



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

**OPTIMIZACIÓN DE GENERACIÓN Y CONSUMO DE ELECTRICIDAD MEDIANTE  
TECNOLOGÍAS COMPLEMENTARIAS, EN TORRES DE TELECOMUNICACIONES  
UBICADAS FUERA DE LA RED ELÉCTRICA NACIONAL**

**Jorge Armando Flores García**

Asesorado por la Inga. Flor de Mayo González Miranda

Guatemala, abril de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**OPTIMIZACIÓN DE GENERACIÓN Y CONSUMO DE ELECTRICIDAD MEDIANTE  
TECNOLOGÍAS COMPLEMENTARIAS, EN TORRES DE TELECOMUNICACIONES  
UBICADAS FUERA DE LA RED ELÉCTRICA NACIONAL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**JORGE ARMANDO FLORES GARCÍA**

ASESORADO POR LA INGA. FLOR DE MAYO GONZÁLEZ MIRANDA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO INDUSTRIAL**

GUATEMALA, ABRIL DE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
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. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Byron Gerardo Chocooj Barrientos
EXAMINADORA	Inga. Gladys Lorraine Carles Zamarripa
EXAMINADORA	Inga. Sigrid Alitza Calderón de León
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

## **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:

**OPTIMIZACIÓN DE GENERACIÓN Y CONSUMO DE ELECTRICIDAD MEDIANTE  
TECNOLOGÍAS COMPLEMENTARIAS, EN TORRES DE TELECOMUNICACIONES  
UBICADAS FUERA DE LA RED ELÉCTRICA NACIONAL**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha 26 de mayo de 2011.

  
**Jorge Armando Flores García**

Guatemala, Mayo de 2010.

Ingeniero

Cesar Ernesto Urquizu Rodas

Director de la Escuela

Ingeniería Mecánica Industrial

Universidad de San Carlos de Guatemala

Presente

Ingeniero Urquizu:

Me es grato dirigirme a usted para considerarle mi aprobación al trabajo de graduación titulado: **“Optimización de generación y consumo de electricidad, mediante tecnologías complementarias, torres de telecomunicaciones ubicadas fuera de la red eléctrica nacional”**, del estudiante Jorge Armando Flores García previo a optar el título de Ingeniero Industrial.

El Estudiante ha realizado un estudio en el cual es accesible al lector, por lo que me permito recomendar su trámite, por que cumple con los objetivos planteados originalmente.

Atentamente,



Inga. Flor de Mayo González Miranda

Asesora de Trabajo de Graduación

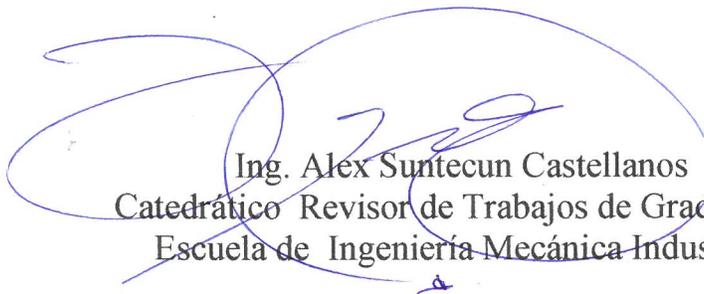
Colegiado No. 6070



REF.REV.EMI.085.016

Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **OPTIMIZACIÓN DE GENERACIÓN Y CONSUMO DE ELECTRICIDAD MEDIANTE TECNOLOGIAS COMPLEMENTARIAS, EN TORRES DE TELECOMUNICACIONES UBICADAS FUERA DE LA RED ELÉCTRICA NACIONAL**, presentado por el estudiante universitario **Jorge Armando Flores García**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

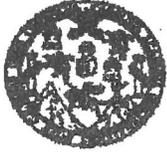
  
Ing. Alex Suntecun Castellanos  
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, junio de 2016.

/mgp

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

REF.DIR.EMI.060.019

El Director de la Escuela de 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 Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación titulado **OPTIMIZACIÓN DE GENERACIÓN Y CONSUMO DE ELECTRICIDAD MEDIANTE TECNOLOGÍAS COMPLEMENTARIAS, EN TORRES DE TELECOMUNICACIONES UBICADAS FUERA DE LA RED ELÉCTRICA NACIONAL**, presentado por el estudiante universitario **Jorge Armando Flores García**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Ing. Cesar Ernesto Urquiza Rodas  
DIRECTOR a.i.

Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, abril de 2019.

/mgp

Universidad de San Carlos  
De Guatemala

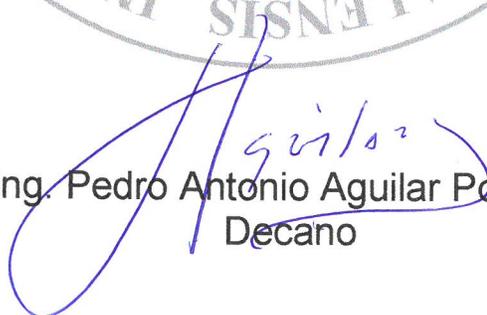


Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. DTG.194-2019

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial del trabajo de graduación titulado: **"OPTIMIZACIÓN DE GENERACIÓN Y CONSUMO DE ELECTRICIDAD MEDIANTE TECNOLOGÍAS COMPLEMENTARIAS, EN TORRES DE TELECOMUNICACIONES UBICADAS FUERA DE LA RED ELÉCTRICA NACIONAL"**, presentado por el estudiante: **Jorge Armando Flores García** después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano



Guatemala, Abril de 2019

/echm •

## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por darme la oportunidad de alcanzar esta meta y permitirme llegar a ella con mi familia.
<b>Mis padres</b>	Por darme siempre sus consejos y apoyo, porque así hacen posible este y todos los éxitos que tenga en la vida.
<b>Mis hermanos</b>	Por la ayuda, apoyo y paciencia que tuvieron conmigo en todo momento.
<b>Mi familia</b>	A mis abuelos, mis tías y tíos. Gracias a su apoyo y cariño me fue posible alcanzar este triunfo.
<b>Mis amigos</b>	Por brindarme su compañía y ayuda de manera incondicional.
<b>Mi novia</b>	Por haberme impulsado y darme ánimos para terminar este viaje.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser una influencia importante en mi educación y mi desarrollo laboral.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por haberme enseñado tanto e inculcado valores que desenvuelvo a diario en mi vida.
<b>Mis padres y hermanos</b>	Por la ayuda y apoyo necesarios para culminar mi carrera.
<b>Ingeniera Flor de Mayo</b>	Por su confianza, guía y consejos brindados durante la elaboración de este trabajo de graduación.
<b>Personal de Prequind</b>	Por su colaboración con la elaboración de los estudios de este trabajo de graduación.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	VII
GLOSARIO.....	IX
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
INTRODUCCIÓN.....	XV
1. ANTECEDENTES GENERALES.....	1
1.1. La empresa.....	1
1.2. Historia.....	1
1.3. Ubicación.....	1
1.4. Valores.....	2
1.5. Misión.....	3
1.6. Visión.....	3
1.7. Organigrama.....	4
1.8. Electricidad.....	4
1.9. Tipos de alimentación eléctrica.....	5
1.10. Generadores eléctricos.....	8
1.10.1. Tipos de generadores eléctricos.....	8
1.11. El petróleo y sus derivados en el mercado mundial.....	9
1.12. Telecomunicaciones en Guatemala.....	10
1.13. Telefonía celular en Guatemala.....	11
1.14. Red celular.....	13
1.15. Torres de telecomunicación.....	14
1.16. Mantenimiento.....	15

2.	SITUACIÓN ACTUAL DE LAS EMPRESAS DE TELEFONÍA CELULAR EN GUATEMALA .....	17
2.1.	Expansión de las redes celulares en Guatemala .....	17
2.2.	Nuevas tecnologías celulares .....	18
2.3.	Integración de poblaciones remotas por medio de telefonía celular.....	19
2.4.	Antenas de telecomunicación fuera del área de cobertura eléctrica.....	19
2.5.	Ventajas de brindar cobertura celular en áreas rurales remotas ....	20
2.6.	El crecimiento de la demanda por servicios celulares en Guatemala.....	21
2.7.	Desventajas de sitios celulares remotos.....	21
2.8.	Sistemas de mantenimiento de sitios celulares .....	22
2.9.	Sistemas de abastecimiento .....	23
2.10.	Funcionamiento del sistema .....	23
2.11.	Beneficios del sistema.....	23
2.12.	Análisis del sitio .....	24
3.	PROPUESTA PARA OPTIMIZAR EL CONSUMO DE ENERGÍA .....	25
3.1.	Descripción del nuevo sistema .....	25
3.2.	Análisis técnico de la propuesta .....	27
3.3.	Datos técnicos de las celdas celulares .....	28
3.4.	Conclusiones del análisis técnico .....	28
3.5.	Conclusiones definitivas del análisis técnico .....	34
3.6.	Análisis económico de la propuesta .....	34
3.7.	Análisis de punto de equilibrio .....	36
3.8.	Análisis costo beneficio .....	42
3.9.	Dictamen de la propuesta.....	43

4.	IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA .....	45
4.1.	Planificación de sitio modelo .....	45
4.2.	<i>Site Survey</i> de celda modelo .....	45
4.3.	Logística de implementación de la celda modelo .....	45
4.4.	Implementación en celda modelo.....	46
4.5.	Mediciones de celda modelo.....	46
4.6.	Análisis de mediciones.....	47
4.7.	Verificación de análisis técnico teórico.....	48
4.8.	Verificación de análisis económico teórico .....	49
4.9.	Verificación de análisis costo beneficio .....	49
4.10.	Verificación de análisis punto de equilibrio.....	50
4.11.	Dictamen de propuesta verificada.....	50
4.12.	<i>Site Survey</i> de sitios por instalar .....	51
4.13.	Implementación en sitios remotos .....	51
4.14.	Mediciones de sitios instalados .....	51
5.	MEJORA CONTINUA.....	53
5.1.	Análisis de mediciones de sitios instalados.....	53
5.2.	Interpretación de los resultados .....	53
5.3.	Auditoría interna de los sitios .....	53
5.4.	Auditoría externa de la telefónica .....	54
5.5.	Análisis costo beneficio.....	54
5.6.	Revisión del diseño.....	54
5.7.	Propuestas para la mejora del diseño .....	54
5.8.	Futuras mejoras .....	55
5.9.	Pruebas de celdas solares .....	55
5.10.	Mediciones de sitio de celdas solares .....	56
5.11.	Proyecciones para el futuro .....	58

6.	AMBIENTE .....	61
6.1.	Leyes ambientales que regulan las antenas de telecomunicaciones .....	61
6.2.	Impacto ambiental de las antenas de telecomunicación .....	61
6.3.	Radiaciones emitidas por las antenas celulares .....	61
6.4.	Emisiones sonoras causadas por generadores eléctricos .....	66
6.5.	Emisiones causadas por los motores diésel .....	66
6.6.	Huella de carbono de los motores diésel .....	66
6.7.	Impacto en la huella de carbono del sistema de ahorro .....	67
6.8.	Impacto en la contaminación sonora de los generadores .....	67
6.9.	Interpretación del impacto en el ambiente del sistema a nivel nacional.....	68
	CONCLUSIONES .....	69
	RECOMENDACIONES .....	71
	BIBLIOGRAFÍA .....	73
	APÉNDICES .....	75
	ANEXOS .....	77

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Organigrama de la empresa .....	4
2.	Costos acumulados con moto generador 24*365 .....	38
3.	Costos acumulados del sistema No. 1.....	39
4.	Costos de operación moto generador 24*24 y del sistema 1 .....	40
5.	Costos acumulados sistema No. 2 .....	41
6.	Costos de operación moto generador 24*24 y del sistema 2.....	42
7.	Punto de equilibrio revisado .....	50
8.	Costos acumulados solución solar .....	57
9.	Costos acumulados de sistema 3 y del sistema actual .....	57
10.	Comparación de los 4 sistemas.....	58

### TABLAS

I.	Penetración de celulares en Guatemala hasta junio de 2010 .....	13
II.	Cálculo de energía de los bancos de baterías.....	30
III.	Cálculo de energía 70 % de los bancos de baterías.....	30
IV.	Tiempo de consumo.....	31
V.	Tiempo de recarga de los bancos de baterías.....	32
VI.	Tiempo de ciclo de los bancos de baterías.....	32
VII.	Numero de ciclos por año.....	33
VIII.	Cálculo de ciclos por día de los bancos de baterías .....	33
IX.	Costos de operación de moto generador bajo esquema actual .....	35
X.	Costos de instalación de los bancos de baterías .....	36

XI.	Tabla resumen de costos de operación del sitio 1 .....	37
XII.	Tabla resumen de costos de operación del sitio 2 .....	43
XIII.	Cuadro resumen de primera lectura sitio modelo .....	47
XIV.	Cuadros resumen de segunda y tercera lectura.....	48
XV.	Cuadro de relación beneficio / costo .....	49
XVI.	Porcentajes de tiempo de funcionamiento por sitio .....	52
XVII.	Costos acumulados de opción solar contra el tiempo .....	56

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>AH</b>	Amperios por hora
<b>kg</b>	kilogramo
<b>Kw</b>	Kilo wat
<b>Kwh</b>	Kilo wat por hora
<b>m</b>	Metro
<b>Mbps</b>	Mega bytes por segundo



## GLOSARIO

<b>Amperio</b>	Cantidad de corriente que existe cuando un número de electrones con una carga total de un culombio (1 C) se mueve a través de un área de sección transversal determinado, de un cable conductor, en un segundo
<b>Bancos de baterías</b>	Se refiere a un grupo de baterías conectadas entre sí para almacenar y entregar cantidades más grandes de energía.
<b>Baterías</b>	Dispositivos químicos diseñados para almacenar energía eléctrica.
<b>BTS</b>	BTS (radiobase) equipo de telecomunicaciones encargado de emitir señales de telefonía haciendo la conexión entre los usuarios y la red de telefonía celular.
<b>Celdas fotovoltaicas</b>	Dispositivo electrónico que permite transformar la energía luminosa (fotones) en energía eléctrica (electrones) mediante el efecto fotovoltaico.
<b>COCODE</b>	Comité Comunitario de Desarrollo. Grupo designado en las comunidades para velar qué tipos de estructuras y empresas pueden instalarse en ellas.

<b>Decibel</b>	Unidad de medida utilizada para el nivel de potencia y el nivel de intensidad del ruido.
<b>Energía solar</b>	Sistemas que convierten la energía que brinda el sol en energía eléctrica.
<b>Huella de carbono</b>	Cantidad de CO2 que emite un sistema.
<b>Inversor cargador</b>	Dispositivo eléctrico que convierte energía DC en AC y viceversa con el propósito de cargar un banco de baterías o utilizar la carga de las baterías en un sistema eléctrico.
<b>Moto generador</b>	Dispositivo eléctrico mecánico que convierte energía mecánica extraída de un proceso de carburación en energía eléctrica.
<b>Red celular</b>	Conjunto de elementos que permite a los celulares integrarse a la red de telefonía nacional.
<b>Torres de telecomunicaciones</b>	Antenas que permiten dar señal a los celulares.
<b>Voltio</b>	Diferencia de potencial a lo largo de un conductor cuando una corriente con una intensidad de un amperio utiliza un vatio de potencia.

## RESUMEN

El presente trabajo de graduación estudia la implementación de un sistema de ahorro de energía en sitios de torres celulares que no cuentan con conexión a la red eléctrica nacional. Describe los principios según los cuales funciona y los retos tecnológicos y económicos que se tuvieron en su desarrollo.

Estudia la viabilidad y la practicidad de la instalación de un sistema que almacenará energía generada en exceso por el generador que se tiene en los sitios y que después devolverá al sistema, generando ahorros en energía, costos de mantenimiento, combustible y reducciones en las huellas de carbono y de sonido del sitio.

Este demuestra que en el campo el comportamiento del sistema sufre afectaciones debido a la variedad climática del país. Se demuestra también que a pesar de no llegar a los niveles esperados teóricamente el ahorro que se genera es sustancial y que gracias a su funcionamiento se obtuvieron otros beneficios como una reducción en la huella de ruido de los sitios, lo cual beneficia las relaciones entre la telefónica y las poblaciones, y da mayor vida útil para los motores generadores de los sitios al tener que funcionar menos horas por día. Se demuestra que este sistema tiene un efecto significativo en la huella de carbono de la empresa al reducir su consumo de carburantes.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Implementar un sistema que optimice la generación de electricidad mediante tecnologías complementarias en las torres de telecomunicaciones fuera de la cobertura de la red eléctrica nacional para optimizar la operación y mantenimiento de los mismos.

### **Específicos**

1. Determinar, cómo los cambios en los precios de los combustibles afectan a las empresas de telecomunicaciones.
2. Evaluar, mediante estudios económicos, la viabilidad de implementar el sistema de almacenamiento eléctrico.
3. Calcular estadísticamente el impacto que tendría la implementación de un sistema de esta naturaleza a nivel de toda la república con el propósito de ahorrar combustibles.
4. Determinar el impacto ambiental del uso de este sistema a nivel nacional.
5. Delimitar el beneficio económico de la implementación de este sistema.
6. Disponer mediante un estudio técnico, del ciclo óptimo de funcionamiento del sistema.



## INTRODUCCIÓN

En la actualidad los precios del petróleo, el calentamiento global, la búsqueda de empresas verdes, la alta competencia en el mercado económico y la búsqueda de optimizar costos es un reto que toda empresa debe asumir. En Guatemala las empresas de telecomunicaciones están en un mercado donde la competencia es muy fuerte y por lo mismo deben expandir sus áreas de servicio constantemente alcanzando nuevos clientes y brindando a los existentes mejores servicios. Basado en estas necesidades se buscan constantemente proyectos que permitan una operación más eficiente para atacar estos problemas.

Este trabajo de graduación, demuestra cómo se puede optimizar el uso de los recursos petroleros y reducir costos mediante el uso de tecnologías que permitan un mejor aprovechamiento de los equipos de generación eléctrica. Además, hay que destacar la ayuda que brinda a la no contaminación del ambiente y por el lado económico, reduce el consumo de combustible para la producción eléctrica.



# **1. ANTECEDENTES GENERALES**

## **1.1. La empresa**

Prequind es la empresa de tecnología responsable de la implementación de este sistema pionero en Guatemala. Implementaciones de este tipo nunca se han llevado a cabo en el país o en Centroamérica.

## **1.2. Historia**

Fundada en 1998, Prequind empieza como una pequeña empresa de informática. Conforme evoluciona el mercado amplía su catálogo de servicios para incluir soluciones de seguridad, en 2004 empieza con trabajos de sistemas de control de acceso, sistemas de garitas automáticas y vigilancia de circuito cerrado.

En 2008 empieza sus proyectos en el área de energía, impulsada por los requerimientos de los clientes; utilizando sus conocimientos en las áreas de electricidad y telecomunicaciones. Ha ampliado sus actividades para incluir soluciones energéticas solares y de bancos de baterías, mercado donde aumentan año con año su participación.

## **1.3. Ubicación**

Prequind es una empresa Guatemalteca cuyas instalaciones se encuentran ubicadas en Vista Hermosa I, zona 15, Guatemala, Guatemala.

#### **1.4. Valores**

- Integridad: realizar todas las actividades de manera transparente e imparcial, actuando en todo momento de manera justa e intachable con rectitud y congruencia conforme a los principios y normas de honradez y moral, sin incurrir en actos ilícitos, aportando y contribuyendo con la sociedad en la lucha contra la corrupción en todas sus formas.
- Servicio de excelencia: servir a las partes interesadas oportunamente con amabilidad y cortesía, siempre tratando de resolver sus problemas y necesidades, asegurando una comunicación eficaz, clara y permanente.
- Profesionalismo y superación personal: actuar siempre comprometidos en la aplicación de conocimientos, realizando el trabajo con responsabilidad y seriedad, apegados a los propios procedimientos y lineamientos, buscando siempre la certeza y excelencia en los resultados.
- Productividad y liderazgo: administrar eficientemente los recursos para el logro de los objetivos. Trabajar enfocados a cumplir con la planeación establecida, haciendo las cosas bien a la primera, sin cometer errores ni generar desperdicios. Ser reconocidos por las partes interesadas como la mejor opción en todos los servicios que se proporciona, por la actitud, conocimiento y capacidad para responder de manera positiva a los retos que se presenten.
- Trabajo en equipo y creatividad: fomentar e impulsar el trabajo colaborativo y multidisciplinario con la participación activa de todos los integrantes de la entidad. El trabajo en equipo se realiza en un ambiente

de compañerismo, motivando la aportación de propuestas de todos para el logro de nuestros objetivos, con innovación, imaginación y compromiso en la búsqueda de alternativas que nos permitan desarrollar día a día la mejora continua.

- Respeto: tratar a todas las personas con amabilidad y cortesía, siendo siempre considerados y empáticos. Escuchar y comprender las necesidades e inquietudes de las personas con las que se trata, dando lo mejor para lograr siempre relaciones de armonía y compañerismo. Reconocer las diferencias entre las personas y brindarles un trato imparcial, ecuánime y adecuado a sus circunstancias, siempre en apego a las propias políticas y procedimientos.

### **1.5. Misión**

Brindar soluciones energéticas, de seguridad y tecnología que ayuden a acelerar los negocios de los clientes, impulsados por el incremento en la demanda de electrónicos. Los productos de Prequind son más inteligentes, más pequeños y más versátiles, prestan soluciones de calidad en los diferentes ámbitos donde la empresa se desenvuelve.

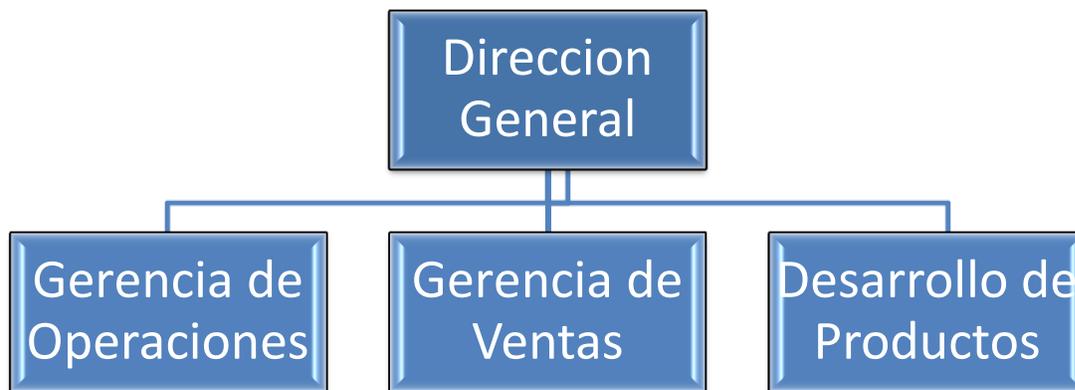
### **1.6. Visión**

Alcanzar la posición de líderes y tener la más alta consideración del mercado en la industria regional, en satisfacción de compra y posesión de los productos y servicios.

## 1.7. Organigrama

Por la naturaleza de la empresa, que es mayoritariamente de servicios, su organigrama no presenta un gran número de escalones, está dividido en tres gerencias

Figura 1. Organigrama de la empresa



Fuente: elaboración propia.

## 1.8. Electricidad

La electricidad es originada por las cargas eléctricas, en reposo o en movimiento, y las interacciones entre ellas. Cuando varias cargas eléctricas están en reposo relativo, se ejercen entre ellas fuerzas electrostáticas. Cuando las cargas eléctricas están en movimiento relativo se ejercen también fuerzas magnéticas. Se conocen dos tipos de cargas eléctricas: positivas y negativas. Los átomos que conforman la materia contienen partículas subatómicas positivas (protones), negativas (electrones) y neutras (neutrones).

También hay partículas elementales cargadas que en condiciones normales no son estables, por lo que se manifiestan solo en determinados procesos como los rayos cósmicos y las desintegraciones radiactivas. Es la base del funcionamiento de muchas máquinas, desde pequeños electrodomésticos hasta sistemas de gran potencia como los trenes de alta velocidad, y de todos los dispositivos electrónicos.

Se denomina corriente eléctrica al flujo de carga eléctrica a través de un material sometido a una diferencia de potencial. Históricamente, se definió como un flujo de cargas positivas y se fijó el sentido convencional de circulación de la corriente como un flujo de cargas desde el polo positivo al negativo. Sin embargo, posteriormente se observó, gracias al efecto Hall, que en los metales los portadores de carga son electrones, con carga negativa, y se desplazan en sentido contrario al convencional. "La corriente eléctrica define los tipos de alimentación eléctrica que hay".<sup>1</sup>

### **1.9. Tipos de alimentación eléctrica**

La alimentación eléctrica existe basada en dos tipos de corriente, la corriente continua y la corriente directa.

Se denomina corriente continua (CC en español, en inglés DC, de *Direct Current*) al flujo de cargas eléctricas que no cambia de sentido con el tiempo. La corriente eléctrica a través de un material se establece entre dos puntos de distinto potencial. Cuando hay corriente continua, los terminales de mayor y menor potencial no se intercambian entre sí. Es errónea la identificación de la corriente continua con la corriente constante (ninguna lo es, ni siquiera la

---

<sup>1</sup>Springer. *Life's Solution: inevitable Humans in a Lonely Universe*. p.15

suministrada por una batería). Es continua toda corriente cuyo sentido de circulación es siempre el mismo, independientemente de su valor absoluto.

Su descubrimiento se remonta a la invención de la primera pila voltaica por parte del conde y científico italiano Alessandro Volta. No fue hasta los trabajos de Edison sobre la generación de electricidad, en las postrimerías del siglo XIX, cuando la corriente continua comenzó a emplearse para la transmisión de la energía eléctrica.

Ya en el siglo XX este uso decayó en favor de la corriente alterna, que presenta menores pérdidas en la transmisión a largas distancias, si bien se conserva en la conexión de redes eléctricas de diferentes frecuencias y en la transmisión a través de cables submarinos. Desde 2008 se está extendiendo el uso de generadores de corriente continua a partir de células fotoeléctricas que permiten aprovechar la energía solar.

Cuando es necesario disponer de corriente continua para el funcionamiento de aparatos electrónicos, se puede transformar la corriente alterna de la red de suministro eléctrico mediante un proceso, denominado rectificación, que se realiza con unos dispositivos llamados rectificadores, basados en el empleo de diodos semiconductores o tiristores.

Se denomina corriente alterna (simbolizada CA en español y AC en inglés, de *Alternating Current*) a la corriente eléctrica en la que la magnitud y dirección varían cíclicamente. La forma de onda de la corriente alterna más comúnmente utilizada es la de una onda senoidal. En el uso coloquial, "corriente alterna" se refiere a la forma en la cual la electricidad llega a los hogares y a las empresas.

El sistema usado hoy en día fue ideado fundamentalmente por Nikola Tesla, y la distribución de la corriente alterna fue comercializada por George Westinghouse. Otros que contribuyeron al desarrollo y mejora de este sistema fueron Lucien Gaulard, John Gibbs y Oliver Challenger entre 1881 y 1889.

La corriente alterna superó las limitaciones que aparecían al emplear la corriente continua (CC), la cual constituye un sistema ineficiente para la distribución de energía a gran escala debido a problemas en la transmisión de potencia. La razón del amplio uso de la corriente alterna, que minimiza los problemas de transmisión de potencia, viene determinada por su facilidad de transformación, cualidad de la que carece la corriente continua. La energía eléctrica transmitida viene dada por el producto de la tensión, la intensidad y el tiempo.

Dado que la sección de los conductores de las líneas de transporte de energía eléctrica depende de la intensidad, se puede, mediante un transformador, modificar el voltaje hasta altos valores (alta tensión), disminuyendo en igual proporción la intensidad de corriente. Esto permite que los conductores sean de menor sección y, por tanto, de menor costo; además, minimiza las pérdidas por efecto Joule, que dependen del cuadrado de la intensidad.

”Una vez en el punto de consumo o en sus cercanías, el voltaje puede ser de nuevo reducido para permitir su uso industrial o doméstico de forma cómoda y segura”.<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup>PURCEL, Edward M. *Google Books*.  
<http://books.google.com.gt/books?id=zAHCeKH4RYUC&lpg>. Consulta: 1 de abril 2011.

## **1.10. Generadores eléctricos**

Un generador eléctrico es todo dispositivo capaz de mantener una diferencia de potencial eléctrico entre dos de sus puntos, llamados polos, terminales o bornes. Los generadores eléctricos son máquinas destinadas a transformar la energía mecánica en eléctrica. Esta transformación se consigue por la acción de un campo magnético sobre los conductores eléctricos dispuestos sobre una armadura (denominada también estator). Si mecánicamente se produce un movimiento relativo entre los conductores y el campo, se generará una fuerza electromotriz (F.E.M.). Están basados en la ley de Faraday.

Un generador es una máquina eléctrica que realiza el proceso inverso que un motor eléctrico, el cual transforma la energía mecánica en energía eléctrica. "Aunque la corriente generada es corriente alterna, puede ser rectificadas para obtener una corriente continua".<sup>3</sup>

### **1.10.1. Tipos de generadores eléctricos**

Generador eléctrico de una fase es una máquina que genera una corriente eléctrica alterna (cambia periódicamente de sentido), haciendo girar un imán permanente cerca de una bobina.

Usando este principio se producen diferentes tipos de generador basados en la fuente del movimiento para el imán; Los generadores entonces se dividen en base a qué causa el movimiento:

---

<sup>3</sup>MARTÍNEZ, Greiliany. *Las máquinas eléctricas*. [www.monografias.com/trabajos93/las-maquinas-electricas/las-maquinas-electricas.shtml](http://www.monografias.com/trabajos93/las-maquinas-electricas/las-maquinas-electricas.shtml). Consulta: 1 de abril 2011.

- Químicos: utilizan reacciones químicas para causar fuerzas que propician el movimiento, los motores de combustión interna caen dentro de esta división.
- Térmicos: utilizando fuentes de calor naturales utilizan intercambiadores de calor para generar potencia.
- Mecánicos: utilizan la fuerza de movimiento de fluidos para generar potencia, las turbinas eólicas y las turbinas hidroeléctricas caen en esta categoría.

### **1.11. El petróleo y sus derivados en el mercado mundial**

El petróleo es aún una de las fuentes de energía más importantes. De acuerdo con el último informe de la Agencia Internacional de Energía (AIE), este combustible fósil representa la principal fuente de energía primaria, seguida del carbón, el gas natural, los combustibles renovables y la energía nuclear. El petróleo mueve el mundo. Más de la mitad se utiliza para el transporte (57,2 %), la cuarta parte se destina a las actividades industriales (25,0 %) y el resto a otros sectores económicos.

El petróleo y sus derivados se utilizan para la movilización de vehículos de combustión interna, para el funcionamiento de hornos y calderas industriales, generación de energía eléctrica, la fabricación de velas, ceras para pisos, fósforos, plástico, pinturas, resinas, poliéster, detergentes, insecticidas, asfaltos y/o mejoramiento de carreteras, entre otros.

Las existencias de petróleo resultan entonces estratégicas para el crecimiento económico, y el control sobre su producción y comercialización, ha sido históricamente motivo de disputas entre las naciones; especialmente porque los países que cuentan con las mayores reservas petrolíferas no son

quienes más hacen uso de este combustible. Por el contrario, el 63,3 % de las reservas mundiales identificadas están ubicadas en Medio Oriente, región que consume solo 5,9 % del petróleo producido a nivel mundial. El resto se distribuye casi uniformemente en América del Norte, África, Europa y Eurasia, Sur y Centroamérica, y Asia del Pacífico.

Debido a esta distribución, los precios del petróleo son sujetos a la disponibilidad de la producción de los países con reservas grandes en su poder. En los últimos años se ha visto una marcada tendencia en el aumento de los precios del petróleo y sus derivados a nivel mundial. Esta tendencia ha impactado de gran manera a todo el mercado mundial fomentando la búsqueda de alternativas a su consumo.

#### **1.12. Telecomunicaciones en Guatemala**

El ente regulador de las empresas de telecomunicaciones en el país es el Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda de Guatemala. Actualmente se cuenta con dos modalidades de telefonía, la telefonía fija la cual consiste en una línea física que conecta un domicilio a la red de telefonía nacional y los servicios de telefonía celular.

Hasta 1997, el mercado de telefonía fija era dominado por un único operador estatal; conocido como Guatel, únicamente logró instalar 240000 líneas en el período 1974-1997. Como parte del proceso de privatización de empresas públicas, el 80 % de los clientes de Guatel, pasó en 1997 a manos de Telecomunicaciones de Guatemala (Telgua).

La empresa aún opera ofreciendo básicamente servicios al Estado y en determinadas áreas del país. En 1997, con la apertura total del mercado de

telecomunicaciones; se dio el ingreso de al menos 20 operadores en los años siguientes, operadores que se han reducido por fusiones, integraciones, compras, y ventas por parte de algunos operadores, los más importantes con servicios comerciales son:

Telecomunicaciones de Guatemala (TELGUA), pertenece al operador internacional América Móvil con sede en México; actualmente es el mayor operador de telecomunicaciones fijas del país con más de 800 mil clientes.

Telefónica de Guatemala, perteneciente al operador internacional Telefónica con sede en España; es actualmente el segundo mayor operador de telecomunicaciones fijas del país con poco más de 200 mil clientes.

Cablenet, es el tercer mayor operador de telefonía fija en el país, sobrepasando los 100 mil clientes activos.

Comunicaciones Celulares, más conocido por su marca de servicios móviles TIGO, es el cuarto operador en usuarios de telefonía fija, superando los 60 mil clientes activos.

Al 30 de junio de 2006, el mercado de telefonía fija de Guatemala alcanzaba 1209354 líneas instaladas, cantidad que ha sido superada alcanzando 1436750 líneas instaladas al 30 de junio de 2008.

### **1.13. Telefonía celular en Guatemala**

En 1989, se dio por iniciado el mercado de telefonía móvil en Guatemala; con la concesión de la banda B en 800 MHz, Comunicaciones Celulares

(COMCEL/Tigo) inició operaciones en la ciudad de Guatemala, extendiéndolas en los próximos años a varias ciudades importantes del país.

En 1997, con la apertura del mercado de telecomunicaciones y la subasta de espacio en la frecuencia de 1 900 mhz, se dio el ingreso de varios operadores internacionales. En 1998, Telecomunicaciones de Guatemala de América Móvil y Telefónica de Guatemala de Telefónica, se adjudicaron licencias en la frecuencia 1900; iniciando operaciones en 1999 bajo las marcas PCS Digital y Telefónica MoviStar, respectivamente. En el mismo año, Tigo (en ese entonces COMCEL) lanzó el primer servicio prepago del país, cobrando llamadas salientes y entrantes.

En 1999, Bellsouth Internacional se adjudicó la cuarta licencia para servicios móviles nacionales; iniciando operaciones en 2000. En 2003, el operador salvadoreño Digicel (hoy parte de *Digicel Group*) se adjudicó la quinta licencia de servicios móviles en la frecuencia 900 MHz, el operador no ha iniciado operaciones. En el mismo año se adjudicó una sexta licencia de servicios móviles en la frecuencia de 800 MHz a una empresa local sin que esta haya iniciado operaciones.

En 2004, con la adquisición de 10 operaciones de Bellsouth Internacional por parte de Telefónica Internacional, Bellsouth Guatemala pasó a manos de Telefónica de Guatemala, siendo conocidas desde marzo de 2005 con la marca conjunta MoviStar. En septiembre de 2006, PCS Digital cambió su nombre a Claro como parte de un proceso de integración de marcas en Centroamérica, emprendido por su matriz América Móvil.

Hasta junio de 2010 la penetración de las empresas celulares en Guatemala era de la siguiente manera:

Tabla I. **Penetración de celulares en Guatemala hasta junio de 2010**

<b>Empresa</b>	<b>Marca</b>	<b>No. usuarios</b>
América Móvil	Claro	6 280 000
Millicom, S.A.	Tigo	7 110 342
Telefónica	MoviStar	4 181 553

Fuente: elaboración propia.

#### **1.14. Red celular**

La red celular es el conjunto de elementos que permite integrar las terminales de los usuarios finales a una red a nivel nacional para realizar llamadas entre terminales y a la red de telefonía fija. La red celular está compuesta por los siguientes elementos.

- **Core:** el núcleo de la red la parte física fija encargada de la conexión de llamadas.
- **Interconexión:** es la parte de la red que comunica las torres de celulares con el núcleo, sus componentes principales son las RNC y las BSC.
- **Acceso:** es la parte que permite que las terminales de los usuarios se conecten a la red. Está compuesta por las torres de telefonía celular y el equipo que estas contienen.
- **Terminales:** son los dispositivos de comunicación del usuario final como los teléfonos celulares y los módems celulares.

### 1.15. Torres de telecomunicación

Las torres de telecomunicación son parte vital de la red de telecomunicaciones, contienen los equipos que hacen llegar la señal a diferentes partes del territorio de cobertura. En las torres se encuentran las BTS que son los equipos que brindan la señal para las redes de tecnología GSM (2G) y los Nodos B que son los encargados de brindar la señal a la red UMTS (3G).

Los sitios de torre, aunque tienen diferentes configuraciones, cuentan por lo general, con el siguiente equipamiento:

- Torre celular: torre de acero con diferentes configuraciones:
  - Autosostenido: tienen una estructura de 3 o 4 patas las cuales forman una figura piramidal con tubería que las interconecta. La elevación de esta varía desde 15 metros hasta 60 metros dependiendo del área en donde sea instalada y el nivel de cobertura que se espera que el equipo tenga.
  - Monopolo: como su nombre lo indica es una torre diseñada como un tubo vacío, su altura puede llegar a ser de 12 metros y está diseñada para áreas urbanas por sus bajos requerimientos de espacio así como su capacidad de ser disfrazada como árboles o postes de luz y así evitar ser contaminación visual.
  - Shelter de transmisión: es un pequeño cuarto o incluso puede ser un gabinete dependiendo de la cantidad de equipo que se tenga instalado en el sitio, ahí se instalan todos los equipos necesarios para el funcionamiento de la torre equipo BTS, Nodo B, equipo

ETX así como radios de microondas que se requieren para la transmisión.

- Motogenerador: equipo de generación de electricidad utilizado para respaldo energético en áreas que cuentan con conexión a la red eléctrica nacional o como generador primario de energía en los sitios que no cuentan con esta. Al lado del generador se instala también un depósito de combustible con capacidades de 200 a 800 galones dependiendo del uso que se le vaya a dar y lo difícil del acceso al sitio.

En la mayoría de sitios que cuentan con suministro eléctrico, el moto generador es reemplazado por un banco de baterías ya que solo funcionan como respaldo de corto plazo.

#### **1.16. Mantenimiento**

Las torres de telecomunicaciones necesitan diferentes tipos de mantenimiento, mantenimiento a la infraestructura, a la electrónica y al equipo eléctrico. Los segundos son más caros debido a que necesitan personal más especializado para brindar estos servicios.

Hay torres de telecomunicaciones que utilizan moto generadores y que necesitarán también que se realice mantenimiento, ya que son básicamente grandes motores diésel, que deberían ser revisados cada cierto número de horas de trabajo, además de darles el abastecimiento de combustible, lo cual eleva los costos de mantenimiento y operación.



## **2. SITUACIÓN ACTUAL DE LAS EMPRESAS DE TELEFONÍA CELULAR EN GUATEMALA**

### **2.1. Expansión de las redes celulares en Guatemala**

Actualmente en Guatemala se está viviendo un auge de las telecomunicaciones celulares, su relativo bajo costo de implementación y de uso hacen que se vuelva el método preferido de comunicación entre la población. Esto a su vez causa que los niveles de cobertura sean cada vez más amplios para alcanzar nuevos nichos de mercado y brindar cobertura en áreas que anteriormente no la tenían.

Estas expansiones están motivadas por el agresivo mercado en el cual a mayor cobertura, mayor base de clientes y mayor fidelidad de los mismos ya que en cualquier punto del territorio estos esperan utilizar su terminal con los mismos niveles de confiabilidad que en la ciudad capital y sus áreas aledañas.

Las empresas de telecomunicaciones se ven forzadas entonces año con año ampliar su área de cobertura y reforzarla para que los niveles de servicio sean lo más estables y con los mayores estándares posibles. Esto significa instalar más sitios o más equipo en sitios ya existentes, ya que la tecnología celular sufre del defecto que para tener servicios con mayor potencia y mayor calidad, cada nueva tecnología cubre áreas más pequeñas.

Con la creciente popularidad del internet, los medios de comunicación por texto y las redes sociales, los clientes son cada vez más sabios respecto de tecnología y exigen servicios más rápidos en áreas más remotas y que no

fallen, lo cual obliga a las empresas a tener que realizar estas expansiones para no perder clientes.

## **2.2. Nuevas tecnologías celulares**

Con el advenimiento del 3G y 4G, el fenómeno de los Blackberry's la cobertura celular se vuelve cada vez más indispensable ya que permite que servicios que anteriormente estaban reservados únicamente para ambientes urbanos puedan ser disfrutados por personas en el área rural y las personas que en la urbe cuentan con dichos servicios quieren disponer de estos en cualquier punto del territorio, servicios como el internet inalámbrico, el chat, redes sociales. Esto facilitado por nuevas terminales más poderosas como los smartphones, los módems celulares así como computadoras portátiles con capacidades para usar telefonía celular.

En el futuro cercano se implementará la tecnología LTE la cual una vez más revolucionará el mercado, al brindar velocidades de transmisión de datos por celular que anteriormente eran reservadas solo para empresas brindando a los clientes hasta 10 Mbps en su celular o modem celular. Permiten la transmisión de video y audio en tiempo real al cliente en cualquier lugar.

Esta tecnología también tendrá un impacto fuerte, ya que la exige de las empresas que brindan el servicio tengan infraestructuras más grandes y accesos a internet de mucha más capacidad.

### **2.3. Integración de poblaciones remotas por medio de telefonía celular**

En los años anteriores a la expansión masiva de la telefonía celular las poblaciones remotas eran alcanzadas por líneas de cobre de telefonía fija, estas eran líneas sumamente caras debido a lo largo del tendido de cobre y las cuotas por minuto resultaban prohibitivas para las personas en las áreas rurales, esto causaba que en algunas poblaciones solamente un puñado de líneas fueran instaladas y fueran alquiladas para el uso de los vecinos.

Servicios como el internet de ancha banda estaban fuera del alcance de estas personas y solo ofrecido en áreas selectas del interior del país. Actualmente esto ha cambiado, la ampliación de la red celular permite que áreas donde anteriormente no había cobertura de línea de telefonía fija ahora llega la cobertura celular, ya que esta no necesita ningún cableado, lo cual lo vuelve una alternativa más económica.

A su vez, los precios de telefonía celular son estándar y por lo mismo el usuario en las áreas rurales tendrá un servicio al mismo precio que los usuarios en las áreas urbanas. Con el advenimiento del 3G también se puede brindar por celular servicios de internet de ancha banda permitiendo que áreas muy remotas puedan estar conectadas a cualquier otro punto sobre la tierra instantáneamente.

### **2.4. Antenas de telecomunicación fuera del área de cobertura eléctrica**

La expansión de la red celular Guatemalteca ha presentado retos para las compañías de telefonía celular. Uno de los más grandes es que para tener

mayor cobertura las antenas deben ser posicionadas en las cumbres de cerros y montañas para brindar la línea de vista más amplia posible. Esto entonces causa que en ocasiones las antenas estén ubicadas en áreas donde el tendido eléctrico nacional no ha llegado, sin embargo, para brindar cobertura en áreas remotas las empresas de telefonía celular deben ocupar estas áreas.

Al no tener acceso a la red eléctrica nacional las antenas deben recurrir a otros medios para cubrir su necesidad energética. La solución brindada actualmente es que en estos sitios se ocupa un moto generador que producirá la energía necesaria para hacer funcionar el sitio.

Esta solución no viene sin su serie de complicaciones, se necesita entonces para suplir de energía la instalación de un moto generador, un depósito de combustible para el mismo y los costos asociados a esta actividad ya que se tendrá que abastecer de combustible periódicamente el sitio y también se le deberá dar mantenimiento al motor.

De acuerdo con lo anterior el costo de operación de estos sitios se eleva, además del monitoreo que constantemente hay que efectuar ya que son sujetos de vandalismo o robo por lo remoto de su emplazamiento

## **2.5. Ventajas de brindar cobertura celular en áreas rurales remotas**

Para las empresas de telefonía celular es importante cubrir estas áreas ya que son oportunidades de negocios. Estas brindarán nuevos usuarios para sus servicios de telefonía e internet celular, también al brindar cobertura en estas áreas los usuarios que solo viajan ocasionalmente a estos puntos tendrán un valor agregado ya que no perderán la cobertura a pesar de que se alejen de sus

áreas habituales. Por ejemplo en áreas de descanso y lugares turísticos donde anteriormente era muy difícil encontrar medios de comunicación.

## **2.6. El crecimiento de la demanda por servicios celulares en Guatemala**

La baja en los precios de la telefonía celular ocasionados por la dura competencia de las empresas que ya están basadas en Guatemala así como la globalización ocasionan que las personas busquen estar “conectadas” al mundo en todo momento y que personas que anteriormente no necesitaban conexiones constantes a las áreas urbanas o a otras áreas rurales busquen estos servicios para abrir más oportunidades, tanto para negocios como en lo social.

Actualmente las personas buscan, que sin importar en qué lugar se encuentren, estos tengan acceso a las redes de comunicación, además de contar con a internet, correo electrónico y obviamente a llamadas telefónicas. Esto ha causado que en los 5 últimos años la cantidad de usuarios celulares ha aumentado en más de un 50 % y actualmente se estima que hay más de 10 millones de usuarios de servicios celulares en Guatemala, lo cual obliga a las empresas a tener que brindar servicios en la mayor área posible.

## **2.7. Desventajas de sitios celulares remotos**

Los sitios celulares remotos también presentan retos, por ejemplo la construcción se vuelve problemática, ya que los servicios de obra civil e instalación de equipos aumentan en costo conforme el sitio sea de más difícil acceso. Adicionalmente el aumento en los costos es directamente proporcional

a la distancia a la cual se encuentra el sitio por lo que mantenimiento, abastecimiento y seguridad aumentarían en valor también.

## **2.8. Sistemas de mantenimiento de sitios celulares**

Los sitios de celulares necesitan mantenimiento a sus estructuras y a sus equipos. Las estructuras tienen mantenimientos periódicos por lo que no se necesitará estar visitando el sitio repetidamente durante el año al menos que haya algún desastre natural que las dañe, sin embargo los equipos mecánicos y electrónicos necesitan mantenimiento constante y monitoreado. Los componentes electrónicos sufren por condiciones ambientales como el polvo, el calor y la humedad.

Aunado a esto se sufren de robos en los sitios por lo que hay que hacer visitas para reemplazar el equipo vandalizado o robado. Debido a esto las visitas a los sitios deben hacerse seguidas para verificar configuraciones o dar mantenimiento correctivo y preventivo a los equipos. Estas visitas aumentarán de costo conforme el acceso al sitio se complica.

Se tienen entonces dos tipos de mantenimientos, los mantenimientos preventivos, los cuales se realizan periódicamente y cuya labor es dar el cuidado necesario para que los equipos no fallen. El otro tipo de mantenimiento que se tiene es el correctivo, este consiste en el cambio de piezas falladas o robadas. No se planifica y el costo es mayor al preventivo ya que siempre responderá a un fallo en el sistema.

## **2.9. Sistemas de abastecimiento**

Los sitios remotos dependen de sistemas de abastecimiento de combustible. Debido a su dependencia del petróleo deben programarse visitas periódicas para re abastecer al sitio. Para esto se programan rutas con el fin de abastecer varios sitios en un solo trayecto y así optimizar costos. Las distancias que hay entre sitios hacen esta labor difícil así como el peso del combustible ya que un técnico solo podrá llevar una cantidad limitada de combustible en cada viaje.

Estas visitas por abastecimiento deben estar monitoreadas ya que brindarán información importante de cada sitio indicando la eficiencia del motor, si se están realizando robos de combustible que no sean detectados por los sistemas de seguridad y si el motor funciona correctamente.

## **2.10. Funcionamiento del sistema**

Para el abastecimiento de combustible la empresa ha montado unidades remotas que consisten en motoristas que acarrean el combustible a los sitios respectivos, los cuales tienen tanques de 500 galones. Este servicio debe ser llevado a cabo aproximadamente 3 veces al mes aunque algunos sitios necesitan más visitas debido al robo de combustible o que el sitio es tan remoto que las visitas se realizaran más esporádicamente para ahorrar costos.

## **2.11. Beneficios del sistema**

Este sistema permite la cobertura celular a áreas que anteriormente habían sido segregadas debido a su falta de infraestructura. Permite, a su vez, que las empresas de telecomunicaciones lleguen a clientes nuevos y que los

clientes que ya tienen el servicio tengan una cobertura que abarque la mayoría del territorio nacional sin interrupción.

## **2.12. Análisis del sitio**

Se visitó un sitio para ser utilizado como demostración, su distribución es la siguiente: (Ver anexo 1 diagrama sitio modelo).

La configuración del sitio consiste en una unidad de gabinete (BTS) esta unidad genera un consumo de energía de: 3,5 kWh. Incluye las balizas de la torre, los radios y otros dispositivos necesarios para la operación del sitio. Esta es una de las dos posibles configuraciones que existen en los sitios de esta empresa, la segunda es una distribución en la que se tienen 2 BTS en la cual se tendrá un consumo de 8 kWh. Estos datos de consumo fueron provistos por la empresa de Telecomunicaciones basados en un historial de consumo que la empresa analizó.

En ambos casos se utiliza un moto generador marca Armstrong que genera 22kW. Este equipamiento es estándar en los sitios aunque la marca del equipo puede variar. Debido a que los generadores no pueden modularse estos consumirán la misma cantidad de combustible y generarán la misma cantidad de energía todo el tiempo a pesar de que solo se utilice una porción de la misma, el consumo de combustible del moto generador es de 0,55 galones por hora de generación.

Este sobredimensionamiento obedece a la necesidad de robustez en el sistema y brinda el beneficio de que si se necesitase ampliar las capacidades de transmisión del sitio este tiene la suficiente holgura como para acomodar dicha ampliación.

### **3. PROPUESTA PARA OPTIMIZAR EL CONSUMO DE ENERGÍA**

#### **3.1. Descripción del nuevo sistema**

La propuesta consiste en un sistema que aprovecha el superávit de energía, lo almacena y luego lo devuelve al sistema para su utilización.

El equipo tomará la energía generada por el moto generador, lo almacenará en un banco, cuando el banco de baterías se encuentra lleno el sistema apaga el motogenerador y utiliza la carga de las baterías para operar la celda, cuando las baterías hayan drenado su carga el sistema vuelve a encender el generador y se repite el ciclo, logrando un ahorro de combustible considerable.

El sistema consta de las siguientes partes: (ver anexo 2 diagrama del sistema de ahorro de energía).

- Inversor: este equipo sirve para convertir la energía de corriente directa que está almacenada en las baterías a corriente alterna que puede ser utilizada por los equipos de la celda.
- Panel de control: este es el cerebro del sistema, permite configurar todos los parámetros del sistema desde el nivel de carga máximo y mínimo de las baterías hasta un tiempo fijo el cual el sitio operará utilizando las baterías así como los protocolos para arranque del generador.

- Arrancador automático de motogenerador: como su nombre lo indica este equipo es responsable de poner el generador en marcha automáticamente para cerrar los ciclos del sistema.
- Banco de baterías: este consiste en un número de baterías de gran capacidad conectadas en serie, que será el encargado de almacenar la energía extra generada por el motor. Las baterías utilizadas en este diseño son las denominadas de ciclo profundo, estas baterías son similares a las baterías para automóviles; baterías de plomo y ácido de gran capacidad de amperaje. La diferencia entre una batería para automóvil y una de ciclo profundo radica en lo siguiente:

La batería para auto es capaz de entregar gran cantidad de amperios durante un periodo limitado de tiempo. De esta forma una batería de auto puede pasar toda su vida útil sin descargar más allá de un 20 % de su capacidad total y de esta forma durar gran cantidad de años. Para lograr entregar esta gran cantidad de amperios la batería de auto usa gran cantidad de placas delgadas de plomo para aumentar su superficie de área sumergida en el ácido.

La batería de ciclo profundo funciona de manera inversa, brindando una cantidad controlada de amperios durante largos periodos, la batería se descargará a casi la totalidad de su capacidad y luego se recargará (uso que arruinaría a una batería de auto normal). Esta diferencia en diseño brinda años de descargas pero a amperios más bajos; lo cual se logra utilizando placas de plomo más gruesas que las de la batería de auto.

En el banco de baterías se empleará el siguiente diseño; para lograr el voltaje necesario se colocarán las baterías en arreglos en serie y en paralelo. Se colocarán 8 baterías en serie, dado que cada batería es de 6 voltios

sumarán 48 voltios en total. Luego se colocarán varios de estos arreglos en paralelo para lograr mayor capacidad en el banco sin aumentar el voltaje total del arreglo.

Las baterías que se utilizarán serán Rolls Solar 5000 – 6 CS 21 PS las cuales se pueden descargar 3 200 veces hasta un 50 % sin sufrir daño, brindando aproximadamente 683 amperios hora cada una estos datos son brindados por la fábrica basados en condiciones óptimas de funcionamiento y atmosféricas. La cantidad de baterías por usar en el arreglo se determinará con el análisis económico para optimizar el diseño.

La cantidad de baterías por utilizar es importante para el diseño, ya que la batería tiene grandes dimensiones al medir 558 x 247 x 463 mm y pesar 122,9 kg al estar llena. Esto debe ser tomado en cuenta para que el gabinete que contiene el banco pueda soportar tanto el peso como el tamaño necesario.

### **3.2. Análisis técnico de la propuesta**

Se proveerá un sistema complementario al de generación de electricidad en el cual el exceso de energía será almacenado en un banco de baterías para luego ser devuelto al sistema para aumentar el tiempo de autonomía del sitio.

El sistema también brindará mayor tiempo entre servicios a los moto generadores y mayor tiempo entre recargas de combustible.

### **3.3. Datos técnicos de las celdas celulares**

Actualmente las celdas cuentan con un moto generador Armstrong capaz de generar 22 kW. Los sitios de celda cuentan con dos configuraciones de 1 y 2 BTS. Los sitios de 1 BTS cuentan con una unidad de radio transmisión más todo el equipo de señalización, alarma aire acondicionado iluminación que requiere la torre; esto brinda un consumo energético de 3,5 kWh.

Los sitios de 2 BTS cuentan con una configuración similar exceptuando que tienen 2 unidades de radio transmisión y el aire acondicionado es más grande debido a que debe suplir 2 BTS, esto brinda un consumo energético de 8 kWh.

Tomando en cuenta que el motogenerador aporta 22 kW y el consumo energético de los sitios es únicamente de 3,5 y 8 kWh, se puede hacer uso de la energía extra que se está generando.

Para propósitos de cálculo se tomarán en cuenta ambos escenarios para optimizar el diseño.

### **3.4. Conclusiones del análisis técnico**

Debido a la flexibilidad del sistema se pueden instalar bancos de baterías de diferentes capacidades, dependiendo del tamaño del banco así será su capacidad energética pero aumentando con esta el precio del equipo. Los bancos de baterías que se pueden instalar son los siguientes:

El banco de baterías 1 utiliza baterías Rolls serie 4000, 8 baterías en serie y 3 bancos en paralelo. Acorde a los datos del fabricante (ver anexo 6

especificaciones Rolls Serie 4000) estas tienen un rendimiento de 400 amperios hora. Estas baterías son las más pequeñas que se pondrán a prueba por su beneficio económico pero son las de menor capacidad, en esta configuración se utiliza únicamente 1 inversor cargador de 100 Amperios de carga, se utilizara solamente al 80 % por factor de seguridad. Este banco será utilizado con la configuración de 1 BTS.

El banco de baterías 2 utiliza baterías Rolls serie 5000, 8 baterías en serie y 3 bancos en paralelo. Acorde con los datos del fabricante (ver anexo 7 especificaciones Rolls Serie 5000) estas tienen un rendimiento de 683 amperios Hora. También será utilizado con la configuración de 1 BTS, pero utilizará 3 inversores. Cargadores de 100 amperios programan los factores de seguridad de los inversores de forma que dos entregaran 85 % y uno a 80 % en total 250 amperios de carga por factor de seguridad, evitando calentamiento.

El banco de baterías 3 utiliza baterías Rolls serie 5000, 8 baterías en serie y 3 bancos en paralelo. Se utiliza con la configuración de 2 BTS. Se instalan 3 inversores cargadores de 100 amperios, se programan los factores de seguridad de los inversores de forma que dos entregaran 85 % y uno a 80 % en total 250 amperios de carga por factor de seguridad evitando calentamiento.

El banco de baterías 4 utiliza baterías Rolls serie 5000, 8 baterías en serie y 6 bancos en paralelo. Se utiliza para la configuración de 2 BTS y se instalan 3 inversores cargadores 100 amperios configurados para entregar en total 250 amperios por factor de seguridad.

Para realizar los cálculos del desempeño de las baterías se parte del siguiente supuesto, se toma como base la capacidad óptima de las baterías, según el fabricante esta es la capacidad para un ciclo de 20 horas, estas

capacidades son de 400 amperios hora para la serie 4000 y 683 amperios hora para la serie 5000.

Partiendo de este supuesto se calcula que de este total energético solo se utilizará un 70 % por factor de seguridad y para optimizar la vida de las baterías acorde con los datos del fabricante se deben descargar únicamente un 30 % de este total (ver anexo 8 especificaciones de recarga de baterías). A continuación, los cálculos de la energía del sistema:

Tabla II. **Cálculo de energía de los bancos de baterías**

	<b>Capacidad Banco en Amperios * Hora</b>	<b>Voltaje</b>	<b>Energía kWh</b>
Banco de baterías 1	1 200 AH	48	57,600
Banco de baterías 2	2 049 AH	48	98,352
Banco de baterías 3	2 049 AH	48	98,352
Banco de baterías 4	4 098 AH	48	196,704

Fuente: elaboración propia.

Tabla III. **Cálculo de energía 70 % de los bancos de baterías**

	<b>70 % de energía kWh</b>	<b>Energía al 30 % kWh</b>
Banco de baterías 1	40320	17,28
Banco de baterías 2	688464	29505
Banco de baterías 3	688464	29505
Banco de baterías 4	1376928	59011

Fuente: elaboración propia.

Con este dato se calcula cuánto tiempo tardará el banco en llegar a esta frontera y cuantas horas de autonomía puede dar su instalación:

Tiempo de consumo en H = energía al 30 % / consumo

El consumo para el banco 1 y 2 es de 3,5kWh y para el banco 3 y 4 se utilizan 8kWh.

Tabla IV. **Tiempo de consumo**

	<b>Capacidad banco</b>	<b>Tiempo de consumo en H</b>
Banco de baterías 1	1 200 AH	4,94
Banco de baterías 2	2 049 AH	8,43
Banco de baterías 3	2 049 AH	3,69
Banco de baterías 4	4 098 AH	7,38

Fuente: elaboración propia.

El tiempo de recarga para el banco de la siguiente manera:

Potencia de recarga = 48 voltios \* amperios de recarga

Los amperios de recarga son los configurados en el inversor cargador.

Tiempo de recarga = energía al 30 % / potencia de recarga

Tabla V. **Tiempo de recarga de los bancos de baterías**

	<b>Capacidad banco</b>	<b>Amperios de recarga</b>	<b>Potencia de recarga kW</b>	<b>Tiempo de recarga en H</b>
Banco de baterías 1	1 200 AH	80	3,840	4,5
Banco de baterías 2	2 049 AH	250	12,000	24,588
Banco de baterías 3	2 049 AH	250	12,000	24,588
Banco de baterías 4	4 098 AH	250	12,000	49,176

Fuente: elaboración propia.

Con estos datos se puede calcular los tiempos de ciclo, cuántas horas tardará la descarga y recarga del banco de baterías:

Tiempo de ciclo = tiempo de consumo en H + tiempo de recarga

Tabla VI. **Tiempo de ciclo de los bancos de baterías**

	<b>Capacidad banco</b>	<b>Tiempo de ciclo en H</b>
Banco de baterías 1	1 200 AH	9,44
Banco de baterías 2	2 049 AH	10,89
Banco de baterías 3	2 049 AH	6,15
Banco de baterías 4	4 098 AH	12,29

Fuente: elaboración propia.

Se calcula cuántos ciclos se necesitarán realizar en el sitio durante un año:

Ciclos por año = horas por año / tiempo de ciclo

Tabla VII. **Número de ciclos por año**

	<b>Capacidad banco</b>	<b>Número de ciclos por año</b>
Banco de baterías 1	1 200 AH	928,2470481
Banco de baterías 2	2 049 AH	804,4836978
Banco de baterías 3	2 049 AH	1425,085408
Banco de baterías 4	4 098 AH	712,5427038

Fuente: elaboración propia.

Las baterías tienen un número determinado de cargas antes que se empiecen a deteriorar y no tengan la misma potencia que originalmente pueden entregar.

Este proceso es natural de toda batería y en el caso de los bancos que se están instalando este número es de 2 048 para el banco 1 y 5 040 para los demás casos (ver anexo 8 especificaciones de recarga de baterías), esto permite una durabilidad de los bancos que se refleja de la siguiente manera:

Tabla VIII. **Cálculo de ciclos por día de los bancos de baterías**

<b>Alternativa</b>	<b>Capacidad banco</b>	<b>Numero de ciclos / año</b>	<b>Ciclos baterías al 70 %</b>	<b>Años duración</b>	<b>Ciclos al día</b>
Banco de baterías 1	1 200 AH	928,2470481	2 048	2,21	2,5
Banco de baterías 2	2 049 AH	804,4836978	5 040	6,26	2,2
Banco de baterías 3	2 049 AH	1425,085408	5 040	3,54	3,9
Banco de baterías 4	4 098 AH	712,5427038	5 040	7,07	2,0

Fuente: elaboración propia.

Utilizando estos datos se calculan los beneficios económicos y el tiempo de uso que se puede esperar de los bancos de baterías.

### **3.5. Conclusiones definitivas del análisis técnico**

Utilizando los datos de la tabla anterior se puede observar que la opción 4 brinda el número de ciclos por día más bajo, esto indica que el tiempo de autonomía que puede brindar es de 12 horas, así como brindar una duración máxima del banco de baterías de 7 años. Esto maximiza el tiempo de uso del banco.

La opción de banco de baterías 2 es la segunda más eficiente ya que brindará 6 años y 3 meses aproximadamente de uso y una autonomía similar al del otro banco de baterías.

Con estos datos se observa que estas dos son las opciones más eficientes y, por lo mismo, serán las que se evaluarán económicamente para juzgar el beneficio.

### **3.6. Análisis económico de la propuesta**

Con los datos anteriores se procede a calcular los datos económicos que afectarán la decisión. Tomando en cuenta que la implementación de este sistema impacta directamente los costos de operación dado que los mantenimientos se reducirán. Esto se debe a que los motores debe realizarse un *overhaul* cada cierto número de horas de uso.

Actualmente, debido a la cantidad de horas que funcionan se debe programar una vez por año; hay otros gastos como el combustible y la mano de

obra de las personas encargadas de hacer estos mantenimientos que afectan el costo del mantenimiento. Utilizando estos datos se construye el siguiente cuadro resumen de los costos de mantenimiento:

Tabla IX. **Costos de operación de moto generador bajo esquema actual**

<b>Costos moto generador</b> (Cantidades expresadas en \$)	
Costo combustible X galón	5,42
Porcentaje de incremento anual	
Costo mantenimiento mensual	132,46
Costo de <i>overhaul</i> anual	7 200,00
Costo <i>overhaul</i> X hora	0,90
Costo de mantenimiento X hora	0,174
Consumo X hora de combustible	0,07
Costo de combustible X hora	2,98
Costo de operación MG X hora	4,054
Costo de operación mensual MG	2 918,88
Costo de operación anual MG	35 026,56

Fuente: elaboración propia

Utilizando estos datos se calculan los costos relacionados con el nuevo sistema y su instalación, teniendo en cuenta que este no requerirá más mantenimiento una vez esté instalado. Por lo que los costos de la instalación de los bancos serían los siguientes:

Tabla X. **Costos de instalación de los bancos de baterías**

<b>Caso 1</b>		
Costo sistema caso 1 1XW6048 banco	Q 243 000,00	\$27 000,00
Costo cambio banco 1	Q 105 300,00	\$ 9 000,00
<b>Caso 2</b>		
Costo sistema caso 2 2 XW6048 banco 2	Q 510 300,00	\$50 000,00
Costo cambio banco 2	Q 243 000,00	\$24 000,00

Fuente: elaboración propia

### 3.7. **Análisis de punto de equilibrio**

Se realizó el análisis del punto de equilibrio acorde con los siguientes resultados los cuales se muestran en tablas de resumen:

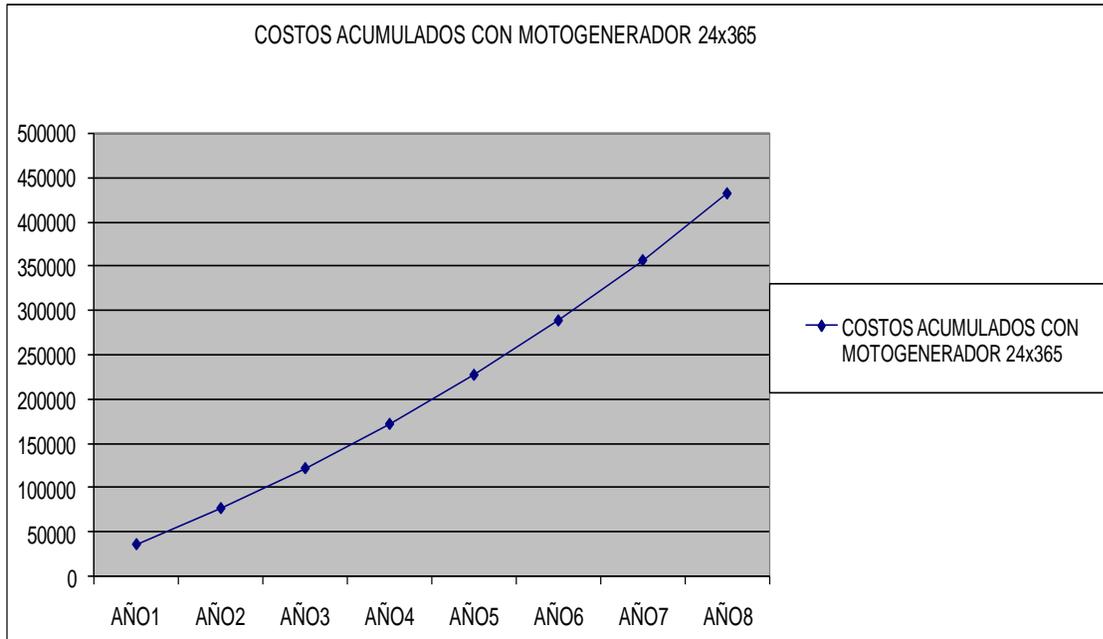
Tabla XI. **Tabla resumen de costos de operación del sitio 1**

<b>Datos recolectados:</b>	
Horas de funcionamiento	24 horas
Consumo diario aproximado	57600 vatios/día
Consumo promedio de combustible	0,55 galones/hora
Consumo diario de combustible:	13,2 galones/día
Precio de combustible calculado + 10 %	US \$ 5,42
Costo de mantenimiento x visita	US \$ 41,90
Tasa de cambio utilizada	7,7
Overhaul de generador C. 8000 H	US \$ 7200,00
<b>Costos de operación:</b>	
Consumo diario de diésel:	13,2 galones/día
Precio del galón puesto en sitio	US \$ 5,42
Costo de combustible por hora:	US \$ 2,98
Overhaul cada 8 000 horas:	US \$ 7200,00
Costo de Overhaul x hora	US \$ 0,90
Mantenimientos mensuales	3
Costo mensual de mantenimiento	US \$ 125,70
Costo de mantenimiento por hora	US \$ 0,174
Costo de operación X hora	US \$ 4,054
Costo de operación mensual	US \$ 2918,88
Costo de operación anual	US \$ 35026,56

Fuente: elaboración propia.

De enero 2002 a enero 2008 el aumento promedio en el precio del diésel ha sido de 18,88 % anual. Desde enero de 2008 a junio de 2008 el aumento ha sido de 42 %. (datos obtenidos de la página web de Ministerio de Energía y Minas) debido a esto se toma un incremento del costo del diésel de 10 % anual (un cálculo muy conservador).

Figura 2. **Costos acumulados con moto generador 24\*365**



Fuente: elaboración propia.

**Caso 1:**

3 Inversores Cargador Xantrex XW6048

Banco de baterías 48VDC 800AH @ 20HR

Inversión aproximada US\$ 27 000,00

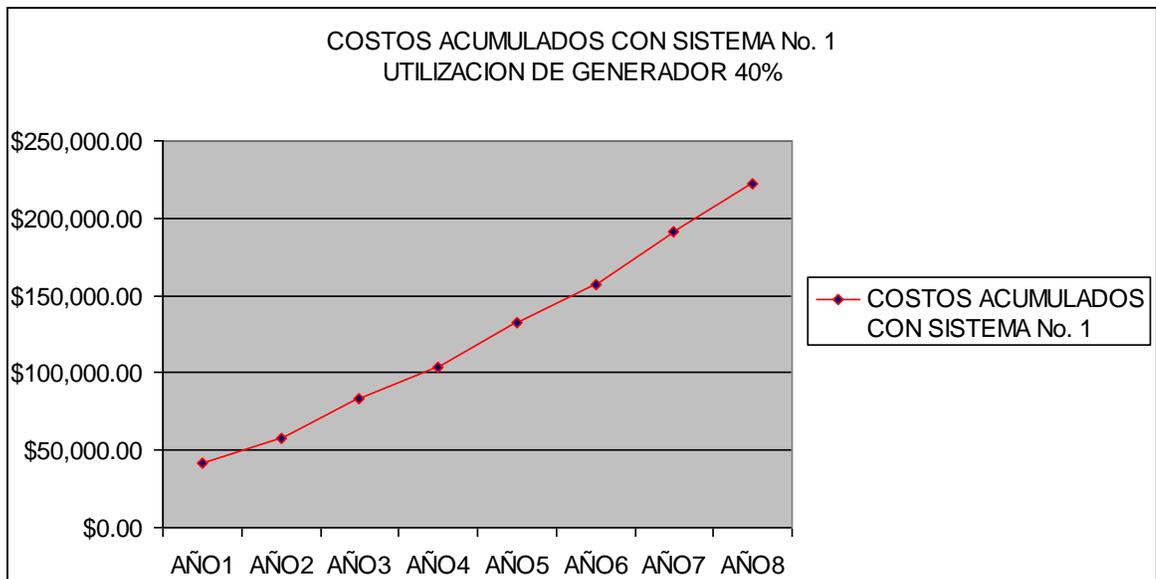
Cambio de baterías cada 24 meses US\$ 9 000,00

El sistema enciende y apaga el moto generador automáticamente, cuando el moto generador enciende, se recargan las baterías, cuando ya están cargadas el moto generador se apaga y el sistema queda funcionando en baterías. El sistema le da energía al 100 % del sitio (BTS, balizas, iluminación nocturna).

Moto generador encendido	40 % del tiempo
Moto generador apagado	60 % del tiempo
Ahorro de gasto por hora	60 %
Costo operación mensual	US\$ 1 167,56
Ahorro de operación mensual	US\$ 1 751,32

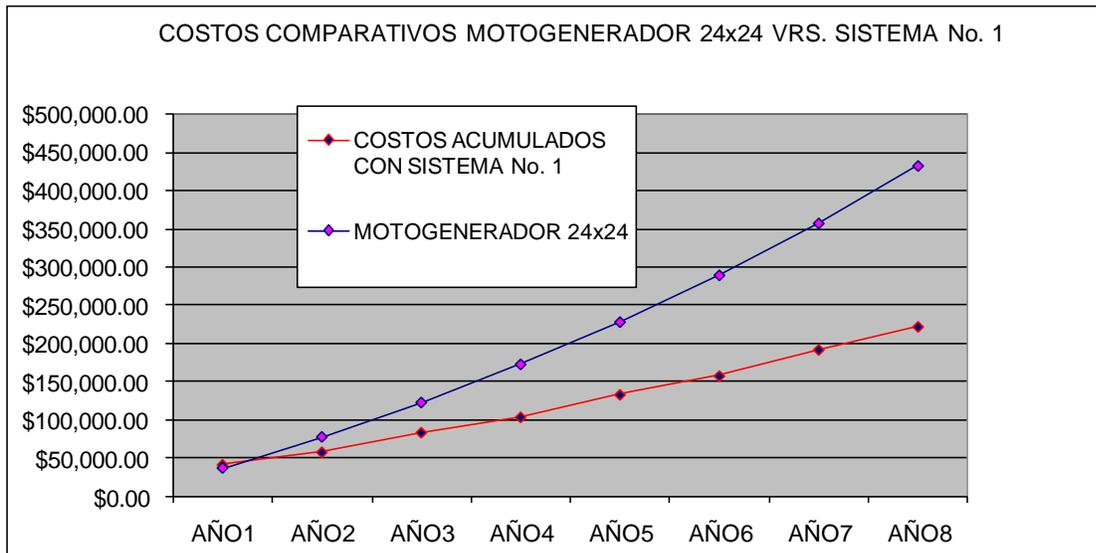
En la siguiente grafica se observa el acumulativo de costos incluyendo un aumento anual del 10 % ajustando por inflación.

Figura 3. **Costos acumulados del sistema No. 1**



Fuente: elaboración propia.

Figura 4. **Costos de operación moto generador 24\*24 y del sistema 1**



Fuente: elaboración propia.

Las curvas se cruzan en el mes 15 (recuperación de la inversión inicial) incluye cambio de baterías cada 24 meses y un aumento del 10 % anual en costos de operación para ambos sistemas.

Caso 2:

3 Inversores Cargadores Xantrex XW6048

Banco de baterías 48VDC 2400AH @ 20HR

Inversión aproximada US\$ 50 000,00

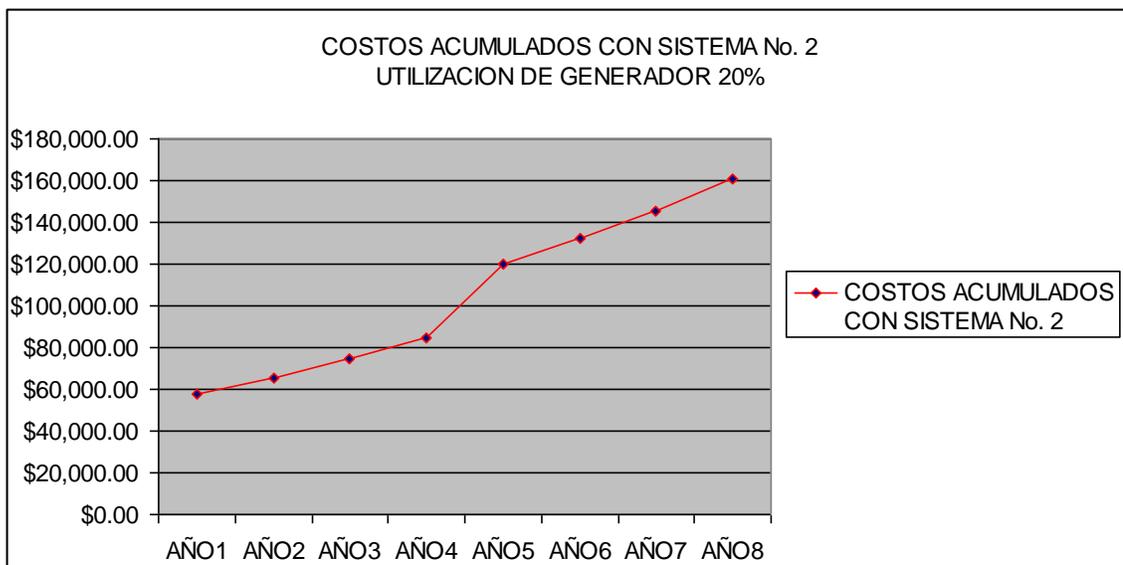
Cambio de baterías cada 56 meses US\$ 24 000,00

El sistema enciende y apaga el moto generador automáticamente, cuando el moto generador enciende, se recargan las baterías, cuando ya están cargadas el moto generador se apaga y el sistema queda funcionando en

baterías. El sistema le da energía al 100 % del sitio (BTS, balizas, iluminación nocturna).

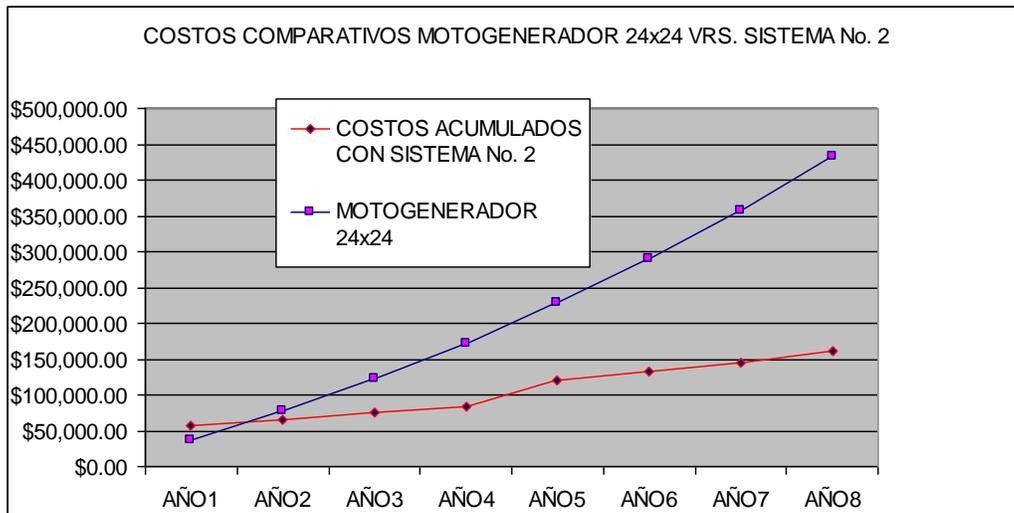
Moto generador encendido	20 % del tiempo
Moto generador apagado	80 % del tiempo
Ahorro de gasto por hora	80 %
Costo de operación mensual	US\$ 583,77
Ahorro de operación mensual	US\$ 2 335,10

Figura 5. **Costos acumulados sistema No. 2**



Fuente: elaboración propia.

Figura 6. **Costos de operación moto generador 24\*24 y del sistema 2**



Fuente: elaboración propia.

Las curvas se cruzan en el mes 21 (en este momento se recupera la inversión inicial), se nota un aumento en el año 4, ya que es en este punto que se cambia las baterías del sistema.

El punto de equilibrio de la propuesta 1 es más corto al ser ubicado en el mes 15 de la implementación, mientras que la propuesta dos se ubica en el mes 21, sin embargo, ambas propuestas resultan ser viables según este análisis.

### 3.8. **Análisis costo beneficio**

Acorde con los datos anteriores se elabora el siguiente resumen:

Tabla XII. **Tabla resumen de costos de operación del sitio 2**

Opción a analizar	Inversión inicial	Costo mensual	Ahorro mensual	Ahorro en 8 años	Relación beneficio / costo	Retorno de inversión
Caso 1 (1 inversor)	US\$ 27 000,00	US\$ 1 167,56	US\$ 1 751,43	US\$ 210 808,01	78	15 Meses
Caso 2 (2 inversores)	US\$ 50 000,00	US\$ 583,77	US\$ 2 335,22	US\$ 271 957,14	5,43	21 Meses
MG24x24 (Actual)	US\$ 0	US\$ 2 918,88	No Hay	No Hay	0	No Hay

Fuente: elaboración propia.

De los datos de la tabla anterior se observa que relación beneficio/costo más alta se obtiene con el caso número 1 lo cual, acompañado de que el retorno de inversión es más pronto en esta solución, se deduce que es la más viable y la que se debe implementar en el campo.

### 3.9. Dictamen de la propuesta

Como se ha observado en los análisis económicos y técnicos la propuesta es totalmente rentable, económicamente prestará un beneficio de USD. 210808,01, técnicamente hablando permite dar un uso más bajo a los equipos de generación de energía y reducir los niveles de contaminación que generan los sitios de celda.



## **4. IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA**

### **4.1. Planificación de sitio modelo**

Para las pruebas de campo se propone un sitio remoto de fácil acceso y bajo tráfico de clientes, este sitio es ubicado en El Brito Escuintla para facilitar el movimiento de materiales, medición de efectos y pruebas experimentales.

### **4.2. *Site Survey* de celda modelo**

Se visitó la celda modelo de El Brito. La cual cuenta con una configuración de 2BTS, el acceso a carretera es fácil y solo se deben viajar menos de 100 metros fuera de la carretera para llegar al sitio. El sitio tiene con un área de 20 metros cuadrados con lo que se cuenta con suficiente espacio para instalar el sistema. (ver anexo 1 diagrama de la celda).

### **4.3. Logística de implementación de la celda modelo**

El sitio se encuentra fuera de la carretera y se debe cruzar otros terrenos para llegar, aunque el trayecto es plano no hay acceso con vehículo, por lo que todo el traslado de equipo se debe realizar a pie.

Estos acarreos se tuvieron que coordinar para movilizar el equipo y permite hacer cálculos de lo que sería necesario para instalar en sitios con accesos más difíciles, ya que se espera que el acceso no será fácil en ninguno de los sitios donde se implementará el sistema.

#### **4.4. Implementación en celda modelo**

Se procede a la instalación del sitio con el banco de baterías de \$27000,00 que permitirá teóricamente un desempeño del 50 % del poder de baterías. La implementación tomó aproximadamente 8 horas hombre y se completó sin inconvenientes. El sitio funciona como es lo esperado y se supervisa periódicamente que el sistema cierre ciclos.

#### **4.5. Mediciones de celda modelo**

Para tener resultados sobre el desempeño del sistema se observa cuántas horas de servicio tiene la moto generadora. Este marcó 5828,5 horas, esta medición se realiza el día 1 a las 16:35 horas.

Se programa el inversor para una carga del 67 % de potencia de recarga y las baterías programadas a una profundidad de descarga de 40 %; la próxima visita está planificada para el día 5 y se realizará el primer juego de mediciones.

El día 5 se visita el sitio nuevamente, la lectura del horómetro del generador indica 5874,9 horas, esta medición fue tomada el día 5 a las 18:00 horas.

Se programa el inversor para 50 % de potencia de recarga y las baterías a una profundidad de descarga del 28 %; el siguiente juego de mediciones se tomará 13 días después.

El 28 de junio se realiza la visita al sitio, se toma una lectura del horómetro y este indica 6042,3 horas de uso, esta medición es tomada a las 16:25 horas.

La última visita se programa para 10 días después, el 8 de julio se realiza la última visita al sitio y se lee el horómetro a las 12:00 horas este indica un total de uso de 6173,5 horas de uso.

#### 4.6. Análisis de mediciones

Basados en las mediciones anteriores para el primer caso donde el inversor está calibrado para 67 % potencia de recarga y las baterías a una profundidad de 40 %, se obtiene el siguiente cuadro resumen:

Tabla XIII. Cuadro resumen de primera lectura sitio modelo

<b>Fecha de medición</b>	<b>Día 5 18:00 horas</b>
Lectura de horómetro moto generador	5874,9
Total de horas	106
Total de horas MG	46,4
Total de horas baterías	59,6
Baterías porcentual	56,23 %
Generador porcentual	43,77 %

Fuente: elaboración propia.

Utilizando ahora el segundo y tercer grupo de mediciones se elaboran las siguientes tablas, el inversor es programado para 50 % de potencia de recarga y una profundidad de carga del 20 %.

Tabla XIV. **Cuadros resumen de segunda y tercera lectura**

<b>Fecha de medición</b>	<b>Día 13 16:25 horas</b>
Lectura de horómetro moto generador	6042,3
Total de horas	408
Total de horas MG	213,8
Total de horas baterías	194,2
Baterías porcentual	47,60 %
Generador porcentual	52,21 %

<b>Fecha de medición</b>	<b>Día 23 12:00 horas</b>
Lectura de horómetro moto generador	6173,5
Total de horas	644
Total de horas MG	345
Total de horas baterías	299
Baterías porcentual	46,42 %
Generador porcentual	53,58 %

Fuente: elaboración propia.

Se observa que con la primera configuración se exceden las expectativas teóricas de la autonomía del sitio, con la segunda configuración la diferencia entre lo teórico y lo real es muy pequeña aunque no se cumple el pronóstico de 50 % de utilización del generador.

#### **4.7. Verificación de análisis técnico teórico**

Como se puede observar hay una pequeña desviación en el comportamiento real, los bancos no brindaron un 50 % real sino un 46 %, sin embargo, esta desviación es aceptable y no refleja un impacto significativo en los cálculos realizados.

#### 4.8. Verificación de análisis económico teórico

Habiendo realizado estas mediciones se vuelve a plantear el ejercicio económico y se observa que la desviación es insignificante, al reflejar que el ahorro ya no será de USD 1 751,43 al mes sino de USD 1 716,40 por mes.

#### 4.9. Verificación de análisis costo beneficio

Ingresando estos datos en el cuadro comparativo se observa que la propuesta revisada regresa los siguientes datos:

Tabla XV. **Cuadro de relación beneficio / costo**

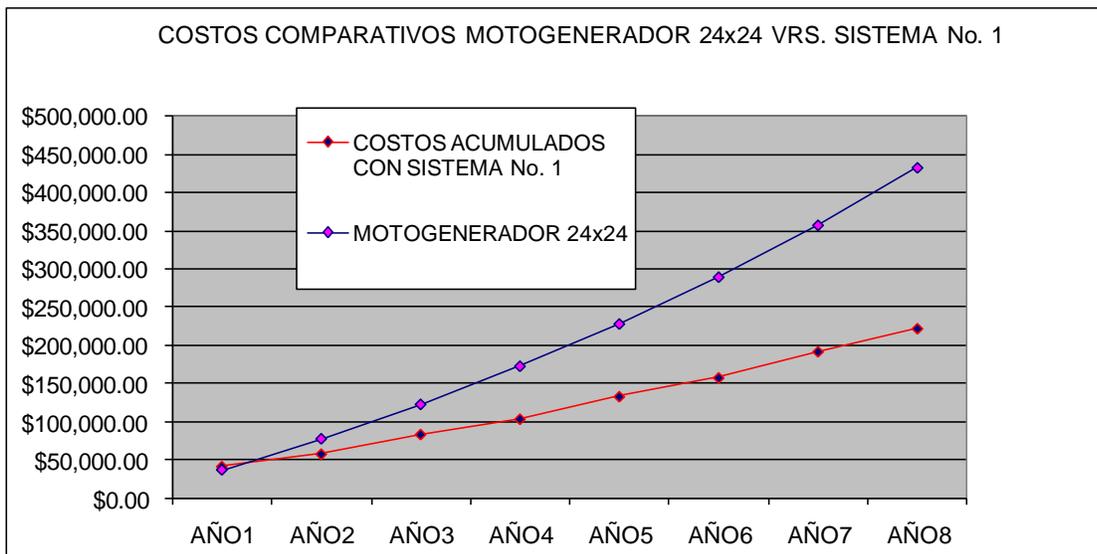
Sistema	Inversión inicial	Gasto mensual	Ahorro mensual	Ahorro en 8 años	Relación beneficio / costo	Retorno de inversión
No. 1 (1 inversor)	US \$ 27000,00	US \$ 1167,56	US \$ 1716,40	US \$ 206591,85	7,7	15 Meses

Fuente: elaboración propia.

#### 4.10. Verificación de análisis punto de equilibrio

En la gráfica se observa el siguiente comportamiento:

Figura 7. Punto de equilibrio revisado



Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar el punto de equilibrio sigue ubicándose en el mes 15 de implementación, por lo cual se corrobora el estudio económico.

#### 4.11. Dictamen de propuesta verificada

Basado en los cálculos realizados, tanto técnicos como económicos, se procede a la instalación de la primera fase de sitios para probar su funcionamiento en campo, de ser exitosas estas pruebas se procedería con una segunda fase de instalaciones para ocupar aproximadamente 115 sitios en áreas remotas.

#### **4.12. Site Survey de sitios por instalar**

Se reciben las ingenierías de la primera fase de sitios, conforme al listado se hacen las visitas respectivas y se nota que los accesos son sumamente difíciles, y todos los sitios cuentan con equipo similar. El diseño de los sitios, por lo general, es el mismo aunque hay sitios que por su ubicación tienen un área levemente más pequeña, sin embargo, no es tanta la reducción de área como para entorpecer los trabajos de instalación.

#### **4.13. Implementación en sitios remotos**

Se llevan a cabo las instalaciones en la primera fase de sitio, los sitios con accesos muy difíciles se deben acarrear los equipos por grandes tramos ya que no hay acceso de camino a ellos, se necesitan acarreos largos que son costos extras ya que se debe contratar a personas de la localidad para realizarlos. Luego de la implementación se nota que hay sitios en que por falta de mantenimiento se deben hacer reemplazos de los sistemas de arranque de los motores, ya que fallan al reiniciar el ciclo debido y son incapaces de arrancar al motor en automático cuando se requiere.

#### **4.14. Mediciones de sitios instalados**

En los primeros diez sitios instalados se toman mediciones del sistema, los sitios regresan los siguientes valores:

Tabla XVI. **Porcentajes de tiempo de funcionamiento por sitio**

<b>Sitio</b>	<b>Sitio 1</b>	<b>Sitio 2</b>	<b>Sitio 3</b>	<b>Sitio 4</b>	<b>Sitio 5</b>	<b>Sitio 6</b>	<b>Sitio 7</b>	<b>Sitio 8</b>	<b>Sitio 9</b>	<b>Sitio 10</b>
Tiempo Bat.	48,20 %	46,70 %	47,40 %	47,60 %	48,90 %	49,90 %	50,00 %	50,00 %	49,10 %	49,70 %

Fuente: elaboración propia.

Todos los sitios muestran una tendencia marcada y la variación es menor a la observada en el primer sitio.

## **5. MEJORA CONTINUA**

### **5.1. Análisis de mediciones de sitios instalados**

Los sitios de la primera fase están ubicados en toda la república para observar el comportamiento de la temperatura, ya que las baterías tendrán a tener diferentes desempeños a diferentes temperaturas. Esto debido a la naturaleza de las baterías, que a diferentes temperaturas y presiones entregan ligeramente diferente desempeño. Esto puede observarse en la tabla XIV.

### **5.2. Interpretación de los resultados**

Se puede observar que debido a las temperaturas los sitios tienen una leve variación en su desempeño, sin embargo su comportamiento es bastante constante y llenan las expectativas de lo que se había planeado. Debido a esto procederá una segunda fase de instalaciones.

### **5.3. Auditoría interna de los sitios**

Se comienza la auditoría de los sitios y se nota que están funcionando tal como se esperaba, aunque ha habido sitios que sufren de vandalismo y robo, debido a esto se rediseña el gabinete que contiene el banco de baterías a forma de que la extracción de las mismas sea tan complicada que haga poco atractivo el robo. Se llevan a cabo mediciones de niveles de las baterías y de sus capacidades energéticas las cuales son satisfactorias. Los datos de esta auditoría son propiedad intelectual de la telefónica y el proyecto es aceptado en base a estos.

#### **5.4. Auditoría externa de la telefónica**

Con los sitios de la primera fase ya instalados se procede a realizar una auditoría para cerciorarse de su funcionamiento nominal. Las mediciones realizadas por la telefónica revelan que el funcionamiento está dentro del rango esperado y que aunque hay sitios donde siguen observando el mismo consumo de diésel este se debe a robos de combustible realizados al sitio y no a mal funcionamiento del sistema de ahorro de energía.

#### **5.5. Análisis costo beneficio**

Como se observa en la práctica (tabla XIV) la variación en el desempeño de las baterías es mínima, los valores, por lo tanto, se mantendrán invariables, por lo que se procederá a una segunda fase de 115 sitios.

#### **5.6. Revisión del diseño**

Con la instalación completa de los sitios se debe revisar el diseño para encontrar mejoras y buscar nuevas oportunidades para ampliar el sistema o mejorar su funcionamiento. Debido a su flexibilidad, puede ser suplementado por varias tecnologías, ya que al ser totalmente modular se puede reemplazar fácilmente una de sus partes por otra.

#### **5.7. Propuestas para la mejora del diseño**

Luego de la revisión del diseño original se buscan mejoras en la forma de carga ya que de momento se han revisado otras opciones de almacenaje (baterías) y no hay una mejor alternativa a la que se está utilizando actualmente. Se propone que para mejorar el diseño se cambiará la generación

para que no solo la energía pueda venir del moto generador, sino se pueda instalar algún otro medio de generación energética más amigable al ambiente.

## **5.8. Futuras mejoras**

Se analiza la opción de celdas solares para su utilización, ya que requieren bajo mantenimiento no contienen partes móviles y su fuente de generación es el sol por lo que pueden ser instaladas en cualquier parte del territorio.

Utilizando las guías de diseño del fabricante de las celdas solares se utilizan celdas de 115 vatios conectadas al sistema, estas tendrán preferencia como medio de alimentación, por lo que mientras el sistema esté recibiendo los 115 vatios, los utilizará para cargar las baterías y operar el sistema. Conforme el sol disminuya el motor se utilizará suministro de energía y se empezará el ciclo normal del sistema.

## **5.9. Pruebas de celdas solares**

La propuesta solar presenta la desventaja de que los paneles no generarán constantemente la misma cantidad de energía. Su desempeño depende tanto de la intensidad de la radiación solar como del ambiente, ya que si hay concentración de nubes bajará su producción; la tierra depositada por el aire también disminuirá su capacidad.

La ubicación de los paneles también influye en la generación, ya que estructuras tanto internas del sitio como externas pueden generar sombras que disminuyan la capacidad, esto debe ser considerado en el posicionamiento de estos y habrá sitios que no permitirán colocación eficiente.

## 5.10. Mediciones de sitio de celdas solares

Solución solar:

- 3 Inversor cargador *Xantrex XW6048*
- Banco de baterías 48VDC 2400AH @ 20HR
- Inversión aproximada US \$ 68000,00
- 30 paneles solares de 115 vatios cada uno
- Cambio de baterías cada 56 meses US \$ 24000,00

El sistema enciende y apaga el moto generador automáticamente, cuando el moto generador enciende, se recargan las baterías, cuando ya están cargadas, se apaga y el sistema queda funcionando en baterías. Además, se aportan diariamente 27kW de energía proveniente de paneles solares fotovoltaicos. El sistema le da energía al 100 % del sitio (BTS, balizas, iluminación nocturna).

- Motogenerador encendido: 20 % del tiempo
- Motogenerador apagado: 80 % del tiempo
- Costo de operación mensual: US \$ 583,77
- Ahorro de operación mensual: US\$ 2335,10

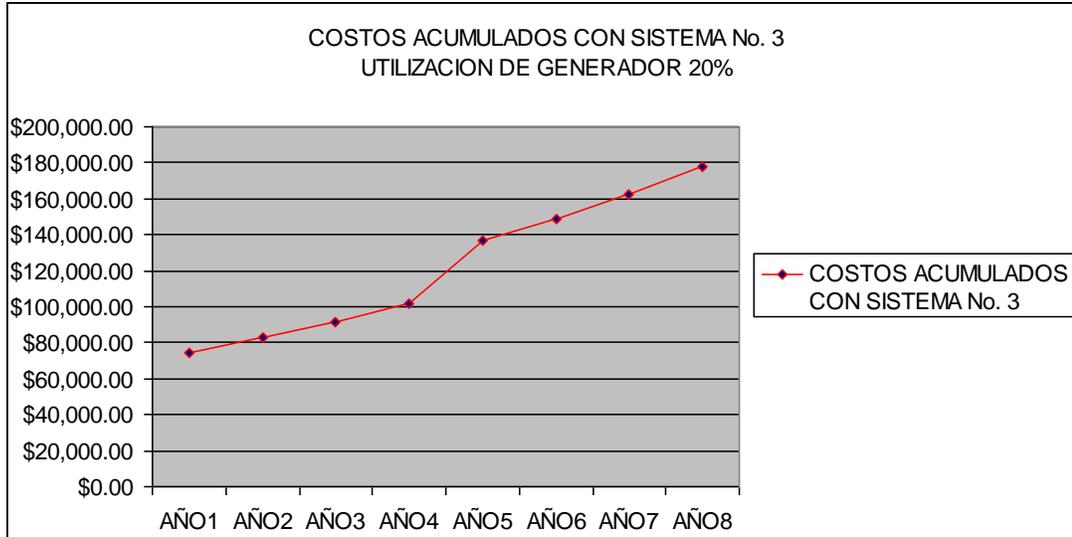
Tabla XVII. **Costos acumulados de opción solar contra el tiempo**

<b>Tiempo</b>	<b>Costos Acumulados</b>
Inversión inicial	\$ 68 000,00
Año 1	\$ 74 346,26
Año 2	\$ 82 487,60
Año 3	\$ 91 510,03
Año 4	\$ 101 508,91
Año 5	\$ 136 646,92
Año 6	\$ 148 927,14
Año 7	\$ 162 536,38
Año 8	\$ 177 618,46

Fuente: elaboración propia.

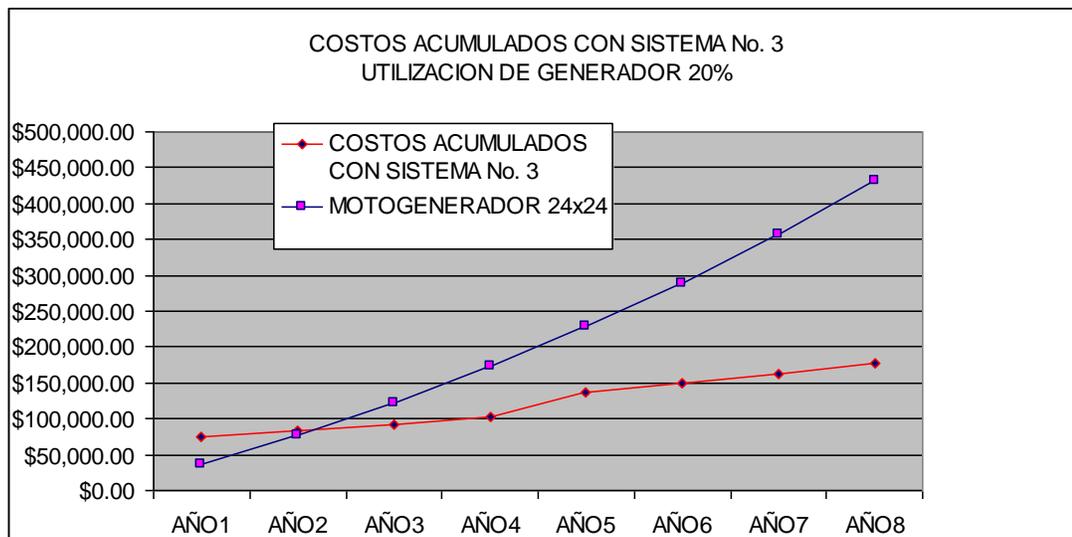
Por ser una solución solar estos son los datos máximos que el sistema pueda proveer, en ciertos momentos el rendimiento puede bajar.

Figura 8. **Costos acumulados solución solar**



Fuente: elaboración propia.

Figura 9. **Costos acumulados de sistema 3 y del sistema actual**

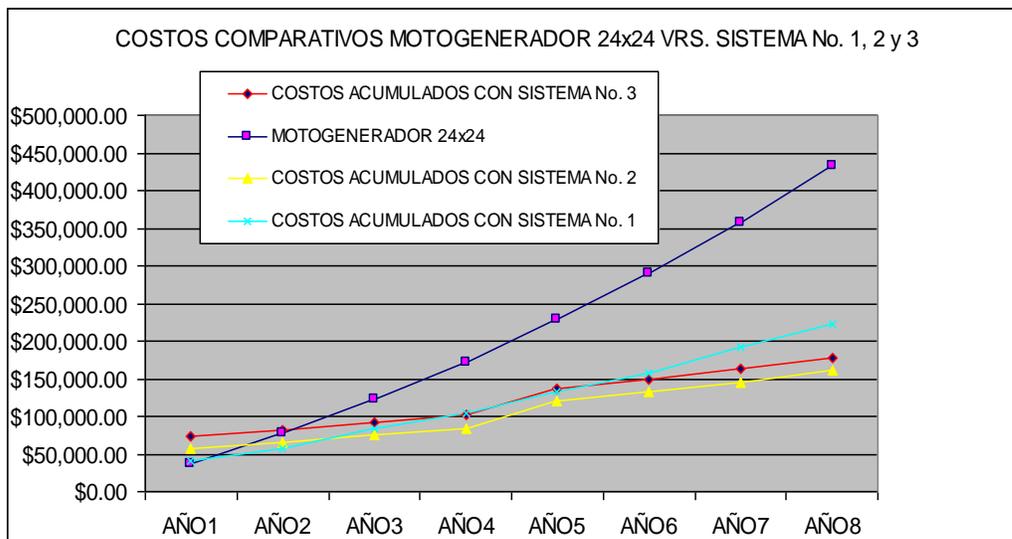


Fuente: elaboración propia.

Las curvas se cruzan en el mes 27 (en este momento se recupera la inversión inicial) (el salto del año 4 se debe a que se hace cambio de baterías).

Utilizando estos datos y los recabados de las otras dos propuestas se elabora la siguiente gráfica:

Figura 10. Comparación de los 4 sistemas



Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar la solución solar presenta la menor cantidad de ahorro de los 3 sistemas.

### 5.11. Proyecciones para el futuro

Debido al alto costo de las celdas solares, a pesar de que se logra hasta un 80% del tiempo sin generador no es aconsejable su utilización en todos los sitios, solo serán utilizadas en donde el costo del traslado de combustible sea

tan alto que justifique su instalación. Hasta que las celdas solares sean más eficientes o más baratas; su instalación general no es práctica.



## **6. AMBIENTE**

### **6.1. Leyes ambientales que regulan las antenas de telecomunicaciones**

Actualmente en Guatemala no existe regulación sobre las antenas de telecomunicaciones, no existe referente a sus posibles ubicaciones ni sobre la radiación que estas emiten, las condiciones para montar una nueva ubicación son realizar un estudio de impacto ambiental y la aprobación municipal, de los vecinos, de Aeronáutica Civil y de los Cocodes.

### **6.2. Impacto ambiental de las antenas de telecomunicación**

El Ministerio de Ambiente solicita para la construcción un estudio de impacto ambiental, se puede realizar en una de dos modalidades: pre construcción de la antena, que tendrá menos información, ya que es una proyección de qué impacto tendrá la construcción en el área. La otra es post construcción de la antena, que contiene más información ya que se pueden recabar directamente los daños que se causaron al construir y el impacto que tendrá en los suelos y en los vecinos del área.

### **6.3. Radiaciones emitidas por las antenas celulares**

La profundidad a la que penetran las ondas en el cuerpo humano depende de la frecuencia. Las señales de frecuencia más baja (del orden de kilohercios) atraviesan el cuerpo humano como si este fuera transparente, de forma que no

hay energía que se disipe en el cuerpo y los efectos de la radiación son despreciables.

A frecuencias más altas, la radiación comienza a ser absorbida por los tejidos, y a la frecuencia de trabajo de los móviles, casi la totalidad de la energía es absorbida en unos pocos centímetros de profundidad a partir de la piel. La energía absorbida se convierte en calor, produciendo el calentamiento de los tejidos expuestos. Cuanta mayor sea la potencia de la señal incidente, tanto mayor será el calentamiento de los tejidos.

Hay que tener en cuenta que los tejidos son extremadamente sensibles a los incrementos de temperatura, y las células comienzan a morir a partir de los 42°C, y se produce un gran índice de mortandad a partir de los 45°C. Sin embargo, es conocida la enorme capacidad reguladora del cuerpo humano, y es muy difícil conseguir un calentamiento de los tejidos a estas temperaturas.

Si se calienta un cuerpo humano por entero, la sudoración y otros fenómenos fisiológicos se encargarán de mantener la temperatura dentro de los límites tolerables. Si se calienta una zona concreta del cuerpo, el riego sanguíneo funciona como un refrigerante efectivo, que extrae el calor de la zona afectada para distribuirlo sobre todo el cuerpo que, a su vez, tiene la temperatura regulada por los procesos fisiológicos antes citados.

Hoy día la controversia está centrada en posibles efectos no térmicos de los campos electromagnéticos. A menudo se considera que dado que la telefonía móvil tiene escasos años de existencia, los efectos médicos de los campos electromagnéticos no han sido estudiados a profundidad, nada más lejos de la realidad. La primera aplicación de un campo eléctrico para el

tratamiento del cáncer se produjo tan solo cuatro décadas después de que Volta, en 1800, describiera la pila eléctrica.

Quizás sea destacable el hecho de que al contrario de los pioneros de la radioactividad y las radiaciones ionizantes, que vieron su salud y su vida seriamente afectadas por los experimentos, d'Arsonval (1851-1940), Tesla (1856-1943) y otros pioneros de la radiofrecuencia, como Eli Thomson (1853-1937), vivieron todos más de ochenta años. Estos pioneros realizaron muchas experiencias sobre sí mismos en busca de efectos médicos de los campos electromagnéticos.

Desde entonces, han sido muy numerosos los estudios científicos que se han llevado a cabo en busca de efectos no térmicos de los campos electromagnéticos, pero ninguno de ellos ha podido establecer una relación causa-efecto.

En la década de 1950 se generó alrededor de la utilización de los hornos microondas una polémica bastante similar a la que se ha suscitado en la actualidad con las antenas de telefonía móvil. En realidad, la radiación que existe en el interior de un microondas es muy similar a la generada por las antenas de telefonía celular, salvo que la potencia en el interior del horno es muy superior.

En 1953, Schwan recomendó que se adoptara una radiación de  $10\text{mW}/\text{cm}^2$  como límite de las dosis electromagnéticas tolerables. Sin embargo, cinco años más tarde, la Unión Soviética promulgó un límite estándar de tan solo  $10\text{mW}/\text{cm}^2$ . Pasado algún tiempo, tras revisar todos los datos experimentales sobre animales de que se disponía entonces, varios investigadores norteamericanos llegaron a la conclusión de que eran necesarios

más de 100 mW/cm<sup>2</sup> para producir algún efecto biológico de relevancia. Sobre esta base, adoptando un factor de seguridad de 10, el *United States of America Standards Institute* (USASI, ANSI en la actualidad) recomendó un nivel máximo de seguridad de 10mW/cm<sup>2</sup>.

Llegados a este punto, la polémica se desató, e incluso desde el gobierno de los Estados Unidos de América se temió por la posibilidad de que a largo plazo pudiesen aparecer problemas de salud pública que afectaran a millones de ciudadanos. Sin embargo, estos problemas jamás aparecieron y en la actualidad, el horno microondas es aceptado en la mayoría de los hogares como un electrodoméstico más.

Ahora, los límites generalmente aceptados para la exposición a los campos electromagnéticos son del orden 900 mW/cm<sup>2</sup> para GSM 1800 y la mitad para GSM 900.

Estos límites están algo por encima de los límites conservadores impuestos por las autoridades soviéticas, pero están bien por debajo del umbral recomendado por el ANSI en su día. En 1992 David Reynard disparó la alarma al anunciar en la televisión estadounidense que el uso del teléfono móvil había causado el tumor cerebral de su esposa.

En 1995 la demanda interpuesta contra las compañías de telefonía móvil fue desestimada por falta de evidencia, pero desde entonces, se han realizado numerosos estudios a lo largo de todo el mundo, con la intención de demostrar o refutar los efectos de los campos electromagnéticos sobre la salud humana. Estos estudios han puesto un mayor énfasis en determinar la relación entre el cáncer y la exposición a las radiaciones electromagnéticas.

Hacer un estudio epidemiológico completo no es una tarea sencilla, cuando lo que se busca no es una relación causa-efecto directa. Al igual que en el caso del tabaco, no hay una relación directa entre el consumo de tabaco y, por ejemplo, el cáncer de pulmón. Existe gente que contrae cáncer de pulmón y no ha fumado jamás y, por el contrario, existen grandes consumidores de tabaco que conservan su salud hasta edades muy avanzadas.

Sin embargo, el efecto del tabaco se hace manifiesto cuando se analizan los datos de forma estadística. Es decir, el efecto del tabaco se puede medir como el incremento de la probabilidad de contraer cáncer de pulmón en la población fumadora, respecto de la que no lo es.

Este tipo de respuestas es el que se ha buscado en los estudios epidemiológicos realizados para analizar los efectos de las radiaciones electromagnéticas.

Diversos estudios han cruzado datos correspondientes a cientos de miles de personas y no se ha encontrado ninguna causa de enfermedad que se correlacione con la utilización del teléfono móvil o la residencia en las proximidades de una estación base.

El estudio más serio que se ha realizado hasta la fecha sobre la incidencia de los campos electromagnéticos en la salud humana es el realizado por el *Independent Expert Group on Mobile Phones* (IEGMP) en Gran Bretaña. Este estudio se conoce como el *Informe Stewart* este informe se titula *Mobile Phones and Health* (teléfonos móviles y salud).

#### **6.4. Emisiones sonoras causadas por generadores eléctricos**

Los moto generadores, al ser la parte principal de su funcionamiento, un motor diésel tendrán por consecuencia una emisión de ruido considerable, esto aumentado a que el escape de dichos motores queda totalmente descubierto a diferencia de en vehículos que cuentan con un mofle que ayuda a reducir la emisión sonora.

Debido a estas situaciones los moto generadores tendrán una emisión sonora de entre 71 a 101 decibeles. Para tener un punto de comparación este nivel de ruido es similar al de un concierto de rock o a un martillo neumático. Este nivel de ruido es experimentado aproximadamente a 7 metros a la redonda, por lo que resulta molesto para personas que viven cerca del área donde funciona este equipo, más aun si las poblaciones son poco pobladas, ya que los niveles de ruido normales de la población son tan bajos que la apreciación del ruido y su impacto será mayor aun.

#### **6.5. Emisiones causadas por los motores diésel**

Como todo motor de combustión interna este expelerá dióxido de carbono luego de su ciclo de combustión, debido a la calidad del diésel en Guatemala adjunto a los niveles de dióxido de carbono el motor expelerá azufre, por lo que las emisiones de los motores diésel tienen efectos nocivos para la salud de los vecinos y de la vida silvestre del área donde se encuentran instalados.

#### **6.6. Huella de carbono de los motores diésel**

Como se ha discutido anteriormente los motores diésel expelen dióxido de carbono, aproximadamente se espera que un motor expelerá 1,75 gramos de

CO2 al ambiente por hora. Si toma en consideración la cantidad de motores que se tienen instalados con esta solución se llega aproximadamente a 351 gramos por hora. Anualmente esto equivale a 3,08 toneladas de CO2 liberadas al ambiente por el funcionamiento continuo de esta solución. Este impacto es considerable a nivel nacional, por lo que es sumamente importante para el beneficio del ambiente hacer reducciones en esta.

#### **6.7. Impacto en la huella de carbono del sistema de ahorro**

Como se ha planteado con el sistema se puede hacer una reducción de por lo menos un 46 % al uso del generador. Basados en este dato se puede calcular que como mínimo se puede tener una reducción de 1,415 toneladas de CO2 por generador.

#### **6.8. Impacto en la contaminación sonora de los generadores**

El impacto sonoro es más bien beneficioso para las relaciones de la telefónica con las personas que conviven con la celda, dada la ubicación de estos sitios que son lugares con baja contaminación sonora, los habitantes están acostumbrados a noches en las cuales la cantidad de ruido es casi nula. Sin embargo, ya que estos sitios se encuentran ubicados en lugares altos cuentan con gran resonancia y en las noches su funcionamiento se vuelve molesto para los pobladores, ya que pueden oír claramente el ruido del generador por encima de cualquier otro sonido.

Gracias al sistema de ahorro de energía se puede programar para que los ciclos coincidan con las horas de menor sonido. Se planteó utilizar las 12 horas de respaldo a partir de las 8 p.m. para que el generador volviera a funcionar a las 8 a.m. del día siguiente, esto en las comunidades fue de gran ayuda, ya que

garantizó un funcionamiento silencioso durante las horas de descanso de los pobladores.

### **6.9. Interpretación del impacto en el ambiente del sistema a nivel nacional**

Al final de ambas fases se lograron instalar exitosamente 115 sitios que hasta la fecha siguen funcionando dentro de los parámetros establecidos. Tomando el cálculo conservador que se realizó anteriormente por cada generador se ahorrará 1,41 toneladas de CO<sub>2</sub> al año, este ahorro se vuelve muy importante al reflejar que 162,72 toneladas de CO<sub>2</sub> no serán expelidas al aire en total, un dato importante para cualquier empresa que responsablemente busca su reducción de huella de carbono. Un impacto similar se refleja tomando en consideración la cantidad de lubricantes y combustible que no se consume por esta mejora.

El proyecto genera el desperdicio de las baterías cada vez que hay que cambiarlas, pero el daño causado por esto es mitigado, ya que el fabricante recibe de vuelta las baterías y las recicla de forma de que el impacto ambiental sea el menor posible.

## CONCLUSIONES

1. Los precios de los combustibles afectan directamente los costos operativos de los sitios de celdas celulares, ya que al contar con un gran número de sitios fuera del alcance de la red eléctrica guatemalteca, un leve aumento en los precios tendrá grandes repercusiones.
2. Los datos recopilados en el presente trabajo demuestran que el sistema genera un gran beneficio económico al reducir la dependencia de las telefónicas del combustible y al reducir la frecuencia necesaria de intervención humana a los sitios.
3. El ahorro de combustible generado por los sitios se vuelve significativo, se logró en la práctica un ahorro de aproximadamente un 48 % en promedio por todos los sitios. Si el promedio era de 13,2 galones por día, esto implica un ahorro de 6,33 galones por día por sitio donde se instale el sistema.
4. Se observa la misma relación en cuanto a la huella de carbono de los sitios, al disminuir en aproximadamente 3 toneladas de CO<sub>2</sub> anuales.
5. Los beneficios económicos, al disminuir la cantidad de mantenimiento, los acarreos de combustible y el uso de combustible se vuelven considerables para la operación de la telefónica demostrando lo práctico del sistema. Son aproximadamente US\$ 1 716,40 al mes, por sitio en donde se instale el sistema.

6. Se ha determinado que en la relación costo beneficio el ciclo óptimo actual para los sitios es de 50-50, así se logra un rendimiento óptimo de la vida de las baterías y ahorro de combustible.

## RECOMENDACIONES

1. Es vital buscar más tecnologías complementarias a las ya utilizadas, el uso de los combustibles fósiles año con año se vuelve más costoso, por lo que es de vital importancia su sustitución.
2. Buscar nuevas alternativas de baterías que permitan mejorar el desempeño del sistema, esto brindará mayor autonomía y un beneficio económico mayor.
3. La reducción de la huella de carbono de las empresas es cada vez más importante, si se buscan generadores que funcionen con fuentes alternativas de energía se puede reducir aún más dicha huella.
4. Si se reemplaza por completo el sistema que requiere carburantes los costos de acarreos y mantenimientos se puede reducir todavía más, las energías renovables deben ser una fuente constante de investigación.
5. Con el desarrollo de nuevas tecnologías de almacenamiento se podría lograr un desempeño más grande del banco de baterías, a su vez, se podría buscar un nuevo ciclo que permita menor uso del generador.
6. Buscar constantemente el desarrollo de tecnologías fotovoltaicas, ya que las que se tienen en la actualidad tienen un desempeño muy bajo, si se logra una generación más grande por parte de estas, podrían incluso dejar innecesaria la participación del moto generador en los sitios donde estas se instalen.

7. En el futuro, un sistema complementario de celdas solares para aumentar el rendimiento del sistema y si hubiera mejoras en baterías, que estas pueden ser aplicadas para mejorar las ventajas del sistema.

## BIBLIOGRAFÍA

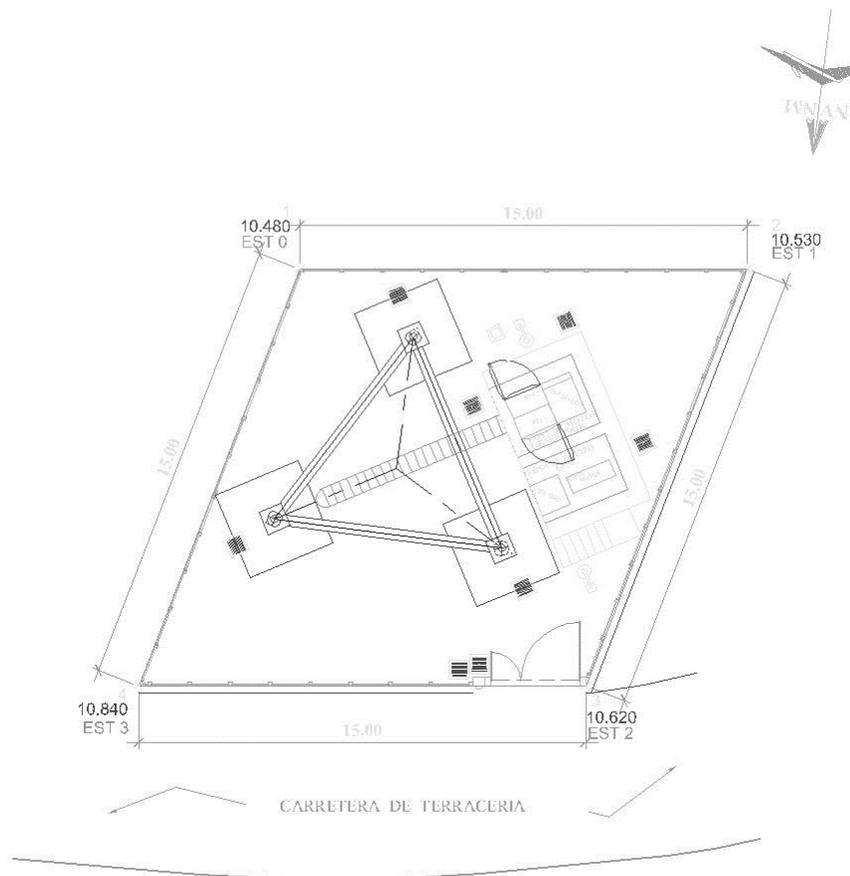
1. AGUILAR LÓPEZ, Byron Alfredo. *Guía de laboratorio para el curso de ingeniería de la producción*. Trabajo de graduación de Ingeniería Industrial. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 1988. 125 p.
2. DUARTE CORDÓN, Julio César. *Apuntes de elaboración y evaluación de proyectos*. Facultad de Ciencias Económicas, Universidad de San Carlos de Guatemala. 1988. 86 p.
3. ESTERKIN, José D. *La administración de proyectos en un ámbito competitivo*. México: Thomson, 2008. 105 p.
4. Fundación Centroamericana de Desarrollo (FUNCEDE). *Planificación y programación Manual para la preparación y presentación de proyectos de inversión a nivel de perfil*. Guatemala: SEGEPLAN, 2001. 30 p.
5. GUERRERO, Alba Maritza. *Formulación y evaluación de proyectos*. Trabajo de graduación de Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2005. 144 p.
6. JO LEU, José Fernando. *Guía para la presentación de proyectos de factibilidad de desarrollo local en el área rural de San Miguel Tucuru, Alta Verapaz*. Trabajo de graduación de Ingeniería

Industrial. Facultad de Ingeniería, Universidad de san Carlos de Guatemala, , 1994. 105 p.

7. MIZUNO, Keiko; MURATA, Toshio y MOLINA VISQUERRA, Zully Patricia. *Guía básica para la formulación de proyectos con aplicación del marco lógico*. Guatemala: McGraw-Hill Editores S.A., 1999. 136p.
8. Oficina de Evaluación (EVO).Banco Interamericano de Desarrollo. *Evaluación: una herramienta de gestión para mejorar el desempeño de los proyectos*. 1997. 235p.
9. SAPAG CHAIN, Nacir Reinaldo. *Preparación y evaluación de proyectos*. 4a. ed. México: McGraw-Hill Interamericana Editores S. A., 2003. 135 p.
10. TORRES MÉNDEZ, Sergio Antonio. *Ingeniería de plantas*. Trabajo de graduación de Ingeniería Industrial. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 1999. 133 p.

# APÉNDICES

## Apéndice 1. Diagrama del sitio



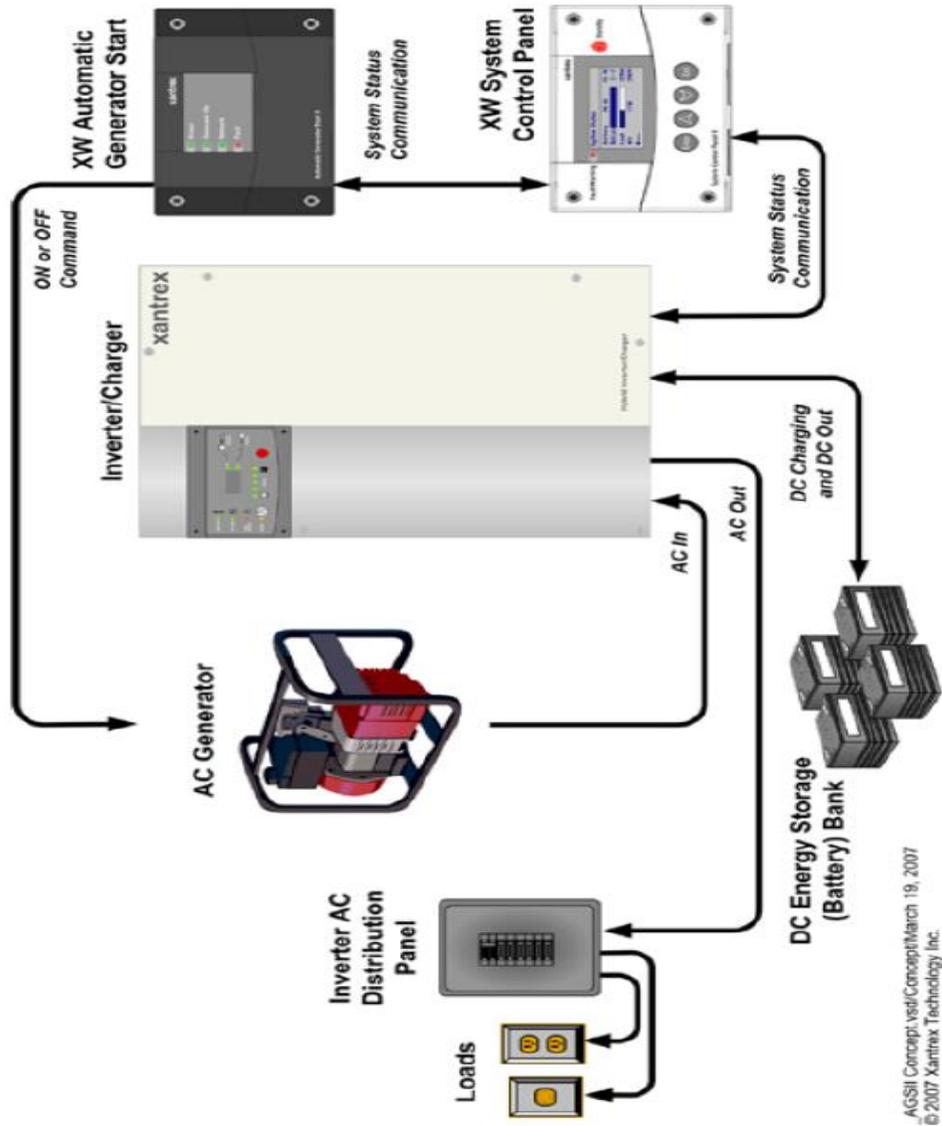
MSNM:	12.00MTS.
EST 0	10.480

Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.



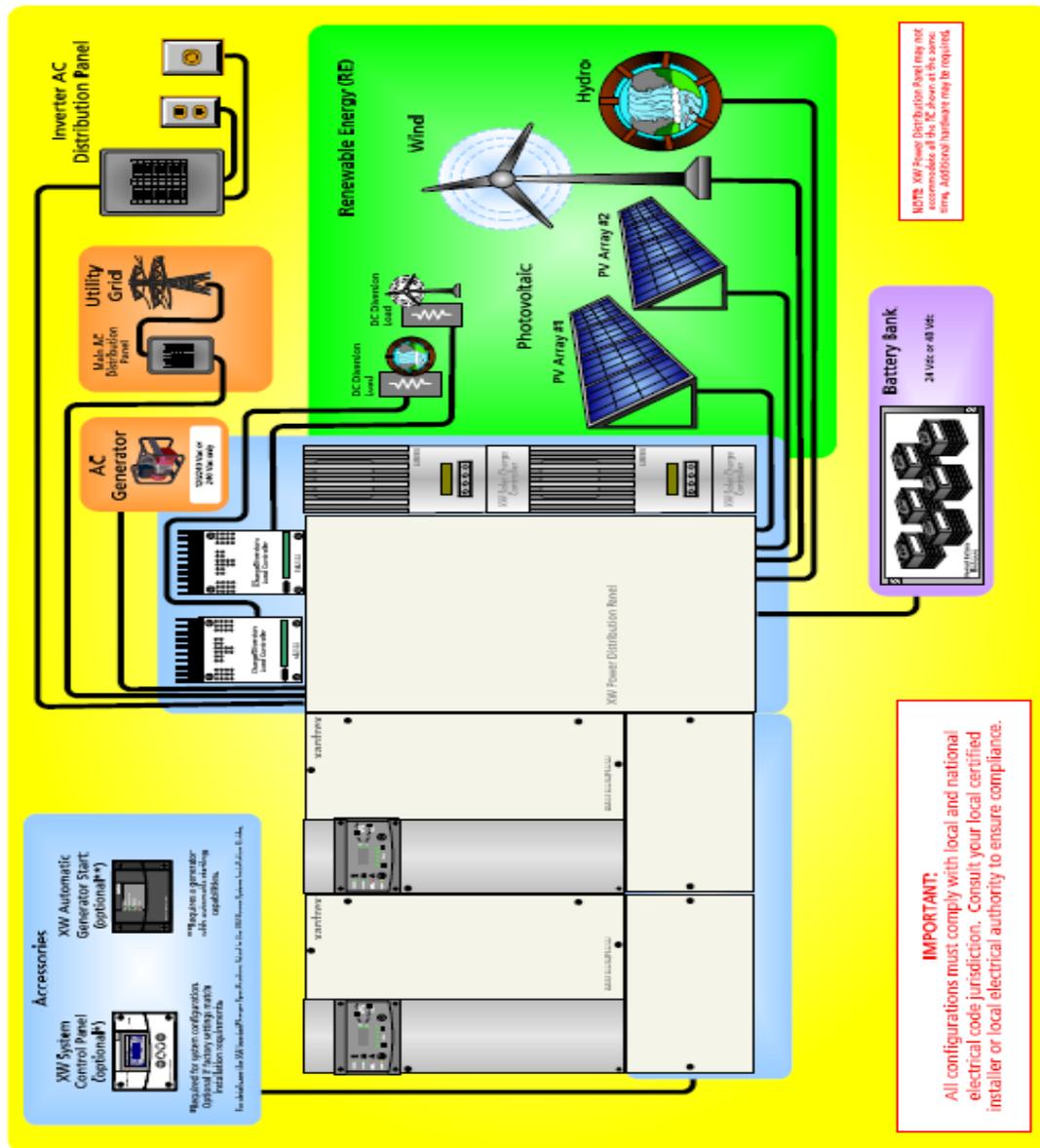
# ANEXOS

Anexo 1. Diagrama eléctrico del sistema



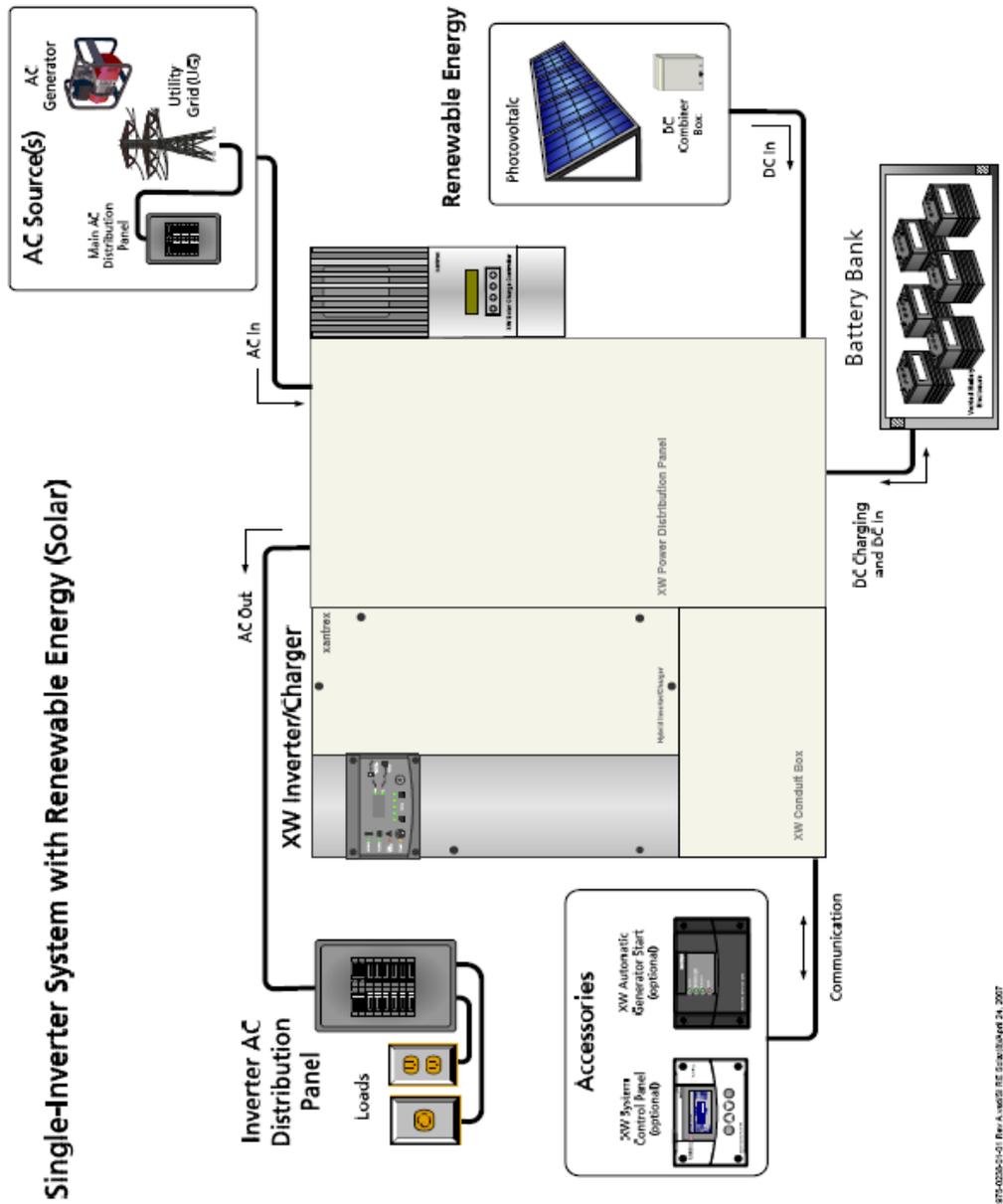
Fuente: Fabricante del Panel de Control.

## Anexo 2. Diagrama de uso de otras tecnologías alternativas



Fuente: fabricante del panel de control.

Anexo 3. Diagrama del sistema con paneles solares



Fuente: fabricante del panel de control.

## Anexo 4. Especificaciones mecánicas del gabinete

**Table A-2** XW Power System Mechanical Specifications

Model	XW6048-120/240-60	XW4548-120/240-60	XW4024-120/240-60
System Network	Xanbus (publish-subscribe network, no need for hubs or special cards)		
Emissions	FCC Class B		
Regulatory approvals	UL 1741 1st Edition: 2005 Version, CSA 107.1-01		
Enclosure Type	NEMA Type 1 - Indoor (sensitive electronic components sealed inside enclosure)		
Rated Temperature Range (meets all specifications)	32–104 °F (0–40 °C)		
Operational Temperature Range	-13–158 °F (-25–70 °C)		
Storage Temperature Range	-40–185 °F (-40–85 °C)		
Inverter Dimensions (H × W × D)	23 × 16 × 9" (580 × 410 × 230 mm)		
Shipping Dimensions	28 x 22 ¼ x 10½" (711 x 565 x 267 mm)		
XW Power Distribution Panel Dimensions (H × W × D)	30 × 16 × 8 ¼" (761 × 406 × 210 mm) Depth from the wall = 8 ¾" (223 mm)		
XW Power Distribution Panel Shipping Dimensions	36 x 21 ¼ x 13" (914 x 533 x 330 mm)		
Inverter Weight	125 lb (57 kg)	115 lb (52 kg)	115 lb (52 kg)
Shipping Weight	132 lb (60 kg)	122 lb (55 kg)	122 lb (55 kg)

Fuente: fabricante del panel de control.

Anexo 5. **Especificaciones eléctricas del sistema**

**Electrical Specifications**

**Table A-1 XW Power System Electrical Specifications**

Model	XW6048-120/240-60	XW4548-120/240-60	XW4024-120/240-60
Continuous Output Power	6,000 W	4,500 W	4,000 W
Surge Rating (10 seconds)	12,000 W	9,000 W	8,000 W
Surge Current	L-n: 105 A <sub>rms</sub> (7 sec) L-L: 52.5 A <sub>rms</sub> (7 sec)	L-n: 75 A <sub>rms</sub> (20 sec) L-L: 40 A <sub>rms</sub> (20 sec)	L-n: 70 A <sub>rms</sub> (7 sec) L-L: 35 A <sub>rms</sub> (7 sec)
Waveform	True Sine Wave		
Idle Consumption—invert mode, no load	28 W	26 W	24 W
Idle Consumption—search mode	< 8 W		
AC Output Voltage	L-n: 120 Vac ±3% L-L: 240 Vac ±3%		
AC Input voltage range (Bypass/Charge Mode)	L-n: 80–150 Vac (120 V nominal) L-L: 160–270 Vac (240 V nominal)		
AC Input Current (maximum 75% imbalance between L1-n, L2-n)	L-n: 41.2 A L-L: 27.5 A	L-n: 30.9 A L-L: 20.6 A	L-n: 27.5 A L-L: 18.3 A
AC Input Breaker	60 A double-pole		
AC Input Frequency Range (Bypass/Charge Mode)	55–65 Hz (default) 44–70 Hz (allowable)		
AC1 voltage range—Sell Mode <sup>a</sup> (automatically adjusts when entering Sell Mode)	L-n: 108–130 ±1.5 Vac L-L: 214–260 ±3.0 Vac		
AC1 Frequency range—Sell Mode <sup>a</sup> (automatically adjusts when entering Sell Mode)	59.4–60.4 ±0.05 Hz		

Fuente: fabricante del panel de control.

Anexo 6. Especificaciones baterías Rolls serie 4000



**DEEP CYCLE**  
**SERIES: 4000**  
**MODEL: S-530**

**BATTERY ENGINEERING**  
**WWW.ROLLSBATTERY.COM MADE IN CANADA**

**BATTERY TYPE: 6 VOLTS**

**DIMENSIONS:**

<b>LENGTH</b>	318 MM	12 1/2 INCHES
<b>WIDTH</b>	181 MM	7 1/8 INCHES
<b>HEIGHT</b>	425 MM	16 3/4 INCHES

**WEIGHTS:**

<b>WEIGHT DRY</b>	41 KG	90 LBS.
<b>WEIGHT WET</b>	53 KG	117 LBS.

**CONTAINER CONSTRUCTION:**

<b>CONTAINER:</b>	HIGH DENSITY POLYPROPYLENE	<b>TERMINALS:</b>	FLAG TERMINAL
<b>COVER:</b>	HIGH DENSITY POLYPROPYLENE	<b>HANDLES:</b>	ROPE

**PLATES:**

**POSITIVE PLATE DIMENSION:**

<b>HEIGHT</b>	273 MM	10.750 INCHES
<b>WIDTH</b>	143 MM	5.625 INCHES
<b>THICKNESS</b>	4.32 MM	0.170 INCHES

**CELLS:** 3

**PLATES/CELL:** 17

**NEGATIVE PLATE DIMENSION:**

<b>HEIGHT</b>	273 MM	10.750 INCHES
<b>WIDTH</b>	143 MM	5.625 INCHES
<b>THICKNESS</b>	3.05 MM	0.120 INCHES

**SEPARATOR:**

<b>THICKNESS</b>	2 MM	0.061 INCHES
------------------	------	--------------

**INSULATION:**

<b>GLASS MAT</b>	1 MM	0.020 INCHES
------------------	------	--------------

**CAPACITY:**

**CRANK AMPS:**

<b>COLD (CCA)</b>	0°F / -17.8°C	1218
<b>MARINE (MCA)</b>	32°F / 0°C	1523

**ELECTROLYTE RESERVE:**

<b>ABOVE PLATES</b>	57 MM	2.25 INCHES
---------------------	-------	-------------

**RESERVE CAPACITY:**

<b>RC @ 25A</b>	870 MINUTES
-----------------	-------------

**20 HR RATE: 400**

	<b>HOUR RATE</b>	<b>SPECIFIC GRAVITY</b>	<b>CAP / AH</b>	<b>CURRENT / AMPS</b>
CAPACITY @	100 HOUR RATE	1.280 SP. GR.	532	5.32
CAPACITY @	72 HOUR RATE	1.280 SP. GR.	504	7.00
CAPACITY @	50 HOUR RATE	1.280 SP. GR.	476	9.52
CAPACITY @	24 HOUR RATE	1.280 SP. GR.	412	17.2
<b>CAPACITY @</b>	<b>20 HOUR RATE</b>	<b>1.280 SP. GR.</b>	<b>400</b>	<b>20.0</b>
CAPACITY @	15 HOUR RATE	1.280 SP. GR.	376	25.1
CAPACITY @	12 HOUR RATE	1.280 SP. GR.	356	29.7
CAPACITY @	10 HOUR RATE	1.280 SP. GR.	340	34.0
CAPACITY @	8 HOUR RATE	1.280 SP. GR.	320	40.0
CAPACITY @	6 HOUR RATE	1.280 SP. GR.	296	49.3
CAPACITY @	5 HOUR RATE	1.280 SP. GR.	280	56
CAPACITY @	4 HOUR RATE	1.280 SP. GR.	260	65
CAPACITY @	3 HOUR RATE	1.280 SP. GR.	236	79
CAPACITY @	2 HOUR RATE	1.280 SP. GR.	204	102
CAPACITY @	1 HOUR RATE	1.280 SP. GR.	144	144



1 STATION RD SPRINGHILL, NOVA SCOTIA, CANADA B0M 1X0 1.800.681.9914

REV2  
 Apr-10  
 S-530

Fuente: fabricante de las baterías.

Anexo 7. Especificaciones baterías Rolls serie 5000



**DEEP CYCLE**  
**SERIES: 5000**  
**MODEL: 6 CS 21P**

---

**BATTERY ENGINEERING**  
 WWW.ROLLSBATTERY.COM MADE IN CANADA

**BATTERY TYPE: 6 VOLTS**

---

**DIMENSIONS:**

<b>LENGTH</b>	559 MM	22	INCHES
<b>WIDTH</b>	248 MM	9 3/4	INCHES
<b>HEIGHT</b>	464 MM	18 1/4	INCHES

**WEIGHTS:**

<b>WEIGHT DRY</b>	98 KG	217 LBS.
<b>WEIGHT WET</b>	123 KG	271 LBS.

**CONTAINER CONSTRUCTION:**

<b>CONTAINER: (INNER)</b>	POLYPROPYLENE	<b>TERMINALS:</b>	FLAG WITH STAINLESS STEEL NUTS AND BOLTS
<b>COVER: (INNER)</b>	POLYPROPYLENE - HEAT SEALED TO INNER CONTAINER	<b>HANDLES:</b>	MOLDED
<b>CONTAINER: (OUTER)</b>	HIGH DENSITY POLYETHYLENE		
<b>COVER: (OUTER)</b>	HIGH DENSITY POLYETHYLENE SNAP FIT TO OUTER CONTAINER		

**PLATES:**

<b>POSITIVE PLATE DIMENSION:</b>			<b>CELLS:</b>	3	<b>PLATES/CELL:</b>	21
<b>HEIGHT</b>	273 MM	10.750	INCHES			
<b>WIDTH</b>	143 MM	5.625	INCHES			
<b>THICKNESS</b>	6.60 MM	0.260	INCHES			
<b>NEGATIVE PLATE DIMENSION:</b>						
<b>HEIGHT</b>	273 MM	10.750	INCHES			
<b>WIDTH</b>	143 MM	5.625	INCHES			
<b>THICKNESS</b>	4.57 MM	0.180	INCHES			

**CAPACITY:**

<b>CRANK AMPS:</b>		
<b>COLD (CCA)</b>	0°F / -17.8°C	1764
<b>MARINE (MCA)</b>	32°F / 0°C	2175

**20 HR RATE: 683**

	<b>ELECTROLYTE RESERVE:</b>	
	<b>ABOVE PLATES</b>	95 MM 3.75 INCHES
	<b>RESERVE CAPACITY:</b>	
	<b>RC @ 25A</b>	1353 MINUTES

	20 HR RATE:	683			
	<b>HOUR RATE</b>	<b>SPECIFIC GRAVITY</b>	<b>CAP / AH</b>	<b>CURRENT / AMPS</b>	
CAPACITY @	100 HOUR RATE	1.280 SP. GR.	963	9.63	
CAPACITY @	72 HOUR RATE	1.280 SP. GR.	908	12.62	
CAPACITY @	50 HOUR RATE	1.280 SP. GR.	840	16.80	
CAPACITY @	24 HOUR RATE	1.280 SP. GR.	710	29.6	
<b>CAPACITY @</b>	<b>20 HOUR RATE</b>	<b>1.280 SP. GR.</b>	<b>683</b>	<b>34.2</b>	
CAPACITY @	15 HOUR RATE	1.280 SP. GR.	635	42.3	
CAPACITY @	12 HOUR RATE	1.280 SP. GR.	594	49.5	
CAPACITY @	10 HOUR RATE	1.280 SP. GR.	567	56.7	
CAPACITY @	8 HOUR RATE	1.280 SP. GR.	533	66.6	
CAPACITY @	6 HOUR RATE	1.280 SP. GR.	485	80.8	
CAPACITY @	5 HOUR RATE	1.280 SP. GR.	458	92	
CAPACITY @	4 HOUR RATE	1.280 SP. GR.	423	106	
CAPACITY @	3 HOUR RATE	1.280 SP. GR.	382	127	
CAPACITY @	2 HOUR RATE	1.280 SP. GR.	328	164	
CAPACITY @	1 HOUR RATE	1.280 SP. GR.	232	232	

---



1 STATION RD SPRINGHILL, NOVA SCOTIA CANADA B0M 1X0 1.800.681.9914

REV2  
Jan-10  
6 CS 21P

Fuente: fabricante de las baterías.

## Anexo 8. Especificaciones de recarga de las baterías

### Surrette

#### Rolls Serie 4000 y 5000 - Baterías Inundadas

La línea de baterías Rolls, inundadas, de ciclo profundo, ofrece garantías estándar extensas y placas positivas doblemente aisladas que eliminan la posibilidad de desalineación o grietas en los separadores, bifurcaciones o cortocircuitos en el fondo o lados. Cada celda tiene niveles incrementados de reserva de líquido, para menores intervalos de "riego". Sus resistentes placas permiten una larga vida de servicio - la serie 4000 una vida promedio de 10 años la serie 5000 15 años-. La serie 5000 se construye en un contenedor doble. Cada celda de 2 volts se ensambla en su propio contenedor de polipropileno dentro de un contenedor externo a prueba de fugas, eliminando así los cortocircuitos debido a caídas de agua u objetos metálicos. La serie 4000 tiene una garantía de 24 meses de reemplazo gratis (Libre a Bordo desde la fábrica) e incluye un periodo de ajuste de 84 meses desde la fecha de instalación. La serie 5000 tiene una garantía de 36 meses de reemplazo gratis (Libre a Bordo desde la fábrica) e incluye un periodo de ajuste de 120 meses desde la fecha de instalación (EU solamente) Envíos Libre a Bordo sólo en las cantidades mínimas listadas. Disponible cargada en seco. Borne tamaño 5/16" s.



Rolls Serie 4000

Ciclos en esperanza de vida vs. profundidad de descarga (PDD) en la Serie 4000, a 100 hr. y 25°C:

- 2688 a 10% PDD
- 2048 a 30% PDD
- 1536 a 50% PDD

Ciclos en esperanza de vida vs. profundidad de descarga (PDD) en la Serie 5000, a 100 hr. y 25°C:

- 6000 a 10% PDD
- 5040 a 30% PDD
- 3840 a 50% PDD

Modelo	Voltaje	Capacidad Nominal a 100 Hr.	Dimensiones (cm)	Peso Húmedo (kg)	Peso en Seco (kg)	Min. Orden Libre a Bordo
<b>Serie 4000</b>						
S-460	6 V	460 Ah	31 x 18 x 43	59	41	36
S-530	6 V	530 Ah	31 x 18 x 43	64	52	36
<b>Serie 5000</b>						
4-CS-17PS	4 V	770 Ah	36 x 21 x 46	58	45	32
4-KS-21PS	4 V	1557 Ah	40 x 25 x 63	104	84	18
4-KS-25PS	4 V	1900 Ah	40 x 27 x 63	143	100	12
6-CS-17PS	6 V	770 Ah	56 x 21 x 46	100	81	18
6-CS-21PS	6 V	963 Ah	56 x 25 x 46	123	99	16
6-CS-25PS	6 V	1156 Ah	56 x 29 x 46	144	115	12
8-CS-25PS	8V	1156 Ah	72 x 29 x 46	223	155	8

Fuente: fabricante de las baterías.