; **Opción 7** = Incendios (forestales e industriales)

Fuente: elaboración propia.

El gráfico de Pareto resultante con base en la información referida anteriormente fue:

Figura 29. Diagrama de Pareto, indisponibilidades de presas



Fuente: elaboración propia.

Con base en el diagrama generado, se puede inferir que los principales eventos de indisponibilidad históricos reportados corresponden a los eventos que se encuentran diagramados del lado izquierdo, respecto a la intersección de las curvas: % acumulado y 80-20 y corresponden a:

- Opción 5. Daño estructural en las estructuras accesorias (obras de conducción y equipos)
- Opción 1. Eventos de crecida (aumento de caudal)
- Opción 2. Arrastre de sedimento

4.4. Propuestas de mejora a la gestión de las NSP

Los planteamientos que a continuación se presentan, se desarrollaron con base a las apreciaciones de la población de estudio y las inferencias de interpretación de la normativa en cuestión.

4.4.1. Determinación de las multas por incumplimiento a las NSP

En el numeral 3.4.2.1 análisis preliminar de las NSP, de la presente investigación se hacía alusión que el Artículo 54. Competencia de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica, faculta a la CNEE para sancionar a los infractores de las NSP. Durante el proceso de investigación no se identificó que existan criterios o lineamientos precisos para la imposición de sanciones.

Derivado de lo anterior, se puede aseverar que la carencia de dichos elementos, pueden propiciar la percepción de arbitrariedad al respecto o falta de parcialidad por el ente regulador para tratar cada una de las acciones de infracción. Situación que fue connotada por las personas que están involucradas en la gestión de las NSP para los agentes hidráulicos, en las respuestas de las preguntas 3 y 9 de la encuesta practicada.

Tomando como base:

- El rango sancionatorio de Kw/h descrito en el Artículo 80 de la Ley General de Electricidad, el cual oscila entre 10,000 – 1,000,000 Kwh; rango que debería ser elemento transversal para la determinación de las sanciones de las NSP.

- La tipificación y estratificación de actividades detonantes de procesos sancionatorios con base a las NSP.
- Una escala de ponderación complementaria para la determinación de la cantidad de Kw/h.

A continuación, se refiere las métricas que podrían ser adoptadas en las NSP, con el ánimo de brindar de mejor manera criterios de equidad respecto a las sanciones a imponer por la CNEE.

Tabla IX. **Propuesta de tipificación de incumplimientos NSP**

REQUERIMIENTO NORMATIVO	INCUMPLIMIENTOS POR SANCIONAR	TIPO DE INCUMPLIMIENTO (factor)
Inspecciones de rutina	Incumplimiento de la gestión del libro de inspecciones rutinarias (del 01 al 31 de octubre de cada año).	Menor
	Incumplimiento de la entrega del informe trimestral de inspecciones de rutina (10 días hábiles después de haber terminado el respectivo trimestre).	Menor
Inspecciones Intermedias	Incumplimiento de la gestión del libro de inspecciones intermedias (3 meses antes de la realización de la primera inspección).	Medio
	Incumplimiento de la entrega del informe de inspección intermedia (20 días hábiles después de haberse realizado una determinada inspección intermedia).	Medio
Inspecciones Especiales	Incumplimiento de la entrega del informe de inspección especial a requerimiento de la CNEE (20 días calendario después de que la CNEE lo haya requerido).	Medio
Inspecciones Extraordinarias	Incumplimiento de la entrega del informe de inspección especial a requerimiento de la CNEE.	Medio

Continuación tabla IX.

REQUERIMIENTO NORMATIVO	INCUMPLIMIENTOS PARA SANCIONAR	TIPO DE INCUMPLIMIENTO (factor)
Examen de Seguridad de presas y Estructuras Accesorias	Incumplimiento en la realización del ESPEA con base en el tiempo estipulado en las resoluciones de la CNEE.	Mayor
	Incumplimiento a la implementación de las oportunidades de mejora a la infraestructura asociada a una presa derivado de las observaciones de un ESPEA con base en el tiempo definido por el agente generador.	Mayor
Manual de Operación, Mantenimiento y Vigilancia	Incumplimiento en la presentación del MOMA (primeros 10 días hábiles respecto al trimestre asignado por la CNEE, año impar).	Menor
Plan de Preparación ante Emergencias	Incumplimiento en la presentación del PEPE (primeros 10 días hábiles respecto al trimestre asignado por la CNEE, año par).	Menor
Otros incumplimientos relacionados a la gestión de las Normas de Seguridad de Presas	Incumplimientos relacionados con la presentación de ampliaciones documentales requeridos oficialmente por la CNEE.	Medio
	Discrepancias entre lo reportado por el agente generador y las auditorías de fiscalización.	Mayor
Daños con potencial de riesgo	Eventos con daños a infraestructura de presa y estructuras accesorias que causen perjuicios a terceros.	Grave

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. Tipos de factores por considerar en el cálculo

FACTOR	DESCRIPCIÓN DEL FACTOR	TIPO DE FACTOR	PONDERACIÓN SEGÚN TIPO DE FACTOR	CANTIDAD DE KWH RELACIONADOS CON EL FACTOR
CONSECUENCIA F_c	<p>Valor que se asigna al cálculo de una sanción, con base en la categoría establecida por la CNEE.</p> <p>La ponderación se asigna desde 0.25 para el Tipo de Factor "Muy Baja" y se incrementa a razón de 0.25 respecto a cada tipo de factor, hasta completar 1 para el tipo de factor "Muy Alta" y debe ser multiplicado por la cantidad de Kw/h Relacionados con el factor.</p>	Muy Alta	1.00	40,000
		Alta	0.75	
		Baja	0.50	
		Muy Baja	0.25	
INCUMPLIMIENTO F_i	<p>Valor que se asigna al cálculo de una sanción, con base en las descripciones del tipo de incumplimiento propuesto en la tabla VII de la presente investigación.</p> <p>La ponderación se asigna desde el tipo de factor "Menor" y corresponde a la relación entre la sumatoria de todos los tipos de factores y la sumatoria de cada tipo de factor, calculándose de la misma manera para el resto de tipo de factores y debe ser multiplicado por la cantidad de Kw/h Relacionados al factor.</p>	Grave	13.00	50,000
		Mayor	4.33	
		Medio	2.60	
		Menor	3.25	

Continuación tabla X.

FACTOR	DESCRIPCIÓN DEL FACTOR	TIPO DE FACTOR	PONDERACIÓN SEGÚN TIPO DE FACTOR	CANTIDAD DE KW/H RELACIONADOS CON EL FACTOR
		Mayor	4.33	
		Medio	2.60	
		Menor	3.25	
TIEMPO DE DEMORA F_d	<p>Valor que se asigna al cálculo de una sanción, si el requerimiento normativo o de la CNEE tenía un tiempo específico para ser atendido.</p> <p>La ponderación se empieza a asignar en 3 para el tipo de factor "Moderado", se incrementa a razón de 3 respecto a cada tipo de factor hasta completar 12 para el tipo de factor "Excesivo" y debe ser multiplicado por la cantidad de Kw/h Relacionados con el factor.</p>	Excesivo	12.00	30,000
		Mayor	9.00	
		Medio	6.00	
		Moderado	3.00	
		Nulo	0.00	
REINCIDENCIA F_r	<p>Valor que se asigna al cálculo de una sanción, con base en la repetitividad de un mismo incumplimiento.</p> <p>La ponderación se empieza a asignar en 1 para el tipo de factor "Menor", para el resto de los tipos de factores se incrementa a razón de 1 respecto a cada tipo de factor hasta completar 4 para el tipo de factor "Alta" y debe ser multiplicado por la cantidad de Kw/h Relacionados al factor.</p>	Alta	4.00	20,000
		Mayor	3.00	
		Media	2.00	
		Menor	1.00	
		Nula	0.00	

Continuación tabla X.

FACTOR	DESCRIPCIÓN DEL FACTOR	TIPO DE FACTOR	PONDERACIÓN SEGÚN TIPO DE FACTOR	CANTIDAD DE KW/H RELACIONADOS CON EL FACTOR
<p>PROPORCIÓN INCUMPLIMIENTO F_{pi}</p>	<p>Valor o ponderación que se asigna al cálculo de una sanción, cuando un requerimiento tiene varios ítems y sub-requerimientos y este no es atendido en materia en el respectivo plazo fijado.</p> <p>El valor se asigna con base a la relación entre el número de actividades o ítems pendientes y el número total de actividades o ítems que conllevaba la atención de un determinado requerimiento y debe ser multiplicado por la cantidad de Kw/h Relacionados al factor.</p>	--	nap /Nta	50,000

Fuente: elaboración propia.

Figura 30. **Fórmula 1 para el cálculo de sanciones**

$$S = 10,000 \frac{Kw}{h} + Fc * \frac{Kw}{h} + Fi * \frac{Kw}{h} + Fd * \frac{Kw}{h} + Fr * \frac{Kw}{h} + Fpi * \frac{Kw}{h}$$

Dónde:

S = cantidad de Kw/h de sanción a imponer

Fc = tipo de factor de consecuencia

Fi = tipo de factor de incumplimiento

Fd = tipo de factor de demora

Fr = tipo de factor de reincidencia

Fpi = proporción de incumplimiento

Kw/h = cantidad de kilovatios asociado a un determinado factor

Fuente: elaboración propia.

Ejemplo 1:

- Derivado de los resultados del último ESPEA practicado a la presa “X” (presa de alta consecuencia), se determinaron oportunidades de mejora, las cuales formalizó la presa “X” ante el ente regulador, mediante la presentación de un cronograma de trabajo, el cual contenía 20 actividades de mejora por desarrollar en 18 meses y donde se comprometía a entregar un informe pormenorizado al respecto luego de terminar los 18 meses.
- Luego de haber transcurrido 21 meses de la aprobación del cronograma el cual sería objeto de fiscalización por parte del ente regulador, este último solicita a la presa “X” que presente el informe pormenorizado al respecto.
- La presa “X” remite el informe solicitado por el ente regulador, en el cual se detalla el cumplimiento de 15 actividades y que están pendiente de realizar 5 actividades.

Con base en lo descrito en el ejemplo anterior, se pueden observar 2 tipos de incumplimientos, de acuerdo con los criterios sancionatorios propuestos, se procede a realizar el cálculo sancionatorio correspondiente y se ejemplifica mediante la siguiente figura.

Figura 31. **Fórmula 2 para el cálculo de sanciones**

$$\begin{aligned}
 S &= 10,000 \frac{Kw}{h} + Fc * \frac{Kw}{h} + Fi * \frac{Kw}{h} + Fd * \frac{Kw}{h} + Fr * \frac{Kw}{h} + Fpi * \frac{Kw}{h} \\
 S &= 10,000 \frac{Kw}{h} + (.75) * (40,000) \frac{Kw}{h} + (4.33) * (50,000) \frac{Kw}{h} + (4) * (30,000) \frac{Kw}{h} \\
 &\quad + (0) * (20,000) \frac{Kw}{h} + (5/20) * (50,000) \frac{Kw}{h} \\
 S &= 10,000 \frac{Kw}{h} + 30,000 \frac{Kw}{h} + 216,666.67 \frac{Kw}{h} + 120,000 \frac{Kw}{h} + 0 + 12,500 \frac{Kw}{h} \\
 \mathbf{S} &= \mathbf{389,166.67 Kw/h}
 \end{aligned}$$

Fuente: elaboración propia.

La sanción normativa, por 2 incumplimientos derivados de una resolución por parte del ente regulador, corresponde a 353,333.33 Kw/h para la presa "X".

Ejemplo 2:

- La presa "Y" (presa de muy alta consecuencia), según lo reportado al ente regulador en cumplimiento a su plan de seguridad de presa y los informes trasladados no evidencia deterioros o falencias en la infraestructura asociada a su presa, por lo cual se podría aseverar que es una presa segura.
- En un día cualquiera en época de estiaje, tanto la presa, como la casa de máquinas están operando con normalidad. Derivado de trabajos de alcantarillado que realizan los comunitarios del poblado "Z", en proximidades del canal de conducción a lo largo del último trimestre, este es dañado estructuralmente e inunda 3 viviendas de las cercanías.
- De los eventos narrados no existen pérdidas humanas, únicamente materiales de los propietarios de las 3 viviendas referidas. Por la naturaleza de los trabajos que realizaban los comunitarios y durante las inspecciones de rutina el responsable de la presa debió tomar acciones al respecto ante la municipalidad y dar el aviso correspondiente al ente regulador de las NSP, situación que no fue evidenciada y de la cual ya se había suscitado dos casos análogos.

De lo descrito en el ejemplo anterior, se puede observar omisión de información respecto a lo reportado al ente regulador y pasividad de las actividades con potencial de daño a la infraestructura de la presa "Y", con base en los criterios sancionatorios propuestos, se procede a realizar el cálculo sancionatorio correspondiente, el cual se esquematiza a través de la siguiente figura:

Figura 32. **Fórmula 3 para el cálculo de sanciones**

$$S = 10,000 \frac{Kw}{h} + Fc * \frac{Kw}{h} + Fi * \frac{Kw}{h} + Fd * \frac{Kw}{h} + Fr * \frac{Kw}{h} + Fpi * \frac{Kw}{h}$$

$$S = 10,000 \frac{Kw}{h} + (1) * (40,000) \frac{Kw}{h} + (13) * (50,000) \frac{Kw}{h} + (0) * (30,000) \frac{Kw}{h} \\ + (2) * (20,000) \frac{Kw}{h} + (0) * (50,000) \frac{Kw}{h}$$

$$S = 10,000 \frac{Kw}{h} + 40,000 \frac{Kw}{h} + 650,000 \frac{Kw}{h} + 0 \frac{Kw}{h} + 40,000 + 0 \frac{Kw}{h}$$

$$\mathbf{S = 740,000.00 Kw/h}$$

Fuente: elaboración propia.

La sanción normativa, derivado de la omisión de información y reincidencia de acciones con potencial de riesgo corresponde a 740,000.00 Kw/h para la presa “Y”.

4.4.2. Determinación del instrumento de calificación para profesionales a realizar ESPEAS

De lo referido en las respuestas de desarrollo, del formulario electrónico practicado a los encuestados, se obtuvo como referencia la demora o atraso en el que incurre el ente regulador de las NSP para resolver las solicitudes planteadas respecto a los profesionales propuestos para realizar un determinado examen de seguridad de presas y accesorias.

La herramienta propuesta consiste en una hoja de cálculo preparada en Microsoft Excel, la cual califica a cada especialista, con base en:

- Determinar la razón entre la altura de presa y capacidad de embalse de 5 trabajos previos análogos a un ESPEA respecto a la presa objeto a solicitar la autorización.
- Seguidamente se realiza el cálculo de promedios ponderados para los valores descritos y obtenidos en el ítem anterior.
- Se verifica a que intervalo de calificación corresponde el valor de los promedios ponderados respecto a la altura de presa y capacidad de embalse de la presa objeto de solicitud de aprobación.
- Si el valor obtenido en \leq a 79 el profesional propuesto no es aconsejable para evaluar la presa de la cual está solicitando autorización, si el valor obtenido se encuentra contenido entre 0.80 y 1 el profesional es aconsejable para ser autorizado, si el valor obtenido supera 1 el profesional es catalogado como muy aconsejable para realizar la evaluación de su respectiva especialidad.
- En la siguiente imagen se refiere un ejemplo al respecto:

Tabla XI. **Calificación de profesionales para optar para realizar ESPEA**

PRESA A EVALUAR		PRESA X	
ALTURA (m) DE PRESA A EVALUAR		5	
VOLUMEN DE ALMACENADO DE AGUA (m ³) DE PRESA A EVALUAR		36,000.00	

NOMBRE DEL PROFESIONAL PROPUESTO	ESPECIALIDAD	ALTURA (m) PROMEDIO PONDERADA	RELACION DE COMPARACION %	VOLUMEN DE ALMACENADO DE AGUA (m ³) PROMEDIO	RELACION DE COMPARACION %	CONCLUSION
Elfego Odvin Orozco Fuentes	Hidrología	14.61	2.92	710,581.30	19.74	Propuesto Aprobado
Carlos Efraín Hermosilla Estacuy	Geología	27.62	5.52	559,406.34	15.54	Propuesto Aprobado
Mauricio Rolfo Morales Juárez	Ingeniería Estructural	12.94	2.59	502,658.78	13.96	Propuesto Aprobado
Armando Gálvez Castillo	Eléctromecánica	14.81	2.96	680,677.15	18.91	Propuesto Aprobado

NOMENCLATURA DE DEPENDERACIÓN	0 - 0.79 No Aconsejable	0.80 - 1 Aconsejable	> a 1 Muy Aconsejable
-------------------------------	----------------------------	-------------------------	--------------------------

Continuación tabla XI.

ESPECIALIDAD	TRABAJO No.	PRESA	BREVE DESCRIPCION DE LOS TRABAJOS A REALIZADOS	ALTURA (m)	% DE COMPARACIÓN	VOLUMEN DE ALMACENADO DE AGUA (m ³)	% DE COMPARACIÓN
Hidrología	1	Presa 1	Examen de Seguridad de Presas y Estructuras Accesorias	18.00	3.60	760,000.00	21.11
	2	Presa 2	Examen de Seguridad de Presas y Estructuras Accesorias	8.84	1.77	70,000.00	1.94
	3	Presa 3	Examen de Seguridad de Presas y Estructuras Accesorias	18.85	3.77	759,000.00	21.08
	4	Presa 4	Examen de Seguridad de Presas y Estructuras Accesorias	9.00	1.80	101,000.00	2.81
	5	Presa 5	Examen de Seguridad de Presas y Estructuras Accesorias	11.00	2.20	753,200.00	20.92
Geología	1	Presa 1	Examen de Seguridad de Presas y Estructuras Accesorias	43.50	8.70	632,000.00	17.56
	2	Presa 2	Examen de Seguridad de Presas y Estructuras Accesorias	18.00	3.60	760,000.00	21.11
	3	Presa 3	Examen de Seguridad de Presas y Estructuras Accesorias	18.85	3.77	258,969.00	7.19
	4	Presa 4	Examen de Seguridad de Presas y Estructuras Accesorias	9.00	1.80	101,000.00	2.81
	5	Presa 5	Examen de Seguridad de Presas y Estructuras Accesorias	11.30	2.26	343,000.00	9.53
Ingeniería Estructural	1	Presa 1	Evaluación de presa	8.84	1.77	70,000.00	1.94
	2	Presa 2	Examen de Seguridad de Presas y Estructuras Accesorias	18.85	3.77	258,969.00	7.19
	3	Presa 3	Examen de Seguridad de Presas y Estructuras Accesorias	9.00	1.80	101,000.00	2.81
	4	Presa 4	Examen de Seguridad de Presas y Estructuras Accesorias	11.00	2.20	753,217.00	20.92
	5	Presa 5	Examen de Seguridad de Presas y Estructuras Accesorias	11.30	2.26	343,000.00	9.53
Electromecánica	1	Presa 1	Examen de Seguridad de Presas y Estructuras Accesorias	18.00	3.60	760,000.00	21.11
	2	Presa 2	Examen de Seguridad de Presas y Estructuras Accesorias	18.85	3.77	759,000.00	21.08
	3	Presa 3	Examen de Seguridad de Presas y Estructuras Accesorias	9.00	1.80	101,000.00	2.81
	4	Presa 4	Examen de Seguridad de Presas y Estructuras Accesorias	11.00	2.20	753,217.00	20.92
	5	Presa 5	Examen de Seguridad de Presas y Estructuras Accesorias	11.30	2.26	343,000.00	9.53

Fuente: elaboración propia.

4.4.3. Determinación de los ingresos no percibidos derivado de indisponibilidades

Para poder realizar la determinación de los montos no percibidos por falta de producción de energía es necesario contemplar los inputs que se describen en la siguiente tabla:

Tabla XII. Elementos por considerar en la valorización de los costos por indisponibilidades

DATOS TÉCNICOS DE LA CENTRAL DE GENERACIÓN	DATOS RELACIONADOS CON EL PERIODO DE INDISPONIBILIDAD	DATOS DE MERCADO MAYORISTA RELACIONADOS CON INDISPONIBILIDADES
<ul style="list-style-type: none"> • Potencia por unidad o planta • Caudal de diseño • Factor de producción 	<ul style="list-style-type: none"> • Periodo de indisponibilidad • Caudal entrante de indisponibilidad 	<ul style="list-style-type: none"> • Precio spot • Costo de energía no generada • Precio de desvíos de potencia

Fuente: elaboración propia.

Descripción de la determinación de los *inputs* de cálculo:

- Factor de producción: valor resulta de dividir el caudal de diseño con el cual fue concebida una central hidroeléctrica entre la potencia de una central de generación o una determinada unidad de generación.
- Periodo de indisponibilidad: cantidad de días en que la central de generación no puede producir energía.

- Caudal entrante de indisponibilidad: valor promedio del caudal horario-diario que no se está aprovechando para la producción de energía, el cual se expresa en metros cúbicos por segundo m^3/s .
- Precio *spot*: costo marginal diario, determinado por el AMM, al cual deberá comprar la energía no producida un determinado agente hidráulico para poder honrar sus compromisos, se expresa en dólares por megavatio-hora US\$/Mw-h.
- Costo energía no generada: valor expresado en US\$, que resulta como producto entre la energía que no se produjo y el precio spot promedio.
- Precio de desvío de potencia: costo referencia que se indexa al costo de desvío de potencia, el valor corresponde a 8.9 US\$/kw-mes.

Ejemplo:

La central hidroeléctrica “X” queda indisponible, derivado a daños estructurales en la obra de toma y el canal de aducción, provocados por derrumbes de talud y rodamiento de roca, como producto de un sismo de grado 6.8 en la escala de Richter y grado VII en la escala de Mercalli. La central cuenta con dos unidades de generación con una potencia de 7.0 MW respectivamente, su caudal de diseño es de $15.36 m^3/s$ su periodo de indisponibilidad fue de 30 días, en la siguiente tabla se detallan los valores para el cálculo de la energía no producida y determinar el costo por indisponibilidad.

Tabla XIII. Insumos para cálculo de costo de no generación y costos de indisponibilidad

DÍA	CAUDAL PROMEDIO REGISTRADO (m3/s)	PROMEDIO SPOT (US\$/MWh)
1	18.58	51.95
2	13.17	56.05
3	15.71	57.09
4	26.62	58.91
5	28.83	59.10
6	42.48	59.79
7	61.78	52.98
8	39.22	30.38
9	21.15	25.17
10	21.51	42.14
11	21.73	38.60
12	18.80	36.35
13	17.82	47.69
14	15.90	51.46
15	16.24	52.72
16	17.08	51.32
17	17.54	57.31
18	20.96	53.37
19	30.25	54.53
20	44.64	53.28
21	66.48	45.16
22	51.38	43.64
23	45.61	42.31
24	34.13	46.18
25	44.49	46.44
26	116.64	42.76
27	102.81	37.93
28	27.36	40.53
29	28.80	41.61
30	18.74	30.27

Fuente: elaboración propia.

La determinación del costo por indisponibilidad se calcula de acuerdo con las siguientes consideraciones:

Figura 33. Cálculo del factor de producción

$$Fp = \frac{P}{Qd} \rightarrow Fp = \frac{7 \text{ Mw} \cdot 2}{15.36 \text{ m}^3/\text{s}} \rightarrow \mathbf{Fp = 0.911 \frac{\text{Mw}}{\text{m}^3/\text{s}}}$$

Donde:

Fp = factor de producción

P = potencia de una determinada unidad o central de generación

Qd = caudal de diseño

Fuente: elaboración propia.

Figura 34. Cálculo de caudal excedente disponible (iteración 1 de 30)

$$Qedis = Qr - Qd \rightarrow Qedis = 18.58 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} - 15.36 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \rightarrow \mathbf{Qedis = 3.22 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}$$

Donde:

Qedis = caudal excedente disponible

Qr = caudal real promedio de cada día

Qd = caudal de diseño

Fuente: elaboración propia.

Figura 35. Cálculo de producción diaria (iteración 1 de 30)

$$Gd = Qd * Fp * 24Hrs. \rightarrow Gd = 15.36 \frac{m^3}{s} * 0.911 * 24Hrs. \rightarrow \mathbf{Gd = 336.00 Mwh}$$

Donde:

Gd = generación diaria en Mwh

Qd = caudal de diseño

Fp = factor de producción

24 Hrs. = cantidad de horas disponibles en 1 día continuo de operación

Observación: en el caso que se estuviera calculando la indisponibilidad para una sola unidad, se asigna utiliza la mitad del Qd o la fracción en correspondiente dependiendo de la cantidad de unidades de generación.

Fuente: elaboración propia.

Obtención del precio spot (POE):

El precio spot promedio se obtiene de los reportes diarios o semanales correspondientes al post despacho publicados por el AMM en su sitio web oficial.

Figura 36. Cálculo costo no generación (iteración 1 de 30)

$$Cng = Gd * POE \rightarrow Gd = 336.00 Mwh * 51.95 \frac{US\$}{Mwh} \rightarrow \mathbf{Cng = 17,453.80 US\$}$$

Donde:

Gd = generación diaria en Mwh

Qdisp = caudal disponible (el valor debe ser menor al Qd)

Fp = factor de potencia

Fuente: elaboración propia.

Figura 37. **Cálculo costo desvío de potencia (iteración 1 de 30)**

$$Cdp = P * Pdp - \text{mes} \rightarrow Gd = 14 \text{ Mw} * \frac{1000 \text{ Kw}}{1 \text{ MW}} * 8.9 \frac{\text{US\$}}{\text{Kwh-mes}} * \frac{1 \text{ mes}}{30 \text{ días}} \rightarrow$$

Cdp = 4,153.33 US\$

Donde:

Cdp = costo desvío de potencia

P = potencia de una unidad de generación, expresada en Mw o Kw

Pdp = precio desvío de potencia (8.9 US\$/kw-mes)

Fuente: elaboración propia.

Figura 38. **Cálculo costo indisponibilidad diaria (iteración 1 de 30)**

$$Ci = Cng + Cdp \rightarrow Ci = 17,453.80 \text{ US\$} + 4,153.33 \text{ US\$} \rightarrow \mathbf{Ci = 21,607.13 \text{ US\$}}$$

Donde:

Ci = costo indisponibilidad diaria, expresado en US\$

Cng = costo no generación, expresado en US\$

Cdp = costo desvío de potencia, expresado en US\$

Fuente: elaboración propia.

Mediante una hoja de cálculo de Microsoft Excel, se ultimó el resto de las iteraciones obteniendo los siguientes resultados:

Tabla XIV. Determinación de costos de no generación e indisponibilidad

DÍA	CAUDAL PROMEDIO REGISTRADO (m3/s)	EXCEDENTE DE CAUDAL PARA LA OPERACIÓN (m3/s)	PRODUCCIÓN DIARIA EN (Mwh)	PROMEDIO SPOT (US\$/MWh)	COSTO NO GENERACIÓN (US\$)	COSTO POR DESVÍO DE POTENCIA (US\$)	COSTO POR INDISPONIBILIDAD (US\$)
1	18.58	3.22	336.00	51.95	17,453.80	4,153.33	21,607.13
2	13.17	0.00	336.00	56.05	18,833.08	4,153.33	22,986.41
3	15.71	0.35	336.00	57.09	19,181.40	4,153.33	23,334.73
4	26.62	11.26	336.00	58.91	19,792.22	4,153.33	23,945.55
5	28.83	13.47	336.00	59.10	19,858.44	4,153.33	24,011.77
6	42.48	27.12	336.00	59.79	20,089.72	4,153.33	24,243.05
7	61.78	46.42	336.00	52.98	17,801.14	4,153.33	21,954.47
8	39.22	23.86	336.00	30.38	10,206.56	4,153.33	14,359.89
9	21.15	5.79	336.00	25.17	8,457.96	4,153.33	12,611.29
10	21.51	6.15	336.00	42.14	14,160.02	4,153.33	18,313.35
11	21.73	6.37	336.00	38.60	12,968.06	4,153.33	17,121.39
12	18.80	3.44	336.00	36.35	12,212.34	4,153.33	16,365.67
13	17.82	2.46	336.00	47.69	16,024.82	4,153.33	20,178.15
14	15.90	0.54	336.00	51.46	17,289.16	4,153.33	21,442.49
15	16.24	0.88	336.00	52.72	17,714.06	4,153.33	21,867.39
16	17.08	1.72	336.00	51.32	17,244.08	4,153.33	21,397.41
17	17.54	2.18	336.00	57.31	19,256.16	4,153.33	23,409.49
18	20.96	5.60	336.00	53.37	17,932.88	4,153.33	22,086.21
19	30.25	14.89	336.00	54.53	18,322.36	4,153.33	22,475.69
20	44.64	29.28	336.00	53.28	17,900.40	4,153.33	22,053.73
21	66.48	51.12	336.00	45.16	15,173.76	4,153.33	19,327.09
22	51.38	36.02	336.00	43.64	14,661.50	4,153.33	18,814.83
23	45.61	30.25	336.00	42.31	14,215.74	4,153.33	18,369.07
24	34.13	18.77	336.00	46.18	15,516.90	4,153.33	19,670.23
25	44.49	29.13	336.00	46.44	15,602.30	4,153.33	19,755.63

Continuación tabla XIV.

DÍA	CAUDAL PROMEDIO REGISTRADO (m3/s)	EXCEDENTE DE CAUDAL PARA LA OPERACIÓN (m3/s)	PRODUCCIÓN DIARIA EN (Mwh)	PROMEDIO SPOT (US\$/MWh)	COSTO NO GENERACIÓN (US\$)	COSTO POR DESVÍO DE POTENCIA (US\$)	COSTO POR INDISPONIBILIDAD (US\$)
26	116.64	101.28	336.00	42.76	14,367.50	4,153.33	18,520.83
27	102.81	87.45	336.00	37.93	12,744.34	4,153.33	16,897.67
28	27.36	12.00	336.00	40.53	13,619.20	4,153.33	17,772.53
29	28.80	13.44	336.00	41.61	13,982.36	4,153.33	18,135.69
30	18.74	3.38	336.00	30.27	10,171.42	4,153.33	14,324.75
COSTO TOTAL POR INDISPONIBILIDAD							597,353.68

Fuente: elaboración propia.

El costo total por la indisponibilidad de treinta (30) días para la central hidroeléctrica “x” asciende a US\$ 597,353.⁶⁸; si se aplica una tasa de cambio de 7.78 quetzales por dólar, el costo total de indisponibilidad es de aproximadamente Q 4 647,411.⁶³.

Aunado a lo anterior, se consideraron otros posibles costos en que se podría incurrir derivado a la naturaleza de la indisponibilidad referida, los cuales se describen a continuación:

Tabla XV. **Otros posibles costos asociados a la indisponibilidad**

No.	RUBROS CONSIDERADOS	VALOR EN US\$
1	Reparación bocatoma	537,831.25
2	Reparación canal de aducción	227,562.50
3	Daños a terceros	100,000.00
4	Sanciones derivadas de las NSP	146,673.52
TOTAL		1,012,067.27

Fuente: elaboración propia.

El criterio para establecer los costos descritos en la tabla anterior corresponde a:

- Los costos de reparación de bocatoma y el canal de aducción, se establecieron con base al 25 % de los costos de obras análogas referidos en la tabla del anexo 1, dicha tabla corresponde a los datos de construcción de un proyecto hidroeléctrico nuevo y de menor capacidad instalada al evaluado en el ejemplo anterior.
- Para el caso de los costos de resarcimiento a terceros se utilizó el valor mínimo referido en la tabla el anexo II, para daños moderados, sin fatalidades considerados para una presa de baja consecuencia, la tabla en cuestión se encuentra contenida en la NSP.
- El costo sancionatorio impuesto por incumplimiento a las NSP se estableció bajo la aplicación de los factores: consecuencia/baja y tipo de incumplimiento/grave, concebidos en la presente investigación.

Es importante enfatizar con base en lo anterior, que los costos otros costos asociados a la indisponibilidad se establecieron con parámetros conservadores y monetizados en quetzales ascienden a Q 7873,883.36 aplicando una tasa de cambio de 7.78 quetzales por dólar.

Sumando los costos de indisponibilidad operativa, los cuales fueron estimados en US\$ 597,353.68 y los otros posibles costos asociados a la misma, que su vez se estimaron en US\$ 1,012,067.27. Se obtiene un valor total de US\$ 1,609,420.95 aproximadamente Q 12,521,294.99 después de haber sido valorarlos a una misma tasa de cambio de 7.78 quetzales por dólar.

5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. Aspectos relevantes de la producción hidroeléctrica

Considerada como un *commodity*, la energía eléctrica hoy en día es vital y transversal para realizar muchas de las actividades en los distintos ámbitos en que nos desenvolvemos. Este servicio trasciende en la forma en que nos comunicamos, se producen bienes de consumo masivo, se desarrolla nueva tecnología y se prestan servicios de vital importancia para el ser humano.

Bajo las condiciones de confinamiento y restricciones de movilidad en las que se desarrolló el presente trabajo de investigación, derivado de la pandemia COVID-19, la prestación de este servicio al igual que los relacionados a salud y alimentación se catalogaron como vitales por el Gobierno central de Guatemala y su prestación no podía ser interrumpido, esto con la finalidad o principio de asegurar el bienestar común de la población.

Con base en lo anterior y lo descrito a lo largo del capítulo 2, se pudo observar que la energía eléctrica producida por centrales hidráulicas constituye la generación base de Guatemala, esto debido a que por la posición geográfica y los recursos hídricos con los que cuenta nuestro país, dicho despacho está catalogado como hidro-térmico.

Al formar parte de la generación base, la producción de energía hidroeléctrica se torna relevante respecto a otras tecnologías, dicha relevancia radica en la forma en que el operador del sistema (AMM), constituye el despacho para cubrir la demanda nacional y las exportaciones

El despacho se realiza bajo el principio económico del orden demerito y de costo marginal, es decir que para cubrir la curva de demanda en tiempo real y con base a simulaciones previas, se apilan las tecnologías y centrales de generación para cubrir hora a hora en su totalidad la demanda.

La última máquina despachada para cubrir cierto segmento de la demanda es la que brinda la pauta del valor de costo marginal horario y de cómo se retribuirá el pago al resto de centrales y unidades que se utilizaron para cubrir la demanda en cierto período, de igual manera establece el precio *spot* con el cual se realizan transacciones en el mercado de oportunidad.

Al hablar de economía en el despacho para cubrir la demanda de energía eléctrica y que las centrales hidroeléctricas forman parte de la base del mismo, toma sentido y relevancia que el no contar con dichas centrales incrementaría el costo total de la producción para cubrir la demanda, esto debido a que al no contar con dicha base se tendrían que desplazar estas centrales e incorporar plantas de generación cuyos costos de operación son más caros, lo cual incidiría directamente en el resto de actividades que conlleva la cadena de suministro del servicio eléctrico, siendo estas la transmisión y distribución al usuario final.

El proceso de generación hidroeléctrica es sistémico y secuencial, el cual se efectúa mediante la transformación de la energía potencial del agua, en energías: cinética, gravitatoria, mecánica y por último en eléctrica. Cada componente en cuanto a su infraestructura es relevante y su vida útil es larga pero un factor relevante por considerar para su preservación es la realización de mantenimientos preventivos y acciones correctivas tempranas.

En tal sentido las Normas de Seguridad de Presas son relevantes, en el sentido que su razón de ser es no solo la preservación de la dicha infraestructura, también busca la preservación de las personas y el entorno y área de influencia de este tipo de centrales de generación.

5.2. Evaluación de las NSP y propuesta de instrumentos que coadyuven a su gestión

Los tópicos normativos conllevan una gestión, utilización de recursos y verificación de resultados, tanto por los entes fiscalizados, como por los entes reguladores, tomando como premisa el axioma: lo que no se puede medir, no se puede controlar y gestionar adecuadamente. Y tomando en cuenta que las Normas de Seguridad de Presas cuentan con la premisa de la preservación tanto de las obras hidráulicas asociadas a una presa de uso hidroeléctrico y de las personas en general, lo cual también adyacentemente se alinea a la preservación operativa de las centrales hidroeléctricas, se tornó importante analizar la percepción de dicha normativa e identificar puntos de mejora al respecto.

Durante el desarrollo del capítulo 3, específicamente respecto al sub numeral 3.4.2.1 *Análisis preliminar de las NSP*, de la presente investigación se brindaron consideraciones propias del investigador, las cuales fueron contrastadas con los resultados obtenidos de la aplicación de encuestas y formularios electrónicos concerniente a aspectos relacionados con las Normas de Seguridad de Presas, las cuales fueron condensadas mediante un diagrama de causa y efecto, herramienta que se consideró idónea para esquematizar el panorama general del análisis realizado.

Dentro de los datos relevantes o sobresalientes se refieren:

- El 54.5 % de los encuestados y fiscalizados por las Normas de Seguridad hacen alusión a que la normativa no cuenta con criterios adecuados para sancionar a los infractores.
- Un 63.6 % de los encuestados considera que el ente fiscalizador no cuenta con métricas para evidenciar la atención o resolución de su gestor, en contraste el 100 % de los mismos encuestados considera que dichas métricas deberían ser de dominio público para demostrar equidad en la fiscalización y cumplimiento que realiza en ente fiscalizador.
- El 86.4 % refieren que las NSP deben tener un instrumento de apoyo actualizable que ayude a puntualizar el actuar ante ciertos vacíos normativos actuales. También consideran las NSP deberían brindar certeza respecto a la determinación de servidumbres y puntualizar valores o metodologías para el gestor de obras hidráulicas asociadas a centrales hidroeléctricas.
- El 95.5 % de los entrevistados considera que los acercamientos interinstitucionales no son una tarea exclusiva de los fiscalizados, también el ente fiscalizador debe propiciar esos acercamientos en aras de mejorar la gestión de las NSP.
- Respecto al tema de la valorización de los costos de no generación por indisponibilidades, relacionadas a incidencias con presas o estructuras accesorias el 38 % de los encuestados no conoce los criterios para realizar dicha acción y los que conocen al respecto el 19 % no participa en la estimación en cuestión. Esta actividad no es del ámbito de acción de las

NSP, sin embargo, se consideró relevante como un *output* en la investigación, derivado que es un parteaguas para proyectar costos de oportunidad en pro de gestionar medidas preventivas o correctivas en materia de seguridad de presas.

- El 52.4 % de los encuestados ha sido sancionado por el ente fiscalizador
- El 50 % de los entrevistados consideran que la seguridad de presas no debería ser exclusiva de las presas de uso hidroeléctrico.

Los principales eventos de indisponibilidad históricos reportados por los entrevistados están relacionados con: daños estructurales, eventos de crecida y arrastre de sedimento, situaciones que podrían tener su génesis respecto a aspectos naturales del entorno donde están situadas las presas y las obras asociadas con estas, lo cual conlleva a la determinación de medidas preventiva como: protección de taludes, instalación de sistemas de inundación como alerta temprana y actividades de limpieza o dragas.

Como *outputs* respecto a lo descrito anteriormente, se generaron como propuestas de apoyo al gestionar de seguridad de presas lo concerniente a:

- Los criterios y herramienta de cálculo para la determinación de sanciones, con dicha acción y de ser adoptada el instrumento en cuestión, por el ente fiscalizador se brinda certeza respecto a la equidad y trato a las infracciones o transgresiones a las Normas de Seguridad de Presas.
- Los criterios y herramienta de cálculo para agilizar la gestión de calificación, aprobación o no aprobación de la planilla de profesionales que

podrían realizar exámenes de seguridad de presas, actividad sobresaliente en la gestión de seguridad de presas.

- Desarrollo de la herramienta de cálculo para la determinación de los costos de no generación hidráulica e indisponibilidad.

5.3. Variables consideradas para la estimación de los costos por indisponibilidad hidroeléctrica

Los criterios para la determinación de los costos por no generación, debe contemplar inicialmente lo relacionado al tipo de tecnología y disponibilidad de fuente de aprovechamiento de la central de generación, en tal sentido para una central de generación hidroeléctrica se conceptualizo, las variables:

- La capacidad instalada, esto derivado de la potencia de las unidades de generación y planta en general.
- El caudal de diseño, como valor pivote para evitar subdimensionamiento o sobre dimensionamiento operativo con base en la capacidad instalada.
- Factor de producción, como indicador de desempeño en la producción.
- Caudal entrante, para determinar disponibilidad de la fuente de aprovechamiento.
- Precio spot, como elemento de costo al cual se debe valorizar la potencia a comprar en el mercado de oportunidad.

- Precio de desvío de potencia, valor referencia que se indexa al cálculo de costo de indisponibilidad.

Tal como se refirió anteriormente esta acción no es del ámbito de las Normas de Seguridad de Presas, pero es importante para un agente hidráulico y en especial de aquellos que gestionan la normativa en cuestión, como un instrumento de apoyo en pro de gestionar medidas preventivas o correctivas en materia de seguridad de presas.

CONCLUSIONES

1. La forma de cálculo inferida y presentada en la investigación son orientativas y análogas, en tal sentido cualquier agente hidráulico que participe en el Mercado Mayorista, indistintamente de su capacidad de producción pueden tomar como referencia los lineamientos descritos como un instrumento de apoyo en la toma de decisiones para la priorización de la gestión y seguridad operativa o también denominado anteriormente como el costo de oportunidad.
2. Dentro de los aspectos más relevantes investigados y descritos concerniente al proceso de producción hidroeléctrico están: el aprovechamiento del agua en el proceso de generación no es contaminante, a su vez es renovable; estas centrales de generación se pueden clasificar según su capacidad de almacenamiento, finalidad de uso y tipo de regulación; el ciclo de conversión de energía que se realiza mediante la utilización del agua es de energía potencial, a cinética, gravitatoria, mecánica y por ultimo energía eléctrica.
3. A través de la investigación se determinaron propuestas de mejora a la gestión de seguridad de presas, siendo estas: la determinación del cálculo sancionatorio por factores, el instrumento de calificación para profesionales que quieran optar a la realización de exámenes de seguridad de presas y los lineamientos para el cálculo de costos por indisponibilidad de centrales hidroeléctricas.

4. Para el cálculo de los costos por indisponibilidades se infirieron tres aspectos principales los cuales fueron los correspondientes a los tecnicismos de la central de generación (potencia de unidad o planta, caudal de diseño y factor de producción), los relacionados al periodo de indisponibilidad (días de indisponibilidad y caudal entrante de indisponibilidad) y los relacionados al mercado mayorista (precio spot, costo de energía no generada y precio de desvíos de potencia).

RECOMENDACIONES

1. Evaluar periódicamente las Normas de Seguridad de Presas por parte del ente regulador, con el ánimo de precisar aspectos técnicos como: metodologías, valores referencia o normas de apoyo para actividades puntuales como desarrollo de estudios de inundación, alertas tempranas, normas de construcción, entre otros aspectos que fomenten buenas prácticas al respecto.
2. Para proyectar equidad y transparencia en los procesos de fiscalización, se torna oportuno referir al ente regulador, considerar la publicación de las métricas que brinden el panorama de los resultados de dichos procesos a todos los fiscalizados, utilizando un medio electrónico como su página web oficial para la divulgación de lo descrito.
3. Los esfuerzos combinados o interinstitucionales, pueden ser claves para el gestionar de la seguridad de presas y en general a la operación de las centrales hidroeléctricas es por ello por lo que dicha tarea debe ser inclusiva tanto para el ente regulador como para los fiscalizados.
4. Los fiscalizados y todos aquellos interesados en propiciar mejoras al marco normativo de seguridad de presas u otro tipo de normativas deben ser propositivos desde cada una de sus especialidades y a la vez deben ser objetivos en cuanto a las propuestas a realizar.

REFERENCIAS

1. Acuerdo Gubernativo Número 256-97. Reglamento de la Ley General de Electricidad. Diario de Centro América. Guatemala. 2 de abril 1997. Recuperado de <http://www.cnee.gob.gt/pdf/marco-legal/LEY%20GENERAL%20DE%20ELECTRICIDAD%20Y%20REGLAMENTOS.pdf>
2. Administrador del Mercado Mayorista. (2000). Resolución 157-01. Norma de coordinación comercial No. 1 Coordinación del despacho de carga. Guatemala: Autor.
3. Administrador del Mercado Mayorista. Guatemala. (2001). Resolución 216-01. Norma de coordinación comercial No. 2 oferta y demanda firme. Guatemala: Autor.
4. Administrador del Mercado Mayorista. Guatemala. (2001). Resolución 216-02. Norma de coordinación comercial No. 3 transacciones de desvíos de potencia. Guatemala: Autor.
5. Administrador del Mercado Mayorista. Guatemala (2000). Resolución 157-02. Norma de coordinación comercial No. 4 precio de oportunidad de la energía. Guatemala: Autor.
6. Administrador del Mercado Mayorista. Guatemala. (2000). Resolución 217-01. Norma de coordinación comercial No. 5 sobrecosto de unidades generadoras forzadas. Guatemala: Autor.

7. Administrado del Mercado Mayorista. (2018). *Informe Estadístico 2018* Guatemala. Guatemala: Autor.
8. Bueno, S. (abril, 2007). Gestión integral en obras hidráulicas, rentabilidad y calidad en la conducción de agua. *Revista de Arquitectura e Ingeniería*. 1 (1) pp. 1-13.
9. Comisión Internacional de Grandes Presas. (2007). *Las presas y el agua en el mundo*. Paris, Francia: Autor. Recuperado de https://www.spancold.org/wp-content/uploads/2018/01/Las_presas_y_el_agua_en_el_mundo.pdf
10. Comisión Internacional de Grandes Presas. (s.f.). *ICOLD CIGB*. Paris, Francia: Autor. Recuperado de https://www.icold-cigb.org/GB/dams/dams_safety.asp.
11. Comisión Nacional de Energía Eléctrica. (2016). Resolución CNEE-283-2016. Normas de Seguridad de Presas (NSP). Guatemala. Autor
12. Decreto No. 93-96, Ley General de Electricidad. Congreso de la República de Guatemala Diario de Centro América. Guatemala. 15 de noviembre 1996. Recuperado de <http://www.cnee.gob.gt/pdf/marco-legal/LEY%20GENERAL%20DE%20ELECTRICIDAD%20Y%20REGLAMENTOS.pdf>
13. Electricidad Ined Aneño Ency. (18 de febrero de 2011). *Historia de las hidroeléctricas en Guatemala*. [Mensaje en un blog]. Recuperado de

<http://encv5toelectricidad2011ined.blogspot.com/2011/02/historia-de-las-hidroelectricas-en.html>

14. EPEC Educa. (16 de septiembre de 2018). *Las centrales hidroeléctricas*. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://www.epec.com.ar/institucional/epec-educa>
15. Fundación Solar. (2013). *Centrales Hidroeléctricas de pequeña escala*. Guatemala, Guatemala: Tritón imagen & comunicaciones.
16. Fundación Solar. (2014). *Medición del potencial hidrológico para generación de energía renovable*. Guatemala: Tritón imagen & comunicaciones.
17. Hernández, R.; Fernández, C. y Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación*. México: McGraw-Hill.
18. International Renewable Energy Agency. (2012). *Renewable Energy Cost Analysis. Hydropower*. Abu Dabi, Emiratos Árabes Unidos: International Renewable Energy Agency.
19. International Renewable Energy Agency. (2016). *Hydropower. Technology Brief*. Abu Dabi, Emiratos Árabes Unidos: International Renewable Energy Agency.
20. Ministerio de Energía y Minas. (diciembre, 2017). Costo Variable de Generación. *Revista anual de estadísticas del Ministerio de Energía y Minas*. 1 (1) p. 6.

21. Ministerio de Energía y Minas. (2018). *Centrales Hidroeléctricas*. Guatemala. Autor.
22. Organismo Regulador de Seguridad de Presas. (2010). *Más de 10 años fiscalizando la seguridad estructural y operativa de las presas*. Buenos Aires, Argentina: ORSEP.
23. Organismo Regulador de Seguridad de Presas. (s.f.). *Crecer junto al dique*. Buenos Aires, Argentina: ORSEP.
24. Soriano, A. y Escuder I. (noviembre, 2008). El comportamiento de las presas y la gestión integral de su seguridad. *Revista de Obras Públicas*. 3 (493), pp. 89-108.
25. Universidad Rafael Landívar. (2018). *Perfil energético de Guatemala. Bases para el entendimiento del estado actual y tendencias de la energía*. Guatemala: Universidad Rafael Landívar.
26. Walpole, R.; Raymond, M.; Sharon, M. y Ye, K. (2012). *Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Ciencias*. México: Pearson Educación.

ANEXOS

Anexo 1. Inversiones para la construcción de un proyecto de 5.8 Mw.

Proyecto Hidroeléctrico El Porvenir
Inversiones en dólares

RUBRO	MONTO
Obras civiles	1,000,000
Construcción de la Toma	2,151,325
Construcción de Canal	910,850
Tubería de Presión	814,975
Tubo-Generadores	2,350,000
Casa de Máquinas	319,850
Subestación	185,150
Diseño (3%)	<u>234,215</u>
Total de Inversión Fija	7,966,365
Capital de Trabajo	<u>75,000</u>
Total de Inversión	US \$8,041,365

Fuente: INCAE Business School, (s.f.). *Proyecto hidroeléctrico El Porvenir.*

Anexo 2. **Potencial consecuencia incremental de falla, según las NSP**

Clasificación	Potencial Consecuencia Incremental de una Falla [a]	
	Seguridad de Vida [b]	Socioeconómico, Financiero y Ambiental [b] [c]
MUY ALTA	Gran número de fatalidades: mayor a 100 vidas	Daños extremos: mayor a \$100,000,000
	Alto potencial de pérdida de vidas incluyendo residentes y trabajadores, público en recreación y/o viajeros. Desarrollo dentro del área de crecida (el área que podría ser inundada si hay falla en la presa) incluye típicamente comunidades, grandes áreas comerciales y de trabajo, principales carreteras, vías de ferrocarril y lugares concentrados para actividades recreacionales. Las fatalidades estimadas exceden las 100.	Pérdidas económicas muy altas que afectan la infraestructura, las obras públicas y comerciales en el área de crecida. Típicamente incluye la destrucción de, o un daño extenso sobre, grandes áreas residenciales, terrenos concentrados para usos comerciales, carreteras, vías férreas, líneas de energía eléctrica, tuberías u otros servicios. Los costos estimados directos e indirectos (interrupción del servicio) podrían exceder los 100 millones de dólares de los Estados Unidos de América. Pérdida o deterioro significativo de importantes hábitats para la vida salvaje y/o para la pesca, especies raras y/o en peligro, paisajes únicos o sitios de valor y contenido cultural. La factibilidad para la restauración y/o compensación es baja.
ALTA	Algunas fatalidades: 0 a 100 vidas	Grandes daños: \$1,000,000 a \$100,000,000
	Mediano potencial de	Pérdidas económicas sustanciales que afectan

Continuación anexo 2.

	<p>pérdida de vidas, incluyendo residentes y trabajadores, público en recreación y/o viajeros. Desarrollo dentro del área de crecida típicamente incluye carreteras y vías de ferrocarril, áreas comerciales y de trabajo, lugares concentrados para actividades recreacionales y residencias espaciadas. Las fatalidades estimadas son menos de 100.</p>	<p>infraestructuras, las obras públicas y comerciales en el área de crecida. Típicamente incluye la destrucción o un daño extenso a terrenos con usos comerciales concentrados, carreteras, líneas de potencia, tuberías y otros servicios. Residencias espaciadas pueden ser destruidas o severamente dañadas. Los costos estimados directos o indirectos (interrupción del servicio) podrían exceder un millón de dólares. Pérdida o deterioro significativo de importantes hábitats para la vida salvaje y/o pesca, especies raras y/o en peligro, paisajes únicos o sitios de valor y contenido cultural. La factibilidad para la restauración y/o compensación es alta.</p>
BAJA	Sin fatalidades	Daños Moderados: \$100,000 a \$1,000,000
	<p>El área de crecida es típicamente no desarrollada a excepción de caminos menores, fincas no residenciales o temporalmente habitadas y actividades rurales.</p>	<p>Bajas pérdidas económicas, limitadas a cierta infraestructura, actividades comerciales y públicas. Los costos estimados directos e indirectos (interrupción del servicio) podrían exceder los 100,000 dólares de los Estados Unidos de América. Pérdida o deterioro significativo de importantes hábitats para la vida salvaje y/o para la pesca, especies raras o en peligro, paisajes únicos o sitios de valor y contenido cultural. La factibilidad para la restauración y/o compensación es alta. Incluye las situaciones donde la recuperación ocurriría con el tiempo sin restauración.</p>
MUY BAJA	Sin fatalidades	Daños menores fuera de la propiedad del Responsable de Presa: menor a \$100,000
	<p>El área de crecida es típicamente no desarrollada.</p>	<p>Pérdidas económicas mínimas limitadas típicamente a la propiedad del Responsable de la Presa y que no exceden los \$100,000 dólares de los Estados Unidos de América. Virtualmente no existe potencial para futuros desarrollos de otros usos del terreno dentro de un futuro previsible. Sin pérdida significativa o deterioro del hábitat para la vida salvaje y/o para la pesca, especies raras o en peligro, paisajes únicos o sitios de valor y contenido cultural.</p>

Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica (2016). *Normas de Seguridad de Presas*.

