



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

**IMPLICACIONES ELÉCTRICAS EN LA CONEXIÓN DE LA GENERACIÓN
DISTRIBUIDA RENOVABLE A LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN
REALIZADO EN UNIÓN FENOSA**

Jeison Elí Carranza Cruz

Asesorado por el Ing. Dimas Alfredo Carranza Barrera

Guatemala, octubre de 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**IMPLICACIONES ELÉCTRICAS EN LA CONEXIÓN DE LA GENERACIÓN
DISTRIBUIDA RENOVABLE A LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN
REALIZADO EN UNIÓN FENOSA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JEISON ELÍ CARRANZA CRUZ

ASESORADO POR EL ING. DIMAS ALFREDO CARRANZA BARRERA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Dimas Alfredo Carranza Barrera
EXAMINADOR	Ing. Natanael Jonathan Requena Gómez
EXAMINADOR	Ing. Jorge Armando Cortez Chanchavac
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

IMPLICACIONES ELÉCTRICAS EN LA CONEXIÓN DE LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA RENOVABLE A LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN REALIZADO EN UNIÓN FENOSA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería en Mecánica Eléctrica, con fecha septiembre de 2009.



Jeison Elí Carranza Cruz

Guatemala, mayo de 2011

A quien interese

Facultad de Ingeniería

Universidad de San Carlos de Guatemala

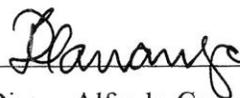
Reciba un cordial saludo:

Por este medio le hago saber que yo Dimas Alfredo Carranza Barrera con número de colegiado 4701, responsable de la asesoría en el Ejercicio Profesional Supervisado de Jeison Elí Carranza Cruz con carne 2002 12839, he revisado y aprobado el trabajo de gradación titulado: **IMPLICACIONES ELÉCTRICAS EN LA CONEXIÓN DE LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA RENOVABLE A LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN REALIZADO EN UNIÓN FENOSA.**

Sin otro particular, me suscribo de usted,

Atentamente,

f)



Ing. Dimas Alfredo Carranza Barrera

Gerente de Regulación

DIMAS ALFREDO CARRANZA BARRERA
INGENIERO ELECTRICISTA
COLEGIADO N.º 4701



Ref. EIME 39. 2011
Guatemala, 12 de JULIO 2011.

FACULTAD DE INGENIERIA

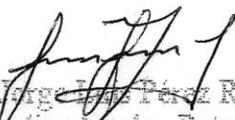
Señor Director
Ing. Guillermo Antonio Puente Romero
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:
"IMPLICACIONES ELÉCTRICAS EN LA CONEXIÓN DE LA
GENERACIÓN DISTRIBUIDA RENOVABLE A LAS REDES DE
DISTRIBUCIÓN REALIZADO EN UNIÓN FENOSA", del
estudiante Jeison Eli Carranza Cruz, que cumple con los requisitos
establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Jorge Luis Pérez Rivera
Coordinador de Potencia

JLPR/sro





Guatemala, 7 de mayo de 2011.

Ref.EPS.DOC.767.07.11.

Inga. Norma Ileana Sarmiento Zeceña de Serrano
Directora Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimada Ingeniera Sarmiento Zeceña.

Por este medio atentamente le informo que como Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Jeison Elí Carranza Cruz** de la Carrera de Ingeniería Eléctrica, con carné No. **200212839**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **“IMPLICACIONES ELÉCTRICAS EN LA CONEXIÓN DE LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA RENOVABLE A LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN REALIZADO EN UNIÓN FENOSA”**.

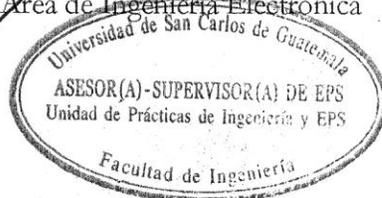
En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”


Ing. Jonathan Jonathán Requena Gómez
Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Electrónica



c.c. Archivo
NJRG/ra



Guatemala, 7 de mayo de 2011.
Ref.EPS.D.541.07.11.

Ing. Guillermo Antonio Puente Romero
Director Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Puente Romero.

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"IMPLICACIONES ELÉCTRICAS EN LA CONEXIÓN DE LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA RENOVABLE A LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN REALIZADO EN UNIÓN FENOSA"** que fue desarrollado por el estudiante universitario, **Jeison Elí Carranza Cruz**, quien fue debidamente asesorado por el Ing. Dimas Alfredo Carranza Barrera y supervisado por el Ing. Natanael Jonathan Requena Gómez.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor y del Supervisor de EPS, en mi calidad de Directora apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"


Inga. Norma Ileana Sarmiento Zeceña de Serrano
Directora Unidad de EPS

NISZ/ra





FACULTAD DE INGENIERIA

REF. EIME 43. 2011.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; JEISON ELÍ CARRANZA CRUZ titulado: "IMPLICACIONES ELÉCTRICAS EN LA CONEXIÓN DE LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA RENOVABLE A LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN REALIZADO EN UNIÓN FENOSA"., procede a la autorización del mismo.

Ing. Guillermo Antonio Puente Romero



GUATEMALA, 13 DE JULIO 2011.



DTG. 402.2011

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al trabajo de graduación titulado: **IMPLICACIONES ELÉCTRICAS EN LA CONEXIÓN DE LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA RENOVABLE A LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN REALIZADO EN UNIÓN FENOSA**, presentado por el estudiante universitario **Jeison Elí Carranza Cruz**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 14 de octubre de 2011.



/gdech

AGRADECIMIENTOS A:

- Mi asesor** Ing. Dimas Alfredo Carranza Barrera, por su tiempo y orientación para la realización del presente trabajo.
- Mi padre** Carlos Arturo Carranza Enríquez, por apoyo durante el transcurso de mi vida y carrera estudiantil.
- Mi madre** María Isabel Cruz de Carranza, por la confianza depositada en mí y el apoyo incondicional.
- Mi tía** María Leonor Cruz Nájera, por los consejos que me brindo en el transcurso mi vida.
- Mi hermana** Oneida Verónica Carranza Cruz, por la ayuda prestada y el apoyo brindado.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XVII
OBJETIVOS	XIX
INTRODUCCIÓN	XXI
1. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA	1
1.1. Historia de la empresa	1
1.2. Historia en Guatemala	2
1.3. Mercado	5
1.4. Ubicación	7
2. FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL	9
2.1. Sistema de distribución eléctrica	9
2.1.1. Clasificación de los sistemas de distribución eléctrica	10
2.1.1.1. Sistema de distribución industrial	10
2.1.1.2. Sistema de distribución comercial	11
2.1.1.3. Sistema de distribución urbana	11
2.1.1.4. Sistema de distribución rural	11
2.2. Energías renovables	12
2.2.1. Energía hidráulica	12
2.2.2. Energía solar	13
2.2.3. Energía eólica	14

2.2.4.	Energía biomásica	15
2.2.5.	Energía por cogeneración	16
2.2.6.	Energía geotérmica	17
2.3.	Generación distribuida renovable	18
2.4.	Requerimientos de la interconexión	21
2.5.	Tipo de conexión del transformador	23
2.6.	Requisitos del estudio	25
2.6.1.	Especificaciones técnicas de los GDRs	25
2.6.2.	Especificaciones técnicas de las líneas de distribución	28
2.7.	Cálculos y simulaciones de la redes de distribución	32
2.7.1.	Cálculos de calibre de conductor	32
2.7.1.1.	Cálculo de calibre del conductor por corriente máxima	32
2.7.1.2.	Cálculo de calibre del conductor por caída de tensión	34
2.7.2.	Cálculo del conductor para el tramo que conecta el generador distribuido a la red de distribución San Pablo	36
2.7.2.1.	Cálculo por corriente máxima	36
2.7.2.2.	Cálculo por caída de tensión	38
2.7.3.	Cálculo del conductor para el tramo que conecta el generador distribuido a la red de distribución San José el Ídolo	39
2.7.3.1.	Cálculo por corriente máxima	39
2.7.3.2.	Cálculo por caída de tensión	40
2.8.	Implicaciones eléctricas en la red de distribución de energía eléctrica de la generación distribuida renovable	42
2.8.1.	Flujos de potencia	42

2.8.2.	Pérdidas de potencia	43
2.8.3.	Variación en los niveles de tensión	43
2.8.4.	Contribución al nivel de falla	45
2.9.	Procedimiento para la simulación de flujos de carga, pérdidas de potencia y variación en los niveles de tensión	47
2.9.1.	Resultados de las simulaciones en las redes de distribución	52
2.9.1.1.	Red de distribución San Pablo	52
2.9.1.2.	Red de distribución San José el Ídolo	57
2.10.	Corrientes de corto circuito	62
2.10.1.	Corto circuito monofásico	65
2.10.1.1.	Proyecto Enasa	70
2.10.1.2.	Proyecto Turinja	72
2.10.2.	Corto circuito bifásico	74
2.10.2.1.	Proyecto Enasa	75
2.10.2.2.	Proyecto Turinja	77
3.	FASE DE INVESTIGACIÓN	79
3.1.	Plan de Contingencia ante peligros eléctricos de la generación distribuida renovable	79
3.1.1.	Guía para la propia defensa	79
3.1.1.1.	Líneas aéreas de la generación Distribuida Renovable	79
3.1.1.2.	Riesgos provocados por las líneas aéreas de la generación distribuida renovable	80

	3.1.1.2.1.	Riesgo ante una descarga eléctrica en un individuo	81
	3.1.1.2.2.	Riesgos ante un arco eléctrico	81
	3.1.1.2.3.	Riesgos ante líneas cargadas y en corto circuito	82
3.1.1.3.		Cuidados ante las líneas aéreas de la generación distribuida renovable	82
	3.1.1.3.1.	Cuidados con la corriente en un incendio	83
	3.1.1.3.2.	Cuidados con las escaleras	84
	3.1.1.3.3.	Cuidados ante la caída de las líneas en un vehículo	84
	3.1.1.3.4.	Cuidados con las líneas para seguridad de otro	86
3.2.		Alambres cortados sin vigilancia	87
3.3.		Causas que convierten en peligrosas las líneas aéreas de la generación distribuida renovable	87
3.4.		Sogas lanzadas desde pisos altos de una edificación para subir mangueras u otro equipo	88
3.5.		¿Cómo atender fuego en transformadores colocados sobre postes, bóvedas y otros equipos igualmente montados?	88

3.6.	Líneas aéreas de generación distribuida renovable caídas o a punto de caer	89
3.6.1.	¿Qué hacer en términos generales cuando las líneas están caídas o peligrosamente aflojadas?	89
3.6.2.	¿Qué hacer para alimentar la seguridad de la persona?	90
3.7.	Líneas aéreas de la generación distribuida renovable: procedimiento de rescate	92
3.7.1.	Cortar un alambre para liberar una víctima	92
3.7.2.	Precauciones para cortar los alambres cargados	93
3.8.	Método para proteger las líneas de la generación distribuida renovable	94
3.8.1.	Una víctima en contacto con una línea cargada	95
3.9.	¿Como levantar a una víctima?	95
3.9.1.	¿Cómo quitar el alambre cargado del cuerpo de una víctima?	96
4.	FASE DE ENSEÑANZA APRENDIZAJE	99
4.1.	Capacitación de personal	99
4.2.	Descripción de la capacitación utilizada	101
4.2.1.	Técnica de la conferencia	101
4.2.1.1.	Preparación de una conferencia	101
4.2.1.2.	El cuerpo	102
4.2.1.3.	Conclusión	103
4.2.1.4.	¿Cuándo se debe utilizar una conferencia?	103
4.2.1.5.	Ventajas de una conferencia	104
4.3.	Material usado durante la conferencia	104
4.3.1.	Uso de pizarrones y gráficos	104

4.3.1.1.	Pizarrones y trabajo de pizarrones	105
4.3.1.2.	El plan de uso del pizarrón	106
4.3.1.3.	Problemas con el pizarrón	109
4.3.1.4.	Revisión del pizarrón	109
4.4.	Aplicación de la técnica de la conferencia para exponer las implicaciones eléctricas en la red de distribución de la energía eléctrica de la generación distribuida renovable	112
4.4.1.	Preparación de la conferencia para el personal de la empresa distribuidora	112
4.4.2.	Procedimiento de la capacitación	114
	CONCLUSIONES	117
	RECOMENDACIONES	119
	BIBLIOGRAFÍA	121
	ANEXOS	123

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Esquema de un sistema de distribución eléctrica	9
2.	Diseño típico de una hidrogeneradora	13
3.	Distribución de energía eléctrica por medio de un generador fotovoltaico	14
4.	Aerogeneradores	15
5.	Proceso típico para la producción de energía por biomasa	16
6.	Ingenio azucarero	17
7.	Recolección de calor	18
8.	Conexión Delta Estrella	24
9.	Red de distribución San Pablo	29
10.	Red de distribución San José el Ídolo	31
11.	Triángulo de potencia	37
12.	Ejemplo de diseño de una red de distribución	47
13.	Generador con transformador	50
14.	Ejemplo de diseño de una red de distribución con GDR conectado	51
15.	Red de distribución San Pablo, simulada	53
16.	Red de distribución San José el Ídolo, simulada	58
17.	Mallas de secuencia	65
18.	Falla del sistema	65
19.	Red de secuencia para una falla monofásica	66
20.	Red de secuencia para una falla bifásica	74
21.	Ejemplo de pizarrón	107

22.	Ejemplo del pizarrón utilizado durante la conferencia	114
-----	---	-----

TABLAS

I.	Especificaciones técnicas del generador que se conectará a la línea San Pablo	26
II.	Especificaciones técnicas del generador que se conectará a la línea San José el Ídolo	27
III.	Descripción de la línea San José el Ídolo	28
IV.	Descripción de la línea San Pablo	30
V.	Capacidad máxima de conducción de corriente	33
VI.	Equivalencia de AWG a mm ²	35
VII.	Valores de calibre mínimo para valores de media tensión	36
VIII.	Parámetros eléctricos según calibre del conductor	49
IX.	Resultados en los nodos de la red San Pablo	54
X.	Resultados en los nodos de la red San José el Ídolo	59
XI.	Reactancias para generadores síncronos	67
XII.	Reactancias para transformadores según potencia aparente	67
XIII.	Impedancia de secuencia positiva para conductores ACSR	68
XIV.	Impedancia de secuencia cero para conductores ACSR	69

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
ACSR	Conductor de Aluminio con Acero Reforzado del inglés <i>Aluminum Conductor Steel Reinforced</i>
AT	Alta Tensión
AWG	Calibre de Cable en América, del inglés <i>American Wire Gauge</i>
BT	Baja Tensión
EEGSA	Empresa Eléctrica de Guatemala Sociedad Anónima
GDR	Generador Distribuido Renovable
IEEE	Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos
INDE	Instituto Nacional de Electrificación
MEM	Ministerio de Energía y Minas
MT	Media Tensión

NTGDR	Norma Técnica para la generación distribuida renovable
SEP	Sistema Eléctrico de Potencia
SGC	Sistema de Gestión Comercial
UTM	Universal Transversal de Mercator
A	Amperio
Hz	Hertz
Km	Kilómetro
Kv	Kilovoltio
M	Mega
MW	Megavatio
Mm²	Milímetro cuadrado
p	Páginas publicadas
VA	Voltio Amperio
V	Voltio

GLOSARIO

Aislador eléctrico	Piezas de material aislante empleadas para soportar los conductores eléctricos de las líneas eléctricas de transmisión y distribución.
Amperaje	Intensidad de una corriente eléctrica circulando entre dos puntos, el negativo y el positivo, a través de un conductor o cable eléctrico. La corriente eléctrica se mide en amperios (A).
Arco eléctrico	Descarga eléctrica que se forma entre dos electrodos sometidos a una diferencia de potencial y colocados en el seno de una atmósfera gaseosa enrarecida, normalmente a baja presión, o al aire libre.
Circuito eléctrico	Trayectoria que sigue una corriente eléctrica para desplazarse del polo negativo al polo positivo del generador del voltaje o fuerza electromotriz (fem.).
Colector térmico	Dispositivo diseñado para recoger la energía irradiada por el sol y convertirla en energía térmica.
Conductor eléctrico	Material usualmente en la forma de alambre, cable o barra, capaz de conducir una corriente eléctrica.

Consumidor eléctrico	Persona u organización que demanda bienes o servicios eléctricos proporcionados por el productor o el proveedor de bienes o servicios. Es decir, es un agente económico con una serie de necesidades y deseos, que cuenta con una renta disponible con la que puede satisfacer esas necesidades y deseos a través de los mecanismos de mercado.
Coordenadas UTM	Sistema de coordenadas basado en la proyección cartográfica transversa de Mercator, que se construye como la proyección de Mercator normal, pero en vez de hacerla tangente al Ecuador, se la hace tangente a un meridiano; las magnitudes en el sistema UTM se expresan en metros.
Corto circuito	Fallo en una línea eléctrica por el cual la corriente eléctrica pasa directamente del conductor activo o fase al neutro o tierra en sistemas monofásicos de corriente alterna, entre dos fases o igual al caso anterior para sistemas polifásicos, o entre polos opuestos en el caso de corriente continua.
Energía cinética	Energía que surge en el fenómeno del movimiento. Está definida como el trabajo necesario para acelerar un cuerpo de una masa dada desde el reposo hasta la velocidad que posee.

Fotocelda	Dispositivo que produce una variación eléctrica en respuesta a un cambio en la intensidad de la luz.
Frecuencia eléctrica	Número completo de ciclos de una señal de corriente eléctrica alterna que ocurre durante un segundo, la unidad para medir estos ciclos es el Hertz (Hz).
Interruptor termomagnético	Se emplean para proteger cada circuito de la instalación, siendo su principal función resguardar a los conductores eléctricos ante sobrecorrientes que pueden producir peligrosas elevaciones de temperatura.
Panel fotovoltaico	Panel formado por numerosas celdas que convierten la energía de la luz en electricidad. Las celdas a veces son llamadas células fotovoltaicas. Estas celdas dependen del efecto fotovoltaico por el que la energía luminosa produce cargas positiva y negativa en dos semiconductores próximos de diferente tipo, produciendo así un campo eléctrico capaz de generar una corriente.
Potencia nominal	Potencia que demanda o aporta un aparato en condiciones de uso normales; por lo que el aparato debe estar diseñado para soportar esa cantidad de potencia.

Presión atmosférica	Presión ejercida por el aire en cualquier punto de la atmósfera, en un punto que representa el peso de una columna de aire, de área, de sección recta unitaria que se extiende desde ese punto hasta el límite superior de la atmósfera.
Radiación solar	Flujo de energía que se recibe del Sol en forma de ondas electromagnéticas de diferentes frecuencias.
Recurso energético	Sustancia sólida, líquida o gaseosa, de la cual se puede obtener energía a través de diversos procesos. El amplio grupo de sustancias que conforman el conjunto de los recursos energéticos puede ser agrupado en dos categorías generales en función de su proceso de formación y de su disponibilidad, las cuales son renovables y no renovables.
Resistencia eléctrica	Cualidad de un material de oponerse al paso de una corriente eléctrica.
Sobrecarga eléctrica	Se produce cuando la magnitud de la tensión ("voltaje") o corriente supera el valor preestablecido como normal (valor nominal). Comúnmente estas sobrecargas se originan por exceso de consumos en la instalación eléctrica.

- Subestación eléctrica** Instalación destinada a modificar y establecer los niveles de tensión de una infraestructura eléctrica, con el fin de facilitar el transporte y distribución de la energía eléctrica.
- Turbina hidráulica** Máquina rotativa, que aprovecha la energía de un fluido que pasa a través de ella para producir un movimiento de rotación que, transferido mediante un eje, mueve directamente una máquina o bien un generador que transforma la energía mecánica en eléctrica.

RESUMEN

La introducción de Generadores Distribuidos Renovables (GDRs) en el sistema de distribución puede impactar de forma importante en los flujos de potencia y en los niveles de tensión en los consumidores, beneficiando al sistema o dando lugar a importantes problemas técnicos que deben ser considerados cuando realizamos estas conexiones.

Con la reciente emisión del reglamento de generación distribuida renovable en Guatemala, se prevé un surgimiento de numerosos proyectos de generación hidráulica con potencias comprendidas entre los 0,5 MW y 5 MW, los cuales tendrán que conectarse a la red de distribución, por lo que se presenta un estudio sobre las implicaciones eléctricas en la red de distribución de energía eléctrica de la generación distribuida renovable.

Las implicaciones eléctricas en la red de distribución de energía eléctrica de la generación distribuida renovable son muy importantes para el distribuidor eléctrico, así como para el proveedor de la fuente energética, porque con una mala manipulación de este recurso, el sistema puede aportar pérdidas o inconvenientes, que es lo contrario a los objetivos del uso de estos. Para tener garantía que el sistema funcione correctamente y se alcancen las metas propuestas, es necesario realizar un estudio de las implicaciones eléctricas en la red de distribución de energía eléctrica de la generación distribuida renovable, estudio que se dará como resultado el nivel de pérdidas, niveles de tensión, aporte de corrientes de falla al sistema, estudio que también nos ayudará al correcto manejo de las nuevas operaciones de las redes.

OBJETIVOS

General

Realizar un informe detallado del procedimiento que permita mostrar las implicaciones eléctricas en la conexión de la generación distribuida renovable a las redes de distribución

Específicos

1. Dar a conocer diferentes tipos de energías renovables, la cuales pueden ser utilizadas para la generación distribuida renovable.
2. Estudiar los factores más influyentes en las que son sometidas las conexiones de los generadores en la red de distribución.
3. Presentar los cálculos de los conductores para los tramos que conectarán los Generadores Distribuidos Renovables a la red de distribución.
4. Mostrar los cambios de voltaje en los nodos de las líneas de distribución eléctrica antes y después de ser conectados los Generadores Distribuidos Renovables al sistema de distribución.

5. Mostrar las pérdidas totales del sistema y las mejoras en cuanto a éstas, después de conectar los generadores distribuidos renovables a la red.
6. Proponer un plan de contingencia el cual sirva para prevenir riesgos y hacer que la generación distribuida renovable sea más segura.
7. Ejecutar una capacitación al personal de la empresa distribuidora, acerca de las implicaciones eléctricas en la red de distribución de energía eléctrica de la generación distribuida renovable.

INTRODUCCIÓN

Actualmente la crisis energética, conlleva a utilizar nuevas fuentes de energía. Las fuentes de energía renovable y apoyadas por el protocolo de Kyoto en diciembre del 1997, tiene como objetivo reducir sustancialmente las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), el cual incluye 39 países industrializados y comprometidos a limitar gases que provocan el efecto invernadero en el planeta.

En los últimos años, se han propuesto leyes de incentivos hacia la generación distribuida renovable. Como ejemplo, en Guatemala se crea el Decreto número 52-2003 emitido por el Congreso de la República y con la ayuda del Ministerio de Energía y Minas, en el que se insta a la explotación de dichos recursos renovables. Se presentan varias alternativas para el desarrollo de estas fuentes, como ejemplo se tiene las de tipo hidráulico, eólico, geotérmico, fotovoltaico, entre otros, teniendo ventajas y desventajas dependiendo de la localización geográfica de donde se quieran explotar.

La incorporación de estos recursos energéticos no sólo ayuda a la preservación ambiental del planeta, sino que las implicaciones eléctricas que llevan a efectuar estas propuestas, benefician de manera considerable a las actividades técnicas-económicas de los involucrados en ellas. Esto hace que sistemas tradicionales de distribución cambien sus características, en estructura, criterios de operación y metodologías de protección.

El propósito principal de las redes de distribución es entregar energía eléctrica desde sistemas de más alta tensión hasta los consumidores finales o clientes, teniendo que satisfacer el servicio de electricidad con un nivel de calidad acorde a las normativas de cada lugar. Al contar con sistemas de distribución radiales y con niveles de carga muy altos se dificulta proporcionar los niveles de tensión deseables, por lo que la generación distribuida renovable es una excelente alternativa para mejorar estos, ya que proporciona parte de la energía que es desperdiciada en las pérdidas de carga o línea.

Respetando las cualidades del sistema de distribución, los GDRs pueden conectarse a cualquier punto de la red; esto hace que se facilite aportar energía, a cualquier proveedor que esté interesado, vendiendo toda o parte de la energía que produce al distribuidor.

1. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA

1.1. Historia de la empresa

La empresa distribuidora eléctrica nació el 23 de noviembre de 1982 tras la fusión entre Unión Eléctrica, creada en 1912 como Unión Eléctrica Madrileña y Fuerzas Eléctricas del Noroeste S.A., empresa creada en 1943 por Pedro Barrié de la Maza, Conde de Fenosa. Sus orígenes, por lo tanto, están tanto en Madrid España, como en Galicia.

En 1984 bajo la dirección de Victoriano Reinoso (en calidad de director comercial) se presenta un proyecto de gestión al consejo de administración, con el objetivo de generar una nueva dinámica comercial que proyectaría a Victoriano Reino a la presidencia de la empresa.

Para llevar su proyecto al consejo recurrió a la colaboración de J. Javier A. Colmenares (creativo y estratega de lo publicitario) para diseñar y producir el documento de presentación que habría de llevarse al consejo de administración en un tiempo no superior a diez días, proceso que, pese a las grandes dificultades por escasez de tiempo y recursos y tecnológicos de la época, fue realizado dentro 10 días naturales, generando un marco de confianza, mutua amistad y una estrecha y continua colaboración.

El resultado positivo vino con la aceptación del consejo de administración al proyecto presentado: sistema de gestión comercial "SGC", para crear nuevo entorno corporativo, que permitió proyectarla como empresa comprometida con la renovación tecnológica en toda la estructura de la empresa, desarrollando nuevas plataformas de gestión, que sirvieron de referencia al mercado nacional y permitieron la exportación de los nuevos modelos de gestión y de la tecnología de sistemas aplicada a la gestión de la empresa en todas sus áreas.

La participación de J. Javier Colmenares, permitió a la empresa adentrarse en nuevos lenguajes de comunicación interna y externa, facilitando a Victoriano Reinoso diseñar un fuerte compromiso expresado en un decálogo que aportase garantías a los clientes, abandonando el viejo calificativo de abonados, que aún por muchos años permaneció en otras empresas del sector o de servicios similares. La semilla de Victoriano Reinoso que sembró año tras año en las convenciones comerciales de la empresa permitió ver y crear un futuro posible incluyendo a los más críticos de la fusión de las dos empresas matrices.

1.2. Historia en Guatemala

La desincorporación de las empresas del subsector eléctrico del estado se registra en un período relativamente corto y como lo destacó la prensa, observadores y distintos sectores, en un proceso muy exitoso y transparente.

Por sus características, la venta de acciones se realiza en dos procesos separados, pero integralmente unidos en un plan general de modernización diseñado por el gobierno.

Después de la aprobación de la Ley General de Electricidad, el primer paso formal para conseguir la desmonopolización del subsector, es preparar las condiciones para que todo se ejecute como lo establece la nueva normativa. El estado empieza con la separación de las funciones de sus empresas en las ramas de la generación, transporte y distribución, pues la ley impide que las compañías tengan más de una de estas atribuciones a la vez, con el propósito fundamental de romper los monopolios y lograr más eficiencia en sus servicios.

De esa forma, por un lado se ponen a la venta la red de distribución y las plantas de generación de la Empresa Eléctrica de Guatemala Sociedad Anónima, (EEGSA), que ha venido sirviendo la energía a tres departamentos (Guatemala, Sacatepéquez y Escuintla), al tiempo que se inicia con la separación de funciones en el Instituto Nacional de Electrificación (INDE), que se venía encargando del fluido en los otros 19 departamentos.

La venta de las plantas de la EEGSA (Laguna y la unidad *Stewart & Stevenson*) se concreta en agosto de 1997 y en ese proceso, los activos citados son adquiridos por la firma *Guatemalan Generation Group* (GGG). Al siguiente año comienza el proceso de desincorporación de las acciones, pero antes debía elegirse a un ente asesor, tanto financiero como técnico, para ello se invita a 42 entidades. De ese grupo, nueve presentan interés, sólo seis precalifican y al final gana el consorcio *Salomon Smith Barney Holding Inc.*

Una vez preparados los eventos para la venta de las acciones de la EEGSA, se invita a 30 firmas para participar. De ellas sólo 13 manifiestan interés y cuatro precalifican. Finalmente, el 30 de julio de 1998, se oficializa la venta al ganador de la licitación pública, un consorcio integrado por Iberdrola Energía, SA., TPS de Ultramar Ltd. y EDP Electricidad de Portugal, SA.

En conjunto adquieren el 80% de las acciones que el Estado de Guatemala tenía en la EEGSA, que representaban el 97% del total real. Por la operación, el grupo encabezado por la española Iberdrola paga US \$ 520 millones con 25 centavos. El 11 de septiembre de ese mismo año, Iberdrola hace público que, en nombre del grupo, será quien administrará la EEGSA.

Una vez adquirida la empresa y tomada su administración, EEGSA logra incrementar, en los primeros cuatro años de su nueva gestión, la cifra de sus consumidores en cerca de cien mil. Para entonces, el gobierno también avanza en el proceso de desincorporación de la distribución eléctrica a cargo del INDE. El Estado convoca a un concurso internacional para licitar la compra de las distribuidoras que se encargarían de comercializar la energía en el resto del territorio nacional dividido en dos grandes segmentos: oriente y occidente.

En el proceso resulta ganadora la empresa española de distribución eléctrica, con amplia experiencia en el negocio eléctrico en el mundo. La venta de estos activos incorpora el plan de electrificación rural (PER) como proyecto base para elevar el índice de electrificación el que la compañía ganadora se compromete a ejecutar.

La adquisición de acciones fue por el 80% del total, pues un 7% queda en manos de los trabajadores que laboraban hasta entonces para el INDE, en tanto que el grupo acepta adquirir en el futuro, el otro 13%, en caso que el estado no logre venderlo en otro proceso.

La operación de compra-venta del 80% se cierra por un monto de US \$ 101.1 millones. En 2000, la empresa honra lo acordado y compra al INDE una participación adicional del 5% y cuatro años después, el restante 8 % que en la actualidad le permite tener un 90,83% en occidente y un 92,84 % en oriente.

En conjunto, las empresas adquiridas son responsables de suministrar energía a 288 municipios, en 20 de los 22 departamentos del país. Es oportuno anotar que en Guatemala también funcionan empresas eléctricas municipales, la mayoría en cabeceras departamentales. Por cierto, pese a la dispersión geográfica, la difícil orografía y las dificultades de acceso, el crecimiento ha sido continuo en el número de usuarios atendidos en las empresas distribuidoras.

1.3. Mercado

La actividad internacional de la empresa comenzó con la prestación de servicios de consultoría a otras empresas a través de la exportación del conocimiento, la experiencia, los sistemas de información y los profesionales del negocio de distribución. Todo se inició en 1988 con el desarrollo de un proyecto integral de mejora de la gestión en la Empresa Eléctrica Estatal de Uruguay, UTE.

Posteriormente, se fue extendiendo el ámbito de actuación y los clientes a empresas de diferentes sectores en la totalidad de los países de América Latina y a partir de 1991, con la apertura de los países de Europa Central y del Este se extendieron los proyectos a esta parte del mundo.

En Guatemala encuentra una oportunidad de ofertar por la compra de las empresas distribuidoras de electricidad en la provincia, las cuales se formaron luego de la emisión, por parte del Congreso de la República, de la Ley General de Electricidad, el 15 de noviembre de 1996. Dicha Ley ordenó la separación de las actividades de generación, transmisión y distribución de electricidad.

La empresa distribuidora eléctrica una empresa energética integrada, presente en muchos países. Participa en negocios de producción de energías primarias y de generación, distribución y comercialización de gas natural y electricidad. Participa en todo el mundo con una potencia total instalada cercana a los 13 900 MW, que suponen una potencia atribuible, de acuerdo con los porcentajes de participación, de 10 289 MW. Presta servicio a ocho coma siete millones de clientes de gas y electricidad, a los que factura ochenta y un mil treientos ochenta y seis millones de kWh.

1.4. Ubicación

Siendo una empresa multinacional, ésta cuenta con sedes en todo el mundo, tales como:

Colombia, Costa Rica, Guatemala, Kenia, México, Moldavia, Nicaragua, Panamá, República Dominicana, Argentina, Belice, Bolivia, Brasil, Canadá, Chile, Egipto, Eslovaquia, Estados Unidos, Filipinas, Holanda, Hungría, Irlanda, Marruecos, Portugal, Reino Unido, República Checa, Túnez, Uruguay, Venezuela y Zimbabwe.

Los primeros cinco países son aquellos en los que la empresa tiene inversiones energéticas

La sede principal en Guatemala está ubicada en:

10a Avenida 14-14 zona 14

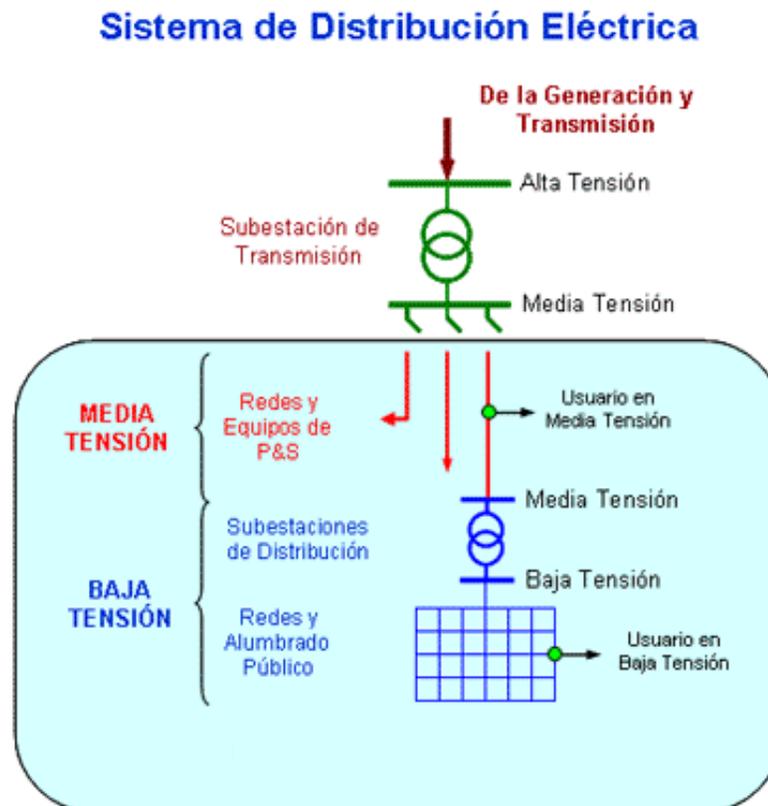
Guatemala, Ciudad.

2. FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL

2.1. Sistema de distribución eléctrica

Un sistema de distribución de energía eléctrica es un conjunto de equipos que permiten energizar en forma segura y confiable un número determinado de cargas, en distintos niveles de tensión, ubicados generalmente en diferentes lugares.

Figura 1. Esquema de un sistema de distribución eléctrica



Fuente: OSINERGMIN, Fijación de las tarifas de electricidad, procedimientos regulatorios, p.1.

2.1.1. Clasificación de los Sistemas de Distribución

Dependiendo de las características de las cargas, los volúmenes de energía involucrados y las condiciones de confiabilidad y seguridad con que deban operar, los sistemas de distribución se clasifican en:

- Urbana
 - Industriales
 - Comerciales

- Rural
 - Industriales
 - Comerciales

2.1.1.1. Sistemas de distribución industrial

Comprende a los grandes consumidores de energía eléctrica, tales como las industrias del acero, químicas, petróleo, papel, etc.; que generalmente reciben el suministro eléctrico en alta tensión. Es frecuente que la industria genere parte de su demanda de energía eléctrica mediante procesos a vapor, gas o diesel.

2.1.1.2. Sistemas de distribución comerciales.

Es un término colectivo para sistemas de energía existentes dentro de grandes complejos comerciales y municipales, tales como edificios de gran altura, bancos, supermercados, escuelas, aeropuertos, hospitales, puertos, etc. Este tipo de sistemas tiene sus propias características, como consecuencia de las exigencias especiales en cuanto a seguridad de las personas y de los bienes, por lo que generalmente requieren de importantes fuentes de respaldo en casos de emergencia.

2.1.1.3. Sistemas de distribución urbana

Alimenta la distribución de energía eléctrica a poblaciones y centros urbanos de gran consumo, pero con una densidad de cargas pequeñas. Son sistemas en los cuales es muy importante la adecuada selección en los equipos y el dimensionamiento.

2.1.1.4. Sistemas de distribución rural

Estos sistemas de distribución se encargan del suministro eléctrico a zonas de menor densidad de cargas, por lo cual requiere de soluciones especiales en cuanto a equipos y a tipos de red. Debido a las distancias largas y las cargas pequeñas, es elevado el costo del kWh consumido.

En muchos casos es justificado, desde el punto de vista económico, la generación local, en una fase inicial y sólo en una fase posterior, puede resultar económica y práctica la interconexión para formar una red grande.

2.2. Energías renovables

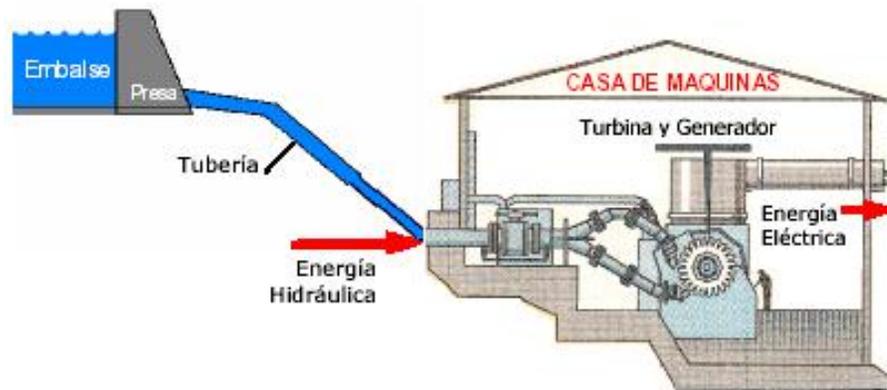
Se definen como fuentes renovables de energía, aquellas fuentes que tienen como característica común que no se terminan, o que renuevan por naturaleza. Dentro de estas fuentes tenemos:

- Energía hidráulica
- Energía geotérmica
- Energía eólica
- Energía solar: térmica y fotovoltaica
- Energía biomásica: leña, carbón vegetal, bagazo de caña de azúcar, biocombustibles, residuos urbanos, forestales y agrícolas y residuos animales

2.2.1. Energía hidráulica

Es aquella energía obtenida principalmente de las corrientes de agua de los ríos. La gravedad hace que el agua fluya de un terreno más alto a uno más bajo, creando una fuerza que puede ser usada para accionar generadores de turbina y producir electricidad.

Figura 2. **Diseño típico de una hidrogeneradora**

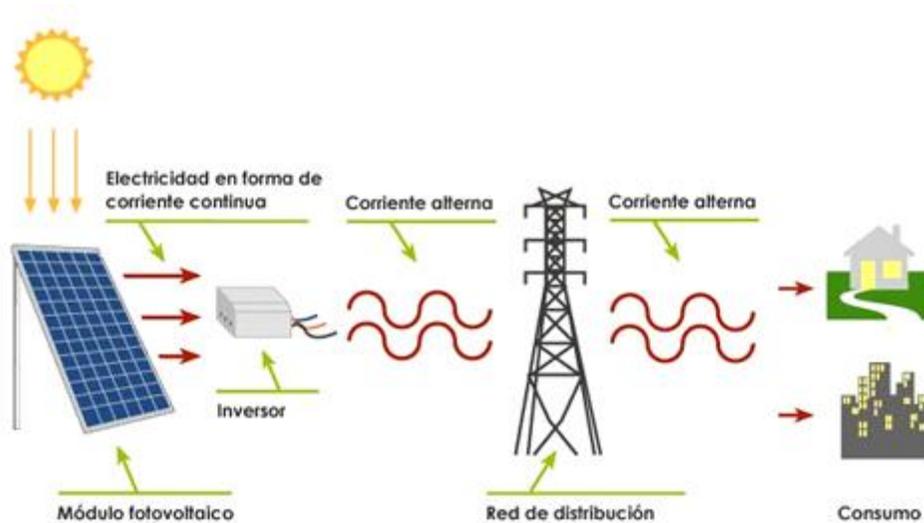


Fuente: MEM, Energías Renovables, p. 1.

2.2.2. **Energía solar**

Es aquella que proviene del aprovechamiento directo de la radiación del Sol y de la cual se obtiene calor y electricidad. El calor se obtiene mediante colectores térmicos, y la electricidad a través de paneles fotovoltaicos. Dada la posición geográfica de Guatemala, se cuenta con radiación solar durante casi todo el año, lo que hace un país ideal para esta forma de generar energía.

Figura 3. **Distribución de energía eléctrica por medio de un generador fotovoltaico**



Fuente: KINSOLAR, Energía solar fotovoltaica, p.1.

2.2.3. **Energía eólica**

La energía eólica se considera una forma indirecta de la energía solar, puesto que el sol, al calentar las masas de aire, produce un incremento de la presión atmosférica y con ello, el desplazamiento de estas masas a zonas de menor presión. Así se da origen a los vientos como un resultado de este movimiento, cuya energía cinética puede transformarse en energía útil, para bombeo de agua, generación de energía eléctrica, entre otros.

Figura 4. **Aerogeneradores**

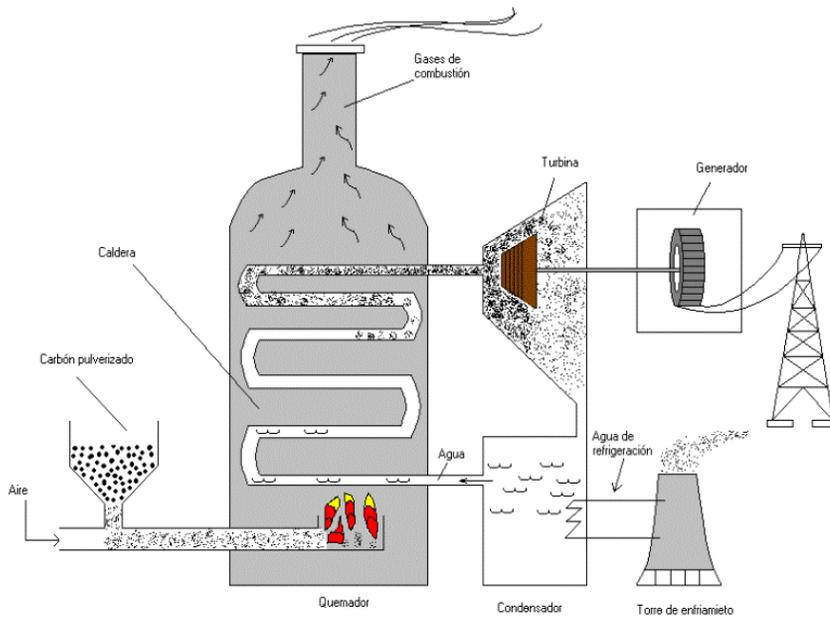


Fuente: Revista digital Renovable, La energía eólica crece a grandes pasos en canarias, p.1.

2.2.4. Energía biomásica

Por biomasa se entiende el conjunto de materia orgánica renovable de origen vegetal, animal o procedente de la transformación natural o artificial de la misma. La energía de la biomasa corresponde entonces a toda aquella energía que puede obtenerse de ella, bien sea a través de su quema directa o su procesamiento para conseguir otro tipo de combustible.

Figura 5. **Proceso típico para la producción de energía por biomasa**



Fuente: YALEX Javi, Centrales térmicas biomasa, Boletín 2008.

2.2.5. **Cogeneración**

La cogeneración es la producción de 2 o más formas de energía a partir de una sola fuente de combustible. Una de ellas siempre será calor, la otra podrá ser electricidad o energía mecánica; los ingenios azucareros producen calor para el proceso de producción de azúcar y energía eléctrica a partir del bagazo de caña.

Figura 6. **Ingenio azucarero**



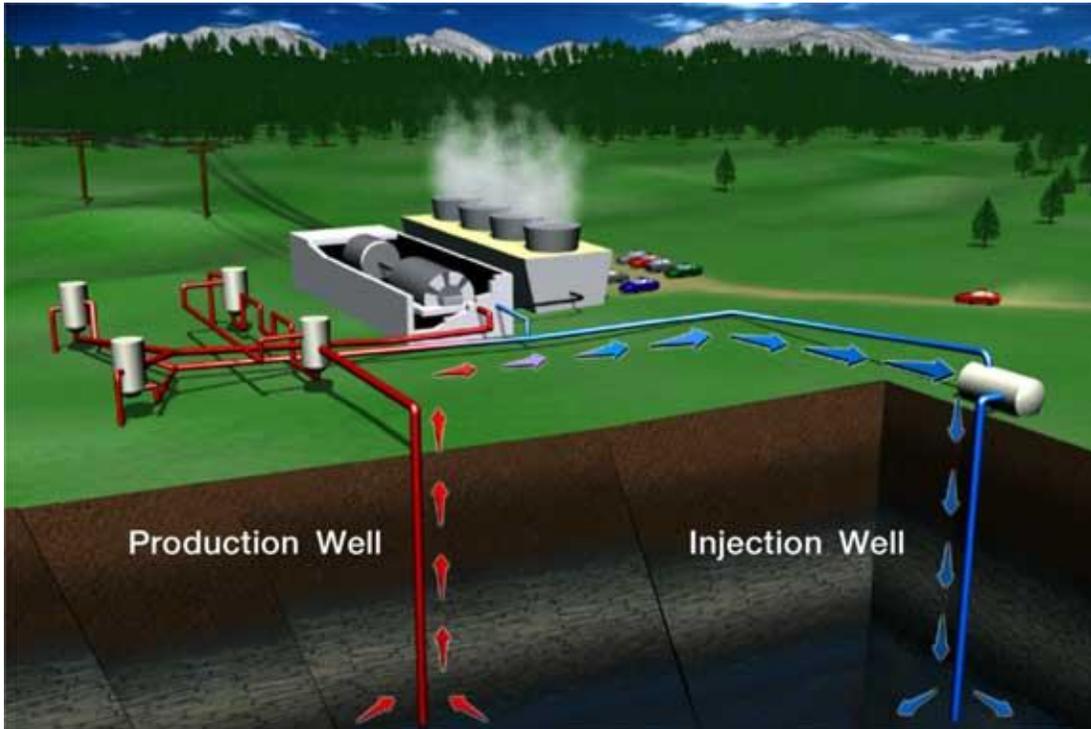
Fuente: MEM, Energías Renovables, p. 2.

2.2.6. Energía geotérmica

Es la energía procedente del calor acumulado en la corteza terrestre, que puede ser utilizada para la producción del calor y de energía eléctrica a partir del vapor natural de la tierra.

Existen aprovechamientos de este recurso en baños termales, balnearios y centros recreativos, en los departamentos de Quetzaltenango, Chiquimula, Santa Rosa, El Progreso, Jalapa, Totonicapán y Quiché; también es aprovechado para generación de energía eléctrica, existiendo actualmente 3 proyectos en operación.

Figura 7. **Recolección de calor**



Fuente: esustentable, Energía geotérmica, boletín 2008.

2.3. **Generación distribuida renovable**

En Guatemala existe potencial para obtener energética eléctrica proveniente de fuentes renovables, por medio de plantas de generación de pequeña escala conectadas al Sistema Eléctrico Nacional a través de sistemas o redes de distribución, lo que representa oportunidades de inversión para contribuir a satisfacer el crecimiento de la demanda eléctrica del país, crear fuentes de desarrollo económico y cambiar la matriz energética de generación para reducir la dependencia de la generación con combustibles fósiles.

La Norma Técnica para la generación distribuida renovable “NTGDR” y usuarios auto productores con excedentes de energía, establece las disposiciones generales que deben de cumplir los generadores distribuidos renovables y los distribuidores para la conexión, operación, control y comercialización de la energía eléctrica producida con fuentes renovables.

Un Generador Distribuido Renovable “GDR”, es la persona individual o jurídica, titular o poseedora de una central de generación eléctrica que utiliza recursos energéticos renovables y participa en la actividad de generación distribuida renovable; estos serán considerados como participantes del mercado mayorista. La generación distribuida renovable, es la modalidad de generación de electricidad producida por unidades de tecnología de generación con recursos renovables que conectan a instalación de distribución cuyo aporte de potencia neto es inferior al que establece el Reglamento de la Ley General de Electricidad (5 MW).

Con la emisión de la Norma Técnica de generación distribuida renovable, se pretende promover y facilitar la instalación de nuevas micros y pequeñas centrales generadoras, así como de aquellas existentes, las cuales son utilizadas para autoconsumo. Las centrales existentes pueden conectarse al sistema Eléctrico Nacional, teniendo la oportunidad de comercializar sus excedentes de energía.

La Norma Técnica de generación distribuida renovable regula la forma en que el pequeño y micro generador comercializa su energía, la cual se realiza bajo el esquema de libre mercado, quienes pueden participar en las licitaciones que efectúen las distribuidoras o poner a disposición su energía en el mercado de oportunidad.

Las viviendas que cuentan con sistemas fotovoltaicos u otra instalación de generación eléctrica, también pueden comercializar sus excedentes de energía. En las viviendas en donde se localicen instalaciones de generación eléctrica, se coloca un contador de doble dirección, este contador mide cuánta energía inyectó a la red y cuánta consume de ella, y al final del mes se paga la diferencia si utiliza más de la que aporta.

Dentro de las opciones de comercialización, el GDR puede vender su energía que genera a los distribuidores, en el mercado mayorista, en calidad de participante productor. Estas opciones de comercialización no son excluyentes entre sí. Para efectos de la participación de un GDR en el mercado mayorista o en proceso de licitación de un distribuidor, su oferta firme y su oferta firme eficiente serán calculadas por el Administrador del Mercado Mayorista, de conformidad con las normas o procedimientos vigentes para este tipo y tamaño de generación.

El Reglamento de la Ley General de Electricidad, en su artículo 16, establece que: “Los distribuidores están obligados a permitir la conexión a sus instalaciones y a efectuar las modificaciones o ampliaciones necesarias para permitir el funcionamiento del Generador Distribuido Renovable, y que para el efecto la Comisión, emitirá las disposiciones generales y la normativa para regular las condiciones de conexión, operación, control y comercialización de la generación distribuida renovable, de conformidad con la Ley”.

Así mismo, el referido artículo dispone que “la Comisión evaluará la pertinencia del alcance de las modificaciones y de las ampliaciones de las instalaciones de los Distribuidores; así como: su respectivo costo y los beneficios por la mejora en la calidad del servicio de distribución y por la reducción de pérdidas”.

La conexión de un Generador Distribuido Renovable a una red representa una alternativa viable para lograr una reducción en los costos que se incurren por pérdidas de energía. De conformidad con el artículo 70 de la Ley General de Electricidad, los GDRs no pagarán peaje en función de transportista al distribuidor ni peaje por el uso del sistema secundario al que se encuentran conectados, debido a que deberá considerarse el uso de las instalaciones como realizadas en sentido contrato al flujo preponderante de la energía el sistema de distribución respectivo.

El GDR pagará el peaje correspondiente al sistema principal de transporte, únicamente para los casos en los que haya comprometido su producción bajo contrato y cuente con potencia firme, de conformidad con lo que al respecto establece el artículo 65 de la Ley General de Electricidad y la Norma Comercial No. 9.

2.4. Requerimientos de la interconexión

La norma IEEE P1547 fija la normativa de interconexión de fuentes de energía distribuidas con el sistema eléctrico. Determinando los requerimientos más relevantes de implementación, operación, ensayos, condiciones de seguridad y mantenimiento de las interconexiones. Su aplicación se limita a todas las fuentes de energía distribuida, de capacidades hasta 10 MVA, interconectadas a sistemas de distribución primarios o secundarios, fundamentalmente radiales y de frecuencia 60 Hz.

Los requerimientos técnicos básicos a cumplir se detallan a continuación:

- Regulación de Voltaje: la fuente distribuida no debe regular la tensión en el punto de interconexión, ni debe causar una desviación del valor de la tensión de la red inadmisibles según normativas de la región.

- Sistema de aterramiento: el sistema de aterramiento de la interconexión de la fuente distribuida no debe generar sobretensiones no admisibles en los equipos instalados de la red, ni debe producir la descoordinación de las protecciones del distribuidor frente a defectos a tierra en la red.
- Sincronismo: la unidad generadora debe permanecer en paralelo con la red, sin causar fluctuaciones de la tensión en el punto de conexiones mayores a ± 5 % del nivel de tensión, y cumplir la normativa regional sobre *flicker*.
- Energización de la red: La fuente distribuida no debe energizar la red eléctrica, cuando ésta se encuentra desenergizada.
- Telemedida: las interconexiones de fuentes distribuidas de potencias mayores a 250 kVA deben ser monitoreadas, potencia aparente real de salida, potencia reactiva y voltaje.
- Elemento de maniobra: para la operación de la red de distribución, debe existir en la interconexión un elemento de maniobra fácilmente accesible, con posibilidad de bloqueo y de corte visible. Debiendo soportar una diferencia de tensión de 220 % del valor nominal de la interconexión.
- Funcionamiento en isla: en caso de formación de una isla no intencional , en la cual el GDR energiza una parte aislada de la red del distribuidor, el sistema de interconexión debe detectar la isla y desenergizar el área antes de los 2 segundos de conformarse la isla.

2.5. Tipo de conexión para el transformador

El tipo de conexión más adecuada del transformador de interfase “GDR – sistema de potencia” es triángulo del lado del generador y estrella puesta a tierra del lado del sistema, en la cual las ventajas superan ampliamente a las desventajas.

Con el Triángulo del lado del generador y estrella aislada de tierra del lado del sistema el sistema eléctrico es de cuatro conductores, con el cuarto o neutro multi-aterrado, a fin de facilitar la utilización de transformadores monofásicos (fase-neutro), la conexión a tierra del neutro del transformador es una solución de compromiso entre la seguridad de las cargas monofásicas y la sensibilidad de la protección del sistema frente a fallas a tierra.

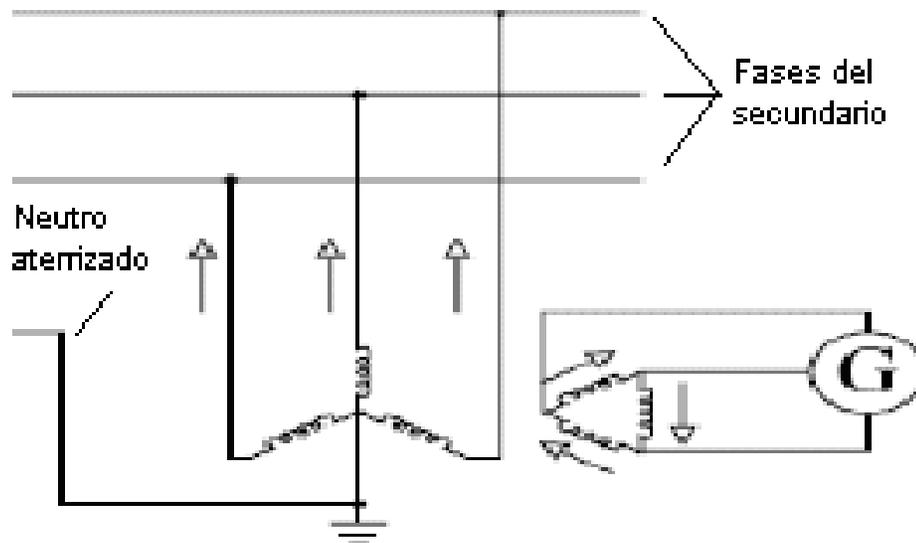
También se usa la distribución empleando tres conductores, que dependiendo de las características del sistema eléctrico, puede resultar económica. Se ahorra un conductor y sus correspondientes elementos de sujeción, pero encarece por el nivel de aislamiento de los equipos, lo que está relacionado con las características alcanzables en las puestas a tierra. En caso de tener aislado el centro de estrella del transformador del GDR, la presencia de una falla monofásica en el alimentador produce un desplazamiento del neutro, cuyo nivel depende de la resistencia de falla.

Si ésta es nula, la tensión sobre las fases sanas pasa de ser fase-neutro a fase-fase en las proximidades de la falla. Esta situación se mantiene aún después de haber operado el interruptor del alimentador, mientras el GDR continúe alimentando la falla.

Sobretensión que es perjudicial para el aislamiento de los equipos, puede cebar los descargadores de sobretensión y dañarlos, como también sobresaturar los transformadores monofásicos, estableciendo el flujo en zonas no preparadas para sostenerlo.

A fin de evitar esta sobretensión, se emplea la regla denominada 2:1, que indica que la carga conectada al generador “en isla” debe ser de al menos el 200 % de su potencia, considerando que la sobretensión es controlada en amplitud por la carga y en duración por la protección, esta conexión, bloquea el paso hacia el sistema, de las armónicas triples, que puede generar el GDR.

Figura 8. **Conexión Delta Estrella**



Fuente: GÓMEZ J.C., Tipo de conexión del transformador de interconexión, p. 4.

2.6. Requisitos del estudio

A continuación se determinan los datos necesarios para hacer el estudio de implicaciones eléctricas en la red de distribución de energía eléctrica de la generación distribuida renovable; los datos necesarios para poder simular y calcular las implicaciones eléctricas son: especificaciones técnicas de los GDRs y las especificaciones técnicas de las redes de distribución a los cuales serán conectadas.

2.6.1. Especificaciones técnicas de los GDRs

En las tablas I y II, se presentan los datos de los generadores, los cuales presentan las siguientes descripciones:

- Coordenadas de arranque: son coordenadas *Universal Transversal de Mercator* “UTM” que indican la ubicación del arranque del sistema en sus coordenadas “X” (Coordenada horizontal) “Y” (Coordenada Vertical)
- Coordenadas de la casa de máquinas: son coordenadas UTM que indican la ubicación del generador en sus coordenadas “X” (Coordenada horizontal) “Y” (Coordenada Vertical)
- Capacidad de generación: es la potencia nominal que es capaz de aportar al sistema de distribución, el generador
- Voltaje de generación: es el voltaje nominal en las terminales del generador

- Subestación: es el nombre de la subestación en la que está conectada la línea de distribución

Tabla I. **Especificaciones técnicas del generador que se conectará a la línea San Pablo**

ENASA, FINCA LOS CERROS, SAN JOSÉ EL RODEO, SAN MARCOS		
Coordenadas de arranque		Subestación
X	Y	MALACATAN
611577	1648838	
Coordenadas de la casa de máquinas		Salida de media tensión
X	Y	San Pablo 13,8 kV
610443	1649637	
Capacidad de generación		
1,250 MW		
Voltaje de generación		
0,480 kV		

Fuente: Empresa distribuidora, Proyecto ENASA, Base de datos de GDR.

Tabla II. **Especificaciones técnicas del generador que se conectará a la línea San José el Ídolo**

TURINJA, ALDEA MONTE LLANO, SAN MIGUEL PANAN, SUCHITEPÉQUEZ		
Coordenadas de arranque		Subestación
X	Y	SECACAO
676977	1601493	
Coordenadas de la casa de máquinas		Salida de media tensión
X	Y	San José El Ídolo 13,8 kV
675388	1601907	
Capacidad de generación		
1,5 MW		
Voltaje de Generación		
0,480 kV		

Fuente: Empresa distribuidora, Proyecto TURINJA, Base de datos de GDR.

2.6.2. Especificaciones técnicas de las líneas de distribución

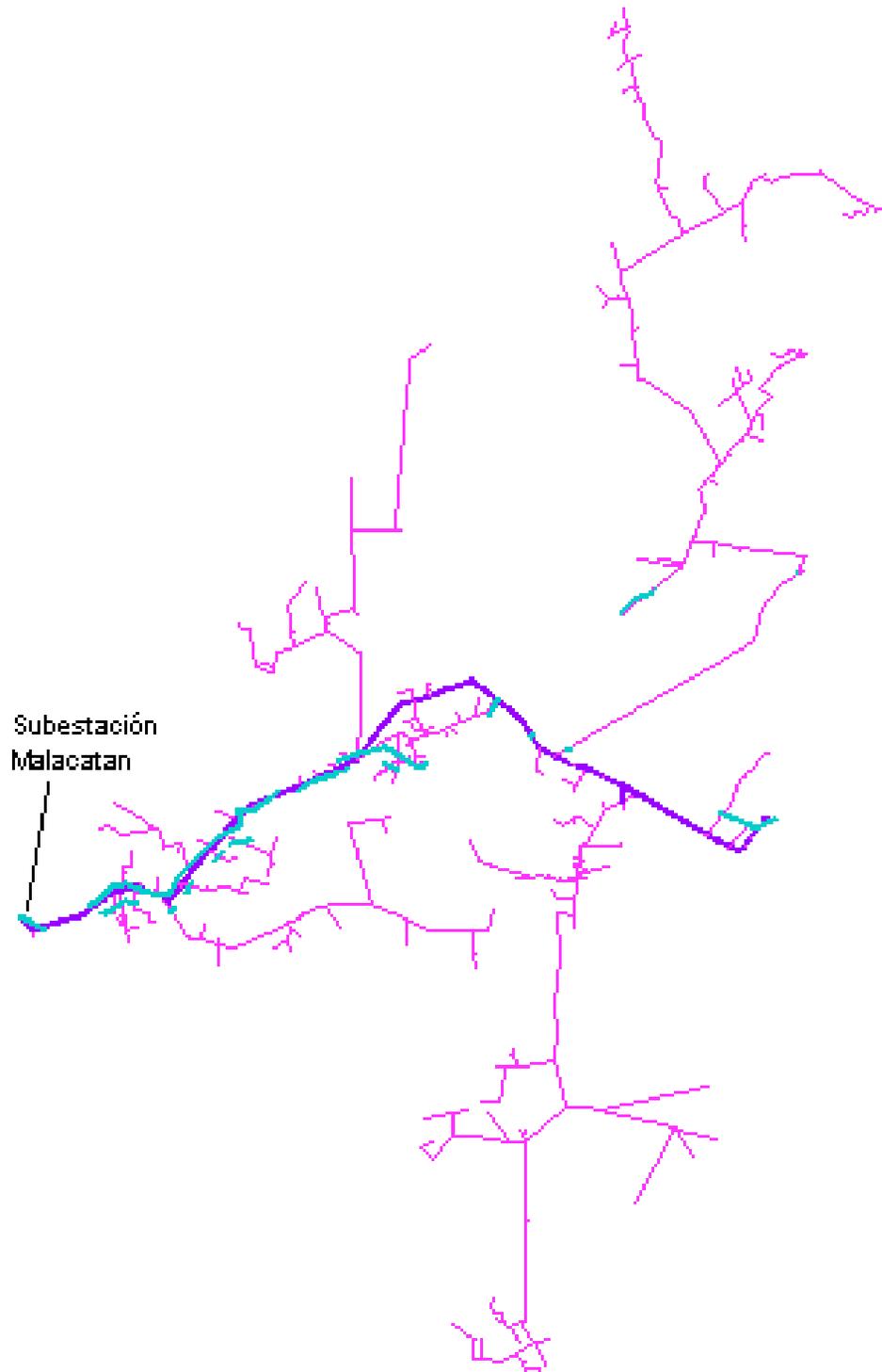
En las siguientes tablas (III y IV), se presentan los datos de las líneas de distribución tomados de la base de datos.

Tabla III. **Descripción de la línea San Pablo**

Campo	Valor
Potencia instalada en la salida (kVA)	6777,5
Tensión en servicio normal (kV)	13,8 kV (MEDIA TENSIÓN)
Nombre	SAN PABLO
No. mesa responsable	SECTOR SUR-OCCIDENTE II
Descripción	ABARCA MALACATÁN, SAN PABLO, EL RODEO, SAN RAFAEL PIE DE LA CUESTA.
km. de línea aérea	145,405
Cantidad de hilos	3 HILOS + NEUTRO (TRIFÁSICO)
Potencia urbana	1057,5
Potencia rural	5720,0

Fuente: Empresa distribuidora, Propiedades Red de distribución San Pablo, BDI.

Figura 9. **Red de distribución San Pablo**



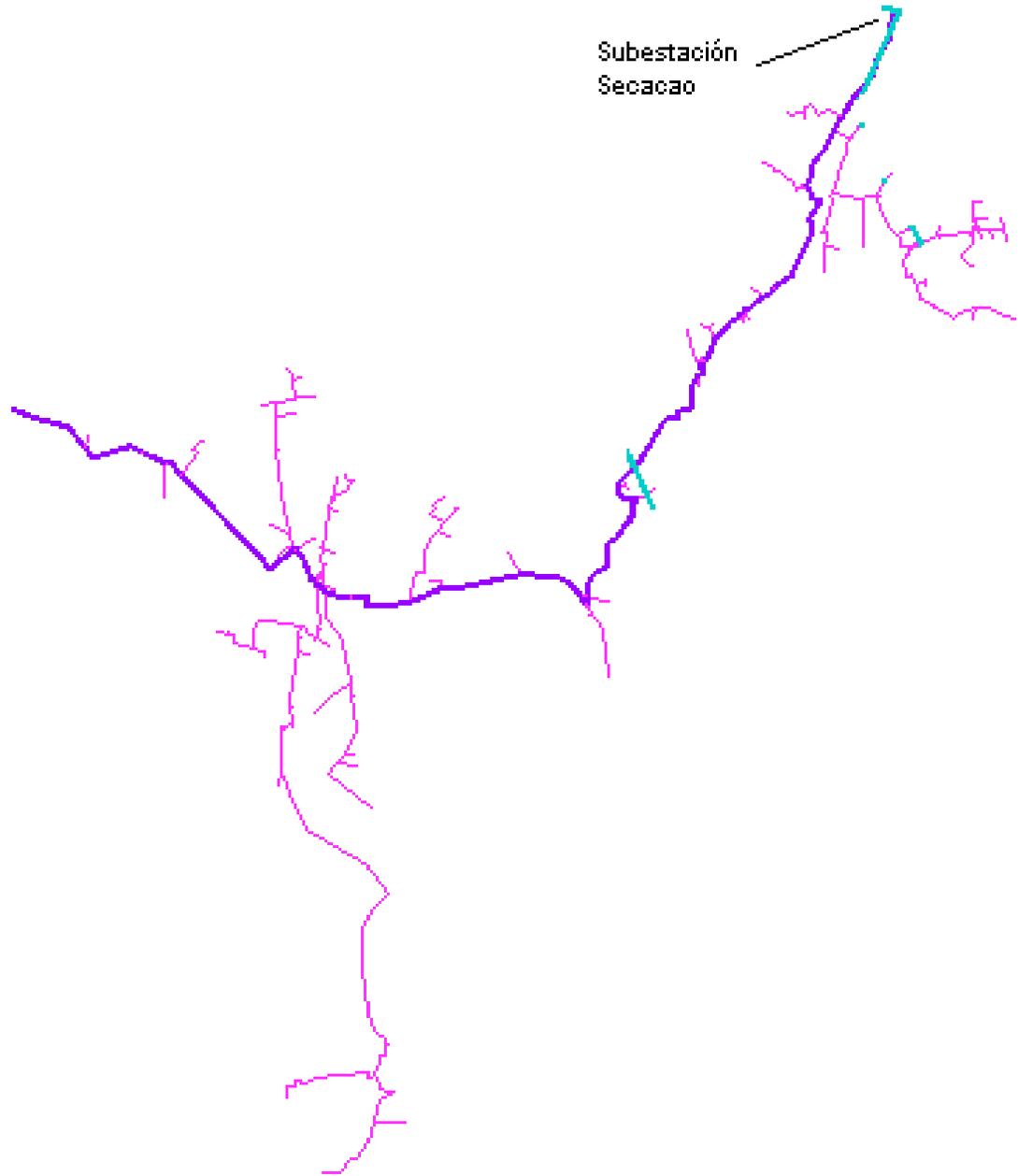
Fuente: Empresa distribuidora, Red de distribución San Pablo, BDI.

Tabla IV. **Descripción de la línea San José El Ídolo**

Campo	Valor
Potencia instalada en la salida (kVA)	4157,5
Tensión en servicio normal (kV)	13,8 kV (MEDIA TENSIÓN)
Nombre	SAN JOSE EL ÍDOLO
No. mesa responsable	SECTOR SUR-OCCIDENTE
Descripción	CHICACAO, SUCHITEPÉQUEZ
km. de línea aérea	89,231
Cantidad de hilos	3 HILOS + NEUTRO (TRIFÁSICO)
Potencia urbana	660,0
Potencia rural	3497,5

Fuente: Empresa distribuidora, Propiedades Red de distribución San José el Ídolo, BDI.

Figura 10. **Red de distribución San José el Ídolo**



Fuente: Empresa distribuidora, Red de distribución San José el Ídolo, BDI.

2.7. Cálculos y simulaciones en las redes de distribución

Partiendo de las especificaciones técnicas de los GDRs y de las redes de distribución, se procederá con el cálculo de los conductores que conectarán desde las coordenadas de la casa de máquinas hasta el punto de conexión a la red de distribución correspondiente. Teniendo la conexión y con los datos adicionales que se agregan, se simular la red con y sin los GDRs conectados, adicionalmente se calcula las corrientes de corto circuito que aporta las instalaciones del GDR.

2.7.1. Cálculo de calibre de conductor

Las líneas aéreas se ejecutan, como regla general, con conductores desnudos. En caso de usar conductores cubiertos de una capa aislante, ésta deberá ser resistente a las acciones atmosféricas.

Se procede al cálculo del conductor, el tramo inicia a la salida del transformador y termina en la conexión a la línea de distribución primaria.

Para seleccionar el calibre de conductor se utilizan los métodos de corriente máxima y caída de tensión. Se elige el conductor por el método en el cual el conductor sea mayor.

2.7.1.1. Cálculo de conductor por corriente máxima

Al seleccionar los conductores desnudos con base a su capacidad de corriente, se recomienda no sobrepasar los valores que han sido determinados con base a las propiedades físicas del material, bajo ciertas condiciones de temperatura ambiente y de elevación de temperatura del propio conductor.

La tabla V muestra valores máximos de capacidad de corriente en conductores de cobre, Conductor de Aluminio con Acero Reforzado “ACSR” y aluminio. Estas capacidades corresponden a 75° C de temperatura total en el conductor, operando a un régimen de carga constante.

La fórmula a utilizar es la siguiente:

$$I_{\max} = \frac{S}{\sqrt{3}V_f} \quad (1)$$

Donde:

I_{\max} = a la corriente máxima que circulará por el conductor, en amperios (A)

S = Potencia aparente, en MVA

V_f = Voltaje entre fases, en kV

Tabla V. **Capacidad máxima de conducción de corriente en conductores de cobre, ACSR y aluminio**

CALIBRE AWG o MCM	COBRE (*) (AMPERES)	ACSR (AMPERES)	ALUMINIO (AMPERES)	CALIBRE AWG o MCM	COBRE (*) (AMPERES)	ACSR (AMPERES)	ALUMINIO (AMPERES)
8	90	-	-	336.4	-	530	520
6	130	100	98	477.0	-	670	650
4	180	140	130	636.0	-	780	760
2	240	180	180	795.0	-	910	880
1/0	310	230	235	954.0	-	1010	970
2/0	360	270	275	1113.0	-	1110	1100
3/0	420	300	325	1351.0	-	1250	1230
4/0	490	340	375	1510.5	-	1340	1375
266.8	-	460	445	1590.0	-	1380	1600

BASES:
 1) Temperatura total máxima en el conductor: 75°C
 2) Temperatura ambiente: 25°C
 3) Velocidad del viento: 0.6 m/s
 4) Factor de emisividad: 0.5
 5) Frecuencia: 60 Hertz
 6) (*): Conductor de cobre duro con 97.3% de conductividad

Fuente: CNEE, Normas Técnicas de Diseño y Operación de las Instalaciones de Distribución, p. 9.

2.7.1.2. Cálculo del conductor por caída de tensión

La caída de tensión se entiende como la pérdida de potencial en la conducción de corriente eléctrica en un conductor, originada por la distancia o la sección transversal del mismo y que se refleja como aumento de corriente y disminución de voltaje.

Para esta clase de circuitos (circuitos de distribución), el porcentaje de caída de tensión no debe excederse al 7 %.

La fórmula a utilizar para sistemas trifásicos es la siguiente:

$$\Delta V = \frac{\sqrt{3} * L * I}{K * S * V_f} * 100 \quad (2)$$

Donde:

ΔV = caída de tensión expresado en %

L = longitud del conductor o tramo, en km

I = Corriente, en amperios (A)

K = Conductividad del material del conductor (50 para cobre y 37 para aluminio)

V_f = Voltaje entre fases, en kV

S = Sección del conductor, en mm²

La longitud del conductor se obtendrá de la fórmula siguiente:

$$d = \sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2} \quad (3)$$

Donde:

D = longitud del conductor, en km

(X_1, Y_1) = Coordenadas horizontales y verticales del primer punto, en coordenadas UTM

(X_2, Y_2) = Coordenadas horizontales y verticales del segundo punto, en coordenadas UTM

Tomando el primer punto de las coordenadas UTM de la casa de máquinas y el segundo de un punto en la red de distribución.

En caso de no conocer el equivalente de AWG a la sección mm^2 , la tabla VI servirá para resolver dicho problema.

Tabla VI. **Equivalencia de AWG a mm^2**

AWG	Sección mm^2
2	33.6
1	42.4
1/0	53.5
2/0	67.5
3/0	85
4/0	107.2

Fuente: COVISA, Cables desnudos, Catálogo de cables.

De acuerdo a las características mecánicas y físicas de la instalación el conductor será de tipo ACSR. Además, según la tensión de soporte del conductor, se elegirá como valores mínimos los especificados en la tabla VII

Tabla VII. **Valores de calibre mínimo para valores de media tensión**

Tensión (kV)	5	8	15	25	35
Calibre Mínimo (AWG)	8	6	2	1	1/0

Fuente: CENTELSA, Conductores eléctricos de uso obligatorio, boletín técnico, p. 8.

En el caso de las 2 instalaciones se elegirá como conductor mínimo el de calibre No.2, por ser de tensión nominal igual a 13,8 kV.

2.7.2. Cálculo del conductor para el tramo que conectará el Generador Distribuido Renovable a la red de distribución San Pablo

Para el cálculo del conductor se usa el criterio de corriente máxima y de caída de tensión, eligiendo el número de conductor al que mejor se adecue para ambos criterios.

2.7.2.1. Corriente máxima

Con un factor de potencia promedio de

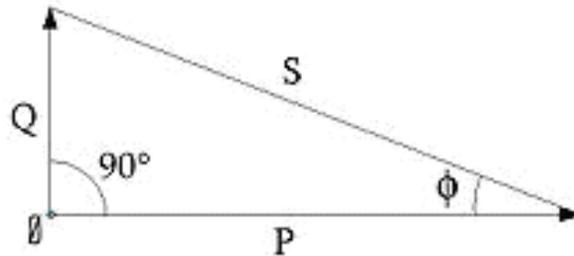
$$\cos \phi = 0,8$$

Y la potencia activa del sistema

$$S = 1,25 \text{ MW}$$

Según la figura 11 del triángulo de potencia

Figura 11. **Triángulo de potencia**



Fuente: elaboración propia.

$$\cos \phi = \frac{P}{S} \quad (4)$$

La potencia aparente será:

$$S = \frac{P}{\cos \phi} \quad S = \frac{1,250 \text{ MW}}{0,8}$$

$$S = 1,5625 \text{ MVA}$$

Según la fórmula (1), la corriente máxima es:

$$I_{\max} = \frac{1,5625 \text{ MVA}}{\sqrt{3} * 13,8 \text{ KV}} \quad I_{\max} = 65,37 \text{ A}$$

La corriente máxima que circulará por el conductor será de 65,37 amperios, por lo que el calibre de su conductor podría ser No.2.

2.7.2.2. Caída de tensión

La longitud del tramo del conductor es:

$$d = \sqrt{(612118 - 610443)^2 + (1649657 - 1649637)^2}$$

$$d = 1.68\text{km}$$

Usando la fórmula (2), la caída de tensión será:

$$\Delta V = \frac{\sqrt{3} * L * I}{K * S * Vf} * 100$$

$$\Delta V = \frac{\sqrt{3} * 1,68 * 65,37}{37 * 33,6 * 13,8} * 100 \quad \Delta V = 1,11 \%$$

De acuerdo a las condiciones de capacidad de ampacidad y caída de tensión el calibre a utilizar es el de calibre No.2.

2.7.3. Cálculo del conductor para el tramo que conectará el Generador Distribuido Renovable a la red de distribución San José el Ídolo.

2.7.3.1. Corriente máxima

Con un factor de potencia promedio de

$$\cos \phi = 0,8$$

Y la potencia activa del sistema

$$S = 1,875 \text{ MVA}$$

Según el triangulo de potencia de la figura 11

$$\cos \phi = \frac{P}{S}$$

La potencia aparente será:

$$S = \frac{P}{\cos \phi} \quad \text{Im}_{ax} = \frac{1,875 \text{ MVA}}{\sqrt{3} * 13,8 \text{ KV}}$$

$$S = 1,875 \text{ MVA}$$

La corriente máxima es:

$$I_{max} = \frac{1,875 \text{ MVA}}{\sqrt{3} * 13,8 \text{ kV}} \quad I_{max} = 78,44 \text{ A}$$

La corriente máxima que circulara por el conductor será de 78.44 amperios, por lo que el calibre de su conductor podría ser No.2

2.7.3.2. Caída de tensión

Usando la ecuación (5), la longitud del tramo del conductor es:

$$d = \sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2}$$

$$d = \sqrt{(676972 - 675388)^2 + (1601496 - 1601907)^2}$$

$$d = 1,64 \text{ km}$$

Usando la ecuación (2), la caída de tensión será:

$$\Delta V = \frac{\sqrt{3} * L * I}{K * S * Vf} * 100$$

$$\Delta V = \frac{\sqrt{3} * 1,64 * 78,44}{37 * 33,6 * 13,8} * 100 \quad \Delta V = 1,30 \%$$

De acuerdo a las condiciones de capacidad de ampacidad y caída de tensión el calibre a utilizar es el de calibre No.2

2.8. Implicaciones eléctricas en la red de distribución de energía eléctrica de la generación distribuida renovable

2.8.1. Flujos de potencia

Los sistemas de distribución actuales reciben la energía en las subestaciones primarias (transformadores de AT) y la distribuyen a los consumidores. Por tanto, los flujos de potencia activa (P), y reactiva (Q), han sido siempre desde los niveles de alta tensión (AT) hacia los de baja tensión (BT). Sin embargo, con la introducción de la generación distribuida renovable en el sistema de distribución, pueden aparecer flujos de potencia inversos y la red pasar de ser un sistema pasivo alimentando cargas, a un sistema activo donde los flujos de potencia y tensiones, son determinados por generación y cargas.

En los casos en que la potencia generada por la generación distribuida renovable es mayor que la consumida por las cargas conectadas, la potencia sobrante es transferida a través de las subestaciones primarias a la red de transporte de AT.

Esta posibilidad de flujos de potencia inversos, puede presentar algún problema en los transformadores donde se realiza la operación de control automático de la relación de transformación “tap”, para regular la tensión en el lado de BT de los transformadores.

2.8.2. Pérdidas de potencia

La generación distribuida renovable también tendrá impacto en las pérdidas de potencia en la red. Un emplazamiento adecuado de la generación distribuida renovable puede contribuir a la reducción de las pérdidas del sistema, mientras que un emplazamiento inadecuado puede incrementar dichas pérdidas. Un adecuado emplazamiento puede también, incluso, mejorar la capacidad de transmisión de potencia del sistema y reducir la carga de los equipos.

Los bancos de condensadores reducen pérdidas al igual que la generación distribuida renovable, la única diferencia es que la generación distribuida renovable afecta a los flujos de potencia activa y reactiva mientras que los bancos de condensadores solo afectan al flujo de potencia reactiva.

2.8.3. Variación de los niveles de tensión

En un sistema eléctrico de potencia (SEP), donde la reactancia (X) es más significativa que la resistencia (R), la variación de la tensión depende fundamentalmente de los flujos de potencia reactiva. Para una red de transporte de 230 kV los valores típicos de la relación X/R están entre 5 y 10. Sin embargo en una red de distribución de 13,8 kV, los valores de esta relación son menores que 1. Como consecuencia, en la red de distribución las variaciones de tensión son debidas, además de a los flujos de potencia reactiva, a los de potencia activa.

La operación de un GDR tenderá a elevar el nivel local de tensión en la red a la cual está conectado, especialmente si el generador se conecta a un circuito de tensión regulada. Esto puede provocar conflictos con el criterio de que en sistemas entre 1 kV y 138 kV, los niveles de variación de tensión deben mantenerse dentro de $\pm 6\%$ de la tensión nominal. Para sistemas entre 50 V y 1 kV, las variaciones entre el $\pm 10\%$ de la tensión nominal son permitidas. Para redes donde la reactancia inductiva es mucho mayor a la resistencia ($X \gg R$), la tensión del nudo se incrementa en la misma magnitud que se incrementa la potencia reactiva del mismo nudo. Si una carga adyacente absorbe la salida de un GDR, entonces el impacto sobre la tensión de la red de distribución es favorable.

Sin embargo, si es necesario transmitir la potencia a través de la red las variaciones de tensión pueden llegar a ser excesivas. Operando el GDR a un factor de potencia inductivo, en el cual absorbe potencia reactiva, tiende a reducir la elevación de la tensión. Sin embargo, las pérdidas en la red se incrementan. Las pérdidas se reducen considerablemente, cuanto más cerca este la generación de la carga. Por otra parte, la reducción en las pérdidas y la mejora en la variación de la tensión pueden ser mejoradas si el generador produce potencia reactiva.

Para conseguir esto el generador debe operar a un factor de potencia capacitivo. El arranque de un GDR puede causar saltos bruscos de los niveles de tensión en la red de distribución. Estos saltos bruscos son causados por las corrientes de arranque, las cuales aparecen cuando los transformadores o los generadores de inducción son energizados.

Los generadores síncronos no inducen corrientes de arranque altas por ellos mismos, pero sus transformadores pueden hacerlo cuando son energizados. Saltos bruscos de tensión pueden ocurrir cuando un generador es desconectado bruscamente de la red debido a un fallo u otra ocurrencia.

2.8.4. Contribución al nivel de fallas

El nivel de fallas de la red de distribución puede cambiar con el tiempo, sobre todo a causa de cambios en la configuración de la misma, por tanto, no resulta muy útil dar un único valor al nivel de falla en un punto de la red. Se debe tomar en cuenta que el nivel de falla de hoy puede ser diferente del nivel de falla de la semana próxima. De aquí, que se especifiquen los niveles de falla para un punto particular de la red. El actual nivel de falla puede variar dentro de un rango especificado.

Cambios en la red, tales como conexión de nuevos generadores, pueden dar lugar a incrementos en los niveles de fallas. Los equipos de protección existentes, los cuales han sido seleccionados para unos valores de falla determinados, tienen tolerancias en el rango del nivel de falla. El nivel de tolerancia tiene un valor máximo que se define como nivel de falla de diseño. El nivel de falla de diseño en una red de distribución algunas veces puede llegar a ser un factor que limita la conexión de nuevos generadores o cargas.

La adición de un GDR en una red de distribución tiene el efecto de incrementar los niveles de falla en puntos de la red cercanos al punto de conexión. La adición cambia la relación X/R del sistema visto desde el punto de la falla. El incremento del nivel de falla en el punto de conexión debido a la presencia del generador, se define como contribución de falla del generador.

De aquí que, si el nivel de falla de la red en ese punto es ya cercano al nivel de falla de diseño del sistema, la contribución del GDR puede hacer que el nivel de falla sobrepase el límite definido por el nivel de falla de diseño.

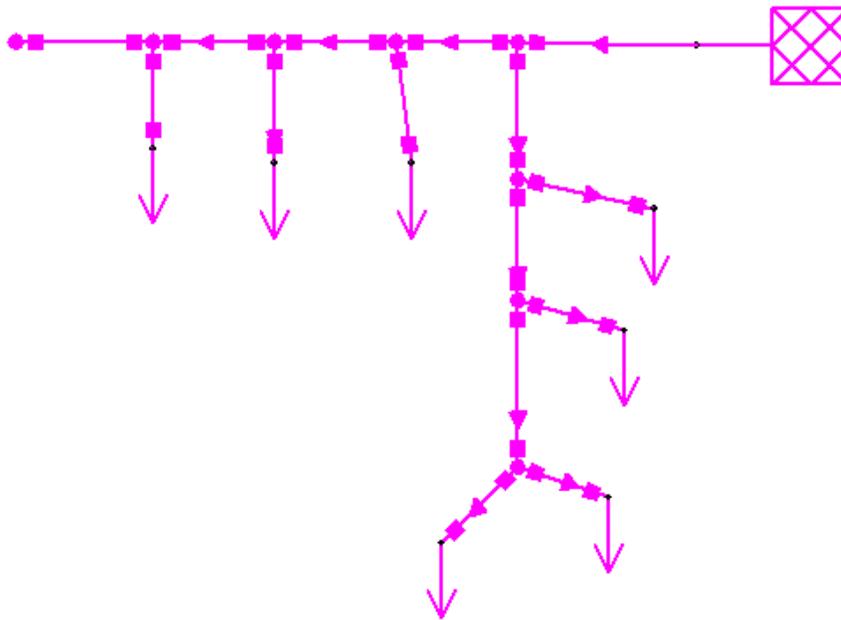
Aunque el GDR puede inyectar una corriente significativa en el instante de la falla su contribución permanente puede ser baja, conduciendo a dificultades en el funcionamiento fiable de los sistemas de protección contra sobrecorrientes, retardados en el tiempo. Aunque muchos GDRs son conectados directamente a la red, otros muchos son conectados a través de transformadores, y en el caso de fallas a tierra, conexiones sin tierra, estrella y delta, pueden dar lugar a altas tensiones sobre los equipos.

En general, la contribución de los generadores síncronos al nivel de falla es alta, la de los generadores de inducción es baja y la de los generadores de corriente directa acoplados al sistema a través de equipos electrónicos, es muy baja.

2.9. Procedimientos para la simulación de flujo de cargas, pérdidas de potencia y variación en los niveles de tensión

Se procede a simular, creando una red de distribución, como se muestra en la figura 12

Figura 12. Ejemplo de diseño de una red de distribución



Fuente: elaboración propia.

El parámetro a ingresar para la carga son:

- Potencia aparente (kVA)

Representada por:



Los parámetros a ingresar para un nodo son:

- Voltaje (kV)
- Frecuencia del sistema (Hz)

Representado por:



Los parámetros a ingresar para una línea son:

- Longitud (km)
- Resistencia (Ohm/km)
- Reactancia inductiva (Ohm/km)
- Reactancia capacitiva ($\mu\text{F}/\text{km}$)

Representado por:



Dichos parámetros son obtenidos de la tabla VIII

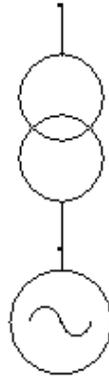
Tabla VIII. **Parámetros eléctricos según calibre del conductor**

Código	Calibre AWG o MCM	Material Al / Acero	RESISTENCIA (Ohm / km) DC y AC				Reactancia Inductiva a 7 pies de separación 60 Hz			Reactancia Capacitiva
			DC a 20°C	20°C	50°C	75°C	20°C	50°C	75°C	
*Wren	8	6/1	3.4017	3.4572	3.9378	4.8660	0.4315	0.4938	0.5379	0.2489
Turkey	6	6/1	2.1135	2.1486	2.4487	2.6849	0.3953	0.4525	0.4810	0.2290
Swan	4	6/1	1.3278	1.3536	1.5649	1.7172	0.3754	0.4295	0.4493	0.2179
Swanale	4	7/1	1.3133	1.3387	1.5681	1.7383	0.3779	0.4413	0.4636	0.2166
Sparrow	2	6/1	0.8343	0.8527	1.0118	1.1081	0.3592	0.3990	0.4183	0.2066
Sparale	2	7/1	0.8251	0.8434	1.0162	1.1191	0.3599	0.4108	0.4245	0.2053
Robin	1	6/1	0.6621	0.6788	0.8111	0.8906	0.3505	0.3909	0.4009	0.2011
Raven	10	6/1	0.5243	0.5370	0.6538	0.7166	0.3418	0.3773	0.3860	0.1957
Quail	20	6/1	0.4160	0.4264	0.5301	0.5805	0.3331	0.3667	0.3735	0.1902
Pigeon	30	6/1	0.3304	0.3367	0.4288	0.4705	0.3232	0.3555	0.3599	0.1846
Penguin	40	6/1	0.2638	0.2697	0.3536	0.3835	0.3157	0.3449	0.3462	0.1791
Grouse	80	6/1	0.6798	0.6961	0.8726	0.9627	0.3543	0.4139	0.4208	0.1995
Petrel	101.8	*12/7	0.5217	0.5289	0.6737	0.7837	0.3356	0.3866	0.4189	0.1886
Minorca	110.8	*12/7	0.4792	0.4978	0.6364	0.7421	0.3325	0.3864	0.4127	0.1866
Leghorn	134.6	*12/7	0.3947	0.4015	0.5252	0.6184	0.3263	0.3717	0.3984	0.1820
Guinea	159	*12/7	0.3340	0.3400	0.4543	0.5376	0.3207	0.3630	0.3878	0.1780
Dottrel	176.9	*12/7	0.3002	0.3064	0.4145	0.4916	0.3163	0.3567	0.3791	0.1755
Dorking	190.8	*12/7	0.2782	0.2840	0.3984	0.4618	0.3132	0.3530	0.3735	0.1736
Brahma	203.2	*16/9	0.2520	0.2561	0.3437	0.4295	0.3039	0.3424	0.3648	0.1678
Cochin	211.3	*12/7	0.2513	0.2567	0.3574	0.4251	0.3095	0.3487	0.3667	0.1714
* Owl	266.8	6/7	0.2109	0.2436	0.2828	0.3045	0.3052	0.3288	0.3356	0.1736

Fuente: BAUTISTA RÍOS Juan, Líneas de transmisión de potencia, p. 209.

Se incorpora el generador a la red según las coordenadas UTM

Figura 13. **Generador con transformador**



Fuente: elaboración propia.

Los parámetros a ingresar para un generador son:

- Potencia de operación o capacidad de generación (MW)
- Voltaje de salida o voltaje de generación (kV)

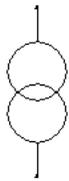
Representado por:



Los parámetros a ingresar para un transformador son:

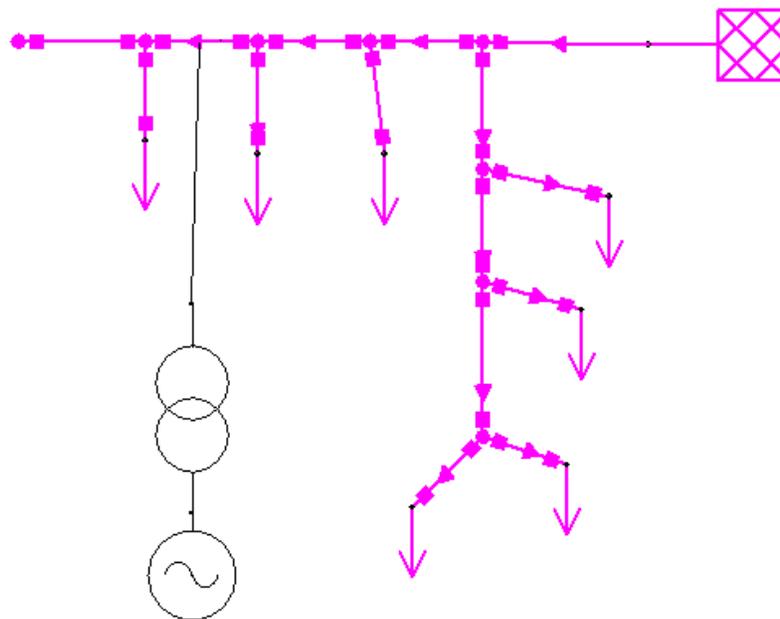
- Voltaje Primario (kV)
- Voltaje Secundario (kV)

Representado por:



La figura 13 presenta un diagrama simplificado de un sistema distribución con el GDR incorporado

Figura 14. **Ejemplo de diseño de una red de distribución con GDR conectado**



Fuente: elaboración propia

Para conocer los parámetros de las cargas, longitud de línea y calibre de conductor se uso el *software* BDI, proporcionado por la empresa.

2.9.1. Resultados de la simulación de los flujos de potencia

Se dan los resultados en la simulación de los proyectos estudiados en cuanto a niveles de tensión y pérdidas de potencia, con los cuales podemos obtener las conclusiones.

2.9.1.1. Red de distribución de San Pablo

La figura 14 muestra el diagrama de la red de distribución con el GDR conectado.

La tabla IX muestra el resultado de los voltajes (v) y la regulación (u) en los nodos simulados.

Las pérdidas en toda la red y a carga máxima es la siguiente:

Sin GDR

Flujo de Carga convergió después de 3 iteraciones.

Pérdidas de red = 0,676556 MW

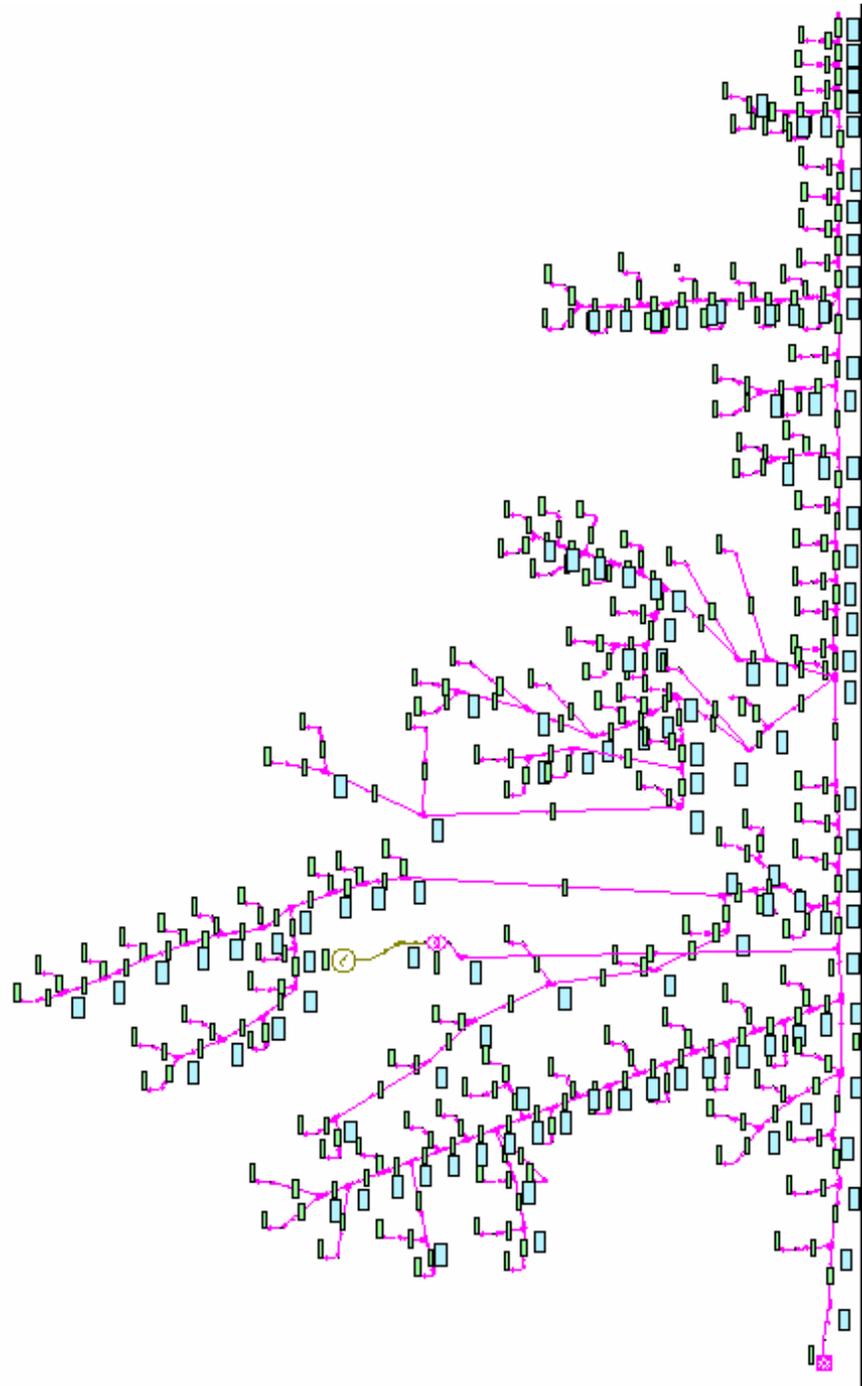
Con GDR

Flujo de Carga convergió después de 3 iteraciones.

Pérdidas de red = 0,594166 MW

Al incorporar el GDR a la red de distribución las pérdidas en la red disminuyen un 12,18 %

Figura 15. Red de distribución San Pablo, simulada



Fuente: elaboración propia

Tabla IX. **Resultados en los nodos de la red San Pablo**

Sin GDR			Con GDR		
Nombre	v	u	Nombre	v	u
	kv	%		kv	%
B-189864	11,826	85,69	B-189864	11,991	86,89
B-189890	11,829	85,72	B-189890	11,994	86,92
B-189894	11,83	85,72	B-189894	11,995	86,92
B-189902	11,827	85,71	B-189902	11,993	86,9
B-189910	11,826	85,7	B-189910	11,991	86,89
B-189919	11,826	85,69	B-189919	11,991	86,89
B-189924	11,831	85,73	B-189924	11,996	86,93
B-189929	11,826	85,69	B-189929	11,991	86,89
B-189934	11,826	85,7	B-189934	11,991	86,89
B-189939	11,833	85,75	B-189939	11,998	86,94
B-189948	11,835	85,76	B-189948	12	86,96
B-189952	11,84	85,8	B-189952	12,005	86,99
B-189972	11,842	85,81	B-189972	12,007	87,01
B-189980	11,827	85,7	B-189980	11,992	86,9
B-189992	11,809	85,58	B-189992	11,975	86,77
B-189996	11,804	85,54	B-189996	11,97	86,74
B-190004	11,794	85,46	B-190004	11,959	86,66
B-190015	11,789	85,43	B-190015	11,954	86,63
B-190023	11,785	85,4	B-190023	11,951	86,6
B-190031	11,783	85,39	B-190031	11,949	86,59
B-190040	11,778	85,35	B-190040	11,944	86,55
B-190045	11,792	85,45	B-190045	11,957	86,65
B-190050	11,86	85,94	B-190050	12,025	87,14
B-190054	11,861	85,95	B-190054	12,025	87,14
B-190070	11,857	85,92	B-190070	12,022	87,11
B-190071	11,859	85,94	B-190071	12,024	87,13
B-190075	11,87	86,02	B-190075	12,035	87,21
B-190083	11,868	86	B-190083	12,032	87,19
B-190092	11,865	85,98	B-190092	12,029	87,17
B-190100	11,901	86,24	B-190100	12,065	87,43
B-190119	11,913	86,33	B-190119	12,077	87,52
B-190127	11,995	86,92	B-190127	12,157	88,1
B-190128	11,949	86,58	B-190128	12,112	87,77
B-190132	12,045	87,28	B-190132	12,207	88,46
B-190147	12,008	87,02	B-190147	12,171	88,2
B-190155	11,98	86,81	B-190155	12,143	87,99
B-190166	11,964	86,7	B-190166	12,127	87,88

Continuación tabla IX

B-190174	11,962	86,68	B-190174	12,125	87,87
B-190183	11,959	86,66	B-190183	12,122	87,84
B-190187	11,969	86,73	B-190187	12,132	87,91
B-190195	11,966	86,71	B-190195	12,129	87,89
B-190203	11,964	86,69	B-190203	12,127	87,88
B-190215	11,953	86,62	B-190215	12,117	87,8
B-190223	11,946	86,57	B-190223	12,11	87,75
B-190232	11,938	86,51	B-190232	12,102	87,69
B-190245	12,051	87,32	B-190245	12,213	88,5
B-190271	12,01	87,03	B-190271	12,173	88,21
B-190276	12,006	87	B-190276	12,169	88,18
B-190285	11,991	86,89	B-190285	12,154	88,07
B-190294	11,984	86,84	B-190294	12,147	88,02
B-190299	11,985	86,85	B-190299	12,148	88,03
B-190304	11,986	86,86	B-190304	12,149	88,04
B-190309	11,989	86,88	B-190309	12,152	88,06
B-190313	11,998	86,95	B-190313	12,161	88,12
B-190321	11,998	86,94	B-190321	12,16	88,12
B-190336	11,987	86,86	B-190336	12,15	88,04
B-190341	11,993	86,9	B-190341	12,155	88,08
B-190345	11,994	86,92	B-190345	12,157	88,09
B-190353	11,992	86,9	B-190353	12,155	88,08
B-190361	11,988	86,87	B-190361	12,15	88,05
B-190370	11,985	86,85	B-190370	12,148	88,03
B-190375	12,278	88,97	B-190375	12,437	90,12
B-190384	12,631	91,53	B-190384	12,785	92,65
B-190388	12,663	91,76	B-190388	12,816	92,87
B-190406	11,716	84,9	B-190406	11,883	86,11
B-190411	11,791	85,44	B-190411	11,957	86,65
B-190415	11,724	84,96	B-190415	11,891	86,17
B-190423	11,648	84,4	B-190423	11,816	85,63
B-190434	11,468	83,1	B-190434	11,639	84,34
B-190442	11,434	82,86	B-190442	11,606	84,1
B-190450	11,42	82,76	B-190450	11,592	84
B-190461	11,361	82,32	B-190461	11,534	83,58
B-190469	11,34	82,17	B-190469	11,513	83,43
B-190477	11,331	82,11	B-190477	11,505	83,37
B-190485	11,326	82,07	B-190485	11,499	83,33
B-190493	11,322	82,04	B-190493	11,495	83,3
B-190502	11,321	82,04	B-190502	11,495	83,29

Continuación tabla IX

B-190517	11,34	82,17	B-190517	11,513	83,43
B-190526	11,334	82,13	B-190526	11,508	83,39
B-190530	11,376	82,43	B-190530	11,548	83,68
B-190534	11,362	82,33	B-190534	11,535	83,59
B-190542	11,356	82,29	B-190542	11,529	83,55
B-190547	11,349	82,24	B-190547	11,522	83,49
B-190551	11,595	84,02	B-190551	11,764	85,25
B-190562	11,562	83,78	B-190562	11,732	85,01
B-190570	11,556	83,74	B-190570	11,726	84,97
B-190578	11,555	83,73	B-190578	11,725	84,97
B-190586	11,544	83,65	B-190586	11,714	84,88
B-190595	11,538	83,61	B-190595	11,709	84,85
B-190600	11,573	83,86	B-190600	11,743	85,09
B-190604	12,694	91,99	B-190604	12,848	93,1
B-190622	13,074	94,74	B-190622	13,168	95,42
B-190630	13,068	94,7	B-190630	13,162	95,38
B-190638	13,049	94,56	B-190638	13,143	95,24
B-190646	13,038	94,48	B-190646	13,133	95,17
B-190654	13,03	94,42	B-190654	13,124	95,1
B-190662	13,025	94,38	B-190662	13,119	95,07
B-190670	13,013	94,29	B-190670	13,107	94,98
B-190678	13,003	94,23	B-190678	13,098	94,91
B-190686	12,919	93,62	B-190686	13,014	94,31
B-190693	12,899	93,47	B-190693	12,994	94,16
B-190708	12,89	93,4	B-190708	12,985	94,1
B-190717	12,888	93,39	B-190717	12,983	94,08
B-190721	12,891	93,41	B-190721	12,986	94,1
B-190729	12,869	93,25	B-190729	12,965	93,95
B-190737	12,843	93,06	B-190737	12,939	93,76
B-190749	12,841	93,05	B-190749	12,937	93,74
B-190753	12,842	93,05	B-190753	12,938	93,75
B-190761	12,834	93	B-190761	12,93	93,7
B-190769	12,829	92,97	B-190769	12,926	93,66
B-190778	12,829	92,96	B-190778	12,925	93,66
B-190787	12,897	93,46	B-190787	12,993	94,15
B-190792	13,098	94,91	B-190792	13,192	95,59
B-190796	13,131	95,15	B-190796	13,225	95,83
B-190813	13,753	99,66	B-190813	13,76	99,71
B-190818	13,617	98,68	B-190818	13,642	98,86
B-190827	13,552	98,2	B-190827	13,586	98,45

Continuación tabla IX

B-190831	13,498	97,81	B-190831	13,54	98,12
B-190839	13,497	97,8	B-190839	13,538	98,1
B-190848	13,495	97,79	B-190848	13,536	98,09
B-190850	13,8	100	B-190850	13,8	100
B-190860	12,813	92,85	B-190855	0,459	95,68
			B-190860	12,965	93,95
			B-190861	13,137	95,19

Fuente: elaboración propia

2.9.1.1. Red de distribución de San José el Ídolo

La figura 15 muestra el diagrama de la red de distribución con el GDR conectado. La tabla X muestra el resultado de los voltajes (v) y la regulación (u) en los nodos simulados.

Sin GDR

Flujo de Carga convergió después de 2 iteraciones.

Pérdidas de red = 0,120256 MW

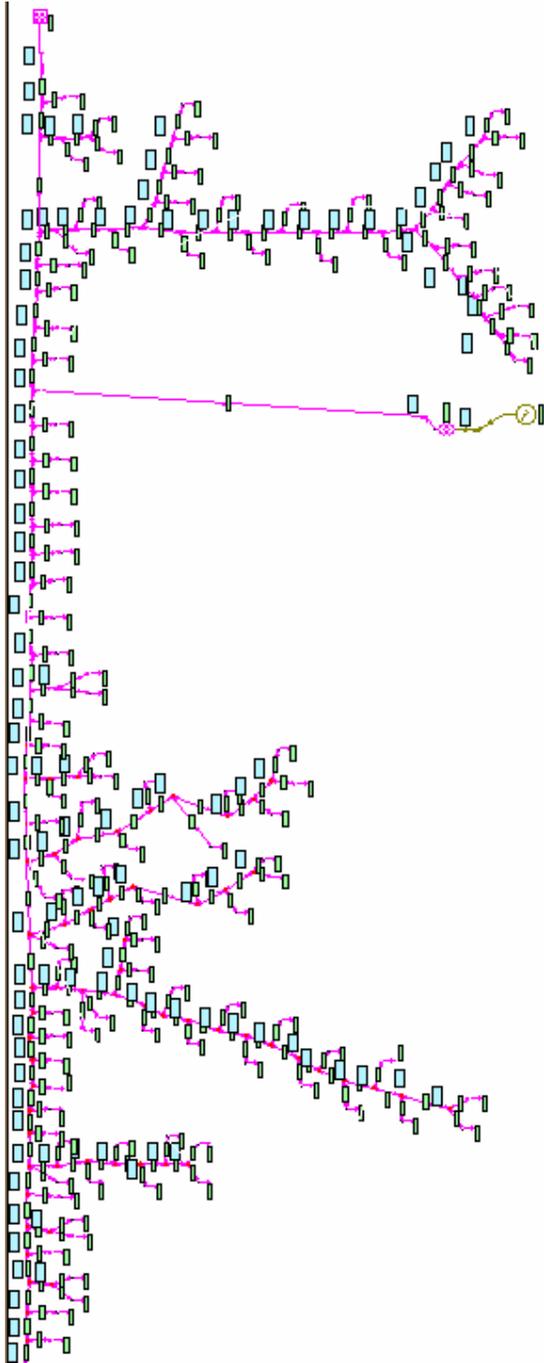
Con GDR

Flujo de Carga convergió después de 2 iteraciones.

Pérdidas de red = 0,095493 MW

Al incorporar el GDR a la red de distribución las pérdidas en la red disminuyen un 20,59 %

Figura 16. Red de distribución San José el Ídolo, simulada



Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Resultados en los nodos de la red San José el Ídolo**

Sin GDR			Con GDR		
Nombre	v	u	Nombre	v	u
	kv	%		kv	%
B-187691	13,04	94,49	B-187691	13,196	95,62
B-187720	13,04	94,49	B-187720	13,196	95,62
B-187725	13,04	94,49	B-187725	13,196	95,63
B-187729	13,04	94,5	B-187729	13,197	95,63
B-187738	13,041	94,5	B-187738	13,197	95,63
B-187742	13,041	94,5	B-187742	13,197	95,63
B-187751	13,05	94,57	B-187751	13,207	95,7
B-187759	13,052	94,58	B-187759	13,208	95,71
B-187783	13,042	94,51	B-187783	13,199	95,64
B-187788	13,043	94,51	B-187788	13,199	95,65
B-187792	13,043	94,51	B-187792	13,199	95,65
B-187798	13,043	94,52	B-187798	13,2	95,65
B-187803	13,044	94,52	B-187803	13,201	95,66
B-187808	13,049	94,56	B-187808	13,205	95,69
B-187813	13,04	94,5	B-187813	13,197	95,63
B-187818	13,04	94,49	B-187818	13,196	95,62
B-187823	13,054	94,6	B-187823	13,211	95,73
B-187831	13,057	94,62	B-187831	13,213	95,75
B-187848	13,062	94,65	B-187848	13,218	95,78
B-187853	13,062	94,65	B-187853	13,219	95,79
B-187858	13,064	94,67	B-187858	13,22	95,8
B-187863	13,068	94,7	B-187863	13,225	95,83
B-187913	13,063	94,66	B-187913	13,219	95,79
B-187922	13,055	94,6	B-187922	13,212	95,74
B-187926	13,055	94,6	B-187926	13,211	95,73
B-187934	13,053	94,59	B-187934	13,209	95,72
B-187943	13,052	94,58	B-187943	13,209	95,71
B-187948	13,053	94,58	B-187948	13,209	95,72
B-187953	13,051	94,57	B-187953	13,207	95,7
B-187958	13,041	94,5	B-187958	13,198	95,64
B-187963	13,035	94,45	B-187963	13,191	95,59
B-187968	13,028	94,41	B-187968	13,185	95,54
B-187973	13,018	94,33	B-187973	13,175	95,47
B-187978	13,007	94,25	B-187978	13,164	95,39
B-187983	13,004	94,23	B-187983	13,161	95,37
B-187988	13,002	94,22	B-187988	13,159	95,36
B-187993	13,002	94,22	B-187993	13,159	95,35

Continuación tabla X

B-187998	13,001	94,21	B-187998	13,158	95,35
B-188007	13	94,2	B-188007	13,157	95,34
B-188011	13,069	94,7	B-188011	13,225	95,84
B-188041	13,07	94,71	B-188041	13,226	95,84
B-188046	13,069	94,7	B-188046	13,225	95,83
B-188051	13,066	94,68	B-188051	13,223	95,82
B-188056	13,066	94,68	B-188056	13,222	95,81
B-188061	13,064	94,67	B-188061	13,22	95,8
B-188066	13,063	94,66	B-188066	13,22	95,8
B-188075	13,063	94,66	B-188075	13,22	95,79
B-188079	13,071	94,71	B-188079	13,227	95,85
B-188112	13,07	94,71	B-188112	13,227	95,84
B-188117	13,068	94,69	B-188117	13,224	95,82
B-188122	13,065	94,67	B-188122	13,221	95,81
B-188127	13,065	94,67	B-188127	13,221	95,8
B-188132	13,063	94,66	B-188132	13,22	95,79
B-188137	13,063	94,66	B-188137	13,219	95,79
B-188142	13,063	94,66	B-188142	13,219	95,79
B-188151	13,062	94,66	B-188151	13,219	95,79
B-188155	13,071	94,72	B-188155	13,228	95,85
B-188172	13,088	94,84	B-188172	13,244	95,97
B-188176	13,13	95,14	B-188176	13,285	96,27
B-188188	13,127	95,12	B-188188	13,282	96,25
B-188193	13,127	95,12	B-188193	13,283	96,25
B-188198	13,153	95,31	B-188198	13,308	96,44
B-188203	13,207	95,7	B-188203	13,362	96,82
B-188215	13,23	95,87	B-188215	13,384	96,99
B-188219	13,231	95,88	B-188219	13,385	96,99
B-188247	13,392	97,05	B-188247	13,545	98,15
B-188252	13,234	95,9	B-188252	13,389	97,02
B-188257	13,244	95,97	B-188257	13,398	97,08
B-188262	13,29	96,31	B-188262	13,444	97,42
B-188267	13,301	96,39	B-188267	13,455	97,5
B-188272	13,353	96,76	B-188272	13,506	97,87
B-188277	13,36	96,81	B-188277	13,512	97,92
B-188282	13,377	96,93	B-188282	13,53	98,04
B-188287	13,385	96,99	B-188287	13,537	98,1
B-188295	13,4	97,1	B-188295	13,549	98,18
B-188309	13,43	97,32	B-188309	13,565	98,3
B-188314	13,461	97,54	B-188314	13,582	98,42

Continuación tabla X

B-188319	13,595	98,51	B-188319	13,658	98,97
B-188333	13,659	98,98	B-188333	13,694	99,23
B-188338	13,653	98,94	B-188338	13,688	99,19
B-188346	13,642	98,85	B-188346	13,677	99,11
B-188364	13,626	98,74	B-188364	13,661	99
B-188369	13,628	98,75	B-188369	13,663	99,01
B-188374	13,63	98,77	B-188374	13,665	99,02
B-188378	13,631	98,78	B-188378	13,666	99,03
B-188392	13,625	98,73	B-188392	13,66	98,99
B-188397	13,624	98,73	B-188397	13,659	98,98
B-188402	13,623	98,72	B-188402	13,658	98,97
B-188410	13,621	98,7	B-188410	13,656	98,96
B-188423	13,617	98,67	B-188423	13,652	98,92
B-188429	13,614	98,65	B-188429	13,649	98,91
B-188434	13,611	98,63	B-188434	13,646	98,88
B-188441	13,611	98,63	B-188441	13,646	98,88
B-188459	13,601	98,56	B-188459	13,636	98,81
B-188464	13,601	98,56	B-188464	13,636	98,81
B-188469	13,606	98,59	B-188469	13,641	98,85
B-188474	13,609	98,61	B-188474	13,644	98,87
B-188495	13,604	98,58	B-188495	13,639	98,83
B-188500	13,606	98,59	B-188500	13,641	98,85
B-188505	13,608	98,61	B-188505	13,643	98,86
B-188510	13,608	98,61	B-188510	13,643	98,86
B-188515	13,61	98,63	B-188515	13,645	98,88
B-188519	13,663	99,01	B-188519	13,698	99,26
B-188530	13,74	99,56	B-188530	13,755	99,67
B-188534	13,681	99,14	B-188534	13,711	99,36
B-188546	13,679	99,12	B-188546	13,709	99,34
B-188551	13,679	99,13	B-188551	13,71	99,35
B-188554	13,8	100	B-188554	13,8	100
			B-188559	0,48	100
			B-188564	13,602	98,56

Fuente: elaboración propia.

2.10. Corrientes de corto circuito

Una falla en una red eléctrica de distribución es cualquier defecto que interfiere en el normal flujo de corriente de la red. Estas fallas pueden ser causados por eventos imprevistos como sobrecargas de las líneas, cortocircuitos, roturas accidentales en excavaciones de cables subterráneos....etc. Como consecuencia, pueden aparecer altas corrientes en la localización de la falla y en las partes de la red por donde circula esta corriente de falla. Estas corrientes son un riesgo y pueden causar daños irreversibles a cables, transformadores y otros equipos de la red también pueden afectar al suministro de electricidad a los consumidores.

Las principales características de los cortocircuitos son:

- Por su duración: auto extingible, transitorio, permanente.
- Por su origen:
 - Originados por factores mecánicos (rotura de conductores, conexión eléctrica accidental entre dos conductores producida por un objeto conductor extraño, como herramientas o animales)
 - Debidos a sobre tensiones eléctricas de origen interno o atmosférico, o causados por la degradación del aislamiento provocada por el calor, la humedad o un ambiente corrosivo
- Por su localización: dentro o fuera de una máquina o un tablero eléctrico

En las redes de distribución, las incidencias de falla son:

- Monofásicos: 80% de los casos
- Bifásicos: 15% de los casos. Los de este tipo, suelen evolucionar en trifásicos

Cuando consideramos fallas desequilibradas, entonces la red también es un sistema eléctricamente desequilibrado. En estas condiciones, los cálculos se simplifican con la introducción de los componentes simétricos.

De acuerdo con el Teorema de Fortescue, tres fasores desequilibrados (tensiones o corrientes de un sistema trifásico) se pueden descomponer en tres sistemas de fasores equilibrados. Los componentes de este conjunto equilibrado son:

- Componente de secuencia positiva que consiste en tres fasores equilibrados de tensión o corriente en una secuencia de fase normal (positiva)
- Componente de secuencia negativa que consiste en tres fasores equilibrados de tensión o corriente en una secuencia de fase opuesta (negativa)
- Componente de secuencia cero que consiste en tres tensiones o corrientes de igual magnitud y fase

La componente simétrica de las corrientes se relaciona con las corrientes de fase por medio de la siguiente expresión:

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_0 \\ I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} \quad (6)$$

Donde,

$$a = 1 \angle 120^\circ, \quad a^2 = 1 \angle 240^\circ$$

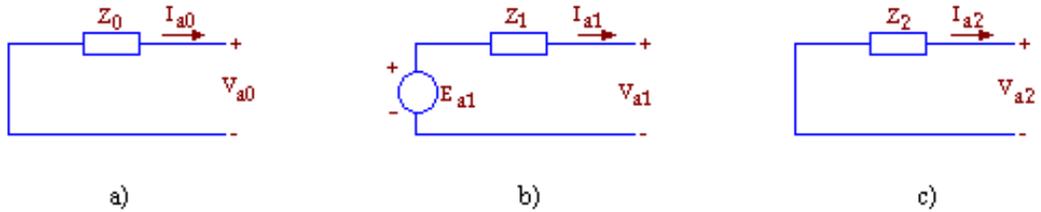
Por tanto, las corrientes de secuencia son:

$$\begin{bmatrix} I_0 \\ I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \quad (7)$$

De forma idéntica se obtiene la relación entre las tensiones de fase y las componentes simétricas de las tensiones.

Estas ecuaciones permiten representar el generador mediante tres circuitos monofásicos independientes (uno para cada secuencia). La figura 16 muestra las mallas equivalentes de secuencia de un generador síncrono, donde se ha considerado que, como ocurre normalmente, las tensiones generadas son equilibradas:

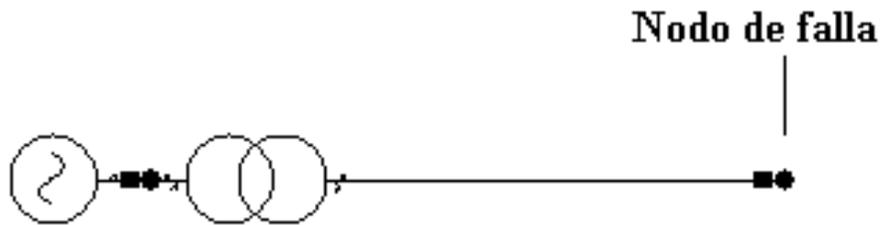
Figura 17. **Mallas de secuencia, a) cero, b) positiva, c) Negativa**



Fuente: Inele, Cortocircuitos asimétricos.

Las corrientes de falla que aportarán para el estudio ocurrirán tomando en cuenta desde el GDR hasta el nodo de la conexión al sistema, como se muestra en la figura 17.

Figura 18. **Falla del sistema**

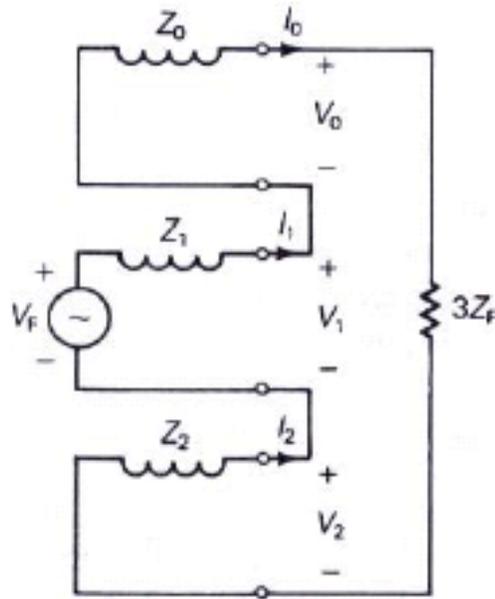


Fuente: elaboración propia.

2.10.1. **Corto circuito monofásico**

Para realizar el cálculo con el método anteriormente explicado, es necesario conocer la red de secuencia la cual nos indicará donde deben de acomodarse las mallas de secuencia, esta se muestra en la figura 18.

Figura 19. **Red de secuencia para una falla monofásica**



Fuente: DUNCAN Glover J., sistemas de potencia, p. 404.

Las corrientes de secuencias se encuentran operando la fórmula:

$$I_0 = I_1 = I_2 = \frac{V_F}{Z_0 + Z_1 + Z_2 + (3Z_F)} \quad (8)$$

Donde:

I_0 : Corriente de secuencia cero

V_F : Tensión de fase eficaz nominal o de prefalla
en el punto de falla

Z_1 : Impedancia de secuencia positiva

Z_2 : Impedancia de secuencia negativa

Z_0 : Impedancia de secuencia cero

Z_F : Impedancia de falla

Para implementar la fórmula es necesario conocer los siguientes valores:

- Reactancia del generador
- Reactancia del transformador
- Reactancias de la línea (positiva, negativa y cero)
- Longitud de la línea
- Calibre del conductor

Los valores de las reactancias del generador y las reactancias del transformador se toman de las tablas XI y XII, respectivamente.

Tabla XI. **Reactancias para generadores síncronos (%)**

Reactancia subtransitoria	Reactancia transitoria	Reactancia permanente
10-20	15-25	150-230

Fuente: *Shneider electric*, cuaderno técnico n° 158, p. 21.

Tabla XII. **Reactancias para transformadores según la potencia aparente**

TRANSFORMADORES										
S(kVA)	25	50	63	100	125	160	200	250	315	400
X _{cc} (%)	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
TRANSFORMADORES										
S(kVA)	500	630	800	1.000	1.250	1.600	2.000	2.500		
X _{cc} (%)	4	4	5	5	5	6	6.25	6.25		

Fuente: *Shneider electric*, cuaderno técnico n° 158, p. 22.

Los valores de la impedancia total de un conductor tipo ACSR, se deben de tomar los datos en la tabla XIII.

Tabla XIII. **Impedancia de secuencia positiva para conductor tipo ACSR**

Calibre	Impedancia
6	0.1746
4	0.1673
2	0.1596
1	0.1551
1/0	0,1496
2/0	0,1478
3/0	0,1442
4/0	0,1407
266.8	0,1262
336.4	0,1236
397.5	0,1217
477	0,1196
556.5	0,1178
636	0,1165
795	0,114

Nota: impedancias, $\Omega/1000\text{ft}$ (*3,28 para, Ω/km)

Fuente: *Electric power distribution equipament and systems, Overhead lines*, p. 61.

Las impedancias de secuencia cero para el análisis, las tomamos de la tabla IX.

Para facilitar el cálculo, y ya que los valores de las reactancias en los transformadores y máquinas sincronías están dadas de esta manera, la impedancia de la línea se convertirá a valor por unidad.

Para aplicar la fórmula que nos indica la corriente de la red de secuencia, se suman las impedancias según su tipo y de acuerdo a las mallas de secuencia.

Tabla IX. **Impedancia de secuencia 0 para conductor tipo ACSR**

Calibre de fase	Calibre de neutro	impedancia
4	4	0,804
2	4	0,679
2	2	0,6505
1	4	0,6385
1	1	0,5901
1/0	4	0,6061
1/0	1/0	0,5357
2/0	2	0,5536
2/0	2/0	0,4974
3/0	2	0,5304
3/0	3/0	0,4524
4/0	1	0,5012
4/0	4/0	0,4344
266,8	2/0	0,4362
266,8	266,8	0,3836
336,4	2/0	0,428
336,4	336,4	0,3676
397,5	2/0	0,423
397,5	397,5	0,3584
477	2/0	0,4181
477	477	0,3498
556,5	2/0	0,4145
556,5	556,5	0,3436

Nota: impedancias, $\Omega/1000\text{ft}$ (*3,28 para, Ω/km)

Fuente: *Electric power distribution equipment and systems, Overhead lines*, p. 62.

2.10.1.1. Proyecto Enasa

Generador

$$X_{sub} = 10 \%$$

Transformador

$$X_{cc} = 6 \%$$

Línea

$$Long = 1,68 \text{ km}$$

Calibre No. 2

Impedancias totales de secuencias

$$\begin{aligned} X_{positiva/negativa} &= 0,1596 \Omega/1000 \text{ ft} * 3,28 * 1000 \text{ ft/km} = 0,523488 \Omega/\text{km} * 1,68 \text{ km} \\ &= 0,8794 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_0 &= 0,6505 \Omega/1000 \text{ ft} * 3,28 * 1000 \text{ ft/km} = 1,213364 \Omega/\text{km} * 1,68 \text{ km} \\ &= 3,5845 \Omega \end{aligned}$$

Impedancia base

$$Z_{base} = \frac{(KV)^2}{MVA} = \frac{(13,8)^2}{1,5625} = 121,8816 \Omega$$

Suma de impedancias, según los circuitos equivalentes de secuencia

$$\text{Impedancias de secuencia positiva} = (0,10 + 0,06 + 7,21 * 10^{-3}) j = 0,1672 j$$

$$\text{Impedancias de secuencia negativa} = (0,10 + 0,06 + 7,21 * 10^{-3}) j = 0,1672 j$$

$$\text{Impedancias de secuencia cero} = (0,06 + 29,41 * 10^{-3}) j = 0,08941 j$$

Aplicación de la fórmula (8), para conocer las corrientes de secuencia

$$I_0 = I_1 = I_2 = \frac{V_F}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + (3Z_F)}$$

Puesto que el corto circuito es sólido $Z_F = 0$, las corrientes de secuencia son:

$$I_0 = I_1 = I_2 = \frac{1}{0,1672j + 0,1672j + 0,08941j} = 2,3595j \text{ por unidad}$$

Ya que $I_0 = I_1 = I_2$, entonces la corriente subtransitoria es 3 veces la corriente que circula por la fase a:

$$I_{\text{sub}} = 3 * 2,3595 = 7,0786 \text{ j por unidad}$$

La corriente en la línea es:

$$I_{\text{línea}} = \frac{1,5625 * 10^3}{13,8 * \sqrt{3}} = 65,37 \text{ A}$$

Por lo tanto, la corriente de falla, en amperios es:

$$I = 7,0786 * 65,37 = 462,73 \text{ A}$$

2.10.1.2. Proyecto Turinja

Generador

Xsub = 10 %

Transformador

Xcc = 6 %

Línea

Long = 1,64 km

Calibre = No. 2

Impedancias totales de secuencias

$$X_{\text{positiva/negativa}} = 0,1596 \Omega/1000 \text{ ft} * 3,28 * 1000 \text{ ft/km} = 0,523488 \Omega/\text{km} * 1,64 \text{ km} \\ = 0,8585 \Omega$$

$$X_0 = 0,6505 \Omega/1000 \text{ ft} * 3,28 * 1000 \text{ ft/km} = 2,13364 \Omega/\text{km} * 1,64 \text{ km} = 3,4992 \Omega$$

Impedancia base

$$Z_{\text{base}} = \frac{(KV)^2}{MVA} = \frac{(13,8)^2}{1,875} = 101,568 \Omega$$

Suma de impedancias, según los circuitos equivalentes de secuencia

$$\text{Impedancias de secuencia positiva} = (0,1 + 0,06 + 8,45 * 10^{-3}) j = 0,1684 j$$

$$\text{Impedancias de secuencia negativa} = (0,1 + 0,06 + 8,45 * 10^{-3}) j = 0,16.84 j$$

$$\text{Impedancias de secuencia cero} = (0,06 + 0,03445) j = 0,09445 j$$

Aplicación de la fórmula (8), para conocer las corrientes de secuencias

$$I_0 = I_1 = I_2 = \frac{V_F}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + (3Z_F)}$$

Puesto que el corto circuito es sólido $Z_F = 0$, las corrientes de secuencia son:

$$I_0 = I_1 = I_2 = \frac{1}{0,1684j + 0,1684j + 0,09445j} = 2,3183j \text{ por unidad}$$

Ya que $I_0 = I_1 = I_2$, la corriente subtrancitoria es 3 veces la corriente que circula por la fase *a*, entonces

$$I_{\text{sub}} = 3 * 2,3193 = 6,9549 \text{ j por unidad}$$

La corriente en la línea es:

$$I_{\text{linea}} = \frac{1,875 * 10^3}{13,8 * \sqrt{3}} = 78,44 \text{ A}$$

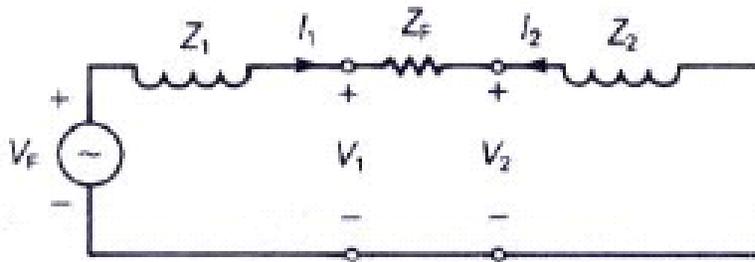
Por lo tanto la corriente de falla, en amperios será:

$$I = 6,9549 * 78,44 = 545,54 \text{ A}$$

2.10.2. Corrientes de corto circuito bifásico

El comportamiento de este tipo de falla, a diferencia del corto circuito monofásico la red de secuencia para este, se muestra en la figura 19

Figura 20. Red de secuencia para una falla bifásica



Fuente: DUNCAN Glover J., sistemas de potencia, p. 408.

Por lo que las ecuaciones para encontrar las corrientes de secuencia son:

$$I_1 = -I_2 = \frac{V_F}{(Z_1 + Z_2 + Z_F)} \quad I_0 = 0 \quad (9)$$

2.10.2.1. Proyecto Enasa

Generador

Xsub = 10 %

Transformador

Xcc = 6 %

Línea

Long = 1,68 km

Calibre No. 2

Impedancias totales de secuencias

$$\begin{aligned} X_{\text{positiva/negativa}} &= 0,1596 \Omega/1000 \text{ ft} * 3,28 * 1000 \text{ ft/km} = 0,523488 \Omega/\text{km} * 1,68 \text{ km} \\ &= 0,8794 \Omega \end{aligned}$$

Impedancia base

$$Z_{\text{base}} = \frac{(KV)^2}{MVA} = \frac{(13,8)^2}{1,5625} = 121,8816 \Omega$$

Suma de impedancias según los circuitos equivalentes de secuencia

$$\text{Impedancias de secuencia positiva} = (0,1 + 0,06 + 7,21 * 10^{-3}) j = 0,1672 j$$

$$\text{Impedancias de secuencia negativa} = (0,1 + 0,06 + 7,21 * 10^{-3}) j = 0,1672 j$$

Aplicación de la fórmula (9), para conocer las corrientes de secuencias

$$I_1 = -I_2 = \frac{V_F}{Z_1 + Z_2 + Z_F} \quad I_0 = 0$$

$$I_1 = -I_2 = \frac{1}{0,1672j + 0,1672j} = 2,9904j \text{ por unidad}$$

Transformando la ecuación al dominio de la fase b y usando las identidades

$$(a^2 - a) = -j\sqrt{3}$$

$$I_b = I_0 + a^2 I_1 + a I_2 = (a^2 - a) I_1,$$

Entonces

$$-j\sqrt{3}I_1 = \frac{-j\sqrt{3}V_F}{Z_1 + Z_2 + Z_F}$$

La corriente subtransitoria es:

$$I_{\text{sub}} = \sqrt{3} * 2,9904 = 5,1796 j \text{ por unidad}$$

La corriente en la línea es:

$$I_{\text{línea}} = \frac{1,5625 * 10^3}{13,8 * \sqrt{3}} = 65,37 \text{ A}$$

Por lo tanto la corriente de falla en amperios será:

$$I = 5,1796 * 65,37 = 338,59 \text{ A}$$

2.10.2.2. Proyecto Turinja

Generador

Xsub = 10 %

Transformador

Vcc = 6 %

Línea

Long = 1,64 km

Calibre = No. 2

Impedancias totales de secuencias

$$X_{\text{positiva/negativa}} = 0,1596 \Omega/1000 \text{ ft} * 3,28 * 1000 \text{ ft/km} = 0,523488 \Omega/\text{km} * 1,64 \text{ km} \\ = 0,8585 \Omega$$

Impedancia base

$$Z_{\text{base}} = \frac{(KV)^2}{MVA} = \frac{(13,8)^2}{1,875} = 101,568 \Omega$$

Suma de impedancias según, los circuitos equivalentes de secuencia

Impedancias de secuencia positiva = $(0,1 + 0,06 + 8,45 * 10^{-3}) j = 0,1684 j$

Impedancias de secuencia negativa = $(0,1 + 0,06 + 8,45 * 10^{-3}) j = 0,1684 j$

Aplicación de la fórmula (9), para conocer las corrientes de secuencias

$$I_1 = -I_2 = \frac{V_F}{Z_1 + Z_2 + Z_F} \quad I_0 = 0$$

$$I_1 = -I_2 = \frac{1}{0,1684j + 0,1684j} = 2,9682j \text{ por unidad}$$

Transformando la ecuación al dominio de la fase b y usando las identidades

$$(a^2 - a) = -j\sqrt{3}$$

$$I_b = I_0 + a^2 I_1 + a I_2 = (a^2 - a) I_1$$

Entonces

$$-j\sqrt{3}I_1 = \frac{-j\sqrt{3}V_F}{Z_1 + Z_2 + Z_F}$$

La corriente subtransitoria es:

$$I_{\text{sub}} = \sqrt{3} * 2,9682 = 5,1411 j \text{ por unidad}$$

La corriente en la línea es:

$$I_{\text{línea}} = \frac{1,875 * 10^3}{13,8 * \sqrt{3}} = 78,44 \text{ A}$$

Por lo tanto la corriente de falla en amperios será:

$$I = 5,1411 * 78,44 = 403,27 \text{ A}$$

3. FASE DE INVESTIGACIÓN

Se propone un plan de contingencia en el cual se presentan los riesgos que pueden surgir en la manipulación de un sistema de generación distribuida renovable conectada a un sistema de distribución eléctrica, así como los cuidados ante estos riesgos y el auxilio a personas afectadas por los mismos.

3.1. Plan de contingencia ante peligros eléctricos de la generación distribuida renovable

3.1.1. Guía para la propia defensa

El salvamento de la propiedad tan sólo, no justifica el arriesgar una vida humana. Donde la vida está comprometida, la urgencia es mayor y la necesidad pone al personal en situaciones de actuar en la presencia de un peligro más grande. En situaciones de esta índole la persona debe pensar antes de actuar, particularmente cuando en el lugar de los sucesos se encuentran equipos eléctricos en acción. Más aún, si no sabe lo que está haciendo, debe dejar que otro con más experiencia asuma el control de la situación.

3.1.1.1. Líneas aéreas de la generación distribuida renovable

La corriente es transmitida desde la planta hasta los consumidores por medio de líneas y cables subterráneos y aéreos. Bajo tierra las líneas van siempre aisladas. Por el aire pueden ir o no protegidas.

En condiciones normales estas líneas y cables no presentan amenazas a las personas; cuando existen condiciones anormales ciertos procedimientos deben ser seguidos para disminuir el peligro. En vista de esto es deseable que la persona se familiarice con las condiciones que pueden ser encontradas en las instalaciones tanto aéreas como subterráneas.

Para saber qué líneas distribuidoras de corriente conducen más voltaje y son más peligrosas, la señal más fácil es la siguiente: las líneas que están colocadas en forma horizontal y vertical, pero siempre en la parte más alta de los postes, son de media o alta tensión, pues conducen 6 700 13 200 y 69 000 voltios; a éstas también se les llama líneas primarias.

3.1.1.2. Riesgos provocados por las líneas aéreas de la generación distribuida renovable

Los principales riesgos que producen la mala manipulación de las líneas aéreas de la generación distribuida renovable son:

- Quemaduras de 1er., 2o. y 3er. Grado
- Paralización o amputación de diferentes partes del cuerpo, por ejemplo, brazos, piernas, vista, fracturas por caídas y otros

Estas líneas anteriormente mencionadas alimentan transformadores y están colocados en diferentes postes, bóvedas y plataformas bajo techo y a la intemperie, y como su nombre lo indica son los encargados de transformar la corriente o voltaje.

3.1.1.2.1. Riesgo ante una descarga eléctrica en un individuo

Si un individuo hace contacto con una línea electrizada o un objeto que esté en contacto con ésta, puede recibir un choque fatal, o sufrir un colapso que le haga perder el conocimiento o control de sus actos y le produzca una caída. Por esta razón el contacto con los circuitos, aún de bajo voltaje, deben ser evitados. El peligro es aún mayor bajo condiciones de humedad tales como las que ocurren cuando se está parado sobre un charco de agua o una superficie mojada. Choques fatales han ocurrido cuando la persona ha caminado sobre agua estancada en los cuales han caído alambres cargados de electricidad.

3.1.1.2.2. Riesgos ante un arco eléctrico

Las quemaduras pueden resultar por la corriente de arcos eléctricos formados por un corto circuito. Estas quemaduras pueden causar la muerte. Los ojos de la persona pueden ser seriamente afectados como resultado de esos arcos eléctricos.

Las quemaduras causadas por un arco son similares en naturaleza a aquéllas producidas por cualquier llegada directamente al ojo. En estos casos el afectado muestra quemaduras en la superficie del cuerpo. Como otras quemaduras si alcanzan suficiente extensión, pueden provocar la muerte del afectado. Las quemaduras producidas por el paso de corriente por el cuerpo frecuentemente no son visibles. La única evidencia del paso de la corriente pueden ser quemaduras superficiales muy pequeñas, algunas veces como una manchita roja. Este tipo de quemaduras, sin embargo, pueden ser muy serias a causa del daño que puedan ocasionar al corazón, al cerebro u otros órganos. Estas quemaduras pueden ser serias si bien no son visibles.

Aún en el caso de que en ninguno de estos tipos de quemaduras ocurra un arco eléctrico, esto puede causar daños serios permanentes a los ojos, a causa de la intensidad de luz en la que los ojos quedan expuestos. Esta es la misma quemadura que reciben los ojos al mirar de frente un arco soldador.

3.1.1.2.2. Riesgos ante líneas cargadas y en corto circuito

El arco resultante por las líneas cargadas de corriente que entran en corto circuito, pueden también iniciar un fuego en el caso de que se encuentre material combustible cerca de ellos. Esto puede producir incendios de pastos que ocurren algunas veces como resultado de las líneas cargadas de electricidad que caen al suelo. Todos estos riesgos son superiores cuanto mayor sea el voltaje y mayor la duración del contacto.

3.1.1.3. Cuidados ante las líneas aéreas de la Generación distribuida renovable

- No acercarse a ellas, ni muchos menos tocarlas
- Evitar que otras personas lo hagan
- Cuidar que la corriente no se esté conduciendo por otros medios a otros lugares
- Llamar a la distribuidora eléctrica

En el caso de una emergencia con una víctima humana, por ejemplo, un pedazo de madera o una vieja escalera de madera pueden ser usados para halar el alambre cargado y separarlo del cuerpo de la víctima. El uso de guantes de goma de tipo autorizado es una precaución adicional para evitar daños a la persona.

Después que la víctima está separado por algunos pies, camine alrededor del mismo, inmediatamente proceda a administrar respiración artificial si la víctima está inconsciente. Recuerde que cada segundo cuenta. Corte el alambre con su aparato de los que hay especialmente diseñados y aislados para hacerlo, nunca lo haga con una tenaza cualquiera por más que ésta tenga el mango aislado.

Al cortar el alambre, hágalo cerca de la escalera o palo con que está sosteniéndolo con el fin de que quede un pedazo largo o que se pueda torcer o deslizar; separe por lo menos un pie, los dos extremos cortados valiéndose del cortador y corte al otro lado del cuerpo de la víctima, de tal manera que se quede ésta completamente distante fuera de cualquier posible contacto con la corriente. Una vez así, inicie de inmediato la respiración artificial, moviendo a la víctima del lugar tan sólo si esto es absolutamente necesario.

3.1.1.3.1. Cuidados con la corriente en un incendio

Varias veces ha sucedido que al llegar a un incendio el enlaminado, paredes, aparatos eléctricos u otros, con la humedad se electrizan, lo que es bastante peligroso. Cuando la humedad y la electricidad se juntan, el golpe es bastante fuerte; para que esto no suceda, los pasos a seguir son los siguientes:

- Cortar la corriente, bajando los *flip-ons* que están en una caja de distribución, ver que queden en *off* o desconectados
- Cortar la corriente bajando el *switch* de cuchillas o *switch* general
- Cortar la corriente quitando el reloj contador
- Cortar la corriente cortando el cable en el poste

Los pasos anteriores se siguen si fueran líneas de baja tensión que ustedes ya conocen. Si así fuera, llamar inmediatamente a la empresa distribuidora.

3.1.1.3.2. Cuidados con las escaleras

Escaleras metálicas, escaleras con varillas metálicas y escaleras de madera mojada pueden conducir la corriente a la persona que las maneja. Pueden causar que los alambres se junten provocando un corto circuito que pueden quemar y derribar los alambres o crear un arco eléctrico que puede causar serias quemaduras a aquéllos que se encuentren en las inmediaciones, o causar fuegos en materiales adyacentes.

3.1.1.3.3. Cuidados ante la caída de las líneas en un vehículo

Si estas líneas hubiesen caído en un vehículo en el cual hubieran personas adentro, los pasos a seguir son los siguientes:

- Tratar de calmar a las personas:
 - Haciéndoles saber que no traten de salir del vehículo
 - Que de cualquier manera se les sacará sin ningún peligro
 - Que inmediatamente se cortará la corriente
 - Que hagan exactamente lo que se les va a indicar, pero que ante todo lo vital es la calma

- Cortar la o las líneas del poste, cuidar en el lugar y llamar a la empresa distribuidora inmediatamente

- Que la persona que esté más calmada abra la portezuela del vehículo, se pare en ella, ponga las manos hacia adelante y salte fuera de él, sin tocar el mismo, si fuera posible es conveniente colocar en el suelo madera seca, hule, telas u otro material por el cual no se transmita la electricidad

- Ya con la portezuela abierta, conseguir un tablón, palos o algo que se pueda utilizar como puente, siempre y cuando todo sea aislante

- Si nada de lo anterior se logra hacer bien o estuviese lloviendo, lo mejor es llamar inmediatamente a la empresa distribuidora

Las líneas que alimentan casas, fábricas y otros, son pocas las que son abiertas, la mayoría están entorchadas, éstas se ponen en corto circuito por varias razones, hay una línea desnuda o pelada, que nos indica cuál es el negativo o tierra, ésta también sirve para sostener el cable, ya que a las otras se les deja una curva de 45 grados por lo que es fácil identificarlas y cortarlas con un cortafrío o alicate.

Cuando las circunstancias obligan a que estos cables sean cortados en el suelo se recomienda cortarlos con una hacha o un machete y un trozo, recomendando cortarlas en forma diagonal para que las líneas queden una más larga que la otra, si no podemos cortarlas esperemos que la chispa llegue al lugar en donde las líneas están abiertas para que allí se termine la misma.

3.1.1.3.4. Cuidados con las líneas para seguridad de otro

Si prevalecen condiciones en las cuales las líneas deben ser cuidadas para evitar que personas u objetos entren en contacto con ellas, es esencial que se coloque una o más personas de guardia en el lugar indicado de modo permanente. Si se necesita ayuda envíe el mensaje con otra persona. Impida que cualquier persona se acerque a las líneas y sea cuidadoso en mantener a los niños a una distancia segura.

Continúe la guardia de las líneas hasta ser informado por un representante de la distribuidora eléctrica de que los mismos no presentan peligro. Si no recibe más informes, insista en pedirlo antes de abandonar la guardia de las líneas. Impida que cualquier persona se acerque a las líneas y sea cuidadoso en mantener a los niños a una distancia segura.

Su trabajo no está completo mientras las líneas no sean levantadas dos o asegurados, o mientras su turno en la guardia de la zona peligrosa no sea tomado por otra persona entrenada.

3.2. Alambres cortados sin vigilancia

Cuando en una emergencia, en la cual está en peligro una vida, obliga a que un alambre sea cortado, ambos extremos del corte deben ser vigilados con sumo cuidado para evitar otras desgracias, hasta tanto vengan los empleados de la empresa distribuidora y asuman el control.

3.3. Causas que convierten en peligrosas las líneas aéreas de la generación distribuida renovable

Las líneas aéreas que son normalmente seguras, presentan serios peligros al personal cuando: los alambres se caen como resultados de tormentas, fuegos, postes rotos, colisiones de vehículos, árboles u otras interferencias.

Estos alambres pueden caer sobre carros, sobre estructuras, cercas de alambre o sobre una persona. Cuando esto ocurre la electricidad que ellos transmiten a tales objetos pueden ser conducidos a otros puntos. A veces, por el aire o movimiento de los postes, estas líneas se chocan o forman un corto circuito, estas pueden separarse con un garfio o bien con un lazo; pero si no se está seguro de lo que se ha de hacer lo mejor es dejarlas, pues al quedar pegadas se quema un fusible que tienen los transformadores y las líneas y se corta el fluido eléctrico. Cuando se abren y caen al suelo, las recomendaciones son las mismas. (No tocar y precaución de que estas líneas no conduzcan corriente a otros lugares).

3.4. Sogas lanzadas desde pisos altos de una edificación para subir mangueras u otro equipo

A menos que la persona sea suficientemente cuidadosa para dejar caer su soga entre la red del edificio y las líneas eléctricas más cercanas la soga puede caer sobre las mismas y hacerlas que se unan. Si la soga está húmeda y hace contacto el resultado puede ser un choque fuerte a la persona, el que puede ser fatal.

3.5. ¿Cómo atender fuego en transformadores colocados sobre postes, bóvedas y otros equipos igualmente montados?

Las dos reglas que guían a la persona cuando encuentra algún fuego en equipos colocados sobre un poste o bóveda son:

- Si el fuego ocurre en equipo con cubierta de metal, como transformadores, reguladores, interruptores o terminales de cables, la mejor medida a usar es dejarlo que se consuma por sí mismo, notificar a la empresa distribuidora acerca de la localización del fuego y quedarse en el sitio hasta que llegue el personal de la misma.
- Si el fuego está quemando el poste (incluyendo los cables), que pueden caer y constituirse en un peligro o causar daños, lo conducente es proteger la propiedad adyacente y tratar de extinguir el fuego usando un agente extinguidor que no sea conductor de corriente, siempre con las debidas precauciones.

3.6. Líneas aéreas de generación distribuida renovable caídas o a punto de caer

Rayos, vendavales, objetos que caen sobre las líneas y muchas otras causas, frecuentemente resultan en aflojamiento o ruptura de los conductores eléctricos a lo largo de las calles y carreteras. Cuando estos alambres están cargados de corriente constituyen una amenaza para el público en general que puede tener que enfrentarse con ellos en el desempeño de sus funciones. El problema para cualquiera que tenga que investigar estos alambres, o el que tenga que trabajar en su proximidad es sumamente difícil. Por lo tanto, debe tener gran cuidado al aproximarse a ellos.

En virtud de tal peligro, las siguientes sugerencias se ofrecen como una guía para la persona. Se acepta que otras sean agregadas con acierto, pero se espera que las que estamos presentando por lo menos pondrán énfasis en la necesidad de precaución por parte de la persona. Las condiciones que puedan surgir serán mejor manejadas desde el punto de vista de la seguridad.

3.6.1. ¿Qué hacer en términos generales cuando las líneas están caídas o peligrosamente aflojadas?

Si se recibe una llamada en la sede notifique a la distribuidora eléctrica inmediatamente. Si se encuentran los alambres caídos a su llegada al lugar del fuego, proceda como sigue: envíe a alguien a notificar a la distribuidora. Aparte a los curiosos de la zona del peligro. Esto es necesario porque los alambres que quedan colocados a uno y otro lado del sector caído, pueden caer como consecuencia del accidente o pueden enredarse por motivo del aire o de las labores de personas ocupadas en el trabajo.

Los alambres que están en el suelo pueden inflamarse o torcerse con el consiguiente peligro para las personas que están cerca. Quemaduras, choques eléctricos o lesiones a la vista por arcos eléctricos a las personas aún cuando no estén en contacto directo con los alambres. No permita que nadie se pare debajo de los alambres (que representan peligros) a una distancia considerable a ambos lados del accidente.

3.6.2. ¿Qué hacer para alimentar la seguridad de la persona?

No se debe intentar remover ni tocar ningún conductor o alambre que se encuentre en el suelo colgando del poste o entre éstos, a menos que se encuentre debidamente equipado y entrenado, tan sólo en el caso de que tales alambres presenten inmediatamente peligro para el público, el personal o para la propiedad. El hecho de que un alambre no presente pruebas visuales de que este energizado no es indicio de que no esté cargado de corriente. Pueden parecer totalmente inactivos, silenciosos y sin embargo, pueden ser mortalmente peligrosos.

Mantenga su equipo muy lejos de donde la apariencia indica que los alambres han caído. Esto es particularmente importante en la noche cuando es difícil observar los alambres.

Debe tomarse mucho cuidado al salir de los vehículos cuando éstos se encuentran en las cercanías del sitio en donde los alambres pueden haber caído. Una persona puede pisar un alambre cargado o la puerta del carro al abrirse hacer contacto con estos. Debe examinarse alrededor con cuidado usando una linterna antes de iniciar la salida del carro en la oscuridad.

Pisar un charco dentro del cual está un alambre cargado, es tan peligroso como tocar el propio alambre, por estas razones, la persona debe ser muy cautelosa acerca del lugar donde camina. Un carro aislado del suelo por las llantas de goma puede ser cargado de corriente de distintas maneras.

Pueden estar tocando otro carro que a su vez toca otro que está tocado por un alambre cargado. En este caso el contacto puede romperse haciendo retroceder el auto, o removiendo el cable cargado de corriente, para lo cual debe usarse para ello un palo de madera seca. En el caso de que una persona tenga que abandonar un carro cargado de corriente, debe asegurarse que lo hará dando un gran salto de manera que ninguna parte de su cuerpo quede en contacto con el mismo al tocar la tierra.

Las personas que están en tierra deben evitar tocar el carro que ha sido cargado de corriente por el roce de un alambre, pues pueden recibir un choque y, como ya se dijo anteriormente, éste puede ser mortal.

Un ejemplo que explica los peligros es el caso de una persona que con su carro derribó un poste de la línea eléctrica de alta tensión, el cual quedó sobre su carro. La persona descendió del auto y no sufrió daño alguno, probablemente a causa de que algún dispositivo automático de la planta cortó temporalmente la corriente del área afectada. Pero la persona recordó que había olvidado algo importante en el auto y regresó. Fue electrocutada con sólo tocar la manivela de la puerta. No se debe confiar en las botas de caucho para protección en contra de una corriente eléctrica.

Todo lo que se puede decir de ellas es que protegen mejor que las botas de cuero, pero en realidad, tanto las de cuero como las de goma son hechas con el propósito de protegerse de la humedad más que de la corriente.

Los fabricantes frecuentemente, agregan sustancias especiales para la mayor duración de las que son magníficos conductores de la electricidad. Por ejemplo el negro humo que se emplea con frecuencia en las botas de goma destruye la propiedad aislante del caucho.

No intente abrir puertas metálicas o cortar cercas de alambres en la vecindad de un lugar donde ha caído sobre ella el alambre de los postes. La corriente de un alambre cargado caído sobre una cerca debe ser cortada, ello debe hacerlo únicamente el personal adiestrado y equipado de la distribuidora eléctrica. Las llantas de los autos tampoco son garantía del aislamiento y la persona no debe creer que se encuentra aislado porque está parado en el estribo de un auto.

3.7. Líneas aéreas de la generación distribuida renovable: procedimiento de rescate

Pueden ocurrir emergencias cuando sea necesario que las personas trabajen con líneas cargadas de corriente para salvar vidas en peligro. Si se cuenta con ayuda adicional, la línea que ha sido separada de la víctima debe ser mantenido en el suelo y asegurarlo con algún materia aislador, tal como una escalera de madera, de manera que no corra el peligro de moverse sobre el suelo y causar nuevas víctimas.

3.7.1. Cortar un alambre para liberar una víctima

Los alambres se clasifican de acuerdo con el voltaje, hay alambres que pueden ser cortados por alguna persona en una emergencia, siempre y cuando sean líneas secundarias y si se tiene el entrenamiento adecuado.

En áreas rurales, fuera de pueblos y aldeas, sin embargo, se encuentran frecuentemente alambres desnudos cargados de corriente. Alambres con un voltaje mayor de 7600 voltios, tampoco deben ser cortados por las personas bajo ninguna circunstancia.

Según una regla general, estos alambres están descubiertos. Infórmese con la empresa distribuidora, ésta es la mejor manera de familiarizarse con este tipo de tendidos eléctricos. Si una víctima está en contacto con un alambre cargado con más de 7600 voltios el método de rescate descrito puede ser empleado. El alambre no debe ser cortado bajo ninguna circunstancia, hasta tanto la persona esté informada por un representante de la Empresa de que la corriente ha sido interrumpida. Esto es importante pues el peligro es estrictamente grande.

3.7.2. Precauciones para cortar los alambres cargados

Si una víctima está en contacto con un alambre cargado de corriente y éste está enredado, debe ser cortado y se recomiendan las siguientes precauciones: nadie puede decir, por la apariencia de un alambre, si está o no cargado de corriente. Los alambres cargados caídos pueden no presentar evidencia visual de su energización. La distribuidora eléctrica puede cargar de corriente los alambres que están caídos y éstos que no tienen corriente repentinamente pueden ser energizados.

Cuando alambres de baja tensión o líneas secundarias son cortados, o se rompen hay una tendencia en los postes a caer; por esta razón, los peatones deben ser apartados de debajo de los tendidos y de los alambres o cables.

Por ninguna circunstancia permita que su cuerpo o ropas toquen a la víctima. Mantenga a los espectadores alejados de la zona de peligro; la guardia u otras autoridades locales serán de gran ayuda en estos casos: llame a un médico y un representante de la distribuidora eléctrica. Conozca los alambres y lo que ellos pueden hacer.

Los alambres o cables aéreos, secundarios, de la generación distribuida renovable, pueden ser:

- De cobre
- De aluminio (desnudos o forrados), generalmente con un refuerzo de acero o una combinación de acero y cobre

3.8. Método para proteger las líneas de la generación distribuida renovable

Asegure el cable firmemente antes de cortarlo, con el fin de que los dos extremos queden bajo control después de hecha la operación. Se recomiendan estos dos métodos:

- Use una escalera para asegurar el alambre contra el suelo. Este método tiene la ventaja de que la persona no tiene que permanecer en el sitio hasta tanto llegue el personal de la distribuidora.

Sin embargo, cuando el terreno en donde ha caído el alambre es disparejo, esto puede escaparse por debajo de la escalera. por lo anterior, se recomienda el segundo método que consiste en:

- Usar un palo largo de madera seca (garfio), en cuyo caso la persona debe sostener con éste el alambre, presionando contra el suelo hasta tanto llegue el personal de la empresa distribuidora. Cuando tenga que hacer esto, la persona debe reconocer el hecho de que las operaciones son en extremo peligrosas y que todas las precauciones posibles deben ser tomadas para proteger su propia vida y la de los que le rodean. Debe recordarse que todos los alambres son potencialmente peligrosos; por tal motivo, la persona debe iniciar el trabajo con sumo cuidado como si todos los alambres estuvieran cargados de electricidad.

3.8.1. Una víctima en contacto con una línea cargada

Esta es la contingencia más seria y la persona debe actuar inmediatamente pues cada segundo cuenta, desde luego que el choque puede ser fatal.

3.9. ¿Como levantar a una víctima?

Si una persona ha caído sobre un alambre cargado y éste no está enredado en el cuerpo de la víctima o colocado en tal forma que pueda hacer peligrar la vida de otra persona, la manera más práctica de remover al caído es usar un palo largo y seco (garfio), para evitar que el agua convierta la madera en buen conductor, enganándolo en la ropa de la víctima se puede separar ésta del cable sin peligro; mientras esta operación se cumple, debe mantenerse la persona alejada de la víctima tanto como sea posible, trabajando desde el extremo del palo. Si quiere ayuda, otras personas pueden con palos del mismo tipo sostener el alambre contra el suelo o levantarlo para permitir el rescate de la víctima.

Cuando el alambre que está en contacto con la víctima es presionado contra el suelo, la persona afectada tiene mayores oportunidades de que el choque sea menor o menos peligroso. En el caso de que no se disponga de estos palos largos y barnizados se puede usar una soga con gancho el cual se traba en la ropa de la víctima.

La soga debe ser completamente seca. Por ninguna circunstancia toque usted mismo o permita que le toque, ni el vestido, ni la víctima, ni el alambre que le ha producido el choque hasta tanto el contacto haya sido completamente interrumpida la electricidad.

3.9.1. ¿Cómo quitar el alambre cargado del cuerpo de una víctima?

Mientras el alambre se separa de la víctima puede hacer nuevos contactos con el suelo, los cuales pueden resultar en arcos y posibles quemaduras adicionales a la víctima. Pero estas quemaduras superficiales le causan menos daño que dejar la víctima en contacto con el alambre cargado. Mantenga a los curiosos bien alejados de la víctima y del alambre cargado, pues aquella los puede tocar cuando se está moviendo, o puede tocar otros alambres que se encuentren cerca del grupo o derribar otros cables, en fin, diversas contingencias. Todas de carácter peligroso.

Use un palo largo y seco (garfio), el que hemos descrito anteriormente y colóquelo sobre el alambre si ello es posible. Luego hale el alambre hacia usted caminando hacia atrás. Haga todo el esfuerzo por separar el alambre completamente de la víctima mientras ésta es removida.

Trate de mantener el alambre en contacto con el suelo en algún punto anterior al contacto con la víctima. Esto reduce considerablemente el voltaje de la carga. Halando el alambre hacia usted, en lugar de empujarlo está usted, caminando en sentido opuesto al alambre cargado, con lo cual es menor el peligro para usted en el caso de que el alambre se destrabe del palo.

4. FASE DE ENSEÑANZA APRENDIZAJE

La finalidad de este capítulo es la de presentar una metodología para capacitar al personal de la empresa distribuidora, para que estos sean capaces de comprender los principios o de forma general, las implicaciones eléctricas en la red de energía eléctrica de la distribución de la generación distribuida renovable.

A continuación se explicará el método usado para la capacitación y la forma en que fue dada esta para el personal de la empresa distribuidora, respectivamente.

4.1. Capacitación de personal

Desde un punto de vista clásico, entenderíamos a la capacitación como un proceso conciente, deliberado, participativo y permanente implementando por un sistema educativo o una organización.

En los aspectos técnicos del trabajo, fomentando e incrementando los conocimientos y habilidades necesarias para desempeñar su labor, mediante un proceso de enseñanza-aprendizaje bien planificado. Se imparte generalmente a empleados, ejecutivos y funcionarios en general cuyo trabajo tiene un aspecto intelectual, preparándolos para desempeñarse eficientemente; en síntesis, podemos afirmar que toda empresa o institución debe orientar la “capacitación para la calidad y la productividad”.

Objetivos

- Preparar al personal para la ejecución inmediata de las diversas tareas del cargo.
- Proporcionar oportunidades para el desarrollo personal continuo, no solo en su cargo actual, sino también en otras funciones en las cuales puede ser considerada la persona.
- Cambiar la actitud de las personas, bien sea para crear un clima más satisfactorio entre los empleados, aumentar su motivación o hacerlos más receptivos a las técnicas de supervisión y gerencia.
- Proporcionar a la empresa recursos humanos altamente calificados en términos de conocimiento, habilidades y actitudes para un mejor desempeño de su trabajo.
- Desarrollar el sentido de responsabilidad hacia la empresa a través de una mayor competitividad y conocimientos apropiados.
- Mantener a los ejecutivos y empleados permanentemente actualizados frente a los cambios científicos y tecnológicos que se generen proporcionándoles información sobre la aplicación de nueva tecnología.
- Lograr cambios en su comportamiento con el propósito de mejorar las relaciones interpersonales entre todos los miembros de la empresa.

4.2. Descripción de la capacitación utilizada

Para capacitar al grupo de la empresa y aplicar la fase de enseñanza aprendizaje, por sus cualidades didácticas, la capacitación de la conferencia resulta muy útil ya que se ajusta a las necesidades en su totalidad. A continuación se describirán el método de una forma más extensa.

4.2.1. Técnica de la conferencia

Como técnica de capacitación, una conferencia es un proceso dinámico de aprendizaje que requiere participación del auditorio y perspectivas excitantes.

La estructura

E = Explicación

R = Resumen

Introducción	E	R	Conclusión
--------------	----------	----------	------------

Existen dos requisitos previos para preparar y dar una conferencia eficaz. Primero, se investiga y se planea. Segundo, se da bajo circunstancias ambientales favorables, de manera que sus ventajas se maximicen y sus desventajas se minimicen.

4.2.1.1 Preparación de una conferencia

Primero se verifica el conocimiento actual. Esto puede parecer un poco más difícil en el caso de la conferencia, pero usted puede preparar un “análisis del auditorio” antes de la sesión. Luego:

- Tratar de interesar a los capacitados. (Esto es quizás mas importante de lo normal, porque si usted no consigue un interés inicial alto, su tarea se vuelve más difícil)
- Orientar a los capacitandos
- Motivar a los capacitandos
- Prevea la información cubierta en la conferencia. (Usted puede delinear la estructura de la conferencia)

4.2.1.2. El cuerpo

Divida el cuerpo de la conferencia en segmentos lógicos de dos pasos fácilmente asimilables. Acompañe cada segmento con apoyos visuales y haga que los capacitados participen, si es posible. Usted puede hacer uso del pizarrón, del proyector y de las gráficas. Las gráficas son particularmente buenas. Su pulcritud y presentación ordenada realzan el curso bien estructurado de la conferencia. Conseguir que los capacitados participen es un poco más difícil. He aquí algunas sugerencias:

- Utilice un período de preguntas y respuestas. Con frecuencia, este se tiene después de la conclusión, pero se pueden usar los mecanismos de preguntas y respuestas como forma de lograr resúmenes después de cada paso de explicación
- Pida ejemplos a los capacitandos para explicar o ejemplificar puntos particulares
- Haga que los capacitandos llenen un cuestionario antes de que comience la sesión. Las respuestas del cuestionario se pueden emplear para demostrar los puntos importantes de la conferencia

- Incorpore a la conferencia experimentos o demostraciones para establecer puntos. Los voluntarios entre los asistentes pueden tomar parte en aquellos
- Finalmente, utilice ejemplos en abundancia, ejemplos con los que se puedan identificar los asistentes. Este proceso de adoptar ejemplos como suyos propios incorpora algunos de los aspectos del aprendizaje activo

4.2.1.3. La conclusión

En la conclusión, usted debe revisar los conceptos principales de la conferencia. Las preguntas deben haber sido contestadas siempre durante los períodos de preguntas y respuestas.

- Motive a los capacitandos para que utilicen o al menos entiendan el contenido de la conferencia
- Prevea sesiones futuras y establezca la liga con ellas
- No deje en los capacitandos duda alguna de que usted ha terminado la conferencia

4.2.1.4. ¿Cuándo se debe utilizar una conferencia?

Cualquier técnica tiene ventajas y desventajas. Depende de usted maximizar las primeras y minimizar las últimas. En general, la conferencia es lo más útil cuando usted está presentando datos, información u opiniones de una manera organizada y cuando las actividades de los capacitandos no son esencial. Dos variables importantes y relacionadas entre sí son la motivación y la madurez de los capacitandos.

Cuando éstos son maduros y están motivados, con frecuencia aprenderán formación e ideas tan fácilmente en una conferencia como con cualquier otro formato. Sin embargo los capacitandos menos maduros tienden a aprender mejor con formatos más individualizados.

En conclusión, los problemas atribuidos a la técnica de la conferencia se relacionan con frecuencia con el conferenciante más que con la técnica de dar conferencias. Usted puede superar muchas de las desventajas de la conferencia haciendo que el material tenga significado y siendo sensible a las reacciones de los capacitandos.

4.2.1.5 Ventajas de una conferencia

- Bajo costo
- La mayoría de los adultos han sido enseñados con este método y están familiarizados con él

4.3. Material usado durante la conferencia

4.3.1. Uso de pizarrones y gráficas

El empleo de los apoyos visuales para lograr el aprendizaje multisensorial debe ser natural para un capacitador. De todos los apoyos disponibles, los pizarrones son sin duda el mejor y el más fácil de usar. Son simples en su manejo, permiten ir "edificando" las ideas durante una presentación y tener un impacto visual fuerte cuando se emplea de manera apropiada.

Desafortunadamente, estas mismas ventajas pueden llevar al mal empleo de estos apoyos. El pizarrón, cuando es utilizado por un capacitador como borrador para garabatear, en el que se anotan pensamientos tal como van surgiendo de la mente del capacitador, termina pareciendo una mezcla confusa (y posiblemente hace más daño que bien). Se debe planear la forma de utilización del pizarrón y presentarla cuidadosamente para utilizar todo su potencial como ayuda para el aprendizaje.

4.3.1.1. Pizarrones y trabajo de pizarrones

Existen tres tipos de pizarrones.

El pizarrón para gis o tiza: este tiene un acabado verde o negro mate. Su tamaño promedio es de 240 cm x 90 cm y se coloca normalmente de manera prominente en el área visual que todos los capacitandos pueden ver con comodidad.

El pizarrón blanco: se trata de una alternativa del pizarrón clásico. Tiene una superficie blanca lisa sobre la cual se puede escribir con marcadores especiales para este tipo de pizarrón. La ventaja principal de este tipo de pizarrón es la ausencia de polvo de gis o tiza, lo que lo convierte en particularmente apropiado para usarlo en salones que contienen equipo electrónico o en áreas en que alguien es alérgico a ese polvo. La desventaja principal del pizarrón blanco es la tendencia que tienen algunos de ellos a retener permanentemente una imagen de cualquier escrito que se deje por unas cuantas horas (esto es especialmente cierto en los de plástico).

El rotafolio: cierto número de hojas de papel en blanco (90 cm x 120 cm) se fijan a un tablero o atril de manera que el capacitador pueda escribir sobre él con marcadores de punta de fieltro. Su ventaja principal es que se puede transportar de salón a salón o incluso sacarlo de ellos. Su principal desventaja es que una vez que se ha usado una hoja, se debe doblar sobre el respaldo del tripié o del tablero, fuera de la vista de los capacitandos.

Se puede superar este obstáculo en cierta medida pegando las hojas usadas en las paredes del salón. Sin embargo, esto puede requerir tiempo, y existe normalmente sólo una limitada extensión en la pared frontal. Otro recurso es emplear varios rotafolios, lo que proporciona un área para escritura tan grande como la de los pizarrones de gis o blanco.

4.3.1.2. El plan de uso del pizarrón

Sí, se necesita todavía planear el trabajo de pizarrón. El buen empleo del pizarrón no ocurre porque sí; es el resultado de la planeación. Antes de todo, recuerde no emplear nunca el pizarrón como lo haría con su libreta de notas.

A medida que usted va conduciendo la sesión, lo que se muestra en el pizarrón debe crecer de una manera lógica que vaya al parejo con la sesión.

Una vez que usted ha decidido acerca del tema de la sesión y de sus puntos clave, visite el salón de capacitación para echarle un buen vistazo al pizarrón. Primero, ¿cuán grande es el pizarrón? ¿Se puede dividir el pizarrón en áreas? Normalmente, se puede dividir el pizarrón en tres o cuatro áreas. Luego, por ejemplo, se puede usar un área para mostrar cada paso de explicación de la sesión. Probablemente se necesitará 1 metro para cada área.

Después de haber revisado el pizarrón, usted puede planear la sesión completa. También puede hacer un esquema del pizarrón en papel. Este esquema se convierte en su plan de empleo del pizarrón. Por ejemplo, para una sesión sobre "Objetivos de capacitación" se puede usar un plan de pizarrón como éste:

Figura 21. **Ejemplo de pizarrón**

<i>Objetivos de capacitación</i>		
<i>1. Conducta</i>	<i>2. Normas</i>	<i>3. Condiciones</i>
<i>a. Verbo de acción</i>	<i>a. Que tan bien</i>	<i>a. Recursos</i>
<i>b. Abstracto vs concreto</i>	<i>- Tasa de errores</i>	<i>- Proporcionados</i>
<i>c. Ver-Hacer</i>	<i>- Tiempo</i>	<i>- Retenidos</i>
	<i>b. Tiempo invertido</i>	<i>b. ¿Redundante?</i>

Fuente: Smith, Barry J., *Uso de pizarrones y gráficas*, p. 306.

En este plan de empleo del pizarrón, el capacitador ha dividido el pizarrón en tres áreas y cada una esboza un paso de explicación. A medida que la sesión progresa, el capacitador escribe la información en el pizarrón. Ésta se despliega en forma natural de izquierda a derecha, con la información previa ante los capacitandos durante toda la sesión. Nótese también cómo el título de la sesión "Objetivos de capacitación" aparece en la parte superior de manera que también aparece ante los capacitandos durante toda la sesión.

El plan de empleo de pizarrón para un rotafolio sería un poco diferente debido a que el rotafolio tiene un área más pequeña. De hecho, se necesitarían tres planes de "pizarrón" para una sesión sobre "Objetivos de capacitación".

Estos tres planes se pueden dibujar en una hoja de papel o en tres hojas o trozos de papel, dependiendo de su preferencia. Nótese, sin embargo, que el capacitador tiene la opción de doblar las hojas sobre el respaldo del rotafolio, o bien desprenderlas y pegarles en las paredes si es que se van a mantener a la vista de los capacitandos. Nótese también que el título de la sesión "Objetivos de capacitación" no aparece. No hay espacio para él.

El plan de pizarrón, entonces, se convierte en la guía o copia de lo que usted escribirá en el pizarrón. Por supuesto, cuando se planea se debe considerar

- El tamaño del pizarrón
- Cómo se puede dividir de una manera eficaz el pizarrón
- La cantidad de información que usted desea poner en el pizarrón. Su plan de pizarrón asegura que la información cabrá en el pizarrón y que será presentada de una manera lógica y comprensible

4.3.1.3. Problemas con el pizarrón

Al planear el trabajo en el pizarrón, usted se enfrentará con dos problemas.

- Legibilidad vs. cantidad de información: cuanto más información exhiba usted en el pizarrón, más pequeñas tiene que hacer las letras. A la inversa, cuanto menos información exhiba, puede hacer mayores las letras. Como una regla sencilla, para que las letras sean legibles fácilmente a una distancia de 6 metros, se hacen las letras de 5 cm de alto y aumente el tamaño de las letras aproximadamente 13 mm de altura por cada 3 metros de distancia adicional
- Variedad de color: el color rompe la monotonía visual, pero hay que usarlo de manera prudente para diferenciar entre conceptos y para resaltar puntos particulares. Cuídese de la tendencia a emplear demasiado color. Una presentación apastelada de colores no realzará su presentación

4.3.1.4. Revisión del pizarrón

Algunas de las siguientes revisiones pueden parecer obvias, pero usted puede verse en situación muy embarazosa si se le olvidan. Repase estas verificaciones antes de comenzar la sesión.

- Tenga un borrador a la mano
- Asegúrese de tener suficiente cantidad de gises (tizas) o de plumones (y los colores que usted desea)

- Limpie el pizarrón (Nada distrae más que los viejos letreros)
- Si usted tiene problemas para escribir horizontalmente en un pizarrón, borre con líneas paralelas. Primero limpie todo el pizarrón. Luego borre de nuevo, corriendo el borrador por el pizarrón en forma paralela al piso en toda la longitud del pizarrón. Quedarán unas huellas finas de líneas paralelas que se pueden usar como una guía aproximada para escribir.
- Asegúrese de que su plan de empleo de pizarrón lo tiene cerca del pizarrón donde usted lo pueda ver

Lo que se debe hacer

- Escriba en forma legible. Puede ser que le convenga hacer letra de molde
- Escriba rápidamente. Use abreviaturas que los capacitandos puedan reconocer y ponga solamente las palabras clave en el pizarrón
- Déle tiempo a los capacitandos para copiar lo que usted ha puesto en el pizarrón. Como guía general:
 - Escriba en el pizarrón
 - Camine hacia un lado
 - Cuando usted vea que todos ya dejaron de escribir, explique su punto
 - Esta movilidad agrega variedad a su presentación

- Use señalamientos de los puntos. Vea de nuevo el ejemplo del plan de pizarrón de "Objetivos de capacitación". Números, letras o guiones son buenos señalamientos que reforzarán la importancia relativa de un punto y la sección a la que pertenece
- Use colores para diferenciar las secciones y los puntos, pero sin exagerar. Emplee color para resaltar el flujo lógico. Por ejemplo, en el plan de pizarrón de "Objetivos de capacitación", usted podría usar colores diferentes para cada sección
- Periódicamente, o en la conclusión de una sesión, camine hacia la parte de atrás del salón y verifique la legibilidad, visibilidad, claridad, distribución y color de su trabajo de pizarrón

Lo que no se debe hacer

- No le hable al pizarrón. Su voz sonará amortiguada a los capacitandos y usted perderá el contacto con ellos. Si descubre que ocasionalmente tiene que hablar hacia el pizarrón, hable directamente hacia éste; el pizarrón actuará como caja de resonancia, haciendo rebotar su voz hacia los capacitandos que están detrás de usted. Nótese sin embargo, que ésta es simplemente una técnica que mejora una situación. Con una adecuada planeación, se puede evitar por completo esta situación.
- No se quede enfrente del pizarrón después de escribir en él (por razones obvias)
- No use colores "invisibles". Algunos colores son muy difíciles de ver desde la parte de atrás del salón. Revise todos los colores antes de la

sesión y quite todos los colores "invisibles" de la vecindad del pizarrón para que no pueda usarlos inadvertidamente. Revise particularmente los gises azul y rojo oscuros en el pizarrón y el amarillo claro en pizarrón blanco

4.4. Aplicación de la técnica de la conferencia para exponer las implicaciones eléctricas en la red de distribución de la energía eléctrica de la generación distribuida renovable

En base a lo explicado sobre la técnica de la conferencia para la capacitación de personal, a continuación se explica el procedimiento realizado para la capacitación del personal de la empresa distribuidora:

4.4.1. Preparación de la conferencia para el personal de la empresa distribuidora

Gracias a que la empresa se dedica a la distribución de energía eléctrica, la orientación de los capacitandos hacia este tema no fue dificultad, teniendo en cuenta que todos saben lo que es un sistema de distribución eléctrica.

La mejor manera de motivar a los participantes en la capacitación es a través de la estimulación visual, por lo que, se recopilaron las imágenes del presente informe, de las diferentes fuentes de energía renovables así como centros de generación distribuida renovable.

Para interesar a los capacitandos y antes de comenzar el cuerpo principal de la capacitación, se explicó y se pidió a los participantes que llenarán el siguiente cuestionario

CUESTIONARIO SOBRE LAS IMPLICACIONES ELÉCTRICAS EN LA
CONEXIÓN DE LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA RENOVABLE A LAS
REDES DE DISTRIBUCIÓN

¿Sabe usted que es la generación distribuida?

Si No

¿Puede mencionar una o más fuentes de energía renovable?

¿Conoce usted algún centro donde se implemente la generación distribuida renovable?

Si No

¿Conoce usted las implicaciones eléctricas en la red de distribución de la energía eléctrica de la generación distribuida renovable?

Si No

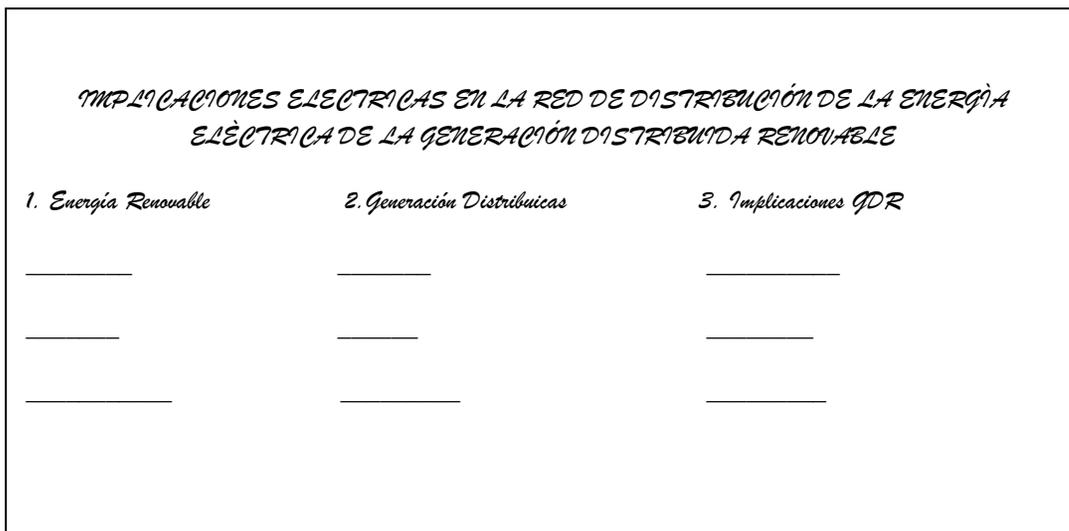
¡¡Gracias por su cooperación!!

4.4.2. Procedimiento de la capacitación

Para introducir a al tema a los capacitandos se les presentó la introducción de este mismo informe (página XVII).

Se usó un pizarrón blanco en el que se colocaron los principales temas a tocar durante la conferencia y anotando palabras claves de la información citada, la figura 21 muestra el pizarrón utilizado durante la conferencia

Figura 22. Ejemplo del pizarrón utilizado durante la conferencia



Fuente: elaboración propia.

Se explicaron las energías renovables citadas en el capítulo 2, con sus respectivas imágenes, las cuales fueron:

- Hidráulica
- Solar
- Eólica
- Biomasa
- Cogeneración
- Geotérmica

Explicado esto se procedió a resolver dudas sobre este tema, para luego pasar al tema de lo que es un sistema de generación distribuida renovable, tomando como base el apartado 2.4 de este informe.

Se mostraron imágenes de las redes las cuales fueron estudiadas de las fuentes renovables usadas en el informe, pidiéndoles a los capacitandos, reconocer de que clase de energía renovable se trató.

Se explico el tema principal de la capacitación (implicaciones eléctricas en la red de distribución de la energía eléctrica de la generación distribuida renovable), mostrando un resumen del procedimiento hecho para llegar a los resultados de los proyectos estudiados en el informe (Turinja Y Enasa)

Por último se citaron las primeras seis conclusiones de este informe para luego dar el último tiempo para resolver dudas, sobre los temas citados, terminado esto se agradeció a los capacitandos por su atención y su tiempo.

CONCLUSIONES

1. La instalación de nuevos generadores distribuidos renovables a la red de distribución eléctrica, cambiara el nivel de falla, con lo que el límite definido por el nivel de fallo anterior del diseño en la red puede ser sobrepasado.
2. Con la incorporación de la generación distribuida renovable al sistema de distribución eléctrica, los niveles de tensión en los nodos variaran dependiendo del aporte de potencia reactiva de dicho generador.
3. Las funciones del banco de transformadores para la conexión entre generador y sistema de distribución son: adecuar los niveles de tensión, evitar la inyección de corriente continua al sistema, bloquear las armónicas triples, controlar las de corrientes de cortocircuito.
4. Los niveles de tensión en los nodos del sistema mejoran con la introducción de generación distribuida renovable. Sin embargo, la mejora del nivel de tensión no es en todos los nodos por igual, esta mejora depende de la localización geográfica en la que esta conectado el Generador Distribuido Renovable y el sistema de distribución.
5. La cantidad de carga conectada al Generador Distribuido Renovable es importante, para determinar la nueva dirección de los flujos de potencia en el sistema de distribución.

6. La conexión de generación distribuida con recursos renovables como la hidráulica, solar, eólica, biomásica, por cogeneración y geotérmica, al sistema de distribución eléctrica otorgará al país una mayor independencia en la compra de los combustibles fósiles, facilitando con ello el suministro de energía económica a favor del consumidor final
7. El plan de contingencia propuesto presenta una herramienta de prevención, mitigación, control y respuesta ante posibles contingencias, haciendo más seguro el proceso de la generación distribuida renovable.
8. Capacitar al personal sobre las implicaciones eléctricas en la red de distribución de energía eléctrica de la generación distribuida renovable, mantiene a los empleados actualizados frente a los cambios científicos y tecnológicos de proyectos que se generen en el presente como en el futuro.

RECOMENDACIONES

1. Comunicar a la empresa distribuidora antes de realizar una maniobra en la conexión física de las instalaciones del GDR con el Sistema de Distribución, para que ésta coordine y supervise dicha operación.
2. Dar mantenimiento preventivo e inspeccionar con personal capacitado a los proyectos para minimizar posibles fallas en el futuro y que el costo en un mantenimiento correctivo sea el menor; la falla de un Generador Distribuido Renovable puede provocar pérdidas para el distribuidor como para el productor.
3. Medir constantemente el nivel de energía en el punto de conexión con el sistema de distribución, para verificar que este se encuentre en el nivel establecido con la distribuidora.
4. Para efectos de operación y mantenimiento, el diseño de las líneas aéreas deberá considerar que éstas sean accesibles, en cualquier época del año, al personal y equipo requerido.
5. El conductor utilizado como neutral en el banco de transformadores que sirve para la conexión del Generador Distribuido Renovable al sistema de distribución eléctrica, en el lado secundario, debe estar efectivamente conectado a tierra

6. Capacitar constantemente al equipo involucrado en el proceso de la generación distribuida renovable para que las implicaciones eléctricas no tengan un efecto negativo en el sistema de distribución eléctrico.

BIBLIOGRAFÍA

1. CENTELSA. *Cables y tecnología*. Mexico: Paramo, 2004. 16 p.
2. CHAPMAN, Stephen J. *Máquinas eléctricas*. 3 ed. México: McGraw-Hill, 2000. 768 p.
3. COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA. *Normas técnicas de diseño y operación de las instalaciones de distribución (NTDOID)*. Resolución CNEE-47-99¹. Guatemala: CNEE 1999. 54 p.
4. GLOVER, J. Duncan; MULUKUTLA, Sarma S. *Sistemas de potencia: análisis y diseño*. 3 ed. Mexico: Ciencias ingenierías. 647 p.
5. GRAINGER, John J; STEVENSON, William D. *Análisis de sistemas de potencia*. México: McGraw-Hill. 1996. 740 p.
6. IEEE. *Estándares de Interconexión de recursos distribuidos con sistemas eléctricos de potencia*. Norma P1547. 2003. 7 p.
7. METZ-NOBLAT, Benoit; DUMES, Frédéric; TOMASSET, Georges. *Cálculo de corrientes de cortocircuito*. España: *Schneider Electric*, 2000, Cuaderno técnico No. 158. 38 p.
8. MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS. *Energías renovables en Guatemala*. Guatemala: MEM 2005. 5 p.

9. RÍOS, Juan Bautista. *Líneas de transmisión de potencia: aspectos mecánicos y conductores*. Peru: Novaro, 2001. 252 p.
10. SMITH, Barry J.; DELAHAYE Brian L. *El ABC de la capacitación práctica*. Ling Altamirano, Federico (trad). México: McGraw-Hill, 1990. 437 p.
11. TREBOLLE TREBOLLE, David. “*La generación distribuida en España*”. Tesis de master, Universidad pontifica de Comillas. Enero 2006. 163 p.
12. ZEBALLOS, Raúl; VIGNOLO, Mario. *La generación distribuida en el mercado eléctrico uruguayo*. Uruguay: Planeta, 2000. 21 p.

ANEXOS

Proyecto Turinja

El recurso renovable del proyecto Turinja, esta dado por la confluencia de río Nahualate con Río Boujiyá, para este se construyo un dique de derivación con un canal hidráulico diseñado para manejar 24 mts³/seg, con una longitud del canal igual a 2500 mts. y 0,15 % de pendiente, estos datos son en función de la curva de duración de caudal, con este se estima generar 4,5 MW.

Confluencia de Río Nahualate, con Río Boujiyá para el proyecto Turinja



Proyecto Aqua

Este proyecto se encuentra en finca Ona, El Quetzal, San Marcos, pretende generar 0,6754 MW con voltaje de generación de 230 kV, se pretende conectar al a línea de media tensión El Quetzal conectada a la subestación Coatepeque.

Turbinas hidráulicas del proyecto Aqua Energia, S.A.



Proyecto el Prado

Este proyecto se encuentra en finca San Antonio Morazán, Genova, Quetzaltenango, pretende generar 1,5 MW con voltaje de generación de 480 kV, se pretende conectar al a línea de media tensión Colomba conectada a la subestación Coatepeque.

Tubería para agua del proyecto El Prado



Turbina hidráulica del proyecto El Prado



