



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE OPTIMIZACIÓN DE RESPALDO DE ENERGÍA
GENERADA POR MOTOGENERADOR EN SITIOS TIPO BAD-GRID Y OFF-GRID,
MEDIANTE UN CONTROLADOR DE TRANSFERENCIA DE CARGAS DEL SITIO, PARA LA
REDUCCIÓN DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN UNA EMPRESA DE
TELECOMUNICACIONES**

Marlon Alexander Véliz Arriaza

Asesorado por el Maestro Ing. Jorge Alberto Monnéy Alvarez

Guatemala, abril 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE OPTIMIZACIÓN DE RESPALDO DE ENERGÍA
GENERADA POR MOTOGENERADOR EN SITIOS TIPO BAD-GRID Y OFF-GRID,
MEDIANTE UN CONTROLADOR DE TRANSFERENCIA DE CARGAS DEL SITIO, PARA LA
REDUCCIÓN DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN UNA EMPRESA DE
TELECOMUNICACIONES**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

MARLON ALEXANDER VÉLIZ ARRIAZA

ASESORADO POR MAESTRO ING JORGE ALBERTO MONNÉY ALVAREZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO INDUSTRIAL

GUATEMALA, ABRIL 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

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

TRINUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. César Ernesto Urquizú Rodas
EXAMINADOR	Ing. Erwin Danilo González Trejo
EXAMINADOR	Ing. Juan Carlos Godinez Orozco
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 OPTIMIZACIÓN DE RESPALDO DE ENERGÍA
GENERADA POR MOTOGENERADOR EN SITIOS TIPO BAD-GRID Y OFF-GRID,
MEDIANTE UN CONTROLADOR DE TRANSFERENCIA DE CARGAS DEL SITIO, PARA LA
REDUCCIÓN DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN UNA EMPRESA DE
TELECOMUNICACIONES**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 12 de enero de 2022.

Marlon Alexander Véliz Arriaza



EEPMI-PP-0170-2022

Guatemala, 12 de enero de 2022

Director

**César Ernesto Urquizú Rodas Escuela
Ingeniería Mecánica Industrial Presente.**

Estimado Ing. Urquizú

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.

El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **OPTIMIZACIÓN DE RESPALDO DE ENERGÍA GENERADA POR MOTOGENERADOR EN SITIOS TIPO BAD GRID Y OFF GRID, MEDIANTE UN CONTROLADOR DE TRANSFERENCIA DE CARGAS DEL SITIO, PARA LA REDUCCIÓN DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN UNA EMPRESA DE TELECOMUNICACIONES**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Infraestructura de red - Infraestructura de red**, presentado por el estudiante **Marlon Alexander Véliz Arriaza** carné número **201513616**, 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 Ingeniería Para La Industria Con Especialidad En Telecomunicaciones.

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.

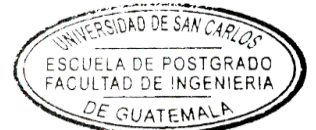
Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

JORGE A. MONNÉ ALVAREZ
ING. INDUSTRIAL
COLEGIADO 10677

Mtro. Jorge Alberto Monné Álvarez
Asesor(a)

Mtro. Mario Renato Escobedo Martínez
Coordinador(a) de Maestría



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





EEP-EIMI-0170-2022

El Director de la Escuela Ingeniería Mecánica Industrial 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: **OPTIMIZACIÓN DE RESPALDO DE ENERGÍA GENERADA POR MOTOGENERADOR EN SITIOS TIPO BAD GRID Y OFF GRID, MEDIANTE UN CONTROLADOR DE TRANSFERENCIA DE CARGAS DEL SITIO, PARA LA REDUCCIÓN DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN UNA EMPRESA DE TELECOMUNICACIONES**, presentado por el estudiante universitario **Marlon Alexander Véliz Arriaza**, 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. César Ernesto Urquizú Rodas
Director
Escuela Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, enero de 2022

LNG.DECANATO.OI.264.2022

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE OPTIMIZACIÓN DE RESPALDO DE ENERGÍA GENERADA POR MOTOGENERADOR EN SITIOS TIPO BAD-GRID Y OFF-GRID, MEDIANTE UN CONTROLADOR DE TRANSFERENCIA DE CARGAS DEL SITIO, PARA LA REDUCCIÓN DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN UNA EMPRESA DE TELECOMUNICACIONES**, presentado por: **Marlon Alexander Véliz Arriaza**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada

Decana

Guatemala, abril de 2022

AACE/gaoc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por darme la vida, llenarme de fortaleza, sabiduría, gracia y por su infinita misericordia cada día.
Mis padres	Herlindo Véliz, Maribel Arriaza, por sus palabras de motivación, amor incondicional y por guiarme con su ejemplo.
Mi novia	Anahi Reyes por acompañarme en las noches de desvelo, apoyarme en todo lo que emprendo y llenarme de felicidad cada día.
Mis hermanos	Por su apoyo incondicional.
Familia Reyes Austin	Por ser de bendición y ejemplo para mi vida.
Mis amigos	Por su acompañarme en esta etapa y por cada momento que compartimos juntos.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por permitirme alcanzar esta nueva etapa profesional.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Casa de estudios que me permitió crecer profesionalmente.
Familia	Por su apoyo en cada etapa de mi vida.
Mi novia	Por estar en la buenas y en las malas apoyándome, animándome, siendo mi inspiración y mi motivación cada día.
Iglesia JEES	Por su apoyo incondicional y ayudarme a crecer en los caminos del Señor.
Amigos	Por acompañarme en los días malos y buenos, por los cafecitos luego de los exámenes por llenar de alegría los días de estudio.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	VII
GLOSARIO.....	IX
RESUMEN.....	XIII
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	5
3.1. Descripción general	5
3.2. Definición del problema	6
3.2.1. Especificaciones del problema.....	6
3.2.2. Delimitación del problema.....	7
3.2.3. Pregunta principal de investigación.....	7
3.2.4. Preguntas complementarias de investigación	7
4. JUSTIFICACIÓN.....	9
5. OBJETIVOS.....	11
5.1 General	11
5.2 Específicos	11
6. NECESIDADES A CUBRIR.....	13
6.1. Esquema de solución	13

6.2.	Ubicación del área y lugar de estudio.....	16
6.3.	Localización del área o lugar de estudio.....	17
7.	MARCO TEÓRICO.....	19
7.1.	Sistema de telecomunicaciones	19
7.1.1.	Elementos sistema telecomunicaciones.....	20
7.1.1.1.	Tipos de señales	21
7.1.1.2.	Modulación.....	22
7.1.1.3.	Modos de transmisión	23
7.1.1.4.	Topologías de red	23
7.1.1.5.	Transmisión por fibra óptica	25
7.2.	Generadores de energía.....	26
7.2.1.	Tipos de generadores	28
7.2.1.1.	Motogenerador o planta eléctrica	28
7.2.1.2.	Clasificación	30
7.2.1.3.	Banco de baterías	32
7.2.1.4.	Baterías de lones de litio	33
7.2.1.5.	Conexiones de baterías.....	34
7.2.1.6.	Capacidad de las baterías.....	36
7.2.2.	Rectificadores	37
7.3.	Mantenimientos	38
7.3.1.	Tipos de mantenimiento.....	38
7.3.1.1.	Mantenimiento preventivo	38
7.3.1.2.	Mantenimiento correctivo	39
7.4.	Automatización	40
7.4.1.	Pirámide de la automatización CIM.....	41
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE Y CONTENIDOS	45

9.	MARCO METODOLÓGICO	47
9.1.	Diseño de investigación.....	47
9.2.	Paradigma de la investigación	47
9.3.	Enfoque de la investigación.....	48
9.4.	Matriz de consistencia	49
9.5.	Fases	50
9.6.	Resultados esperados	50
9.7.	Población y muestra	51
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	53
11.	CRONOGRAMA.....	55
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	57
13.	REFERENCIAS.....	59

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Esquema de solución	15
2.	Ubicación del área en estudio	16
3.	Localización del área en estudio	17
4.	Sistema de telecomunicaciones	20
5.	Señales analógicas y digitales	22
6.	Topologías de red	25
7.	Transmisión por fibra óptica	26
8.	Generadores de energía	27
9.	Motogenerador	30
10.	Interruptor manual.....	31
11.	Tablero control y transferencia.....	32
12.	Conexión en serie	34
13.	Conexión en paralelo	35
14.	Conexión mixta	36
15.	Pirámide de automatización CIM.....	43

TABLAS

I.	Matriz de consistencia	49
II.	Cronograma de actividades	55
III.	Factibilidad.....	57

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Amperio
K	Kilo
V	Voltio
VA	Voltio amperio

GLOSARIO

Ánodo	Electrodo negativo, en una reacción química electrolítica se oxida.
<i>Bad-Grid</i>	Nodos de telecomunicaciones con red eléctrica deficiente
Batería	Elemento electromagnético capaz de acumular energía y suministrarla.
Caballos de fuerza	Los caballos de fuerza son la medida que calcula el trabajo mecánico realizado por un motor de combustión interna
Cátodo	Electrodo positivo que reduce su oxidación cuando recibe electrones
Corriente Alterna	AC por sus siglas en inglés de (Alternating current) es la corriente eléctrica en la que la magnitud y el sentido varían cíclicamente.
Corriente Directa	(DC en inglés de direct current y CD en español) a la corriente producida por generadores que mantienen en sus terminales el mismo tipo de electricidad (+), (-) por lo que al conectarlos en un circuito la corriente fluye en un mismo sentido.

CAT	Gastos anuales totales es una medida estandarizada del costo de financiamiento, que se expresa en términos porcentuales.
FM	conocida como frecuencia modulada, es una técnica de modulación angular. que permite transmitir información a través de una onda portadora variando su frecuencia. En aplicaciones analógicas, la frecuencia instantánea de la señal modulada es proporcional al valor instantáneo de la señal moduladora.
Motogenerador	Dispositivo utilizado para la conversión de energía eléctrica, típicamente en la forma de frecuencia o voltaje, en otra forma de energía.
NOC	(Network Operations Center) es un centro de operaciones de redes, especializado en el control de las redes de comunicación, ya sean de Internet, televisión o satélites, y en general cualquier otro tipo de red local o nacional.
Off-Grid	Nodos de telecomunicaciones sin suministro de red eléctrica.
OPEX	Operational expenditures, Gasto Operacional, señalando el capital utilizado para mantener o mejorar los activos físicos de una empresa. Por ejemplo: préstamos, propiedades, etc.

Rectificador	Convierte la corriente eléctrica alterna en corriente directa
Voltaje de descarga	Voltaje limite hasta donde se puede descargar un banco de baterías sin que se sufra un daño en su capacidad
Voltaje de Flotación	Es el voltaje que es necesita para mantener la carga de un banco de baterías a un nivel optimo

RESUMEN

En la actualidad el motogenerador es el sistema de respaldo eléctrico más utilizado en las empresas de telecomunicaciones, por esta razón se propone optimizar sus horas de uso en sitios con deficiencia eléctrica *bad-grid*, esto se realizará por medio de un controlador de transferencia de cargas aprovechando así las características de las baterías de litio.

Cuando exista una falla eléctrica o deficiencia en la red en un sitio, el controlador transferirá la carga a las baterías de litio, posteriormente cuando las baterías se encuentren a un setenta y cinco por ciento de capacidad se trasladará la carga al motogenerador de manera simultánea a la carga de las baterías, repitiendo así el ciclo de carga. Al realizar estas acciones se obtendrá una gestión del controlador por medio de la red de comunicaciones en el sitio.

La propuesta se dividirá en cuatro fases; en la primera fase se realizará una investigación documental de los sistemas de telecomunicaciones y respaldo de energía eléctrica, automatización y mantenimiento preventivo. En la segunda fase, se hará una comparación de diferentes controladores para definir cuál es el que se ajusta más a las necesidades de la propuesta, así como el cálculo de las horas de trabajo del motogenerador y baterías, en la tercera fase se realizara un análisis sobre las baterías que se deben adicionar en cada banco, por último, en la cuarta fase se implementará un sistema de mantenimiento preventivo junto con el análisis de ahorro obtenido.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad se ha incrementado la demanda en los servicios de datos, internet y telefonía, por esta razón las empresas de telecomunicaciones buscan ampliar constantemente la red. Sin embargo, en algunos lugares del interior del país de Guatemala se cuenta con mala calidad de energía comercial lo que produce altos gastos de operación para brindar un servicio de calidad.

A medida que aumenta la cantidad los sitios y servicios brindados en el interior del país, incrementan los equipos de transmisión esto produce que la carga energética en los sitios se eleve, esto genera la necesidad de un sistema de respaldo energético para los sitios con ineficiencia eléctrica, esto permite tener mayor seguridad y contar con alta disponibilidad en el sector mejorando así la percepción de los clientes.

El objetivo de la investigación es optimizar el consumo de combustible generado por Motogeneradores en sitios con mala calidad de energía comercial llamados *bad-grid*. Para ello se utilizará un controlador de transferencia de cargas con el que se aprovecharán las características de batería de litio.

Para proponer un sistema de respaldo energético eficiente se estudiarán las características de los controladores de transferencia de carga, del motogenerador, rectificador y baterías de litio. Esto permitirá aprovechar las características de cada elemento para optimizar el uso del motogenerador.

La investigación se estructurará en capítulos. En el primer capítulo se realizará una investigación documental sobre los elementos del sistema de telecomunicaciones, sistema de respaldo eléctrico, los diferentes tipos de mantenimiento, pirámide de automatización, y eficiencia energética.

El capítulo II se enfocará en definir el controlador de transferencia de cargas a utilizar en la propuesta y el cálculo actual del uso del motogenerador y banco de baterías

Capítulo III, se realizará el análisis de las baterías de litio para saber cuántas se deben adicionar a los sitios de estudio, así como la cantidad de baterías con la que debe de contar en cada sitio para llevar a cabo la propuesta.

Capítulo IV, se detalla cómo realizar el mantenimiento preventivo en el sistema de respaldo eléctrico y se determina el ahorro que se obtendrá con la propuesta.

2. ANTECEDENTES

Actualmente en sitios donde la red de distribución de energía eléctrica es deficiente, se tiene variación en el voltaje de distribución en media tensión la cual disminuye hasta un 35 %, reflejando el mismo efecto en la acometida de baja tensión 120/240 V de los sitios, llegando a voltajes muy cercanos a los 160 V.

Existen diferentes sistemas de respaldo en emergencias eléctricas, sin embargo, el más utilizado por las empresas de telecomunicaciones es el motogenerador el cual brinda la carga necesaria, que los equipos en el nodo necesitan para su correcto funcionamiento. Sin embargo, su uso con lleva a un alto consumo de combustible diésel lo que genera un gasto elevado.

Para satisfacer las necesidades de electrificación de los sistemas conectados a la red, el sector de telecomunicaciones quien presenta un gran crecimiento que conduce a la expansión de las respectivas redes incluso en las zonas más remotas. Busca cubrir sus necesidades energéticas, generalmente sobre la base de generadores diésel. Por otro lado, la sustitución de la generación a base de baterías implica un sobredimensionamiento del sistema para obtener cero rechazos de carga durante todo el año. Terzija, V. (2011), en un intento de reducir las cantidades de Diesel consumido y reducir el tamaño de baterías. Propone un sistema híbrido independiente que emplea también un motor Diesel y un banco de baterías.

Varias investigaciones se han enfocado en reducir el uso del motogenerador proponiendo diferentes soluciones- Barreno, W. (2018) en su investigación realizó un análisis de un sistema alternativo para reducir el uso del

motogenerador para las regiones sin energía comercial, se enfoca en proponer un sistema de respaldo eléctrico capaz de poder funcionar las 24 horas del día y pueda utilizarse en lugares donde no hay aun tendido eléctrico, con la ayuda de baterías de descarga profunda DOD (*Deep of discharge*).

El uso de banco de baterías como respaldo de emergencia en sitios es muy común por lo que Moran C. (2008), en su investigación indica que es importante predecir el desgaste de las baterías, y crear rutinas de mantenimiento que permitan verificar la degradación de las baterías, para evitar que el sitio se quede fuera de servicio.

Para tener un mejor control sobre el motogenerador, Lledó G.L (2006) plantea la automatización de una planta industrial, el aporte metodológico de esta investigación a la propuesta es la automatización del motogenerador y banco de baterías para realizar una operación eficiente en el momento que no se cuente con energía eléctrica.

Parraga, A.G. (2009) en su investigación nos brinda un aporte metodológico enriquecedor para la propuesta planteada verificando las diferentes tecnologías de celdas de combustible en las estaciones base. En la cual se busca reducir mantenimiento y los costos de planificación e implementación ya que es elevado por el crecimiento de la red y el tiempo de respuesta del personal que atiende los mantenimientos correctivos por fallas en la red comercial en las zonas rurales, debido a las grandes distancias y la ubicación de los nodos.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Deficiencia en el suministro de energía comercial en los sitios *Bad-Grid* de una empresa de telecomunicaciones

3.1. Descripción general

Las empresas de telecomunicaciones día con día buscan innovar los sistemas de respaldo energético debido al ineficiente servicio en red comercial en las áreas rurales, lo que afecta la disponibilidad de la red, por ello la mayoría de los sitios cuenta con banco de baterías y motogeneradores, dado que estos acumuladores eléctricos y generadores presentan la solución más confiable. Sin embargo, el aumento del precio del combustible provoca que las empresas de telecomunicaciones incrementen su gasto en OPEX anual.

La atención de fallas ha tenido un incremento considerable principalmente por fallas en transferencia y motogenerador debido al continuo uso de estos, lo que provoca que en algunas zonas del país no se cuente con alta disponibilidad de la red, lo que disminuye la percepción de los clientes en cuanto al servicio brindado.

La gestión de mantenimiento en los sitios no cuenta con un procedimiento adecuado para la revisión del sistema de tierras, motogenerador, banco de baterías, rectificador, aire acondicionado, equipos de transmisión, etc., provocando fallas y averías en los sistemas de respaldo de emergencia incurriendo a un gasto mayor ya que se debe movilizar personal y en muchas

ocasiones mientras se atiende el caso los servicios brindados están fuera de servicio.

3.2. Definición del problema

Energía ineficiente en los nodos de telecomunicaciones

3.2.1. Especificaciones del problema

Al tener una disminución en el voltaje de distribución en media tensión en horas de alta demanda, se tiene una tensión en la acometida de 160 V L-L, lo que provoca que el rectificador accione las baterías por un lapso de 2 a 5 min en lo que la transferencia acciona el MG para mantener la tensión en 120/240 V.

Al no contar con un suministro de energía comercial estable es necesario contar con generadores de energía en los cuales el más utilizado es el Motogenerador generando un alto gasto en la operación por el combustible que se utiliza día con día.

El atender las fallas de energía al personal en campo se le dificulta la distancia entre los nodos, en ocasiones llegan a un sitio cuando el motogenerador ya consumió el combustible, y el sitio se encuentra fuera de servicio. También se han dado casos donde el MG se daña por el uso constante.

El no contar con un procedimiento definido en el mantenimiento preventivo, no garantiza el correcto funcionamiento de los equipos en el nodo. Lo que provoca fallas y afecta tráfico. Si los equipos no están aterrizados y no se verifico la lista de mantenimiento, al momento de una descarga electro atmosférica se pueden dañar. Si no se realiza mantenimiento a los generadores de energía, se

corre el riesgo que al tener una variación en el voltaje el sitio quede fuera de servicio, afectando a los clientes que dependan del sitio afectado.

3.2.2. Delimitación del problema

Se optimizará el sistema de respaldo eléctrico con un controlado de transferencia de cargas aprovechando las características de las baterías de litio ciclando de manera inteligente la carga de estas. Se tomarán en cuenta únicamente los sitios con eficiencia energética, con una planta rectificadora que tenga rangos de aceptación de AC limitados ($\pm 20\%$), que cuenten Motogenerador y banco de baterías de litio en las regiones de oriente de la república de Guatemala.

3.2.3. Pregunta principal de investigación

¿Cómo se optimizará y controlará el sistema de respaldo de energía es decir motogenerador, rectificador, y banco de baterías, con el controlador de transferencias de cargas de forma remota?

3.2.4. Preguntas complementarias de investigación

- ¿Qué controlador de transferencia de cargas se utilizará?
- ¿Cómo se automatizarán las plantas rectificadoras para tener un consumo eficiente de combustible y ciclar baterías de manera inteligente?
- ¿Se logrará reducir en un 60 % el consumo de combustible en la empresa aprovechando las características de las baterías de litio?
- ¿Se reducirán las fallas en motogeneradores y bancos de baterías al mejorar el mantenimiento preventivo en sitios? ¿Cuál es el ahorro?

4. JUSTIFICACIÓN

La presente investigación se realiza con base en la línea de investigación en Redes e Infraestructura, tomando como base la evaluación y mantenimiento del entorno industrial, gestión de proyectos, fundamentos de redes y automatización. Ya que, al contar con un mantenimiento preventivo adecuado en los nodos de telecomunicaciones, se tiene un mayor control de los equipos y se prolonga la vida útil de los mismos. El monitoreo constante de los equipos de respaldo eléctrico hoy en día es indispensable en los nodos de telecomunicaciones para asegurar la disponibilidad de la red.

Se ha observado que la energía eléctrica en el interior del país tiende a ser inestable, se producen cortes de energía prolongados e intermitentes, dependiendo de la ubicación del nodo, el voltaje tiende a bajar en ciertos momentos, factores que afectan directamente a equipos de transmisión crítica, por tal razón, actualmente existe una variedad de soluciones para tratar de mitigar estos inconvenientes, sin embargo, no todos son eficientes.

Tomando en cuenta que las empresas de telecomunicaciones cuentan con más de 5000 nodos en Guatemala para poder brindar un servicio de calidad a cada uno de los usuarios finales. Es necesario contar con un sistema eléctrico de emergencia, siendo la planta eléctrica o motogenerador el más utilizado, se utilizan también baterías de respaldo las cuales cumplen la función de tomar la carga del sitio cuando se produce un corte o una variación en el voltaje unos minutos en lo que se hace transferencia y entra en operación el motogenerador. Esto genera a las compañías un alto consumo de combustible anual.

El propósito de la presente investigación es aprovechar la eficiencia energética que nos brinda el controlador de transferencia, el cual maneja rangos de voltaje de alimentación mayores a los equipos actualmente instalados, nos permitirá controlar el arranque del generador y operación de baterías cuando así lo requiera, de tal forma que no se dependerá únicamente del generador, y se aprovechará la utilidad de las baterías de Litio.

Las empresas de telecomunicaciones tendrán un beneficio económico al reducir el consumo de combustible en los motogeneradores, aprovechando los bancos de baterías de litio, automatizando la distribución de la carga del sitio hacia las baterías y posteriormente hacia el motogenerador, así como el monitoreo constante del sistema.

5. OBJETIVOS

5.1 General

Optimizar y controlar el sistema de respaldo eléctrico en sitios *bad-grid* mediante el controlador de transferencia de cargas de manera remota utilizando el protocolo SNMPC a fin de reducir el consumo de combustible en una empresa de telecomunicaciones.

5.2 Específicos

1. Evaluar las características y componentes de los controladores de transferencia de cargas para automatizar el sistema de respaldo eléctrico en sitios *bad-grid*.
2. Análisis y cálculo del tiempo de respaldo generado por motogeneradores y banco de baterías de litio utilizando el controlador de transferencia de cargas.
3. Determinar el ahorro en OPEX relacionado con combustible utilizado en motogeneradores
4. Establecer un sistema de mantenimiento preventivo para el sistema de respaldo, reduciendo la cantidad de fallas por deficiencia en la energía comercial.

6. NECESIDADES A CUBRIR

Mantenerse comunicados hoy en día es de suma importancia para cada una de las personas, gracias al avance de la tecnología nos podemos comunicar con personas a kilómetros de distancia. Por lo que esta investigación busca cubrir la necesidad que tienen las empresas de telecomunicaciones por brindar una alta disponibilidad en sus servicios, optimizando el uso del motogenerador por medio de un controlador de transferencias de cargas reduciendo el gasto en OPEX generado por el consumo de combustible, así como definir un mantenimiento preventivo para el sistema de respaldo eléctrico.

Año con año el gasto en OPEX aumenta con el incremento en el precio del combustible, así como de los repuestos, por ello es necesario utilizar cada una de las características que nos brindan los bancos de baterías de litio, ya estos permiten ciclos de carga y descarga eficientes, así como monitorear constantemente su funcionamiento por medio de software y poder programar mediante el controlador como distribuir las cargas.

6.1. Esquema de solución

Se divide la solución propuesta en cuatro fases

En la primera fase se llevará a cabo una investigación documental sobre los sistemas de telecomunicaciones y los sistemas de respaldo eléctrico, así como que es la automatización y los mantenimientos.

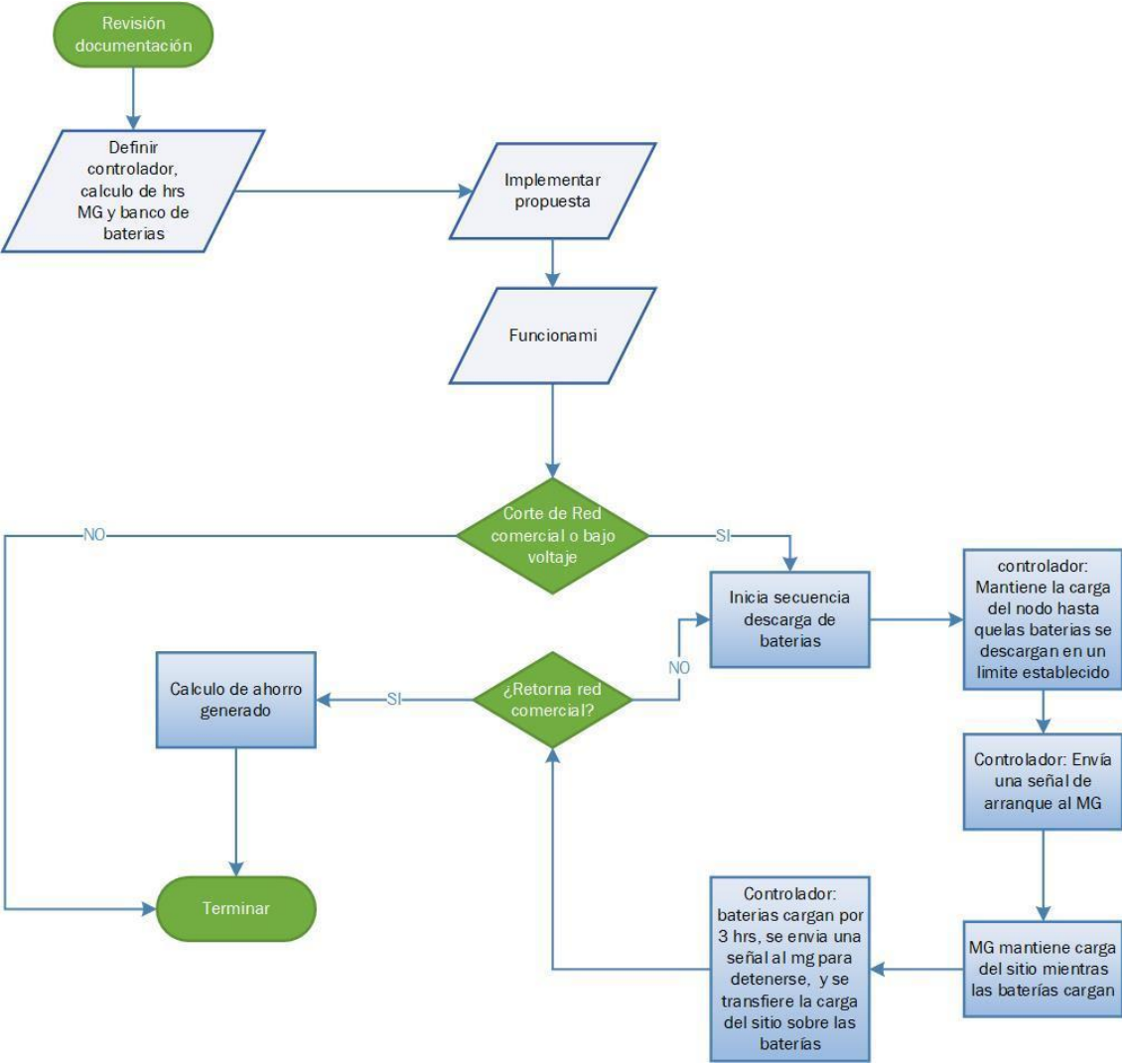
En la segunda fase se realizará un estudio de las características de diferentes controladores de transferencias de cargas, así como el cálculo de las horas en que trabaja el motogenerador y los bancos de baterías en el sistema actual.

Tercera fase se comenzará a implementar la propuesta en los sitios de estudio para analizar en cuando se reducen las horas de los motogeneradores y banco de baterías, así como el cálculo de las baterías necesarias por banco las cuales se tendrán que adquirir para el proyecto.

Cuarta fase se realizará una propuesta para el mantenimiento preventivo del sistema de respaldo eléctrico. También en esta fase se realizará un análisis del ahorro obtenido por la propuesta.

A continuación, se presenta un esquema para la solución planteada, en la que se aprovechará la eficiencia energética que nos brinda controlador de transferencia, el cual maneja rangos de alimentación mayores a los equipos actualmente instalados en sitios, nos permitirá controlar el arranque del motogenerador y operación de baterías cuando así lo requiera. De tal forma que no se dependerá únicamente del generador, y se aprovechará la utilidad de las baterías de litio

Figura 1. Esquema de solución



Fuente: Elaboración propia empleando Visio profesional.

6.2. Ubicación del área y lugar de estudio.

Se llevará acabo el estudio en sitios *bad-grid* del oriente de la república de Guatemala.

Figura 2. Ubicación del área en estudio



Fuente: *Google Earth Mapa de Guatemala*. Consultado el 22 de marzo de 2022.

Recuperado de <https://earth.google.com/web/@15.66525967,-89.57866893,350.14859686a,989115.14380842d,35y,0h,0t,0r>.

6.3. Localización del área o lugar de estudio.

El área de estudio está localizada en los departamentos de Zacapa, Jalapa, Chiquimula y Jutiapa de la república de Guatemala.

Figura 3. Localización del área en estudio



Fuente: *Google Earth Mapa de oriente de Guatemala*. Consultado el 22 de marzo de 2022. Recuperado de <https://earth.google.com/web/@14.81951211,-89.69377061,1037.18683582a,116101.68462306d,35y,-0h,0t,0r>.

7. MARCO TEÓRICO

Para brindar un servicio de calidad las empresas de telecomunicaciones monitorean constantemente cada uno de los equipos de la red, en este capítulo se presentan los fundamentos teóricos que servirán como base para la comprensión de un sistema de telecomunicaciones, los generadores de respaldo de emergencia y conceptos básicos de automatización

7.1. Sistema de telecomunicaciones

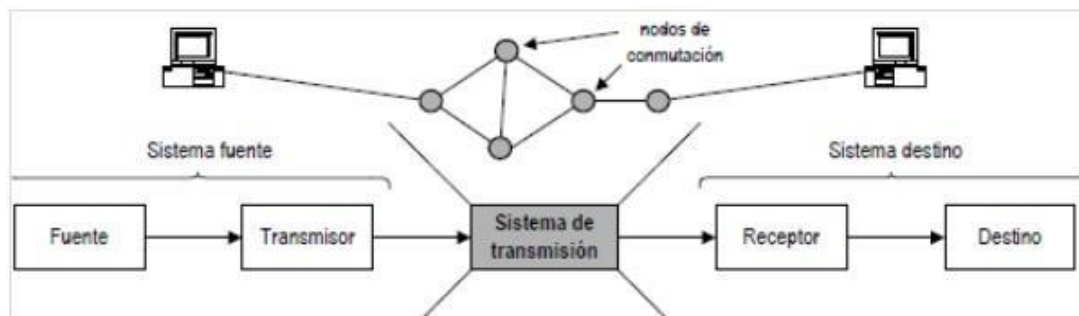
Las comunicaciones forman parte de nuestro día a día, para los seres humanos es importante podernos comunicar, la comunicación según (Pérez Vega, 2007, p. 209) “definirse como el intercambio de información entre individuos mediante un sistema común de símbolos, bien sea mediante lenguaje símbolos o gestos”. Podemos decir entonces que la comunicación es el intercambio de información que se da entre personas, animales o maquinas. El intercambio de información puede ser en ambos sentidos lo que se conoce como comunicación dúplex, o semidúplex en un solo sentido

Según (Vásquez, 2019) se debe de contar con un emisor y un receptor, además de esto es necesario contar con un canal para que el intercambio de información entre dos puntos sea efectivo en una red de telecomunicaciones.

El sistema de comunicación que conocemos consta de una fuente del mensaje, el cual se transmite por medio de un emisor o transmisor, un medio de transmisión y un receptor quien da el mensaje al destino, en telecomunicaciones

la transmisión se realiza mediante un procesamiento de señales ópticas, eléctricas, electromagnéticas entre otras, como se ve en la figura 4.

Figura 4. **Sistema de telecomunicaciones**



Fuente: Martínez J. (2015). *Maestría Telecomunicaciones*. Consultado el 9 de septiembre 2021. Recuperado de <http://cdalcala-upsum.blogspot.com/2015/06/elementos-de-un-sistema-de.html>.

Para intercambiar información en un sistema de telecomunicaciones es importante que se utilice un mismo lenguaje o protocolo en el transmisor y receptor, este lenguaje puede ser códigos, símbolos, reglas, que definan la sintaxis en que irá la información. Esto es igual a que nos queramos comunicar con otra persona si habla nuestro idioma podremos intercambiar información, pero si habla otro idioma no podremos intercambiar información ya que no nos entenderemos.

7.1.1. Elementos sistema telecomunicaciones

En los sistemas de telecomunicaciones al igual que en un sistema de comunicación se tienen cinco componentes: mensaje o código nos permite poder comunicar una idea para ello se codifica la información que deseamos transmitir en un lenguaje que entienda la persona o maquina a la que enviamos

la información, el emisor es quien transmite el mensaje puede ser por medio de una carta, de forma oral o por medio de una computadora.

El medio de transmisión puede ser mediante a ondas electromagnéticas, electroacústicas, eléctricas, entre otras, el receptor se encarga de descifrar el mensaje es importante que el receptor hable el mismo lenguaje que el emisor, protocolo o lenguaje es un conjunto de reglas que rigen la transmisión de datos, si no existe un protocolo definido entre dos equipos pueden estar conectados, pero no habrá comunicación entre ellos. (Marco M., 2010)

7.1.1.1. Tipos de señales

La señal es de suma importancia en un sistema de comunicación, es una magnitud eléctrica que nos permite transportar información puede clasificarse en señales analógicas y señales digitales.

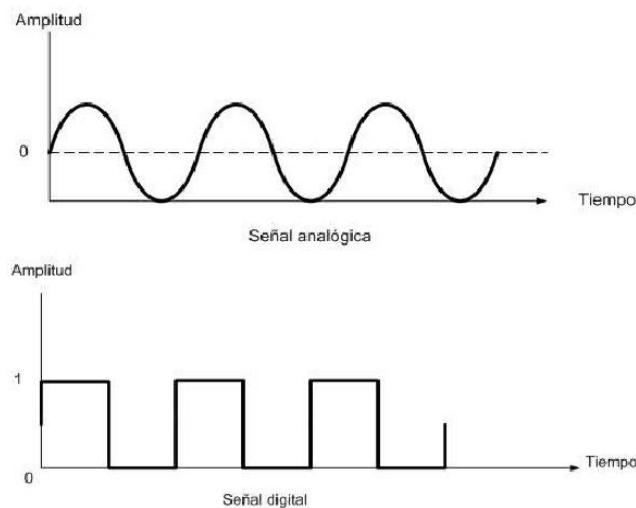
La señal analógica tiene como característica una variación continua de valores en el tiempo, logrando adquirir "x" cantidad de posibles valores infinitos, un ejemplo de una señal analógica es la voz, la luz solar, la temperatura ambiental ya que varía gradualmente, la humedad, etcétera.

Bravo (2006) afirma:

Una señal analógica es una onda senoidal como la corriente alterna de una casa. En ella, vemos como los valores que toma la onda son un continuo dentro de un rango determinado, es decir, que pasa por todos los valores existentes dentro de este rango. (p. 13)

Las señales digitales a diferencia de las señales analógicas no son continuas en el tiempo, solamente pueden contar con un valor limitado y discreto. Como ejemplo de una señal digital tenemos la información binaria que consta únicamente de dos valores 1,0, y es la más utilizada en sistemas electrónicos.

Figura 5. **Señales analógicas y digitales**



Fuente: Sosa A. (2006). *Las Comunicaciones*. Consultado el 09 de septiembre del 2021.

Recuperado de

<https://www.monografias.com/trabajos37/comunicaciones/comunicaciones2.shtml>.

7.1.1.2. **Modulación**

La modulación es el proceso de variar una señal que se le da el nombre de portadora, con respecto a otra señal que se le da el nombre de señal moduladora, dando como resultado una señal modulada. Este proceso se lleva a cabo con el fin de adaptar la señal a las características del medio de transmisión que se esté utilizando, según (González M. S., 2014).

7.1.1.3. Modos de transmisión

La forma o dirección en que se transmiten los datos en un sistema de telecomunicaciones entre dos equipos conectados, son las siguientes

Según Gonzáles M. S (2014):

- *Simplex*: si dos equipos están conectados en modo simplex. un equipo transmite en una sola dirección de manera unidireccional, quiere decir que mientras él envía el otro equipo solo puede recibir.
- *Half-Duplex*: los equipos conectados pueden enviar y recibir información en una dirección, cuando un equipo “A” envía información el equipo “B” solo puede recibir, si el equipo “B” envía la información el equipo “A” solo puede recibir, en este modo no se puede enviar información en ambas direcciones a la vez.
- *Full-Duplex*: en este modo los equipos pueden transmitir y recibir al mismo tiempo. Es importante contar con dos enlaces o canales entre el transmisor y el receptor para poder transmitir y recibir a la vez.

7.1.1.4. Topologías de red

La topología de una red de telecomunicaciones es su arquitectura o estructura física, es decir cómo van conectados los equipos o nodos (punto de unión de varios elementos) para poder transmitir la información. Los tipos de topologías más comunes: estrella, anillo, árbol, *full mesh*, a continuación, se detallan.

- Topología estrella:

según (Mesa, 2004) esta topología se distingue porque tiene un nodo central al cual se conectan directamente los demás equipos.

- Topología Anillo:

en esta topología cada uno de los nodos o equipos están conectados entre sí formando un anillo. La información en este caso viaja en un sentido o en dos, dependiendo la configuración y los equipos que se tengan conectados, en telecomunicaciones se utilizan este tipo de topologías, al haber un inconveniente con un equipo se apertura el anillo.

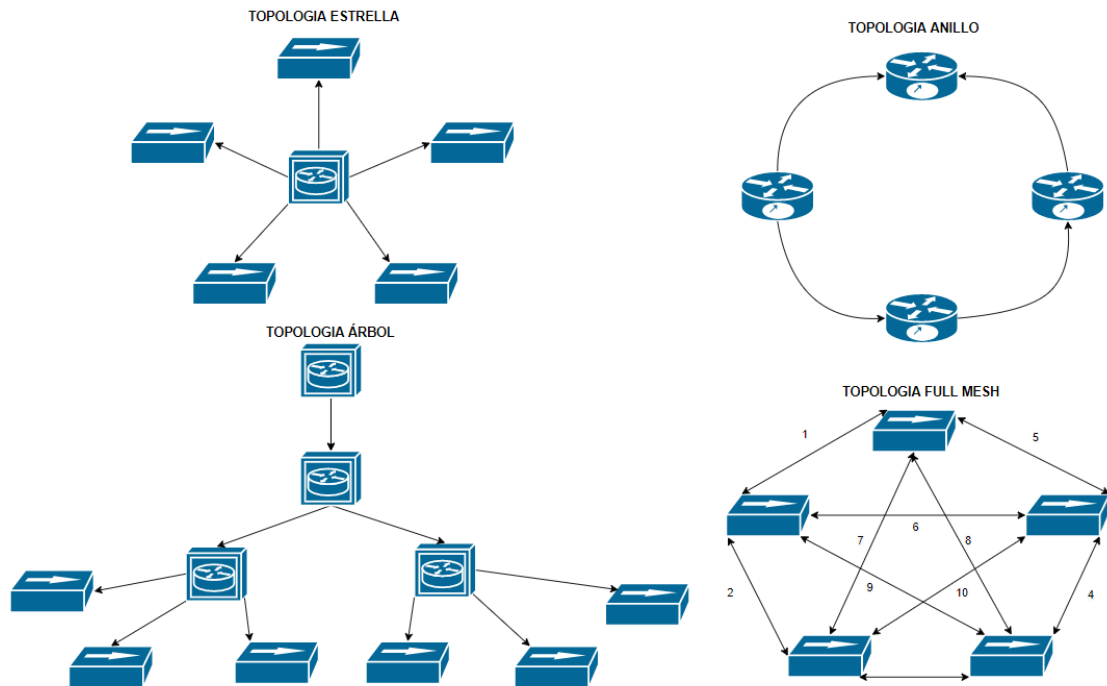
- Topología Árbol:

la topología tipo árbol se compara con una topología tipo estrella interconectada a diferencia de que no tiene un nodo central, si no un nodo de enlace troncal desde el cual se interconectan los demás nodos.

- Topología *Full Mesh*:

la topología *full mesh* o red de malla completa según (Soto, 2016), “cada nodo está conectado a todos los demás nodos. Debido a que cada nodo conecta directamente con todos los demás nodos, puede seleccionarse una ruta óptima y es altamente tolerante a fallos” (p. 49). Debido a la tolerancia a fallos que esta topología brinda en la actualidad se está migrando en telecomunicaciones a esta estructura, debido a que si varios enlaces fallan se puede seguir teniendo comunicación con los nodos.

Figura 6. Topologías de red



Fuente: elaboración propia empleando draw.io.

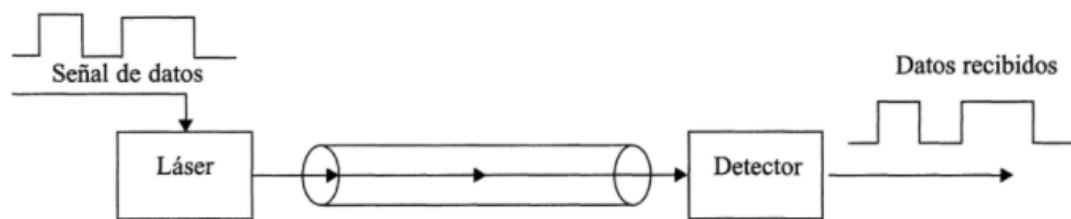
7.1.1.5. Transmisión por fibra óptica

La fibra óptica es un medio de transmisión físico para transportar información por medio de pulsos de luz que viajan en hilos de fibra de vidrio o plástico. El tamaño de un hilo de fibra óptica se compara al de un cabello humano, sin embargo, la cantidad de datos que se pueden transmitir es mayor que las transmitidas en los cables eléctricos.

Según (Pérez, 2010), Se necesita una fuente de luz, un detector de luz en el receptor y que el medio de transmisión sea fibra para el envío la correcta transmisión de información. En la figura 7, podemos observar los componentes

para la transmisión de datos de un sistema óptico, se envían la señal por bits en la cual van los datos que queremos transmitir, estos se envían como estados de prendido y apagado, en bist (0,1), de un rayo de luz. El transmisor genera una longitud de onda entre 1.3 a 1.5 μm , la luz se viaja dentro del núcleo de la fibra sin pérdidas gracias a las características de reflexión y refracción.

Figura 7. **Transmisión por fibra óptica**



Fuente: *Transmisión por fibra óptica*. Consultado 12 de septiembre del 2021. Recuperado de (Pérez, 2010).

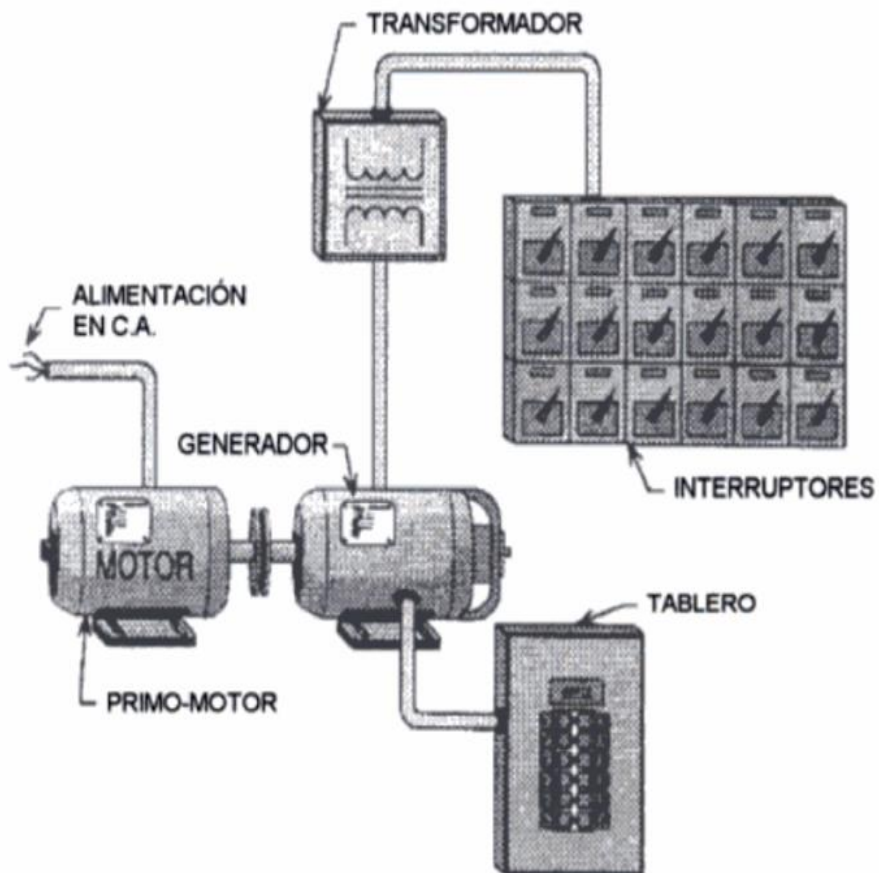
7.2. **Generadores de energía**

En términos simples se puede decir que un generador es aquel que convierte la energía mecánica en eléctrica por medio de un proceso de transformación en donde se ven involucrados dos de sus elementos principales el rotor y el estator. Según Enríquez (2004) la energía que se produce alimenta a un transformador o tableros, lo cual se convierte en carga externa.

Los generadores de energía o eléctricos pueden ser utilizados en la industria o como medios de soporte en caso de emergencia en las plantas. Cuando se utiliza uno se debe de tomar en cuenta la potencia que se requerirá ya que estos pueden ser monofásicos o trifásicos, los cuales funcionan por medio de motores de gasolina, diésel o turbina de gas.

En el sector industrial es recomendable utilizar un generador de energía trifásica, ya que a pesar de que su tamaño suele ser menor. Según Grupel (2020) un generador trifásico busca ser más eficiente ya que pueden transportar la energía a distancias largas y aun así permitir que los equipos industriales funcionen correctamente.

Figura 8. **Generadores de energía**



Fuente: Tecnologías de la generación eléctrica Harper (2009) *Generadores y transformadores eléctricos*.

7.2.1. Tipos de generadores

Según Grupel (2020) Hoy en día existen cuatro diferentes grupos de los tipos de generadores, los cuales se clasifican dependiendo de donde proviene su energía estos grupos se detallan a continuación.

- Generadores mecánicos: estos son más capaces de transformar la energía y ser más eficientes, por esta razón son los más utilizados en empresas industriales.
- Generadores solares: como su nombre lo dice estos toman energía solar para convertirla en eléctrica y poder ser utilizada.
- Generadores térmicos: esta energía proviene principalmente del calor para poder ser transformada.
- Generadores químicos: tal como se menciona en el nombre su fuente principal de energía es la química, la cual es transformada por medio de las reacciones químicas.

Sin embargo, por otro lado, Endesa (n.f) menciona que los generadores están divididos en dos principales grupos alimentados por energía mecánica, pero se clasifican según la corriente que producen.

7.2.1.1. Motogenerador o planta eléctrica

Según la RAE un motogenerador es “Máquina térmica capaz de transformar la energía química, contenida en un determinado combustible, en

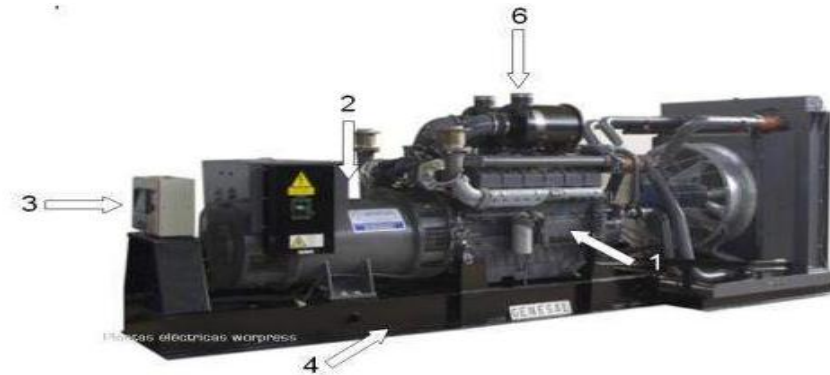
energía mecánica y, posteriormente, en energía eléctrica mediante un alternador acoplado al eje de este.”

El motogenerador es un sistema de respaldo electrógeno diseñado para suministrar energía de forma continua o por un lapso de tiempo, cuando la red comercial falla o es deficiente. A partir de un motor de gas, diésel o gasolina, encargado de accionar el motor para generar corriente alterna. Según (EDMI, 2011).

Componentes según Blandino (2013):

- Motor:
encargado de producir la potencia necesaria para que el alternador genere energía eléctrica por el movimiento. Utilizan diferentes combustibles, gasolina, diésel, gas, etc.
- Alternador:
transforma la energía mecánica del motor en eléctrica.
- Cuadro eléctrico de control:
controla el equipo y su funcionamiento, puede ser manual u automático, la diferencia es que en el automático se programa el controlador para que active el sistema al momento de una caída de energía.
- Bancada de apoyo:
constituye la parte inferior del motor, sirve como base de sujeción entre el alternador y el motor. Este componente debe de ser resistente ya que soporta las fuerzas internas que genera el motor.

Figura 9. **Motogenerador**



Fuente: Ecured (2011) *planta eléctrica*. Consultado: 27 de septiembre del 2021. Recuperado https://www.ecured.cu/Planta_el%C3%A9ctrica.

7.2.1.2. Clasificación

Las plantas eléctricas se clasifican por el tipo de servicio: continuo, emergencia y por su función: manual, automático. Las de tipo continuo son aquellas plantas eléctricas o motogeneradores que se utilizan en los sitios que no cuentan con energía comercial, operan 300 horas por año. El motogenerador de servicio de emergencia se utiliza en telecomunicaciones, hospitales o en sistemas de respaldo que utilicen dos fuentes de energía y se accionen en caso de emergencia según (A.A, 2014).

- Operación manual: estas plantas eléctricas son accionadas por un interruptor el cual arranca el motor o lo detiene, estas plantas son utilizadas en lugares donde no hay suministro de energía y son utilizadas de manera continua. El combustible utilizado en estas plantas es: diésel y gas propano.

Figura 10. **Interruptor manual**



Fuente: Baper, *Tablero de Transferencia Manual TTM*. Consultado 27 septiembre. Recuperado de <https://baper.net/tablero-de-transferencia-manual-ttm/>.

- Operación automática: al detectar una falla en la energía comercial, enciende el motogenerador automáticamente, su función es arrancar, proteger, transferir carga, retransferir carga y detener el motogenerador. Los elementos de la operación automática son el tablero de control y transferencia, los cuales nos permiten monitorear de manera continua la energía comercial y cada una de sus fases. Al detectar variaciones en el voltaje o caída completa de la red comercial, envía una señal de arranque al motogenerador y por medio de la transferencia y envía una señal al tablero de control para realizar el cambio de carga. Cuando retorna la red comercial, manda una señal a la transferencia para que detenga el motogenerador y la carga regrese a la red comercial.

Figura 11. **Tablero control y transferencia**



Fuente: kosov, *Tablero control y transferencia*. Consultado 27 de septiembre del 2021.
Recuperado de <https://kosov.com.mx/tableros-de-control-y-transferencia-digitales-o-analogicos.html>.

7.2.1.3. Banco de baterías

Las baterías son un tipo de generador químico, es un elemento de vital importancia en los nodos de telecomunicaciones, son una fuente de corriente directa permanente para los sistemas de protección, control, señalización y operación de los equipos.

Se pueden clasificar en celdas primarias que son las baterías de un único uso y en celdas secundarias las cuales acumulan energía eléctrica reversible por medio de una reacción química, lo que permite producir corriente. Según Harper E. (2009).

Las baterías cumplen los siguientes objetivos según Mateo (2015):

- Acumular energía para los periodos de tiempo donde la energía comercial es deficiente para abastecer la carga de los sitios.
- Proporcionar el arranque a motogeneradores o plantas eléctricas en sitios.

7.2.1.4. Baterías de Iones de litio

Está compuesta por una o varias celdas electroquímicas la cuales se encuentran interconectadas en serie o en paralelo. Se compone de un electrolito y dos electrodos donde, el cátodo es de óxido de litio (compuestos laminares derivados LiCoO_2 , óxidos derivados de la espinela LiMn_2O_2 , Fosfato derivado de un Olivino LiFePO_4) con alta capacidad de acumular energía y el ánodo es de grafito de carbono con una estructura de capas.

Vega de Kuyper (2018) menciona:

Uno de los electrodos de la batería debe contener previamente el litio en su estructura, de tal manera que durante las sucesivas etapas de carga/descarga sean estos iones Li^+ los que salgan de un electrodo para poder insertarse en el otro. Durante el funcionamiento de una batería de ion litio, tienen lugar dos procesos químicos: el proceso de descarga y el proceso de carga (p. 143).

7.2.1.5. Conexiones de baterías

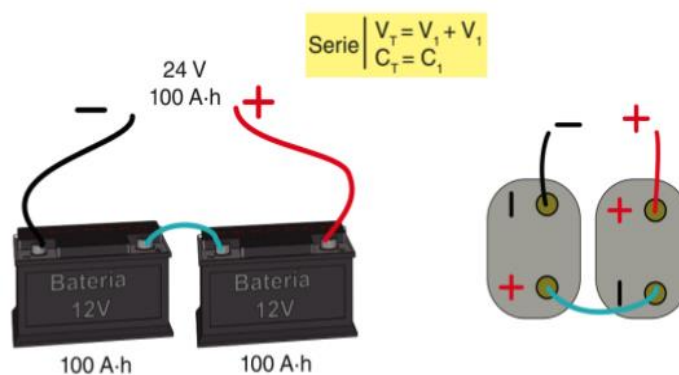
En los sistemas de respaldo de energía en sitios de telecomunicaciones por lo general el voltaje esta entre 24 V y 48 V. Este voltaje se obtiene colando las baterías en serie o en paralelo, aunque también existe una conexión mixta.

Harper E (2009) afirma:

- Conexión en serie

Las baterías se conectan en serie cuando se conecta la terminal positiva de una batería con la terminal negativa de la otra, y así con las demás. Es importante saber que al conectar las baterías en serie el voltaje se suma, pero el amperaje se mantiene. Uno de los inconvenientes es que si una batería falla entonces el banco de baterías puede fallar.

Figura 12. Conexión en serie

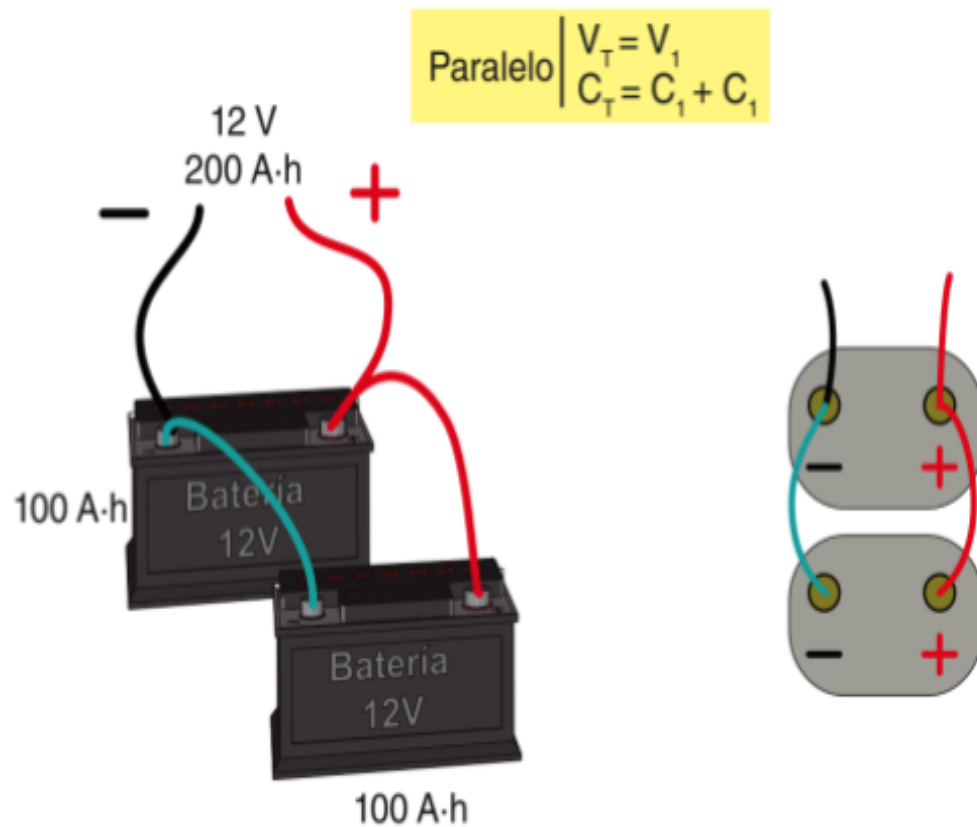


Fuente: Carreras M. (2019), *Instalaciones Solares Fotovoltaicas*.

- Conexión en paralelo

Al conectar la terminal positiva de una batería con la terminal positiva de otra batería se está conectando el banco de baterías en paralelo, realizando lo mismo con las terminales negativas. En este caso el voltaje se mantiene y se suma el amperaje de las baterías.

Figura 13. **Conexión en paralelo**

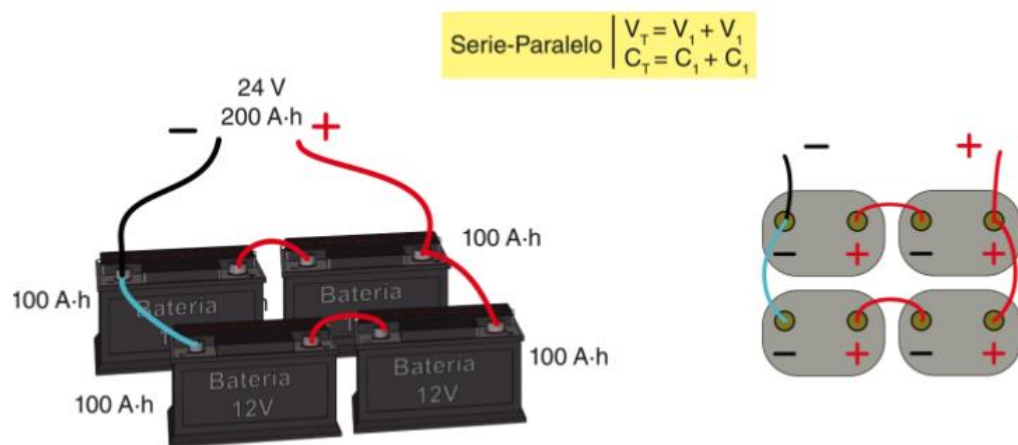


Fuente: Carreras M. (2019), *Instalaciones Solares Fotovoltaicas*.

- Conexión mixta

(Carreras, 2019) en su investigación indica que al cambiar las conexiones en serie y en paralelo, nos brinda la tensión y la capacidad. Sin embargo, en el caso de las baterías es mejor realizar la conexión en serie ya que aumenta la tensión, pero no la intensidad.

Figura 14. **Conexión mixta**



Fuente: Carreras M. (2019), *Instalaciones Solares Fotovoltaicas*.

7.2.1.6. Capacidad de las baterías

(Reeve, 2007) indica que la capacidad de la batería se determina a partir de la corriente de carga máxima del sitio, el tiempo de autonomía o reserva requerido, crecimiento anticipado y la necesidad de prever la expansión a medida que crece el sistema de energía. El tiempo de reserva depende si hay un grupo electrógeno de motogenerador instalado en el nodo y puede variar desde 3 horas hasta más de 12 horas. Los sitios remotos pueden requerir tiempo de servicio medido en días o semanas.

Otras consideraciones por tomar en cuenta son: costo, peso, los requisitos de espacio, y la confiabilidad del sistema, la capacidad de la batería está relacionada con el crecimiento del rectificador porque ambos aumentan la corriente de carga. Cuando los nodos lleven servicios críticos y con alta disponibilidad, se puede instalar dos series de baterías, cada una con al menos el 50 % de la capacidad total requerida. Si se requiere redundancia $N + 1$, cada uno de los dos bancos de baterías debe de tener el 100 % de la capacidad requerida. El número de baterías en cualquier nodo es el mínimo requerido para lograr el tiempo de reserva de energía y los requisitos de mantenimiento.

7.2.2. Rectificadores

(Reeve, 2007) afirma: los rectificadores convierten el voltaje de corriente alterna (AC) de la fuente en un voltaje directo (DC), suministrando corriente continua al equipo de carga. Durante la operación normal, los rectificadores determinan la precisión del voltaje y la regulación de este. Puede influir el ruido en los circuitos de potencia.

En telecomunicaciones siempre se proporcionan los rectificadores en una configuración redundante $N + 1$ dando como un mínimo de dos rectificadores en cualquier sistema dado, N rectificadores para brindar carga y requisitos de recarga de la batería y se agrega un rectificador como repuesto.

Los rectificadores tienen tres propósitos principales:

- Brindar carga cuando haya energía comercial (CA) disponible.
- Suministrar carga flotante a las baterías para superar las pérdidas internas de la batería.

- Recargar la batería cuando se restablezca la energía comercial después de una falla eléctrica mientras se suministra la carga normal al sitio.

7.3. Mantenimientos

El mantenimiento incluye todas las actividades relacionadas con un cierto nivel de disponibilidad y confiabilidad del sistema y sus componentes y su capacidad para desempeñarse a un nivel estándar de calidad. Incluye actividades relacionadas con mantener el inventario de repuestos, recursos humanos y gestión de riesgos. En un sentido más amplio, incluye todas las decisiones en todos los niveles de la organización relacionados con adquirir y mantener un alto nivel de disponibilidad y confiabilidad de su activo. El mantenimiento se está convirtiendo en un área funcional crítica en la mayoría de los tipos de organizaciones y sistemas tales como construcción, manufactura, transporte, telecomunicaciones, etc. Según (Mishra, 2012)

7.3.1. Tipos de mantenimiento

El mantenimiento se puede dividir en las actividades planificadas las cuales se organizan y se realizan con visión a futuro, control y registro de acuerdo con los planes que se han determinado previamente, y en actividades de mantenimiento no planificadas las cuales surgen por un inconveniente en los equipos o redes.

7.3.1.1. Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo es la utilización de métodos planificados y coordinados, inspecciones ajustes, reparaciones y remplazos necesarios en mantenimiento de un equipo o planta. El principal objetivo es detectar cualquier

condición que pueda causar una falla en los equipos tanto de transmisión como en los aires acondicionados y generadores de energía. Bajo este mantenimiento se realiza una inspección sistemática y extensa de cada elemento del sitio, se realiza en intervalos determinados, el mantenimiento preventivo se divide en las siguientes actividades según (Mishra, 2012):

- Atención de rutina: esto implica realizar actividades para el cuidado de los equipos en el nodo, revisión y limpieza de estos para mantener el equipo en óptimas condiciones.
- Examen de rutina: se realizan para identificar fallas o equipos que ya no se hayan dado de baja en los sitios, esto permite evitar fallas antes de que ocurran.
- Reemplazo preventivo: realizar el reemplazo previo de piezas y componentes que tienen una vida útil definida, como lo son los filtros en tarjetas fan en equipos, filtros de aires acondicionados, entre otros, esto ayuda a evitar una emergencia y daños a los equipos.
- Mediciones de inspección: permite determinar la degradación de un equipo o elementos en el nodo mediante las mediciones continuas, en estos casos se realiza una maqueta donde se realizan pruebas a equipos para verificar el comportamiento frente a altas temperaturas, saturaciones entre otros.

7.3.1.2. Mantenimiento correctivo

El mantenimiento preventivo planificado da a conocer la naturaleza de fallos repetitivos de una determinada parte del equipo. Cuando se observan estas fallas repetitivas, se aplica el mantenimiento correctivo de manera que se evite la repetición de tales fallas, se puede informar al fabricante de los equipos de tales fallas para sugerir modificaciones. Su alcance incluye la sustitución total del equipo o del cambio de la pieza defectuosa según (Pérez de Larraya)

Se debe de documentar la realización del mantenimiento correctivo, esta acción la realizara el personal encargado del mantenimiento y se colocaran las actividades realizadas en instalaciones específicas, sistemas, subsistemas o módulos de equipo. La documentación incluirá una descripción de cualquier actividad de mantenimiento correctivo como:

- Restauración
- Identificación de falla
- Diagnostico
- Alineación
- Solución del problema.
- Reemplazo de las piezas dañadas

7.4. Automatización

La automatización es todo aquello que se compone de todas las teorías y tecnologías que sustituyen el trabajo de una persona por una maquinaria o software. Está relacionada con el control de los sistemas sincronizado por medio de operaciones, sensores, o maquinarias. (Asensio, 2005) define a la automatización como “el conjunto de métodos y procedimientos para la sustitución del operario en tareas físicas y mentales previamente programadas” (p. 11).

7.4.1. Pirámide de la automatización CIM

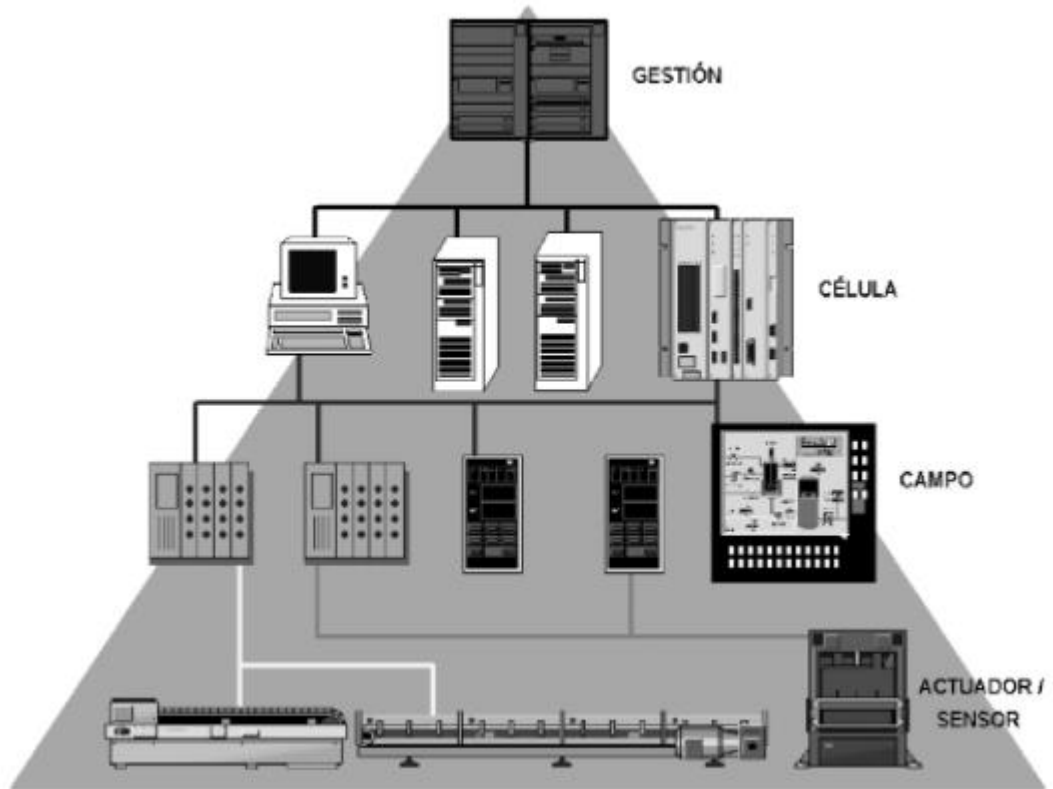
La pirámide de automatización CIM (*Computer Integrated Manufacturing*), resume los diferentes niveles en automatización industrial, de forma gráfica y la estructura del sistema de comunicación. La interrelación entre los diferentes niveles de la pirámide es gracias al avance en los sistemas de computación y la facilidad de integrar todos los componentes entre sí, según (Higuera A, 2007)

A continuación, se detalla cada uno de los niveles de la pirámide CIM tomando como base Penin (2007):

- Nivel 1 actuador sensor: es necesario contar con actuadores y sensores en cualquier aplicación automatizada que requiera bits de información, la característica principal de este nivel es contar con pocos bits dentro de un sistema automatizado. Trabaja con poca información y su gestión no es compleja. Cada uno de los sensores y actuadores entregan información al nivel superior la cual es de suma importancia al momento de automatizar, para poder compartir la información se utilizan protocolos de transmisión, como ethernet.
- Nivel 2 campo: es el segundo nivel de la pirámide permite la comunicación entre los sensores y actuadores y los equipos que los controlan, también permite la comunicación entre los niveles superiores. Está compuesto por módulos de entradas y salidas, equipos de medición, sistemas de control de velocidad, pantallas de operador, válvulas utilizando medios de transmisión eficaces, con la capacidad de recoger en tiempo real la información generada en el primer

- Nivel 3 célula: en este nivel se encuentran los PLC's (*Programmable Logic Controller*) y controladores, quienes procesan las actividades de automatización y se encargan de la regular, controlar y verificar la seguridad del proceso. La transferencia de información en este nivel es considerable, por lo que aumenta el tamaño de los paquetes y el tiempo de transmisión.
- Nivel 4 gestión: procesa todas las tareas de tipo corporativo, permitiendo la planificación, administración y optimización del recurso, lo que con lleva a una excesiva cantidad de información. Desde este nivel se puede acceder a todos los niveles, mediante una red WAN para extraer datos y transmitir nuevos procesos en tiempo real.

Figura 15. Pirámide de automatización CIM



Fuente: Penin A., (2007), *Sistema Scada*. Consultado 3 de octubre del 2021.

8. PROPUESTA DE ÍNDICE Y CONTENIDOS

INDICE GENERAL
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES
LISTA DE SÍMBOLOS
GLOSARIO
RESUMEN
OBJETIVOS
INTRODUCCIÓN
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1. MARCO TEORICO
 - 1.1. Sistema de telecomunicaciones
 - 1.1.1 Elementos sistema telecomunicaciones
 - 1.1.1.1. Tipos de señales
 - 1.1.1.2. Modulación
 - 1.1.1.3. Modos de transmisión
 - 1.1.1.4. Topologías de red
 - 1.1.1.5. Transmisión por fibra óptica
 - 1.2. Generadores de energía
 - 1.2.1. Tipos de generadores
 - 1.2.1.1. Motogenerador
 - 1.2.1.1.1 Clasificación
 - 1.2.1.2. Banco de baterías
 - 1.2.2.1. Baterías de lones de litio
 - 1.2.2.2. Conexiones de baterías
 - 1.2.2.3. Capacidad

- 1.2.1.3. Rectificadores
 - 1.3. Mantenimientos
 - 1.3.1. Tipos de mantenimiento
 - 1.3.1.1. Mantenimiento preventivo
 - 1.3.1.2. Mantenimiento correctivo
 - 1.4. Automatización
 - 1.4.1. Pirámide de la Automatización CIM
- 2. Definir el controlador de transferencia de cargas a utilizar
 - 2.1. Componentes del controlador y características.
 - 2.2. cálculo del uso del motogenerador y baterías de litio
- 3. Propuesta
 - 3.1. Cálculo de baterías de litio necesarias
 - 3.2. cálculo de baterías propuestas por banco
- 4. gestión del mantenimiento preventivo y ahorro que se obtendrá
 - 4.1. Mantenimiento preventivo
 - 4.2. Cálculo del ahorro de la propuesta

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

9. MARCO METODOLÓGICO

9.1. Diseño de investigación

El diseño de la presente investigación es experimental de tipo preexperimental, debido a las pruebas en los rectificadores, motogeneradores, banco de baterías de litio para verificar que ciclen correctamente las baterías comprobar el ahorro de combustible.

Según (Miguel, 2005) La investigación experimental se presenta cuando se estudia una variable experimental no comprobada, en condiciones controladas, con el fin de determinar porque se produce una situación por lo que se lleva a cabo un experimento el cual lo provoca el investigador introduciendo variables de estudio lo que permite verificar como aumentan o disminuyen las variables.

Es de tipo preexperimental, ya que se realizará una preprueba y post prueba luego de aplicar la propuesta en los sitios *bad-grid* y *off-grid* de estudio colocando el controlador de transferencia de cargas para determinar la disminución del consumo de combustible. (Días, 2009) nos indica que en el diseño de tipo preexperimental el grado de control de la variable dependiente es mínimo. Se escoge un grupo, se realiza la propuesta y luego se mide el resultado obtenido.

9.2. Paradigma de la investigación

La investigación tendrá como base epistemológica el constructivismo, y el método analítico. Se eligió este paradigma ya que nos brinda una guía para la elaboración de la investigación y se adapta a las necesidades de esta.

El paradigma constructivista “plantea que el conocimiento no nace de la realidad, sino que se hace en distintos agentes formas y ámbitos, que dan lugar a distintas formas de entender el constructivismo”. (Delgado, 2011, p. 43)

9.3. Enfoque de la investigación

El enfoque de la investigación es mixto, en donde se analizará como optimizar el uso del motogenerador para disminuir el consumo de combustible ciclando las baterías eficientemente, por ende, se realizará un estudio de la cantidad de sitios con planta rectificadora con rangos de aceptación de AC limitados, con baterías de litio.

Con un enfoque cuantitativo de las cargas de sitios y cualitativo al documentar la manera de realizar el mantenimiento de los sitios

(Paitán, 2014) indica que la investigación mixta nos ayuda a tener una mejor perspectiva del estudio, integrando sistemáticamente los datos cualitativos y cuantitativos, para poder tomar decisiones con base a la información obtenida, comprendiendo cada aspecto del estudio, buscando soluciones prácticas y trabajables.

El enfoque mixto nos permitirá comprender la investigación recopilando datos para ser analizados e integrarlos en la investigación cuantitativa y cualitativa para ello será necesario contar con el apoyo del personal técnico en campo, así como de supervisores especializados en la materia a los que se solicitará apoyo en la investigación para determinar que las variables cuantitativas y cualitativas a investigar sean las correctas.

9.4. Matriz de consistencia

A continuación, se detallan las variables e indicadores que se analizarán en la presente investigación.

Tabla I. **Matriz de consistencia**

MATRIZ DE CONSISTENCIA		
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	VARIABLES E INDICADORES
Pregunta General	Objetivo General	Independiente
¿Cómo se optimizará el sistema de respaldo de emergencia con el controlador de transferencias de cargas?	Optimizar sistema de respaldo eléctrico en sitios <i>bad-grid</i> mediante el controlador de transferencia de cargas a fin de reducir el consumo de combustible para una empresa de telecomunicaciones.	Consumo de combustible Carga del sitio Capacidad banco de baterías
Preguntas específicas	Objetivos específicos	Dependientes
¿Qué controlador de transferencia de cargas se utilizará?	Evaluar las características y componentes de los controladores de transferencia de cargas para optimizar el sistema de respaldo eléctrico en sitios <i>bad-grid</i>	Ciclado de baterías Tiempo de respaldo de banco de baterías

Fuente: elaboración propia empleando Excel.

9.5. Fases

Fase 1: revisión de información para la realización de los antecedentes y el marco teórico.

Fase 2: determinar los equipos generadores de energía en emergencias, los componentes entre otros.

Fase 3: verificar las características de las plantas rectificadoras eficientes para poder automatizar el ciclo de baterías y optimizar el uso del motogenerador.

Fase 4: proponer un plan de mantenimiento preventivo e inspección de los elementos de planta interna en el nodo.

9.6. Resultados esperados

Optimización del motogenerador, al minimizar el combustible utilizado en sitios, automatizando el ciclado de baterías con un rectificador eficiente.

Diagnóstico de la gestión de mantenimiento actual y describir los procedimientos básicos de una gestión de mantenimiento preventivo.

Se determina los componentes y configuraciones necesarias para poder automatizar el rectificador, desde un equipo acceso teniendo gestión desde el NOC utilizando el protocolo SNMP.

Se configuran baterías de litio para ciclar hasta llegar al 75 % de su capacidad y el rectificador encienda el motogenerador para brindar la carga al sitio y a las baterías.

Se establece un procedimiento para los mantenimientos preventivos en sitios, tanto para equipos de transmisión como para los generadores de energía. Se realiza un *checklist* de pruebas a utilizar en el mantenimiento del sitio para comprobar que todo esté funcionando con normalidad

9.7. Población y muestra

Se realizará un análisis estadístico para determinar la muestra para la investigación. Ya que la empresa de telecomunicaciones cuenta con más de cinco mil nodos actualmente en Guatemala, la investigación se llevará a cabo en 9 nodos del oriente de la república de Guatemala.

La población para el análisis cualitativo está constituida por los sitios *bad-grid* y *off-grid* del oriente del país.

Por lo tanto, se incluyen 9 nodos como población; para una distribución normal, con un nivel de confianza del 95 %, $Z=1.96$ y un margen de error de 5 %, la muestra no probabilística estará definida por la siguiente ecuación estadística:

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q}$$

Donde:

n = Muestra

N = Tamaño de la población o universo

Z_{α} = Parámetro estadístico del nivel de confianza

p = Probabilidad de que ocurra en evento en estudio

q = Probabilidad de que no ocurra el evento en estudio

e = Error de estimación máximo aceptado

Sustituyendo lo datos:

$N = 9$	$Z_{\alpha} = 1.960$	$p = 0.5$	$q = 0.5$	$e = 0.05$
---------	----------------------	-----------	-----------	------------

$$n = \frac{9 * 1.960^2 * 0.5 * 0.5}{0.05^2 * (9 - 1) + 1.96^2 * 0.5 * 0.5} = 8.81 \cong 9$$

Se tomarán como base los 9 sitios de población para poder realizar la propuesta, ya que al ser una población pequeña la muestra en este caso es la misma a la población.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

El método para análisis de información a utilizar es la síntesis bibliográfica, con base a la técnica sistematización bibliográfica obteniendo la información documental para alcanzar los objetivos de la investigación.

Para obtener los análisis cualitativos se utilizará el método de síntesis de la observación con base a la técnica de observación ordinaria en la cual se realizará un análisis en los sitios *bad-grid* realizando un *checklist* como guía de observación para determinar las horas en que opera el motogenerador en los sitios, y el tiempo que le toma a las baterías realizar un ciclo de carga y descarga completo.

Se contará con la participación de técnicos e ingenieros y supervisores con experiencia en el tema para que se agregue un valor agregado a la investigación.

11. CRONOGRAMA

Para la realización del trabajo de investigación se realizó un cronograma detallando cada una de las fases para la elaboración de la propuesta en la cual se abarcarán 31.8 semanas desde su inicio hasta la presentación final.

En la tabla II se detalla cada una de las actividades a realizar y el tiempo en semanas en las que se trabajará en cada una de ellas.

Tabla II. Cronograma de actividades

Nombre de tarea	Duraci	Comienzo	Fin	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul
1 Aprobación de Protocolo	5 sem.	lun 11/1/21	vie 12/3/21									
2 Desarrollo trabajo de graduación	31.8 sem	vie 12/3/21	mié 7/13/22									
3 Fase 1: Revisión documental apoyo al trabajo de graduación	4 sem.	lun 12/6/21	vie 12/31/21									
4 Investigación Antecedentes	1 sem	lun 12/6/21	vie 12/10/21									
5 Marco teorico	3 sem.	vie 12/10/21	jue 12/30/21									
6 Fase 2: Definir controlador de tranferencias de carga a utilizar	7 sem.	jue 12/30/21	mié 2/16/22									
7 Componentes de un sistema de emergencia en sitios bad-grid	3 sem.	vie 12/31/21	jue 1/20/22									
8 Calculo uso de Motogenerador y baterias de litio	3 sem.	vie 1/21/22	jue 2/10/22									
9 Realizar un analisis de los controladores de transferencia	1 sem	vie 2/11/22	jue 2/17/22									
10 Fase 3: Propuesta	7 sem.	lun 2/14/22	vie 4/1/22									
11 Realizar el calculo de baterias de litio que se deben adicionar por sitio	3 sem.	vie 2/18/22	jue 3/10/22									
12 Calculo cantidad de baterias propuestas por banco y horas sugeridas de respaldo	4 sem.	vie 3/11/22	jue 4/7/22									
13 Fase 4: Gestión del mantenimiento preventivo y ahorro que se obtendra con la propuesta	5 sem.	jue 4/28/22	mié 6/1/22									
14 Mantenimiento preventivo	3 sem.	jue 4/28/22	mié 5/18/22									
15 Calculo de ahorro del trabajo de investigación	2 sem.	jue 5/19/22	mié 6/1/22									
16 Presentación de resultados	1 sem	jue 6/2/22	mié 6/8/22									
17 Discusión de resultados	1 sem	jue 6/9/22	mié 6/15/22									
18 Redacción de Conclusiones y R ecomendaciones	2 sem.	jue 6/16/22	mié 6/29/22									
19 presentación informe final	2 sem.	jue 6/30/22	mié 7/13/22									

Fuente: Elaboración propia empleando Project.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

La investigación será financiada por la empresa de telecomunicaciones donde se realizará el estudio y el investigador, se tomará en cuenta el recurso humano, los materiales físicos y los recursos tecnológicos, debido a que el controlador de cargas contiene PLC, software de gestión y programación se realizó una cotización tomando como base los rectificadores de cargas eficiente como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla III. **Factibilidad**

RECURSOS	MATERIALES	PRESUPUESTO
Humanos	Investigador	Q -
	Asesor	Q 2500.00
Físicos materiales	Oficina	Q -
	Computadora personal	Q 3500.00
	Celular	Q -
	Impresiones	Q 500.00
	Tinta	Q 200.00
	1 resma de hojas blancas	Q 45.00
	Alimentación	Q 3000.00
	Gasolina	Q 9000.00
	5 lapiceros (rojo, azul negro)	Q. 19.00
	5 folder con gancho	Q. 12.50
	10 encuadernados	Q 200.00
Tecnológicos	Controlador de cargas	Q 27076.60
	25 baterías de litio	Q 9616.25
Total		Q 55469.35

Fuente: elaboración propia 2021, empleando Excel.

13. REFERENCIAS

1. Asensio, P. P. (2005). *Automatización de procesos mediante la Guía GEMMA*. Barcelona, España: Universidad politécnica de catalunya, SL.
2. Barreno, W. A. (2018). Ingeniero Electricista. SISTEMA ALTERNATIVO PARA REDUCIR EL FUNCIONAMIENTO DE MOTOGENERADOR, REDUCIR MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y EMISIONES DE CO2 PARA REGIONES SINREDUCIR MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y EMISIONES DE CO2 PARA REGIONES SIN RED DE ENERGÍA COMERCIAL, DEEP OF DISCHARGE DO. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
3. Blandino, J. (2013). Diseño de sistema eléctrico con planta eléctrica de emergencia controlado por PLC en los laboratorios de computación pabellon 11 y electrónica pabellón 21 de la facultad de ciencias e ingenierias de la UNAN-MANAGUA. UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE NICARAGUA. Tesis de licenciatura, Managua, Nicaragua.
4. Bravo, I. S. (2006). *Electrónica Analógica*. España: MARCAMBO S.A.
5. Carreras, M. B. (2019). *Instalaciones Solares Fotovoltaicas*. Madrid, España: EDITEX S.A.

6. Delgado, M. E. (2011). *Introducción a las Técnicas cualitativas de investigación*. Santiago de Cali: Universidad del Valle.
7. Días Narváez, V. P. (2009). *Metodología de la investigación científica y bioestadística*. Chile: RIL editores.
8. Gonzáles, I. G. (2007). *Técnicas y procesos en las instalaciones singulares en los edificios*. Madrid, España: Paraninfo.
9. Gonzáles, M. S. (2014). *Sistemas Telemáticos*. Madrid, España: RA-MA, S.A.
10. Harper, E. (2009). *TECNOLOGIAS DE LA GENERACIÓN DE LA ENERGÍA ELECTRICA*. México: Limusa Noriega.
11. Harper, G. E. (2004). *El libro práctico de los generadores transformadores y motores eléctricos*. México: Limusa.
12. Higuera, A. G. (2007). *CIM: EL COMPUTADOR EN LA AUTOMATIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN*. cuenca, España: Universidad de castilla La Mancha.
13. Lledó, G. L. (2006). *Automatización de una planta industrial. Doctorado Interuniversitario en Automática y Robótica*. Universidad de Alicante, San Vicente del Raspeig, España.
14. Marco, M. J., & Marco, J. M. (2010). *Escaneando la informática*. España: Sonia Poch.

15. Mateo, V. M. (2015). *Instalaciones Generadoras fotovoltaicas*. Madrid, España: Paraninfo S.A.
16. Mesa, A. M. (2004). *Guía práctica para manejar y repara el computador*. Medellín, Colombia: Paramericana formas e impresos S.A.
17. Miguel, E. A. (2005). *Metodología de la Investigación*. México: Universidad Juárez Autónoma Tabasco.
18. Mishra, R. (2012). *Maintance Engineering and Management*. New Delhil, India: Indian Institute of Teechology Kharagpur.
19. Morán, C. L. (2008). Ingeniero Electricista. Estudio sobre diagnóstico predictivo del estado operativo de bancos de baterías para sistemas de telefonía celular mediante el control de parámetros internos de V & R. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
20. Paitán, H. Ñ. (2014). *Metodología de la investigación cuantitativa-cualitativa y redacción de la tesis*. Bogotá. Colombia: Ediciones de la U.
21. Palma, C. (2015). *LOS RIZOS DE LA AVIACIÓN GUATEMALTECA Luces y sombras del transporte aéreo del país*. D PRENSA LIBRE, 12,13.
22. Palma, C. (2015). *LOS RIZOS DE LA AVIACIÓN GUATEMALTECA Luces y sombras del transporte aéreo del país*. D PRENSA LIBRE, 14,16.
23. Penin, A. R. (2007). *Sistemas SCADA*. Barcelona España: MARCOMBO S.A.

24. Pérez, C. (2007). *Sistemas de telecomunicaciones*. España: Servicio de publicaciones de la Universidad de Cantabria.
25. Pérez, E. H. (2010). *Tecnología y redes de transmisión de datos*. México: Limusa.
26. Pérez, J. G. (s.f.). OPTIMIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE UN AEROGENERADOR MEDIANTE EL DISEÑO DE TAREAS DE SU FUERZA DE TRABAJO. INGENIERO INDUSTRIAL. ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES, Pamplona, Navarra, España.
27. Serra, X. H. (2002). *Análisis de redes y sistema de telecomunicaciones*. Barcelona, España: UPC.
28. Soto, M. G. (2016). *Interconexión de redes privadas y redes públicas*. Madrid, España: Paracuellos de jarama .
29. Terzija, V. (2011). Análisis del balance energético de estaciones de telecomunicaciones combinadas fotovoltaicas-diésel. *Revista Internacional de Energía Eléctrica y Sistemas de Energía*, 1739-1749.
30. Vázquez, S. G. (2019). *Elementos de Telecomunicaciones*. España: Paraninfo.
31. Vega, C. P. (2007). *Sistemas de Telecomunicación*. España: Servicio de publicaciones de la Universidad de Cantabria.

32. Vega, J. C. (2018). *Principios y aplicaciones de la energía fotovoltaica y de las baterías*. Chile: Universidad Católica de Chile.

