



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**ANÁLISIS DEL MARCO REGULATORIO DEL SUBSECTOR ELÉCTRICO
DE GUATEMALA EN SU APLICACIÓN A UNA CENTRAL
HIDROELÉCTRICA DE BOMBEO**

José Andrés Escobar Iriarte

Asesorado por el Ing. Oscar Enrique Arriaga López

Guatemala, junio de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS DEL MARCO REGULATORIO DEL SUBSECTOR ELÉCTRICO
DE GUATEMALA EN SU APLICACIÓN A UNA CENTRAL
HIDROELÉCTRICA DE BOMBEO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JOSÉ ANDRÉS ESCOBAR IRIARTE

ASESORADO POR EL ING. OSCAR ENRIQUE ARRIAGA LÓPEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, JUNIO DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NOMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Juan Carlos Morataya Ramos
EXAMINADOR	Ing. Marvin Marino Hernández Fernández
EXAMINADOR	Ing. Armando Gálvez Castillo
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:

ANÁLISIS DEL MARCO REGULATORIO DEL SUBSECTOR ELÉCTRICO DE GUATEMALA EN SU APLICACIÓN A UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE BOMBEO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Ingeniería de Mecánica Eléctrica, con fecha febrero de 2012.


José Andrés Escobar Iriarte

Guatemala, 22 de abril de 2013

Ingeniero

Francisco Javier González Lopéz

Coordinador Área Potencia

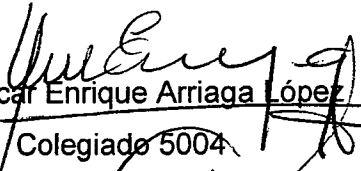
Escuela de Mecánica Eléctrica

Señor Coordinador:

Atentamente informo a usted que he tenido a bien revisar el Trabajo de Graduación titulado "ANÁLISIS DEL MARCO REGULATORIO DEL SUBSECTOR ELÉCTRICO DE GUATEMALA EN SU APLICACIÓN A UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE BOMBEO" desarrollado por el estudiante José Andrés Escobar Iriarte; y habiéndolo encontrado satisfactorio en su contenido y resultados me permito dar aprobación al mismo en el entendido de que tanto el Autor como el Asesor, somos responsables del desarrollo y conclusiones del mismo.

Sin otro particular quedo de usted,

Atentamente,


Ing. Oscar Enrique Arriaga López
Colegiado 5004
Asesor 11

Oscar E. Arriaga L.
Ingeniero Electricista
Colegiado No. 5004



Ref. EIME 27.2013
Guatemala, 30 de ABRIL 2013.

Señor Director
Ing. Guillermo Antonio Puente Romero
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

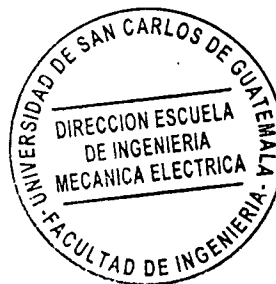
Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:
"ANÁLISIS DEL MARCO REGULATORIO DEL SUBSECTOR
ELÉCTRICO DE GUATEMALA EN SU APLICACIÓN A UNA
CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE BOMBEO", del estudiante
José Andrés Escobar Iriarte que cumple con los requisitos establecidos
para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Francisco Javier González López
Coordinador Área Potencia



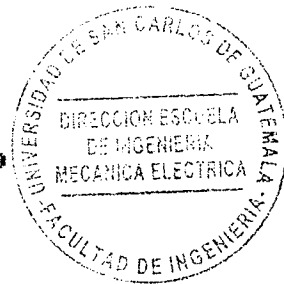
S/O



REF. EIME 27. 2013.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; JOSÉ ANDRÉS ESCOBAR IRIARTE titulado: "ANÁLISIS DEL MARCO REGULATORIO DEL SUBSECTOR ELÉCTRICO DE GUATEMALA EN SU APLICACIÓN A UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE BOMBEO", procede a la autorización del mismo.

Ing. Guillermo Antonio Puente Romero



GUATEMALA, 17 DE MAYO 2013.

Universidad de San Carlos
de Guatemala

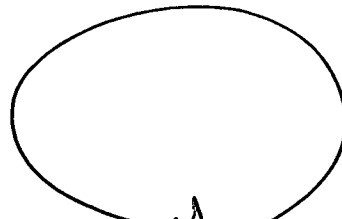


Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 427 .2013

El Decano 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 Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **ANÁLISIS DEL MARCO REGULATORIO DEL SUBSECTOR ELÉCTRICO DE GUATEMALA EN SU APLICACIÓN A UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE BOMBEO**, presentado por el estudiante universitario: **José Andrés Escobar Iriarte**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 20 de junio de 2013



/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Por darme la vida y las posibilidades de desarrollarme en esta profesión

Familiares

A mis papás y mis hermanos por ser ese acompañamiento durante todas las etapas de mi vida, y mi demás familia por estar junto a mí en los momentos difíciles y alegres.

AGRADECIMIENTOS A:

- Mis padres** Carmen María Iriarte Antillón y Oscar Alfredo Escobar Navas, por ser mi apoyo y sacrificar tantas cosas por mi desarrollo.
- Mis hermanos** Diego Escobar Iriarte y Mariano Escobar Iriarte, por ser mis acompañantes durante el camino de la vida, y esperar siempre lo mejor de mí.
- Grupo Aventura** Por formar parte de mi vida e inculcar en mí el deseo de ser siempre una persona de bien y para bien.
- Mis amigos** Que durante estos años en la universidad fueron mi familia y nos acompañamos en los momentos vividos.
- Universidad de San Carlos de Guatemala** Por permitirme desarrollarme como profesional y continuar apoyando al desarrollo de Guatemala por medio de profesionales comprometidos con el país.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	VII
GLOSARIO.....	IX
RESUMEN	XI
OBJETIVOS	XIII
INTRODUCCIÓN.....	XV
1. CENTRALES HIDROELÉCTRICAS.....	1
1.1. Características de las centrales hidroeléctricas.....	1
1.2. Funcionamiento general de una central hidroeléctrica	3
1.3. Elementos de una central hidroeléctrica	3
1.3.1. Presas.....	3
1.3.2. Válvulas, compuertas y aliviaderos	5
1.3.3. Bocatoma	6
1.3.4. Canales, túneles y tuberías	6
1.3.5. Desarenador	7
1.3.6. Cámara de carga	8
1.3.7. Tubería forzada.....	8
1.3.8. Casa de máquinas	9
1.3.8.1. Turbinas	10
1.3.8.2. Generador	11
1.3.8.3. Línea de conexión y equipo eléctrico general	12
1.3.9. Equipo de control y protección	13

1.4.	Tipos de centrales hidroeléctricas.....		15
1.4.1.	Centrales hidroeléctricas a filo de agua		15
1.4.2.	Centrales hidroeléctricas con embalse.....		16
1.4.3.	Centrales hidroeléctricas de bombeo		17
1.4.4.	Ventajas y desventajas de las centrales hidroeléctricas.....		18
1.4.4.1.	Ventajas		19
1.4.4.2.	Desventajas		20
2.	CENTRALES HIDROELÉCTRICAS DE BOMBEO		23
2.1.	Descripción general		23
2.2.	Funcionamiento		24
2.3.	Elementos que forman parte de una central de bombeo.....		27
2.3.1.	Embalse superior		27
2.3.2.	Embalse inferior		27
2.3.3.	Máquina reversible.....		28
2.4.	Factores importantes de las centrales hidroeléctricas de bombeo		30
3.	MARCO REGULATORIO DEL SUBSECTOR ELÉCTRICO		35
3.1.	Situación actual del subsector eléctrico guatemalteco		35
3.2.	Ley General de Electricidad.....		39
3.3.	Modelo de mercado del subsector eléctrico de Guatemala.....		41
3.3.1.	Mercado de oportunidad o mercado <i>spot</i>		43
3.3.1.1.	Precio de oportunidad de la energía....		43
3.3.1.2.	Costo marginal de corto plazo		43
3.3.2.	Mercado a término		44

3.3.2.1.	Mercado de transacciones de desvíos de potencia.....	44
3.4.	Normas de coordinación comercial y operativa del Administrador del mercado mayorista	45
3.4.1.	Normas de Coordinación Comercial	46
3.4.2.	Normas de Coordinación Operativa	54
3.5.	Autorizaciones y permisos para centrales hidroeléctricas	56
3.5.1.	Centrales hidroeléctricas con potencia menor o igual a 5 megavatios	57
3.5.2.	Centrales hidroeléctricas con potencia mayor a 5 megavatios.....	58
3.6.	Aspectos regulados en una central de bombeo.....	61
3.7.	Aspectos por regular en una central hidroeléctrica de bombeo.....	63
4.	ANÁLISIS FINANCIERO.....	69
4.1.	Análisis del Precio de Oportunidad de la Energía	69
4.1.1.	Fundamento	69
4.1.2.	Análisis.....	70
4.2.	Proyecto supuesto	79
4.3.	Gastos y costos del proyecto	83
4.4.	Análisis	85
	CONCLUSIONES.....	95
	RECOMENDACIONES.....	97
	BIBLIOGRAFÍA.....	99

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Campos de utilización de diferentes tipos de turbinas.....	11
2.	Configuración de máquina reversible	30
3.	Vista lateral de casa de máquinas, Hidroeléctrica Waldeck	33
4.	Comportamiento horario anual POE	72
5.	Comportamiento horario época lluviosa POE.....	74
6.	Comportamiento horario época seca POE	75
7.	Comportamiento horario POE 10/092011	77
8.	Comportamiento horario POE 21/05/2011	78
9.	Detalle de centrales hidroeléctricas por potencia	81

TABLAS

I.	Normas de Coordinación Comercial.....	46
II.	Normas de Coordinación Operativa	55
III.	Plantas de generación hidroeléctrica existentes	79
IV.	Promedio horario POE	86
V.	Detalle de ingresos de proyecto.....	89
VI.	Detalle de egresos de proyecto.....	90
VII.	Amortizaciones anuales del proyecto.....	91
VIII.	Flujos anuales del proyecto.....	92

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
c	Caudal de diseño para una hidroeléctrica
C O&M	Costos de operación y mantenimiento
H	Diferencia de altura neta entre dos puntos
η	Eficiencia total del sistema de conducción hidráulico
kWh	Energía, miles de vatios hora
GWh	Energía, un mil millones de vatios hora
MWh	Energía, un millón de vatios hora
g	Gravedad
NCC	Norma de coordinación comercial
NCO	Norma de coordinación operativa
NSP	Normas de seguridad de presas

p	Potencia total instalada
kW	Potencia, miles de vatios
MW	Potencia, un millón de vatios
kV	Voltaje, un mil voltios
V	Volumen de almacenamiento de un embalse, en metros cúbicos

GLOSARIO

Año estacional	Es el período de doce meses que inicia el uno de mayo y termina el treinta de abril del año siguiente.
Bituminosa	Que tiene betún o semejanza con él.
Escollera	Obra hecha con piedras echadas al fondo del agua, para formar un dique de defensa contra el oleaje, para servir de cimiento a un muelle o para resguardar el pie de otra obra.
Generación distribuida renovable	Es la modalidad de generación de electricidad, producida por unidades de tecnologías de generación con recursos renovables que, que se conectan a instalaciones de distribución y cuyo aporte de potencia es menor a 5 megavatios.
Golpe de ariete	Aumento violento de la presión en una conducción hidráulica producido por el cierre brusco de una válvula.
Inducido	Circuito que gira en el campo magnético de una máquina eléctrica, y en el cual se desarrolla una corriente por efecto de su rotación.

Inductor	Órgano de las máquinas eléctricas destinado a producir la inducción magnética.
Oferta firme	Es una característica técnica de cada unidad generadora que se calcula en función de su potencia máxima y de su disponibilidad.
Petrolífero	Que contiene o produce petróleo.
Plica	Sobre cerrado y sellado en que se reserva algún documento o noticia que no debe publicarse hasta fecha u ocasión determinada.
POE	Precio de Oportunidad de la Energía
Tasa Interna de Retorno (TIR)	Es aquella tasa de descuento que al utilizarla para actualizar los flujos futuros de ingresos netos de un proyecto de inversión, hace que su valor presente neto sea igual a cero.
Valor Actual Neto (VAN)	Procedimiento que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión.

RESUMEN

En este trabajo de graduación se desarrolla un análisis del marco regulatorio vigente del subsector eléctrico en Guatemala, desde el punto de vista de una hipotética inclusión de una central hidroeléctrica de bombeo, a fin de analizar las posibles modificaciones regulatorias que debieran realizarse para permitir su adecuado ingreso al sistema eléctrico de Guatemala.

Para poder realizar un análisis de forma integral se ha desarrollado una recopilación de los principales conceptos y definiciones relacionados con las centrales de generación hidroeléctricas, partiendo desde su importancia dentro de un sistema eléctrico interconectado hidrotérmico, pasando por los conceptos relacionados con su funcionamiento y operación, así como los diferentes tipos de centrales hidroeléctricas existentes, a fin de determinar sus principales ventajas y desventajas desde el punto de vista operativo y económico.

Por ser un tema de poca difusión dentro del sector eléctrico en Guatemala, se procederá a enumerar las características principales de una central hidroeléctrica de bombeo, esto para poder describir su funcionamiento y los elementos principales y distintivos con los que cuenta una central de este tipo.

El objetivo general de este trabajo de graduación, es el establecer aquellos aspectos que a criterio del autor no se encuentren explícitamente contemplados dentro del marco regulatorio del Subsector Eléctrico de Guatemala ya que a la presente fecha no existe ninguna central hidroeléctrica de bombeo conectada al sistema nacional interconectado, por lo que se hará una revisión completa de dicho marco regulatorio a fin de poder determinar

aquellos aspectos que se encuentran regulados dentro del marco vigente de regulación en Guatemala, y además, poder establecer aquellos aspectos que no ha sido incluidos dentro de dicho marco regulatorio.

Como todo proyecto, además de los componentes técnicos, es necesario realizar un análisis de la viabilidad económica de una central con las características descritas en este trabajo, por lo que se realizará un análisis de los principales indicadores económicos que permitirán evaluar la posible rentabilidad y consecuente viabilidad del proyecto. Es importante mencionar que el análisis incluido en este trabajo se ha realizado con un fin indicativo, por lo que su alcance escapa de un análisis exhaustivo de las variables que se ven involucradas en el mismo.

OBJETIVOS

General

Identificar aquellos aspectos que no se encuentren contemplados dentro del marco regulatorio del subsector eléctrico de Guatemala, y proponer las modificaciones pertinentes para viabilizar la ejecución de centrales hidroeléctricas en Guatemala.

Específicos

1. Analizar la viabilidad de centrales hidroeléctricas de bombeo, mediante indicadores financieros de una central supuesta dentro del marco regulatorio vigente.
2. Identificar las posibles modificaciones o ampliaciones que se deban hacer en el marco regulatorio vigente del subsector eléctrico guatemalteco provocado por la entrada de una supuesta central hidroeléctrica de bombeo.
3. Identificar los diferentes elementos que son necesarios para el diseño e implementación de una central hidroeléctrica de bombeo.

INTRODUCCIÓN

En Guatemala, desde 1996 con la emisión de la Ley General de Electricidad, se modificó estructuralmente el subsector eléctrico del país, creando un modelo de mercado que separa las diferentes actividades de la industria eléctrica desde la producción hasta el consumo, a fin de introducir competencia en las actividades que por su naturaleza lo permitan, provocando una transición desde un modelo centralizado y organizado de forma vertical, hacía un modelo abierto y horizontal.

El marco regulatorio del subsector eléctrico en Guatemala está compuesto primero por la Constitución Política de la República (Artículos 129 y 130), la Ley General de Electricidad (Decreto 93-96), luego por el Reglamento de la Ley General de Electricidad (Acuerdo Gubernativo 256-97) y el Reglamento del Administrador del Mercado Mayorista (Acuerdo Gubernativo 299-98), y por último por las normas técnicas emitidas por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica y las normas de coordinación comercial y operativa emitidas por el Administrador del Mercado Mayorista.

De manera complementaria, se han emitido leyes y reglamentos para promover una mayor participación de las fuentes renovables de energía en el parque de generación nacional como la Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energía Renovable (Decreto número 52-2003) y su respectivo reglamento (Acuerdo Gubernativo 211-2005), así como para el establecimiento de una tarifa por el servicio de energía eléctrica de carácter social Ley de la Tarifa Social para el Suministro de Energía Eléctrica.

Debido al establecimiento de este marco regulatorio en Guatemala, se abre la posibilidad de una mayor participación de nuevos actores, especialmente en las actividades de generación y de transmisión de energía eléctrica.

A medida que la tecnología evoluciona al desarrollar nuevos sistemas de generación eléctrica para un mejor aprovechamiento de las fuentes energéticas existentes, surge la necesidad de regular adecuadamente su uso para que la inclusión de esas nuevas tecnologías al parque de generación del país contribuya a garantizar el suministro a costos eficientes.

Dentro de las tecnologías que no se utilizan aún en Guatemala para la producción eléctrica se puede mencionar la tecnología de generación de energía eléctrica por medio del uso de centrales hidroeléctricas de bombeo, las cuales aprovechan la energía cinética del agua en movimiento al experimentar un cambio de altura, de la misma manera que las hidroeléctricas convencionales, pero a la vez cuentan con un embalse ubicado aguas abajo del desfogue de la casa de máquinas, el cual es utilizado para almacenar el agua que ha sido turbinada para la generación de energía eléctrica y luego, por medio de equipos de bombeo, transportarla de nuevo hacia el embalse localizado aguas arriba para que pueda ser utilizada de nuevo para la generación de energía.

El proceso de la regulación normativa de aspectos técnicos tiene la característica de ser sumamente dinámico, y requiere la previsión de aspectos generales en principio, pero también la consideración de aspectos específicos que respondan a las circunstancias y a la incorporación de nuevas tecnologías no contempladas originalmente dentro de dicho marco, con el fin de no desviarse de los objetivos previstos por la regulación en su conjunto.

Por ello se ha desarrollado un análisis del marco regulatorio vigente en Guatemala para el subsector eléctrico, buscando determinar los puntos en los que se haría necesario algún tipo de modificación dentro del mismo, como consecuencia de la inclusión de una hipotética central hidroeléctrica de bombeo. A la vez que se ha realizado un análisis de las características principales de una central hidroeléctrica de bombeo, así como de los principales elementos que la componen, para determinar así los aspectos que se encuentren regulados dentro del marco regulatorio, así como de los diferentes aspectos que deberán ser tomados en cuenta al momento de la implementación de una central de este tipo dentro del sistema eléctrico de Guatemala.

1. CENTRALES HIDROELÉCTRICAS

1.1. Características de las centrales hidroeléctricas

Una central hidroeléctrica es aquella central de generación eléctrica que aprovecha la energía cinética del agua, ya sea que esta se encuentre almacenada en un embalse situado a un nivel más alto que la casa de máquinas, o que esta provenga directamente del cauce de un río sin necesidad de ser embalsada; el primer tipo de hidroeléctrica se denomina central con embalse, mientras que la segunda se denomina una central a filo de agua.

Las centrales hidroeléctricas presentan características particulares para la producción eléctrica en comparación con otras tecnologías utilizadas para el mismo propósito; dichas características se refieren a los aspectos ambientales, económicos, operativos y constructivos. Tales características hacen que las centrales hidroeléctricas sean de suma importancia como fuentes de energía eléctrica, ya que con ello presentan una serie de ventajas, entre las cuales se pueden mencionar algunas:

- Debido a que utilizan como fuente de generación primaria el agua, no se requiere combustibles en el proceso de generación eléctrica.
- No se contamina el aire, debido a que no se emiten gases producto de una combustión.

- Los costos de operación y mantenimiento son bajos en comparación con otras tecnologías.
- La obra civil que se realiza tiene una duración muy larga.
- Si se cuenta con un embalse, tiene flexibilidad de operación.
- Con un manejo responsable y completo se pueden brindar beneficios adicionales a las comunidades que se encuentren cerca de la central.

La energía que la Tierra recibe procedente del Sol es miles de veces mayor al consumo mundial de energía comercial, siendo la energía hidroeléctrica, de una manera indirecta, proveniente de la energía solar, una energía autóctona, limpia e inagotable, al igual que el resto de las energías renovables.

A nivel mundial la producción anual media de energía hidroeléctrica al 2006 fue aproximadamente 2 600 teravatios hora, lo que representa el 20 por ciento de la energía eléctrica producida. Al mismo año, la potencia hidroeléctrica instalada en todo el mundo rondó los 700 gigavatios, donde se puede ver la importancia de la energía hidroeléctrica a nivel mundial.

En Guatemala la situación es aún más evidente, ya que según la información oficial, en el 2011 la producción de energía por medio de hidroeléctricas fue de 4 094,17 gigavatios-hora, es decir el 50,25 por ciento de la energía total consumida en Guatemala. Existiendo aún, un potencial bastante alto de energía hidroeléctrica por explotar.

La importancia de la generación hidroeléctrica a nivel país, radica en que el uso de petróleo en la generación de energía eléctrica crea una dependencia exterior de los países importadores, haciendo a la vez vulnerable el sistema energético frente a posible crisis del sector petrolífero. Debido a esto, la generación hidroeléctrica se convierte en una fuente de energía con menor exposición a factores geopolíticos y económicos externos, la cual minimizaría, junto con otras energías provenientes de fuentes renovables, la dependencia energética exterior al permitir mayor autonomía en el suministro y consecuentemente en los precios de la energía en el sistema eléctrico nacional.

1.2. Funcionamiento general de una central hidroeléctrica

Las centrales hidroeléctricas son complejos de generación que cuentan con diferentes elementos para lograr aprovechar la energía mecánica producida por el desplazamiento del agua, y poder utilizarla para generar energía eléctrica.

1.3. Elementos de una central hidroeléctrica

Los elementos que conforman una central hidroeléctrica se pueden dividir en los elementos de obra civil y los elementos electromecánicos, siendo ambos esenciales para el correcto funcionamiento de una central hidroeléctrica.

Dentro de los elementos de obra civil que componen una central hidroeléctrica se tienen:

1.3.1. Presas

Muro transversal al curso del río que retiene el agua, cuya altura puede llegar a ser considerable y provocar una elevación notoria del nivel del río mediante la creación de un embalse.

Hay diferentes tipos de presas, según la forma que utilicen para resistir el empuje hidrostático; dependiendo el tipo de presa pueden requerir mayor complejidad en su construcción. Algunos de los tipos de presa son los siguientes:

- Presa de gravedad: es aquella que contrarresta el empuje del agua con su propio peso, por lo que se confía su estabilidad al esfuerzo del terreno sobre el que se asientan, pueden estar hechas de diferentes materiales como tierra o escollera, de hormigón o una mezcla de ambos materiales.
- Presa en arcos: en este tipo de presa el esfuerzo del empuje del agua se transmite hacia las laderas del valle, de ahí que su forma implique cierta curvatura. La convexidad que forma la presa está vuelta hacia el embalse, se sitúan mayormente en valles angostos con laderas rocosas de buena calidad.
- Presas inflables: éstas consisten en un tubo de material resistente y deformable relleno de agua o aire a una presión determinada. El sistema de apoyo debe estar constituido por una base de hormigón a la que se sujeta la parte inferior parcialmente plana del tubo.
- Presa de bóveda o contrafuertes: está formada por elementos independientes, unidos entre sí por medio de juntas de dilatación en toda su altura, de tal modo que no exista sujeción entre dos contiguos, con lo cual las dilataciones, contracciones, y asentamientos que puedan tener lugar en

uno de ellos no se transmitirán a los restantes. Las presas de contrafuerte generalmente necesitan sólo de un tercio a la mitad de la cantidad de concreto que se utilizaría para una de gravedad de altura similar, sin embargo no son necesariamente menos caras debido a la mayor cantidad de formas y de acero de refuerzo que se necesita.

1.3.2. Válvulas, compuertas y aliviaderos

Es necesario para el control del paso del agua desde el embalse o el punto de toma hasta el cauce del río aguas abajo en una central hidroeléctrica el disponer de dispositivos de control del flujo de agua, para evitar el peligro que podrían ocasionar las crecidas, ya que éstas pueden provocar una subida del nivel del agua en el embalse que sobrepase el máximo permitido. Para estos casos es necesario poder evacuar el agua excedente sin permitir su paso por la central. Para ello se utilizan las compuertas y válvulas, los cuales son aquellos elementos que permiten regular y controlar los niveles del embalse. Se puede mencionar diferentes posibilidades de desagüe:

- Aliviaderos de superficie: estos usualmente disponen de diferentes tipos de compuertas que permiten mantener totalmente cerrado el paso del agua, parcialmente abierto o abierto total. Dentro de éstos se pueden mencionar las compuertas verticales en las cuales el elemento de chapa reforzada se sube y baja verticalmente guiado por unas ranuras en los pilares adyacentes. Además se tienen las compuertas de segmento o compuertas Taintor, las cuales consisten en una estructura metálica con una superficie en forma cilíndrica, que gira alrededor de un eje al que está unido a través de brazos radiales. Por último se menciona la Clapeta como la compuerta basculante alrededor de un eje que vierte por encima de la misma.

- Desagües de fondo o medio fondo: son los que utilizan las válvulas y las compuertas como elementos de cierre. Las válvulas se emplean en instalaciones con caudales moderados o medios. Las válvulas pueden ser de aguja, mariposa, compuerta o de chorro huevo.

La entrada de elementos gruesos en estos conductos supone un problema que se resuelve con la colocación de unas rejillas limpiadoras o protectoras en la entrada la válvula.

1.3.3. Bocatoma

La bocatoma normalmente dispone de una rejilla que evita la entrada de elementos sólidos al canal y una compuerta de seguridad, la cual se cierra únicamente en caso de emergencia o cuando se va a realizar una inspección o reparación. Su diseño deber ser calculado para que las pérdidas de carga producidas sean mínimas.

Además existe otro tipo de bocatoma que se encuentra sumergida. Se realiza un canal excavado transversalmente al curso del río para incorporarse al canal de derivación. La bocatoma de agua sumergida suele utilizarse en central ubicadas en zona montañosas por la sencillez de su construcción, además de que provoca un impacto mínimo sobre el medio ambiente.

1.3.4. Canales, túneles y tuberías

Dependiendo del tamaño o de la potencia de la central hidroeléctrica, se necesita una red mayor o menor de conducciones. Las centrales que se

encuentra situadas al pie de la presa no necesitan obras de conducción, sin embargo en las que no se encuentran al pie de la presa, el agua deber hacer un recorrido más largo.

El primer tramo que recorre el agua se puede realizar a través de canales, túneles o tuberías, sin embargo el último tramo hasta la turbina se utilizan siempre tuberías.

Los canales que transportan el agua de la bocatoma al desarenador y de este último a la cámara de carga pueden realizarse a cielo abierto, enterrados o en conducción a presión. Las conducciones superficiales pueden realizarse excavando el terreno, sobre la propia ladera o mediante una estructura adicional de hormigón. Estas conducciones tienen una pendiente aproximada del 0,5 por mil. Además debe procurarse que el movimiento de tierra sea el mínimo posible.

Los túneles son conducciones bajo tierra que se excavan en el terreno y aunque tienen un coste más elevado, se adaptan mejor al terreno. El túnel suele ser de superficie libre y funciona como un canal abierto, es decir que el agua no circula bajo presión.

Las tuberías se emplean en las conducciones bajo tierra, y si no son del tipo de superficie libre, el agua estará sometida a presión. Cuando la presión interna es muy alta se debe incluir un armazón metálico externo como refuerzo.

1.3.5. Desarenador

Es una estructura hidráulica que remueve las partículas de un tamaño específico que la captación de una fuente superficial permite pasar. Por medio

de una estructura que es diseñada para retener la arena que traen las aguas servidas o las aguas superficiales a fin de evitar que ingresen, al sistema de conducción de la central hidroeléctrica.

Este dispositivo se utiliza en las centrales cuyas afluentes tengan altos contenidos de sólidos en suspensión, por lo que en centrales hidroeléctricas que capten aguas bajas en arenas o sedimentos se puede prescindir del mismo.

1.3.6. Cámara de carga

Es un depósito localizado al inicio de la tubería forzada o de presión. Es utilizada, además, como depósito final de regulación, aunque normalmente cuenta el volumen necesario para el arranque de la turbina sin intermitencias.

Cuando la conducción entre la toma de agua y la cámara de carga se realiza bajo presión, ésta última será cerrada y deberá contar con una chimenea de equilibrio, para amortiguar las variaciones de presión y protegerla de los golpes de ariete. Además esta debe de contar con un aliviadero para que en el caso de una parada no programada en la central, el cual es también llamado chimenea de equilibrio.

Como todo elemento de conducción hidráulica, la cámara de carga debe diseñarse buscando evitar al máximo las pérdidas de carga.

1.3.7. Tubería forzada

Es la tubería que se encarga de llevar el agua desde la cámara de carga hasta la turbina. Debe estar preparada para soportar la presión que produce la columna de agua, además de considerar la sobre presión que provoca el golpe de ariete en el caso de un rechazo de carga por parte de la central.

La colocación o ubicación de la tubería forzada puede ser enterrada o expuesta dependiendo de la orografía del terreno y de factores medioambientales. En el caso de colocarse expuesta, la tubería deberá ser sujeta mediante apoyos, además de los anclajes necesarios en cada cambio de dirección de ésta y la instalación de juntas de dilatación que compensen los esfuerzos originados por los cambios de temperatura.

En el caso de que la tubería se encuentre enterrada se suele utilizar una cama de arena en el fondo de la zanja sobre la que se apoya la tubería, y se instalan anclajes de hormigón en los cambios de dirección de la tubería. Para este caso estará sometida a menos cambios de temperatura, por lo que usualmente, no será necesario la instalación de juntas dilatación.

Dentro de los elementos electromecánicos que componen una central hidroeléctrica y las instalaciones que los contienen se tienen:

1.3.8. Casa de máquinas

Es el edificio donde se sitúa el equipo de la central de generación: turbinas, generadores, alternadores, equipos de control, etc.

La ubicación de la casa de máquinas debe analizarse muy atentamente, considerando los estudios topográficos, geológicos y geotécnicos, y la accesibilidad del mismo. La casa de máquinas debe contar con las

conducciones necesarias para que el agua llegue hasta la turbina con las menores pérdidas de carga posible, además de contemplar el desagüe hacia el canal de descarga.

Dentro de la casa de máquinas se deben incluir los elementos necesarios para brindar seguridad a las turbinas y otros equipos de la central al momento de presentarse una parada. Dentro de estos elementos se pueden mencionar las compuertas y válvulas; estas últimas son las más utilizadas pudiendo ser de mariposa o esférica.

Dentro de la casa de máquinas se encuentra todo el equipo propio de la generación eléctrica, el cual incluye:

1.3.8.1. Turbinas

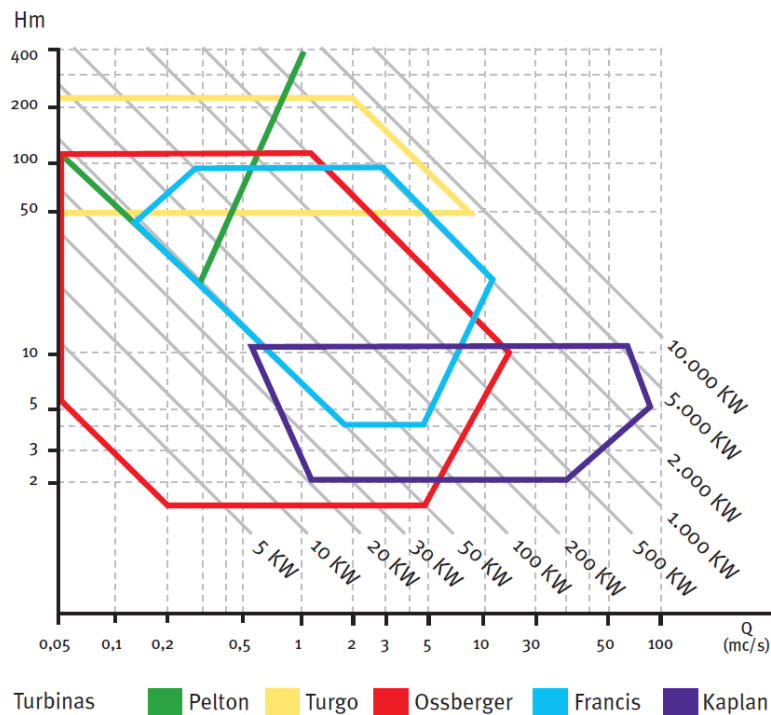
Las turbinas son elementos claves dentro de la central, debido a que transforma la energía cinética que contiene el agua en un movimiento de rotación, el cual es transferido mediante un eje al generador que produce energía eléctrica.

Existen básicamente dos tipos de turbina hidráulicas: las de impulso o de acción y las de reacción, en una turbina de acción la presión del agua se convierte primero en energía cinética, mientras en una turbina de reacción la presión del agua actúa como una fuerza sobre la superficie de los álabes y decrece a medida que avanza hacia la salida.

Existen diferentes tipos de turbinas, pero los tipos más utilizados son la Pelton, Francis y Kaplan; estas varían en la altura de la caída de agua para las que son utilizadas siendo la Pelton la utilizada para caídas más grandes

mientras que la Kaplan para caídas menores, sin embargo existen, dentro del mercado una amplia diversidad de turbinas disponibles. Ver figura 1.

Figura 1. Campos de utilización de diferentes tipos de turbinas



Fuente: Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. Minicentrales Hidroeléctricas, p. 53.

1.3.8.2. Generador

Es la máquina eléctrica que convierte la energía mecánica de rotación de la turbina en energía eléctrica alterna. El generador basa su funcionamiento en la inducción electromagnética, cuyo principio está fundamentado en la ley de Faraday, la cual establece que cuando un conductor eléctrico se mueve en un campo magnético se produce una corriente eléctrica a través de él.

El generador está compuesto de dos partes fundamentales, el rotor o inductor que es el que genera el campo magnético variable al girar arrastrado por la turbina, y el estator o inducido que es sobre el cual se induce la corriente eléctrica aprovechable.

Existe una amplia cantidad de información relacionada únicamente al generador eléctrico, sin embargo no se profundizará en ese tema al no representar mayor relevancia para el tema que se está desarrollando.

1.3.8.3. Línea de conexión y equipo eléctrico general

El equipamiento eléctrico es necesario en la central hidroeléctrica, ya que es el encargado de la transformación de la tensión, de la medición de los diferentes parámetros de la energía, de la conexión a la línea y de la evacuación de la energía de la central.

Uno de los elementos fundamentales en cualquier sistema eléctrico es el transformador. Dependiendo de la potencia del generador, así podrá ser de diferentes niveles de tensión, y su objeto es elevar la tensión de generación al nivel de tensión de la línea de conexión, ya sea de distribución o de transmisión para poder evacuar la energía con las mínimas pérdidas posibles.

El transformador debe contar con un sistema de refrigeración que puede hacer uso de convección natural o por circuito cerrado de aceite, lo cual conllevará diferentes consideraciones constructivas y de mantenimiento.

Los equipos eléctricos que son necesarios en una central hidroeléctrica son muy similares a los que se encuentran en cualquier otra central de generación eléctrica y dependiendo del nivel de tensión al que se está elevando el voltaje generado se dispondrán en una subestación eléctrica que esté diseñada adecuadamente.

Además, dependiendo de la ubicación de la central, es importante considerar la construcción de la línea de conexión necesaria para transportar la energía producida hacia un punto de conexión en el sistema eléctrico existente y así poder llevar la energía hacia los centros de consumo. El coste de esta línea puede encarecer notablemente el proyecto, por lo que se debe considerar desde el inicio del desarrollo del mismo.

1.3.9. Equipo de control y protección

La instalación de elementos de protección y control en una central hidroeléctrica es necesaria para regular y controlar el buen funcionamiento de la misma, además de los dispositivos de protección que deben colocarse en la línea de conexión.

Los principales elementos de control en una central son:

- Regulador de velocidad en instalaciones para la turbina
- Regulador de nivel
- Regulador de caudal turbinado

- Regulador de tensión para grupos síncronos

Las protecciones de los sistemas que componen la central actúan al producirse un hecho anormal en su funcionamiento provocando, dependiendo de la gravedad del hecho, una alarma, algún disparo en un elemento e incluso la parada total de la central.

Uno de los principales elementos en una central, y por lo tanto al que se le debe poner especial énfasis en su protección, es el generador sincrónico.

El inconveniente al coordinar algunas de las protecciones no es tanto que puedan operar inadecuadamente o sacar de línea el generador de servicio innecesariamente, sino que fallen en operar cuando deben hacerlo. Un disparo innecesario del generador es indeseable, pero las consecuencias de no dispararlo son terribles, ya que el costo de un evento de este tipo no recae únicamente en el costo de la reparación o reemplazo de la máquina dañada, sino también en el costo de la energía para no cortar el suministro debido a que pueda estar comprometido durante el período que la unidad esté fuera de operación.

Las protecciones de un generador sincrónico en general varían de acuerdo a las características constructivas del mismo, especialmente del rotor. Los generadores impulsados por turbinas hidráulicas tienen rotores de polos salientes laminados con devanados de campo concentrados y un gran número de polos.

1.4. Tipos de centrales hidroeléctricas

Debido a la diversidad de condiciones orográficas en las que se encuentran los aprovechamientos hidráulicos existen diferentes tipos de centrales hidroeléctricas.

El diseño de las centrales hidroeléctricas se ha ido adaptando a las necesidades de cada ubicación considerando toda su geografía, permitiendo así el desarrollo de tipos muy específicos de centrales, además de encontrar, en más de un caso, centrales híbridas, es decir que cumplan con más de una definición de un tipo de central hidroeléctrica.

El agua es, básicamente, considerada como la más barata fuente de energía, y desde las civilizaciones antiguas ha sido aprovechada para convertir la energía cinética del agua en movimiento en energía mecánica, esta conversión de energía involucra distintas obras civiles e hidráulicas.

Dependiendo de la capacidad de regulación de volumen de agua se tienen los siguientes tipos de centrales:

1.4.1. Centrales hidroeléctricas a filo de agua

Se les llama así a las centrales hidroeléctricas que toman el agua de un río y no poseen ningún tipo de embalse o almacenamiento, es decir, que no se almacena el agua sino que se aprovecha el agua que esté disponible en el cauce del río a cada momento. Debido a que no cuentan con reserva de agua, el caudal suministrado oscila según las estacionalidades del año y las variaciones del caudal del río a lo largo del tiempo (horas, días, meses).

La construcción en la obra de derivación es mínima comparada con los otros tipos de centrales, ya que únicamente se construye una presa derivadora para provocar un desnivel y así ingresar el agua a la bocatoma y a las obras de conducción.

Tienen la desventaja que, al no almacenar agua, solo desarrollan su potencia máxima en temporadas de altos caudales en el río es decir, cuando ocurren precipitaciones abundantes, y durante las épocas secas su potencia generada disminuye considerablemente.

1.4.2. Centrales hidroeléctricas con embalse

Este tipo de centrales hidroeléctricas se caracterizan por contar con capacidad de almacenar un volumen de agua y formar así un embalse para lo cual se dispone de una o más presas con las cuales se contiene un volumen determinado de agua en un área delimitada. Estas centrales tienen la capacidad de poder controlar el agua que se utiliza para la generación eléctrica en un instante determinado, permitiendo regular el agua que se conduce hacia las turbinas para la producción eléctrica.

Las centrales hidroeléctricas que utilizan embalses requieren de un gran diseño de ingeniería a la vez que es necesario considerar muchas más características propias del área de influencia de la central, además incluyen sistemas de control y manejo del agua más sofisticados y con mayor grado de tecnicidad.

Este tipo de centrales son de suma importancia para un sistema eléctrico interconectado grande, ya que la posibilidad de controlar el caudal que se turбина y mantener una estricta supervisión del caudal entrante al embalse

permite programar y optimizar el uso que se le dará al agua. Es decir, que el agua sea utilizada según el sistema y su demanda la requiera, tomando en cuenta las otras tecnologías presentes en el sistema y sus características.

Mientras más grande sea la capacidad instalada de la central y el volumen de almacenamiento del embalse de la misma, más rigurosos deberán ser los monitoreos que se realicen a todas las obras conexas de la central, esto debido a la fuerte inversión que representa construir una central de este tipo, pero además al peligro potencial que representa un volumen alto de agua almacenada aguas arriba de un río para las comunidades o personas que se encuentren ubicadas aguas abajo del mismo río.

1.4.3. Centrales hidroeléctricas de bombeo

Consiste en una central hidroeléctrica que se encuentre en un área con ciertas cualidades geográficas, la cual utiliza, al igual que en la central anterior, un embalse situado aguas arriba de la central para poder regular y controlar el agua disponible para poder utilizarla de manera más planificada y controlada para la generación eléctrica, sin embargo cuenta con otro embalse, este situado aguas abajo de la central, el cual es utilizado para almacenar el agua que ya ha sido utilizada para la generación eléctrica, ésta agua almacenada es llevada hacia el embalse situado aguas arriba por medio de un sistema de bombeo y conducción con características similares al utilizado para conducir el agua hacia la casa de máquinas.

Este tipo de central para operar en un sistema interconectado requiere de un modelo de fijación de precios de la energía eléctrica en el cual los precios

sean variables a lo largo del día, ya que el agua que es conducida hacia el embalse superior es impulsada por medio de bombas, las cuales generan un consumo de energía eléctrica para realizar esta tarea, que debiera ser comprada a un precio inferior al de venta.

En el momento en el que la demanda del sistema eléctrico es máxima, la central actúa como una central hidroeléctrica con embalse (convencional) generando energía por medio del agua almacenada en su embalse superior. Durante las horas en la que la demanda de energía es menor, y por lo tanto se supone un precio menor de la energía, el agua es bombeada desde el embalse inferior hacia el embalse superior para que nuevamente esté disponible para el período de máxima demanda y sea una opción rentable.

Este trabajo de investigación buscará delimitar los parámetros, tanto técnicos como regulatorios para analizar el ingreso de una central de estas características dentro del sistema eléctrico de Guatemala.

1.4.4. Ventajas y desventajas de las centrales hidroeléctricas

Como se observa anteriormente, de acuerdo a la capacidad de almacenamiento de agua que poseen, existe una variedad de centrales hidroeléctricas, las cuales varían principalmente en su obra civil y, por lo tanto, en el impacto que se pueda tener sobre el ambiente presente en el sitio de la construcción de la central antes de establecerla. Al involucrar diferentes disciplinas en el diseño y construcción de una central hidroeléctrica, es importante mencionar que existen diferentes enfoques respecto a las posibles

ventajas y desventajas que pueda significar la construcción de una central hidroeléctrica en una determinada área.

Para efectos de este trabajo se realizará un análisis general, considerando las más notables ventajas ambientales, económicas y de operación que representa este tipo de centrales, así como las desventajas que en base a la experiencia se han determinado. Las ventajas y desventajas indicadas se presentan a continuación.

1.4.4.1. Ventajas

Es una fuente de energía limpia y renovable, principalmente en términos de emisiones de gases de efecto invernadero provenientes del proceso de generación de energía eléctrica a base de combustión. Además se dice que es renovable ya que el agua que es tomada en un punto de la cuenca, y luego de ser conducida y turbinada.

Existe una disponibilidad del recurso primario utilizado en la generación de energía eléctrica, el agua. Ya que si se toman las medidas necesarias para preservar las condiciones hidrológicas e hidrogeológicas del terreno, el recurso se mantendrá disponible de acuerdo a su comportamiento natural.

La operación de centrales hidroeléctricas representa un costo relativamente bajo, comparado con otros tipos de centrales de generación eléctrica, esto debido a que el agua no tiene un precio de compra, que si tienen los combustibles utilizados por otras tecnologías, lo que se ve reflejado en una operación económica, siempre y cuando se lleve a cabo un estricto plan de mantenimiento, lo cual no difiere de ningún otro tipo de central de generación.

La operación de una central hidroeléctrica, además de ser económica con respecto a otro tipo de centrales, tiene la ventaja de que su operación se realiza a temperatura ambiente al no existir ningún tipo de calderas o mecanismos que funcionen con temperaturas muy elevadas lo que representa una operación más compleja y en la que incurren más riesgos.

Existen componentes de obra civil que permiten a las centrales hidroeléctricas tener la capacidad de regular la energía hidráulica. Entre estos se encuentran diferentes tipos de presas.

Además, debido a la posibilidad de utilizar presas y embalses para almacenar grandes cantidades de agua, al diseñar y construir una central hidroeléctrica se tiene la capacidad de utilizar el agua embalsada con otros fines, además de la generación de energía eléctrica. Por ello se encuentra que en muchos lugares del mundo la generación de energía eléctrica es únicamente otro de los diferentes usos que se le da a un almacenamiento de agua, se encuentra que en muchos lugares el agua almacenada se utiliza para riego de cultivos que se encuentren cercanos al embalse, vemos también que son utilizadas para el turismo, ya que a mucha gente le resulta atractivo el tipo de construcción y el complejo completo de almacenamiento de agua.

Existen otros usos que son menos comunes, pero es importante mencionarlos, como son el control de crecidas, el control de caudales y el que forman parte de algunos complejos de tratamiento de agua para consumo humano.

1.4.4.2. Desventajas

En las desventajas se encuentran diferentes aspectos que deben ser considerados al momento de diseñar una central hidroeléctrica, ya que durante el diseño se pueden evitar o mitigar muchos de los problemas que ocasionan las centrales hidroeléctricas.

Debido a la complejidad que representa una central hidroeléctrica de tamaño considerable, se hace necesario el efectuar una amplia diversidad de estudios, a fin de evaluar si el sitio en el que se está planificando el proyecto cumple con los criterios técnicos mínimos para considerar viable la construcción. Estos estudios varían desde los estudios topográficos, geológicos, hidrológicos, etc.

Además una central hidroeléctrica representa un alto costo inicial en su construcción, lo cual conlleva que los tiempos de recuperación de inversión serán muy largos. Además que estos costos de inversión se ven reflejados en el precio de la energía y potencia ofertada por la central.

Debido a que el ciclo hidrológico tiene muchas variables y, por más que se han hecho aproximaciones orientadas a la predicción de los caudales en el tiempo, siempre existen incertezas en las aproximaciones por lo que el caudal siempre debe ser considerado como no constante y representa un riesgo en la operación de la central. Además la alteración del régimen del o de los ríos en los que se instale la central debe ser tomado muy cuenta ya que puede provocar consecuencias en el futuro.

Mucho se ha escrito acerca del impacto que generan las grandes centrales hidroeléctricas, especialmente aquellas en las para la generación del embalse es necesaria la inundación de grandes áreas de terreno, lo que conlleva movilización de poblaciones, así como fuertes impactos en

ecosistemas. Este es un punto que no debe ser tomado con ligereza ya que podría significar que un proyecto hidroeléctrico produzca mayores problemas y daños que los beneficios del mismo.

2. CENTRALES HIDROELÉCTRICAS DE BOMBEO

Luego de ver los elementos que conforman una central de generación hidroeléctrica se observa que estas pueden clasificarse de acuerdo a la capacidad de almacenamiento de agua que pueden tener.

Dentro de los tipos de centrales hidroeléctricas se mencionan básicamente tres, las centrales que operan a filo de agua, las centrales que cuentan con un embalse de regulación, y las centras que cuentan con dos embalses y utilizan medios de bombeo para trasladar el recurso hídrico de un embalse inferior hacia uno superior.

A continuación se detallara el funcionamiento y la composición de una central hidroeléctrica de bombeo, para poder realizar un análisis más profundo más adelante.

2.1. Descripción general

Una central hidroeléctrica de bombeo consiste en dos embalses a distintas cotas y tiene, además de turbogeneradores que se utilizan para turbinar el agua que se encuentran almacenada en el embalse superior y desfogarla en el inferior, bombas que pueden elevar el agua desde el embalse inferior al superior. Además también existen máquinas reversibles, es decir que son capaces de cumplir las dos funciones descritas anteriormente.

Este tipo de centrales permiten utilizar la potencia del sistema en los momentos en los que, de acuerdo a las características propias del mismo, es más barata la energía o existen centrales que es recomendable no detener, como es el caso de las nucleares o eólicas.

Además este tipo de centrales permiten optimizar los planes de despacho otorgándole al sistema una mayor flexibilidad en la operación; como por ejemplo se puede mencionar los sistemas en los cuales existen energías de despacho libre, la oferta de dichas energías es superior a la demanda, permite almacenar la energía del embalse inferior y trasladarla por medio del bombeo al embalse superior, para luego utilizarla en momentos de menor oferta y mayor demanda.

Además permite evitar el apagado de centrales con altos costos de arranque por períodos cortos y aprovechar eventuales importaciones de energía en períodos de valle para utilizar la misma en períodos de punta.

2.2. Funcionamiento

Existen dos tipos principales de centrales de bombeo, las cuales se diferencian en el sistema que utilizan para permitir la acumulación de agua en el embalse inferior al momento de no estar generando energía eléctrica.

El primer tipo consiste básicamente en la instalación de una o más turbinas acopladas al mismo número de generadores, de la misma manera que se haría en una central hidroeléctrica convencional, donde cada grupo turbogenerador debe tener su control y alimentación individual. Y además del turbogenerador, se debe tener un sistema de bombeo que sea totalmente independiente.

Esto permitirá que la central al momento de generar electricidad utilice los grupos turbogeneradores de la manera convencional, mientras que al momento de bombear el agua almacenada en el embalse inferior utilice el sistema de bombeo exclusivamente.

El otro tipo de instalación se basa en la utilización de una turbina reversible, la cual, según sean las necesidades, puede funcionar tanto como turbina o como bomba centrífuga, de manera que, durante las horas de demanda de energía del sistema (es decir, operando la central como generador) los componentes del grupo turbogenerador se comportan de la siguiente manera:

- La máquina motriz como turbina
- La máquina eléctrica como generador

Mientras que en los períodos de tiempo de muy baja demanda o períodos valle del sistema (es decir, operando la central como una instalación de bombeo) el grupo turbogenerador cuenta con las características técnicas para poder trabajar de la siguiente manera:

- La máquina motriz como bomba centrífuga
- La máquina eléctrica como motor

Con ambos tipos de instalación es importante tomar en consideración las instalaciones utilizadas para la conducción del agua, ya sea a altas presiones o a bajas presiones, ya que se utilizaran las mismas instalaciones, con las adecuaciones que sean necesarias.

Los factores que se deben tener en cuenta, para escoger entre las posibilidades actualmente son: costo, eficiencia, rango de cargas, manera de operar el sistema, etc.

La máquina reversible desarrollada en la década de los cincuenta ha llegado a ser la más aconsejable para grandes aprovechamientos, ya que se pueden manejar grandes caudales. En lo que se refiere a costos es muy ventajosa ya que reduce a la mitad el número de tuberías instaladas así como de válvulas. Sin embargo, este sistema tiene menor rendimiento cuando gira con el mismo número de revoluciones en la operación turbina y en la operación bomba.

El rendimiento de la turbina Francis en las máquinas reversibles disminuye de un 3 a 4 por ciento respecto a una máquina convencional. Este inconveniente podría ser eliminado adoptando dos velocidades diferentes, una para la operación bomba y otra para la turbina, pero ello hace muy complicada la máquina, finalmente las máquinas reversibles necesitan mayor tiempo para cambiar de una operación a otra.

Las centrales hidroeléctrica de bombeo, o como se suele encontrar en diferentes bibliografías, centrales hidroeléctricas de acumulación por bombeo, son muy utilizadas en sistemas eléctricos, actuando como pulmones, produciendo energía en las horas pico, y consumiendo energía en las horas valle. Además tiene la capacidad de, excepcionalmente en emergencias, poder trabajar a máxima potencia por un tiempo que dependerá de las capacidades de los reservorios que la componen, y de la magnitud del recurso hídrico. En estas centrales, la energía consumida para el bombeo puede ser la sobrante del sistema, o de bajo valor en el mercado eléctrico, mientras que la producida en las horas pico es energía que posee un alto valor en el mercado eléctrico.

2.3. Elementos que forman parte de una central de bombeo

Los elementos que conforman una central hidroeléctrica de bombeo son muy similares a los utilizados en centrales hidroeléctricas convencionales, los cuales han sido desarrollados en el apartado 1.2.1 de este documento, sin embargo es importante mencionar los elementos que no son comunes a las centrales estándares.

2.3.1. Embalse superior

La particularidad de las centrales de bombeo consiste en poseer al menos dos embalses, los cuales son utilizados para almacenar agua que usualmente proviene de un río, uno de los dos embalses se encuentra situado a un nivel vertical superior que el otro, esto debido a que un principio de la generación eléctrica es el aprovechar la energía potencial que se encuentra en un volumen de agua almacenado a cierta altura con respecto a una casa de máquinas.

Este embalse es utilizado para almacenar el agua que será utilizada por medio de las turbinas para generar energía eléctrica que será inyectada al sistema eléctrico. Puede ser construido con una o más presas, dependiendo de la orografía del terreno.

2.3.2. Embalse inferior

El agua que es turbinada al momento de la generación, en una hidroeléctrica convencional, es desfogada hacia un lecho de río para que continúe con su trayecto natural. Sin embargo en una central de bombeo, el agua luego de ser turbinada es desfogada hacia un segundo embalse, que es donde se almacena el agua que será retornada hacia el embalse superior por medio de bombas.

Este segundo embalse puede estar ubicado en un lecho de río y contar con una presa para la acumulación del recurso hídrico, o también puede realizarse en alguna superficie que no se encuentre en un lecho de río y que sea apta para la formación de un embalse, esto debido a que el agua llegará a este embalse por medio de las obras de conducción ubicadas en el desfogue de la casa de máquinas, por lo que la ubicación no se limita a un lecho de río.

Muchas veces se conduce el agua turbinada desde la casa de máquinas, hacia el embalse inferior por medio de un túnel de restitución, donde el agua se conduce a baja presión hasta el embalse inferior. Sin embargo pueden utilizarse otros tipos de conducción.

Es importante mencionar que ambos embalses deben contar con la instrumentación adecuada para controlar posibles crecidas y mantener un estricto control en los niveles de los mismos.

2.3.3. Máquina reversible

El aspecto más relevante de las centrales hidroeléctricas de bombeo, es, como su nombre lo indica, la presencia de dispositivos electromecánicos utilizados para bombear el agua que se encuentra almacenada en el embalse inferior hacia el embalse superior.

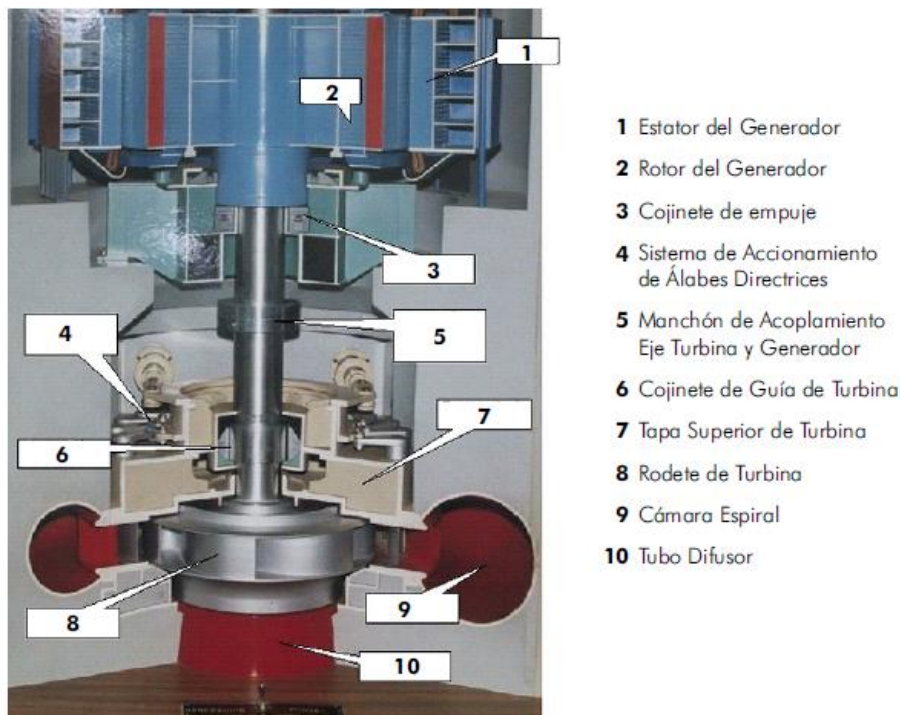
Estos dispositivos suelen ser máquinas reversibles, las cuales tienen la capacidad de funcionar tanto como generadores eléctricos accionados por una turbina, como bombas accionadas por un motor eléctrico como se observa en la figura 2.

Una bomba centrífuga constructivamente no se diferencia sustancialmente de una turbina hidráulica, prácticamente son máquinas que divergen en la aplicación, Ya que la bomba transforma la energía mecánica en cinética y la turbina hace el proceso inverso. Esta divergencia hace que el diseño de cada una de ellas esté marcado por la eficiencia hidráulica para cada una de sus aplicaciones. En este sentido se puede afirmar que una turbina hidráulica tendrá una mayor eficiencia para unas condiciones dadas de caudal y altura, que una bomba operando como turbina en iguales condiciones.

Es importante anotar que, las condiciones de altura y caudal para una bomba que va a operar en modo turbina cambian, debido principalmente a que se reducen las pérdidas hidráulicas. Por tal motivo la altura de presión de una bomba operando en modo turbina, a la misma velocidad de rotación que lo hace en el modo bomba, aumenta en una magnitud equivalente a las pérdidas hidráulicas. De este modo la altura en el modo bomba difiere de la altura en el modo turbina, aproximadamente en el doble de las pérdidas hidráulicas.

Estas características de operación de la bomba en modo turbina exigen que los métodos de selección encuentren el punto de operación, donde se encuentra la mayor eficiencia para la bomba operando como turbina. Sin embargo, para dos bombas similares la relación entre el rendimiento en el modo bomba y el modo turbina puede diferir considerablemente, debido a que las pérdidas no son exactamente las mismas.

Figura 2. **Configuración de máquina reversible**



Fuente: Victor Gabriel Trombotto. Boletín Energético Número 14; p.14.

2.4. Factores importantes de las centrales hidroeléctricas de bombeo

Los costos de construcción de las centrales son favorablemente influenciadas por la utilización de turbinas-bombas que actualmente se hallan disponibles en una notable gama de posibilidades. Entre las diversas máquinas se halla incuestionablemente en primer plano la bomba-turbina reversible, cuyo rotor está construido según el principio de los rotores de bombas y que por cambio de la dirección de rotación trabaja como turbina. Como en la operación en turbina se exige generalmente una regulación continuada de la potencia, se instalan álabes directrices móviles, movilidad que no es usada durante el servicio como bomba.

Las diferentes características de la operación de bomba o de turbina, obligan a tomar mayores exigencias en el dimensionamiento de los equipos. Es así como la relación de la potencia de bombeo a la potencia de la turbina no puede ser elegida libremente, como regla general se tiene que la relación entre la potencia de bombeo y la potencia de turbina oscila entre 0,8 y 1.

En la operación de turbina deben aceptarse menores rendimientos que con máquinas separadas; de todos modos la diferencia del rendimiento total ronda los 2 a 3 por ciento.

Solamente deberán esperarse grandes pérdidas de rendimiento cuando hay grandes diferencias entre alturas o cotas del embalse superior e inferior de la central. Como valor aproximado se puede tener que cuando la relación entre la altura máxima y la altura mínima sea mayor de 1,3 significará la elección de máquinas separadas.

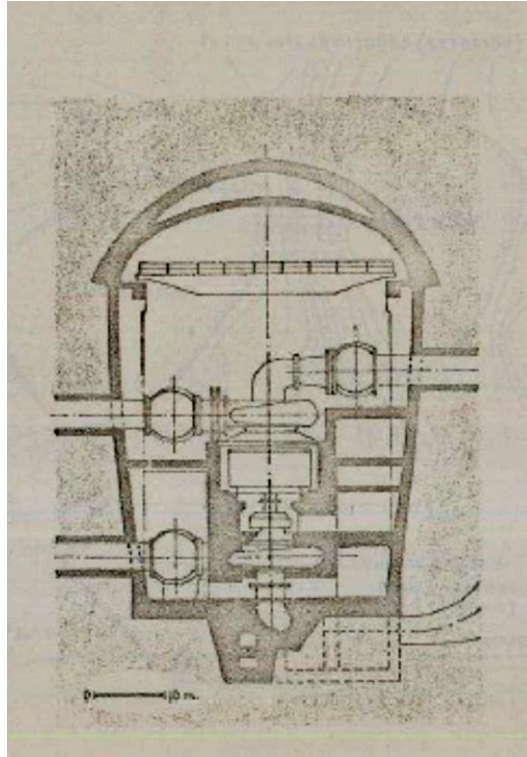
El pasaje de la operación de bombeo al de turbinado e inversamente se halla asociado con un cambio de rotación en las bombas-turbinas reversibles. Esto no significa pérdida de tiempo al pasar al servicio de turbinado, pues al desconectar la bomba, la corriente de agua invierte rápidamente el sentido de su movimiento. Al contrario ocurre en la inversión a la operación de bombeo. Aquí el grupo debe ser frenado hasta su detención y puesto en marcha nuevamente en sentido contrario. El tiempo total de inversión es de uno 500 segundos, lo que no permite una toma de carga casi instantánea.

Un problema técnico en las centrales de bombeo, es la puesta en marcha para el servicio de bombeo. Se ha ensayado diferentes métodos, ya sea con instalaciones adicionales para la máquina eléctrica, ya sea con máquinas de arranque especiales tanto hidráulicas como eléctricas. Estas últimas son las que más aceptación han tenido.

En lo relativo a la construcción de una central hidroeléctrica de bombeo reversible, desde el punto de vista de la obra civil, para los movimientos de tierra se han impuesto los equipos pesados y de gran rendimiento, cuyo empleo ha llevado a bajos costos de construcción de grandes depósitos de acumulación. Ellos no solo son usados en el movimiento de suelos sueltos o de roca previamente volada, sino que también se utilizan para disgregar la roca. Se han reunido, además, experiencias sobre la impermeabilidad bituminosa de depósitos, que en el caso de que no existan condiciones buenas del subsuelo permiten elegir una capa única de impermeabilización y relativamente barata.

Un tema a considerar es la construcción de cavernas, ya que las casas de máquinas de este tipo de centrales puede estar construida en cavernas, es decir por debajo del nivel original del lecho del río, como se muestra en la figura 3, en la cual se observa una casa máquinas de una central hidroeléctrica ubicada en Waldeck, Alemania con una capacidad de 800 megavatios, la vista transversal que se observa es similar en sus dimensiones al perfil de un edificio de 14 pisos.

Figura 3. **Vista lateral de casa de máquinas, Hidroeléctrica Waldeck**



Fuente: agua y Energía Eléctrica. Centrales de acumulación por bombeo en la economía eléctrica del provenir; p.23.

La central de acumulación por bombeo en general es especialmente apropiada para actuar como central de regulación con grandes y rápidas variaciones de carga, ya que no solamente se puede entregar potencia sino que también puede tomar carga estando detenida en el pequeño lapso de tiempo. Es más rápida su entrada a la red si es operada como reserva rotante o como compensador sincrónico para lo cual los grupos hidroeléctricos se hallan capacitados sin necesidad de mayores modificaciones técnicas.

3. MARCO REGULATORIO DEL SUBSECTOR ELÉCTRICO

El subsector eléctrico en Guatemala se fundamenta en un marco regulatorio que está basado en un modelo de mercado competitivo basado en costos, en el cual se permite el acceso al Sistema Nacional Interconectado a cualquier persona individual o jurídica, que cumpla con los requisitos legales establecidos en la Ley General de Electricidad y sus reglamentos; el modelo de mercado establece un sistema equilibrado de precios de oferta y demanda, para lograr crear así, las condiciones necesarias para la competencia.

3.1. Situación actual del subsector eléctrico guatemalteco

Dentro del subsector eléctrico guatemalteco se distinguen cinco participantes, los cuales son: generadores, transportistas, distribuidores, comercializadores y grandes usuarios; todos ellos se fundamentan en la definición incluida en el artículo 6 de la Ley General de Electricidad.

- Generador es la persona, individual o jurídica, poseedora de una central de generación de energía eléctrica, que comercializa su producción de energía en forma parcial o total.
- El transportista es la persona, individual o jurídica, poseedora de instalaciones destinadas a realizar la actividad de transmisión y transformación de electricidad.
- El distribuidor es la persona individual o jurídica, titular o poseedora de instalaciones destinadas a distribuir comercialmente la energía eléctrica.

- Un comercializador es la persona, individual o jurídica, cuya actividad consiste en comprar y vender bloques de energía eléctrica con carácter de intermediación y sin participación en la generación, transporte, distribución y consumo.
- Un gran usuario es aquel cuya demanda de potencia excede al límite estipulado en el Reglamento de la Ley General de Electricidad, es decir más de 100 kilovatios de demanda máxima.

Las actividades que por su naturaleza se crean como monopolios naturales, es decir la transmisión y distribución son reguladas por las normas técnicas, que según lo establecido en el artículo 4 de la Ley General de Electricidad, emite el ente regulador del subsector eléctrico, es decir la Comisión Nacional de Energía Eléctrica. Además es el ente regulador el encargado de fijar las tarifas de servicio de energía eléctrica.

La generación se lleva a cabo bajo un contexto libre y competitivo, el cual está basado en un mercado de oportunidad y de corto plazo, que se basa en el despacho de energía a un costo marginal, y por un mercado a término o de contratos, de largo plazo, en donde se pactan libremente las condiciones contractuales.

Además se observa que la Ley General de Electricidad, la cual es la ley fundamental en materia de electricidad en Guatemala, establece los siguientes principios:

- Es libre la generación de electricidad y no se requiere para ello autorización o condición previa por parte del estado, más que las reconocidas por la Constitución Política de la República de Guatemala y

las leyes del país. Sin embargo, para utilizar con estos fines de generación de energía bienes del Estado, se requerirá la autorización respectiva del ministerio, siempre y cuando la potencia de la central exceda de 5 megavatios.

- Es libre el transporte de electricidad, cuando para ello no sea necesario utilizar bienes de dominio público.
- El transporte de electricidad en el cual se involucre la utilización de bienes de dominio público y el servicio de distribución final de electricidad, estarán sujetos a autorización por parte de las entidades correspondientes.
- Son libres los precios por la prestación del servicio de electricidad, con la excepción de los servicios de transporte y distribución, los cuales serán sujetos a autorización. Las transferencias de energía entre generadores, comercializadores, importadores y exportadores que resulten de la operación del Mercado Mayorista, estarán sujetas a regulación en los términos de la ley.

Las instituciones que conforman el subsector eléctrico son las siguientes:

- Ministerio de Energía y Minas: es el órgano del estado responsable de coordinar las políticas, planes de Estado, programas indicativos relativos al subsector eléctrico y aplicar la Ley General de Electricidad y su reglamento para dar cumplimiento a sus obligaciones. Asimismo, le corresponde lo relativo al régimen jurídico aplicable a la producción, distribución y comercialización de la energía y de los hidrocarburos, y a la explotación de los recursos mineros.

- Comisión Nacional de Energía Eléctrica: es el órgano técnico del MEM encargado de cumplir y hacer cumplir la Ley General de Electricidad en materia de su competencia, velar por el cumplimiento de las obligaciones de los adjudicatarios concesionarios, proteger los derechos de los usuarios, prevenir conductas atentatorias contra la libre competencia, definir tarifas de transmisión y distribución, la emisión y fiscalización de las normas técnicas concernientes al subsector eléctrico entre otros.
- Administrador del Mercado Mayorista: es una entidad privada sin fines de lucro, que coordina las transacciones entre los participantes del Mercado Mayorista, y vela por el mantenimiento de la calidad y la seguridad del suministro de energía eléctrica en Guatemala.

Es importante mencionar que a nivel regional existe también un marco normativo, el cual se espera entre en vigencia en el año 2013, este permitirá que se opere un sistema eléctrico regional por un ente operador de la red y se puedan realizar transacciones comerciales en los diferentes países de la región.

Todas las disposiciones que el ente regulador regional emita deberán ser acatadas por todos los agentes que deseen formar parte de la red regional. En Guatemala esta red tiene conexiones hacia El Salvador y Honduras por medio de circuitos de líneas de transmisión de 230 kilovoltios.

Por mencionar algunas generalidades del subsector se puede mencionar que para el período comprendido del 1 de enero al 31 de diciembre de 2010, la generación total de energía eléctrica fue de 8 276,21 gigavatios hora, de los cuales el 95,6 por ciento fueron generados dentro del territorio nacional y el 4,4 por ciento fueron importados del Mercado Eléctrico Regional; el consumo interno de energía alcanzó los 7 847,89 gigavatios hora incluyendo consumos propios de las unidades, central generadores y equipos de transporte de energía; el promedio del precio de oportunidad de la energía fue de 103,82 US\$ por megavatios hora lo cual significa un leve aumento con respecto al promedio del año anterior.

3.2. Ley General de Electricidad

La Ley General de Electricidad fue promulgada mediante el Decreto 93-96 del Congreso de la República de Guatemala, la cual fue publicada y entró en vigencia el 21 de noviembre de 1996.

La Ley General de Electricidad norma el desarrollo del conjunto de actividades de generación, transporte, distribución, distribución y comercialización de electricidad.

Dentro de ella se decreta la formación de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica, la cual se forma como un órgano técnico del Ministerio de Energía y Minas, con independencia funcional; se le han asignado, entre otras, las siguientes atribuciones y funciones:

- Cumplir y hacer cumplir la Ley General de Electricidad y sus reglamentos, en materia de competencia e imponer las sanciones a los infractores.

- Definir las tarifas de transmisión y distribución, sujetas a regulación de acuerdo a la Ley General de Electricidad así como la metodología para el cálculo de las mismas.
- Emitir las normas técnicas relativas al subsector eléctrico, actuando como árbitro entre las partes cuando éstas no hayan llegado a un acuerdo.

A partir de la promulgación de la Ley General de Electricidad se modificó el modelo del subsector eléctrico, el cual quedó conformado de forma horizontal y ya no vertical. Este cambio de modelo requirió entre otras acciones que una misma persona individual o jurídica no pueda efectuar simultáneamente las actividades de generar y transportar y / o distribuir energía eléctrica.

Además dentro de la Ley General de Electricidad se crea un ente privado sin fines de lucro, denominado Administrador del Mercado Mayorista, el cual es el encargado de la coordinación de la operación de centrales generadoras, interconexiones internacionales y líneas de transporte al mínimo costo para el conjunto de operaciones del mercado mayorista; además deberá establecer precios de mercado de corto plazo para las transferencias de potencia y energía entre generadores, comercializadores, distribuidores, importadores y exportadores, cuando ellas no correspondan a contratos de largo plazo libremente pactados y deberá garantizar el abastecimiento y la seguridad del suministro de la energía eléctrica.

Con lo que respecta a la instalación de obras de generación de electricidad que requieran la utilización de bienes del estado, se requerirá de la respectiva autorización del Ministerio de Energía y Minas, el cual deberá resolver sobre las solicitudes de las autorizaciones en un plazo de 60 días contados a partir de la fecha en que se presenten las mismas.

Se entiende por autorización para la instalación de centrales generadores a aquella mediante la cual se faculta al adjudicatario para que utilice bienes de dominio público. La autorización será otorgada por el Ministerio mediante acuerdo, no pudiendo contener un plazo mayor a 50 años en el caso de que la autorización sea definitiva, así mismo se podrá otorgar una autorización temporal para efectuar estudios, sondeos y mediciones de las obras en bienes de dominio público pudiendo ser estas autorizaciones por un período máximo de un año.

Cualquier persona individual o jurídica podrá solicitar la autorización para la instalación de centrales generadoras. Para obtener dicha autorización, los interesados deberán presentar en plica su solicitud ante el Ministerio, con toda la información que sea solicitada.

Si la resolución del Ministerio es positiva se hará constar en un Acuerdo Ministerial el que será publicado en el Diario de Centro América dentro de los 15 días siguientes; y dentro de los 30 días siguientes a la fecha de publicación del Acuerdo Ministerial, el Ministerio y el adjudicatario suscribirán el contrato en escritura pública.

3.3. Modelo de mercado del subsector eléctrico de Guatemala

El mercado eléctrico en Guatemala es un mercado competitivo a nivel de generación y comercialización, en el cual se ha privilegiado el libre acceso y la existencia de un sistema de costos que refleja equilibrio libre de oferta y demanda, debido a que en estos segmentos es en los que es posible que se den condiciones efectivas de competencia, ya que en los segmentos de transporte y distribución de energía eléctrica es en los que se dan monopolios naturales, y en consecuencia los precios son fijados por el ente regulador, en el caso de Guatemala, la Comisión Nacional de Energía Eléctrica.

El mercado de energía eléctrica en Guatemala está constituido por el Mercado Regulado y el Mercado Mayorista. El Mercado Regulado está integrado de la siguiente manera:

- Todos aquellos usuarios con una demanda de potencia igual o menor a 100 kilovatios, los cuales constituyen la demanda.
- Las empresas distribuidoras que estén autorizadas dentro de su zona de cobertura, las cuales constituyen la oferta.

Mientras que el Mercado Mayorista tiene las siguientes características:

- Generadores con potencia mayor a 5 megavatios (oferta).
- Generadores Distribuidos Renovables (oferta).
- Distribuidores con 15 000 usuarios como mínimo (demanda).
- Transportistas que tengan 10 megavatios como mínimo de capacidad de transporte.
- Comercializadores que compren o vendan bloques de energía asociados a una Oferta Firme o Demanda Firme de al menos 2 megavatios (oferta - demanda).
- Grandes Usuarios con demanda máxima de potencia por arriba de 100 kilovatios (demanda).

Las operaciones de compra y venta del Mercado Mayorista se realizan de acuerdo a lo establecido en las normas de Coordinación Comercial, a través de:

- Mercado de Oportunidad o Mercado *Spot*
- Mercado a Término
- Mercado de Transacciones de Desvíos de Potencia diarios y mensuales

3.3.1. Mercado de oportunidad o mercado *spot*

El Mercado de oportunidad o mercado *spot* es el conjunto de transacciones de compra-venta de electricidad de corto plazo, es decir que no están basadas en contratos a término.

3.3.1.1. Precio de oportunidad de la energía

Es el valor del 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 adicional de energía a un determinado nivel de demanda de potencia y considerando el parque de generación y transmisión efectivamente disponible.

3.3.1.2. Costo marginal de corto plazo

Corresponde al máximo costo variable de las unidades generadoras, en el Nodo de Referencia, que fueron convocadas por el Despacho Económico y resultaron operando en función de su costo variable de acuerdo al resultado del programa diario.

Un participante productor venderá al Mercado Mayorista su energía en el nodo en que se encuentra conectado a la red y al precio correspondiente del mismo. Las diferencias que se presentan cada hora entre la energía consumida o comprada por contratos por un participante consumidor, y la energía comprada por contratos deberán transarse en el Mercado de Oportunidad de la Energía en su nodo y al precio del mismo, siendo estas transacciones medidas y liquidadas por el Administrador del Mercado Mayorista.

En este mercado cada comprador compra del conjunto de vendedores y las transacciones se realizan al precio de oportunidad de la energía, calculado en base al costo marginal de corto plazo que resulta del despacho de la oferta disponible.

3.3.2. Mercado a término

El Mercado a Término es aquél que está constituido por contratos entre agentes o grandes usuarios del Mercado Mayorista, con precios, cantidades y duración pactados entre las partes, los cuales deben estar enmarcados dentro de lo preceptuado por la Ley General de Electricidad, sus reglamentos y las normas de coordinación.

3.3.2.1. Mercado de transacciones de desvíos de potencia

En el Mercado de Transacciones los desvíos de potencia pueden ser diarios y mensuales. En las transacciones diarias, se liquidan las diferencias entre la potencia disponible y la potencia firme de los participantes productores, valoradas al precio de referencia de la potencia, el que se utilizará en la liquidación mensual de dichas transacciones. En las transacciones mensuales, se liquidan las diferencias entre la demanda firme efectiva de cada distribuidor,

gran usuario o exportador y su demanda firme efectivamente contratada durante el año estacional correspondiente.

3.4. Normas de coordinación comercial y operativa del Administrador del Mercado Mayorista

El Administrador del Mercado Mayorista es conformado de acuerdo a lo establecido en el artículo 44 del Decreto 93-96 del Congreso de la República, Ley General de Electricidad. Además se establece que es su función garantizar la seguridad y el abastecimiento de energía eléctrica del País, tomando en consideración, la coordinación de la operación, el establecimiento de precio de mercado dentro de los requerimientos de calidad de servicio y seguridad; y administrando todas las transacciones comerciales del Mercado Mayorista.

Por lo anterior y de conformidad con las normas vigentes, corresponde al Administrador del Mercado Mayorista, emitir las Normas de Coordinación que permitan completar el marco regulatorio de la operación del Mercado Mayorista, dichas Normas de Coordinación deberán ser aprobadas por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica.

Las Normas de Coordinación son las disposiciones y procedimientos emitidos por el AMM y que tienen por objeto coordinar las actividades operativas y comerciales, con la finalidad de garantizar la continuidad y la calidad del servicio.

Se dividen en Normas de Coordinación Comercial y Normas de Coordinación Operativa.

3.4.1. Normas de Coordinación Comercial

Son el conjunto de disposiciones y procedimientos emitidos por el Administrador del Mercado Mayorista y aprobados por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica, que tienen por objeto garantizar la coordinación de las transacciones comerciales del Mercado Mayorista.

Tabla I. Normas de Coordinación Comercial

Número de NCC	Título	Contenido
NCC-1	Coordinación del Despacho de Carga	<ul style="list-style-type: none">• Fundamentos• Programación de Largo Plazo• Programación Semanal• Despacho Diario• Operación en tiempo real y Redespacho• Despacho de Generación• Posdespacho
NCC-2	Oferta y Demanda Firme	<ul style="list-style-type: none">• Oferta Firme• Oferta Firme Eficiente• Prueba de la Potencia Máxima de central y unidades generadoras• -Determinación de la disponibilidad de las unidades y centrales generadoras• Demanda Máxima Proyectada (DMP)• Cálculo de la Demanda Firme

Continuación de la tabla I.

Número de NCC	Título	Contenido
NCC-3	Transacciones de desvíos de potencia	<ul style="list-style-type: none"> • Determinación de los desvíos de potencia para los participantes productores • Determinación de los desvíos de potencia para los participantes consumidores • Cálculo de transacciones de desvíos de potencia • Valor total recaudado por desvíos de potencia • Distribución de la recaudación por desvíos de potencia • Precio de Referencia de la Potencia (PREFP)
NCC-4	Precio de oportunidad de la energía	<ul style="list-style-type: none"> • Fundamentos y definiciones • Demanda • Requerimientos de potencia para el abastecimiento de la demanda • Modelación de las máquinas de falla • Establecimiento del precio de oportunidad de la energía

Continuación de la tabla I.

Número de NCC	Título	Contenido
NCC-5	Sobrecostos de unidades generadoras forzadas	<ul style="list-style-type: none"> • Definición de costo operativo • Generación forzada • Origen de la generación forzada • Pago de sobrecostos por generación forzada • Sobrecostos de generación por requerimiento operativo del sistema ocasionados por el participante consumidor • Informe de generación forzada
NCC-6	Tratamiento de las pérdidas del sistema de transmisión	<ul style="list-style-type: none"> • Pérdidas de transmisión • Cargo por perdidas marginales de transmisión • Excedente de Precios Nodales (EPN) • Cálculo del EPN Mensual • Distribución del EPN entre los participantes consumidores
NCC-7	Factores de perdidas nodales	<ul style="list-style-type: none"> • Fundamentos • Factor de perdidas nodales de energía

Continuación de la tabla I.

Número de NCC	Título	Contenido
NCC-8	Cargo por servicios complementarios	<ul style="list-style-type: none"> • Introducción • Reservas operativas • Regulación de frecuencia • Control de potencia reactiva y tensión • Arranque en Negro • Cargos por Servicios Complementarios
NCC-9	Asignación y liquidación del peaje en los sistemas de transporte principal y secundarios	<ul style="list-style-type: none"> • Objeto • Definiciones • Asignación del cargo por peaje del sistema principal de transmisión • Distribución del cargo de peaje del sistema principal • Asignación del cargo por peaje a instalaciones de los sistemas secundarios • Peaje por el uso de interconexiones internacionales
NCC-10	Exportación e importación de energía eléctrica	<ul style="list-style-type: none"> • Objeto • Definiciones • Responsabilidad de los pagos

Continuación de la tabla I.

Número de NCC	Título	Contenido
NCC-10	Exportación e importación de energía eléctrica	<ul style="list-style-type: none"> • Participantes del Mercado Mayorista que pueden realizar transacciones de importación y/o exportación • Responsabilidad del administrador del Mercado Mayorista • Tipos de transacciones de importación y exportación • Contratos de importación y exportación • Plazos y presentación de información de transacciones de importación y exportación • Garantía de pago • Energía inadvertida • Energía inadvertida debido a falla severa • Energía de emergencia • Ingresos por el servicio de la red de transmisión regional

Continuación de la tabla I.

Número de NCC	Título	Contenido
NCC-11	Informe de costos mayoristas	<ul style="list-style-type: none"> • Alcance • Precios por banda horaria • Energía comprada en el mercado de oportunidad • Energía comprada por contratos • Precio de la compra de la energía • Costo de compras de la potencia • Cálculo del saldo del costo de potencia
NCC-12	Procedimientos de liquidación y facturación	<ul style="list-style-type: none"> • Introducción • Observaciones y reclamos al Informe de Transacciones Económicas • Facturación • Pagos • Garantía • Cuotas del AMM
NCC-13	Mercado a término	<ul style="list-style-type: none"> • Introducción • Participación en los contratos del mercado a término • Información y publicidad de los contratos • Modalidades de contratación en el mercado a término

Continuación de la tabla I.

Número de NCC	Título	Contenido
NCC-13	Mercado a término	<ul style="list-style-type: none"> • Características de los contratos del mercado a término • Modalidades y coordinación comercial y operativa de los contratos • Vinculación de los contratantes con el Mercado Mayorista • Servicio de transporte en el Mercado Mayorista • Programación de largo plazo • Programación semanal, diaria y operación en tiempo real • Resultado de las transacciones de un generador en el mercado de oportunidad para los contratos de abastecimiento • Participantes consumidores con contratos de abastecimiento • Generadores con contratos de venta de reserva • Facturación de los contratos • Contrato de comercialización

Continuación de la tabla I.

Número de NCC	Título	Contenido
NCC-14	Habilitación comercial para operar en el Mercado Mayorista y sistema de medición comercial	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema de medición comercial • Responsabilidad • Aprobación de ubicación del punto de medición • Participantes conectados • Magnitudes a registrar y almacenar en memoria • Clase de exactitud y número de elementos • Adecuación de equipos de medición • Verificación de equipos de medición • Requisitos de los transformadores de medida • Requisitos de los medidores de energía • Registro de datos • Comunicaciones • Registro de transacciones • Habilitación comercial para participar en el Mercado Mayorista

Continuación de la tabla I.

Número de NCC	Título	Contenido
NCC-14	Habilitación comercial para operar en el Mercado Mayorista y sistema de medición comercial	<ul style="list-style-type: none">• Requisitos para un nuevo agente o gran usuario• Requisitos específicos para el acceso de nuevas instalaciones de generación al sistema de transporte del Mercado Mayorista

Fuente: elaboración propia.

3.4.2. Normas de Coordinación Operativa

Son el conjunto de disposiciones y procedimiento emitidos por el Administrador del Mercado Mayorista y aprobados por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica, que tienen por objeto garantizar la coordinación de la operación del Sistema Nacional Interconectado, para abastecer la demanda a un mínimo costo, manteniendo la continuidad y la calidad del servicio.

Tabla II. **Normas de Coordinación Operativa**

Número de NCO	Título	Contenido
NCO-1	Base de datos	<ul style="list-style-type: none"> • Fundamentos • Datos requeridos • Disponibilidad de la información
NCO-2	Coordinación de la operación en tiempo real	<ul style="list-style-type: none"> • Fundamentos • Condiciones normales • Condiciones de riesgo • Coordinación de participantes • Coordinación con otros países en interconexiones internacionales • Sistema de control supervisorio en tiempo real • Sistemas de comunicaciones
NCO-3	Coordinación de servicios complementarios	<ul style="list-style-type: none"> • Fundamentos • Responsabilidades • Reservas operativas • Regulación de frecuencia • Control de potencia reactiva y tensión • Arranque en negro • Disposición general

Continuación de la tabla II.

Número de NCO	Título	Contenido
NCO-4	Determinación de los criterios de calidad y niveles mínimos de servicio	<ul style="list-style-type: none"> • Fundamentos • Criterios de calidad y confiabilidad • Reservas operativas • Regulación de frecuencia • Control de potencia reactiva y tensión • Estabilidad del SNI • Recuperación del servicio
NCO-5	Auditorías	<ul style="list-style-type: none"> • Acceso a las instalaciones • Ensayos en puntos de conexión • Ensayos de unidades generadoras y equipos de transmisión • Control de unidades generadoras y equipos de transmisión

Fuente: elaboración propia.

3.5. Autorizaciones y permisos para centrales hidroeléctricas

Las centrales hidroeléctricas, dependiendo su potencia disponible, deben cumplir con ciertas autorizaciones para poder entrar en operación; es así que para efectos de estas autorizaciones, las centrales hidroeléctricas pueden clasificarse básicamente en dos grupos:

3.5.1. Centrales hidroeléctricas con potencia menor o igual a 5 megavatios

A partir de 2008, se desarrolla el detalle de la figura denominada Generador Distribuido Renovable, con la emisión de la norma técnica para la conexión, operación, control y comercialización de la Generación Distribuida Renovable, Resolución CNEE-171-2008. La figura fue creada por el Reglamento de la Ley General de Electricidad.

Un Generador Distribuido Renovable es la persona individual o jurídica, titular o poseedora de una central de generación de energía eléctrica, que utiliza recursos energéticos renovables y participa en la actividad de Generación Distribuida Renovable, la cual consiste en la modalidad de generación de energía con recursos renovables, que se conectan a instalaciones de distribución cuyo aporte de potencia neto es inferior o igual a 5 megavatios.

Dentro de la NTGDR se establece el procedimiento para que una central de generación se pueda conectar a la red y que forme parte del Mercado Mayorista para realizar transacciones comerciales.

Dicho procedimiento consiste, básicamente, en que el interesado debe presentar al distribuidor una solicitud de dictamen de capacidad y conexión con toda la información técnica y legal correspondiente. Luego será el distribuidor quien realice los estudios eléctricos necesarios para establecer los posibles impactos de la conexión del GDR en su red, así como de las posibles modificaciones necesarias para mitigar posibles efectos adversos que se puedan dar, para luego poder emitir un dictamen de capacidad y conexión, el cual será enviado a la Comisión Nacional de Energía Eléctrica para su revisión y aprobación, para luego emitir la resolución final respectiva.

En la práctica se está dando el hecho de que los GDR's actualmente en operación tienen la característica de ser centrales hidroeléctricas funcionando a filo de agua y con potencias de entre 1 y 2 megavatios, por lo que es poco probable que una central hidroeléctrica de bombeo sea rentable a escala de un Generador Distribuido Renovable.

3.5.2. Centrales hidroeléctricas con potencia mayor a 5 megavatios

De acuerdo a lo establecido en la Ley General de Electricidad, es libre la instalación de centrales generadoras, las cuales no requerirán de autorización de ente gubernamental alguno. No obstante, para utilizar bienes del estado con el fin de generar energía eléctrica, se requería de la respectiva autorización del ministerio, cuando la potencia de la central exceda de 5 megavatios.

La autorización será otorgada por el Ministerio de Energía y Minas, mediante acuerdo, no pudiendo exceder del plazo de 50 años, ni tener carácter de exclusividad de tal manera que terceros pueden competir con el adjudicatario en el mismo servicio.

La solicitud para la obtención de las autorizaciones definitivas para plantas de generación hidroeléctrica, entre otras, será presentada por el interesado al ministerio, en original y copia, utilizando formularios que el ministerio tiene a disposición y que deben contener al menos la siguiente información:

- Identificación del peticionario.
- Domicilio y lugar para recibir notificaciones.

- Descripción y planos generales del proyecto, los planos se deberán realizar en la escala y el nivel de detalle que determine el ministerio.
- Calendario de ejecución de las obras.
- Presupuesto del proyecto.
- Ubicación en un mapa en escala adecuada del área afectada por las obras.
- Especificación de los bienes de dominio público y particulares que se utilizarán, con la individualización de aquellos con cuyos propietarios el interesado no ha llegado a un acuerdo directo de compra o de servidumbre.
- Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental, aprobado por la entidad ambiental correspondiente.
- Estudios eléctricos que muestren el impacto sobre el Sistema Nacional Interconectado por la inclusión de la obra propuesta de acuerdo a lo establecido en las Normas de Estudios de Acceso al Sistema de Transporte.
- Planes de seguridad para las instalaciones de acuerdo a las normas sobre cada tema específico, que emita la comisión.
- Planes de exploración, desarrollo y explotación del recurso hídrico.

El ministerio deberá resolver sobre las solicitudes, en todos los casos, en un plazo no mayor de 60 días a partir de la fecha de su presentación. Una vez resulta la autorización, esta quedará firme a través de la suscripción de un contrato de autorización, en el cual quedarán establecidas las obligaciones que asume el autorizado, las garantías y todo otro aspecto que se considere necesario.

La autorización faculta a su titular para utilizar bienes de dominio público en el desarrollo de las obras comprendidas en la zona en que desarrollará sus actividades.

Además de las autorizaciones definitivas, también se podrá otorgar autorización temporal, a solicitud de cualquier interesado, a manera de poder realizar los estudios, mediciones y sondeos de las obras en bienes de dominio público y terrenos privados. El plazo máximo de una autorización temporal será de un año.

Luego de obtener la autorización definitiva el interesado podrá iniciar con la construcción de las obras necesarias para implementar la central de generación hidroeléctrica, sin embargo cuando la construcción se encuentre en su fase final, es decir aproximadamente un año antes de entrar en operación, deberá solicitar ante la CNEE el acceso a la capacidad de transporte mediante la presentación de estudios eléctricos de acuerdo a lo establecido en la Normas Técnicas de Acceso y Uso de la Capacidad de Transporte. La comisión luego de analizar los estudios y la documentación presentada emitirá una resolución en la cual se autoriza, o deniega según sea el caso, el acceso al sistema de transporte.

En el caso de recibir la autorización para conectarse al sistema de transporte, el generador procederá a presentarse ante el Ministerio de Energía y Minas para registrarse como agente generador en el Registro de Agentes y Grandes Usuarios del Mercado Mayorista, y por último deberá cumplir con lo establecido en la normativa para pasar a formar parte del Mercado Mayorista y poder proceder a realizar transacciones en el mismo.

3.6. Aspectos regulados en una central de bombeo

Por las características propias de una central hidroeléctrica de bombeo existen diversos aspectos que se encuentran contemplados dentro del marco regulatorio actual, estos aspectos son los que se contemplan para las centrales hidroeléctricas que no cuentan con estación de bombeo (embalse inferior), es decir centrales hidroeléctricas que cuentan con un solo embalse (embalse superior).

Es importante mencionar que existen actualmente en Guatemala 28 centrales hidroeléctricas operando como agentes generadores dentro del Mercado Mayorista, para los cuales existe un marco regulatorio establecido.

Además existe otra posible figura que una central hidroeléctrica puede tomar para funcionar dentro del subsector eléctrico en Guatemala, esta figura es un Generador Distribuido Renovable, la cual consiste en generadores menores o iguales a 5 megavatios que utilicen como fuente de energía primaria algún recurso renovable y estén conectados a la red del distribuidor.

Se ha desarrollado en los incisos anteriores una descripción de los aspectos regulatorios dentro del subsector eléctrico en Guatemala, enfocados especialmente en las centrales de generación hidroeléctrica; por lo anterior se puede indicar que los aspectos regulatorios de la parte de generación de una central hidroeléctrica de bombeo se encuentran cubiertos en los incisos anteriores.

En lo que respecta a la parte del consumo que tendría la central al momento de bombear el agua almacenada en el embalse inferior hacia el superior, se puede pensar en que una opción sería la de separar la parte del consumo de las bombas con la generación; y de esta manera constituir un gran usuario para que la energía que se consuma sea comprada mediante contratos o en el mercado de oportunidad de la energía en el Mercado Mayorista.

De acuerdo a lo establecido en la Ley General de Electricidad un gran usuario es un consumidor de energía cuya demanda de potencia excede cien kilovatios, y no se encuentra sujeto a regulación de precio por lo que las condiciones de suministro serán libremente pactadas con el distribuidor o con cualquier otro suministrador.

Existen dos formas o modalidades en las que se puede establecer un gran usuario dentro del Mercado Mayorista, la primera es un gran usuario con representación, el cual es el gran usuario que celebra un contrato de comercialización con un comercializador. El gran usuario con representación está obligado a cubrir su demanda firme mediante contratos de potencia.

La otra forma es el gran usuario participante, el cual es el gran usuario que participa directamente en el Mercado Mayorista realizando sus compras de potencia y energía por medio de contratos a término o bien comprando la energía en el mercado de oportunidad, siendo responsable de las operaciones comerciales que realice en el Mercado Mayorista. El gran usuario participante está obligado a cubrir su demanda firme mediante contratos de potencia.

Por lo que la parte de consumo de la central hidroeléctrica de bombeo podría constituirse con un gran usuario, en cualquiera de sus formas o modalidades, y de esta manera poder obtener un precio más económico de la energía necesaria para operar el sistema de bombeo.

Es importante el hecho de que la parte de generación eléctrica normalmente funcionaría a diferente hora que la parte de consumo por lo que el costo asociado al bombeo no podría ser considerado como parte de los costos variables de generación, esto debido a que según el Reglamento del Administrador del Mercado Mayorista, los costos variables de generación para una central hidroeléctrica será el valor del agua que calcule el Administrador del Mercado Mayorista y como mínimo será el costo de operación y mantenimiento.

3.7. Aspectos por regular en una central hidroeléctrica de bombeo

Como se ha visto en los apartados anteriores, muchas de las características de una central hidroeléctricas de bombeo son similares a las de una central hidroeléctrica sin bombeo, debido a esto existe, dentro de la normativa vigente del sector eléctrico muchos aspectos de una central de bombeo considerados.

Sin embargo existen algunos aspectos de una central de bombeo en donde se observa que se hace necesaria la creación o modificación de aspectos regulatorios para permitir la inclusión de una central de este tipo dentro del sistema eléctrico nacional.

Por lo anterior se hace necesario tomar en cuenta para contemplar, dentro del marco regulatorio del subsector eléctrico en Guatemala, la inclusión de una hipotética central hidroeléctrica de bombeo al sistema eléctrico.

Uno de los principales aspectos a tomar en cuenta es lo correspondiente a la medición que existirá en el equipo de bombeo, ya que si se utilizan máquinas reversibles, estas deberán contar con sus medidores como los que se utilizan actualmente para los generadores, sin embargo se presentaría una situación nueva ya que los medidores no registrarían únicamente valores de energía generada, ahora medirían, además de la energía generada, la energía absorbida por la máquina al momento de operar como motor para el bombeo del agua.

En la práctica la mayoría de medidores utilizados en las centrales generadoras cuentan con la capacidad de medir en ambas direcciones o bidireccionales, es decir que son capaces de medir tanto el consumo con la generación de la central. Sin embargo estos serían una opción viable únicamente en el caso de las máquinas reversibles, debido a que cada unidad de generación debe contar con su propia medición homologada.

De acuerdo con la Norma de Coordinación Comercial 14, los participantes productores deberán instalar, operar y mantener los equipos de mediciones y comunicaciones para el sistema de medición comercial en los puntos en que entregan energía y potencia eléctrica al sistema de transmisión, o a las redes

de distribución. Dicha norma establece que se deberán instalar medidores por cada unidad generadora conectada al Sistema Nacional Interconectado.

Se observa entonces que se deben dejar claros los procedimientos para la instalación de los dispositivos de medición, así como la ubicación de los mismos al momento de entrar a operar al sistema una central hidroeléctrica de bombeo.

Se observa además, la necesidad de definir los términos de oferta firme, y demanda firme, ya que según lo establecido en la Norma de Coordinación Comercial 2 la oferta firme de cada unidad generadora de un participante productor es la máxima potencia neta 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 sus sistema de transmisión asociado, luego de descontar sus consumos internos.

Es en la figura de consumos internos en donde se debe analizar la posibilidad de poder incluir la demanda o el consumo realizado por la central al momento de bombear el recurso hídrico, ya que se daría el caso en el que la central se encuentre únicamente consumiendo energía del sistema al momento del bombeo sin estar necesariamente generando, lo cual conllevaría el hecho que no serían consumos propios.

Asimismo, dentro de las normas técnicas emitidas por la CNEE se encuentran las Normas de Seguridad de Presas, las cuales tienen por objeto definir los requerimientos y perfilar las normas de tal manera que la seguridad de las presas utilizadas para la generación de energía eléctrica pueda ser evaluada de manera consistente, así como proveer los fundamentos para la legislación y regulación de presas. Dentro de dichas normas, se encuentran que las reglas incluidas dentro de las mismas, se aplican para las presas que tienen

un mínimo de 2,5 metros de altura y una capacidad de almacenajes mínima de 30 000 metros cúbicos.

Se observa que al momento de la inclusión de una central hidroeléctrica de bombeo dentro de sistema nacional, las Normas de Seguridad de Presas, presentaría un problema de carácter definitorio, es decir que la premisa para que una central de generación hidroeléctrica se vea afecta a dichas normas se ha definido en función de una altura y de una capacidad de almacenaje orientados a una central hidroeléctrica con una presa.

Convendría analizar la modificación de dicha premisa para poder abarcar las centrales que tengan más de un volumen embalsado, ya sea considerando un volumen total del sistema de almacenamiento y conducción de la central hidroeléctrica, en el caso de que cada uno de ellos no cuenten con la capacidad de volumen establecido en dichas normas, o evaluar la posibilidad de que dicha premisa sea aplicable de manera individual al embalse superior como al inferior de las centrales hidroeléctricas de bombeo.

Es importante mencionar que este problema puede estar aconteciendo en la actualidad, ya que se encuentran centrales hidroeléctricas en operación que cuentan con más de un embalse o presa dentro de su diseño, por mencionar algunos ejemplos se observa el caso de algunas centrales hidroeléctrica presentes en el Sistema Eléctrico Nacional, que cuentan con cuatro presas derivadoras y un embalse o reservorio en donde se almacena el agua que se ha tomado por medio de las cuatro presas. Por lo anterior se observa que es necesario un análisis de una posible adecuación a las Normas de Seguridad de Presas por parte de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica.

De los aspectos mencionados anteriormente, se puede subrayar que aún se encuentran muchos aspectos, relacionados con una central hidroeléctrica de bombeo, que no son tomados en cuenta dentro del marco regulatorio del sub sector eléctrico en Guatemala, y tomando en cuenta el crecimiento que dicho sub sector ha experimentado en los últimos años, es necesario el analizar los efectos provocados por la eventual entrada de una central hidroeléctrica de este tipo.

4. ANÁLISIS FINANCIERO

Debido a que la instalación de una central hidroeléctrica de bombeo dentro del sistema eléctrico de Guatemala conlleva análisis más allá de los técnicos y regulatorios, se hace necesario el analizar la viabilidad financiera de un proyecto de esta índole.

Por lo anterior se hace necesario el realizar un análisis de una central hidroeléctrica de bombeo desde el punto de vista financiero, es decir que se buscará determinar si un proyecto supuesto es factible, haciendo énfasis especial en el hecho que el proyecto a evaluar en este trabajo será un proyecto simulado en base a información disponible o información pública.

4.1. Análisis del Precio de Oportunidad de la Energía

El primer paso a realizar en este análisis será definir y analizar el modelo del POE, ya basados en este modelo se estudiará la posibilidad de que un proyecto hidroeléctrico de bombeo sea viable económicamente en Guatemala.

4.1.1. Fundamento

El POE es el valor del costo marginal de corto plazo de la energía en cada hora, este se define como el costo en que incurre el Sistema Nacional Interconectado en suministrar un kilovatio hora adicional de energía a un determinado nivel de demanda de potencia, considerando para esto, el parque de generación y transmisión efectivamente disponible.

El costo marginal de corto plazo es el máximo costo variable de las unidades generadoras, en el nodo de referencia, que fueron convocadas por el despacho económico, respetando los requerimientos de servicios complementarios.

El POE de una hora será establecido por la Unidad Generadora Marginal, la cual es la que tiene el máximo costo variable de las unidades generadoras siempre que haya operado en régimen permanente por lo menos quince minutos de esa hora.

Las transacciones de oportunidad de energía eléctrica en el Mercado Mayorista se realizan con un POE establecido en forma horaria. En este mercado cada comprador compra del conjunto de vendedores y las transacciones se realizan sobre la base de los costos marginales de corto plazo.

Las diferencias que se presentan cada hora entre la energía consumida o comprada por contratos por un participante consumidor, y la energía comprada por contratos deberán transarse en el mercado de oportunidad de la energía en su nodo y al precio del mismo, siendo estas transacciones medidas y liquidadas por el Administrador del Mercado Mayorista. El nodo a que hace referencia es el punto de conexión del participante a la red de transporte.

4.1.2. Análisis

De acuerdo a lo establecido en Reglamento del Administrador del Mercado Mayorista el año estacional es el período de doce meses que inicia el uno de mayo y termina el treinta de abril del año siguiente, debido a esto se

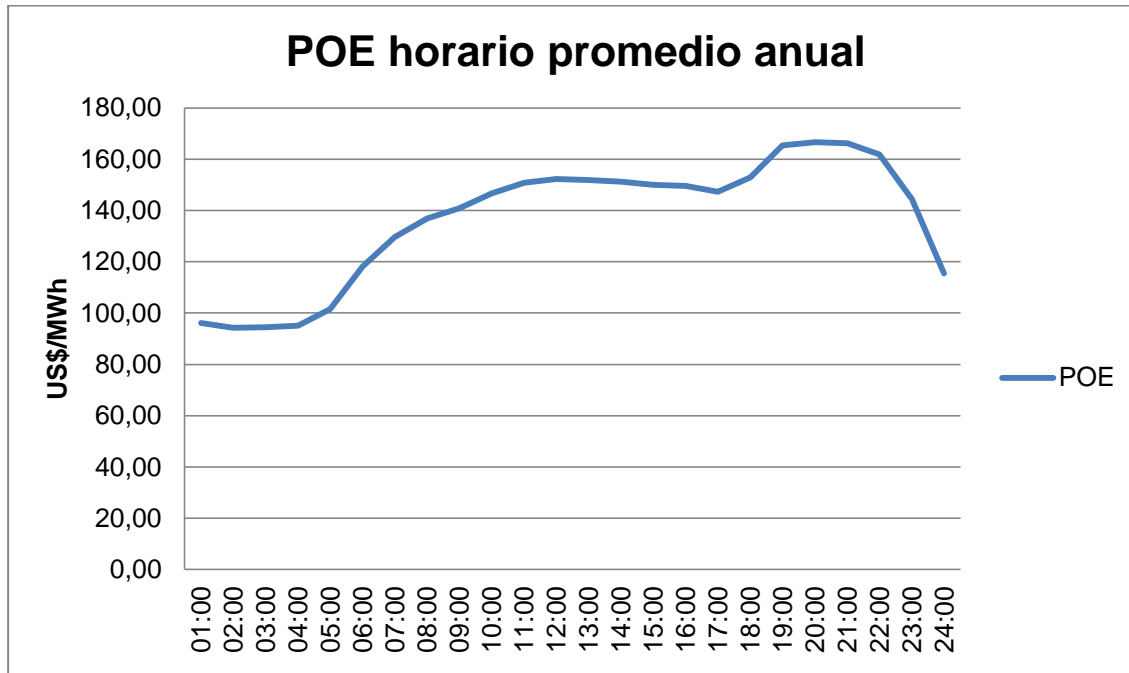
procedió a realizar un análisis del pasado año estacional para visualizar el comportamiento del POE.

Se obtuvieron del sitio de Internet del Administrador del Mercado Mayorista los valores horarios del POE para el período establecido del 01/05/2011 al 30/04/2012, y así se pueden incluir los dos escenarios más importantes en cuanto a la generación eléctrica en Guatemala se refiere, estos son lluvioso y seco, además tomando en cuenta que durante el período seco se inicia el período de zafra por parte de los ingenios azucareros, por lo que la generación con bagazo de caña cobra importancia en dicho período.

El enfoque fue dirigido a los precios horarios únicamente (promedio anual de precios horarios), debido a que la variación horaria en el POE es la premisa que fundamenta la posibilidad económica del establecimiento de una central hidroeléctrica de bombeo dentro del sistema eléctrico en Guatemala, debido a esto no se realizaron análisis del promedio diario del POE, así como tampoco de la variación histórica del mismo, ya que la parte más importante del análisis es verificar que tan variable es el POE en el Mercado Mayorista, y poder partir de esa diferencia para justificar el establecimiento de una central de bombeo.

Se verá entonces en la figura 4 que el POE varía a lo largo de todo el año estacional como consecuencia natural de la disponibilidad de las fuentes primarias de energía para la producción eléctrica, los precios de los combustibles, la demanda eléctrica y las indisponibilidades de las centrales de generación.

Figura 4. Comportamiento horario anual POE



Fuente: elaboración propia.

La hora en que se presenta la mínima demanda de energía es alrededor de las 03:00 horas, por lo que se observa que el POE promedio para todo el año a esa hora es de 94,48 US\$/megavatios hora, y la demanda máxima se presenta alrededor de las 19:00 siendo su respectivo precio de 16,67 US\$/megavatios hora.

Por lo que se observa que la diferencia de comprar la energía en la hora de menor precio y venderla en la hora de mayor precio es de 72,19 US\$ o lo que es lo mismo un 76,4 por ciento más cara.

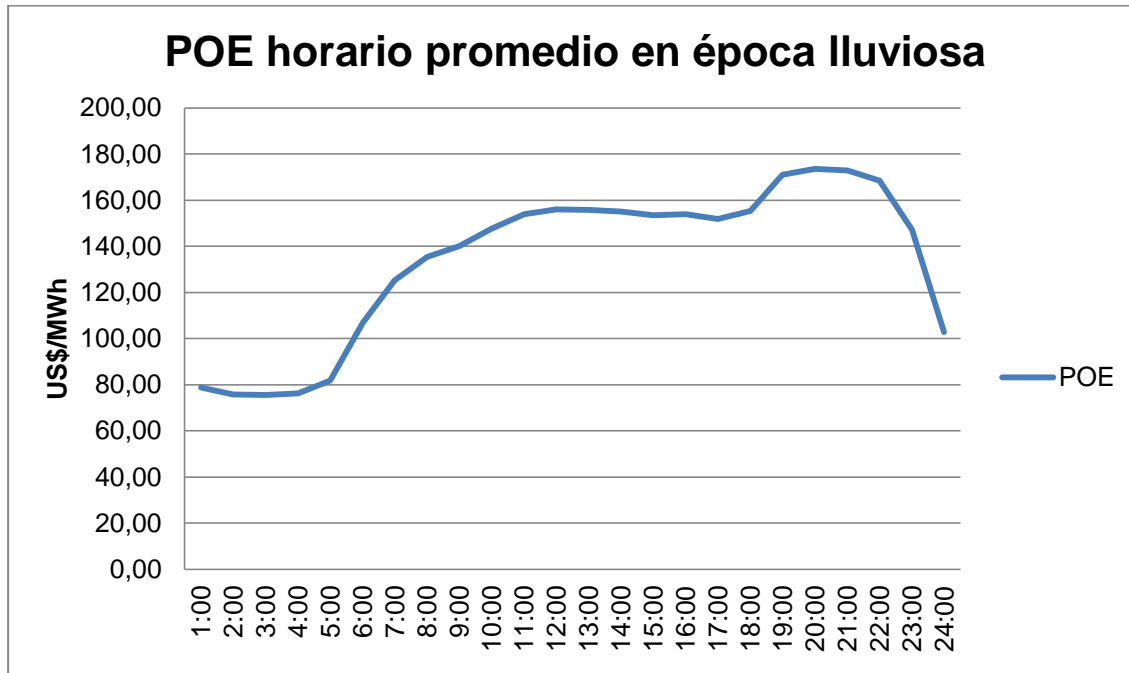
Estos resultados desde ya arrojan que existe una diferencia real entre el precio que tiene la energía en el mercado de oportunidad en promedio anual

horario durante un año estacional, dependiendo de la hora a la que se compre o se venda, según sea el caso.

Se verá ahora la diferencia que existe entre las dos épocas marcadas en el año estacional, las cuales son la época lluviosa y la época seca. La primera se considerará desde el mes de mayo hasta el mes de octubre y tiene la característica de un alto contenido hídrico en el despacho económico como resultado del incremento de las lluvias en el territorio nacional. La otra época considerada será la época seca, la cual se toma desde el mes de noviembre hasta el mes de abril del siguiente año, al contrario de la anterior el componente hídrico dentro del despacho es menor, tomando ese espacio los ingenieros azucareros que generan electricidad durante su período de zafra.

A continuación, la siguiente gráfica presenta el promedio del POE por hora para la época lluviosa:

Figura 5. Comportamiento horario época lluviosa POE



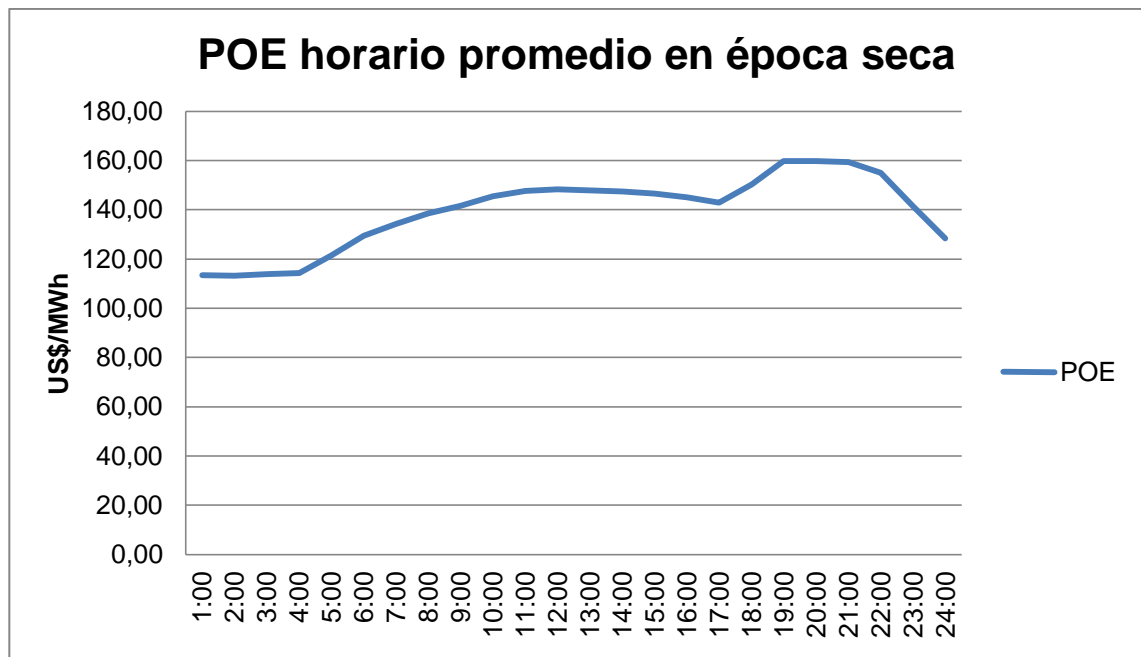
Fuente: elaboración propia.

Se observa entonces que para este escenario el precio presenta una variación mayor que en el caso analizado anteriormente, presentado una diferencia mayor entre los precios de la energía a la hora de mínima demanda y máxima demanda.

Para el año estacional analizado, el promedio del precio horario menor se presentó a las 2:00 hora con un valor de 75,41 US\$/megavatios, mientras que el precio horario promedio mayor fue a las 19:00 horas con un valor de 173,42 US\$/megavatios. Por lo tanto se observa que para este caso la diferencia entre ambos valores representa un total de 98,01 US\$, o poniéndolo de otra manera la energía, durante la época lluviosa, en el período de máxima demanda es 129,96 por ciento más cara que en el período de mínima demanda.

Se presentará a continuación los resultados obtenidos del análisis del precio durante la época seca:

Figura 6. **Comportamiento horario época seca POE**



Fuente: elaboración propia.

Ahora se tiene una curva que representa el promedio del precio horario de la energía durante el período de seis meses correspondientes a la época seca, se observa que la curva es más estable a lo largo del día, es decir, que los diferentes valores horarios están dentro de un rango menor que en los casos anteriores.

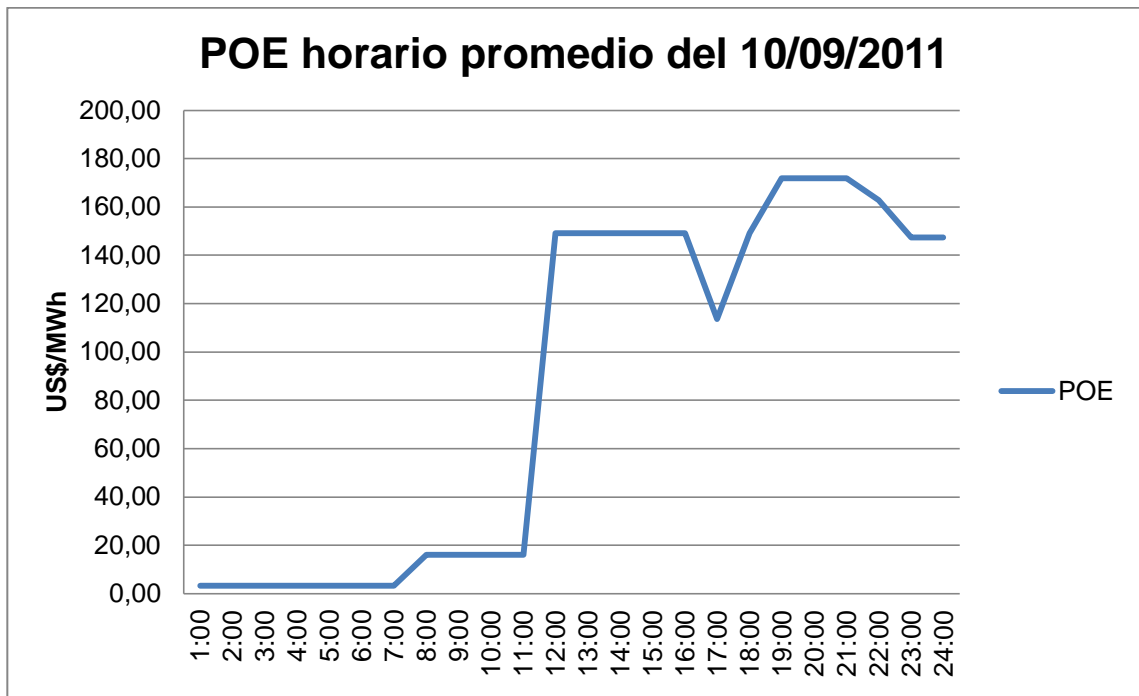
Se observa que en la época seca el precio más bajo corresponde a la 01:00 con un valor de 113,17 US\$/megavatios, mientras que el precio más alto corresponde a 19:00 horas con un valor de 159,84 US\$/megavatios; lo que significa una diferencia de apenas, 46,67 US\$ entre el precio máximo y el precio mínimo promedio, visto desde otro punto de vista, aún más crítico, apenas un 41 por ciento más cara la energía que la energía en un punto más bajo.

Por lo anterior se observa que es en la época seca en la que resultaría más crítica para la operación de una central hidroeléctrica de bombeo en la cual el embalse superior se encuentre abastecido por el agua bombeada desde el embalse inferior de una manera parcial y por el mismo río, que además coincide con la época en la que menos caudal presentan la mayoría de ríos en Guatemala.

Por último se identifican cuales fueron los días en los que se dieron las diferencias de precios máxima y mínima, es decir el día con los precios más estables, y el día con los precios más distantes, ya que estos escenarios representarían los escenarios más extremos en cuanto a la diferencia del POE, y pueden darnos idea de la máxima o mínima diferencia de precios que se pueda presentar.

El día con la diferencia de precios mayor durante el pasado año estacional fue el sábado 10 de setiembre de 2011, en el cual el comportamiento del precio se muestra en la figura 7.

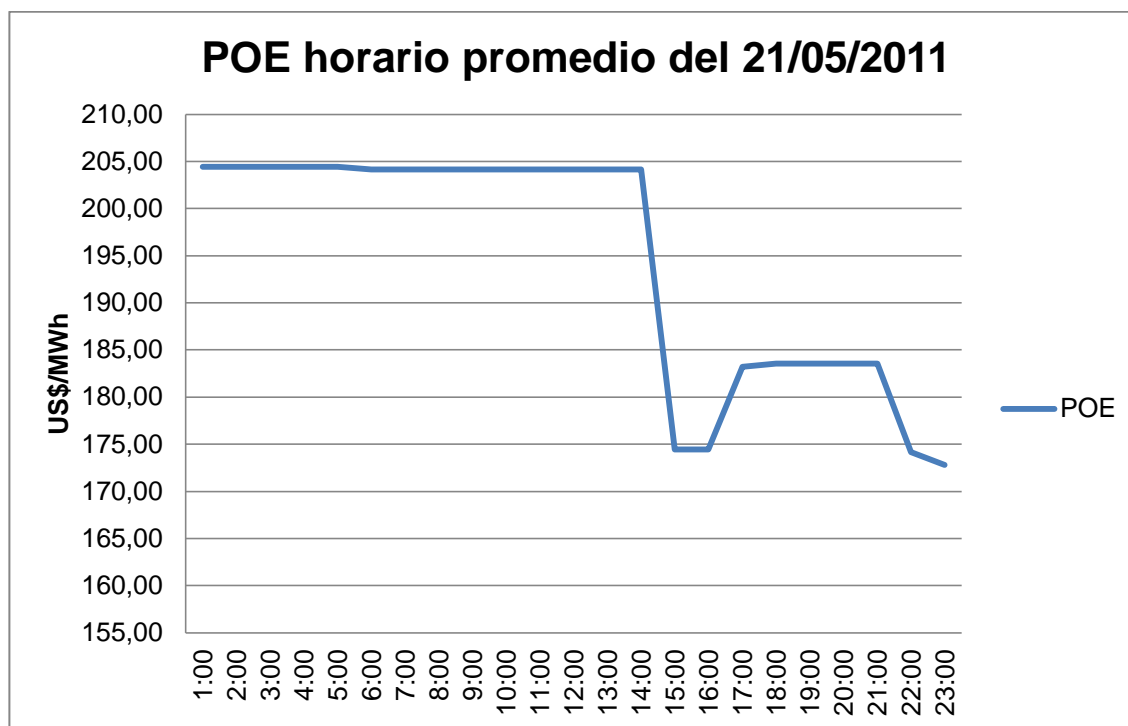
Figura 7. Comportamiento horario POE 10/09/2011



Fuente: elaboración propia.

Mientras que el día en el que la diferencia de precios fue mínima fue el día sábado 21 de mayo de 2011, cuando se comportó de la manera mostrada en el gráfica 8.

Figura 8. Comportamiento horario POE 21/05/2011



Fuente: elaboración propia.

Por lo que se puede concluir en el caso de que la central únicamente venda y compre en el mercado de oportunidad, la variación del POE horario en promedio es muy dispar a lo largo del año estacional, pudiendo ver durante la época lluviosa una diferencia considerable en cuanto al precio mínimo y máximo durante un día, sin embargo durante la época seca esta diferencia se reduce sustancialmente.

Se observa que el análisis económico que se debe realizar para verificar la factibilidad de una central hidroeléctrica de bombeo debe ser muy minucioso,

además de estudiar el comportamiento hidrológico histórico del río en el cual se vaya a instalar la central.

4.2. Proyecto supuesto

A fin de determinar, de una manera indicativa, la viabilidad económica del desarrollo de una central hidroeléctrica de bombeo dentro en el sistema eléctrico de Guatemala, se propondrá un proyecto de generación hidroeléctrica con bombeo para desarrollar el análisis económico.

En Guatemala existen actualmente 28 centrales de generación hidroeléctrica establecidos como agentes generadores dentro del Mercado Mayorista. Según información publicada por el Administrador del Mercado Mayorista al mes de agosto de 2012 las centrales son las siguientes:

Tabla III. **Plantas de generación hidroeléctrica existentes**

Central Generadora	Potencia Efectiva al sistema
Chixoy	280,983
Hidro Xacbal	97,053
Palo Viejo	87,231
Aguacapa	75,759
Jurún Marinalá	61,664
Renace	66,306
El Canadá	47,203
Las Vacas	35,849
El Recreo	26,129

Los Esclavos	13,231
Secacao	16,225

Continuación de la tabla III.

Central Generadora	Potencia Efectiva al sistema
Montecristo	13,182
Pasabién	12,147
Matanzas	11,783
Poza Verde	9,848
Rio Bobos	10,362
Cholomá	9,651
Santa Teresa	16,688
Panan	7,677
Santa María	5,858
Palín 2	5,8
Candelaria	4,344
San Isidro	3,400
El Capulín	3,200
El Porvenir	2,114
El Salto	2,371
Chichaíc	0,456
San Jerónimo	0,200

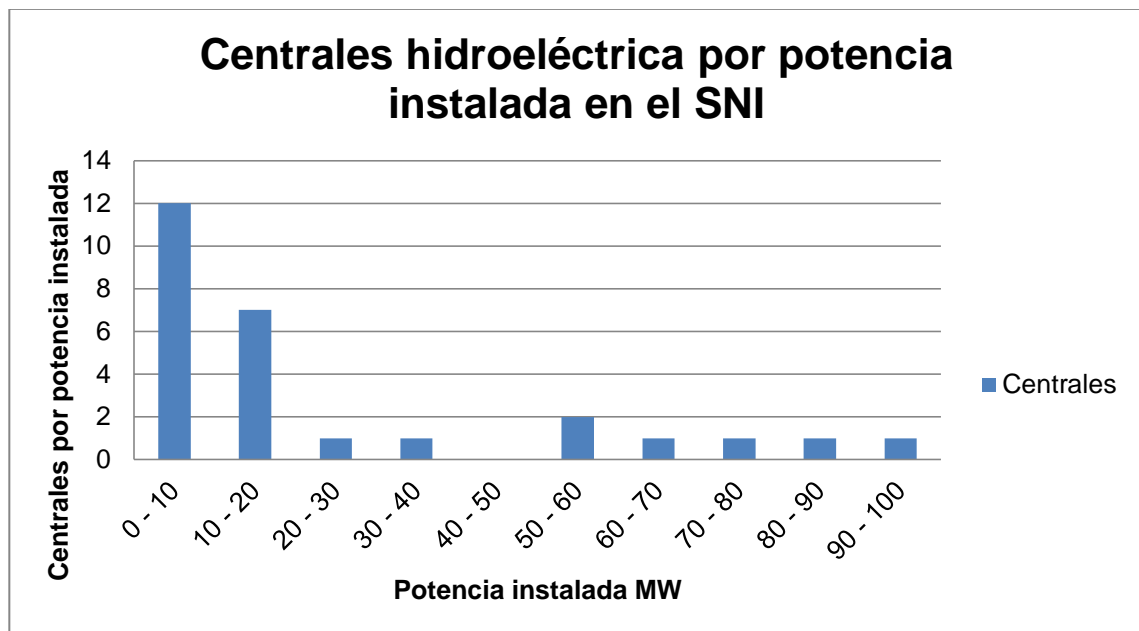
Fuente: <http://www.amm.org.gt>. Consulta: diciembre de 2012.

A continuación se presenta el criterio aplicado para definir la capacidad instalada que se asignará al proyecto supuesto.

Se ha realizado una curva de frecuencias, para verificar que potencia instalada es la más probable de instalar según el parque de generación actual. Para esto se han dividido las centrales en intervalos de 10 megavatios cada uno hasta llega a los 100 megavatios.

Se observa en la figura 9 el resultado de dicho análisis

Figura 9. **Detalle de centrales hidroeléctricas por potencia**



Fuente: elaboración propia.

Dado lo anterior se puede concluir que la probabilidad de que exista, dentro del sistema eléctrico, una planta de generación hidroeléctrica de menos

de 10 megavatios es mayor que cualquier otra, por lo tanto se adoptarán un valor incluido dentro del intervalo propuesto para la central en análisis.

Por lo tanto se realizarán un estudio basado en una central de generación hidroeléctrica de aproximadamente 8 megavatios. La central propuesta es una central hidroeléctrica que cuenta con dos embalses, uno en la parte superior de la casa de máquinas, y el otro en la parte inferior de la misma, el caudal de diseño de la central es de 4,55 metros cúbicos por segundo, el cual se encuentra disponible en diferentes ríos de Guatemala, y tiene una caída bruta de 201 metros conforme a las características orográficas del país, los cuales son valores que pueden considerarse típicos dentro de las características de Guatemala.

Se tomará un aporte promedio del agua que es bombeada desde el embalse inferior hasta el superior de aproximadamente 40 por ciento en promedio durante un año estacional, es decir que el agua que se utilizará para la generación eléctrica provendrá en un 40 por ciento por agua bombeada, en un 60 por ciento por el agua propia del río.

Asumiendo una eficiencia total de la central del 90 por ciento, es decir incluyendo las obras hidráulicas, mecánicas y eléctricas, de acuerdo a valores estándares dentro de las centrales hidroeléctricas en Guatemala.

Tomando la fórmula básica del cálculo de la potencia total de una central hidroeléctrica que se observa en la ecuación siguiente:

$$P = g \times \eta t \times h \times c$$

Donde:

P = potencia total en kilovatios

g = valor de la gravedad

η_t = eficiencia total del sistema de conducción

h = altura o caída bruta que tiene la central

c = es el caudal de diseño

Aplicando la ecuación anterior con un valor de gravedad de 9,8 metros sobre segundo cuadrado, se obtiene un valor de 8 066,33 kilovatios, o lo que es lo mismo 8,07 megavatios para nuestra central hidroeléctrica.

Además la central hidroeléctrica que se considerará para el análisis estará dotada de máquinas reversibles, de acuerdo a lo indicado en el numeral 2.3.

4.3. Gastos y costos del proyecto

Luego de dimensionar el proyecto supuesto se debe realizar un análisis para identificar los diferentes gastos y costos de un proyecto hidroeléctrico, ya que al momento de realizar el análisis económico nos serán de suma utilidad.

Mucho se ha discutido acerca del precio promedio de cada kilovatio instalado para una central hidroeléctrica, La Administración de Información de Energía de los Estados Unidos, EIA por sus siglas en inglés, ha publicado los valores referenciales del precio de capital de una central hidroeléctrica de bombeo, además de muchas otras tecnologías, el costo por kilovatio instalado es de US\$ 5 595,00 este costo es considerablemente mayor que el del kilovatio

instalado en una central hidroeléctrica convencional, el cual asciende a US\$3 076,00 ya que al tratarse de una central de bombeo, es necesario aumentar la obra civil considerablemente debido a la construcción de dos embalses, además del equipo electromecánico, el cual posee características especiales.

El costo que se ha asumido para el kilovatio instalado será de carácter referencial, considerando que no representa una cifra final, y por lo tanto, los valores obtenidos serán indicativos y de carácter teórico.

Al tomar el costo por kilovatio instalado indicado anteriormente, y la potencia instalada también indicada, se procede a calcular la inversión o el capital necesario para establecer la central, lo cual nos arroja un valor de multiplicar los US\$5 595,00 por kilovatio por los 8 066,33 kilovatios, obteniendo una inversión aproximadamente US\$45 131 116,35.

Uno de los parámetros importantes para el análisis económico de la central hidroeléctrica es el costo de operación y mantenimiento, los cuales se considerarán fijos para una central hidroeléctrica debido a que están en función de la forma en la que se opera la central, y esta a su vez se distribuye uniformemente a lo largo del período.

El costo de operación y mantenimiento considera los rubros de costo de operación, costo de mantenimiento, costo de seguridad, costo de gestión, costo de seguros y costo inicial de operación y mantenimiento.

El costo de operación incluye el personal operativo y administrativo de la central hidroeléctrica, además se suelen considerar los costos de servicios y soporte técnico.

El costo de mantenimiento incluye lo relacionado a un programa de mantenimiento que considera el costo de los recursos necesarios para la ejecución de dicho programa en la central hidroeléctrica.

Como costo de seguridad se considera los costos contra atentado de terceras personas, así como los costos de vigilancia y patrullaje.

Además de los descritos anteriormente se incluyen costos relacionados a las gestiones necesarias para la operación y el mantenimiento de la central. Así como de los seguros que se adquieran para la misma.

De acuerdo a lo estimado por la EIA, el costo de operación y mantenimiento para una central hidroeléctrica de bombeo es de US\$13,03 por kilovatio anual, lo que representa un costo anual de US\$ 105 104,28 de operación y mantenimiento para una central de 8 066,33 kilovatios instalados.

4.4. Análisis

A fin de establecer, de una manera indicativa, la viabilidad económica de un hipotético establecimiento de una central hidroeléctrica de bombeo dentro del subsector eléctrico en su situación actual, se realizó un análisis utilizando diferentes herramientas y parámetros económicos.

Los distintos análisis se llevaron a cabo considerando las siguientes premisas:

Para la determinación del precio de energía a utilizar en el análisis, se tomaron los valores del POE horario que se obtuvieron durante el año estacional comprendido del 01/05/2011 al 30/04/2012, para evaluar el comportamiento del POE durante las dos diferentes estaciones que se presentan desde el punto de vista del despacho.

En el inciso 4.1 se observa el comportamiento que experimentó el POE durante el año en mención, luego se procedió a obtener el precio promedio por cada hora del día a lo largo del período analizado.

Los valores promedio del POE por hora por cada megavatio hora transado para el año estacional mencionado son los siguientes:

Tabla IV. **Promedio horario POE**

Hora	Precio promedio por MWH
00:00	\$ 96,08
01:00	\$ 94,32
02:00	\$ 94,48
03:00	\$ 95,17
04:00	\$ 101,47
05:00	\$ 118,11
06:00	\$ 129,63
07:00	\$ 136,93
08:00	\$ 140,76

09:00	\$	146,56
10:00	\$	150,77
11:00	\$	152,17
12:00	\$	151,78
13:00	\$	151,30
14:00	\$	149,97
15:00	\$	149,55

Continuación de la tabla IV.

Hora	Precio promedio por MWH	
16:00	\$	147,31
17:00	\$	152,83
18:00	\$	165,34
19:00	\$	166,67
20:00	\$	166,08
21:00	\$	161,75
22:00	\$	144,24
23:00	\$	115,53

Fuente: elaboración propia

Luego se procedió a establecer dos precios referenciales para realizar el análisis, el primer precio es el promedio del precio para las horas incluidas en la banda de valle, que de acuerdo a lo establecido en el artículo 87 del Reglamento del Administrador del Mercado Mayorista es de 22 a 06 horas. El siguiente valor referencial de precio es el promedio de los valores obtenidos en

los períodos comprendidos por la banda intermedia y la banda de punta, siendo el período completo de 06 a 22 horas.

Esta clasificación de los precios se realizó con el fin de establecer dos precios referenciales para el análisis económico, ya que por la naturaleza del funcionamiento específico de las centrales de bombeo operan en dos escenarios diferentes, el primero es el de consumo, que debe ser durante la banda de valle para aprovechar los precios bajos del mercado; el otro escenario es al momento en que la central opera como generadora, que debe de ser en las bandas intermedia y alta para aprovechar el precio alto del mercado. Correspondiendo cada precio al escenario correspondiente.

El análisis se realizará tomando en cuenta únicamente el precio de la energía obteniendo, es decir contemplar los ingresos que resulten de la oferta firme.

Obteniendo como resultados, para la banda valle un valor promedio de US\$107,43 por cada megavatio hora, y el promedio de las bandas intermedia y punta un valor de US\$152,00 por cada megavatio hora.

Luego se ha definido un factor de carga, correspondiente al consumo de la central, así como un valor de factor de planta correspondiente a la generación de la central. En el caso del factor de carga se ha asumido un valor de 0,25,

esto debido a que el bombeo se efectuará en el período de demanda mínima por un lapso promedio de 6 horas durante todo el año estacional, variando de acuerdo a la disponibilidad del agua propia del río.

Mientras que en el caso del factor de planta, el valor tomado será de 0,60 ya que la central generará durante período de demanda media y máxima, buscando mejores precios en el mercado, y si bien es cierto que durante el verano podría darse el caso que la central opere menos tiempo, en el invierno la situación se invertiría.

Además es un valor usual en la operación de centrales hidroeléctricas con embalse. Como última consideración, se realizará el análisis tomando una vida útil de 50 años para la central hidroeléctrica propuesta.

Con los datos descritos se puede predecir la energía generada por la central, la energía consumida por la misma y encontrar así el monto de los ingresos y egresos por conceptos de energía, además de esto se ha calculado ya el precio de operación y mantenimiento de una central, así como su costo de capital o inversión inicial. Con todos estos valores se pueden encontrar entonces nuestros valores de ingresos y egresos totales de cada año.

En las siguientes tablas se encuentran los valores de ingresos y egresos anuales para la central hidroeléctrica de bombeo simulada, utilizando la información descrita anteriormente.

Tabla V. **Detalle de ingresos de proyecto**

Ingresos

Potencia instalada megavatios	8,066
Energía máxima MWh	70 658,16
Factor de Planta	0,60
Total de energía generada MWh	42 394,89
Valor de energía vendida	\$ 152,00
Ingresos por energía	\$ 6 444 024,19
Total de ingresos	\$ 6 444 024,19

Fuente: elaboración propia.

Para los egresos se tomó el factor de carga indicado anteriormente, y se calculó la energía consumida con dicho factor de planta, es importante mencionar que si bien el factor de planta se multiplica por la potencia total disponible de la máquina en modo de bombeo, sin embargo en la práctica el bombeo de se realizará a magnitudes variables dependiendo la situación de los embalses.

Tabla VI. **Detalle de egresos de proyecto**

Egresos	
Potencia instalada MW	8,066
Energía máxima	70 658,16
Factor de carga	0,25
Total de energía consumida MWh	17 664,54
Valor de energía consumida	\$ 107,43
Egresos por energía	\$ 1 897 701,53
Costo de operación y mantenimiento	\$ 105 104,25

Total de egresos	2 002 805,78
------------------	--------------

Fuente: elaboración propia.

Con todas las consideraciones y valores descritos anteriormente se procederá a realizar un análisis de los principales indicadores económicos como son: la Tasa Interna de Retorno, el período de recuperación de la inversión, y el valor presente de la inversión.

El cálculo de la tasa interna de retorno se utiliza para decidir sobre la aceptación o rechazo de un proyecto de inversión, el cálculo se ha realizado por medio del Software Microsoft Excel 2007, utilizando un periodo de 50 años y un ingreso neto que es resultado de la diferencia entre los ingresos y los egresos anuales presentados, una tasa anual de descuento del 9 por ciento y un valor inicial que representa la inversión.

De acuerdo a lo indicado en el siguiente cuadro:

Tabla VII. **Amortizaciones anuales del proyecto**

Período	Amortizaciones anuales
0	-\$ 45 131 116,35
1	\$ 4 546 403,36
2	\$ 4 546 403,36
3	\$ 4 546 403,36

4	\$	4 546 403,36
5	\$	4 546 403,36
6	\$	4 546 403,36
...	\$	4 546 403,36
49	\$	4 546 403,36
50	\$	4 546 403,36

Fuente: elaboración propia.

El resultado obtenido es una tasa interna de retorno de 9,98746 por ciento, a un período de 50 años.

Ahora se verá el comportamiento de los valores presentes a lo largo de la vida útil del proyecto, determinando así el tiempo de retorno de la inversión, para ello se utilizará una tasa de interés de 9 por ciento como valor referencial.

Tabla VIII. **Flujos anuales del proyecto**

Período	Flujo anual	Valor neto
0	-\$45 131 116,35	
1	\$4 546 403,36	\$ -37 578 077,15
2	\$4 546 403,36	\$ -34 067 419,59
3	\$4 546 403,36	\$ -30 846 632,83
4	\$4 546 403,36	\$ -27 891 782,60
5	\$4 546 403,36	\$ -25 180 910,82
6	\$4 546 403,36	\$ -22 693 872,49
7	\$4 546 403,36	\$ -20 412 185,96

8	\$4 546 403,36	\$ -18 318 895,55
9	\$4 546 403,36	\$ -16 398 445,64
10	\$4 546 403,36	\$ -14 636 564,99
11	\$4 546 403,36	\$ -13 020 160,73
12	\$4 546 403,36	\$ -11 537 221,03
13	\$4 546 403,36	\$ -10 176 725,90
14	\$4 546 403,36	\$ -8 928 565,23
15	\$4 546 403,36	\$ -7 783 463,69
16	\$4 546 403,36	\$ -6 732 911,83
17	\$4 546 403,36	\$ -5 769 102,77
18	\$4 546 403,36	\$ -4 884 874,29
19	\$4 546 403,36	\$ -4 073 655,49
20	\$4 546 403,36	\$ -3 329 418,06
21	\$4 546 403,36	\$ -2 646 631,43

Continuación d la tabla VIII.

Período	Flujo anual	Valor neto
22	\$4 546 403,36	\$ -2 020 221,68
23	\$4 546 403,36	\$ -1 445 533,83
24	\$4 546 403,36	\$ -918 297,28
25	\$4 546 403,36	\$ -434 594,01
26	\$4 546 403,36	\$ 9 170,45
27	\$4 546 403,36	\$ 416 293,81
28	\$4 546 403,36	\$ 789 801,48
29	\$4 546 403,36	\$ 1 132 469,06
30	\$4 546 403,36	\$ 1 446 843,00
31	\$4 546 403,36	\$ 1 735 259,45
32	\$4 546 403,36	\$ 1 999 861,70
33	\$4 546 403,36	\$ 2 242 616,05

34	\$4 546 403,36	\$ 2 465 326,47
35	\$4 546 403,36	\$ 2 669 647,96
36	\$4 546 403,36	\$ 2 857 098,86
37	\$4 546 403,36	\$ 3 029 072,17
38	\$4 546 403,36	\$ 3 186 845,85
39	\$4 546 403,36	\$ 3 331 592,34
40	\$4 546 403,36	\$ 3 464 387,28
41	\$4 546 403,36	\$ 3 586 217,51
42	\$4 546 403,36	\$ 3 697 988,36
43	\$4 546 403,36	\$ 3 800 530,42
44	\$4 546 403,36	\$ 3 894 605,71
45	\$4 546 403,36	\$ 3 980 913,31
46	\$4 546 403,36	\$ 4 060 094,60

Continuación de la tabla VIII.

Período	Flujo anual	Valor neto
47	\$4 546 403,36	\$ 4 132 737,99
48	\$4 546 403,36	\$ 4 199 383,29
49	\$4 546 403,36	\$ 4 260 525,77
50	\$4 546 403,36	\$ 4 316 619,79
Retorno de la inversión:		25.98

Fuente: elaboración propia.

Como se observa en los resultados obtenidos, la instalación de una central hidroeléctrica de bombeo representa una inversión bastante elevada, en la cual los ingresos, según lo establecido actualmente, podrían ser muy reducidos para

hacer viable un proyecto como tal. Se ha obtenido un periodo de retorno de la inversión de aproximadamente 26 años, y un valor presente para 50 años de US\$ 4 316 619,79.

Los valores obtenidos luego del análisis realizado son de carácter indicativo y deberán ser tomados como tal. Además existen una serie de beneficios intangibles que podría significar que la instalación de un proyecto de este tipo pudiera ser viable, incluyendo enfoques adicionales al económico.

CONCLUSIONES

1. Dentro del marco regulatorio vigente de subsector eléctrico en Guatemala se encuentran incluidos los aspectos técnicos, comerciales y operativos relacionados con una central de generación hidroeléctrica con un embalse, sin embargo no se encuentran contempladas las centrales con más de un embalse.
2. Dentro del subsector eléctrico guatemalteco no existen aún las políticas que promuevan la instalación de una central hidroeléctrica de bombeo.

3. Desde el punto de vista económico la instalación de una central hidroeléctrica de bombeo es viable únicamente bajo ciertos escenarios y no representa una rentabilidad en función de una central hidroeléctrica convencional.

RECOMENDACIONES

1. Instituir en Guatemala la posibilidad de autodespacho para ciertas tecnologías de generación, propiciando así la instalación de centrales hidroeléctricas de bombeo.
2. Realizar un análisis de una posible actualización de las normas de coordinación emitidas por el Administrador del Mercado Mayorista, para desarrollar el marco normativo que permita conocer con anticipación el tratamiento que se dará a la oferta firme eficiente, al despacho y a los costos de generación de una central hidroeléctrica de bombeo, a fin de dar mayor certeza a la evaluación económica de este tipo de centrales hidroeléctricas.
3. Realizar un análisis profundo de los efectos en el sistema eléctrico de Guatemala provocado por la inclusión de una central hidroeléctrica de bombeo de magnitud superior a los 10 megavatios.

BIBLIOGRAFÍA

1. Agencia de Cooperación del Japón. *Perspectivas de los Planes de Expansión 2012*. Guatemala: Jica. 2012. 241 p.
2. Congreso de la República de Guatemala. *Ley General de Electricidad: Decreto No. 93-96*. Diario de Centro América, 21 de noviembre de 1996. 18 p.
3. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. *Minicentrales hidroeléctricas*. España: 2006. 180 p.
4. LOTTES, Gerd. *Centrales de acumulación por bombeo en la economía eléctrica del porvenir*. Argentina: Editorial Agua y Energía Eléctrica. 1968. 25 p.
5. ORTIZ, R. JIMÉNEZ, Abella. *Máquinas hidráulicas reversibles aplicadas a micro centrales hidroeléctricas*. [en línea] <http://www.ewh.ieee.org/reg/9/etrans/ieee/issues/vol06/vol6issue2June2008/6TLA2_07OrtizFlorezROF.pdf> [Consulta: mayo de 2012].
6. TROMBOTTO, Victor Gabriel. *Complejo hidroeléctrico Río Grande Central en Caverna de Acumulación por Bombeo* [en línea] Guatemala 2012. <<http://www.cnea.gov.ar/xxi/energe/b14/tromboto.pdf>> [Consulta Junio de 2012].

7. ----- . *Reglamento de la Ley General de Electricidad*: Acuerdo Gubernativo número 256-97. Diario de Centro América, 2 de abril de 1997, p 61.

8. ----- . *Reglamento del Administrador del Mercado Mayorista*. Acuerdo Gubernativo número 299-98: Diario de Centro América 2 de junio de 1998. p 89.