



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE LA EVALUACIÓN DE LA UTILIZACIÓN DE LOS
SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA EN BATERÍAS (BESS) EN EL SISTEMA
ELÉCTRICO GUATEMALTECO Y SUS POSIBLES MODELOS DE NEGOCIO**

Ixmucané Solimar Cárdenas Morales

Asesorado por el Msc. Ing. Juan Carlos Pozuelos Buezo

Guatemala, octubre de 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE LA EVALUACIÓN DE LA UTILIZACIÓN DE LOS
SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA EN BATERÍAS (BESS) EN EL SISTEMA
ELÉCTRICO GUATEMALTECO Y SUS POSIBLES MODELOS DE NEGOCIO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

IXMUCANÉ SOLIMAR CÁRDENAS MORALES
ASESORADO POR EL MSC. ING. JUAN CARLOS POZUELOS BUEZO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA ELECTRICISTA

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Christian Moisés de la Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Marvin Marino Hernández Fernández
EXAMINADOR	Ing. Saul Cabezas Durán
EXAMINADOR	Ing. Fernando Alfredo Moscoso Lira
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:

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE LA EVALUACIÓN DE LA UTILIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA EN BATERÍAS (BESS) EN EL SISTEMA ELÉCTRICO GUATEMALTECO Y SUS POSIBLES MODELOS DE NEGOCIO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 24 de junio de 2020.

Ixmucané Solimar Cárdenas Morales

Ref. EEPFI-636-2020
Guatemala, 24 de junio de 2020

Director
Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Presente.

Estimado Ing. Rivera:


Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: EVALUACIÓN DE LA UTILIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA EN BATERÍAS (BESS) EN EL SISTEMA ELÉCTRICO GUATEMALTECO Y SUS POSIBLES MODELOS DE NEGOCIO**, presentado por la estudiante **Ixmucané Solimar Cárdenas Morales**, carné número **9615487**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en Artes en Gestión de Mercados Eléctricos Regulados.

Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. M.Sc. Juan Carlos Pozuelos Buezo
Colegiado 7,702
Mtro. Juan Carlos Pozuelos Buezo
Asesor


Mtro. Juan Carlos Fuentes Montepeque
Coordinador de Área
Desarrollo Socio-Ambiental y Energético




Mtro. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería





El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **EVALUACIÓN DE LA UTILIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA EN BATERÍAS (BESS) EN EL SISTEMA ELÉCTRICO GUATEMALTECO Y SUS POSIBLES MODELOS DE NEGOCIO**, presentado por la estudiante universitario Ixmucané Solimar Cárdenas Morales, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica



Guatemala, Junio de 2020

DTG. 306.2020.

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE LA EVALUACIÓN DE LA UTILIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA EN BATERÍAS (BESS) EN EL SISTEMA ELÉCTRICO GUATEMALTECO Y SUS POSIBLES MODELOS DE NEGOCIO**, presentado por la estudiante universitaria: **Ixmucané Solimar Cárdenas Morales**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, octubre de 2020

AACE/asga

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Ser supremo con un plan perfecto a cumplir.
Mis padres	Por haberme dado la vida, el apoyo para lograr mis metas y a hacer lo que me gusta.
Mi esposo	Por su amor incondicional y apoyo en cada paso.
Mis hijos	Por motivarme e inspirarme a ser mejor cada día.
Mis hermanos	Por su amor y compañía.
Mis abuelos	Por su sabiduría y cuidarme siempre.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Alma mater que me brindó la oportunidad de aprendizaje.

Facultad de Ingeniería

Por darme las herramientas para desarrollar un criterio científico y analítico.

Mis amigos

Por su cariño y apoyo en cada etapa de la vida.

Mi familia

Por su cariño y apoyo.

Mi asesor

Por su guía durante la realización del trabajo de graduación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	VII
GLOSARIO.....	IX
RESUMEN.....	XV
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	5
3.1. Contexto general	5
3.2. Descripción del problema	6
3.3. Formulación del problema	6
3.3.1. Pregunta central.....	6
3.3.2. Preguntas auxiliares	6
3.4. Delimitación del problema.....	7
4. JUSTIFICACIÓN	9
5. OBJETIVOS.....	11
5.1. General.....	11
5.2. Específicos	11
6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE LA SOLUCIÓN.....	13

7.	MARCO TEÓRICO	15
7.1.	Sistemas de Almacenamiento de Energía Eléctrica en Bancos de Baterías (BESS)	15
7.1.1.	Tecnologías aptas para regulación primaria	16
7.1.2.	Tecnologías aptas para regulación secundaria.....	16
7.2.	Sistemas de generación de energía renovable no convencional (ERNC).....	17
7.2.1.	Perfil de generación de las Centrales Renovables en Guatemala.....	18
7.3.	Integración de sistemas de almacenamiento de energía eléctrica BESS en la matriz energética internacional.....	19
7.3.1.	Experiencias internacionales con BESS	20
7.3.2.	Experiencias regionales con BESS	21
7.4.	Marco regulatorio de las BESS	22
7.4.1.	Legislación internacional y su aplicación	23
7.4.2.	Normativo regional de las BESS.....	24
7.5.	Marco operativo de las BESS.....	25
7.5.1.	Modelos de negocios para las BESS y su participación en servicios complementarios.....	255
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	27
9.	METODOLOGÍA	29
9.1.	Características del estudio	29
9.2.	Unidad de análisis	29
9.3.	Variables	30
9.4.	Tabla de variables	30
9.5.	Fases del estudio	31
9.5.1.	Fase 1: revisión documental.....	31

9.5.2.	Fase 2: plan de muestreo	32
9.5.3.	Fase 3: diseño de instrumentos de recolección de información	32
9.5.4.	Fase 4: organización de la información y análisis de resultados	32
9.6.	Resultados esperados	32
10.	CRONOGRAMA.....	35
11.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	37
12.	REFERENCIAS	39
13.	APÉNDICES	45

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Cronograma de actividades35

TABLAS

- I. Tabla de variables31
II. Factibilidad del diseño de investigación38

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
GW	Giga Watt
MW	Mega Watt
%	Porcentaje

GLOSARIO

Agentes	Son los generadores, comercializadores, distribuidores, importadores, exportadores y transportistas.
Almacenamiento	Acción y efecto de almacenar.
AMM	Administrador del Mercado Mayorista.
BESS	Battery Energy Storage System por sus siglas en inglés, o almacenamiento por baterías.
CO2	Dióxido de Carbono.
Contrato firme	En donde se estipula la cantidad de energía a ser vendida o comprada.
CSP	Es la energía termosolar de concentración en un punto con lo que se genera vapor.
Distribución	Es la distribución comercial de energía eléctrica hasta los usuarios regulados.
Energía eólica	Energía que proviene del viento.
Energía	Capacidad para realizar un trabajo.

<i>Energiewende</i>	Es una política energética alemana en donde se lleva a cabo la transición de energías generadas por carbón y nuclear a energías renovables.
ERNC	Energías renovables no convencionales.
Frecuencia	Es la medida de número de veces que se repite un fenómeno por unidad de tiempo, se mide en Hertz.
GDR	Es la persona, individual o jurídica titular o poseedora de una central de generación de energía eléctrica que utiliza recursos energéticos renovables.
Generador	Es la persona, individual o jurídica poseedora de una central de generación de energía eléctrica.
Grandes usuarios	Es un consumidor de energía cuya demanda de potencia excede cien kilovatios (kw), o el límite inferior fijado por el Ministerio en el futuro.
Ley general de electricidad	Es la ley que norma el desarrollo del conjunto de actividades de generación, transporte, distribución y comercialización de electricidad.
Matriz energética	Es la composición de fuentes de energía utilizada en un área delimitada.
Norma técnica	Son las disposiciones emitidas por la Comisión de conformidad con la ley y este reglamento.

Oferta firme	Es la máxima potencia de una unidad generadora descontando sus consumos internos.
Operador	Ente encargado de regular las transacciones del Mercado Mayorista.
Perfil energético	Por su tipo de generación puede ser energía generada por fuentes renovables, o por tipo de demanda residencial o industrial.
Regulación primaria	Es la regulación inmediata, con tiempo de respuesta menor a treinta segundos destinados a equilibrar desbalances instantáneos entre generación y demanda.
Regulación primaria	Es la regulación inmediata, con tiempo de respuesta menor a treinta segundos destinados a equilibrar desbalances instantáneos entre generación y demanda.
Regulación secundaria	Es la acción manual o automática de corregir la producción de una o más unidades generadoras para establecer un desvío de la frecuencia producida por un desbalance entre generación y demanda.
Regulador	Es la Comisión Nacional de Energía Eléctrica como un órgano técnico del Ministerio de Energía y Minas.

Reserva rodante operativa	Es la fracción de la capacidad de una unidad generadora que está sincronizada al sistema de potencia pero que no está asignada a la producción de energía.
Servicios complementarios	Son los servicios necesarios para mantener la seguridad de sus operaciones.
Sistema aislado	Es un sistema eléctrico que no se encuentra conectado al sistema eléctrico nacional.
Sistema eléctrico nacional	Es el conjunto de instalaciones, dentro del cual se efectúan las diferentes transferencias de energía eléctrica entre diversas regiones del país.
Sistema nacional interconectado	Es la porción interconectada con el Sistema Eléctrico Nacional.
Subsector eléctrico	Conformado por un ente rector, un ente regulador y un ente operador del sector Energía.
Transmisión	Es el transporte de electricidad por medios físicos, líneas de transmisión y subestaciones eléctricas.
TRT	Red de Transmisión Regional.
UPS	Uninterruptible power supply, es un dispositivo que proporciona energía de forma ininterrumpida a una carga.

Usuarios

Es el titular o poseedor del bien que recibe el suministro de energía.

RESUMEN

Las nuevas tecnologías energéticas, así como el consumo de estas, han cambiado con el tiempo; lo cual permite optimizar los recursos disponibles para mejorar las condiciones de los sistemas eléctricos. El objetivo de este trabajo de graduación es realizar un estudio de la utilización de los sistemas de almacenamiento de energía en baterías BESS y sus posibles modelos de negocio en el sistema nacional interconectado guatemalteco.

Con este fin, la pregunta de investigación lleva a conocer los modelos de negocio que se pueden utilizar para adaptarlos al mercado eléctrico guatemalteco. Esta se responde a través de conocer por medio de la recolección documental y de datos será obtenida de los operadores, reguladores nacionales e internacionales en información pública, así como experiencias documentadas por instituciones académicas y privadas; se realizará el análisis bivariado, siendo el tipo de investigación descriptiva.

Las respuestas recibidas servirán de base para determinar los modelos de negocio en el mercado eléctrico nacional para utilizar e incluir los sistemas de almacenamiento como un nuevo agente en el mercado eléctrico guatemalteco.

1. INTRODUCCIÓN

El cambio climático ha generado políticas energéticas mundiales para mitigar el calentamiento global, reducir la huella de carbono y las emisiones de CO₂. Las reservas de energía se han convertido en el mayor activo de los países. De igual manera, los avances tecnológicos han llevado a encontrar soluciones para generar energía por medio de recursos renovables.

Este trabajo de investigación se basa en la necesidad de aumentar la matriz de generación de energía guatemalteca en un porcentaje mayor, generado por energías renovables no convencionales. Por lo mismo, se estudiarán los sistemas de almacenamiento existentes y sus aplicaciones a nivel internacional. Además, se compararán los posibles modelos de negocio aplicables al sistema eléctrico nacional con los sistemas eléctricos internacionales, identificando la oportunidad de participación en mercados de Servicios Complementarios y abriendo oportunidades de mejoras de ingresos para centrales eólicas.

Actualmente, el mercado de Reserva Rodante Operativa presenta una oportunidad de negocio frente a la demanda de la reserva energética debido a la falta oferta, en la cual se espeta un aumento a partir de los contratos de Oferta Firme a las centrales generadoras no convencionales.

Los recientes cambios en la Regulación Regional imponen requisitos de reserva a las nuevas centrales eólicas y solares que quieran conectar a la Red de Transmisión Regional (TRT), por lo que la implementación de las BESS a estos proyectos puede facilitar el cumplimiento de estos requisitos.

El primer capítulo aborda los diferentes tipos de sistemas de almacenamiento y las tecnologías aplicables a la regulación primaria y secundaria. También se indaga en las diferentes tecnologías de sistemas de almacenamiento y su comportamiento en un sistema dinámico de energía.

El segundo capítulo aborda el perfil de las centrales renovables en Guatemala, la diversidad de estas. Además, aborda una reseña de las centrales a nivel internacional, así como la integración a sus propios sistemas eléctricos nacionales.

Adicionalmente, se abordarán los marcos regulatorios internacionales y regionales, información que es de suma importancia para entender los modelos de negocios que ya se han implementado a nivel internacional y su aplicación a los mercados eléctricos nacionales. Así mismo, se explica el marco operativo de suma importancia para su aplicación.

Finalmente se tratarán los posibles modelos de mercado y su aplicación específicamente a los Servicios Complementarios del sistema nacional interconectado y los incentivos que puedan ser utilizados en el caso de los sistemas de almacenamiento.

2. ANTECEDENTES

- (DI Roland Wasmayr, 2014) (Lawder, 2014) consideraron necesario conocer la tecnología actual de almacenamiento de energía en baterías, su evolución y funcionamiento, para conocer su comportamiento, sus curvas de carga y descarga.
- (Dötsch, 2009) consideró necesario conocer la tecnología actual de la generación de energía eléctrica renovable no convencional, su evolución, su funcionamiento, para conocer cuál será su comportamiento, sus tiempos de arranque y salida; y así lograr su integración con las energías con los sistemas de almacenamiento de energía en baterías.
- (Congreso de la República de Guatemala, 1996) ha creado los marcos regulatorios de las ERNC, los marcos de la Ley General de la Electricidad, Reglamento del Administrador del Mercado Mayorista para hacer una propuesta al reglamento de la integración de los contratos de oferta firme en las energías convencionales, en contrariedad a las energías renovables no convencionales (ERNC) con sistemas de almacenamiento de baterías BESS.
- (Congreso de la República de Guatemala, 1996) estableció como importante regular el sistema de operación del Mercado Eléctrico Guatemalteco para poder conocer los paradigmas del Ente Operador ante las ERNC y su operación al integrarlos con contratos firmes en las energías convencionales, en contrariedad a las ERNC con sistemas de almacenamiento de baterías BESS.

- (Administrador del Mercado Mayorista, 2001) en su artículo 2.2.5 de la Oferta Firme Eficiente establece que en caso los generadores de energía eléctrica resulten con demanda firme inferior a sus potencias firmes, deberán comprar de otros generadores sus excedentes para poder honrar los contratos. Esto que permite otro modelo de negocio para las BESS como unidades independientes que entreguen la Oferta Firme Eficiente en caso sea requerido por los agentes.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1. Contexto general

La matriz energética guatemalteca tiene una tendencia mayormente renovable, al igual que la directriz mundial. Las plantas de generación renovable tienen una intermitencia que no les permite tener un contrato de oferta firme de potencia. Por esto, solamente se obtiene un porcentaje de la energía generada por las renovables en la matriz energética efectiva. (Morataya, 2019)

Actualmente, no existe un sistema que permita almacenar la energía excedente producida en las horas de mayor generación e integrarla a la red. Esto genera pérdidas, pues tampoco existe una regulación que permita la integración de un sistema de almacenamiento para volver constante la curva de potencia de las generadoras renovables. (Morataya, 2019)

Hoy en día, ya existen tecnologías en funcionamiento en las grandes plantas generadoras eólicas y fotovoltaicas que permiten entregar una potencia firme a los sistemas eléctricos nacionales. Guatemala no cuenta con incentivos para obtener este tipo de tecnologías que evitan la intermitencia de las energías renovables, así como la implementación de sistemas de almacenamiento de energía en baterías como requisito para la autorización de nuevas centrales de energías renovables. (Morataya, 2019)

3.2. Descripción del problema

Debido a que, actualmente no existen sistemas de almacenamiento de energía en las plantas generadoras de energía renovables, estas no cuentan con contratos firmes eficientes. A partir de esto, tampoco existe ningún incentivo, ni regulación de los sistemas de almacenamiento y entrega de energía almacenada. La intermitencia de las energías renovables en Guatemala limita el acceso a los modelos de negocio en el Mercado Eléctrico Nacional. Se deben analizar los distintos modelos de negocio aplicables al sistema eléctrico guatemalteco, lo que cual permite plantear las preguntas a continuación planteadas. (Morataya, 2019)

3.3. Formulación del problema

Para proceder con el planteamiento del problema, se expresan las siguientes preguntas.

3.3.1. Pregunta central

¿Cómo lograr que las generadoras de energías no convencionales obtengan contratos de oferta firme en el mercado eléctrico nacional por medio de sistemas de almacenamiento para evitar la intermitencia de la curva de generación?

3.3.2. Preguntas auxiliares

- ¿Qué tipo de tecnología de almacenamiento de BESS es el más adecuado para aplicar a los sistemas de energías renovables en el Sistema Nacional Interconectado Guatemalteco?

- ¿Qué regulación existe para contratos de oferta firme para las generadoras de energías renovables no convencionales (ERNC)?
- ¿Qué incentivos existen para aumentar la matriz energética mayormente renovable del país?

3.4. Delimitación del problema

En el sistema eléctrico guatemalteco se encuentran involucrados el ente regulador, el ente operador, los agentes y los usuarios finales, es decir, los actores del subsector eléctrico guatemalteco. Estos participantes son quienes se ven afectados por la intermitencia de las energías renovables. Esto es lo que da paso a la realización de estudios de integración de los sistemas de almacenamiento, para permitir a los generadores de energías renovables no convencionales opten a otros modelos de negocios que además sean un incentivo a inversión.

4. JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo de graduación de la maestría de gestión de mercados eléctricos regulados se inserta bajo la línea de investigación de energías renovables y no renovables e impactos de los sistemas de generación, transmisión, comercialización y distribución eléctrica.

Este estudio plantea la evaluación de la utilización de los sistemas de almacenamiento en el sistema eléctrico guatemalteco y sus posibles modelos de negocio.

Aborda también la comparación entre las distintas tecnologías existentes; así como las experiencias internacionales con los sistemas de almacenamiento que logran además generar nuevos negocios y lograr estabilizar la intermitencia de los sistemas de generación renovables.

Trata el tema regulatorio que actualmente no se encuentra dentro de la Ley General de la Electricidad ni su Reglamento, innovación en las energías intermitentes y su impacto por el clima.

De igual forma, se explica el desarrollo y estudio de los sistemas de almacenamiento de baterías permitirían evitar la entrega de energía intermitente, logrando estabilizar el sistema o poder aumentar el uso de energías renovables en la matriz energética nacional.

Es importante resaltar el impacto económico positivo resultante de optar a contratos de oferta firme. Por orden de mérito la línea base sería mayormente renovable, con precios competitivos que se reflejan en los usuarios finales; además de incentivar la inversión, disminuyendo la huella de carbono y las emisiones de CO₂.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Realizar un estudio de la utilización de los sistemas de almacenamiento de energía en baterías BESS y sus posibles modelos de negocio en el sistema nacional interconectado guatemalteco.

5.2. Específicos

- Determinar el tipo de tecnología de BESS más adecuado para aplicar a los sistemas de energías renovables en el Sistema Nacional Eléctrico Guatemalteco.
- Identificar los criterios que las generadoras de energías renovables no renovables (ERNR) deben cumplir para optar contratos de oferta firme.
- Investigar los incentivos existentes a nivel internacional y evaluar su aplicación en Guatemala.

6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE LA SOLUCIÓN

Con el fin primordial de aumentar la matriz de generación eléctrica guatemalteca a mayormente renovable, se deben evaluar los modelos de negocio aplicables al sistema eléctrico guatemalteco. A nivel internacional, la implementación de BESS presenta una amplia experiencia para poder evaluar los modelos de negocio adecuados al país.

Se espera analizar la oportunidad de participación en mercados de Servicios Complementarios, entre ellos la prestación de reserva primaria y secundaria de frecuencia, para que los generadores renovables puedan participar den contratos de potencia al utilizar los BESS para obtener oferta firme en los sectores:

- Sector público
 - Ministerio de Energía y Minas
 - Comisión Nacional de Energía Eléctrica
 - Administrador del Mercado Mayorista
 - Agentes

- Sector privado
 - Inversionistas del sector energía
 - Agentes

7. MARCO TEÓRICO

Con el objetivo de comprender el presente trabajo de graduación se aborda a continuación los fundamentos de los sistemas de almacenamiento de energía eléctrica en bancos de baterías, sus diferentes tecnologías con el enfoque de la aplicación hacia el mercado eléctrico guatemalteco, el perfil energético, los marcos regulatorios internacionales y regionales, el marco operativo y los posibles modelos de negocios aplicables al sistema eléctrico nacional.

7.1. **Sistemas de almacenamiento de energía eléctrica en Bancos de Baterías (BESS)**

Los sistemas de almacenamiento de energía eléctrica en bancos de baterías son utilizados desde hace varios años en diferentes aplicaciones, en donde se necesita un respaldo y una disponibilidad ininterrumpida. Existen diversos tipos de sistemas de almacenamiento de energía, separados según la capacidad de almacenamiento de la energía acumulada por medios químicos.

Por una parte, existe el almacenamiento por medio de plomo ácido, el cual hasta la fecha ha sido el más utilizado. Lamentablemente, también tiene grandes desventajas como por el ejemplo el vandalismo. La tecnología de litio ofrece mejores oportunidades para los sistemas de almacenamiento con necesidades de alta densidad de energía y potencia.

Por otro lado, se encuentra la tecnología de níquel cadmio, la cual como desventaja tiene su uso a altas temperaturas y su toxicidad al medio ambiente, al igual que las tecnologías de almacenamiento de plomo. Las baterías de flujo

redox, las cuales tienen baja descarga y respuesta rápida, son utilizados en almacenamientos de larga duración.

7.1.1. Tecnologías aptas para regulación primaria

De acuerdo con el AMM (2001) en su artículo 8 “define Regulación Primaria a la respuesta de los generadores como resultado de la acción de sus reguladores de velocidad ante cambios en la frecuencia del sistema”. (Acuerdo Gubernativo Número 299-98, p. 7).

Los sistemas de almacenamiento especialmente baterías de Litio, Cadmio Níquel y Plomo son las más adecuadas técnicamente para ser utilizadas en gestión de la energía, especialmente para reemplazo en punta.

Para el control de frecuencia se recomienda la batería de Litio, por lo que el almacenamiento más adecuado es el Litio según el Instituto para Sistemas de Energía de la Universidad de Edimburgo y Comisión Nacional de Energía de Chile. (Comisión Nacional de Energía de Chile, 2017, p. 10)

7.1.2. Tecnologías aptas para regulación secundaria

Al respecto de la regulación secundaria el AMM (2001) indica en su artículo 8 “El AMM decidirá las unidades que estarán en condiciones de ser habilitadas por él, para brindar el servicio de regulación secundaria de frecuencia” además “La reserva correspondiente formará parte de la reserva rodante operativa y será remunerada con ésta.” (p. 1)

Los sistemas de almacenamiento especialmente baterías de Litio, Cadmio Níquel y Plomo son las más adecuadas técnicamente para poder ser utilizadas en gestión de la energía, especialmente para reemplazo en punta.

Para el control de frecuencia se recomienda la batería de Litio, por lo que el almacenamiento más adecuado es el Litio según el Instituto para Sistemas de Energía de la Universidad de Edimburgo y Comisión Nacional de Energía de Chile. (Comisión Nacional de Energía de Chile, 2017, p. 10)

7.2. Sistemas de generación de energía renovable no convencional (ERNC)

Los sistemas de generación de energía renovable no convencional llamadas ERNC son aquellos que utilizan una fuente renovable como fuente primaria, puede ser el sol, el viento, la biomasa; que no dependen de fuentes fósiles. El impacto ambiental de las ERNC es bajo o casi nulo, puesto que no generan gases de efecto invernadero y sus fuentes son inagotables.

Gracias a que las tecnologías son más eficientes y los precios son más bajos, la matriz energética de fotovoltaica y eólica ha aumentado. Esto ha contribuido al aumento en la iniciativa privada a la construcción de las plantas generadoras de este renovable. Por orden de mérito es la energía eléctrica generada por las ERNC las primeras en ser despachados por el ente operador del sistema nacional interconectado el AMM, debido a sus costos de operación bajos, los costos trasladados al usuario final también son los menores.

7.2.1. Perfil de generación de las Centrales Renovables en Guatemala

Según Universidad Rafael Landívar (2019) en su perfil energético de Guatemala (Pegua):

Pone a disposición del sector académico, público, privado y gestores del desarrollo en general, un referente de alto rigor científico para la generación, perfeccionamiento o evaluación de políticas e instrumentos que promuevan el abastecimiento universal y equitativo de energía limpia de manera eficiente y sostenible. (p. 15)

El perfil energético de Guatemala, Universidad Rafael Landívar (2019) indica que:

Según su análisis la fuente primaria de energía es la leña, representada por más del 50 % de la demanda mostrando un desarrollo industrial bajo. Esta demanda es básicamente residencial, debido a que la generación producida por las fuentes renovables es suficiente solamente para cubrir la demanda del sector eléctrico no así el sector residencial. (p. 16)

A diferencia de países como Chile en donde se ve muy comprometida la generación de energías renovables, Guatemala aprovecha menos de un 20 % de las mismas teniendo una buena capacidad y potencial para las mismas.

Además, tenemos el concepto de energía primaria directamente de las fuentes naturales tal es el caso de la generación de energía por medio del sol, energía eólica la cual se cuantifica de la sumatoria de los recursos energéticos que se tienen disponibles en el país.

Según el Reglamento de la Ley General de la Electricidad los generadores distribuidos renovables (GDR) tienen capacidad máxima de 5 MW así mismo según el Informe de Perfil Energético de la Universidad Rafael Landívar (2019) indica que existen 88 MW de potencia de placa instalada en combinación de centrales de hidroeléctrica, solares y biogás. (Congreso de la República 93-96 Artículo 1 Acuerdo Gubernativo 68-2007).

7.3. Integración de sistemas de almacenamiento de energía eléctrica BESS en la matriz energética internacional

Los sistemas de almacenamiento a nivel internacional tienen un camino recorrido, en varios países se ha logrado su integración a los sistemas eléctricos nacionales. Esto se ha logrado al tener las herramientas, las regulaciones para prestar los servicios, así como poder recibir una remuneración, la regulación y crear el marco regulador específico para poder prestar los servicios de entrega de energía y potencia. Utilizando las redes de transmisión, se han creado programas de retiro de carga o inyección de carga según sea necesario.

El ente operador de cada país es responsable de mantener la estabilidad, disponibilidad de la energía y potencia integrando a los sistemas eléctricos las energías renovables no convencionales. De igual manera, los sistemas de almacenamiento deben también ser incluidos como un agente nuevo. (Comisión Nacional de Energía de Chile, 2017, p. 5)

Según la Comisión Nacional de Energía de Chile (2017) “la integración de los sistemas de almacenamiento de energía eléctrica a nivel internacional ha llevado un proceso debido a la búsqueda de mejorar el uso de las energías renovables, además que se han facilitado las políticas energéticas nacionales”. (p. 7)

7.3.1. Experiencias internacionales con BESS

Según Montezuma Santacruz (2014):

Chile ha creado iniciativas de ley a favor de reducir las emisiones de CO₂, aumentar la matriz energética renovable y además un gran potencial eólico, solar y geotérmico. Esta legislación ha permitido aprobación e instalación de proyectos de energía eólica y fotovoltaica. Cabe mencionar que, las condiciones atmosféricas de Chile requieren de muchas mediciones de índices solares y de vientos, lo que hace eso el primer paso a realizar a los mismos proyectos. (p. 7)

A pesar de los distintos retos existentes por la variabilidad de fuentes de energía, hay diversos parques eólicos y fotovoltaicos, por lo que los sistemas de almacenamiento son la opción que ha logrado dar una estabilidad a las energías renovables permitiendo su utilización a gran escala. Así mismo, se indica que las BESS en Suiza, China, Japón y los Estados Unidos son utilizadas mayormente para el bombeo hidráulico. En Japón particularmente, se tienen instalados sistemas de almacenamiento con tecnología de sulfuro de sodio.

Por otra parte, en España ha servido para mejorar la seguridad y estabilidad del sistema siendo la mejor opción evaluada después de analizar otros escenarios tales como conexiones entre países y sistemas de almacenamiento térmicos, por ejemplo. Esto deriva en el sistema de almacenamiento térmico Gemasolar, que es un concentrador de solar de potencia CSP el cual almacena energía utilizando para este fin sales fundidas.

Según Montezuma Santacruz (2014) indica:

Puerto Rico instaló en 1999 el primer BESS diseñado para reserva en giro, luego fue utilizado para regulación de frecuencia y voltaje reduciendo su tiempo de vida útil. Estados Unidos ha instalado varios tipos de tecnologías BESS para almacenar uno de ellos energía magnética, variedades de UPS de la banca, servidores, y diversos consumidores de la red. Se plantea el uso de las BESS como una excelente alternativa en la reserva primaria y secundaria utilizando la tecnología de baterías de litio, puesto que entregan energía almacenada durante un período de tiempo de 15 a 20 minutos. (p. 7)

7.3.2. Experiencias regionales con BESS

J.C. Morataya (2019) experto consultor regional en mercados eléctricos afirma que a la fecha no existen experiencias regionales con BESS. Actualmente, se encuentran en evaluación para Nicaragua y Honduras, para los parques eólicos existentes. En estos casos, estos países reportan que no cuenta con reserva rodante rápida en sus plantas de generación existentes. Esto los lleva a hacer un análisis de la aplicación de las BESS en sus sistemas interconectados.

J.I. Avila (2019) experto consultor en calidad de energía afirma que en Centro América no existe ningún proyecto en generación. A pesar de esto, asevera que la regulación aun no contempla como serían remunerados y regulados aun cuando el potencial de la ejecución de este tipo de proyectos es importante pues existen esfuerzos para proyectos mini redes con capacidades de almacenamiento bajas. En estos casos para suplir las deficiencias en calidad de energía que existen en los sistemas específicamente para el tema de micro cortes.

Estos mismos deben ser tomados en cuenta para los Grandes Usuarios, en donde los procesos de producción se ven afectados por transitorios y micro cortes. Esto derivado que el marco regulatorio guatemalteco únicamente contempla indicadores y penalizaciones a interrupciones mayores a 3 minutos.

De las entrevistas a los expertos podemos inferir que el criterio homologado en la región es que la integración de las BESS comienza a hacer presencia, aunque no a niveles de generación de grandes almacenamientos sino a pequeñas escalas.

7.4. Marco regulatorio de las BESS

El marco regulatorio de las BESS siendo sistemas que se deben integrar a los marcos regulatorios comienza al definir los sistemas de almacenamiento con una dualidad. Esto le permite almacenar energía del red eléctrica o generadores renovables para poder luego inyectarla de nuevo a la red para su utilización.

Después de la definición de los sistemas de almacenamiento debemos tomar en cuenta que el operador debe definir según el caso de Guatemala, en la Ley General de Electricidad, cómo deben ser los procedimientos para efectuar operaciones dentro del Sistema Nacional Interconectado ya sea de inyección de energía a la red, así como de almacenamiento. Estas deben ser las coordinaciones por realizar según tipo de tecnología, tiempo de reacción, criterios técnicos y aplicaciones.

También es importante tener las Normas Técnicas correspondientes a los equipos y sistemas de distintas tecnologías, sistemas de protecciones, ingreso a

la red, tiempos de respuesta al inyectar energía a la red, integración del sistema y reacción de estos antes cambios de frecuencia.

7.4.1. Legislación internacional y su aplicación

La legislación internacional se ha ajustado a las necesidades de cada país con los temas de almacenamiento; a continuación, se hace un desglose por país y sus aplicaciones según la Ecole Polytechnique Federale de Lusanne (2016):

- En Japón se han enfocado innovación tecnológica y han dado un subsidio a la instalación de baterías, cuentan con 29 GW de almacenamiento.
- Los Estados Unidos cuenta con 32 GW de almacenamiento, se han enfocado en la gestión temporal y arbitraje; potencia de punta y control de frecuencia.
- China cuenta con 32 GW de almacenamiento con meta a 2020 de 50 GW de almacenamiento, se aplican en gestión temporal y arbitraje, potencia de punta y control de frecuencia.
- El Reino Unido cuenta con 3.6 GW de almacenamiento, con enfoque en respuesta de frecuencia ultra rápida.
- Italia cuenta con 7.7 GW de almacenamiento, con aumento de la demanda en punto.
- Alemania cuenta con 12.6 GW de almacenamiento, de los cuales 1,371 MW son baterías con incentivos en desarrollo y una proyección debido a la Energiewende de tener una matriz energética 80 % renovable.

- España cuenta con 9.1 GW de almacenamiento y con sistemas aislados con 100 % de generación con centrales renovables, su aplicación en suministro de punta.
- Suiza cuenta con 6.4 GW de almacenamiento con aplicación en transacciones internacionales.
- Noruega cuenta con 2.4 GW de almacenamiento aplicado a un almacenamiento estacional. (p. 3)

7.4.2. Normativo regional de las BESS

Actualmente, no se cuenta con ninguna normativa a nivel guatemalteco, ni a nivel regional, debido a que la integración de las BESS aún se encuentra incipiente. En Guatemala se tienen un límite de integración para las centrales renovables en el Sistema Nacional Interconectado para que el mismo sea estable y eficiente. Además de mantener la disponibilidad que establece la Ley General de Electricidad, se hizo un estudio de parte de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica en donde se muestra hasta donde pueden ser integradas. Debido a su intermitencia, no permiten tener inestabilidad del sistema, se recomienda ese rango para evitar disturbios en la red.

Es importante observar que las políticas energéticas deben ir de la mano del análisis de las tendencias tecnológicas mundiales para lograr mejorar el desarrollo industrial de Guatemala y la región.

Según el Perfil Energético de Guatemala, “se debe reducir la dependencia de hidrocarburos lo que inclina a una mejora en las centrales renovables, la cual entregaría energía a bajo costo e incluyendo las BESS se evitaría la intermitencia,

permitiendo la disponibilidad necesaria al usuario final”. (Universidad Rafael Landivar, 2019, p. 187)

7.5. Marco operativo de las BESS

El marco operativo de las BESS, siendo en el caso de Guatemala el Administrador del Mercado Mayorista el ente operador del Sistema Nacional Interconectado, se han dado a conocer las particularidades de cada sistema de almacenamiento y los distintos modelos a utilizar y crear un reglamento en donde se indiquen los criterios de planificación a utilizar. De igual manera, se expone la coordinación de la operación, a nivel de la transmisión y distribución, de la misma manera que se realizó con los GDR´s.

Las BESS deben encontrarse reguladas por la operación del ente operador para habilitar las transacciones entre los agentes, realizar las transferencias y conocer el despacho para trabajar con programas eficientes, que permitan la estabilidad del sistema nacional interconectado.

7.5.1. Modelos de negocios para las BESS y su participación en servicios complementarios

Los modelos de negocios para las BESS pueden encontrarse por medio de múltiples aplicaciones que actualmente se están utilizando a nivel internacional. Estas ya se encuentran en diferentes fases según interés de cada país.

En Guatemala, para alcanzar la reducción de costos de las líneas base y lograr que la matriz energética guatemalteca sea mayormente renovable, es importante la implementación de las BESS. Con esto, se puede optar a contratos

de oferta firme, que permitan una óptima utilización de las centrales generadoras renovables, no solamente para contratos de energía sino también para contratos de potencia.

Según las experiencias internacionales, los servicios complementarios se han visto beneficiados para ofrecer mejores ingresos en los mercados que se encuentran liberados.

Se ha demostrado que, es posible lograr la gestión estacional de la energía en el área de generación para la transmisión y distribución en los servicios complementarios. Esto por medio de la regulación de frecuencia, regulación de voltaje y la recuperación de los servicios según Office of electricity delivery & Energy Reliability.

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

HIPÓTESIS

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Sistemas de Almacenamiento de Energía Eléctrica en Bancos De Baterías (BESS)

1.1.1. Tecnologías aptas para regulación primaria

1.1.2. Tecnologías aptas para regulación secundaria

1.2. Sistemas de generación de energía renovable no convencional (ERNC)

1.2.1. Perfil de generación de las Centrales Renovables en Guatemala

1.3. Integración de sistemas de almacenamiento de energía eléctrica BESS en la matriz energética internacional

1.3.1. Experiencias internacionales con BESS

1.3.2. Experiencias regionales con BESS

1.4. Marco Regulatorio de las BESS

1.4.1. Legislación internacional y su aplicación

1.5. Marco Operativo de las BESS

1.5.1. Opciones de negocio para las BESS y su participación
en Servicios Complementarios

2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

ANEXOS

9. METODOLOGÍA

9.1. Características del estudio

El tema por investigar se está implementando a nivel internacional y se evaluará su utilización en el sistema eléctrico guatemalteco, pues es una investigación no experimental con un enfoque mixto. Las variables son observables y no manipulables, por lo que se determina que, es una investigación transeccional dado que, se realiza en un periodo determinado de tiempo y a la vez correlacional. Se utilizará la técnica investigación documental, entrevista libre y análisis bivariado. Es una investigación mixta, pues se utilizarán métodos cualitativos y cuantitativos para poder analizar los diferentes tipos de tecnologías de almacenamiento y su comportamiento aplicable al sistema eléctrico guatemalteco.

Se realizará un protocolo de requerimientos a cumplir de las distintas tecnologías a integrar al sistema nacional interconectado. Además, se utilizará un plan de muestreo por medio de tablas de Excel para realizar la comparación de los datos de desempeño técnicos y comparativos.

9.2. Unidad de análisis

La población en estudio será el Parque de Energías Renovables en Guatemala, el cual está formado las generadoras de energías renovables no convencionales que actúan como agentes en el sistema eléctrico nacional.

9.3. Variables

Se utilizarán variables observables las cuales se describen a continuación.

- Tipos de sistemas de almacenamiento: corresponde a los tipos de tecnologías utilizados en los sistemas de almacenamiento. La variable es de tipo nominal policotómica.
- Tipos de generación de energías renovables: corresponde a los tipos de generación y sus perfiles en el sistema eléctrico guatemalteco. La variable es de tipo nominal policotómica.
- Países con participación en legislación: corresponde a los países que ya cuentan con legislación de las BESS. La variable es de tipo nominal policotómica.
- Participación en mercados de Servicios Complementarios: corresponde a la participación de las BESS en mercados eléctricos en un modelo de negocio específico. La variable es de tipo nominal policotómica.

9.4. Tabla de variables

Se dan a conocer las definiciones de las variables que serán objeto de análisis en el estudio.

Tabla I. **Tabla de variables**

Variable / Criterio	Categoría		Observable	Nivel de medición	Indicador	Dimensiones	Operacionalización
	Dicotómica	Policotómica					
Tipos de sistemas de almacenamiento		x	x	Nominal	Tipo de respuesta	Desempeño de la tecnología	Protocolo de desempeño
Tipos de Generación		x	x	Nominal	Tipo de	Origen de la	Protocolo de
Países con participación en legislación		x	x	Nominal	Tipo de material	Tipos de legislación	Comparativo de legislación
Participación en Mercados de Servicios complementarios	x		x	Nominal	Requerimiento o AMM	Calidad de Energía	Comparativo de desempeño y aplicación

Fuente: elaboración propia.

9.5. Fases del estudio

El diseño de investigación está comprendido por tres fases, en cada una de ellas se describen detalladamente los pasos a seguir de una forma ordenada y clara, para cumplir con los objetivos planteados.

9.5.1. Fase 1: revisión documental

Se realizará la revisión de la documentación que se ha archivado para realizar una comparación de los distintos tipos de materiales y su funcionamiento en las aplicaciones requeridas por el sistema nacional interconectado. Así mismo, se revisará la documentación encontrada sobre las experiencias internacionales, en donde ya se encuentra la regulación implantada y se ha logrado la integración de las nuevas tecnologías.

9.5.2. Fase 2: plan de muestreo

Se realizará una evaluación entre las diferentes tecnologías y sus aplicaciones en el sistema nacional interconectado. De igual manera, se hará una comparación de las experiencias internacionales, en donde ya se encuentra la regulación implantada y se ha alcanzado la integración de las nuevas tecnologías

9.5.3. Fase 3: diseño de instrumentos de recolección de información

En esta fase, se realizará un protocolo de requerimientos a cumplir de las distintas tecnologías por integrar al sistema nacional interconectado. Este incluye tanto aspectos técnicos, como regulatorios a tomar en cuenta para identificar los modelos de negocio aplicables al sistema nacional interconectado.

9.5.4. Fase 4: organización de la información y análisis de resultados

En esta fase se llevará a cabo el registro y compilación de los distintos resultados obtenidos del análisis de los protocolos, los resultados de las evaluaciones y aplicaciones según su desempeño técnico y operativo en el sistema nacional interconectado.

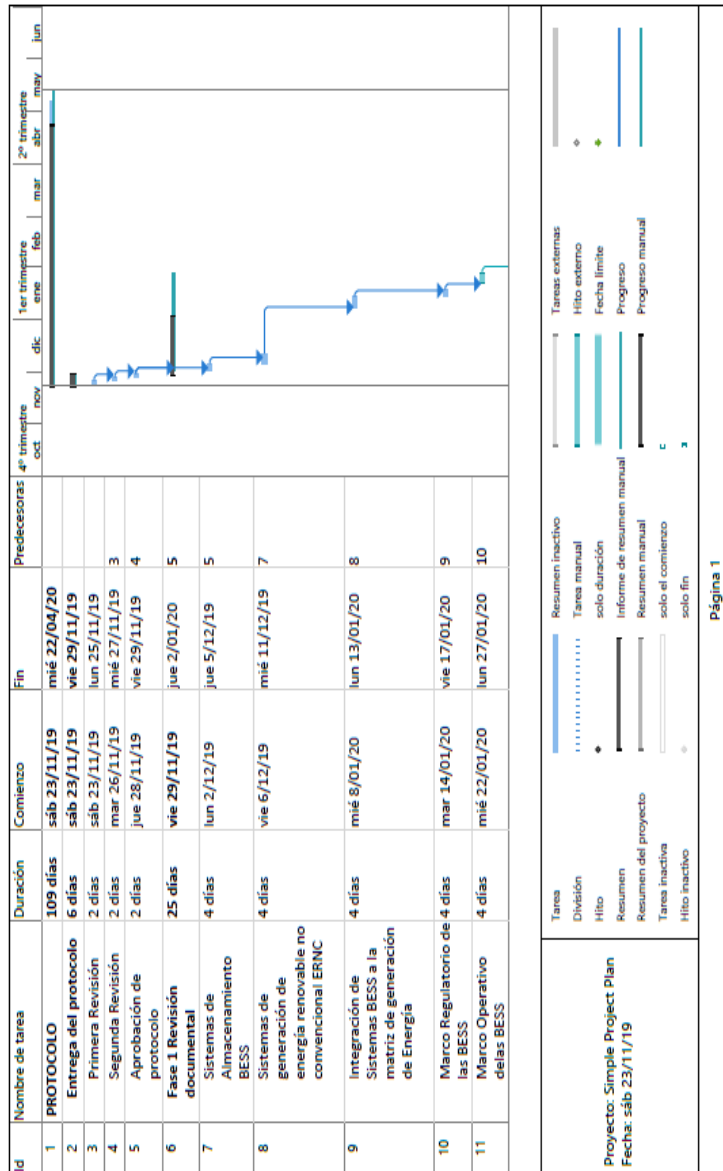
9.6. Resultados esperados

Los resultados esperados en esta investigación mostrarán los modelos de negocio aplicables al sistema nacional interconectado guatemalteco; así como el tipo de tecnologías aplicables a los diferentes modelos de negocio encontrados.

Los resultados de la evaluación de las distintas tecnologías y su utilización en el sistema eléctrico guatemalteco servirán para identificar los posibles modelos de negocio. La técnica por utilizar para la obtención de información y evaluación de tecnologías es el análisis documental. Los protocolos diseñados brindarán la información a utilizar para ser interpretada. La base de datos recopilada expondrá los resultados de los datos de desempeño requeridos al ser bivariado.

10. CRONOGRAMA

Figura 1. Cronograma de actividades



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Project.

11. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

El presente trabajo de investigación es factible puesto que, el financiamiento será propio y los recursos de equipo también son personales.

Se tomarán en cuenta los siguientes recursos:

- **Recurso humano:** la estudiante de la Maestría en Gestión de Mercados Eléctricos Regulados, quien realizará la investigación con el apoyo del Ingeniero Asesor.
- **Recursos de Información:** la información a utilizar es pública y accesible a cualquier persona.
- **Equipo y suministros:** se cuenta con equipo de computación, impresora, papel y tinta requeridos, así como transporte y teléfono para las llamadas telefónicas.

Se presenta la tabla que muestra los recursos humanos, equipos y suministros a utilizar para la ejecución de la investigación, tales como el tiempo utilizado.

Tabla II. **Factibilidad del diseño de investigación**

Descripción	Recurso	Costo	Cantidad	Total	Fuente financiamiento
Honorarios del estudiante	Humano	Q 300.00	1	Q 300.00	Propia
Honorarios del asesor	Humano	Q 600.00	1	Q 600.00	Propia
Equipo de computación	Equipo	Q 1,000.00	1	Q 1,000.00	Propia
Internet	Suministro	Q 25.00	10 horas	Q 250.00	Propia
Impresora	Equipo	Q 1,000.00	1	Q 1,000.00	Propia
Resma de papel	Suministro	Q 445.00	1	Q 445.00	Propia
Energía Eléctrica	Suministro	Q 300.00	7	Q 2,100.00	Propia
Teléfono	Equipo	Q 300.00	7	Q 2,100.00	Propia
Tinta para impresora	Suministro	Q 500.00	1	Q 500.00	Propia
Sub Total				Q 8,295.00	
Imprevistos 5 %				Q 414.75	
Total				Q 8,709.75	

Fuente: elaboración propia, empleando con Microsoft Excel.

12. REFERENCIAS

1. Administrador del Mercado Mayorista. (2001). *Norma de Coordinación Comercial No 2. Resolución No. 216-02*. Ciudad de Guatemala, Guatemala: Diario Oficial.
2. Administrador del mercado mayorista. (2001). *Norma de coordinación comercial No 8. Resolución No 216-04*. Ciudad de Guatemala, Guatemala: Diario Oficial.
3. Beltran, J. L. (2012). *Estrategia de control de modelo predictivo para el despacho y almacenamiento de energía renovable en sistemas híbridos*. Tecnológico de Monterrey, México. Recuperado de <https://www.ehu.eus/documents/3444171/4484750/31.pdf>
4. Comisión Nacional de Energía Eléctrica. (2013). *Legal del Sub Sector Eléctrico de Guatemala, Compendio de Leyes y Reglamentos*. Guatemala: CNEE. Recuperado de <http://www.cnee.gob.gt/pdf/marco-legal/LEY%20GENERAL%20DE%20ELECTRICIDAD%20Y%20REGLAMENTOS.pdf>
5. Comisión Nacional de Energía de Chile. (2017). *Reglamentos de coordinación y operación*. Chile: Sistemas de almacenamiento. Recuperado de <https://www.cne.cl/wp-content/uploads/2020/01/Reglamento-125-Coordinaci%C3%B3n-y-operaci%C3%B3n-SEN.pdf>

6. Detwiler, P. K. (2019). *The big picture: energy storage to date, applications and its growing role on the grid today*. Westchester, Nueva York: EUCI.
7. Divya, K. C. (April de 2009). Battery energy storage technology for power systems—An overview. Electric Power Systems Research. *Electric Power Systems Research*, vol 79, pp. 511-520.
8. Dötsch, C. K. (Octubre de 2009). Speicherung elektrischer Energie – Technologien zur Netzintegration erneuerbarer Energien. S. E. *Fraunhofer-Institut für Umwelt, Ed.*, vol. 17(4), pp. 351–360.
9. Dunn, B. K.-M. (Noviembre de 2011). Electrical Energy Storage for the Grid: A Battery of Choices. *Science*, vol. 334(6058), pp. 928–935.
10. Ecole Polytechnique Federale de Lausanne. (2016). *Study of the drivers and asset management of pumped-storage power plants historical and geographical perspective*. Suiza: Archive ouverte UNIGE.
11. Gabash, A. (Agosto de 2013). Flexible optimal operation of battery storage systems for energy supply networks. *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 28(3), pp. 2788–2797.
12. Gallo, L. (2008). *Cálculo de la Reserva Rodante en el Despacho programado*. (Tesis de Licenciatura). Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia. Recuperado de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/1742/621312F634.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

13. Gómez, E. (2016). Operaciones en empresas de servicio. Recuperado de <https://www.eoi.es/blogs/emiliogomez/2016/02/18/operaciones-en-empresas-de-servicio/>
14. Institute for Energy Systems. (Noviembre de 2016). A Numerical and Graphical Review of Energy Storage Technologies. *Energies*, vol. (8), pp. 172-216.
15. Joseph, A. (2006). *Battery storage systems in electric power systems*. Canadá: IEEE Power Engineering Society General Meeting. Recuperado de <https://ieeexplore.ieee.org/document/1709235>
16. Kelly/Detwiler, P. (2019). *Fundamentals of battery storage*. Westchester: EUCI. Recuperado de <https://www.euci.com/pdf/1219-battery-storage.pdf?ref=1568126872>
17. Larcher, D. (Noviembre de 2014). Towards greener and more sustainable batteries for electrical energy storage. *Nature Chemistry*, vol, 7(1), pp. 19–29.
18. Lawder, M. T. (2014). Battery Energy Storage System (BESS) and Battery Management System (BMS) for Grid-Scale Applications. *IEEE Proceedings*, vol. 102(6), pp. 1014–10.
19. Montezuma, N. (2014). *Problema de Predespacho de Unidades con Representación de almacenamiento a base de baterías*. (Tesis de Maestría). Universidad de Chile, Chile. Recuperado de http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/115539/cf-montezuma_ns.pdf?sequence=1&isAllowed=y

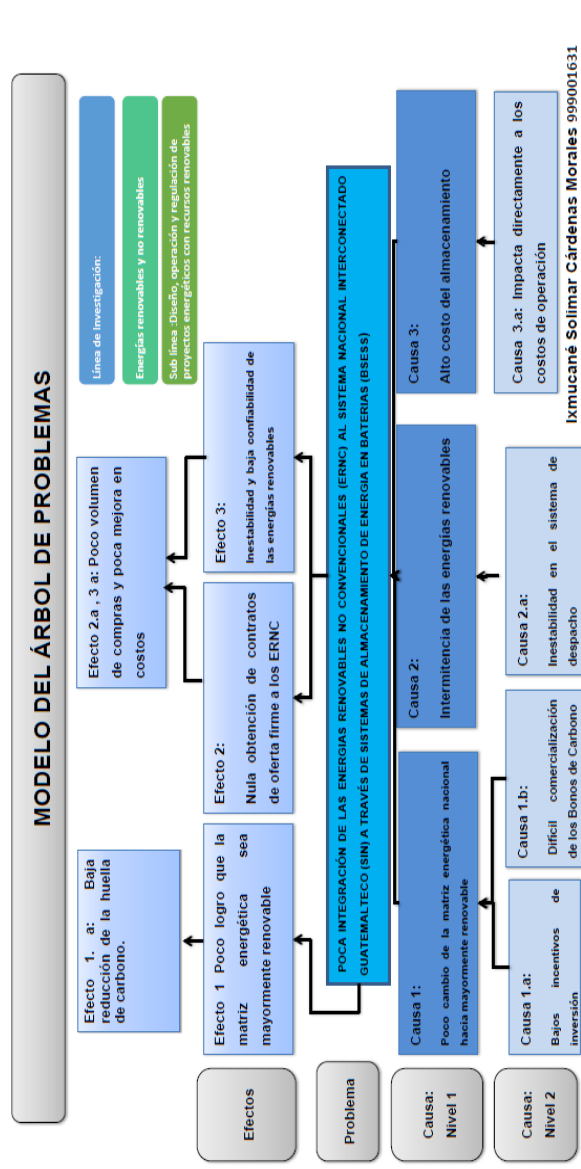
20. Nair, N. (2010). Battery energy storage systems: Assessment for small-scale renewable energy integration. *Energy and Buildings*, vol. 42(11), pp. 2124–2130.
21. Office of electricity delivery & Energy Reliability. (2008). *DOE Global Energy Storage Database*. USA: Energy. Recuperado de <https://www.sandia.gov/ess-ssl/doe-global-energy-storage-database/>
22. Rinland, D. N. (2018). *Generacion solar fotovoltaica con almacenamiento de baterias*. (Tesis de Maestría). Instituto Tecnológico de Buenos Aires, Argentina. Recuperado de <https://ri.itba.edu.ar/bitstream/handle/123456789/1735/TFI%20Rinland%2c%20David-%20Especializacion%20Mercado%20Electrico%20y%20Gas%20Cohorte%202017%20ITBA%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
23. Rout, T. M. (Enero de 2018). *A Comparative study of Stand-alone Photovoltaic System with Battery storage system and Battery Supercapacitor storage system*. *2018 4th International Conference on Electrical Energy Systems (ICEES)*, vol. (978), pp. 77-81.
24. Sarasua, A. (Mayo de 2008). Integración de energía eólica y sistemas de almacenamiento en sistemas de suministro de energía eléctrica. *ASADES*, vol, (12), pp. 27-34.
25. Universidad Rafael Landivar. (2019). *Perfil energético de Guatemala. Bases para el entendimiento del estado actual y tendencias de la energía*. Guatemala: Incyt, VRIP y Universidad Rafael Landivar. Recuperado de <http://www.infoiarna.org.gt/wp-content/uploads/2019/03/Perfil-Energetico-de-Guatemala.pdf>

26. Vivanco, M. (2017). Los manuales de procedimientos como herramientas de control interno de una organización. *Universitaria y Sociedad*, vol. (9), pp. 247-252.

27. Wasmayr, D., Schmid, J. y Kafka, K. (2014). *Integration von Speichern in elektrische Versorgungsnetze*. Austria: Symposium Energieinnovation. Recuperado de https://www.tugraz.at/fileadmin/user_upload/Events/Eninnov2014/files/lf/LF_Wasmayr.pdf

13. APÉNDICES

Apéndice 1. Árbol de problemas del diseño de investigación



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2.

Matriz de coherencia de diseño de investigación

MATRIZ DE COHERENCIA TÍTULO	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	OBJETIVOS
<p>"Evaluación de la utilización de los Sistemas de Almacenamiento de Energía en Baterías (BESS) en el Sistema Eléctrico Guatemalteco y sus posibles modelos de negocio"</p>	<p>La intermitencia de las energías renovables en Guatemala limita el acceso a los modelos de negocio en el Mercado Eléctrico Nacional.</p>	<p>PRINCIPAL ¿Cómo lograr que las generadoras de energías no convencionales obtengan contratos de oferta firme en el mercado eléctrico nacional por medio de sistemas de almacenamiento para evitar la intermitencia de la curva de generación?</p>	<p>GENERAL Realizar un estudio de la utilización de los sistemas de almacenamiento de energía en baterías BESS y sus posibles modelos de negocio en el sistema nacional interconectado guatemalteco.</p>
		<p>AUXILIARES ¿Qué tipo de tecnología de almacenamiento de BESS es el más adecuado para aplicar a los sistemas de energías renovables en el Sistema Nacional Interconectado Guatemalteco?</p>	<p>ESPECÍFICOS Determinar el tipo de tecnología de BESS es el más adecuado para aplicar a los sistemas de energías renovables en el Sistema Nacional Eléctrico Guatemalteco</p>
		<p>¿Qué regulación existe para contratos de oferta firme para las generadoras de energías renovables no renovables (ERNR)?</p>	<p>Identificar qué criterios debe cumplir las generadoras de energías renovables no renovables (ERNR) poder optar contratos de oferta firme.</p>
		<p>¿Qué modelos existen para aumentar la matriz energética del país en mayormente renovable?</p>	<p>Investigar los incentivos existentes a nivel mundial y evaluar su aplicación en Guatemala.</p>

Fuente: elaboración propia, empleando con Microsoft Excel.