



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

FUNCIONAMIENTO TÉCNICO Y EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LOS AUTOPRODUCTORES CON EXCEDENTE DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Milton Fransisco Hernández de la Cruz

Asesorado por el Ing. Juan Pablo Yoc de la Cruz

Guatemala, abril de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**FUNCIONAMIENTO TÉCNICO Y EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LOS
AUTOPRODUCTORES CON EXCEDENTE DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

MILTON FRANCISCO HERNÁNDEZ DE LA CRUZ
ASESORADO POR EL ING. JUAN PABLO YOC DE LA CRUZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, ABRIL DE 2014

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 | Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa |
| VOCAL IV | Br. Walter Rafael Véliz Muñoz |
| VOCAL V | Br. Sergio Alejandro Donis Soto |
| SECRETARIO | Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez |

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

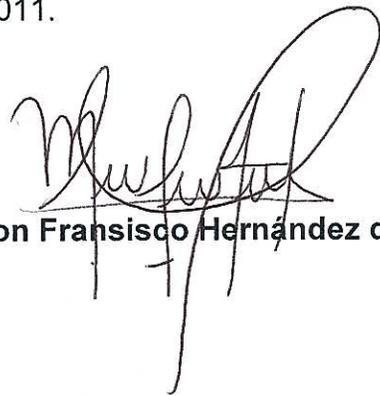
| | |
|------------|------------------------------------|
| DECANO | Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos |
| EXAMINADOR | Ing. Jorge Luis Pérez Rivera |
| EXAMINADOR | Ing. Armando Gálvez Castillo |
| EXAMINADOR | Ing. Julio Rolando Barrios Archila |
| SACRETARIO | Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez |

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 al título:

FUNCIONAMIENTO TÉCNICO Y EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LOS AUTOPRODUCTORES CON EXCEDENTE DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha octubre de 2011.



Milton Francisco Hernández de la Cruz

Guatemala, 15 de marzo de 2014

Ing. Romeo Neftalí López Orozco
Coordinador de Área Electrotecnia
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Señor Coordinador:

Por este medio le informo que he asesorado el trabajo de graduación titulado: FUNCIONAMIENTO TÉCNICO Y EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LOS AUTOPRODUCTORES CON EXCEDENTE DE ENERGIA ELÉCTRICA desarrollado por el estudiante Milton Fransisco Hernández de la Cruz, previo a optar el título de Ingeniero Electricista.

Después de haber revisado y corregido dicho trabajo, considero que llena los requisitos para su aprobación final

Sin otro particular, me suscribo de usted.


Ing. Juan Pablo Yoc de la Cruz
Colegiado # 7689

*Juan Pablo Yoc de la Cruz
Ingeniero Mecánico Electricista
Colegiado 7689*

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Ref. EIME 12. 2014
Guatemala, 3 de MARZO 2014.

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:
FUNCIONAMIENTO TÉCNICO Y EVALUACIÓN ECONÓMICA
DE LOS AUTOPRODUCTORES CON EXCEDENTE DE ENERGÍA
ELÉCTRICA, del estudiante Milton Fransisco Hernández de la
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. Romeo Neftalí López Orozco
Coordinador Área Electrotécnica



S/O

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

REF. EIME 12. 2014.

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; MILTON FRANCISCO HERNÁNDEZ DE LA CRUZ titulado: FUNCIONAMIENTO TÉCNICO Y EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LOS AUTOPRODUCTORES CON EXCEDENTE DE ENERGÍA ELÉCTRICA, procede a la autorización del mismo.


Ing. Guillermo Antonio Puente Romero



GUATEMALA, 20 DE MARZO 2014.



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: **FUNCIONAMIENTO TÉCNICO Y EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LOS AUTOPRODUCTORES CON EXCEDENTE DE ENERGÍA ELÉCTRICA**, presentado por el estudiante universitario: **Milton Fransisco Hernández de la Cruz**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano



Guatemala, abril de 2014

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por brindarme la dicha de la vida.
- Mi madre** Hilda de la Cruz, ya que gracias a su extraordinario y admirable esfuerzo pude salir adelante. Por su dedicación entrega y perseverancia al formarme como persona de bien, con muchos valores y aspiraciones.
- Mi novia** Jennifer Pérez, quien con mucho amor me brinda el soporte, inspiración y apoyo para seguir superándome en la vida y sea posible realizar mi trabajo de graduación.
- Mi hijo** Sebastián Hernández, por ser mi fuente de inspiración para salir adelante y cumplir mis metas establecidas.
- Mis tíos** Rene, Silvia, Zoila, Juan José Castro y Rudy Menéndez, por estar en los momentos cuando más los necesité y me brindaron el apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por darme la oportunidad de ser parte de tan prestigiosa casa de estudios, en la que me desarrollé y formé como persona.

Facultad de Ingeniería

Por brindarme los conocimientos y experiencias para realizar un buen desempeño en mi profesión.

Mi familia

Por todo lo bueno que me ha enseñado y por inculcarme amor y valores, en especial a mi abuela Zoila de la Cruz.

Mi asesor

Juan Pablo Yoc, por su tiempo, atención y aporte científico en el desarrollo del presente trabajo de graduación.

Mis amigos

Que me han brindado su apoyo, amistad, lealtad, afecto y sinceridad. Roberto y Viviana Guerra, Roberto Marroquín, Carlos Pocon, Delwing Aiquejay, Juan Gómez, Bryan Villela y amigos que han estado al lado mío.

| | | | |
|------|------------|--|----|
| | 1.2.3.2. | Inversor | 14 |
| 1.3. | | Transferencias automáticas y comparadores de voltaje | 16 |
| | 1.3.1. | Transferencia de energía eléctrica | 16 |
| | 1.3.1.1. | Principio de funcionamiento | 16 |
| | 1.3.1.2. | Transferencia de energía eléctrica manual..... | 17 |
| | 1.3.1.3. | Transferencia de energía eléctrica automática..... | 18 |
| | 1.3.2. | Comparadores de voltaje | 19 |
| | 1.3.2.1. | Contactador..... | 20 |
| | 1.3.2.1.1. | Partes del contactor | 21 |
| 1.4. | | Centros de transformación | 24 |
| | 1.4.1. | Definición de un transformador | 24 |
| | 1.4.2. | Principios de funcionamiento de un transformador..... | 24 |
| | 1.4.3. | Tipos de transformadores..... | 25 |
| | 1.4.3.1. | Transformador de distribución..... | 27 |
| | 1.4.3.2. | Transformador de instrumento | 28 |
| 1.5. | | Acometidas eléctricas normadas por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica de Guatemala..... | 30 |
| | 1.5.1. | Normas de acometidas de Empresa Eléctrica de Guatemala S. A. | 31 |
| | 1.5.1.1. | Descripción de acometida eléctrica para carga monofásica individual menor de 11 kW | 31 |
| | 1.5.1.2. | Descripción de acometida eléctrica para cargas monofásicas individuales de 12 a 48 kW..... | 36 |
| | 1.5.2. | Normas de acometidas de Energuate | 38 |

| | | |
|----------|---|----|
| 1.5.2.1. | Descripción de acometida eléctrica para carga monofásica individual menor de 15 kVA | 39 |
| 1.5.2.2. | Descripción de acometida eléctrica para cargas monofásicas individuales de 15 a 50 kVA..... | 41 |
| 2. | TIPOS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA RENOVABLE..... | 45 |
| 2.1. | Energía solar térmica..... | 46 |
| 2.1.1. | Sistema de captación de la energía solar | 48 |
| 2.1.1.1. | Energía solar térmica activa de baja temperatura..... | 50 |
| 2.1.1.2. | Energía solar térmica activa de media temperatura..... | 51 |
| 2.1.2. | Sistemas de captación..... | 52 |
| 2.1.2.1. | Sistema de captación lineal o puntual..... | 52 |
| 2.1.2.2. | Centrales con tecnología de torre | 53 |
| 2.2. | Energía solar fotovoltaica | 55 |
| 2.2.1. | Celdas fotovoltaicas..... | 56 |
| 2.2.2. | Paneles solares o fotovoltaicos | 61 |
| 2.2.3. | Estructura de soporte | 64 |
| 2.3. | Energía eólica..... | 67 |
| 2.3.1. | Perspectiva histórica..... | 67 |
| 2.3.2. | El viento como fuente de energía | 69 |
| 2.3.3. | Aplicaciones del viento | 70 |
| 2.3.4. | Ventajas..... | 70 |
| 2.3.5. | Inconvenientes..... | 71 |
| 2.3.6. | El aerogenerador | 71 |

| | | | |
|------|------------|--|----|
| | 2.3.6.1. | Componentes del aerogenerador..... | 72 |
| | 2.3.7. | Parques eólicos..... | 75 |
| | 2.3.8. | Impacto ambiental..... | 77 |
| 2.4. | | Energía hidráulica | 77 |
| | 2.4.1. | Central hidroeléctrica | 77 |
| | 2.4.1.1. | Funcionamiento básico de una central hidroeléctrica | 78 |
| | 2.4.1.2. | Aprovechamiento hidráulico | 79 |
| | 2.4.1.2.1. | Obtención de desnivel.. | 80 |
| | 2.4.1.3. | Clasificaciones de las centrales hidroeléctricas | 81 |
| | 2.4.1.3.1. | Según el salto de agua | 81 |
| | 2.4.1.3.2. | Según el correr del agua | 81 |
| | 2.4.1.4. | Partes de una central hidroeléctrica | 82 |
| | 2.4.1.4.1. | Toma o bocatoma | 82 |
| | 2.4.1.4.2. | Conducciones | 83 |
| | 2.4.1.4.3. | Cámara de carga | 83 |
| | 2.4.1.4.4. | Tubería forzada..... | 83 |
| | 2.4.1.4.5. | Válvula | 83 |
| | 2.4.1.4.6. | Turbina..... | 84 |
| | 2.4.1.4.7. | Generador..... | 86 |
| | 2.4.1.4.8. | Subestación elevadora | 86 |

| | | |
|----------|---|----|
| 3. | AUTOPRODUCTORES CON EXCEDENTE DE ENERGÍA ELÉCTRICA | 87 |
| 3.1. | Marco regulatorio concebido por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica de Guatemala..... | 88 |
| 3.1.1. | Generador Distribuido Renovable..... | 89 |
| 3.1.1.1. | Características técnicas y comerciales del usuario GDR | 89 |
| 3.1.1.2. | Derechos y obligaciones del usuario GDR..... | 90 |
| 3.1.2. | Autoprodutores con excedentes de energía | 91 |
| 3.1.2.1. | Artículo 35. Autorización para usuarios Autoprodutores con Excedentes de Energía | 92 |
| 3.1.2.2. | Artículo 36. Sistema de medición para usuarios Autoprodutores con Excedentes de Energía | 95 |
| 3.1.2.3. | Artículo 37. Lectura y crédito por energía inyectada al Sistema de Distribución por parte de usuarios Autoprodutores con Excedentes de Energía (“Net metering”) | 96 |
| 3.2. | Aspectos a verificar para la autorización del usuario Autoprodutor con excedente de energía eléctrica | 98 |
| 3.2.1. | Aspectos técnicos a tomar en cuenta en la autorización de un usuario Autoprodutor | 99 |

| | | |
|----------|--|-----|
| 3.3. | Normas y diseño de un Autoprodutor con excedente de energía eléctrica..... | 101 |
| 3.3.1. | Norma IEEE 1547 | 101 |
| 3.3.2. | Norma IEEE C62.41.2..... | 104 |
| 3.3.3. | Diseño eléctrico de un usuario Autoprodutor con excedente de energía | 105 |
| 3.3.3.1. | Sistema de generación de energía eléctrica del usuario Autoprodutor ... | 107 |
| 3.3.3.2. | Conversión de energía eléctrica..... | 111 |
| 3.3.3.3. | Protección al sistema de generación y a la red de distribución de energía eléctrica..... | 112 |
| 3.4. | Tipo de medición a utilizar en usuarios Autoprodutores | 115 |
| 3.4.1. | Medidores electromecánicos..... | 115 |
| 3.4.1.1. | Medidor electromecánico unidireccional | 118 |
| 3.4.1.2. | Medidor electromecánico bidireccional | 119 |
| 3.4.2. | Medidores electrónicos..... | 119 |
| 3.4.3. | Medidores monofásicos..... | 121 |
| 3.4.4. | Medidores trifásicos | 122 |
| 4. | EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL USUARIO AUTOPRODUCTOR CON EXCEDENTE DE ENERGÍA ELÉCTRICA | 125 |
| 4.1. | Evaluación económica del equipo que se utiliza para generar energía eléctrica renovable, equipo de conversión de energía y protección..... | 125 |

| | | |
|-----------------------|--|-----|
| 4.2. | Estudio económico para la rentabilidad del proyecto del usuario Autoprodutor, utilizando los métodos de Valor Presente Neto y la Tasa Interna de Retorno | 128 |
| 4.3. | Evaluación económica comparativa del usuario residencial común con un usuario Autoprodutor de energía eléctrica residencial | 132 |
| CONCLUSIONES | | 137 |
| RECOMENDACIONES | | 139 |
| BIBLIOGRAFÍA | | 141 |
| ANEXOS | | 143 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

| | | |
|-----|--|----|
| 1. | Alambre..... | 5 |
| 2. | Cable..... | 5 |
| 3. | Mono conductor | 6 |
| 4. | Multiconductor..... | 6 |
| 5. | Partes del conductor | 7 |
| 6. | Inversor de corriente directa a corriente alterna..... | 9 |
| 7. | Diagrama de inversor de corriente directa a corriente alterna..... | 10 |
| 8. | Microinversor Enphase modelo M215..... | 13 |
| 9. | Instalación de un microinversor Enphase | 14 |
| 10. | Inversor Sunny Boy..... | 15 |
| 11. | Instalación del inversor Sunny Boy | 16 |
| 12. | Transferencia de energía eléctrica..... | 17 |
| 13. | Transferencia de energía eléctrica manual | 18 |
| 14. | Transferencia de energía eléctrica automática | 19 |
| 15. | Contactador..... | 20 |
| 16. | Contactos principales y contactos auxiliares..... | 23 |
| 17. | Partes de un contactor | 23 |
| 18. | Diagrama de un transformador | 25 |
| 19. | Construcción de transformador tipo núcleo..... | 26 |
| 20. | Construcción de transformador tipo acorazado..... | 26 |
| 21. | Transformador tipo seco | 27 |
| 22. | Corte de un transformador de distribución autoprotegido | 28 |
| 23. | Transformador de corriente de baja tensión..... | 29 |

| | | |
|-----|--|----|
| 24. | Transformador de corriente de media tensión | 30 |
| 25. | Transformador de potencial de media tensión..... | 30 |
| 26. | Detalle de distancia de acometida eléctrica..... | 33 |
| 27. | Detalle de puesta a tierra de la acometida eléctrica | 34 |
| 28. | Detalle de acometida eléctrica residencial..... | 35 |
| 29. | Detalle de caja tipo IV NEMA 3R | 37 |
| 30. | Detalle de acometida eléctrica residencial..... | 38 |
| 31. | Detalle de acometida eléctrica residencial..... | 41 |
| 32. | Tipos de concentradores | 53 |
| 33. | Esquema del funcionamiento de una central de torre..... | 54 |
| 34. | Central de torre PS10, en la plataforma Solúcar, en Sevilla | 55 |
| 35. | Comparación de una celda fotovoltaica y un diodo | 57 |
| 36. | Celda fotovoltaica | 60 |
| 37. | Esquema de conexión de paneles fotovoltaicos | 62 |
| 38. | Panel fotovoltaico | 63 |
| 39. | Estructura para módulos fotovoltaicos diseñada para terraza plana o patio | 65 |
| 40. | Estructura de soporte para módulos fotovoltaicos diseñado para tejados | 66 |
| 41. | Aerogenerador de 12 kW creado a finales del siglo XIX..... | 68 |
| 42. | Aerogeneradores modernos | 69 |
| 43. | Componentes de un aerogenerador | 74 |
| 44. | Principio de funcionamiento de un generador eólico | 76 |
| 45. | Esquema de un parque eólico | 76 |
| 46. | Central hidroeléctrica..... | 78 |
| 47. | Central hidroeléctrica Chixoy en Guatemala..... | 79 |
| 48. | Turbina Pelton | 84 |
| 49. | Turbina Francis..... | 85 |
| 50. | Turbina Kaplan | 85 |

| | | |
|-----|--|-----|
| 51. | Tolerancias para la regulación de tensión..... | 93 |
| 52. | Tiempo de desconexión del Autoproductor cuando el voltaje se encuentra fuera de la tolerancia ($\pm 10\%$) | 102 |
| 53. | Tiempo de desconexión del Autoproductor en frecuencia fuera de tolerancia ($\pm 3\%$) | 103 |
| 54. | Porcentaje de armónicas permitido a un sistema de generación de energía renovable | 103 |
| 55. | Parámetros de conexión de un Autoproductor | 104 |
| 56. | Categorías de una instalación de baja tensión según IEEE C62.41.2..... | 105 |
| 57. | Conexión eléctrica de un usuario Autoproductor con excedente de energía utilizando paneles fotovoltaicos..... | 106 |
| 58. | Conexión eléctrica de un usuario Autoproductor con excedente de energía utilizando una turbina eólica..... | 108 |
| 59. | Conexión eléctrica de un usuario Autoproductor con excedente de energía utilizando una turbina eólica y paneles fotovoltaicos..... | 109 |
| 60. | Curva de carga de un usuario residencial típico | 110 |
| 61. | Curva de generación de potencia de un usuario Autoproductor elaborado a base de paneles fotovoltaicos | 111 |
| 62. | Partes de un medidor de energía electromecánico..... | 117 |
| 63. | Detalle interno del medidor de energía electromecánico | 118 |
| 64. | Medidor de energía electrónico..... | 120 |
| 65. | Medidor de energía eléctrica monofásico | 121 |
| 66. | Medidor de energía eléctrica trifásico | 122 |
| 67. | Usuario Autoproductor de energía eléctrica con microinversor..... | 123 |
| 68. | Usuario Autoproductor de energía eléctrica con inversor | 123 |
| 69. | Simulación de factura de energía eléctrica residencial del ejemplo uno | 128 |

| | | |
|-----|---|-----|
| 70. | Simulación de factura de energía eléctrica del comercio del ejemplo dos | 131 |
|-----|---|-----|

TABLAS

| | | |
|-------|---|-----|
| I. | Conductividad relativa de distintos materiales | 2 |
| II. | Conductividad relativa de distintos materiales | 36 |
| III. | Altura (h) para tubo de bajada de acometida | 40 |
| IV. | Protección a instalar | 43 |
| V. | Altura (h) para tubo de bajada de acometida | 43 |
| VI. | Niveles de tensión del sistema de distribución y del Autoproducer | 94 |
| VII. | Diferencia del nivel de tensión | 94 |
| VIII. | Datos del Autoproducer utilizando inversores | 114 |
| IX. | Datos del Autoproducer utilizando microinversores | 115 |
| X. | Costo económico para la instalación del sistema de generación de energía renovable residencial del ejemplo uno | 126 |
| XI. | Costo económico para la instalación del sistema de generación de energía renovable del comercio del ejemplo dos | 127 |
| XII. | Costo económico del servicio de energía eléctrica residencial en cuatro años | 133 |
| XIII. | Costo económico del servicio de energía eléctrica residencial en doce años | 134 |
| XIV. | Costo económico del servicio de energía eléctrica de un usuario Autoproducer en cuatro años | 135 |
| XV. | Costo económico del servicio de energía eléctrica residencial en doce años | 136 |

LISTA DE SÍMBOLOS

| Símbolo | Significado |
|----------------------|----------------------------------|
| A | Amperios |
| I | Corriente |
| AC | Corriente alterna |
| DC | Corriente directa |
| I_p | Corriente primaria |
| I_s | Corriente secundaria |
| GDR | Generador distribuidor renovable |
| kW | Kilovatio |
| kWh | Kilovatio hora |
| kV | Kilovoltio |
| M | Metros |
| % | Porcentaje |
| P | Potencia |
| Q | Quetzales |
| R | Resistencia eléctrica |
| V | Voltaje |
| V_p | Voltaje primario |
| V_s | Voltaje secundario |

GLOSARIO

| | |
|-----------------------------|--|
| Acometida | Conjunto de componentes eléctricos utilizados para enlazar la red de distribución con la instalación eléctrica interna de la residencia. |
| Amperio | Es la unidad de intensidad de corriente eléctrica, forma parte de las unidades básicas en el Sistema Internacional de Unidades. |
| Autoproduccion | Es la persona individual o jurídica poseedora de una central de generación de energía eléctrica renovable, cuya producción se destina exclusivamente para el propio consumo. |
| Calibre de conductor | Es una referencia de clasificación del conductor de energía eléctrica según el diámetro, cuanto más alto es el número del calibre más delgado es el conductor. |
| Comisión | Es la Comisión Nacional de Energía Eléctrica de Guatemala, según establece la Ley General de Electricidad. |
| Distribuidor | Es la persona individual o jurídica, poseedora de instalaciones eléctricas destinadas a distribuir comercialmente energía eléctrica. |

| | |
|----------------------------|--|
| GDR | Es la persona, individual o jurídica poseedora de una central de generación de energía eléctrica que utiliza recursos renovables para el funcionamiento, este generador si puede comercializar la energía generada. |
| Mercado mayorista | Es un sistema en el que intervienen generadores, comercializadores, importadores, transportistas, distribuidores, exportadores y grandes usuarios gestionando las transacciones del energía eléctrica en el sistema nacional interconectado. |
| Monofásico | Servicio de energía eléctrica que utiliza una fase para el funcionamiento. |
| NTSD | Normas Técnicas del Servicio de Distribución. |
| Panel solar | Modulo diseñado para convertir la radiación solar en energía eléctrica. |
| Radiación solar | Propagación de energía en forma de ondas electromagnéticas provenientes del sol. |
| Red de baja tensión | Instalación eléctrica que puede tener un valor de voltaje de 120/240, 120/208 o 240/480 voltios y acopla el secundario de los transformadores de distribución con los usuarios residenciales o comerciales finales. |

| | |
|------------------------------|--|
| Red de media tensión | Instalación eléctrica que enlaza las subestaciones con los transformadores de distribución, poseen un nivel de voltaje 13.8 kV. |
| Subestación eléctrica | Es una instalación de equipo eléctrico encargada de establecer niveles de tensión para suministrar la energía eléctrica. |
| Transformador | Dispositivo eléctrico que permite aumentar o disminuir la tensión en un circuito eléctrico es utilizado en la distribución de energía eléctrica. |
| Trifásico | Servicio de energía eléctrica que utiliza tres fases para el funcionamiento. |
| Usuario | Es la persona individual o jurídica que tiene un bien inmueble y posee el servicio de energía eléctrica. |
| Voltio | Se define como la diferencia de potencial a lo largo de un conductor cuando una corriente de un amperio utiliza un vatio de potencia. |
| Watt o vatio | Unidad de potencia del Sistema Internacional de Unidades. |

RESUMEN

El presente trabajo de graduación muestra la importancia del funcionamiento del usuario Autoprodutor con excedente de energía eléctrica que surge por la necesidad de cambiar las formas de generación de energía, actualmente la mayoría de la generación se da por medio de combustibles fósiles, esto hace que sea nocivo al medio ambiente y que el costo económico de la energía sea elevado. El usuario Autoprodutor genera energía eléctrica renovable para el propio consumo.

En el capítulo I se presentan los materiales eléctricos a utilizar en la construcción del usuario Autoprodutor que deben cumplir con parámetros mínimos de construcción y de normas internacionales.

En el capítulo II se muestran las diferentes formas de generar energía eléctrica renovable, para un usuario Autoprodutor la energía fotovoltaica a base de paneles solares es la más utilizada y en algunos casos la energía eólica, térmica e hidráulica.

En el capítulo III se expone el marco regulatorio emitido por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica que debe cumplir el usuario Autoprodutor. Se explica que el diseño eléctrico del Autoprodutor se divide en cuatro secciones importantes: generación de energía, conversión de energía, protecciones al sistema de generación renovable y a la red de distribución y la medición de energía.

En el capítulo IV se realizan evaluaciones económicas que indican la rentabilidad de la construcción de un usuario Autoproducer y el tiempo de recuperación de la inversión. Los sistemas de generación renovable en residencias o comercios son muy recomendables ya que logran reducir el costo de la energía eléctrica y ayuda a reducir la contaminación al medio ambiente.

OBJETIVOS

General

Dar a conocer el funcionamiento técnico y evaluación económica del usuario Autoprodutor con excedente de energía eléctrica que se instala en una residencia o comercio.

Específicos

1. Mostrar el funcionamiento de equipo eléctrico utilizado para la construcción de un usuario Autoprodutor con excedente de energía eléctrica.
2. Exponer los tipos más utilizados de generación de energía eléctrica renovable para un usuario Autoprodutor.
3. Describir el funcionamiento de un usuario Autoprodutor con excedente de energía eléctrica que cumpla con las especificaciones para la regulación.
4. Factibilidad económica de un proyecto para un usuario Autoprodutor que se ajusta a las necesidades particulares del usuario.

INTRODUCCIÓN

El mayor costo en el suministro del servicio de energía eléctrica en las residencias, comercios e industrias se debe a los tipos de combustibles que se utilizan para generar la energía eléctrica que en la mayoría es a base de combustibles fósiles, este tipo de combustible provoca una alta contaminación por los gases de efecto invernadero y en esta época es un producto escaso y de alto costo.

Por lo que se hace necesario el desarrollo y construcción de nuevas tecnologías para generar energía eléctrica renovable, los tipos más comunes de generación de energía renovable son: fotovoltaica, térmica, hidráulica y eólica. En el mundo una de las fuentes más aprovechables es la energía solar la cual se puede convertir en energía eléctrica por medio de paneles solares. Los usuarios Autoprodutores utilizan fuentes de energía renovable para el funcionamiento.

El equipo eléctrico que utiliza un usuario Autoprodutor para el funcionamiento debe de cumplir con normas de calidad, se emplea equipo para conversión de energía eléctrica y protección.

El presente trabajo de graduación tiene la finalidad de dar a conocer el funcionamiento de un usuario Autoprodutor con excedente de energía eléctrica, el cual cumpla con el marco regulatorio indicado por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica de Guatemala.

Los usuarios Autoprodutores deben de satisfacer aspectos técnicos para que sean autorizados y funcionen correctamente, cumpliendo normas internacionales que indican el funcionamiento del Autoprodutor al conectarse al sistema de distribución de energía eléctrica.

Se realizará una evaluación económica para verificar la rentabilidad de este tipo de proyectos instalados en casas, comercios e industrias y observar los beneficios económicos en la factura por el servicio de energía eléctrica.

1. GENERALIDADES

En la actualidad existen usuarios del servicio de energía eléctrica residencial o comercial que están generando energía renovable para el consumo. Este tipo de usuario se le denomina Autoprodutores con excedente de energía eléctrica. En los últimos años ha existido un aumento de usuarios Autoprodutores, ya que brindan una energía que no produce contaminación al medio ambiente y permite reducir el costo económico de la compra de energía eléctrica residencial.

Este primer capítulo tratará sobre el equipo eléctrico utilizado para elaborar un sistema de generación de energía renovable y se especifica cada uno de los componentes a utilizar.

1.1. Cables eléctricos de baja y media tensión

Los cables eléctricos de baja tensión se utilizan para realizar las conexiones entre los equipos eléctricos y los de media tensión se utilizan en las líneas de distribución de energía eléctrica.

1.1.1. Conductores eléctricos

Un conductor eléctrico es un material que brinda poca resistencia al flujo de corriente, por esta razón es un excelente transmisor de electricidad. Puede ser elaborado por un hilo, el cual se le denomina alambre o formado por varios hilos entorchados entre sí, a este tipo de conductor se le denomina cable.

Los materiales más utilizados en la fabricación de conductores eléctricos son el cobre y el aluminio, ambos materiales tienen una excelente conductividad eléctrica. El cobre es el elemento primordial en la elaboración de conductores gracias a las considerables ventajas eléctricas. Tomar la decisión del conductor que se utilizará dependerá del uso específico que se le quiera dar, de las características eléctricas deseadas y del costo económico.

La característica más importante de los conductores es la conductividad eléctrica, los materiales como la plata y el cobre son de los que mejor conductividad poseen y el aluminio posee el 61 % del nivel de conductividad del cobre y por tal motivo es el segundo material más utilizado para la elaboración de conductores eléctricos. La relación de conductividad de los materiales tomando al cobre como estándar de comparación se observa en la tabla I.

Tabla I. **Conductividad relativa de distintos materiales**

| Metal | Conductividad relativa (%) |
|--------------|-----------------------------------|
| Plata | 105,00 |
| Cobre | 100,00 |
| Oro | 70,50 |
| Aluminio | 61,00 |
| Tungsteno | 31,20 |
| Níquel | 22,10 |
| Hierro | 14,00 |
| Constantan | 3,52 |
| Nicromo | 1,73 |
| Calorita | 1,44 |

Fuente: BOYLESTAD, Robert. Introducción al Análisis de circuitos. p. 47.

1.1.1.1. Parámetros característicos

Los parámetros característicos definen a los conductores eléctricos y los más importantes son la resistividad, resistencia y partes del conductor.

1.1.1.1.1. Resistividad de un conductor

La resistividad es una característica que posee cada material, de oponerse al paso de la corriente eléctrica, proporciona un parámetro de conducción de corriente de un determinado material.

Sí el material posee un valor alto de resistividad indica que no es un buen conductor, por lo contrario, si tiene un valor bajo de resistividad el material es un buen conductor. La dimensional de la resistividad es el ohmio metro ($\Omega \cdot m$). La resistividad es inversamente proporcional a la densidad de carga y a la movilidad, como se puede observar en la siguiente ecuación:

$$\rho = 1/(nq\mu) \quad \text{(Ecuación 1,1)}$$

Donde:

ρ = resistividad eléctrica

n = densidad de carga

q = carga del electrón

μ = movilidad, capacidad de moverse que tienen los portadores de carga

1.1.1.1.2. Resistencia del conductor

Se le denomina resistencia eléctrica a la oposición que encuentra la corriente eléctrica en un determinado conductor. La resistencia es directamente proporcional a la longitud e inversamente proporcional a la sección transversal. La dimensional de la resistencia eléctrica es el ohmio (Ω).

La ecuación de la resistencia es:

$$R = \rho \ l/S \quad \text{(Ecuación 1,2)}$$

Donde:

ρ = resistividad eléctrica

R = resistencia del material en ohms

S = sección transversal en metros cuadrados

l = longitud en metros

1.1.1.1.3. Partes de los conductores eléctricos

Los cables o conductores eléctricos se componen de tres segmentos, el alma o elemento conductor, el aislamiento y las cubiertas protectoras. A continuación se detallan cada una de ellas:

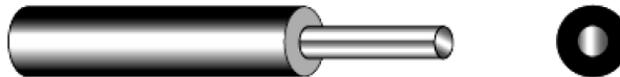
➤ El alma o elemento conductor

Es la parte que sirve de camino para que fluya la corriente eléctrica y es fabricada de diferentes materiales, siendo los más comunes el cobre y el aluminio. De la forma como está constituida el alma del conductor depende la clasificación de los conductores eléctricos.

- Según la constitución.

Alambre: es un conductor eléctrico el cual está constituido por un alma elaborada de un solo hilo. Se utiliza como conductor desnudo o aislado, en instalaciones eléctricas de baja tensión a la intemperie, en ductos o directamente sobre aisladores.

Figura 1. **Alambre**



Fuente: ARAYA DÍAZ, Jorge. Conductores eléctricos. p. 3.

Cable: es un conductor eléctrico el cual está constituido por un alma elaborada de una serie de hilos conductores, esta característica hace al conductor con mucha flexibilidad.

Figura 2. **Cable**

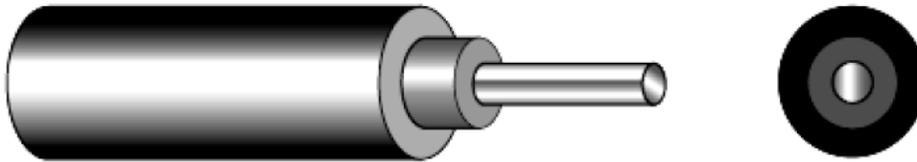


Fuente: ARAYA DÍAZ, Jorge. Conductores eléctricos. p. 3.

- Según número de conductores.

Mono conductor: es un conductor eléctrico el cual está constituido por una sola alma conductora, con aislación y con o sin cubierta protectora.

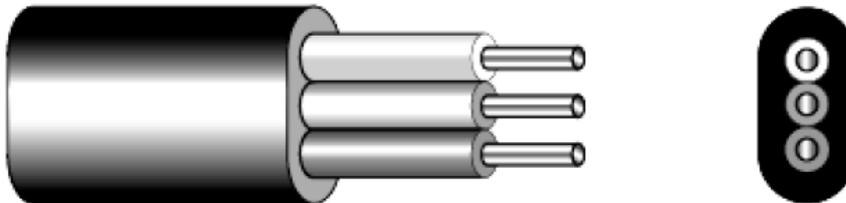
Figura 3. **Mono conductor**



Fuente: ARAYA DÍAZ, Jorge. Conductores eléctricos. p. 3.

Multiconductor: es un conductor eléctrico el cual está constituido por dos o más almas conductoras aisladas entre sí, envuelta cada una por la respectiva capa de aislación y con una o más cubiertas protectoras.

Figura 4. **Multiconductor**



Fuente: ARAYA DÍAZ, Jorge. Conductores eléctricos. p. 3.

➤ **Aislante**

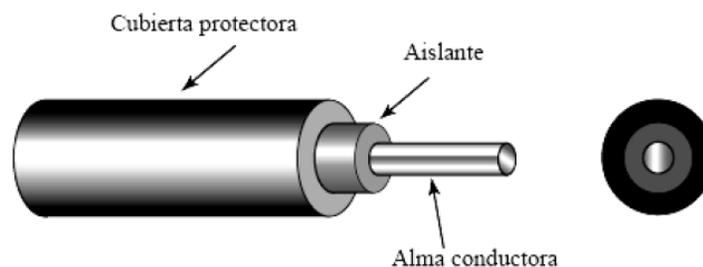
El aislante de un conductor eléctrico está elaborado de un material con una escasa capacidad de conducción de energía eléctrica, debido a que los electrones de los átomos están fuertemente unidos a los núcleos, oponiéndose al paso de la corriente.

El objetivo del aislante es evitar que la corriente eléctrica entre en contacto con las personas, objetos o entre los mismos conductores. Entre los materiales más comunes para la elaboración de los aislantes están el PVC, caucho y el nilón.

➤ **Cubierta protectora**

El objetivo fundamental de la cubierta protectora es resguardar el aislamiento y el alma del conductor eléctrico contra daños mecánicos, tales como raspaduras o golpes.

Figura 5. **Partes del conductor**



Fuente: ARAYA DÍAZ, Jorge. Conductores eléctricos. p. 4.

1.1.2. **Cables de baja tensión**

La baja tensión es considerada en el rango de 0 a 1 000 voltios y para este nivel de tensión se utilizan cables generalmente elaborados de cobre, debido a la excelente conductividad de este material o de aluminio que aunque posee menor conductividad es más económico.

Este tipo de conductor se utiliza para realizar las instalaciones eléctricas residenciales, son elaboradas de distintos calibres y de diferentes tipos de aislantes. La ampacidad de los conductores de baja tensión se pueden observar en el anexo A y las características de los conductores en el anexo B.

1.1.3. Cables de media tensión

En líneas de distribución de energía eléctrica en media tensión se utiliza el conductor formado de aluminio de alta pureza y temple duro, colocados en capas concéntricas sobre un núcleo de alambre o cable de acero recubierto de aluminio soldado, denominado aluminum conductor steel-reinforced (ACSR).

Este tipo de cable se utiliza para interconectar las subestaciones eléctricas con los bancos de transformación y así poder transportar la energía eléctrica hasta el usuario residencial o comercial. Las características de los principales conductores utilizados para líneas de media tensión se muestran en el anexo C.

1.2. Inversores de corriente directa a corriente alterna

El inversor es una parte de suma importancia en una instalación de generación de energía renovable que utiliza paneles fotovoltaicos, ya que es el dispositivo encargado de convertir la energía eléctrica de corriente directa a corriente alterna.

Figura 6. **Inversor de corriente directa a corriente alterna**

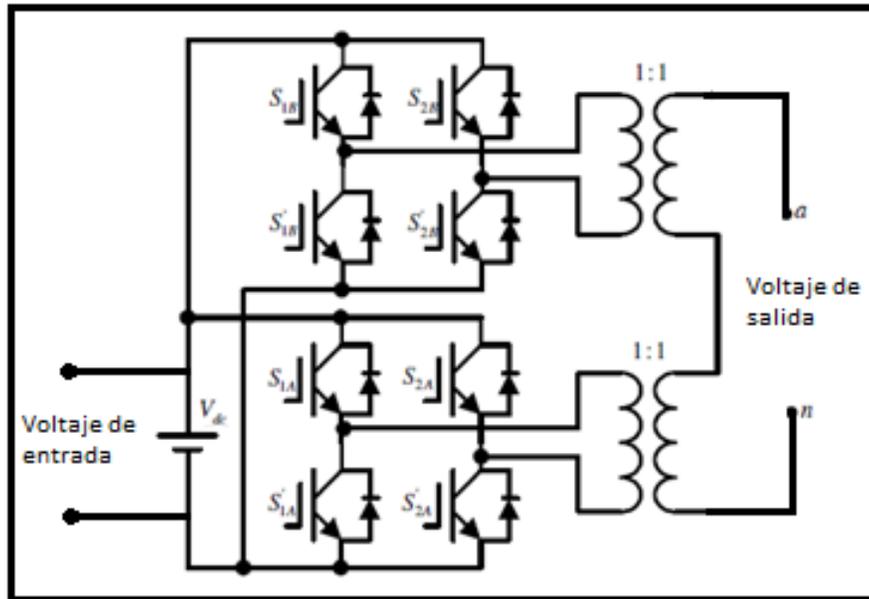


Fuente: elaboración propia, con programa de Microsoft Paint.

1.2.1. **Principio de funcionamiento**

El inversor es un dispositivo que a la entrada es alimentado por una corriente continua, la cual puede provenir por ejemplo de una batería o de un panel fotovoltaico, el diseño debe de permitir un amplio rango de tensión de entrada para facilitar la conexión de baterías o de paneles fotovoltaicos, teniendo en cuenta posibles ampliaciones futuras.

Figura 7. Diagrama de inversor de corriente directa a corriente alterna



Fuente: BRETÓN, Alberto. Diseño y construcción de un inversor trifásico multinivel de cuatro etapas para compensación de armónica y de reactivos. p. 17.

1.2.2. Aplicaciones de los inversores

El inversor convierte la corriente directa de la entrada a una corriente alterna a la salida, la cual puede ser utilizada para alimentar de energía eléctrica a un conjunto de luminarias de emergencia, aparatos eléctricos o a cualquier tipo de consumo o carga que utilice corriente alterna.

El inversor que sea utilizado en una instalación de generación de energía renovable basado en paneles solares debe de cumplir con las siguientes especificaciones:

- La capacidad de potencia del inversor a utilizar debe de estar en función de la cantidad de paneles solares instalados.

- Son características básicas de los inversores:
 - Seguimiento automático del punto de máxima potencia suministrado por el generador renovable.
 - No funcionará cuando la red eléctrica esté fuera de servicio, debido a que la red de distribución no puede tener generadores de energía en líneas eléctricas, cuando se encuentre en mantenimiento por la seguridad del personal.
- Los inversores deben cumplir normas internacionales tales como: IEEE 1547, IEEE 929, IEEE C37.90.1 y IEEE C62.41.2.
- Cada inversor dispondrá de las señalizaciones necesarias para la correcta operación, e incorporará los controles automáticos imprescindibles que aseguren la adecuada supervisión y manejo.
- El factor de potencia deberá ser superior a 0,90.
- Al tener un excedente de energía eléctrica el inversor debe tener la capacidad de inyectar energía en la red.

1.2.3. Tipos y modelos de inversores

Hay una amplia gama de inversores que ofrece el mercado eléctrico, que varían según las necesidades del usuario, a continuación se mencionarán dos tipos de inversores.

1.2.3.1. Microinversor

Los microinversores son unidades pequeñas que se instalan individualmente en los paneles solares y por el diseño tienen una pequeña capacidad de potencia. El microinversor tiene la capacidad de sensar si la red de energía eléctrica está energizada o desenergizada. Cuando la red está desenergizada el microinversor automáticamente se desconecta.

Una de las ventajas del microinversor es que se pueden instalar varios paneles fotovoltaicos y varios microinversores en configuración serie, con el fin de generar una gran cantidad de kilowatts de potencia.

Los microinversores más utilizados son los fabricados por la empresa Enphase Energy que actualmente comercializan dos modelos el M250 y M215, es una empresa americana que cumple con las especificaciones antes mencionadas. Este equipo es denominado microinversor ya que posee un tamaño de 17,3 cm x 16,4 cm x 2,5 cm (ancho, altura y profundidad), tiene un peso de 3,5 libras y se instala por debajo de los paneles solares.

Figura 8. **Microinversor Enphase modelo M215**



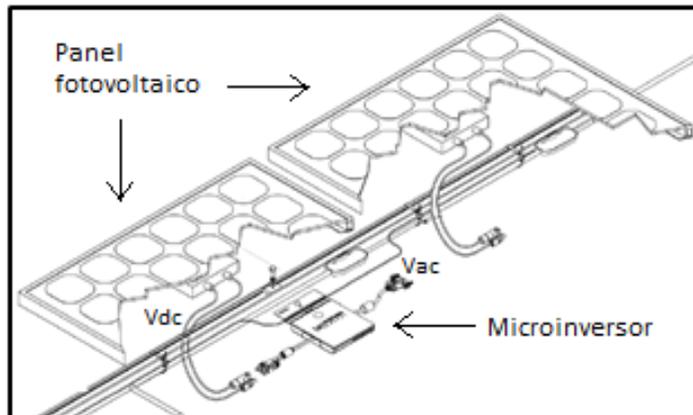
Fuente: Enphase Energy. www.enphaseenergy.com. Consulta: mayo de 2013.

El microinversor posee una eficiencia del 96 % trabajando a una temperatura mínima de $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una máxima de $60\text{ }^{\circ}\text{C}$. La entrada del microinversor tiene un rango de operación de 16 a 36 voltios de corriente directa, aceptando una potencia de entrada de 190 a 270 watts.

A la salida el microinversor tiene una potencia de 215 W, estando disponible con parámetros de 208 o 240 voltios y posee una corriente nominal de 1 amperio de corriente alterna. El factor de potencia es de 0,95 y trabaja a una frecuencia de 60 Hz.

El microinversor al ser de un peso liviano y de estructura pequeña es posible instalarlo debajo del panel fotovoltaico como se muestra en la figura 9. Se pueden llegar a instalar uno o dos paneles fotovoltaicos por microinversor, eso depende de la capacidad del mismo.

Figura 9. **Instalación de un microinversor Enphase**



Fuente: Enphase Energy. www.enphaseenergy.com. Consulta: mayo de 2013.

1.2.3.2. Inversor

Los inversores son unidades que tienen una capacidad grande de potencia, por tal motivo es alimentado por una cantidad considerable de paneles solares.

Los inversores más utilizados son los fabricados por la empresa SMA America Incorporated, actualmente comercializan cuatro modelos el Sunny Boy 5 000 US, 6 000 US, 7 000 US y el 8 000 US, es una empresa americana que cumple con las especificaciones antes mencionadas.

Las dimensiones del inversor son 46,8 cm x 61,3 cm x 24,2 cm (ancho, altura y profundidad) y tiene un peso de 147 libras. La temperatura en la cual el inversor trabaja eficientemente es de una mínima de -25 °C y una máxima de 45 °C.

El inversor tiene la capacidad de sensor si la red de energía eléctrica esta energizada o desenergizada. Cuando la red está desenergizada el inversor automáticamente se desconecta. El inversor cumple con las normas IEEE 1547, IEEE 929, IEEE C37.90.1 y IEEE C62.41.2.

La entrada del inversor acepta un voltaje máximo de 600 voltios de corriente directa, admitiendo una potencia máxima de entrada de 6 400 watts. El inversor a la salida tiene una potencia de 6 kW de corriente alterna, estando disponible con parámetros de 208, 240 y 277 voltios y posee una corriente nominal de 24 amperios de corriente alterna. El factor de potencia es de 0,95 y trabaja a una frecuencia de 60 Hz.

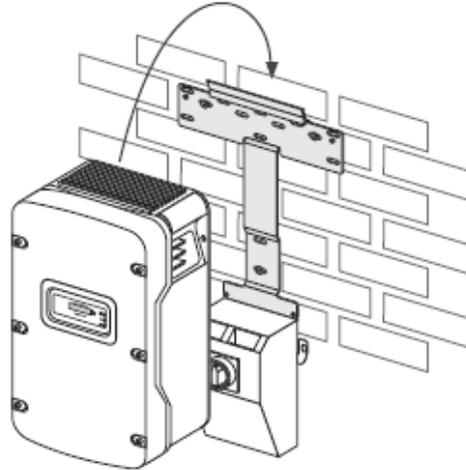
Figura 10. **Inversor Sunny Boy**



Fuente: SMA America, Incorporated. www.sma-america.com. Consulta: mayo de 2013.

El inversor debe de ser instalado sobrepuesto en una pared firme como se muestra en la figura 11.

Figura 11. **Instalación del inversor Sunny Boy**



Fuente: SMA America, Incorporated. www.sma-america.com. Consulta: mayo de 2013.

1.3. Transferencias automáticas y comparadores de voltaje

La transferencia de energía eléctrica y los comparadores de voltaje se utilizan para protección del equipo del Autoproductor y la red de distribución.

1.3.1. Transferencia de energía eléctrica

Una transferencia de energía eléctrica es un dispositivo eléctrico cuya función es cambiar la fuente de alimentación de energía eléctrica de una a otra. Existe una gran variedad de transferencias con diferentes características.

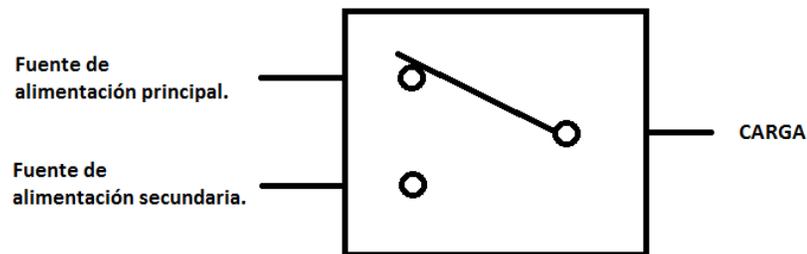
1.3.1.1. Principio de funcionamiento

Típicamente se trata de transferir desde una fuente de alimentación principal, suministrada por la compañía eléctrica de distribución local, a una

fuentes de alimentación secundaria, tal como un generador de emergencia o un equipo de Autoproducción de energía eléctrica.

La transferencia eléctrica puede realizar el cambio de las fuentes de alimentación primaria y secundaria la cantidad de veces que sea necesaria y siempre mantiene las fuentes de energía aisladas entre sí.

Figura 12. **Transferencia de energía eléctrica**



Fuente: elaboración propia, con programa de Microsoft Paint.

La transferencia de energía eléctrica puede ser de dos tipos, manuales y automáticas.

1.3.1.2. Transferencia de energía eléctrica manual

Este tipo de transferencia realiza el cambio de fuente de alimentación principal a la fuente secundaria por medio de una cuchilla, que es maniobrada por una persona encargada de la operación.

Cuando se requiere que la fuente de alimentación principal vuelva a estar conectada se tiene que operar manualmente la cuchilla para que regrese al estado inicial.

Figura 13. **Transferencia de energía eléctrica manual**



Fuente: Velásquez Ingenieros Asociados S. A. www.velasquez.com.co.
Consulta: mayo de 2013.

1.3.1.3. Transferencia de energía eléctrica automática

La transferencia automática brinda la comodidad y tranquilidad al momento de una falla en el sistema eléctrico de la red de distribución local, ya que se opera automáticamente sin la necesidad de un operador. Este equipo es programado según las necesidades del usuario, poniéndose en operación cuando existe la ausencia, pérdida de fases o variaciones de tensión. Las funciones más importantes de las transferencias de energía eléctrica automáticas son:

- Sensor continuamente el voltaje de alimentación.
- Proporcionar la señal de arranque a la planta de emergencia o autoproductor de energía eléctrica cuando el voltaje baja, sube o se encuentra ausente de un nivel adecuado.

- Realizar la transferencia de la carga, de la red de distribución a la fuente secundaria o viceversa.
- Retardar la retransferencia para dar tiempo a la compañía suministradora de energía eléctrica de normalizar la alimentación.
- Permitir un simulacro de falla de la compañía suministradora de energía.

Figura 14. **Transferencia de energía eléctrica automática**



Fuente: Velásquez Ingenieros Asociados S. A. www.velasquez.com.co.

Consulta: julio de 2013.

1.3.2. Comparadores de voltaje

Los circuitos de conmutación y temporización forman la base de cualquier dispositivo en el que se tengan que seleccionar o combinar señales de manera controlada. Cuando se quiere comparar niveles de voltajes, existen dispositivos encargados de realizar esta función, se denominan comparadores de voltaje.

Un comparador de voltaje es un circuito que monitorea dos entradas de voltaje. Uno es llamado voltaje de referencia (V_{ref}) y el otro voltaje de entrada (V_{in}). Cuando el voltaje de entrada se incrementa por encima o se reduce por

debajo del voltaje de referencia, la salida o el voltaje de salida (V_{out}) del comparador cambia de estado.

1.3.2.1. Contactor

El comparador de voltaje de corriente alterna más utilizado y eficiente es el que se realiza por medio de la configuración de contactores.

Figura 15. **Contactor**



Fuente: Electro Stock. www.electrostock.com.ar. Consulta: julio de 2013.

Un contactor es un componente electromecánico que tiene por objetivo establecer o interrumpir el paso de corriente. Un contactor es un dispositivo con capacidad de cortar la corriente eléctrica de un receptor o instalación, con la posibilidad de ser accionado a distancia, tiene dos posiciones de funcionamiento: una estable o de reposo, cuando no recibe acción alguna por parte del circuito de mando y otra inestable, cuando actúa dicha acción. El control a distancia resulta imprescindible para facilitar la utilización así como la tarea del operario que suele estar alejado de los mandos de control de potencia. Dicho control ofrece información sobre la acción desarrollada que se puede visualizar a través de los pilotos luminosos o de un segundo dispositivo.

1.3.2.1.1. Partes del contactor

Se puede observar en la figura 17 las partes principales que conforman un contactor, las cuales pueden variar según la complejidad del mismo. A continuación se realiza una descripción de cada una de ellas.

➤ **Electroimán**

Es el elemento motor del contactor, compuesto por un circuito magnético y la bobina; la función es convertir la energía eléctrica en magnetismo, generando así un campo magnético, que provocará un movimiento mecánico.

➤ **Bobina**

Es un enrollamiento de alambre de cobre con un gran número de espiras, que generan un campo magnético al aplicarle tensión. Este a la vez produce un campo electromagnético que separa la armadura del núcleo. Se hace referencia a las bobinas de la siguiente forma: A1 y A2.

➤ **Núcleo**

Es una parte metálica, de material ferromagnético, generalmente en forma de E, que va fijo en la carcasa. La función es concentrar y aumentar el flujo magnético que genera la bobina, para atraer con mayor eficiencia la armadura.

➤ **Armadura**

Armadura, elemento móvil, cuya construcción es similar a la del núcleo, pero sin espiras de sombra. La función es cerrar el circuito magnético una vez

energizadas las bobinas, ya que debe estar separado del núcleo, por acción de un muelle. Las características del muelle permiten que, tanto el cierre como la apertura del circuito magnético, se realicen de forma muy rápida, alrededor de unos 10 milisegundos.

Cuando el par resistente del muelle es mayor que el par electromagnético, el núcleo no logrará atraer a la armadura o lo hará con mucha dificultad. Por el contrario, si el par resistente del muelle es demasiado débil, la separación de la armadura no se producirá con la rapidez necesaria.

➤ Contactos

Son elementos conductores que tienen por objeto establecer o interrumpir el paso de corriente en cuanto la bobina se energice. Todo contacto está compuesto por contactos principales y contactos auxiliares.

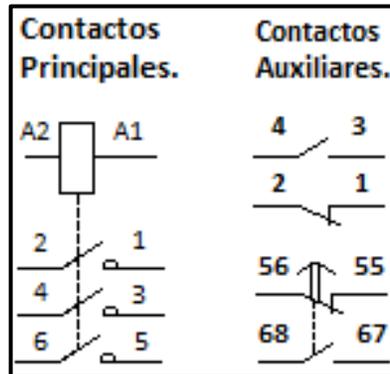
Contactos principales: la función es establecer o interrumpir el circuito principal, consiguiendo así que la corriente se transporte desde la red a la carga. Simbología: se referencian con una sola cifra del 1 al 6.

Contactos auxiliares: son contactos cuya función específica es permitir o interrumpir el paso de la corriente a las bobinas de los contactores o los elementos de señalización, por lo cual están dimensionados únicamente para intensidades muy pequeñas.

➤ Resorte

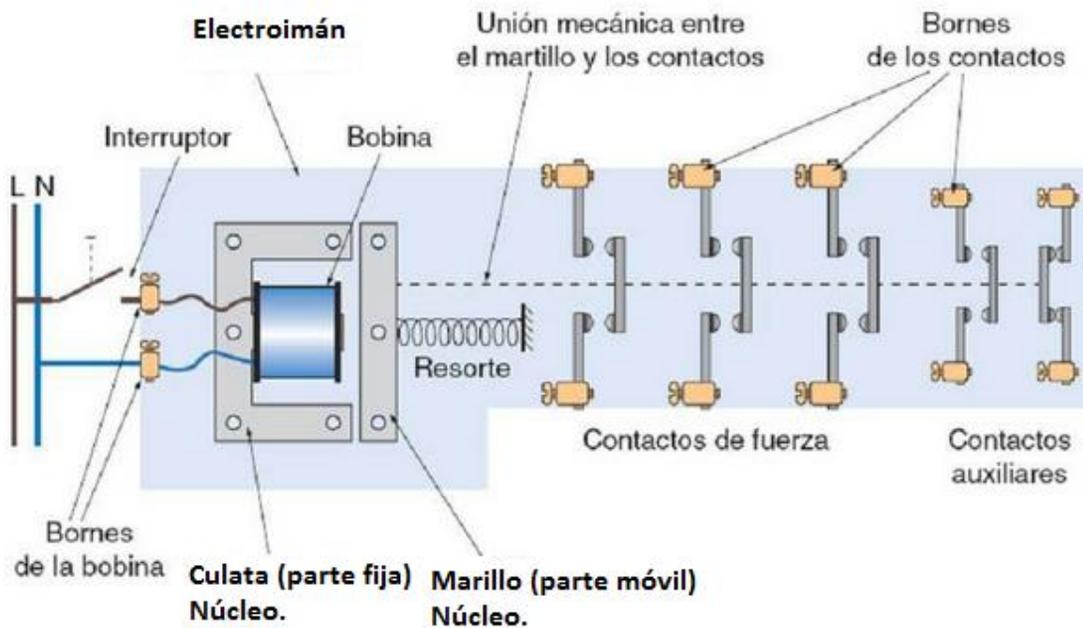
Es un muelle encargado de devolver los contactos a la posición de reposo una vez que cesa el campo magnético de las bobinas.

Figura 16. **Contactos principales y contactos auxiliares**



Fuente: elaboración propia, con programa de Microsoft Paint.

Figura 17. **Partes de un contactor**



Fuente: automatismoindustrial.com/contactores/contactor2. Consulta: julio de 2013.

1.4. Centros de transformación

El centro de transformación es el enlace entre la red de distribución y el usuario Autoproductor.

1.4.1. Definición de un transformador

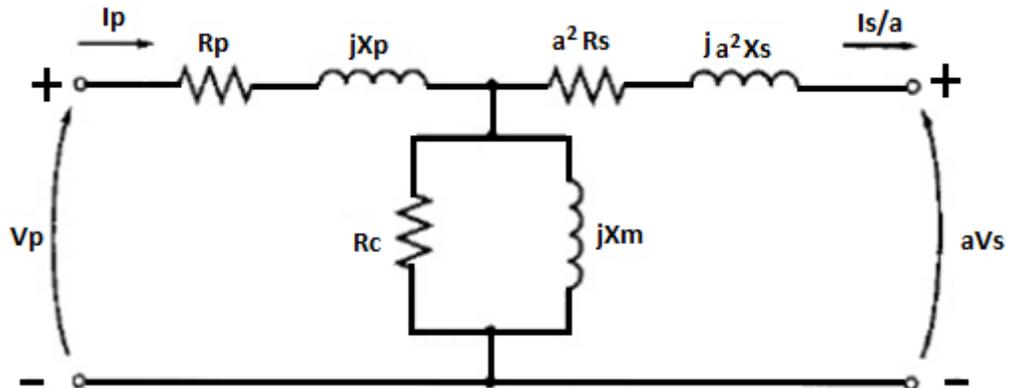
El transformador es un dispositivo que tiene la capacidad de convertir energía eléctrica de un nivel de voltaje a uno menor o mayor, dependiendo de las características de construcción. Está constituido por dos o más bobinas de alambre, aisladas entre si eléctricamente y enrolladas alrededor de un mismo núcleo de material ferromagnético. El transformador funciona según el principio de la inducción mutua entre dos o más bobinas, o circuitos acoplados inductivamente.

En el devanado de entrada se conecta la fuente de energía eléctrica alterna y en el devanado de salida se acopla la carga que se desea alimentar. El devanado del transformador que se conecta a la fuente se denomina devanado primario y el devanado que se acopla a la carga se nombra devanado secundario. Si existe un tercer devanado se le llama terciario.

1.4.2. Principios de funcionamiento de un transformador

Un transformador consiste en dos o más devanados relacionados mediante flujo magnético mutuo. Si el devanado primario se conecta a una fuente de voltaje alterno se produce un flujo alterno cuya amplitud dependerá del voltaje de la fuente y del número de vueltas del devanado. El flujo mutuo enlazará al devanado secundario induciendo un voltaje en él, cuyo valor dependerá del número de vueltas de ese devanado.

Figura 18. Diagrama de un transformador



Fuente: CHAPMAN, Stephen. Máquinas Eléctricas. p. 86.

El concepto de inductancia mutua se observa en la acción del transformador de relacionar los devanados mediante el flujo magnético que puede ser variable. Los núcleos de los transformadores pueden ser de aire, hierro o de material ferromagnético, siendo los últimos dos los más eficientes ya que le brindan una trayectoria definida al flujo magnético.

1.4.3. Tipos de transformadores

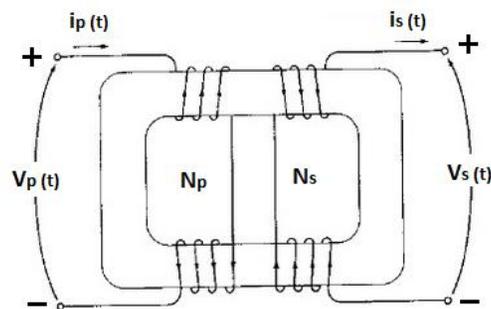
El propósito principal de transformador es convertir la potencia alterna de un nivel de voltaje a otro nivel de voltaje con la misma potencia alterna y la misma frecuencia. Los transformadores también se utilizan para otros propósitos como por ejemplo, para muestreo de voltaje, muestreo de corriente y transformación de impedancia.

En los sistemas eléctricos de potencia, a los transformadores de potencia se les llama de diferentes maneras, dependiendo del uso en el sistema y se pueden construir de dos maneras.

El primer tipo de transformador consta de una pieza de acero rectangular, laminada, con los devanados enrollados sobre dos de los lados del rectángulo. Este tipo de construcción, conocido como transformador tipo núcleo, se ilustra en la figura 19.

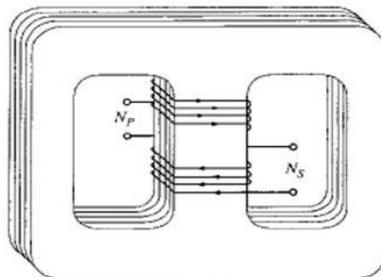
El otro tipo de transformador consta de un núcleo laminado de tres columnas, cuyas bobinas están enrolladas en la columna central. Este tipo de construcción se conoce como transformador tipo acorazado y se ilustra en la figura 20.

Figura 19. **Construcción de transformador tipo núcleo**



Fuente: CHAPMAN, Stephen. Máquinas Eléctricas. p. 64.

Figura 20. **Construcción de transformador tipo acorazado**



Fuente: CHAPMAN, Stephen. Máquinas Eléctricas. p. 65.

En todos los casos el núcleo se construye con delgadas láminas aisladas eléctricamente unas de otras para minimizar las corrientes parásitas.

Se le denomina transformador elevador al que se instala en la salida de un generador ya que es utilizado para elevar el voltaje a niveles de transmisión. Y se le designa transformador de disminución al que se instala al final de la línea de transmisión y que reduce el voltaje a nivel de distribución. Los transformadores pueden ser aislados en aceite o también se pueden fabricar tipo secos.

Figura 21. **Transformador tipo seco**



Fuente: ABB, www.abb.com.gt. Consulta: julio de 2013.

1.4.3.1. Transformador de distribución

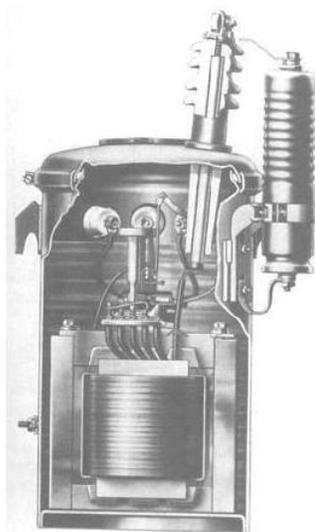
El transformador de distribución es el encargado de reducir el voltaje de distribución a un voltaje final que se utiliza en los servicios residenciales o comerciales (120, 208 y 240 voltios), estos transformadores pueden ser autoprotegidos o convencionales.

El transformador de distribución es el usado por las empresas distribuidoras de energía eléctrica para poder brindar el servicio residencial o

comercial. Se elaboran de distintas capacidades que pueden ser de 10, 15, 25, 37,5, 50 y 75 kVA. Y con voltajes normados por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica de Guatemala que se describen a continuación:

- 120/240 monofásico
- 120/208 monofásico
- 120/240 trifásico
- 120/208 trifásico
- 240/480 trifásico

Figura 22. **Corte de un transformador de distribución autoprotegido**



Fuente: FITZGERALD, Ernest; KINGSLEY, Charles Jr; UMANS, Stephen.
Máquinas Eléctricas. p. 59.

1.4.3.2. Transformador de instrumento

Existen transformadores para propósitos especiales los cuales se pueden dividir en varios grupos dependiendo de varios criterios de clasificación.

Por el uso los transformadores de instrumento se dividen en transformadores de medición y protección. Los transformadores de medición se utilizan para obtener las condiciones de voltaje y de corriente de un sistema. Los transformadores de protección se emplean para proteger equipo eléctrico importante.

Los transformadores de instrumento de igual forma se dividen en transformadores de corriente y de potencial. El transformador de corriente (conocido como CT) transforma la corriente de un circuito primario a un valor normalizado que se utiliza en los instrumentos de medición y protección, el valor normalizado de la corriente en el secundario del CT es de 5 amperios.

Figura 23. **Transformador de corriente de baja tensión**



Fuente: Cam G y M, www.cam-la.com. Consulta: julio de 2013.

El transformador de potencial (conocido como PT) reduce el nivel de voltaje de un circuito primario para suministrar un valor normalizado a los instrumentos de medición y protección, el valor normalizado de la tensión en el secundario es de 120 voltios.

Figura 24. **Transformador de corriente de media tensión**



Fuente: Direct Industry. www.directindustry.com. Consulta: julio de 2013.

Por la construcción los transformadores de instrumento se dividen en: transformadores tipo barra, tipo ventana y tipo boquilla.

Figura 25. **Transformador de potencial de media tensión**



Fuente: ABB Power and productivity for a better world. www.abb.com.gt.

Consulta: julio de 2013.

1.5. Acometidas eléctricas normadas por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica de Guatemala

La Comisión Nacional de Energía Eléctrica de Guatemala tiene normas de acometidas eléctricas que se utilizan para brindarle el servicio de energía

eléctrica al usuario residencial o comercial. Las dos principales empresas distribuidoras encargadas de brindar el servicio de energía eléctrica en la República de Guatemala son:

- Empresa Eléctrica de Guatemala S. A.
- Energuate

A continuación se detallarán las normas de acometidas de las dos empresas distribuidoras.

1.5.1. Normas de acometidas de Empresa Eléctrica de Guatemala S. A.

Las normas de acometidas eléctricas de Empresa Eléctrica de Guatemala S. A. se clasifican por rangos de potencia. El primer rango potencia es el menor a 11 kW y el segundo rango es de 12 kW a 48 kW.

1.5.1.1. Descripción de acometida eléctrica para carga monofásica individual menor de 11 kW

La descripción de construcción de acometida para brindar el servicio de energía eléctrica a cargas monofásicas individuales menores de 11 kW son los siguientes:

- La tensión de suministro es 120/240 voltios, monofásico, 3 conductores.

- La empresa distribuidora de energía eléctrica suministrará e instalará postes, líneas, centro de transformación, cableado de la acometida hasta el medidor, siempre y cuando se encuentre dentro de la franja obligatoria de 200 m. La acometida debe de estar construida en la propiedad que alimentará de energía y para la cual fue solicitado el servicio. La caja del medidor debe de localizarse en el límite de la propiedad privada y pública, de forma tal que el medidor quede de frente hacia la vía pública. Si la acometida se construye dentro de la propiedad privada se tendrá que constituir servidumbre de conducción de energía eléctrica.

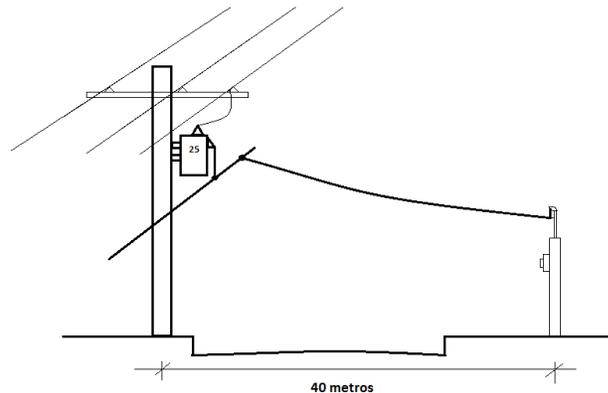
- La caja *socket* se instala a una altura de 2,70 metros \pm 10 centímetros, medidos del nivel del suelo a la parte superior de la misma. Ver detalle de acometida en anexo F.

- El tubo de acometida instalado debe ser de material Conduit galvanizado 1¼" de diámetro de una sola pieza; sin uniones, coplas, soldaduras o registros intermedios. En el extremo del tubo, por donde se introducen los cables de la acometida, es necesario que se encuentre colocado un accesorio de entrada de medida 1¼".

- El gancho de soporte para recibir el cable de acometida debe de estar colocado a una altura de 4,50 m, no importando que el cable cruce o no la calle. El gancho debe de orientarse de tal forma que el cable no atraviese por propiedad privada y dirigido al poste de la red de distribución más cercano.

- La distancia desde el poste de distribución de energía eléctrica hasta el soporte del cable de acometida debe de tener un máximo de 40 m.

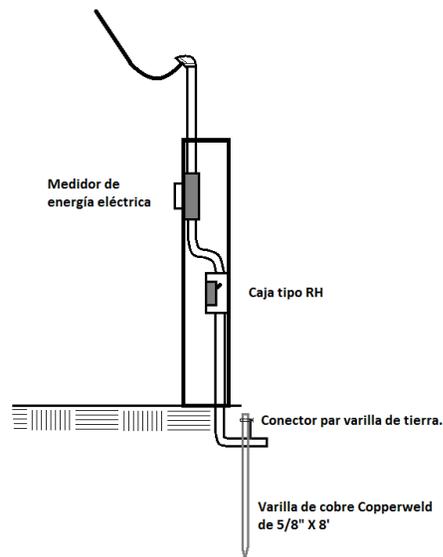
Figura 26. **Detalle de distancia de acometida eléctrica**



Fuente: elaboración propia, con el programa de Microsoft Paint.

- El neutro de la instalación irá conectado sólidamente a tierra por medio de una varilla Copperweld de 5/8" x 8'. Si la distancia entre el medidor y el tablero de distribución de carga es mayor a 10 metros, el interruptor principal instalado en la caja tipo RH debe estar ubicado de acuerdo a la figura 27. Si es menor de 10 metros puede instalarse en cualquier punto entre el medidor y el tablero; siempre respetando la altura de 1,70 metros.
- La acometida y los accesorios se deben instalar en una columna de concreto armado de 20 cm. X 20 cm. con 4 varillas de hierro de diámetro mínimo de 3/8 de pulgada con los estribos y amarres respectivos según se observa en el anexo D.

Figura 27. **Detalle de puesta a tierra de la acometida eléctrica**

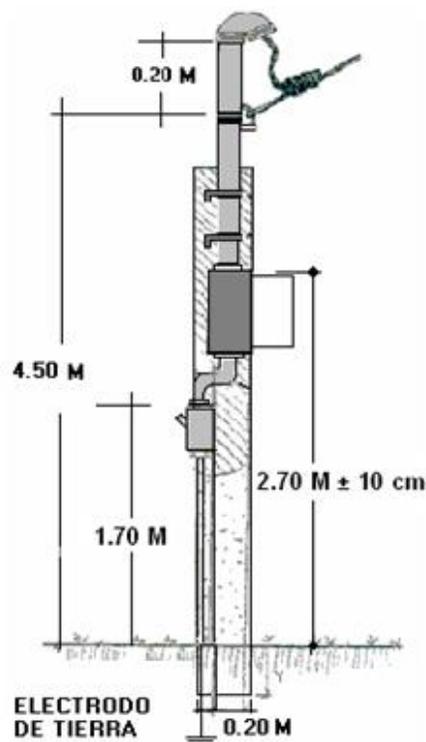


Fuente: elaboración propia, con el programa de Microsoft Paint.

- En casas tipo dúplex se debe utilizar una columna medianera para instalar las cajas de los contadores, siempre viendo hacia la vía pública según se observa en el anexo E.
- La acometida del servicio podrá ser aérea o subterránea. Si el usuario opta por una acometida subterránea, debe colocar una caja *socket* para contador clase 200 A y el tubo de acometida será Conduit galvanizado de 2" de diámetro.
- Toda nueva acometida debe de contar con un interruptor térmico instalado dentro de una caja plástica o metálica para intemperie tipo RH, NEMA 3R, la cual se instalará en la parte posterior de la columna de acometida. El interruptor tendrá una capacidad nominal acorde a la carga declarada.

Las funciones básicas del interruptor son: proteger la instalación del usuario y evitar que cualquier falla interna en la misma afecte las instalaciones de la empresa distribuidora de energía eléctrica, adicionalmente sirve como medio de desconexión general de la instalación. El interruptor se instalará a una altura de $1,70\text{ m} \pm 10\text{ cm}$ medidos del nivel del suelo a la parte superior de la caja. Si la caja *socket* es instalada a $1,80$ metros de altura, el interruptor se instalará a una altura de $1,40\text{ m}$ medidos del nivel del suelo a la parte superior de la caja.

Figura 28. **Detalle de acometida eléctrica residencial**



Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica. www.cnee.gob.gt. Consulta: julio de 2013.

1.5.1.2. Descripción de acometida eléctrica para cargas monofásicas individuales de 12 a 48 kW

La descripción de construcción de acometida para brindar el servicio de energía eléctrica a cargas monofásicas individuales de 12 kW a 48 kW, son los siguientes:

- La tensión de suministro es 120/240 voltios, 1 fase, 3 conductores.
- Para el voltaje arriba indicado, la empresa distribuidora de energía eléctrica suministrará e instalará postes, líneas, el centro de transformación, cableado hasta el medidor y el medidor, siempre que el servicio requerido se encuentre dentro de la franja obligatoria de 200 m.
- La distancia desde el poste de distribución hasta el soporte del cable de acometida depende de la demanda declarada, según tabla siguiente:

Tabla II. **Conductividad relativa de distintos materiales**

| | | | | |
|---------------------|-----|-----|-------|-------|
| Calibre de cable | 3#4 | 3#2 | 3#1/0 | 3#4/0 |
| Distancia en metros | 40 | 35 | 30 | 25 |

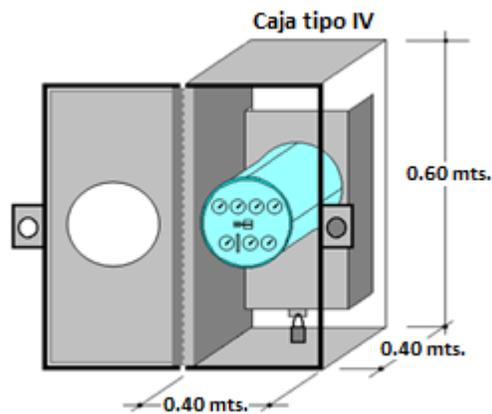
Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica. www.cnee.gob.gt. Consulta: julio de 2013.

- El neutro de la instalación debe de estar conectado sólidamente a tierra por medio de una varilla Copperweld de 5/8" x 8' en la caja RH.

- La empresa distribuidora de energía eléctrica utilizará un medidor auto-contenido con demanda el cual debe ser instalado en:

Una base *socket* para medidor monofásico clase 200 A dentro de una caja tipo IV NEMA 3R, que debe ser colocada a 1,80 m \pm 10 cm. de altura medido desde el nivel del suelo a la parte superior de la caja con el frente hacia la calle.

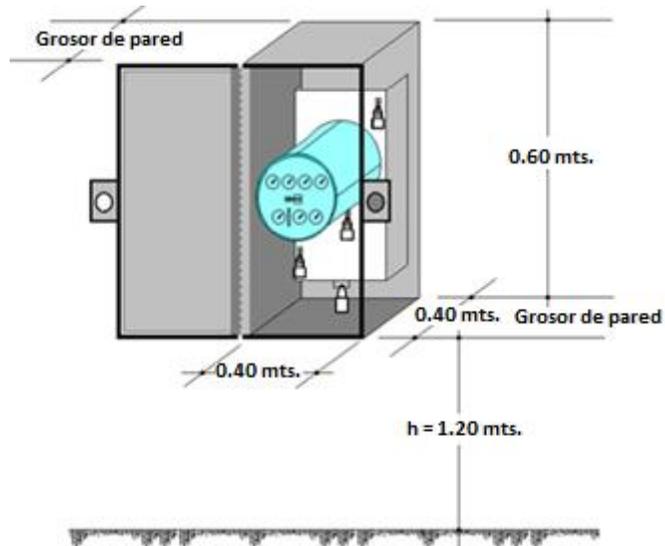
Figura 29. **Detalle de caja tipo IV NEMA 3R**



Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica. www.cnee.gob.gt. Consulta: julio de 2013.

- La caja tipo IV debe ser empotrada en una pared o en una columna de concreto armado localizada en el límite de la propiedad privada y pública de forma tal, que el frente de la caja quede viendo hacia la vía pública con puerta y accesorio para que la empresa distribuidora de energía eléctrica coloque candado.

Figura 30. **Detalle de acometida eléctrica residencial**



Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica. www.cnee.gob.gt. Consulta: julio de 2013.

- La alimentación de la acometida debe ser aérea o subterránea, y el tubo de acometida será Conduit galvanizado 2½" de diámetro, de una sola pieza, sin uniones, coplas, soldaduras o registros intermedios. En el extremo del tubo es necesario colocar un accesorio de entrada de medida 2½".

1.5.2. Normas de acometidas de Energuate

Las normas de acometidas eléctricas de Energuate se clasifican por rangos de potencia. El primer rango potencia es el menor a 15 kW y el segundo rango es de 16 kW a 50 kW.

1.5.2.1. Descripción de acometida eléctrica para carga monofásica individual menor de 15 kVA

La descripción de construcción de acometida para brindar el servicio de energía eléctrica a cargas monofásicas individuales menores de 15 kVA son los siguientes:

- La tensión de suministro es 120/240 voltios, monofásico, 3 conductores.
- El tubo de acometida instalado debe ser de material Conduit galvanizado 1¼" de diámetro de una sola pieza y sin uniones, debe de quedar sobrepuesto. En el extremo del tubo, es necesario instalar un accesorio de entrada de medida 1¼".
- El gancho de soporte para recibir el cable de acometida debe de estar colocado a 20 cm debajo del accesorio de entrada.
- El cable de acometida que alimenta al servicio residencial o comercial debe de ser de dos tipos:
 - Concéntrico de un hilo o Duplex para suministros con tensión 120V.
 - Concéntrico de dos hilos o Triplex para suministros con tensión 240V.
- La longitud máxima del cable de acometida es de 40 mts medidos desde el poste de distribución.

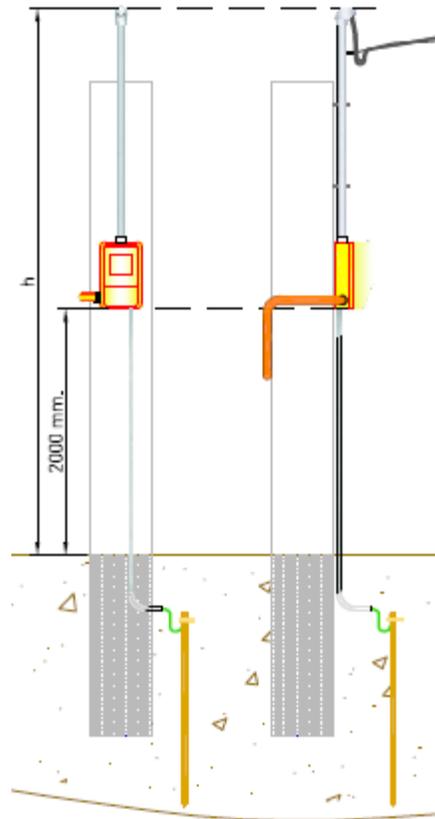
- La caja *socket* se instala a una altura de 2,00 metros \pm 10 centímetros, medidos del nivel del suelo a la parte superior de la misma. Debe de tener una capacidad no mayor de 200 amperios.
- Toda nueva acometida debe de contar con un interruptor térmico, instalado con una capacidad interruptiva no mayor a 50 amperios por polo, dentro de una caja tipo RH.
- La instalación debe de estar sólidamente aterrizada a tierra por medio de una varilla de 5/8" de diámetro y 4' de longitud, recubierta de cobre la cual debe de ser enterrada y conectada a ella por un cable de cobre, desnudo o con forro de color verde de calibre no menor a 8 AWG.
- Todos los componentes deben de ser instalados en la parte frontal del inmueble, en el límite de la propiedad pública y privada. Ver detalle de acometida en anexo G.
- La acometida debe de tener una altura exacta dependiendo de los siguientes factores a mencionar:

Tabla III. **Altura (h) para tubo de bajada de acometida**

| UBICACION | ALTURA MÍNIMA EN METROS LINEALES |
|--------------------|----------------------------------|
| Si atraviesa calle | 6.00 |
| No atraviesa calle | 4.50 |

Fuente: Energuate. Especificaciones técnicas de medida, capítulo 1. p. 8.

Figura 31. **Detalle de acometida eléctrica residencial**



Fuente: Energuate. Especificaciones técnicas de medida, capítulo 1. p. 11.

1.5.2.2. Descripción de acometida eléctrica para cargas monofásicas individuales de 15 a 50 kVA

La descripción de construcción de acometida para brindar el servicio de energía eléctrica a cargas monofásicas individuales de 15 kVA a 50 kVA son los siguientes:

- La tensión de suministro es 120/240 voltios, monofásico, 3 conductores.
- El tubo de acometida instalado debe ser de material Conduit galvanizado 2½" de diámetro de una sola pieza y sin uniones, debe de quedar sobrepuesto. En el extremo del tubo, es necesario instalar un accesorio de entrada de medida 2½".
- El gancho de soporte para recibir el cable de acometida debe de estar colocado a 20 cm debajo del accesorio de entrada.
- El cable de acometida que alimenta al servicio residencial o comercial debe de ser cobre o aluminio tipo triplex para servicios monofásicos o cuádruplex para servicios trifásicos.
- La caja socket se instala a una altura de 1,70 metros ± 10 centímetros, medidos del nivel del suelo a la parte superior de la misma. Debe de tener una capacidad no mayor de 200 amperios.
- Toda nueva acometida debe de contar con un interruptor térmico que depende de las características de carga requeridas, se instala dentro de una caja tipo RH.

Tabla IV. **Protección a instalar**

| VOLTAJE | FASES | POLOS | CAPACIDAD (AMPERIOS) |
|---------|------------|-------|----------------------|
| 240 | MONOFASICO | 2 | 200 |
| 208 | TRIFASICO | 3 | 125 |
| 240 | TRIFASICO | 3 | 125 |
| 480 | TRIFASICO | 3 | 60 |

Fuente: Energuate. Especificaciones técnicas de medida, capítulo 3. p. 6.

- La instalación debe de estar sólidamente aterrizada a tierra por medio de una varilla de 5/8" de diámetro y 8' de longitud, recubierta de cobre la cual debe de ser enterrada y conectada a ella por un cable de cobre, desnudo o con forro de color verde de calibre no menor a 4 AWG.
- Todos los componentes deben de ser instalados en la parte frontal del inmueble, en el límite de la propiedad pública y privada.
- La acometida debe de tener una altura exacta dependiendo de los siguientes factores a mencionar:

Tabla V. **Altura (h) para tubo de bajada de acometida**

| UBICACION | ALTURA MÍNIMA EN METROS LINEALES |
|--------------------|----------------------------------|
| Si atraviesa calle | 6.00 |
| No atraviesa calle | 4.50 |

Fuente: Energuate. Especificaciones técnicas de medida, capítulo 3. p. 8.

2. TIPOS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA RENOVABLE

La generación de energía eléctrica es muy importante debido a que ayuda al desarrollo de una sociedad. La generación puede ser a una gran escala para alimentar regiones, ciudades o a una pequeña escala para brindar energía eléctrica a una residencia o comercio.

En la mayoría la generación de energía eléctrica se realiza a base de combustibles fósiles, los cuales provocan que el costo de la energía eléctrica sea muy elevado y generen una alta contaminación al medio ambiente. Por tal motivo la generación de energía renovable se ha vuelto necesaria para disminuir el costo económico de la venta de energía y para reducir la contaminación ambiental.

La generación de la energía renovable se puede producir de distintas formas dependiendo de las condiciones climatológicas y geográficas del lugar donde se realice dicha actividad.

Las formas más utilizadas de generación de energía renovables son las siguientes:

- Térmica
- Fotovoltaica
- Eólica
- Hidráulica

En Guatemala la generación de energía renovable más utilizada para la elaboración de usuarios Autoproductores es la fotovoltaica, la cual utiliza paneles solares para el funcionamiento.

A continuación se realizará la descripción de cada una de las formas de generación de energía renovable más utilizadas.

2.1. Energía solar térmica

La energía solar es aquella que de forma indirecta o directa proviene del sol. Esta energía se caracteriza por no ser contaminante y de acceso libre e ilimitado. Por lo que ante la búsqueda de nuevas fuentes de energía, la energía solar se convierte en una alternativa viable.

El Sol es una estrella con un diámetro medio de $1,39 \times 10^9$ m y una masa de 2×10^{30} kg, constituida por varios elementos químicos en estado gaseoso, principalmente hidrógeno y helio. En el interior se produce de forma espontánea y continua la fusión de núcleos de hidrógeno para formar núcleos de helio. Debido a esta reacción de fusión nuclear se genera una enorme cantidad de energía en forma de calor.

La alta temperatura del sol emite energía en forma de radiación electromagnética. A la radiación electromagnética generada por el sol se le conoce con el nombre de radiación solar y está compuesta por un conjunto de ondas electromagnéticas de diferentes longitudes de onda.

La radiación solar se comporta en cuanto a la propagación como una onda electromagnética en el espacio libre, con una longitud de onda representada por (λ) y una velocidad de propagación de $c = 2,99792458 \times 10^8$ m/s.

La radiación solar viaja en línea recta del Sol a la Tierra a la velocidad de la luz y la intensidad de la radiación decrece inversamente al cuadrado de la distancia al Sol.

Por la longitud de onda la radiación solar se divide en radiación ultravioleta, radiación luminosa y radiación infrarroja.

Radiación ultravioleta, con $\lambda < 360$ nm esta radiación si llegara a tener contacto con materia viva provocaría la destrucción de la misma, ya que alteraría las uniones moleculares de los átomos.

La radiación ultravioleta es aproximadamente el 7 % de la radiación solar, esta radiación es absorbida por la estratosfera y por tal motivo no alcanza la superficie terrestre, permitiendo el desarrollo de los seres vivos.

La radiación ultravioleta es considerada dañina desde el punto de vista ecológico, sin embargo, dicha radiación puede generar un impacto ecológico positivo al favorecer la foto descomposición de ciertos contaminantes atmosféricos.

Radiación luminosa, con λ comprendida entre 360 y 760 nm. Esta radiación corresponde a la luz visible por el ojo humano.

Los fotones asociados a las longitudes de onda luminosas, poseen la energía necesaria para actuar sobre ciertos tipos de enlaces químicos, por tal motivo la energía puede ser utilizada en procesos de transferencia de energía.

En este intervalo de longitudes de onda se localizan aquellas radiaciones que son absorbidas por las moléculas químicas de los seres vivos que

intervienen en el proceso de la fotosíntesis y de ahí la importancia ecológica de este tipo de energía. La radiación luminosa es aproximadamente el 43 % de la radiación solar.

Radiación infrarroja, con $\lambda > 760$ nm, contienen fotones asociados de menor energía, que en el contacto con la materia viva producen una excitación de las moléculas de la misma y, por lo tanto, un aumento de la temperatura. Tiene pues un efecto calorífico y una gran importancia desde el punto de vista del mantenimiento de temperaturas atmosféricas compatibles con el desarrollo de la vida.

La radiación infrarroja es aproximadamente el 50 % de la radiación solar, a las radiaciones de longitud de onda mayor de 760 nm se les denomina “radiaciones de onda larga”.

La energía térmica se puede utilizar para la construcción de un usuario Autoproducer, aprovechando la energía emitida por el Sol, para el funcionamiento se debe de tener un sistema de captación energía solar el cual se describe a continuación.

2.1.1. Sistema de captación de la energía solar

La energía solar se puede aprovechar de dos formas: por captación térmica y por captación fotónica.

La captación térmica aprovecha la energía solar al ser interceptada por una superficie absorbente, esto da lugar a un efecto térmico. Si se obtiene el calor sin la intervención de elementos mecánicos, se denomina energía solar

pasiva. Si el aprovechamiento se utiliza mediante la intervención de elementos mecánicos, se designa energía solar activa.

La captación fotónica está basada en las propiedades de los fotones asociados a las radiaciones electromagnéticas. La captación fotoquímica hace referencia a la fotosíntesis, que transforma la energía radiante en energía química acumulada en los enlaces de compuestos orgánicos.

La captación energética a través de celdas solares o paneles fotovoltaicos permite la transformación energética de la radiación solar en energía eléctrica aprovechando las propiedades eléctricas de los materiales semiconductores.

Se aprovecha tecnológicamente la energía solar tanto por captación térmica (energía solar térmica) como por captación fotónica (energía solar fotovoltaica).

La energía solar térmica se utiliza en diversos procesos:

- Calentamiento de agua para uso residencial, por medio de un calentador que acumula agua en un contenedor y calienta la misma a través de la captación térmica. El agua es utilizada para ducharse, lavado de platos o calentamiento del agua para piscina.
- Secado de productos agrícolas.
- Pasteurización de aguas.

En el caso de la energía solar térmica, se pueden usar sistemas solares pasivos o activos, clasificándose estos últimos según el rango de temperatura que es posible obtener con el elemento mecánico.

- Energía solar de baja temperatura, corresponde a valores menores de 100 °C.
- Energía solar de mediana temperatura, corresponde a valores entre 100 °C y 250 °C.
- Energía solar de alta temperatura, corresponde a valores mayores a 250 °C.

El tipo de energías en las que se obtiene energía térmica sin un proceso de combustión, es muy beneficioso para el medio ambiente ya que contribuye a disminuir la contaminación atmosférica.

2.1.1.1. Energía solar térmica activa de baja temperatura

Este tipo de energía se basa en la transferencia de calor por conducción y radiación. La principal aplicación es la generación de agua caliente sanitaria para viviendas o edificios de oficinas o apartamentos y la climatización de piscinas. También se utiliza en el riego de invernaderos a base de agua tibia y en variadas aplicaciones agrícolas.

El sistema de captación térmica requiere para el funcionamiento de cuatro subsistemas:

- Subsistema colector, la función es captar o recoger la energía procedente del Sol.
- Subsistema de almacenamiento, tiene como finalidad acumular la energía procedente del sol para poderla brindar en cualquier momento que se requiera ser utilizada.
- Subsistema de distribución, cuyo objetivo es trasladar el fluido caliente a uno o más puntos de consumo.
- Subsistema de control y medida, tiene como función poder utilizar la tecnología para ser eficiente en el manejo del fluido y la utilización de equipo para obtener lecturas de temperatura, presión, caudal etc.

2.1.1.2. Energía solar térmica activa de media temperatura

Este tipo de energía es la que alcanza temperaturas superiores a los 100 °C y se basa no solo en la captación térmica sino que también en la concentración de la radiación solar. Se utiliza un equipo llamado colector de concentración o concentradores para realizar dicha función.

Los rayos solares en el recorrido a la superficie terrestre siguen trayectorias rectas, excepto cuando se encuentran con un plano de separación entre dos medios, si fuese el caso, sufre una desviación en la dirección, pudiéndose realizar una reflexión, refracción o ambas.

La concentración se puede realizar por medio de reflexión o por refracción, para realizar la concentración por refracción se utilizan lentes costosos y

complejos en el uso. Si se produce por reflexión el rayo rebota en la superficie en la cual incide, haciéndolo siempre con un ángulo de salida respecto a la normal (ángulo de reflexión) igual al ángulo de incidencia.

Esta ley de la reflexión se aprovecha para concentrar todos los rayos reflejados en una única zona llamada foco. El sistema completo para captación térmica de energía solar a media temperatura requiere para el funcionamiento el acoplamiento de cuatro subsistemas: recepción, almacenamiento, distribución y de control.

2.1.2. Sistemas de captación

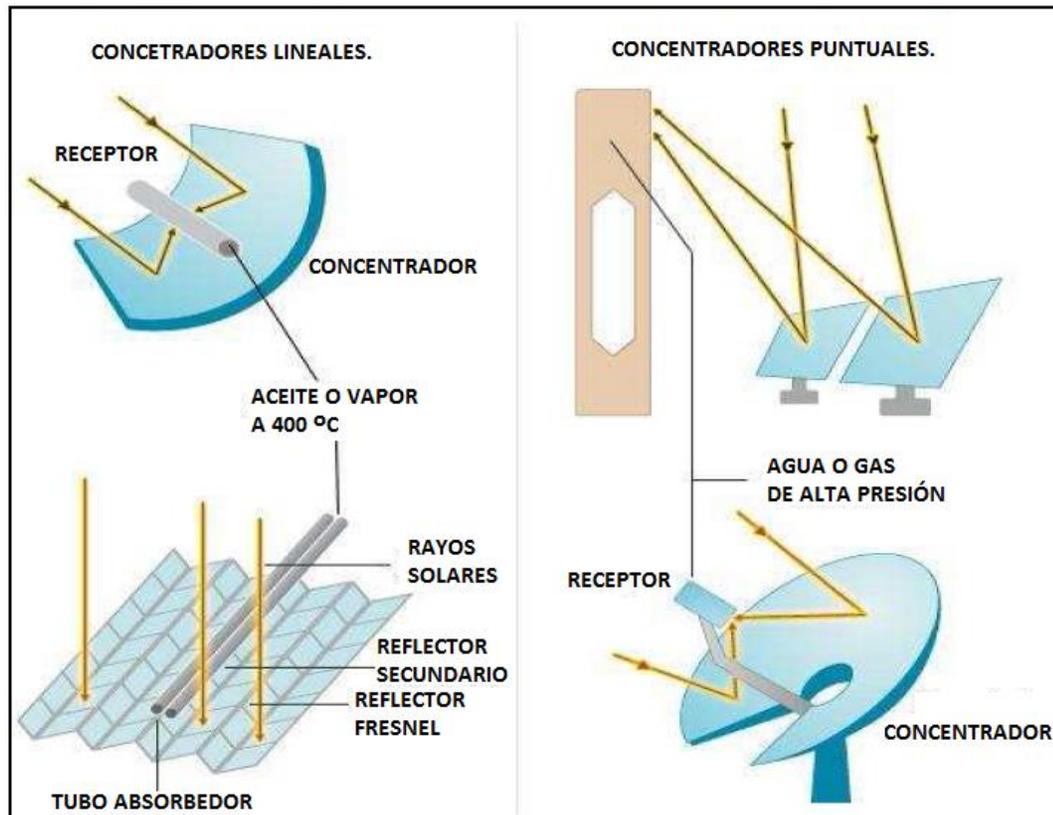
La tecnología termosolar está basada en el concepto de la captación de la radiación solar para producir vapor o aire caliente, para ser utilizada en residencias o para funciones agrícolas.

La captación de energía solar es uno de los mayores retos en el desarrollo de plantas termosolares. Para la concentración la mayoría de los sistemas utilizan espejo debido a la reflectividad. La captación puede ser lineal o puntual.

2.1.2.1. Sistema de captación lineal o puntual

En la concentración lineal o puntual puede aprovechar solamente la radiación directa, ya que la radiación difusa no puede ser concentrada. La concentración lineal es más fácil de instalar al tener una mayor superficie, pero esto genera tener una menor concentración y por lo tanto obtiene menores temperaturas que la tecnología de concentración puntual.

Figura 32. Tipos de concentradores

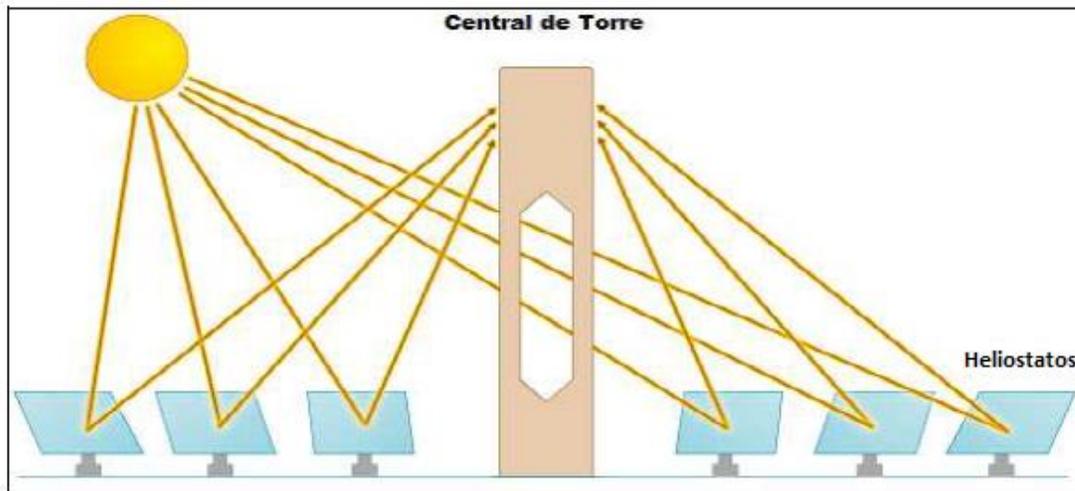


Fuente: Solar power for a sustainable World. Abengoa Solar. p. 7.

2.1.2.2. Centrales con tecnología de torre

Con la tecnología de torre un campo de helióstatos o espejos móviles que se orientan según la posición del Sol, reflejan la radiación solar para concentrarla hasta 600 veces sobre un receptor que se ubica en la parte superior de una torre. Una aplicación de este método de captación es transmitir el calor a un fluido con el objeto de generar vapor que se expande en una turbina acoplada a un generador para la producción de electricidad.

Figura 33. **Esquema del funcionamiento de una central de torre**



Fuente: Solar power for a sustainable World. Abengoa Solar. p. 13.

Para el funcionamiento de la tecnología de torre se necesitan tres etapas características: helióstatos, receptor y torre.

- Helióstatos: la función es captar la radiación solar y dirigirla hacia el receptor. Están compuestos por una superficie reflectante, una estructura que le sirve de soporte y mecanismos que permiten orientarlo para ir siguiendo el movimiento del Sol. Las superficies reflectantes más empleadas actualmente son de espejos de vidrio.
- Receptor: el objetivo es transferir el calor recibido a un fluido, que puede ser agua, sales fundidas, etc. Este fluido es el encargado de transmitir el calor a la otra parte de la central termosolar, generalmente a un depósito de agua, obteniéndose vapor a alta temperatura para producción de electricidad mediante el movimiento de una turbina.

- Torre: la finalidad es servir de soporte al receptor, que debe situarse a una considerable altura sobre el nivel de los helióstatos con el fin de evitar las sombras y los bloqueos de la radiación solar.

Figura 34. **Central de torre PS10, en la plataforma Solúcar, en Sevilla**



Fuente: Abengoa Solar S. A. <http://abengoasolar.com/>. Consulta: julio de 2013.

2.2. **Energía solar fotovoltaica**

La energía solar fotovoltaica es la que utiliza la radiación solar y la transforma en energía eléctrica mediante el efecto fotovoltaico que lo producen las celdas o paneles fotovoltaicos.

La conversión fotovoltaica se basa en el efecto fotoeléctrico, el cual convierte la radiación solar en energía eléctrica. La radiación solar se transmite por medio de fotones de luz, los cuales atraviesan la atmosfera terrestre perdiendo parte de la energía por los impactos con la misma.

La pérdida de energía está en función de la distancia que recorren los fotones y del tipo de atmósfera que atraviesen hasta alcanzar la superficie de la Tierra. Para poder captar la radiación solar se utiliza un dispositivo denominado celda fotovoltaica es el encargado de transformar la radiación solar a energía eléctrica, las celdas se pueden agrupar para poder generar una considerable cantidad de energía.

2.2.1. Celdas fotovoltaicas

Las celdas fotovoltaicas están formadas por una unión semiconductor P-N de silicio de una gran superficie y un pequeño espesor, similar a la utilizada en los diodos de estado sólido. Cuando la unión P-N se utiliza como generador fotovoltaico el sentido del flujo de electrones es opuesto al que se observa cuando se utiliza como rectificador.

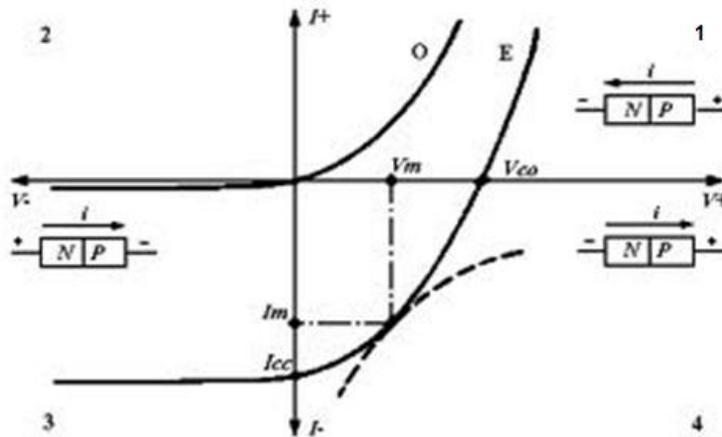
En la transición entre las capas P y N se forma por difusión una capa límite en la que se establece una barrera de potencial. Para lograr un óptimo rendimiento energético, la capa límite deberá encontrarse lo más cerca posible de la superficie expuesta a la luz.

Se fabrican celdas solares circulares y rectangulares de cerca de 100 mm de lado. Estas últimas se emplean cuando se requiere un óptimo aprovechamiento del espacio. Al incidir la luz sobre la celda, una parte de la luz se refleja y la otra penetra en el semiconductor. Los fotones que ingresan con

energía suficiente liberan cada uno un par electrón-hueco. Los portadores de carga liberados se propagan por el cristal mediante difusión o bajo la influencia de un campo eléctrico.

Desde el punto de vista eléctrico, las celdas fotovoltaicas pueden compararse con los diodos de silicio normales.

Figura 35. **Comparación de una celda fotovoltaica y un diodo**



Fuente: ACOSTA, José. Energía Solar: utilización y aprovechamiento, p. 37.

La curva tensión-corriente generada cuando la celda está en la oscuridad (O) resulta ser igual a la de un diodo ordinario, mientras que la curva generada cuando la celda está con determinada iluminación (E) resulta de la traslación de la curva anterior proporcional a la energía luminosa recibida.

Analizando la curva (E) se puede observar, que en el primer cuadrante (1) corresponde al diodo con polarización directa, la gráfica no se traza desde el origen debido a que teniendo una corriente nula el voltaje en los bornes no es

cero (V_{co}). En el tercer cuadrante (3), la curva (O) indica la corriente inversa de fuga en la oscuridad en función de la tensión inversa, mientras que la curva (E) da la variación de esa corriente con la iluminación. Aquí la celda funciona como fotodiodo.

En el cuarto cuadrante (4), la celda funciona como generador de energía, siendo la región de trabajo de las celdas fotovoltaicas. En estas condiciones, la potencia que entrega pasa por un máximo (P_m) para determinados valores de tensión (V_m) y corriente (I_m), fijados en función de la resistencia óptima de carga ($R_m = V_m / I_m$).

En la práctica, las celdas fotovoltaicas trabajan con dificultad fuera del cuarto cuadrante (4), la tensión inversa que pueden soportar es pequeña, lo que obliga a la instalación de un diodo de protección en serie para prevenir daños.

Teniendo celdas fotovoltaicas funcionando en serie, al momento de que una de ellas quede con poca energía solar recibida debido a obstaculización de la misma, la celda solo podrá generar una corriente limitada. Si la carga conectada al panel solar demanda una corriente superior a dicha corriente limitada, provocaría el calentamiento de la celda y se genera un riesgo de ruptura. Para solucionar el calentamiento de la celda se limita la tensión inversa máxima que puede generarse instalando diodos en paralelo, con esto se evita el sobrecalentamiento debido a sombras parciales en la superficie del panel.

Si las celdas se conectan el paralelo y una de ellas queda oscurecida, de forma que solo recibe una parte de la energía solar que llega a las que la rodean, la celda genera una tensión limitada, menor a las celdas restantes en paralelo, lo que también provoca el calentamiento y se genera un riesgo de ruptura. Para solucionar esta dificultad se instalan diodos anti-retorno, para

proteger a las celdas del sobrecalentamiento debido a sombras parciales en la superficie del panel.

Por lo expuesto resulta evidente que es muy importante que los paneles fotovoltaicos no reciban sombras de obstáculos cercanos, ni hacerse sombra mutuamente en cualquier horario o época del año.

Cuando se deseen utilizar celdas fotovoltaicas en instalaciones prácticas, deberán tenerse en cuenta las siguientes características:

- Corriente de cortocircuito I_{cc} : esta magnitud es la corriente que circula con la celda cuando se encuentra en cortocircuito, con una iluminación determinada y fija. El valor es directamente proporcional a la radiación solar admitida.
- Tensión de vacío V_{co} : esta dimensión es la diferencia de voltaje que se encuentra entre los bornes de la celda en ausencia de consumo, con una iluminación fija y a una temperatura determinada. El valor varía muy poco con la intensidad luminosa.
- Corriente óptima I_m : este parámetro es la corriente directa que circula por la celda en el punto de funcionamiento óptimo, teniendo aplicada una carga R_m de valor óptimo.
- Tensión óptima V_m : esta medida es el voltaje que da origen a la corriente óptima, al ser aplicada sobre una carga, elegida de modo que la potencia eléctrica sea máxima.

- Temperatura límite de funcionamiento: en promedio esta temperatura es de 100 grados centígrados.
- Rendimiento η : esta magnitud es la relación entre la energía eléctrica generada y la energía luminosa recibida. El valor es de aproximadamente 18 %, según las especificaciones técnicas de construcción de cada celda. El rendimiento es bajo debido a que en la mayoría la energía luminosa se refleja o se transforma en calor.

El funcionamiento óptimo de la celda se obtiene cuando la radiación solar incide perpendicularmente a la superficie, por tal motivo resulta importante la orientación correcta de las celdas fotovoltaicas.

Figura 36. **Celda fotovoltaica**



Fuente: Todos chile. www.todoschile.cl. Consulta: julio de 2013.

2.2.2. Paneles solares o fotovoltaicos

Los paneles solares o fotovoltaicos son módulos que aprovechan la energía de la radiación solar. Están contruidos por una serie de celdas fotovoltaicas que convierten la radiación solar a energía eléctrica, están protegidas por vidrio, encapsuladas en plástico y todo el módulo instalado en una estructura de soporte.

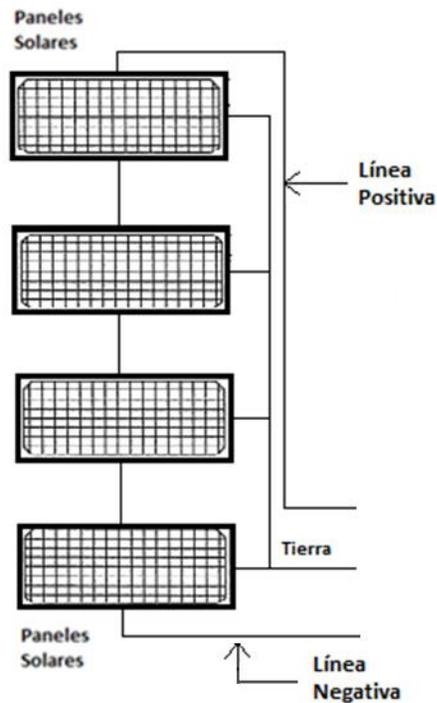
Las aplicaciones más comunes de los papeles fotovoltaicos son: generar energía eléctrica para alimentar una residencia o comercio, vehículos eléctricos y calentadores.

Anteriormente los paneles fotovoltaicos tenían un inconveniente importante, el alto costo económico, para contrarrestar el inconveniente los fabricantes empezaron a utilizar diferentes materiales para la construcción, ya que el costo económico del silicio en el mercado es alto, también elaboraron paneles fotovoltaicos más delgados.

La tendencia en el sector eléctrico es que aumente la demanda de paneles solares en los próximos años, este fenómeno hará que el costo de los mismos disminuya.

Hoy en día se han desarrollado paneles fotovoltaicos que se adaptan a las fachadas de los edificios, techos o terrazas de las residencias o comercios. La nueva tecnología de los paneles permite que cambien de forma, posición o de color, integrándose completamente en las estructuras para ampliar la eficiencia energética.

Figura 37. **Esquema de conexión de paneles fotovoltaicos**



Fuente: elaboración propia, con programa de Paint.

Los módulos de paneles fotovoltaicos deben de cumplir con las siguientes características:

- El panel fotovoltaico debe de llevar en forma visible el modelo, nombre o logotipo de la empresa que lo fabrica, adicional un número de serie que indique la fecha de fabricación.
- Se deben de utilizar módulos que se ajusten a las características técnicas y arquitectónicas según sea el caso del inmueble.

- Los módulos fotovoltaicos deben de tener instalados diodos que se utilizan para protección, los cuales evitan averías en las celdas (normalmente incluidos en los módulos).
- Los marcos laterales deben de ser de aluminio o acero inoxidable.
- La potencia máxima y corriente de cortocircuito deben de tener un margen de $\pm 10 \%$ de los valores nominales que indica el fabricante.
- La estructura del panel fotovoltaico debe conectarse sólidamente a tierra.
- Los módulos fotovoltaicos deben de instalarse por secciones, de tal forma que se pueda incrementar la cantidad de paneles en serie, se instala de ese modo para poder facilitar el mantenimiento o reparación de los paneles.
- Los paneles fotovoltaicos deben de tener la orientación correcta hacia al sol, con el objetivo de disminuir las pérdidas.

Figura 38. **Panel fotovoltaico**



Fuente: Arqhys Arquitectura. www.arqhys.com. Consulta: julio de 2013.

2.2.3. Estructura de soporte

La estructura de soporte de los paneles fotovoltaicos pueden ser de varias formas dependiendo de la arquitectura de la superficie, siendo las más comunes: la utilizada cuando la superficie es de teja y cuando la superficie es plana ya sea en la terraza o en un patio.

Las estructuras de soporte para los paneles fotovoltaicos deberán cumplir con las siguientes condiciones:

- La estructura soporte de módulos fotovoltaicos debe de resistir, con el peso de los módulos instalados, los vientos o algún otro elemento climático.
- La estructura de soporte debe de resistir altas temperaturas, para evitar que el calentamiento de la misma no afecte a los paneles fotovoltaicos.
- Los módulos deben de tener la forma geométrica correcta para que la estructura no sufra flexiones que puedan dañar los paneles fotovoltaicos.
- El diseño de la estructura debe de realizarse para que pueda tener la correcta orientación hacia el sol, teniendo en cuenta la facilidad del montaje y desmontaje del equipo y la posible necesidad de reemplazo o adición de paneles fotovoltaicos.
- El trabajo de perforación con barrenos a la estructura se debe de realizarse antes de proceder al galvanizado o protección de la estructura.

- Los tornillos que se utilizan en la construcción de la estructura deben de ser de acero inoxidable, si la estructura fuera galvanizada se pueden utilizar tornillos galvanizados exceptuando la sujeción entre el módulo y la estructura, que deben de ser de acero inoxidable.
- La estructura de soporte no debe de proyectar sombra sobre los paneles fotovoltaicos.
- La estructura será diseñada para disminuir las necesidades de mantenimiento y prolongar la vida útil.

A continuación se muestra un ejemplo de soportes para módulos fotovoltaicos, en la figura 39 se puede observar un soporte utilizado cuando la superficie es plana en una terraza o patio, los módulos de paneles se unen a la estructura por medio de tornillos, estas estructuras se pueden instalar en serie para poder colocar la cantidad de paneles fotovoltaicos deseados.

Figura 39. **Estructura para módulos fotovoltaicos diseñada para terraza plana o patio**



Fuente: SUA. www.suasolucionesenergeticas.com. Consulta: agosto de 2013.

En las figuras 40a y 40b se muestra el tipo de soporte diseñado para tejados, los módulos se enganchan a unos carriles por medio de piezas deslizantes, el carril debe de instalarse en paralelo al tejado y se fijan a unas piezas que se instalan por debajo de las tejas.

Figura 40. **Estructura de soporte para módulos fotovoltaicos diseñado para tejados**

(a) Vista frontal. (b) Detalle del soporte.



Fuente: Greenest. www.greenestenergy.com. Consulta: agosto de 2013.



Fuente: Solar Web. www.solarweb.net. Consulta: agosto de 2013.

La energía fotovoltaica es la más utilizada en la elaboración de los usuarios Autoprodutores en Guatemala, debido a que los paneles solares son muy eficientes, el costo económico en comparación de las otras formas de generación de energía es bajo y la instalación se adapta de mejor manera a una residencia o comercio.

2.3. Energía eólica

Es la energía obtenida del viento es decir, la energía cinética generada por efecto de las corrientes de aire y que se transforma en energía eléctrica.

La energía eólica es un recurso abundante y renovable, que ayuda a disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero lo cual lo convierte en una energía limpia. El principal inconveniente es la intermitencia del viento. Este tipo de energía se puede utilizar para la elaboración de usuarios Autoprodutores, la residencia o comercio debe de estar ubicada geográficamente en un punto donde el viento sea constante y de gran magnitud.

2.3.1. Perspectiva histórica

La utilización de la energía eólica no es una tecnología nueva, se basa en el redescubrimiento de una larga tradición de sistemas eólicos empíricos. Se utilizó por ejemplo en embarcaciones de vela o en la molienda de granos. Al comienzo de los años 1900 se utilizaron molinos de viento con eje vertical para el bobeo de agua.

La utilización de la energía eólica para la generación de electricidad se realizó en 1887 cuando Charles F. Brush (1849-1929), construyó la primera

turbina eólica para generación de electricidad. Este aerogenerador contaba con un generador de 12 kW, tenía un rotor de 17 metros de diámetro y 144 palas fabricadas en madera de cedro.

Figura 41. **Aerogenerador de 12 kW creado a finales del siglo XIX**



Fuente: Es renovable. <http://esrenovable.blogspot.com>. Consulta: agosto de 2013.

El meteorólogo Danés Poul la Cour (1846-1908) fue el precursor de los modernos aerogeneradores y fue uno de los pioneros en realizar experimentos con el viento ya que construyó el propio túnel de viento. En la década de 1880 nace la industria eoloeléctrica cuando se fabrican las primeras turbinas eólicas o aerogeneradores.

Las centrales eoloeléctricas han mejorado en capacidad, eficiencia e impacto visual. La mejora más importante es el aumento de la cantidad de generación de energía eléctrica. Los primeros aerogeneradores tenían la

capacidad de generar 25 kilowatts hace veinticinco años y actualmente tienen la capacidad de generar en un rango de 750 hasta 2 500 kilowatts (2,5 MW).

Figura 42. **Aerogeneradores modernos**



Fuente: Patria Grande. <http://www.patriagrande.com.ve>. Consulta: agosto de 2013.

2.3.2. El viento como fuente de energía

En varios países la energía eólica ya es una fuente de energía establecida, ya que es energía renovable y ayuda a disminuir la generación de energía eléctrica a base de combustibles fósiles.

La energía eólica es una energía limpia y libre de carbono, siendo una solución atractiva para enfrentar los problemas de contaminación ambiental y alto costo de la energía. En Guatemala hay regiones donde se puede aprovechar el viento para la generación de energía, por ejemplo en Estanzuela, Rodeo San Marcos, finca Samoro Mataquesuintla, finca Durazno en Jutiapa, Santa Catarina Ixtahuacán, puntos donde indica el Ministerio de Energía y Minas son lugares muy buenos para la instalación de generadores eólicos.

2.3.3. Aplicaciones del viento

Entre las aplicaciones más importantes que se le dan al viento están: el bombeo de agua mediante un sistema mecánico, la generación de energía eléctrica a sistemas aislados, como por ejemplo, los usuarios Autoprodutores y la generación de energía eléctrica a gran escala para conectarse al sistema nacional interconectado a través de parques eólicos.

2.3.4. Ventajas

Las ventajas de utilizar energía eólica se listan a continuación:

- Es una energía que no utiliza algún tipo de combustión que produzca dióxido de carbono es una energía limpia.
- No contribuye al efecto invernadero.
- El espacio físico utilizado para la instalación puede ser empleado en conjunto para otros fines, por ejemplo para uso ganadero o en cultivos.
- La instalación es rápida comparada con otras centrales, entre 6 meses y un año.
- Se puede utilizar en conjunto con otros tipos de energía renovable como solar o hidráulica, suministrando energía eléctrica a viviendas, edificios o comercios.
- Existe la posibilidad de construir parques eólicos en el mar, donde los vientos son más fuertes y constantes.

2.3.5. Inconvenientes

Los principales inconvenientes para la energía eólica se describen a continuación:

- No puede ser utilizada como fuente principal de generación de energía eléctrica debido que no se puede garantizar la continuidad de la generación, ya que el viento puede ser intermitente en determinado momento.
- Para la construcción de un parque eólico se necesita una gran extensión de terreno.
- Al tener que utilizar una gran extensión de terreno, los cables de distribución también tendrán que ser extensos, por tal motivo se requerirá que la carga a alimentar este lo más cercana posible.
- Para la operación óptima del aerogenerador se necesita de una velocidad mínima del viento para obtener el movimiento de las aspas, y un límite de velocidad máxima del viento para la generación de la máxima potencia.

2.3.6. El aerogenerador

Es una máquina utilizada para transformar la fuerza de la energía cinética del viento a energía mecánica y luego a energía eléctrica, recibe el nombre de turbina eólica o aerogenerador. Se instala sobre una torre a una altura considerable para aprovechar la velocidad del viento, que aumenta con la altura

respecto al suelo, ubicándola en áreas de terreno donde no haya obstáculos que distorsionen la intensidad del viento.

2.3.6.1. Componentes del aerogenerador

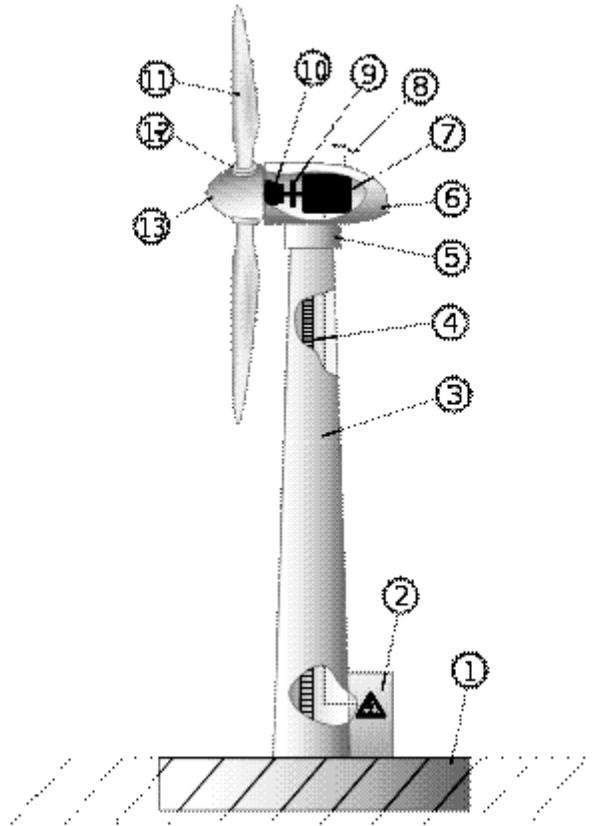
Se ha demostrado que los aerogeneradores con tres aspas de eje horizontal son los idóneos, ya que el rendimiento es inversamente proporcional al número de aspas, debido a que cada aspa frena el movimiento al encontrarse con las turbulencias dejadas por el aspa anterior.

Los dispositivos principales de un aerogenerador se describen a continuación:

- Cimientos
- Conexión a la red eléctrica
- Torre
- Escalera de acceso
- Sistema de orientación
- Góndola
- Generador
- Anemómetro
- Freno
- Caja de cambios
- Pala o aspa
- Inclinación de aspa
- Rueda del rotor

- Torre: tiene como función brindar soporte a la góndola, rotor y aspas, el contorno y la altura de la torre están en función de las características del diseño de la turbina y se fija al terreno a través de una zapata de cimentación.
- Rotor: es el conjunto de aspas y eje que van unidas a través de una pieza denominada buje. Las aspas capturan el viento y transmiten la potencia al buje el cual está conectado a un sistema multiplicador de velocidad dentro de la góndola.
- Aspas: la función principal es capturar la energía proveniente del viento, son parecidas a las alas de un avión con el respectivo diseño para turbinas eólicas.
- Góndola: es la parte fundamental de la turbina ya que posee en el interior el eje de baja velocidad, el multiplicador de velocidad, el eje de alta velocidad, el generador de corriente eléctrica, la unidad de refrigeración, el sistema de control, el freno, el anemómetro y la veleta.
- La veleta y el anemómetro: cuya función es sensar la dirección y velocidad del viento continuamente, para enviar la información al sistema de control y tomar decisiones como por ejemplo: ubicar las aspas en una posición adecuada para captar el viento o para establecer el frenado del aerogenerador.

Figura 43. **Componentes de un aerogenerador**



Fuente: <http://educasitios2008.educ.ar/aula198/aerogeneradores/> esquema de una turbina eólica. Consulta: agosto de 2013.

Por la dimensión de las aspas la turbina se genera una baja velocidad, la cual es amplificada por un juego de engranajes o multiplicador, la nueva velocidad llega al generador que convierte la energía mecánica en energía eléctrica. La potencia generada está en función de las características del aerogenerador.

Existen diferentes tipos de aerogeneradores, la construcción depende de los requerimientos de potencia a generar, se fabrican de eje horizontal y

vertical, siendo los primeros los más utilizados debido a la eficiencia y confiabilidad. La vida útil de estas máquinas es por lo menos de 20 años.

2.3.7. Parques eólicos

Un parque eólico puede estar constituido de uno o varios aerogeneradores, los pequeños sistemas se tratan en la mayoría de sistemas de generación aislada con aprovechamiento directo de la energía, utilizando aerogeneradores de baja potencia. Para grandes parques eólicos donde se aprovecha al máximo el recurso natural del viento se utilizan aerogeneradores de gran potencia, que se conectan a la red de energía eléctrica.

Para el diseño de un parque eólico se necesitan tomar en consideración la ubicación de la red de energía eléctrica, la viabilidad económica, impacto ambiental y el requerimiento de potencia máxima. Las turbinas se deben de instalar a cierta distancia una de la otra ya que las aspas generan turbulencias. A medida que el terreno lo permita, la separación entre turbinas debe de ser de 5 a 9 diámetros del rotor en la dirección de los vientos dominantes y de 3 a 5 diámetros del rotor en la dirección perpendicular a los vientos dominantes. La selección técnica de una turbina se realiza con base en la relación existente entre la potencia eléctrica que genera y el tamaño de los componentes, rotor y torre.

2.3.8. Impacto ambiental

El impacto ambiental que produce un aerogenerador es que contamina el paisaje de la región y principalmente cuando el sol se encuentra detrás de la turbina genera una sombra parpadeante denominada efecto discoteca que puede afectar a las viviendas cercanas.

2.4. Energía hidráulica

Se denomina energía hidráulica a aquella que se obtiene del aprovechamiento de las energías cinética y potencial de la corriente del agua. Se puede transformar a diferentes escalas, desde la corriente de un río que provoca movimiento de molinos con aspas, hasta las centrales hidroeléctricas que utilizan presas para el funcionamiento.

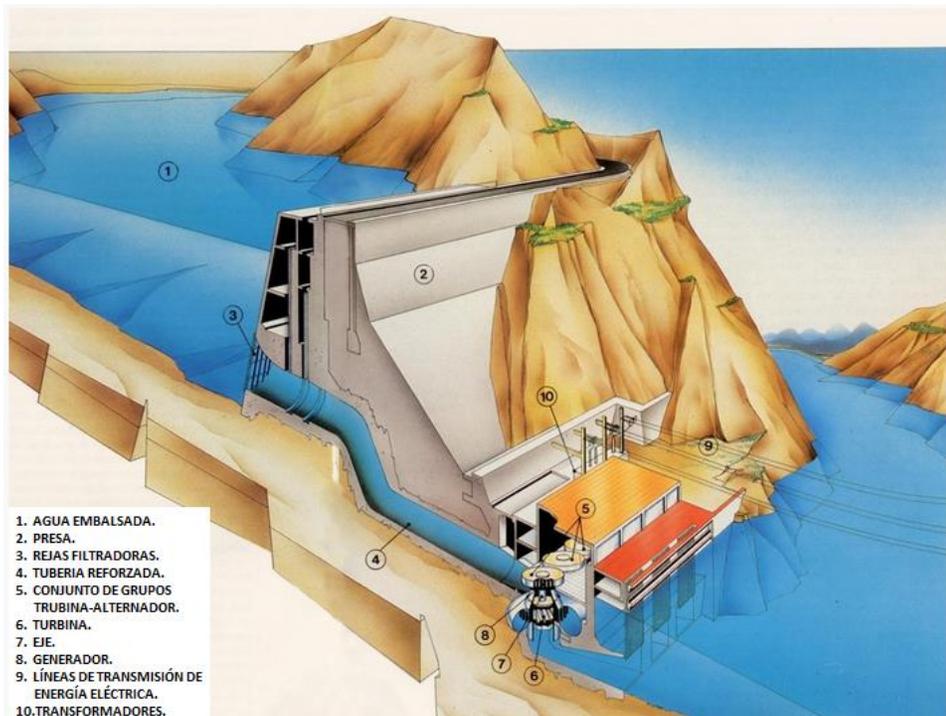
2.4.1. Central hidroeléctrica

Una hidroeléctrica es la infraestructura que aprovecha la energía potencial del agua utilizando un caudal y una caída de agua existente en un río para generar energía eléctrica. Las centrales hidroeléctricas necesitan un gran embalse de agua contenido por una presa.

Las centrales dependen de un gran embalse de agua contenido por una presa, el caudal de agua se monitorea y se trata de que sea constante, el agua se vierte por tuberías que llegan a la turbina correspondiente, la cual hace girar al generador ubicado encima de ella.

El diseño de las turbinas depende del caudal de agua; las turbinas Francis se emplean para caudales grandes y saltos medios y bajos y las turbinas Pelton para grandes saltos y pequeños caudales.

Figura 46. **Central hidroeléctrica**



Fuente: mailxmail. www.emagister.com. Consulta: agosto de 2013.

2.4.1.1. Funcionamiento básico de una central hidroeléctrica

La central hidroeléctrica es utilizada para la generación de energía eléctrica mediante el aprovechamiento de la energía potencial del agua embalsada en una presa situada a un mayor nivel de la sala de máquinas; el agua es llevada por una tubería a la sala de máquinas donde, mediante turbinas

hidráulicas se produce la generación de energía eléctrica al mover los generadores. Este tipo de centrales generadoras convierte energía potencial, concentrada en un embalse para luego convertirla en energía cinética, provocando energía mecánica en el eje y finalmente convirtiéndola en energía eléctrica.

Figura 47. **Central hidroeléctrica Chixoy en Guatemala**



Fuente: El Periódico. www.elperiodico.com.gt. Consulta: agosto de 2013.

2.4.1.2. Aprovechamiento hidráulico

La eficiencia del aprovechamiento hidráulico se encuentra en los siguientes aspectos importantes.

2.4.1.2.1. Obtención de desnivel

Se refiere a la diferencia de altura que hay entre el embalse de agua y donde se encuentra instalada la turbina, también se le conoce como salto hidráulico y las formas de realizarlo serán descritas a continuación.

- Mediante canal de derivación y tubería forzada

Se instala en la cuenca del río para el aprovechamiento del salto natural derivando en un canal que llega a lo que se conoce como cámara de carga, la cual se utiliza para nivelar las fluctuaciones de nivel o golpes de ariete de la presa hasta llegar a la boca toma, que es la boca del tubo de conducción de agua. Se usa principalmente para turbinas tipo Pelton.

- Mediante una presa

Es utilizada principalmente en plantas generadoras con turbinas de reacción. Consiste en una estructura que puede ser construida de hormigón que atrapa el agua de un río en un valle que no tiene mayor salto hidráulico, este se acopla directamente con la entrada del distribuidor de absorción de las turbinas o la turbina; estas centrales con este tipo de estructuras se llama centrales a pie de presa con montaje de turbinas del tipo Francis y Kaplan.

- Mediante una combinación de ambos

Es una mezcla utilizada para generadores de gran tamaño que por lo general son de regulación anual o multianual.

2.4.1.3. Clasificaciones de las centrales hidroeléctricas

Estas se clasifican de acuerdo al salto del agua, tal y como se expone a continuación.

2.4.1.3.1. Según el salto de agua

Las centrales pueden ser:

- Alta presión aquellas con saltos grandes (más de 200 m.), con caudales pequeños aproximadamente de (20 m³/s), poseen una tubería de gran longitud y se ubican en zonas de alta montaña.
- Media presión aquellas con saltos medios (entre 20-200 m.), con caudales medios (200 m³/s) y debe contar con embalses grandes.
- Baja presión aquellas con saltos pequeños (menos de 20 m.) y caudales grandes (más de 300 m³/s), territorialmente se ubican en valles amplios de baja montaña.

2.4.1.3.2. Según el correr del agua

Central de agua fluyente:

- Cuenta con una muy pequeña presa, de casi filo de agua.
- Alto factor de consumo de volumen de agua por MW generado.
- Dependencia de las condiciones de invierno o verano para el nivel de potencia.

Central de agua embalsada:

- Regulación de potencia dependiendo de la demanda
- Bajo consumo de volumen de agua por MW generado
- Posibilidad de piquear a cualquier hora
- Poseen presas de gran tamaño

Central de bombeo:

- Utiliza un embalse normal y también usa el desfogue como embalse a bombear.
- Potencia en horas pico turbinado y en poca demanda como bombeo.
- Factor de utilización relativo, solo central de piqueo.
- Arranque muy cortos como toda central de este tipo.

2.4.1.4. Partes de una central hidroeléctrica

Una central hidroeléctrica tiene partes fundamentales para el funcionamiento óptimo de la producción de energía eléctrica.

2.4.1.4.1. Toma o bocatoma

La bocatoma es una estructura hidráulica destinada a derivar desde un río o embalse, una parte del agua, en los embalses se encuentra en la parte inferior. Además se utiliza para regular la cantidad de agua que llega a las turbinas, poseen unas rejillas metálicas que impiden que elementos extraños como troncos, ramas, etc. puedan llegar a las turbinas y producir algún inconveniente.

2.4.1.4.2. Conducciones

El canal de conducción es un medio destinado a derivar parte o la totalidad del caudal de agua. Regularmente comprende el tramo de la toma de agua a la cámara de carga de las turbinas. Los canales pueden ser naturales o estructuras hidráulicas.

2.4.1.4.3. Cámara de carga

Es un depósito de agua localizado al final del canal de conducción, en algunos casos se utiliza como depósito de regulación, tiene como capacidad el volumen necesario de agua que es necesario para el arranque de la turbina.

2.4.1.4.4. Tubería forzada

La tubería forzada es la encargada de llevar el agua del embalse hasta el ingreso a las turbinas. El diseño debe de soportar la presión que produce la corriente de agua. La instalación de las tuberías puede ser aérea o subterránea. El diámetro se calcula en función del caudal.

2.4.1.4.5. Válvula

Una válvula hidráulica es un mecanismo que sirve para regular el flujo de agua. Se instalan en el interior de la tubería forzada.

Clasificación de las válvulas según el diseño:

- Válvula tipo mariposa
- Válvula esférica

2.4.1.4.6. Turbina

La turbina hidráulica es una turbo máquina motora, que aprovecha la energía de un fluido de agua pasa a través de ella para producir un movimiento de rotación que se transfiere mediante un eje al generador que transforma la energía mecánica en eléctrica.

Entre los tipos de turbinas hidráulicas más conocidas, se encuentran:

- Pelton
- Francis
- Kaplan

Figura 48. **Turbina Pelton**



Fuente: Cmchydro. www.cmchydro.es. Consulta: agosto de 2013

Figura 49. **Turbina Francis**



Fuente: Hydro Québec. www.hydroquebec.com/learning/hydroelectricite/types-turbines.html.

Consulta: agosto de 2013

Figura 50. **Turbina Kaplan**



Fuente: Hydro Québec. www.hydroquebec.com/learning/hydroelectricite/types-turbines.html.

Consulta: agosto de 2013

La clasificación, de acuerdo con el cambio de presión en el rodete o el grado de reacción, es:

- Turbinas de acción

- Turbinas de reacción

2.4.1.4.7. Generador

Es la máquina que transforma la energía mecánica de rotación de la turbina en energía eléctrica. El generador se sincroniza con la red igualando previamente a la conexión, los voltajes, la frecuencia, el faseo y el sentido de rotación. El generador más utilizado es el generador síncrono.

2.4.1.4.8. Subestación elevadora

Subsiguiente a la casa de máquinas, está instalado un transformador encargado de elevar el voltaje, las barras y los dispositivos de protección instalados antes de la salida de las líneas de transmisión, que conformarán la subestación elevadora. En la subestación se encuentran los equipos que permiten la conexión entre la hidroeléctrica y la red de transmisión de energía.

3. AUTOPRODUCTORES CON EXCEDENTE DE ENERGÍA ELÉCTRICA

El usuario Autoprodutor con excedente de energía eléctrica surge por la necesidad de cambiar las formas de generación de energía, actualmente la mayoría de la generación se da por medio de combustibles fósiles, siendo nocivo al medio ambiente. El Autoprodutor genera energía eléctrica que no produce contaminación al medio ambiente.

El alto costo económico de la energía eléctrica que se consume en las residencias o en los comercios es otro motivo que impulsa al surgimiento del usuario Autoprodutor. El precio de la energía eléctrica que suministran las empresas distribuidoras es alto y la tendencia es que siga en aumento si no se cambia la matriz energética.

El Autoprodutor es un sistema de generación de energía eléctrica que utiliza energía renovable para el funcionamiento, captando la energía de diversas formas, como por ejemplo: por medio de paneles solares, aerogeneradores etc. El equipo que utiliza para el funcionamiento debe de cumplir con normas de calidad y protección.

Con el usuario Autoprodutor se pretende generar energía eléctrica para inyectar a la red de distribución, con el objetivo de nivelar u obtener excedente de energía y así poder disminuir el pago de la misma al mínimo costo.

A continuación se describe el marco regulatorio para los usuarios Autoprodutores.

3.1. Marco regulatorio concebido por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica de Guatemala

El dieciséis de septiembre del año dos mil ocho la Comisión Nacional de Energía Eléctrica de Guatemala emite la resolución No. 171-2008, la cual contiene la norma técnica para la conexión, operación, control y comercialización de la generación distribuida renovable y de usuarios Autoprodutores con excedentes de energía.

Esta resolución No. 171-2008 surgió como necesidad, por la alta contaminación emitida por los generadores de energía eléctrica que utilizan combustibles fósiles para el funcionamiento y asimismo por el alto costo económico en la compra de energía eléctrica sea por el sector residencial, industrial o grandes usuarios.

Con esta medida se incentiva a generar inversiones para la construcción de instalaciones que generen energía eléctrica renovable, teniendo en consideración el gran potencial existente en el país Guatemala, por la geografía del mismo y por tener un clima conveniente para la producción de energía renovable.

La resolución indica los pasos a seguir para poder obtener la conexión del sistema de generación renovable, así como la óptima operación, un eficiente control y la comercialización de la misma.

La norma tiene como objetivo regular dos tipos de usuarios que utilizarán energía renovable para satisfacer las necesidades de consumo de energía eléctrica o comercialización. Los dos usuarios son los siguientes:

3.1.1. Generador Distribuido Renovable

El usuario Generador Distribuido Renovable (GDR) es la persona individual o jurídica que posee instalaciones con el fin de generar energía eléctrica utilizando recursos renovables para participar en el mercado mayorista y poder realizar transacciones de energía.

Los Generadores Distribuidos Renovables poseen características técnicas y comerciales que los distinguen de los generadores tradicionales de energía eléctrica, adicional tienen derechos adquiridos y obligaciones que cumplir ante la Comisión Nacional de Energía Eléctrica.

3.1.1.1. Características técnicas y comerciales del usuario GDR

Los Generadores Distribuidos Renovables cumplen con la función de generar energía eléctrica y por la particularidad poseen ciertas características que se detallan a continuación:

- Generar energía eléctrica utilizando recursos renovables para el funcionamiento.
- La energía eléctrica generada tiene un menor costo económico con respecto a la energía eléctrica generada utilizando combustibles fósiles.
- Vender energía eléctrica generada a las empresas distribuidoras o en el mercado mayorista en calidad de participante productor de energía.

- Conforme a la ley general de electricidad los GRD no deben pagar peaje al distribuidor por realizar la función de transportista, únicamente pagará peaje en los casos de que haya comprometido la producción de energía bajo contrato.

El Generador Distribuido Renovable tiene diferentes características técnicas que el Autoprodutor con excedente de energía.

El GRD genera energía a una gran escala, por tal motivo se debe de enlazar a la red de distribución por medio de las líneas de media tensión, las protecciones deben de diseñarse de modo que soporte los niveles altos de corriente y voltaje y la potencia máxima generada es de un valor alto.

El Autoprodutor con excedente de energía genera energía a una pequeña escala, enlazándose a la red de distribución por medio de las líneas de baja tensión, las protecciones son más sencillas debido al bajo nivel de voltaje y corriente que genera y la potencia máxima generada es de un valor bajo.

3.1.1.2. Derechos y obligaciones del usuario GDR

Los Generadores Distribuidos Renovables poseen derechos y obligaciones que deben cumplir ante la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE), Empresa distribuidora de energía eléctrica y ante el Administrador del Mercado Mayorista (AMM), las cuales se describen a continuación:

- Requerir a la empresa distribuidora la solicitud de dictamen de capacidad de la red de distribución y conexión del sistema de generación renovable.

- Realizar contratos de suministro de energía a las empresas distribuidoras o elaborar contratos de venta de energía dentro del mercado mayorista.
- Proveer de materiales, equipos y la construcción de línea de energía eléctrica que enlazará el GDR al punto de conexión a la red de distribución.
- Es responsable de la operación y mantenimiento de las instalaciones eléctricas internas propias.
- Cumplir con las tolerancias permitidas por los indicadores de calidad de energía constituidos en las Normas Técnicas del Servicio de Distribución.
- Tiene que proveer, instalar y dar mantenimiento correspondiente a los dispositivos que se utilizan para la protección y desconexión del sistema de generación renovable.

3.1.2. Autoproductores con excedentes de energía

El Autoprodutor con excedente de energía es un usuario de la red de distribución que en las instalaciones posee un sistema de generación de energía eléctrica, que utiliza recursos renovables para el funcionamiento. Este es el usuario en el cual se basa este trabajo de graduación.

En la resolución No. 171-2008 se hace referencia a este tipo de usuarios en el título IV, capítulo IV y artículos No. 35, 36 y 37. Los cuales se describen a continuación.

3.1.2.1. Artículo 35. Autorización para usuarios Autoprodutores con Excedentes de Energía

El artículo 35 indica textualmente lo siguiente:

En el caso de usuarios Autoprodutores que cuenten dentro de las instalaciones de consumo con excedentes de energía renovable para inyectarla al Sistema de Distribución, pero que manifiesten expresamente que no desean participar como vendedores de energía eléctrica, deberán informar al Distribuidor involucrado de tal situación, por medio del formulario correspondiente. Cumpliendo este requisito podrán operar en esta modalidad. Estos usuarios no requerirán de autorización alguna; sin embargo, deberán instalar los medios de protección, control y desconexión automática apropiados que garanticen que no podrán inyectar energía eléctrica al Sistema de Distribución ante fallas de éste o cuando el voltaje de la red de distribución se encuentre fuera de las tolerancias establecidas de las NTSD.

La interpretación del artículo indica que el usuario Autoprodutor puede generar energía eléctrica e inyectarla al sistema de distribución, si existiera un excedente de energía eléctrica no se permite que sea comercializada. El usuario debe de informar a la empresa distribuidora de la localidad por medio de un formulario, donde se indican los datos técnicos y comerciales, que desea ser un usuario Autoprodutor.

Adicional cuando la red de distribución de energía eléctrica no opere con normalidad y deje de suministrar energía eléctrica a los usuarios por un determinado tiempo, ya sea por mantenimiento, operación o fallos en la misma, el Autoprodutor deberá de desconectarse automáticamente de la red.

Por lo que el usuario Autoprodutor debe de instalar los equipos de protección adecuados para la capacidad de suministro en kilowatts del sistema de generación, además tener equipo para el seguimiento y control del mismo. El equipo de protección debe de operar cuando se presente alguna de las siguientes fallas:

- Pérdida de fase
- Desbalance de frecuencia
- Desbalance de voltaje
- Desbalance de corriente

En la figura siguiente se muestran las tolerancias para la regulación de tensión permitidas por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica de Guatemala.

Figura 51. Tolerancias para la regulación de tensión

| Tension | Tolerancia Admisible Respecto del Valor Nominal, en % | | | | | |
|---------|---|----------------|---|----------------|--------------------------------|----------------|
| | Etapa | | | | | |
| | Transición | | Régimen A partir del mes 1 hasta el 12 | | Régimen A partir del mes 13 | |
| | Servicio Urbano | Servicio Rural | Servicio Urbano | Servicio Rural | Servicio Urbano | Servicio Rural |
| Baja | 12 | 15 | 10 | 12 | 8 | 10 |
| Media | 10 | 13 | 8 | 10 | 6 | 7 |
| Alta | Transición | | Régimen A partir del mes 1 hasta el 12 | | Régimen A partir del mes 13 | |
| | 7 | | 6 | | 5 | |

Fuente: CNEE. Compendio de Normas Técnicas. p. 37.

A continuación se muestra un ejemplo de regulación de tensión, tomando como referencia un Autoproducer instalado en una residencia.

Ejemplo 1. El distribuidor suministra el servicio de energía eléctrica a una residencia en la ciudad capital de Guatemala, el valor de tensión de la red de distribución es de 120/240 V. El usuario es un Autoproducer y tiene un valor de tensión en la salida de 105/225 V. ¿Considera que el usuario Autoproducer se desconectará de la red de distribución?

Tabla VI. **Niveles de tensión del sistema de distribución y del Autoproducer**

| Nivel de tensión del distribuidor | Nivel de tensión del Autoproducer | Tolerancia admisible para un servicio urbano |
|-----------------------------------|-----------------------------------|--|
| 120/240 V | 105/225 V | 8% |

Fuente: elaboración propia, con programa de Microsoft Excel.

Si el voltaje 120/240 se toma como referencia, se le da el valor de 100 %, por tal motivo el voltaje 105/225 tiene un valor del 87,5 %. La diferencia de los dos porcentajes obtenidos es de 12,5 %

Tabla VII. **Diferencia del nivel de tensión**

| Voltaje de referencia 120/240 V | Voltaje 105/225 | Diferencia de porcentajes |
|---------------------------------|-----------------|---------------------------|
| 100% | 87,5% | 12,5% |

Fuente: elaboración propia, con programa de Microsoft Excel.

El usuario Autoprodutor tiene un porcentaje de 12,5 de diferencia con respecto a la tensión de la red de distribución y la tolerancia admisible es de 8 %. Por tal motivo debe de accionarse la protección de desbalance de voltaje y desconectar el usuario Autoprodutor de la red de distribución.

Nota: la legislación regula a las distribuidoras a los valores de tolerancia de la figura 51, hay que tener en cuenta que el equipo de generación puede tener diferentes parámetros de operación dependiendo del constructor del equipo.

3.1.2.2. Artículo 36. Sistema de medición para usuarios Autoprodutores con Excedentes de Energía

El artículo 36 indica textualmente lo siguiente:

El sistema de medición de energía eléctrica de las instalaciones de un Usuario Autoprodutor con Excedentes de Energía deberá tener la característica de medición, registro y lectura en forma bidireccional o de inyectores y retiros de energía. En el caso de Usuarios regulados, el suministro e instalación del medidor respectivo lo cubrirá el Distribuidor; mientras que los Grandes Usuarios son responsables del sistema de medición.

La interpretación del artículo indica que los usuarios Autoprodutores con excedentes de energía eléctrica, utilizan un sistema de medición de la energía diferente a la de un usuario residencial o comercial convencional. Utilizando un medidor bidireccional los cuales son capaces de medir la energía eléctrica en dos direcciones, en los medidores analógicos se pueden observar de una mejor manera ya que se observa como el disco que contiene en el interior gira en los

dos sentidos, si el usuario está consumiendo energía el disco gira para la derecha y si el usuario está generando energía el disco gira a la izquierda.

Los usuarios que estén regulados por la empresa de distribución de la respectiva localidad, tienen el beneficio que el suministro y la instalación del sistema de medición corren por cuenta de la empresa distribuidora, mientras que los grandes usuarios son los encargados del suministro e instalación del propio sistema de medición y deben de cumplir con otras normas regulatorias como las del AMM (Administrador del Mercado Mayorista).

3.1.2.3. Artículo 37. Lectura y crédito por energía inyectada al Sistema de Distribución por parte de usuarios Autoprodutores con Excedentes de Energía (“Net metering”)

El artículo 37 indica textualmente lo siguiente:

Los Usuarios Autoprodutores con Excedentes de Energía no recibirán ningún tipo de pago por la energía eléctrica inyectada al Sistema de Distribución. Para efectos de la facturación mensual del Usuario, el Distribuidor leerá cada mes los registros del medidor correspondiente; si la medición neta del mes corresponde a un consumo de energía, cobrará dicho consumo al Usuario, de conformidad con la tarifa que le corresponda; por el contrario, si la medición neta corresponde a una inyección de energía del Usuario hacia el Sistema de Distribución, el Distribuidor se la reconocerá como crédito de energía a favor del Usuario, con liquidación trimestral. No obstante, en el caso de inyección, el Distribuidor cobrará el Cargo Fijo y el Cargo por Potencia que le sean aplicables a casa Usuario, según la tarifa correspondiente.

La interpretación del artículo indica que la empresa distribuidora de la localidad es la encargada de la facturación de energía eléctrica del usuario Autoproducer cada mes, para tener el control de regulación y facturación mensualmente.

Si la medición indica que existe un consumo de energía eléctrica neta, la empresa distribuidora cobrará dicho monto de energía al usuario, de conformidad con el pliego tarifario emitido trimestralmente por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica de Guatemala.

Por el contrario si la medición neta de energía eléctrica indica una inyección de energía a la red de distribución por parte del usuario Autoproducer, el distribuidor tiene la obligación de reconocerle dicha energía como un crédito a favor del usuario con liquidación trimestral.

El usuario al tener un excedente de energía obtiene un crédito el cual lo puede utilizar en el transcurso de tres meses, ya que al tercer mes el crédito de energía eléctrica se vuelve cero.

Se debe de tomar en cuenta que el usuario Autoproducer con excedente de energía no recibirá por parte de la empresa distribuidora ningún pago económico por la energía inyectada a la red de distribución. Este artículo menciona que la empresa distribuidora debe de cobrar el cargo fijo y el cargo por potencia del usuario, de conformidad con el pliego tarifario.

3.2. Aspectos a verificar para la autorización del usuario Autoproducer con excedente de energía eléctrica

Cada empresa distribuidora de energía eléctrica debe de contar con un procedimiento y requisitos, para brindar la autorización de conectarse al sistema eléctrico de distribución al usuario Autoproducer con excedente de energía.

Todo interesado que requiera ser un usuario Autoproducer deberá de cumplir con el procedimiento de conexión que se requiera, esto con el fin de tener regulados a todos los usuarios que estén generando un excedente de energía eléctrica en las viviendas o bien en los comercios. Con la finalidad de garantizar la seguridad de la instalación eléctrica interna del usuario y de la red eléctrica de la empresa distribuidora, teniendo el registro del consumo y generación de energía eléctrica mensual, para establecer el monto económico de la factura del servicio de energía.

La CNEE posee y pública los formularios aprobados para solicitar la conexión del usuario Autoproducer, el usuario debe de llenar debidamente el formulario y presentarse a la empresa distribuidora que le corresponda a entregar el mismo, como lo indica el artículo 35 capítulo IV de la resolución No. 171-2008 emitida por la CNEE.

Los formularios autorizados por las dos principales empresas distribuidoras de energía eléctrica en Guatemala (EEGSA y Energuate) se pueden observar en los anexos H e I.

3.2.1. Aspectos técnicos a tomar en cuenta en la autorización de un usuario Autoproductor

Se propone que las empresas distribuidoras de energía eléctrica tomen en cuenta los siguientes aspectos técnicos para la aprobación de los usuarios Autoproductores:

- Revisar que el equipo cumpla con normas internacionales, ya que esto implica que el fabricante haya realizado pruebas que garanticen el funcionamiento del equipo, por ejemplo que cumplan con la norma IEEE 1547, IEEE 929 y UL 1741.
- Solicitar los certificados de cumplimiento de pruebas de los paneles fotovoltaicos y de los inversores de energía, ver anexo J.
- Realizar pruebas del funcionamiento del sistema de generación de energía renovable, tomando datos del consumo y generación de energía eléctrica.
- Revisar las protecciones del equipo de generación y de las instalaciones de baja tensión de la residencia o comercio.
- Realizar pruebas de campo verificando los siguientes aspectos técnicos:
 - Desbalance de frecuencia
 - Desbalance de voltaje
 - Desbalance de corriente
 - Red de tierras

- Verificar que la capacidad de potencia de los paneles solares en kW no sobrepase la capacidad del inversor, ya que el inversor podría dañarse o disminuir la vida útil.
- Comprobar que después de un corte de energía eléctrica el sistema de generación funcione nuevamente, sincronizando los valores de frecuencia y voltaje con el sistema de la red local.
- Verificar que el sistema de generación de energía renovable se desconecte automáticamente cuando no haya suministro de energía eléctrica por medio de la red de distribución.

El fenómeno eléctrico denominado isla se produce cuando el usuario Autoproducer continúa energizando la red, después de que por fallas de la red de distribución o por mantenimiento quede desenergizada.

Si el usuario Autoproducer trabajará en isla, se debe de instalar una transferencia automática con el fin de aislar la generación de energía renovable de la red de distribución, estando en isla el usuario Autoproducer puede utilizar un banco de baterías para poder seguir obteniendo energía eléctrica.

Así mismo se propone que los usuarios Autoproducer verifiquen los siguientes aspectos técnicos en las instalaciones antes y después de ser autorizados:

- Verificar que el medidor de energía eléctrica instalado por la empresa distribuidora registre la inyección de energía a la red eléctrica, proporcionado por el sistema Autoproducer.

- Revisar el perfecto funcionamiento de la instalación eléctrica interna de la residencia o comercio (tablero de distribución, red de tierras y el buen estado del cable).
- No sobrepasar la capacidad de carga del inversor, ya que esto podría ocasionar daño en el equipo.
- Realizar un mantenimiento periódico cada año a los paneles fotovoltaicos.
- Verificación de campo de toda la instalación eléctrica incluyendo inversor de energía, paneles fotovoltaicos, tablero de distribución y cableado de baja tensión cada dos años. Adicional tomar mediciones de voltaje y frecuencia.

3.3. Normas y diseño de un Autoproducer con excedente de energía eléctrica

Es importante conocer los aspectos técnicos normados por las instituciones que se dedican al desarrollo del equipo eléctrico. A continuación se describen las normas que regulan los inversores de energía eléctrica utilizados en los Autoproduceres.

3.3.1. Norma IEEE 1547

La normativa IEEE 1547 indica los requisitos relevantes para el desempeño, operación, seguridad y mantenimiento de la interconexión entre un sistema de generación de energía renovable con un sistema de distribución de energía eléctrica.

Los parámetros de voltaje y frecuencia especificados en la norma hacen referencia al punto de acoplamiento del Autoproducer a la red de distribución de energía eléctrica.

El inversor de energía eléctrica debe de registrar los valores de voltaje del Autoproducer y compararlo con el voltaje del sistema de distribución, si el rango de variación sale de los límites permitidos, el inversor debe de desconectar el sistema de generación. En la figura siguiente se muestra el tiempo de desconexión del sistema de generación según el porcentaje de variación de voltaje.

Figura 52. **Tiempo de desconexión del Autoproducer cuando el voltaje se encuentra fuera de la tolerancia ($\pm 10\%$)**

| Voltage range (% of base voltage) | Clearing time(s) |
|---------------------------------------|------------------|
| $V < 50$ | 0.16 |
| $50 \leq V < 88$ | 2.00 |
| $110 < V < 120$ | 1.00 |
| $V \geq 120$ | 0.16 |

Fuente: IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems.
Norma técnica IEEE. p. 8.

El inversor de energía eléctrica debe de registrar los valores de frecuencia del Autoproducer y compararlo con la frecuencia del sistema de distribución, si el rango de variación sobrepasa los límites permitidos, el inversor debe de desconectar el sistema de generación. En la figura 53 se muestra el tiempo de desconexión del sistema de generación según el porcentaje de variación de frecuencia.

Figura 53. **Tiempo de desconexión del Autoprodutor en frecuencia fuera de tolerancia ($\pm 3\%$)**

| DR size | Frequency range (Hz) | Clearing time(s) |
|--------------|---|------------------------|
| ≤ 30 kW | > 60.5 | 0.16 |
| | < 59.3 | 0.16 |
| > 30 kW | > 60.5 | 0.16 |
| | $< \{59.8 - 57.0\}$ (adjustable set point) | Adjustable 0.16 to 300 |
| | < 57.0 | 0.16 |

Fuente: IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems.
Norma técnica IEEE. p. 9.

El inversor debe de registrar la distorsión armónica generada por el sistema de generación de energía renovable, la cual inyecta al sistema de distribución eléctrica local. La distorsión armónica no debe de sobrepasar el límite permitido y que puede ocasionar daños en el equipo interno de la instalación. En la figura siguiente se muestra los porcentajes de armónicas permitidos a un Autoprodutor.

Figura 54. **Porcentaje de armónicas permitido a un sistema de generación de energía renovable**

| Individual harmonic order h (odd harmonics) | $h < 11$ | $11 \leq h < 17$ | $17 \leq h < 23$ | $23 \leq h < 35$ | $35 \leq h$ | Total demand distortion (TDD) |
|---|----------|------------------|------------------|------------------|-------------|-------------------------------|
| Percent (%) | 4.0 | 2.0 | 1.5 | 0.6 | 0.3 | 5.0 |

Fuente: IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems.
Norma técnica IEEE. p. 10.

A continuación se muestran los parámetros de variación de frecuencia, voltaje y ángulo de fase requeridos para la interconexión de un sistema de generación de energía renovable y un sistema de distribución eléctrica.

Figura 55. **Parámetros de conexión de un Autoproductor**

| Aggregate rating of DR units (kVA) | Frequency difference (Δf , Hz) | Voltage difference (ΔV , %) | Phase angle difference ($\Delta \Phi$, °) |
|------------------------------------|---|--------------------------------------|---|
| 0 – 500 | 0.3 | 10 | 20 |
| > 500 – 1 500 | 0.2 | 5 | 15 |
| > 1 500 – 10 000 | 0.1 | 3 | 10 |

Fuente: IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems.

Norma técnica IEEE. p. 12.

Al momento que un Autoproductor salga de funcionamiento el inversor de energía eléctrica debe de comparar los valores de frecuencia y voltaje, para interconectar los dos sistemas nuevamente. Para realizar la maniobra, la frecuencia debe de estar en el rango de $\pm 3\%$ y el voltaje en un rango de $\pm 10\%$ de los valores nominales.

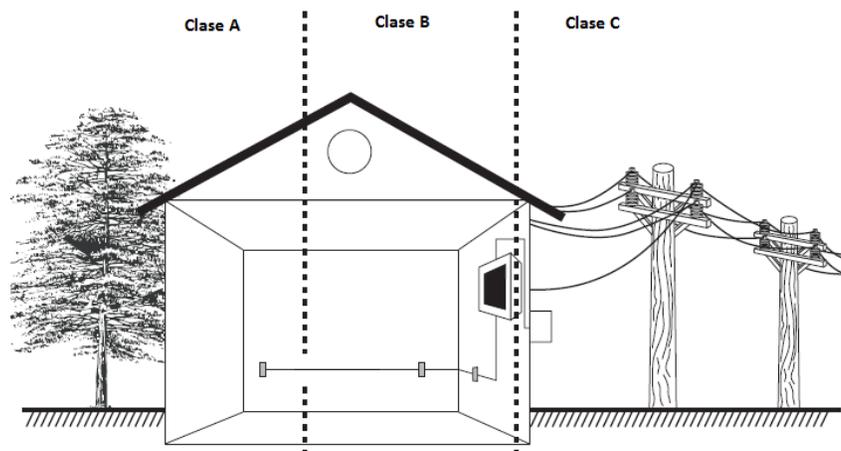
3.3.2. Norma IEEE C62.41.2

Esta norma detalla las pruebas realizadas al equipo para observar el funcionamiento cuando ocurren sobretensiones en las instalaciones de baja tensión (menor a los 1000 voltios). Adicional la normativa indica las sobretensiones típicas y las protecciones a utilizar.

La instalación eléctrica se divide en tres segmentos para la aplicación de las protecciones de sobretensión:

- Clase A, contactos y equipos conectados a los tomacorrientes
- Clase B, tableros de distribución
- Clase C, acometida eléctrica y líneas de distribución

Figura 56. **Categorías de una instalación de baja tensión según IEEE C62.41.2**



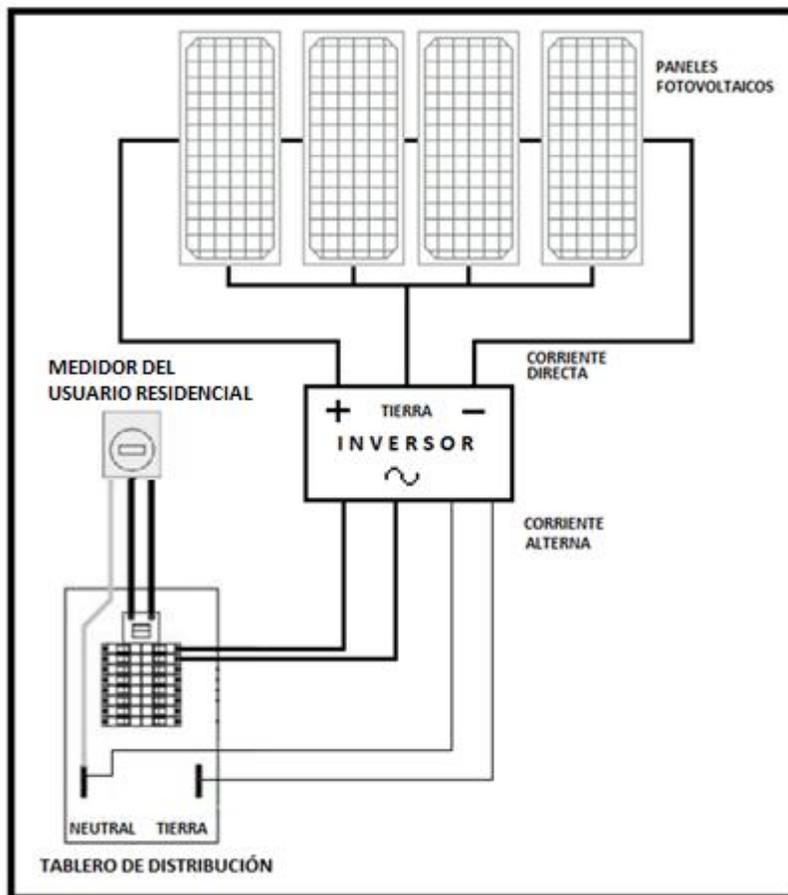
Fuente: Eaton's guide to surge suppression. Eaton Powering Business Worldwide.
www.eaton.com. Consulta: octubre de 2013

3.3.3. **Diseño eléctrico de un usuario Autoprodutor con excedente de energía**

El diseño eléctrico es un esquema o bosquejo donde se visualiza en forma gráfica los dispositivos, valores y configuraciones que se utilizan para una solución eléctrica, buscando obtener un funcionamiento óptimo de algún

sistema. En este trabajo de graduación se sugiere un diseño eléctrico de un equipo de generación de energía renovable basado en paneles fotovoltaicos, para utilizarse como un usuario Autoprodutor con excedente de energía ya que en Guatemala es el sistema de generación renovable más utilizado.

Figura 57. **Conexión eléctrica de un usuario Autoprodutor con excedente de energía utilizando paneles fotovoltaicos**



Fuente: elaboración propia, con programa de Microsoft Paint.

El diseño eléctrico del sistema de generación de energía renovable varía dependiendo de las necesidades del usuario, si el usuario necesita una capacidad grande de kilowatts se deberá dimensionar la capacidad adecuada del inversor, de las protecciones y del equipo para generar energía renovable. Si es energía generada por paneles fotovoltaicos se tendrá que calcular la cantidad de los mismos para cumplir con la demanda de potencia requerida.

3.3.3.1. Sistema de generación de energía eléctrica del usuario Autoproduccion

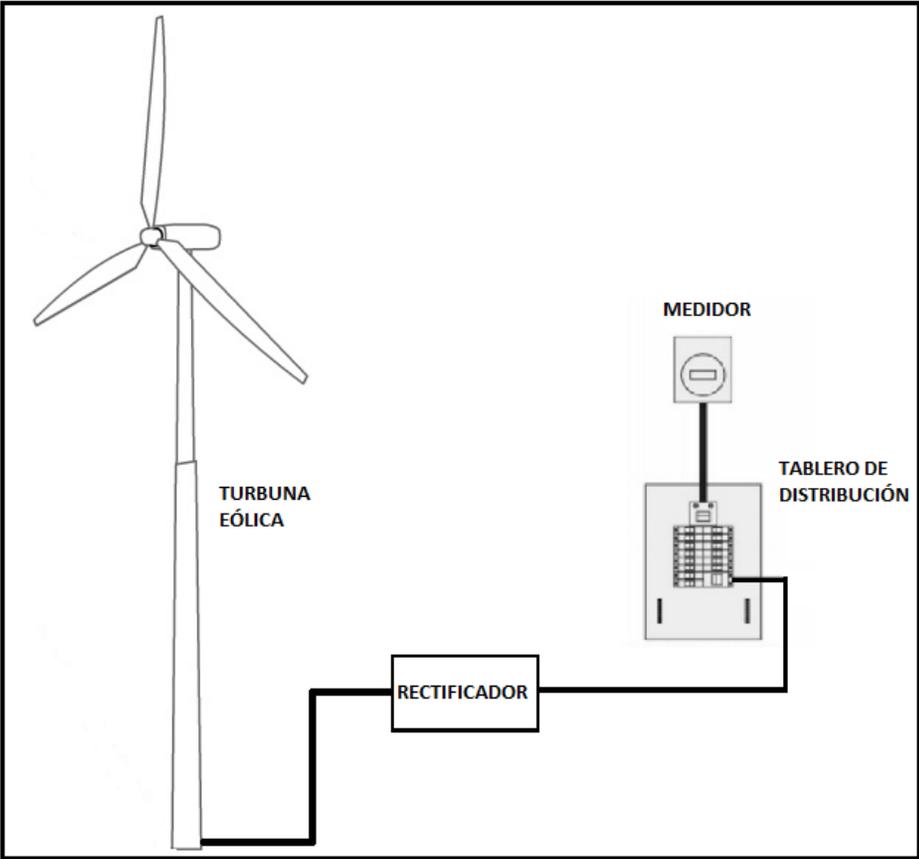
El usuario Autoproduccion debe generar energía eléctrica renovable, la cual puede ser de forma solar térmica, solar fotovoltaica, hidráulica, eólica etc. En el diseño eléctrico mostrado en la figura 57 la manera de generar energía eléctrica es de forma solar fotovoltaica.

Los paneles fotovoltaicos se instalan en lugares específicos de las viviendas o comercios para que tenga la capacidad de aprovechar la radiación solar al máximo, con el fin de poder generar la mayor cantidad de energía eléctrica posible. La función de los paneles fotovoltaicos es convertir la radiación solar a corriente directa la cual es proporcional a la cantidad de paneles solares instalados y a las características de los mismos, los paneles se conectan en serie para poder aumentar la capacidad de generación de energía. Los paneles fotovoltaicos que se comercializan tienen un valor de generación de 250 W en el umbral máximo de radiación.

También se utilizan otras formas de generar energía eléctrica renovable para usuarios Autoproduccion como se muestra en la figura No. 58 y 59, son

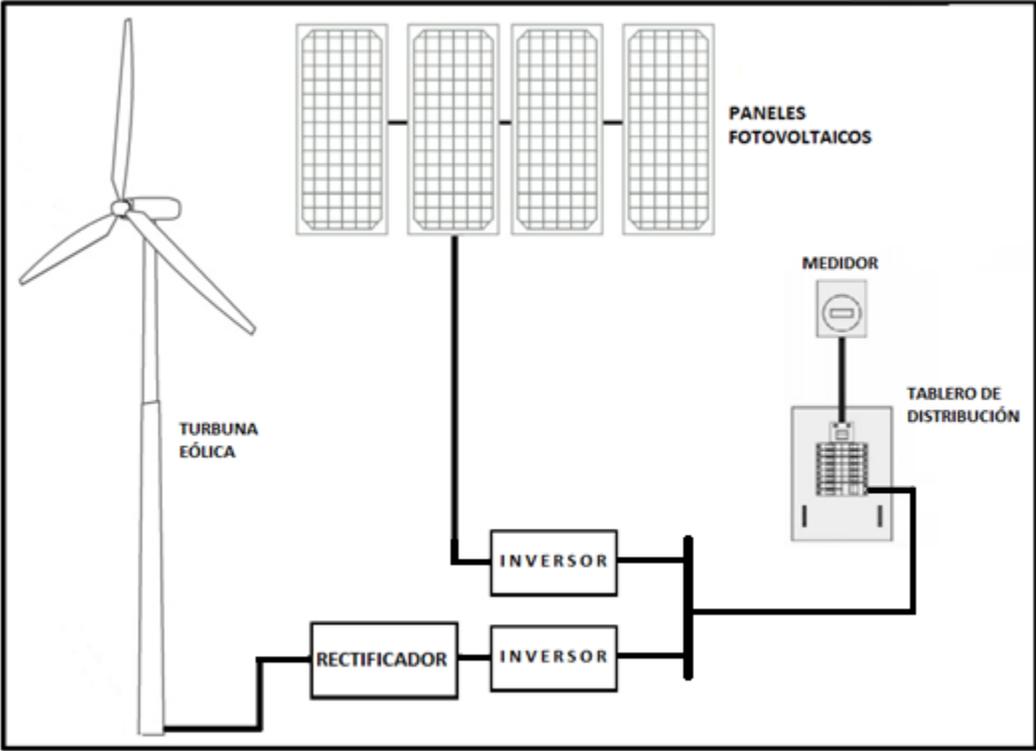
Autoprodutores utilizando una turbina eólica y un sistema combinado entre turbina eólica y paneles solares.

Figura 58. **Conexión eléctrica de un usuario Autoprodutor con excedente de energía utilizando una turbina eólica**



Fuente: elaboración propia, con programa de Microsoft Paint.

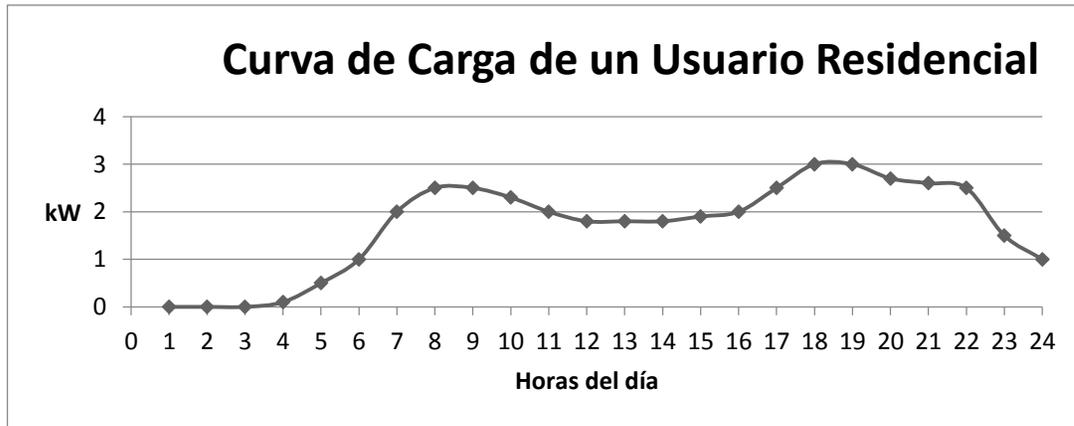
Figura 59. **Conexión eléctrica de un usuario Autoprodutor con excedente de energía utilizando una turbina eólica y paneles fotovoltaicos**



Fuente: elaboración propia, con programa de Microsoft Paint.

Los usuarios residenciales tienen un comportamiento de demanda de energía eléctrica que aumenta por las mañanas, disminuye alrededor de medio día y vuelve a aumentar por las noches, teniendo el pico de demanda alrededor de las diecinueve horas, este comportamiento se muestra en la figura siguiente.

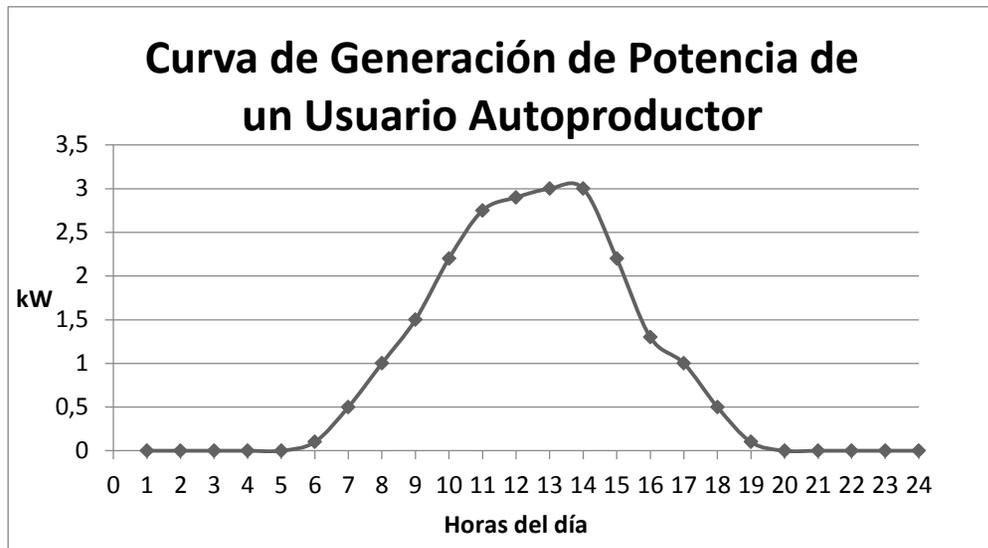
Figura 60. **Curva de carga de un usuario residencial típico**



Fuente: elaboración propia, con programa de Microsoft Excel.

Los usuarios Autoprodutores tienen un comportamiento de demanda que va en función con la radiación solar, si la forma de generar es utilizando paneles fotovoltaicos, por tal motivo comienza a generar energía por las mañanas, teniendo un pico de generación de energía alrededor de las doce a trece horas. El comportamiento se muestra en la figura siguiente.

Figura 61. **Curva de generación de potencia de un usuario Autoproductor elaborado a base de paneles fotovoltaicos**



Fuente: elaboración propia, con programa de Microsoft Excel.

3.3.3.2. Conversión de energía eléctrica

La labor de realizar la conversión de energía eléctrica lo efectúa el equipo denominado inversor de energía, en el mercado eléctrico existen varios modelos con características variadas. La función del inversor es transformar la corriente directa a corriente alterna, para alimentar el tablero de distribución de la residencia o comercio.

Dependiendo de las características del inversor, este puede registrar y mostrar en un visualizador, la cual puede ser una pantalla líquida, los valores de corriente, voltaje y frecuencia del sistema de generación, ya que es el encargado de sincronizar los valores de salida del sistema de generación

renovable con los valores de la red de distribución local. Los inversores de energía deben de cumplir por lo mínimo con las normas mencionadas en los incisos 3.3.1. y 3.3.2.

3.3.3.3. Protección al sistema de generación y a la red de distribución de energía eléctrica

La protección a los sistemas de generación de energía renovable depende la complejidad de la importancia de la carga que se alimentará, en el diseño eléctrico sugerido en la figura No. 57 se protege al sistema de generación con un *flipon* doble instalado en el tablero de distribución.

La protección a la red de distribución de energía eléctrica se proporciona cuando hay un corte de energía eléctrica ya sea por causas de algún problema en las líneas de distribución o por el mantenimiento de las mismas. Cuando ocurre el corte de energía eléctrica el inversor detecta lo ocurrido y desconecta el equipo generador renovable de la red de distribución con la finalidad de no inyectar corriente alterna a la misma.

Para realizar la acción de desconectar el equipo de generación de la red de distribución cuando se realice un corte de energía, también se puede utilizar una transferencia automática, este equipo hay que dimensionarlo con respecto a la corriente que se requerirá por la carga a conectar, la transferencia sirve de protección a la red de distribución.

Ejemplo:

Se quiere instalar un Autoproducer en un comercio utilizando paneles fotovoltaicos, el cual tiene el servicio de energía eléctrica con un voltaje de 120/240 monofásico. Las especificaciones de los paneles son: 250 W de salida, 1,50 m de largo, 0,67 m de ancho. Se tienen inversores con una capacidad de 6 kW y microinversores con una capacidad de 250 W.

Para diferentes capacidades de kW de generación:

¿Cuántos paneles fotovoltaicos se necesitan para cubrir la demanda de kW?

¿Qué área en metros² se necesitan para la instalación de paneles fotovoltaicos?

¿Cuántos inversores se necesitan para cubrir la demanda de kW?

Solución:

Las diferentes capacidades de carga en kW son 1, 2, 3, 5, 10, 15, 20 y 30. Las dimensiones de los paneles fotovoltaicos son de 1,5 m X 0,67 m, esto genera como resultado un área de 1,005 m² por panel. El ejercicio se realiza utilizando inversores y microinversores.

En la tabla VI se muestra la cantidad de paneles fotovoltaicos que se necesitan para cubrir una demanda determinada, el área en metros² que se necesitan para la instalación de los paneles y la cantidad de inversores a utilizar.

La cantidad de paneles fotovoltaicos e inversores es directamente proporcional a los kW generados, al utilizar inversores con capacidad de 6 kW se necesita una menor cantidad para satisfacer un número considerable de potencia demandada. En la tabla se indica la capacidad del *flipon* que se debe de instalar en el tablero de distribución.

Tabla VIII. **Datos del Autoproductor utilizando inversores**

| Generacion en kW | Número de paneles fotovoltaicos de 250 W | Área de terreno en mts cuadrados | Cantidad de inversores | <i>Flipon</i> de protección |
|------------------|--|----------------------------------|------------------------|-----------------------------|
| 1 | 4 | 4,02 | 1 | 2X10 |
| 2 | 8 | 8,04 | 1 | 2X10 |
| 3 | 12 | 12,06 | 1 | 2X15 |
| 5 | 20 | 20,1 | 1 | 2X20 |
| 10 | 40 | 40,2 | 2 | 2X50 |
| 15 | 60 | 60,3 | 3 | 2X70 |
| 20 | 80 | 80,4 | 4 | 2X100 |
| 30 | 120 | 120,6 | 5 | 2X125 |

Fuente: elaboración propia, con programa de Microsoft Excel.

En la tabla VII se muestra que al utilizar microinversores con capacidad de 250 W se necesita una mayor cantidad para satisfacer la potencia demandada. En las dos tablas anteriores se indica el área del terreno que se debe de tener para poder instalar los paneles fotovoltaicos.

Tabla IX. **Datos del Autoprodutor utilizando microinversores**

| Generacion en kW | Número de paneles fotovoltaicos de 250 W | Área de terreno en mts cuadrados | Cantidad de microinversores | Flipon de protección |
|-------------------------|---|---|------------------------------------|-----------------------------|
| 1 | 4 | 4,02 | 4 | 2X10 |
| 2 | 8 | 8,04 | 8 | 2X10 |
| 3 | 12 | 12,06 | 12 | 2X15 |
| 5 | 20 | 20,1 | 20 | 2X20 |
| 10 | 40 | 40,2 | 40 | 2X50 |
| 15 | 60 | 60,3 | 60 | 2X70 |
| 20 | 80 | 80,4 | 80 | 2X100 |
| 30 | 120 | 120,6 | 120 | 2X125 |

Fuente: elaboración propia, con programa de Microsoft Excel.

3.4. Tipo de medición a utilizar en usuarios Autoprodutores

La sección de la medición de energía eléctrica de un usuario Autoprodutor es de suma importancia ya que es donde se ve reflejado el funcionamiento del sistema de generación. Se utilizan medidores de energía eléctrica para registrar los datos.

Según tipo de fabricación los medidores de energía eléctrica pueden ser:

- Medidores electromecánicos
- Medidores electrónicos

3.4.1. Medidores electromecánicos

Los medidores electromecánicos son dispositivos que se utilizan para registrar la energía eléctrica consumida o inyectada al sistema de distribución

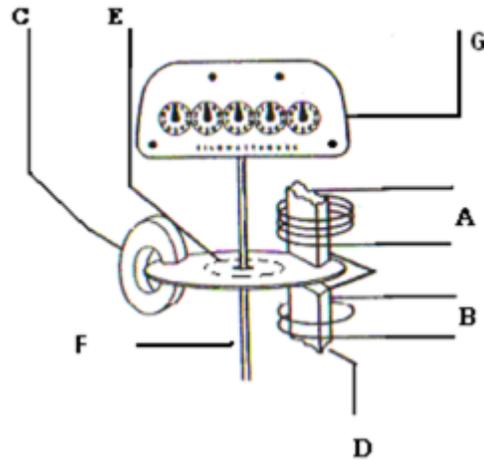
por una residencia o comercio. Por la construcción este tipo de medidor funciona en voltajes estandarizados:

- 120/240 V monofásico
- 120/208 V monofásico
- 120/240 V trifásico
- 120/208 V trifásico
- 240/480 V trifásico
- 277/480 V trifásico

Los medidores electromecánicos son construidos básicamente por un electroimán, que es alimentado por la tensión de la red de distribución y por las corrientes del usuario del servicio de energía, un rotor de lámina de aluminio cuyas revoluciones se transmiten a un registro por medio de un engranaje si fin y un imán de freno.

Los medidores electromecánicos están compuestos por las siguientes partes (ver figura 62).

Figura 62. Partes de un medidor de energía electromecánico

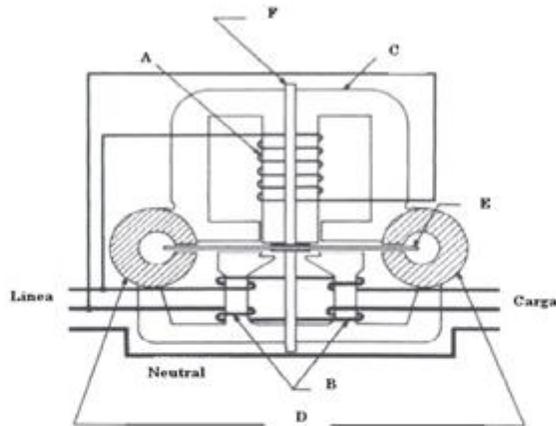


- A. Bobina de voltaje
- B. Bobina de corriente
- C. Imanes permanentes de frenado
- D. Estator
- E. Disco
- F. Eje
- G. Registro

Fuente: GONZÁLEZ, Julio. Mejoramiento de los sistemas de medición eléctrica bidireccional con interrogación automática a distancia. p. 5.

El medidor electromecánico muestra la energía eléctrica consumida o inyectada por medio de un registrador analógico formado por relojes de agujas, los cuales combinados suministran la lectura de energía eléctrica. A continuación se muestra el detalle interno de un medidor electromecánico.

Figura 63. **Detalle interno del medidor de energía electromecánico**



- A. Bobinas de voltaje con muchas vueltas
- B. Bobinas de corriente con pocas vueltas
- C. Laminaciones de acero eléctrico
- D. Imanes de frenado
- E. Disco de aluminio
- F. Eje

Fuente: GONZALEZ, Julio. Mejoramiento de los sistemas de medición eléctrica bidireccional con interrogación automática a distancia. p. 6.

Los medidores electromecánicos se dividen en unidireccional y bidireccional.

3.4.1.1. Medidor electromecánico unidireccional

El medidor electromecánico unidireccional registra datos en una sola dirección, solo giran en un sentido. El medidor registra el valor de la energía consumida por el usuario, si la residencia tiene un sistema de generación de

energía renovable y lo inyecta a la red de distribución, el medidor no es capaz de registrar dicha energía. Por las características descritas del medidor no registra la energía inyectada a la red por lo que es importante el remplazo.

3.4.1.2. Medidor electromecánico bidireccional

El medidor electromecánico bidireccional registra datos en dos direcciones, ya que puede girar en los dos sentidos. El medidor es utilizado en residencias, comercios e industrias en los cuales se tiene instalado un Autoproducer ya que puede registrar la energía consumida por el usuario y la energía inyectada a la red de distribución. Dentro de las características del registro las agujas de los relojes giran en una dirección cuando el usuario consume energía y giran en dirección contraria cuando se inyecta energía a la red.

3.4.2. Medidores electrónicos

El medidor de energía eléctrica electrónico utiliza para el funcionamiento dispositivos de estado sólido, empleando microprocesadores y circuitos integrados, al usar una tecnología digital son más confiables que los medidores electromecánicos. Son mejores ya que tienen una mayor exactitud y precisión del registro de energía.

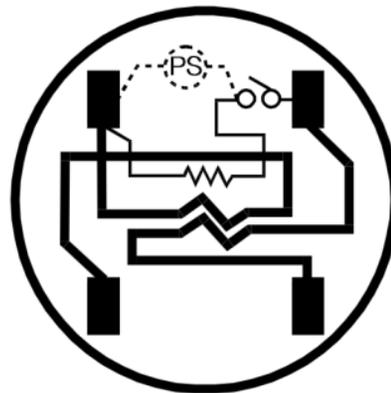
Las empresas distribuidoras utilizan este tipo de medidor para registrar la energía eléctrica en las residencias, comercios e industrias, debido a que son fáciles de interpretar ya que utilizan una pantalla líquida para visualizar los datos registrados, este tipo de medidor dependiendo del modelo se puede programar para que registre y muestre diferentes valores eléctricos, entre

mayor sea la cantidad de parámetros a registrar mayor será el costo económico del medidor.

Los parámetros eléctricos que puede mostrar el medidor, adicional al registro de la energía y potencia son:

- Corriente en cada una de las fases
- Voltaje en cada una de las fases
- Frecuencia

Figura 64. **Medidor de energía electrónico**



Form 2S

Fuente: Direct Industry. www.directindustry.es. Consulta: noviembre de 2013

De acuerdo con la conexión a la red de distribución los medidores de energía eléctrica pueden ser:

- Medidores monofásicos
- Medidores trifásicos

3.4.3. Medidores monofásicos

Son utilizados habitualmente en instalaciones residenciales, que son alimentadas del servicio de energía eléctrica por medio de dos fases y el neutral, tienen una capacidad de corriente de hasta 100 amp. Está construido por una bobina de corriente y una bobina de voltaje y normalmente son utilizados en voltajes 120/240 V.

Figura 65. **Medidor de energía eléctrica monofásico**

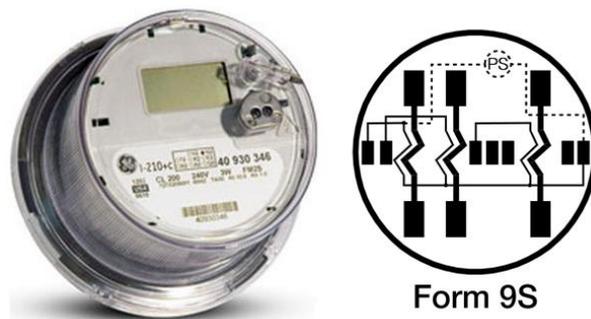


Fuente: All Biz. www.bo.all.biz. Consulta: noviembre de 2013

3.4.4. Medidores trifásicos

Los medidores trifásicos son dispositivos capaces de registrar energía eléctrica en tres fases, hay residencias, comercios e industria que por cantidad o tipo de carga necesitan una alimentación trifásica. Estos medidores son habitualmente utilizados en las industrias donde necesitan alimentar de energía eléctrica a motores que utilizan tres fases para el funcionamiento de los equipos instalados.

Figura 66. **Medidor de energía eléctrica trifásico**



Fuente: Direct Industry. www.directindustry.es. Consulta: noviembre de 2013

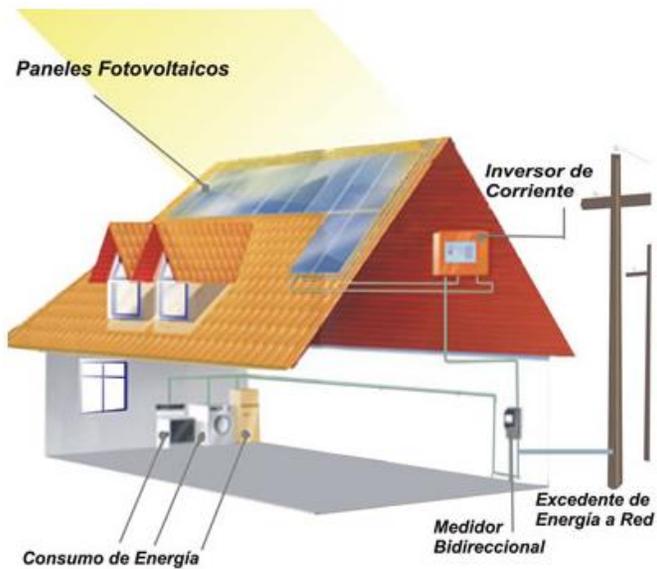
A continuación se muestran dos figuras de usuarios Autoprodutores instalados en residencias.

Figura 67. **Usuario Autoprodutor de energía eléctrica con microinversor**



Fuente: Enphase Energy. www.enphaseenergy.com. Consulta: diciembre de 2013

Figura 68. **Usuario Autoprodutor de energía eléctrica con inversor**



Fuente: Sunnergy Energías Renovables. www.sunnergy.com. Consulta: diciembre de 2013

4. EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL USUARIO AUTOPRODUCTOR CON EXCEDENTE DE ENERGÍA ELÉCTRICA

En este capítulo se realizará la comparación económica de un usuario de energía eléctrica residencial con un usuario Autoprodutor de energía eléctrica residencial, tomando en cuenta los costos que genera instalar un sistema de generación de energía eléctrica renovable que cumpla con los requisitos establecidos. Se tomará como referencia un Autoprodutor que genera energía eléctrica renovable a base de paneles solares.

4.1. Evaluación económica del equipo que se utiliza para generar energía eléctrica renovable, equipo de conversión de energía y protección

La instalación del equipo de generación de energía eléctrica renovable, la conversión de energía y protección del usuario y de la red de distribución, depende de las necesidades de generación de energía y potencia del usuario. Para visualizar el costo económico del equipo a utilizar se propone a continuación dos ejemplos.

Ejemplo 1:

Supóngase un usuario residencial que tenga mensualmente un consumo de energía eléctrica de 940 kwh, una potencia máxima de 3kW y esta alimentado por un voltaje 120/240 monofásico. ¿Cómo se calcula el costo de la compra del equipo para instalar un usuario Autoprodutor en la residencia?

Solución:

Se utilizarán paneles fotovoltaicos para la generación de energía eléctrica renovable de la marca Panasonic modelo VBMS245AA01, con especificaciones de 250 W de salida cada uno y dimensiones de 1,50 m de largo y 0,67 m de ancho. Se utilizarán microinversores con una capacidad de salida de 250 W. Un flipon 2X15 amperios, cable de cobre calibre No.12, tubería y accesorios. La carga que se alimentará es de una residencia común con un calentador de agua (1 500 W), microondas (800 W), televisor (100W) y 8 luminarias (600).

A continuación se muestran los costos aproximado en el mercado del equipo utilizado en la instalación del usuario Autoproductor.

Tabla X. **Costo económico para la instalación del sistema de generación de energía renovable residencial del ejemplo uno**

| Unidades | Descripción | Costo unitario en Quetzales | Costo total en Quetzales |
|-----------------|--|------------------------------------|---------------------------------|
| 12 | Panel fotovoltaico | 3 270 | 39 240 |
| 12 | Microinversor | 2 916 | 34 992 |
| 1 | <i>Flipon</i> | 50 | 50 |
| 12 | Cable, tubería y accesorios por unidad | 659 | 7 908 |
| 12 | Mano de obra por unidad | 985 | 11 820 |

Q 94 010

Fuente: elaboración propia, con programa de Microsoft Excel.

La instalación necesaria para cubrir las necesidades del usuario de 3 kW de potencia y 940 kwh de energía, tiene un costo de Q 94 010 este costo incluye materiales y mano de obra.

Ejemplo 2:

Supóngase un usuario comercial que tenga mensualmente un consumo de energía eléctrica de 4 580 kwh, una potencia máxima de 13 kW y esta alimentado por un voltaje 120/240 monofásico. ¿Cómo se calcula el costo de la compra del equipo para instalar un usuario Autoproducer en el comercio?

Solución:

Se utilizarán paneles fotovoltaicos para la generación de energía eléctrica renovable, las especificaciones de los paneles son: 250 W de salida cada uno y dimensiones de 1,50 m de largo y 0,67 m de ancho. Se utilizarán microinversores con una capacidad de salida de 250 W. Un flipon 2X60 amperios, cable de cobre calibre No.12, tubería y accesorios.

A continuación se muestran los costos del equipo utilizado en la instalación del usuario Autoproducer.

Tabla XI. **Costo económico para la instalación del sistema de generación de energía renovable del comercio del ejemplo dos**

| Unidades | Descripción | Costo unitario en Quetzales | Costo total en Quetzales |
|-----------------|--|------------------------------------|---------------------------------|
| 52 | Panel fotovoltaico | 3 270 | 170 040 |
| 52 | Microinversor | 2 916 | 151 632 |
| 1 | <i>Flipon</i> | 50 | 50 |
| 52 | Cable, tubería y accesorios por unidad | 659 | 34 268 |
| 52 | Mano de obra por unidad | 985 | 51 220 |

Q 407 210

Fuente: elaboración propia, con programa de Microsoft Excel.

La instalación necesaria para cubrir las necesidades del usuario de 13 kW de potencia y 4580 kwh de energía tiene un costo de Q 407 210 este costo incluye materiales y mano de obra.

4.2. Estudio económico para la rentabilidad del proyecto del usuario Autoprodutor, utilizando los métodos de Valor Presente Neto y la Tasa Interna de Retorno

Para averiguar si los dos proyectos propuestos en los ejemplos anteriores son rentables económicamente, se simula la facturación de cada uno de ellos basado en los consumos de energía eléctrica y potencia respectivamente. Aplicando los métodos de Valor Presente Neto y la Tasa Interna de Retorno.

Para el ejemplo uno, el usuario consume 940 kwh al mes y tiene un consumo de potencia de 3 kW.

Figura 69. **Simulación de factura de energía eléctrica residencial del ejemplo uno**

| | | | |
|---------------------------|----------------|-------------------------------------|-------------------|
| Distribuidora | ▼ | | |
| Consumo Energía (kWh) | 940 | | |
| Tasa municipal | 13 | <input checked="" type="checkbox"/> | Porcentual |
| Detalle de cargos | Precios | Consumo kWh | Importe Q. |
| Cargo fijo por usuario | 9.859991 | | 9.86 |
| Costo de energía kWh | 1.774617 | 940 kWh | 1,668.14 |
| Aporte tarifa social INDE | No Aplica | 0 kWh | 0.00 |
| Total Consumo kWh | | 940 kWh | 0.00 |
| Total Cargo | | | 1,678.00 |
| Total IVA | | | 201.36 |
| Tasa municipal | | | 218.14 |
| TOTAL A PAGAR | | | 2,097.50 |

Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica. www.cnee.gob.gt.

Consulta: diciembre de 2013.

La factura por el servicio de energía eléctrica es simulada en la página electrónica de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica de Guatemala (www.cnee.gob.gt) la cual aplica la tarifa eléctrica actual. El monto económico de la factura por el servicio de energía eléctrica es de Q 2 097,50

Para comprobar la rentabilidad del proyecto se aplica el método de Valor Presente Neto y la Tasa Interna de Retorno, aplicando la siguiente fórmula:

$$VPN = \sum_{t=1}^n \frac{Vt}{(1 + K)^t} - I_0$$

Donde:

I_0 = inversión inicial

K = tasa de rendimiento

n = cantidad de meses

V_t = valor económico que se dejara de cancelar mensualmente por el servicio de energía eléctrica

El valor económico que se dejará de cancelar mensualmente es de Q 2 087,54 ya que es el valor de la factura menos el cargo fijo por usuario.

Se ingresan a la formula los siguientes valores:

I_0 = 94 010

K = 2,5 %

V_t = 2 087,54

n = 96

Da como resultado un Valor Presente Neto de -18 306,73

El valor de la Tasa Interna de Retorno con los mismos valores da como resultado un 1,8 % siendo mayor al costo del capital del proyecto.

Con los resultados encontrados se concluye que el proyecto se hace factible en un tiempo de 96 meses, lo cual sobrepasa el tiempo de evaluación de los proyectos de inversión que oscila en treinta y seis meses, sin embargo el tiempo de vida útil de los sistemas Autoprodutores es de quince a veinte años. Por lo que el usuario debe de evaluar la conveniencia de la realización del proyecto o encontrar el punto de equilibrio donde la inversión sea menor y el costo de la energía eléctrica sea considerado en los desembolsos mensuales fijos.

Para el ejemplo dos, el usuario consume 4 580 kwh al mes y tiene un consumo de potencia de 13 kW, la factura por el servicio de energía eléctrica es simulada y tomando en cuenta la tarifa eléctrica actual. El monto económico de la factura por el servicio de energía eléctrica es de Q 9 064,81

Figura 70. **Simulación de factura de energía eléctrica del comercio del ejemplo dos**

| | | | |
|-----------------------|----------------------|----------------------|--|
| Distribuidora | <input type="text"/> | | |
| Consumo Energía (kwh) | 4,580 | <input type="text"/> | |
| Tasa Municipal | 13 | <input type="text"/> | |

| Detalle de cargos | Precios | Consumo | Importe en Q |
|------------------------------|-----------|---------|-----------------|
| Cargo fijo por usuario | 226.7798 | | 226.78 |
| Costo de la energía kwh | 1.384101 | 4,580 | 6,339.18 |
| Cargo potencia maxima kW | 23.819999 | 13 | 309.66 |
| Cargo potencia contratada kW | 28.940697 | 13 | 376.23 |
| Total cargo | | | 7,251.85 |
| Total IVA | | | 870.22 |
| Tasa municipal | | | 942.74 |
| TOTAL A PAGAR | | | 9,064.81 |

Fuente: elaboración propia, con el programa de Microsoft Paint.

Para comprobar la rentabilidad del proyecto se aplica el método de Valor Presente Neto y la Tasa Interna de Retorno, aplicando la siguiente formula:

$$VPN = \sum_{t=1}^n \frac{Vt}{(1 + K)^t} - I_0$$

El valor económico que se dejará de cancelar mensualmente es de Q 8 152,15 ya que es el valor de la factura menos los cargos fijos por usuario, potencia contratada y potencia máxima.

Ingresando a la fórmula de VPN los datos siguientes:

$$I_0 = 407\,210$$

$$K = 2,50 \%$$

$$V_t = 8\,152,15$$

$$n = 96$$

Da como resultado un Valor Presente Neto de -111 591,80

Y el valor de la Tasa Interna de Retorno con los mismos valores da como resultado un 1,6 % siendo mayor al costo del capital del proyecto.

Una vez realizados los cálculos se concluye que el proyecto se hace factible en un tiempo de 96 meses, lo cual sobrepasa el tiempo de evaluación de los proyectos de inversión que oscila en treinta y seis meses, sin embargo el tiempo de vida útil de los sistemas Autoprodutores es de quince a veinte años. Por lo que el usuario debe de evaluar la conveniencia de la realización del proyecto o encontrar el punto de equilibrio donde la inversión sea menor y el costo de la energía eléctrica sea considerado en los desembolsos mensuales fijos.

4.3. Evaluación económica comparativa del usuario residencial común con un usuario Autoprodutor de energía eléctrica residencial

En los dos ejemplos expuestos en este capítulo de usuarios Autoprodutores indicamos el costo económico que se necesita para la construcción de cada uno de ellos y se aplicaron métodos de evaluación económica para encontrar la rentabilidad de la construcción de los usuarios Autoprodutores.

Por último se realizará una comparación de un usuario residencial común y un usuario Autoproductor, se tomará de referencia el usuario del ejemplo 1, con los datos siguientes: 940 kwh y 3 kW de potencia y para este caso vamos a suponer un valor de 1,8 % de depreciación del dinero.

Tabla XII. **Costo económico del servicio de energía eléctrica residencial en cuatro años**

| PRIMER AÑO | | | | | | | | | | | | |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| MES | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Consumo de energía en kwh | 940 | 940 | 940 | 940 | 940 | 940 | 940 | 940 | 940 | 940 | 940 | 940 |
| Costo económico de factura en Quetzales | 2 050,72 | 2 014,46 | 1 978,84 | 1 943,85 | 1 909,48 | 1 875,72 | 1 842,55 | 1 809,97 | 1 777,97 | 1 746,53 | 1 715,65 | 1 685,31 |
| Suma del costo económico de facturas en ocho años | Q 95 058 | | | | | | | | | | | |

| SEGUNDO AÑO | | | | | | | | | | | |
|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 940 | 940 | 940 | 940 | 940 | 940 | 940 | 940 | 940 | 940 | 940 | 940 |
| 1 655,52 | 1 626,24 | 1 461,16 | 1 435,33 | 1 409,95 | 1 385,02 | 1 360,53 | 1 336,47 | 1 312,84 | 1 289,63 | 1 266,82 | 1 244,42 |

| TERCER AÑO | | | | | | | | | | | |
|------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 940 | 940 | 940 | 940 | 940 | 940 | 940 | 940 | 940 | 940 | 940 | 940 |
| 1 222,42 | 1 200,81 | 1 179,57 | 1 158,72 | 1 138,23 | 1 118,10 | 1 098,33 | 1 078,91 | 1 059,83 | 1 041,09 | 1 022,69 | 1 004,60 |

| CUARTO AÑO | | | | | | | | | | | |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 940 | 940 | 940 | 940 | 940 | 940 | 940 | 940 | 940 | 940 | 940 | 940 |
| 986,84 | 969,39 | 952,25 | 935,41 | 918,87 | 902,63 | 886,67 | 870,99 | 855,59 | 840,46 | 825,60 | 811,00 |

Fuente: elaboración propia, con el programa de Microsoft Excel.

En la tabla anterior se muestra el costo económico que tiene un usuario residencial en un período de ocho años, teniendo una factura inicial por el servicio de energía eléctrica de Q 2 097,50 y un consumo de energía de 940 kwh. El costo acumulado en los ocho años es de Q 95 058 comparado con Q 94 010 que es la inversión para construir el sistema de generación para este tipo de usuario, encontramos que la inversión es factible ya que se recupera en ocho años.

Si el usuario Autoproduccion funciona por doce años el costo acumulado de facturación seria de Q 107 094,36 comparado con la inversión inicial que es de Q 94 010, queda una diferencia de Q 13 084,36 siendo este el monto económico por el excedente de energía.

Tabla XIII. **Costo económico del servicio de energía eléctrica residencial en doce años**

| Años | PERÍODO DE DOCE AÑOS | | | | | |
|---|----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 |
| Consumo de energía en kwh | 22560 | 45120 | 67680 | 90240 | 112800 | 135360 |
| Costo economico de factura en Quetzales | 1244,42 | 811,00 | 528,53 | 344,45 | 224,48 | 146.29 |
| Suma del costo economico de facturas de doce años | Q 107 094,36 | | | | | |

Fuente: elaboración propia, con el programa de Microsoft Excel.

Tabla XIV. **Costo económico del servicio de energía eléctrica de un usuario Autoprodutor en cuatro años**

| PRIMER AÑO | | | | | | | | | | | | |
|---|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| MES | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Consumo de energía en kwh | 940 | 940 | 940 | 940 | 940 | 940 | 940 | 940 | 940 | 940 | 940 | 940 |
| Costo económico de factura en Quetzales | 8 029,30 | 7 908,30 | 7 789,13 | 7 671,75 | 7 556,14 | 7 442,27 | 7 330,12 | 7 219,66 | 7 110,86 | 7 003,71 | 6 898,17 | 6 794,21 |
| Suma del costo económico de facturas en ocho años | Q 408 792,29 | | | | | | | | | | | |

| SEGUNDO AÑO | | | | | | | | | | | | |
|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | |
| 940 | 940 | 940 | 940 | 940 | 940 | 940 | 940 | 940 | 940 | 940 | 940 | 940 |
| 6 691,83 | 6 590,99 | 6 491,66 | 6 393,84 | 6 297,49 | 6 202,59 | 6 109,12 | 6 017,06 | 5 926,38 | 5 837,08 | 5 749,11 | 5 662,48 | |

| TERCER AÑO | | | | | | | | | | | | |
|------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | |
| 940 | 940 | 940 | 940 | 940 | 940 | 940 | 940 | 940 | 940 | 940 | 940 | 940 |
| 5 577,15 | 5 493,10 | 5 410,32 | 5 328,79 | 5 248,49 | 5 169,40 | 5 091,50 | 5 014,77 | 4 939,20 | 4 864,77 | 4 791,46 | 4 719,26 | |

| CUARTO AÑO | | | | | | | | | | | | |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | |
| 940 | 940 | 940 | 940 | 940 | 940 | 940 | 940 | 940 | 940 | 940 | 940 | 940 |
| Q4,719 | Q4,648 | Q4,578 | Q4,509 | Q4,441 | Q4,374 | Q4,308 | Q4,243 | Q4,179 | Q4,116 | Q4,054 | Q3,993 | |

Fuente: elaboración propia, con el programa de Microsoft Excel.

En la tabla anterior se muestra el costo económico que tiene un usuario residencial Autoprodutor en un período de ocho años, teniendo una factura inicial por el servicio de energía eléctrica de Q 8 152,15 y un consumo de energía de 4 580 kwh. El costo acumulado en los ocho años es de Q 408 792,29 comparado con Q 407 210 que es la inversión para construir el sistema de generación para este tipo de usuario, encontramos que la inversión es factible ya que se recupera en ocho años.

Si el usuario Autoproduccion funciona por doce años el costo acumulado de facturación seria de Q 419 312,62 comparado con la inversión inicial que es de Q 407 210, queda una diferencia de Q 12 102,63 siendo este el monto económico por el excedente de energía.

Tabla XV. **Costo económico del servicio de energía eléctrica residencial en doce años**

| Años | PERÍODO DE DOCE AÑOS | | | | | |
|---|----------------------|----------|----------|----------|----------|--------|
| | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 |
| Consumo de energía en kwh | 22560 | 45120 | 67680 | 90240 | 112800 | 135360 |
| Costo economico de factura en Quetzales | 5 662,48 | 3 993,00 | 2 815,73 | 1 985,56 | 1 400,15 | 987,34 |
| Suma del costo economico de facturas de doce años | Q 419 312,62 | | | | | |

Fuente: elaboración propia, con el programa de Microsoft Excel.

CONCLUSIONES

1. El equipo eléctrico para la construcción de un usuario Autoprodutor debe de cumplir con requisitos y normas internacionales.
2. La normativa que regula a un sistema de generación de energía renovable es la Norma IEEE 1547.
3. Los métodos más utilizados para generar energía renovable empleados por un usuario Autoprodutor son la generación fotovoltaica a base de paneles solares o fotovoltaicos, generación térmica, hidráulica y eólica.
4. El funcionamiento del equipo que utiliza un usuario Autoprodutor se divide en cuatro grandes rubros de funcionamiento, que son la de generación de energía eléctrica renovable, conversión de la energía eléctrica, protección del sistema de generación y red de distribución y la medición de energía eléctrica.
5. Para la medición de energía eléctrica se debe utilizar medidores de energía eléctrica bidireccionales.
6. Los sistemas de generación tienen un tiempo de recuperación a mediano plazo y al tener una vida útil prolongada la inversión es rentable.

7. Cuando el usuario Autoproducer está configurado para funcionar en el fenómeno denominado isla el costo de la construcción es más elevado por el uso de baterías de litio que se utilizan para almacenar la energía eléctrica.

RECOMENDACIONES

1. Realizar mantenimiento preventivo y periódico a los paneles fotovoltaicos u otro equipo de generación de energía renovable para alargar la vida útil del equipo.
2. El tipo de mantenimiento que se debe efectuar es limpieza de las celdas fotovoltaicas que forman el panel solar, revisión visual del deterioro del cable utilizado para realizar las conexiones eléctricas de los equipos.
3. Comprobar el funcionamiento adecuado periódicamente de los equipos que componen el usuario Autoproducer con la finalidad que funcionen eficientemente.
4. Tener cuidado en no sobrepasar la capacidad del inversor.
5. Utilizar las protecciones adecuadas para el equipo de generación de energía renovable.
6. Los sistemas que trabajan en el fenómeno denominado isla se debe utilizar en regiones donde no exista red de distribución de energía eléctrica.
7. El usuario debe de asesorarse con personas o entidades que tenga la experiencia y capacidad en los sistemas de generación de energía renovable para garantizar la instalación eléctrica y el funcionamiento del equipo.

BIBLIOGRAFÍA

1. CHAPMAN, Stephen J. *Máquinas eléctricas*. 4a ed. México: McGraw-Hill, 1997. 768 p.
2. Comisión Nacional de Energía Eléctrica. [en línea]. <<http://www.cnee.gob.gt/estudioselectricos/Normas%20Tecnicas/08%20NTSD.pdf>> [Consulta: julio de 2013].
3. _____. [en línea]. <<http://www.cnee.gob.gt/estudioselectricos/Normas%20Tecnicas/08%20NORMA EEGSA.pdf>> [Consulta: julio de 2013].
4. _____. [en línea]. <<http://www.cnee.gob.gt/pdf/resoluciones/2008/CNEE%20171%202008.pdf>> [Consulta: julio de 2013].
5. Enphase Energy. [en línea]. <<http://www.enphaseenergy.com/m215/>> [Consulta: abril de 2013].
6. GONZÁLEZ AGUILAR, Julio Arnoldo. *Mejoramiento de los sistemas de medicion eléctrica bidireccional con interrogación automática a distancia, para las distribuidoras de energía eléctrica de Guatemala*. Trabajo de graduación de Ing. Electrica. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingenieria. 2009. 4 p.

7. Mitsubishi. [en línea]. <http://mitsubishi-pv.de/index_service_sp.php#dokumentesolarmodule> [Consulta: junio de 2013].

8. PINILLOS MONTENEGRO, José Francisco. *Guía de instalación eléctrica de una radio base típica*. Trabajo de graduación de Ing. Mécanica Eléctrica. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 2009. 28 p.

ANEXOS

Anexo A. Ampacidad de conductores

| Size AWG or kcmil | Temperature Rating of Conductor [See Table 310.104(A).] | | | | | | Size AWG or kcmil |
|----------------------|---|---|--|----------------------------------|---------------------------------------|---|----------------------|
| | 60°C (140°F) | 75°C (167°F) | 90°C (194°F) | 60°C (140°F) | 75°C (167°F) | 90°C (194°F) | |
| | Types TW, UF | Types RHW, THHW, THW, THWN, XHHW, USE, ZW | Types TBS, SA, SIS, FEP, FEPB, MI, RHH, RHW-2, THHN, THHW, THW-2, THWN-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2 | Types TW, UF | Types RHW, THHW, THW, THWN, XHHW, USE | Types TBS, SA, SIS, THHN, THHW, THW-2, THWN-2, RHH, RHW-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2 | |
| | COPPER | | | ALUMINUM OR COPPER-CLAD ALUMINUM | | | |
| 18 | — | — | 14 | — | — | — | — |
| 16 | — | — | 18 | — | — | — | — |
| 14** | 15 | 20 | 25 | — | — | — | 12** |
| 12** | 20 | 25 | 30 | 15 | 20 | 25 | 10** |
| 10** | 30 | 35 | 40 | 25 | 30 | 35 | 8 |
| 8 | 40 | 50 | 55 | 35 | 40 | 45 | — |
| 6 | 55 | 65 | 75 | 40 | 50 | 55 | 6 |
| 4 | 70 | 85 | 95 | 55 | 65 | 75 | 4 |
| 3 | 85 | 100 | 115 | 65 | 75 | 85 | 3 |
| 2 | 95 | 115 | 130 | 75 | 90 | 100 | 2 |
| 1 | 110 | 130 | 145 | 85 | 100 | 115 | 1 |
| 1/0 | 125 | 150 | 170 | 100 | 120 | 135 | 1/0 |
| 2/0 | 145 | 175 | 195 | 115 | 135 | 150 | 2/0 |
| 3/0 | 165 | 200 | 225 | 130 | 155 | 175 | 3/0 |
| 4/0 | 195 | 230 | 260 | 150 | 180 | 205 | 4/0 |
| 250 | 215 | 255 | 290 | 170 | 205 | 230 | 250 |
| 300 | 240 | 285 | 320 | 195 | 230 | 260 | 300 |
| 350 | 260 | 310 | 350 | 210 | 250 | 280 | 350 |
| 400 | 280 | 335 | 380 | 225 | 270 | 305 | 400 |
| 500 | 320 | 380 | 430 | 260 | 310 | 350 | 500 |
| 600 | 350 | 420 | 475 | 285 | 340 | 385 | 600 |
| 700 | 385 | 460 | 520 | 315 | 375 | 425 | 700 |
| 750 | 400 | 475 | 535 | 320 | 385 | 435 | 750 |
| 800 | 410 | 490 | 555 | 330 | 395 | 445 | 800 |
| 900 | 435 | 520 | 585 | 355 | 425 | 480 | 900 |
| 1000 | 455 | 545 | 615 | 375 | 445 | 500 | 1000 |
| 1250 | 495 | 590 | 665 | 405 | 485 | 545 | 1250 |
| 1500 | 525 | 625 | 705 | 435 | 520 | 585 | 1500 |
| 1750 | 545 | 650 | 735 | 455 | 545 | 615 | 1750 |
| 2000 | 555 | 665 | 750 | 470 | 560 | 630 | 2000 |

Fuente: National Electrical Code, p 70-154.

Anexo B. Características de conductores

| Size (AWG or kcmil) | Conductors | | | | | | | | | | Direct-Current Resistance at 75°C (167°F) | | | | | |
|------------------------------|-----------------------------|--------|-----------|------|----------|-------|-------|-----------------|------------------|------------|---|------------|-------------|------------|-------------|--|
| | Area | | Stranding | | Overall | | | | Copper | | | | Aluminum | | | |
| | | | | | Diameter | | Area | | Uncoated | | Coated | | | | | |
| | Circular mm ² | mils | Quantity | mm | in. | mm | in. | mm ² | in. ² | ohm/ km | ohm/ kFT | ohm/ km | ohm/ kFT | ohm/ km | ohm/ kFT | |
| 18 | 0.823 | 1620 | 1 | — | — | 1.02 | 0.040 | 0.823 | 0.001 | 25.5 | 7.77 | 26.5 | 8.08 | 42.0 | 12.8 | |
| 18 | 0.823 | 1620 | 7 | 0.39 | 0.015 | 1.16 | 0.046 | 1.06 | 0.002 | 26.1 | 7.95 | 27.7 | 8.45 | 42.8 | 13.1 | |
| 16 | 1.31 | 2580 | 1 | — | — | 1.29 | 0.051 | 1.31 | 0.002 | 16.0 | 4.89 | 16.7 | 5.08 | 26.4 | 8.05 | |
| 16 | 1.31 | 2580 | 7 | 0.49 | 0.019 | 1.46 | 0.058 | 1.68 | 0.003 | 16.4 | 4.99 | 17.3 | 5.29 | 26.9 | 8.21 | |
| 14 | 2.08 | 4110 | 1 | — | — | 1.63 | 0.064 | 2.08 | 0.003 | 10.1 | 3.07 | 10.4 | 3.19 | 16.6 | 5.06 | |
| 14 | 2.08 | 4110 | 7 | 0.62 | 0.024 | 1.85 | 0.073 | 2.68 | 0.004 | 10.3 | 3.14 | 10.7 | 3.26 | 16.9 | 5.17 | |
| 12 | 3.31 | 6530 | 1 | — | — | 2.05 | 0.081 | 3.31 | 0.005 | 6.34 | 1.93 | 6.57 | 2.01 | 10.45 | 3.18 | |
| 12 | 3.31 | 6530 | 7 | 0.78 | 0.030 | 2.32 | 0.092 | 4.25 | 0.006 | 6.50 | 1.98 | 6.73 | 2.05 | 10.69 | 3.25 | |
| 10 | 5.261 | 10380 | 1 | — | — | 2.588 | 0.102 | 5.26 | 0.008 | 3.984 | 1.21 | 4.148 | 1.26 | 6.561 | 2.00 | |
| 10 | 5.261 | 10380 | 7 | 0.98 | 0.038 | 2.95 | 0.116 | 6.76 | 0.011 | 4.070 | 1.24 | 4.226 | 1.29 | 6.679 | 2.04 | |
| 8 | 8.367 | 16510 | 1 | — | — | 3.264 | 0.128 | 8.37 | 0.013 | 2.506 | 0.764 | 2.579 | 0.786 | 4.125 | 1.26 | |
| 8 | 8.367 | 16510 | 7 | 1.23 | 0.049 | 3.71 | 0.146 | 10.76 | 0.017 | 2.551 | 0.778 | 2.653 | 0.809 | 4.204 | 1.28 | |
| 6 | 13.30 | 26240 | 7 | 1.56 | 0.061 | 4.67 | 0.184 | 17.09 | 0.027 | 1.608 | 0.491 | 1.671 | 0.510 | 2.652 | 0.808 | |
| 4 | 21.15 | 41740 | 7 | 1.96 | 0.077 | 5.89 | 0.232 | 27.19 | 0.042 | 1.010 | 0.308 | 1.053 | 0.321 | 1.666 | 0.508 | |
| 3 | 26.67 | 52620 | 7 | 2.20 | 0.087 | 6.60 | 0.260 | 34.28 | 0.053 | 0.802 | 0.245 | 0.833 | 0.254 | 1.320 | 0.403 | |
| 2 | 33.62 | 66360 | 7 | 2.47 | 0.097 | 7.42 | 0.292 | 43.23 | 0.067 | 0.634 | 0.194 | 0.661 | 0.201 | 1.045 | 0.319 | |
| 1 | 42.41 | 83690 | 19 | 1.69 | 0.066 | 8.43 | 0.332 | 55.80 | 0.087 | 0.505 | 0.154 | 0.524 | 0.160 | 0.829 | 0.253 | |
| 1/0 | 53.49 | 105600 | 19 | 1.89 | 0.074 | 9.45 | 0.372 | 70.41 | 0.109 | 0.399 | 0.122 | 0.415 | 0.127 | 0.660 | 0.201 | |
| 2/0 | 67.43 | 133100 | 19 | 2.13 | 0.084 | 10.62 | 0.418 | 88.74 | 0.137 | 0.3170 | 0.0967 | 0.329 | 0.101 | 0.523 | 0.159 | |
| 3/0 | 85.01 | 167800 | 19 | 2.39 | 0.094 | 11.94 | 0.470 | 111.9 | 0.173 | 0.2512 | 0.0766 | 0.2610 | 0.0797 | 0.413 | 0.126 | |
| 4/0 | 107.2 | 211600 | 19 | 2.68 | 0.106 | 13.41 | 0.528 | 141.1 | 0.219 | 0.1996 | 0.0608 | 0.2050 | 0.0626 | 0.328 | 0.100 | |
| 250 | 127 | — | 37 | 2.09 | 0.082 | 14.61 | 0.575 | 168 | 0.260 | 0.1687 | 0.0515 | 0.1753 | 0.0535 | 0.2778 | 0.0847 | |
| 300 | 152 | — | 37 | 2.29 | 0.090 | 16.00 | 0.630 | 201 | 0.312 | 0.1409 | 0.0429 | 0.1463 | 0.0446 | 0.2318 | 0.0707 | |
| 350 | 177 | — | 37 | 2.47 | 0.097 | 17.30 | 0.681 | 235 | 0.364 | 0.1205 | 0.0367 | 0.1252 | 0.0382 | 0.1984 | 0.0605 | |
| 400 | 203 | — | 37 | 2.64 | 0.104 | 18.49 | 0.728 | 268 | 0.416 | 0.1053 | 0.0321 | 0.1084 | 0.0331 | 0.1737 | 0.0529 | |
| 500 | 253 | — | 37 | 2.95 | 0.116 | 20.65 | 0.813 | 336 | 0.519 | 0.0845 | 0.0258 | 0.0869 | 0.0265 | 0.1391 | 0.0424 | |
| 600 | 304 | — | 61 | 2.52 | 0.099 | 22.68 | 0.893 | 404 | 0.626 | 0.0704 | 0.0214 | 0.0732 | 0.0223 | 0.1159 | 0.0353 | |
| 700 | 355 | — | 61 | 2.72 | 0.107 | 24.49 | 0.964 | 471 | 0.730 | 0.0603 | 0.0184 | 0.0622 | 0.0189 | 0.0994 | 0.0303 | |
| 750 | 380 | — | 61 | 2.82 | 0.111 | 25.35 | 0.998 | 505 | 0.782 | 0.0563 | 0.0171 | 0.0579 | 0.0176 | 0.0927 | 0.0282 | |
| 800 | 405 | — | 61 | 2.91 | 0.114 | 26.16 | 1.030 | 538 | 0.834 | 0.0528 | 0.0161 | 0.0544 | 0.0166 | 0.0868 | 0.0265 | |
| 900 | 456 | — | 61 | 3.09 | 0.122 | 27.79 | 1.094 | 606 | 0.940 | 0.0470 | 0.0143 | 0.0481 | 0.0147 | 0.0770 | 0.0235 | |
| 1000 | 507 | — | 61 | 3.25 | 0.128 | 29.26 | 1.152 | 673 | 1.042 | 0.0423 | 0.0129 | 0.0434 | 0.0132 | 0.0695 | 0.0212 | |
| 1250 | 633 | — | 91 | 2.98 | 0.117 | 32.74 | 1.289 | 842 | 1.305 | 0.0338 | 0.0103 | 0.0347 | 0.0106 | 0.0554 | 0.0169 | |
| 1500 | 760 | — | 91 | 3.26 | 0.128 | 35.86 | 1.412 | 1011 | 1.566 | 0.02814 | 0.00858 | 0.02814 | 0.00883 | 0.0464 | 0.0141 | |
| 1750 | 887 | — | 127 | 2.98 | 0.117 | 38.76 | 1.526 | 1180 | 1.829 | 0.02410 | 0.00735 | 0.02410 | 0.00756 | 0.0397 | 0.0121 | |
| 2000 | 1013 | — | 127 | 3.19 | 0.126 | 41.45 | 1.632 | 1349 | 2.092 | 0.02109 | 0.00643 | 0.02109 | 0.00662 | 0.0348 | 0.0106 | |

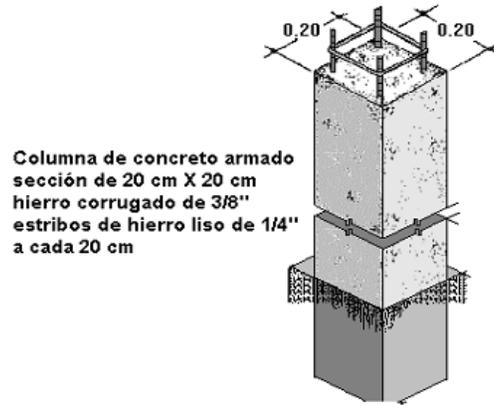
Fuente: National Electrical Code, p 70-721.

Anexo C. **Características de los principales conductores para líneas de media tensión**

| CONDUCTOR. | HALCON. | CÓNDOR. | GAVIOTA. | CARDENAL. |
|--|---------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Composición: Aluminio: mm ² . | 26x3.442 | 54x3.084 | 54x2.822 | 54x3.376 |
| Acero: mm ² . | 7x2.677 | 7x3.084 | 7x2.822 | 7x3.376 |
| Secciones: Aluminio: mm ² . | 241.68 | 402.84 | 337.74 | 483.42 |
| Acero: mm ² . | 39.42 | 52.26 | 43.81 | 62.64 |
| Total: mm ² . | 281.10 ² | 455.10 | 381.55 | 546.06 |
| Sección equivalente de cu. mm ² . | 152.01 | 253.36 | 212.31 | 304.03 |
| Diámetro del alma de acero mm. | 8.031 | 9.246 | 8.466 | 10.135 |
| Diámetro de cable: mm. | 21.793 | 27.762 | 25.4 | 30.378 |
| Pesos: Aluminio: KgXm. | 666.6 | 1.115 | 934.6 | 1.338 |
| Acero: Kg/Km. | 308 | 407 | 342.2 | 488 |
| Total: Kg/Km. | 974.6 | 1.522 | 1.276.8 | 1.826 |
| Carga de rotura: Kg. | 8.817.8 | 12.950 | 11.135.7 | 15,536 |
| Módulo de elasticidad: Kgmm ² . | 7.730 | 6.860 | 6.860 | 6.860 |
| Coefficiente de dilatación por grado de temperatura. | 18.99x10 | 19.35x10 ^h | 19.35x10 ^h | 19.35x10 ^h |
| Resistencia eléctrica a 20°C: Q/Km | 0.119 | 0.0721 | 0.0851 | 0.0597 |
| Densidad máxima admisible: Amm | 2,043 | 1,757 | 1.869 | 1,628 |
| Intensidad correspondiente: A | 574.28 | 799.61 | 713.116 | 888.98 |

Fuente: Ramón Mujal. Líneas eléctricas, p 128.

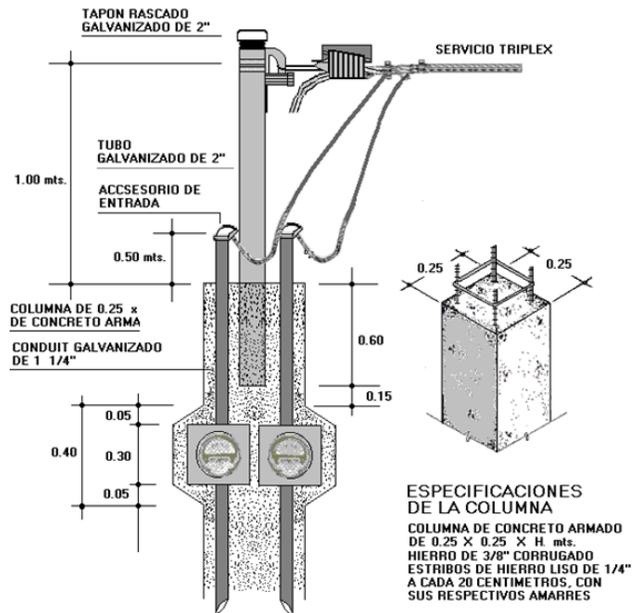
Anexo D. **Detalle de columna para acometida eléctrica**



Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica, Normas EEGSA, p 20.

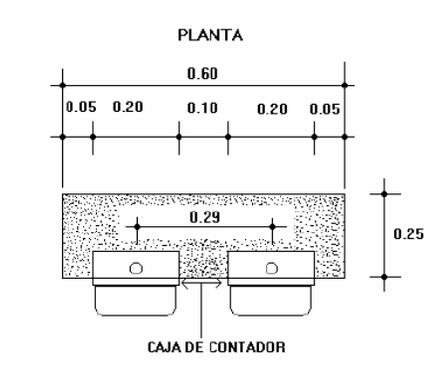
Anexo E. **Detalle de acometida eléctrica para casa tipo dúplex**

(a) vista frontal



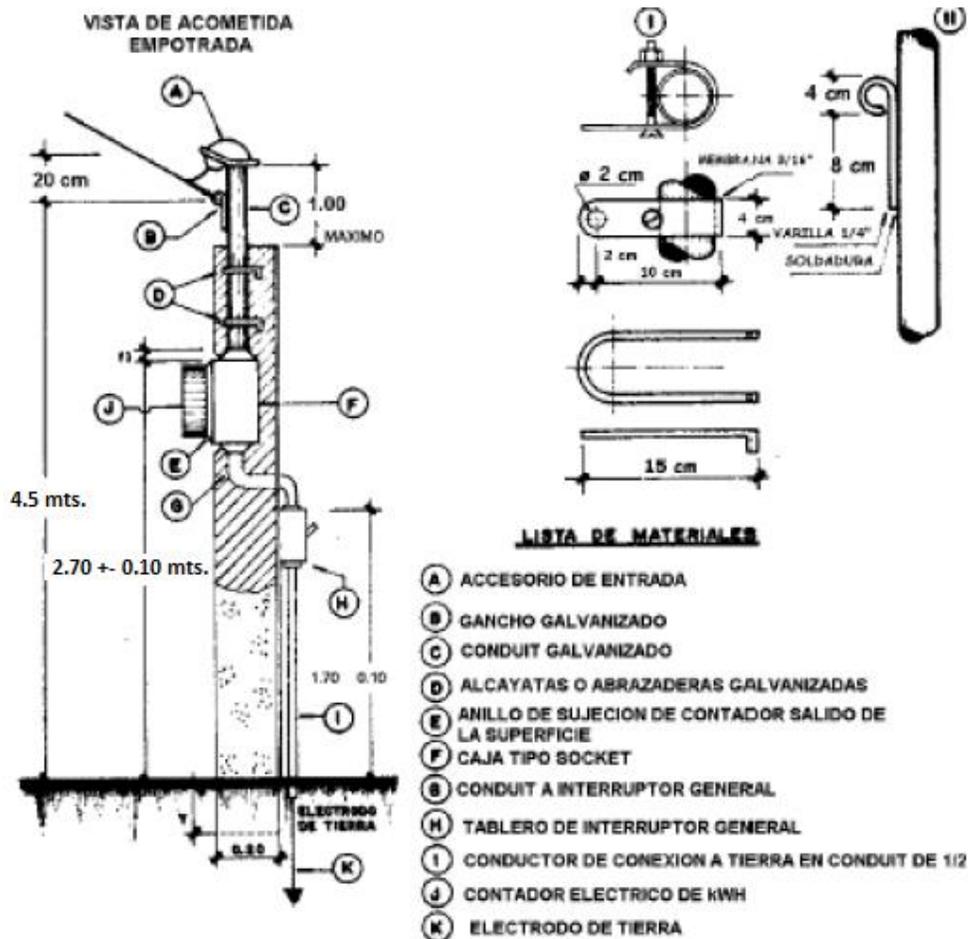
Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica, normas EEGSA, p 26.

(b) vista de planta



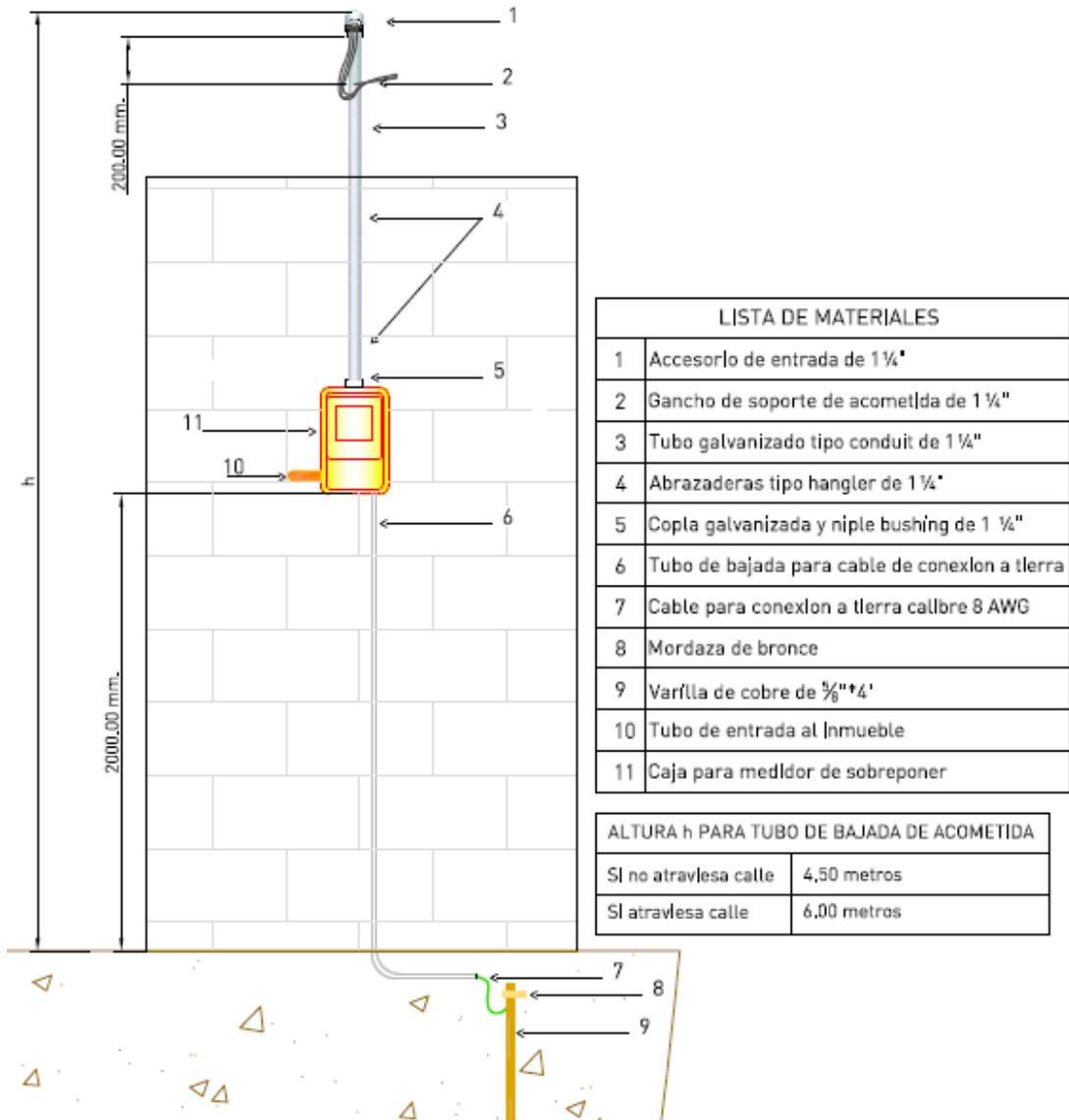
Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica, normas EEGSA, p 26.

Anexo F. **Detalle de acometida eléctrica de EEGSA**



Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica, normas EEGSA, p 22.

Anexo G. Detalle de acometida eléctrica de Energuate



Fuente: Energuate. Especificaciones técnicas de medida, capítulo 1. p 12.

Anexo H. **Formulario de solicitud de usuario Autoprodutor con excedente de energía proporcionado por EEGSA**



Departamento de Atención al Cliente

Firma del solicitante: _____

FORMULARIO PARA QUE LOS USUARIOS AUTOPRODUCTORES CON EXCEDENTES DE ENERGÍA LE INFORMEN AL DISTRIBUIDOR SOBRE LAS INSTALACIONES DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA RENOVABLE DENTRO DE SUS INSTALACIONES DE CONSUMO

1. Datos generales del usuario:

Nombre del usuario o representante legal: _____

Razón social de la empresa o entidad: _____

Dirección: _____

Municipio: _____ Departamento: _____

Teléfono: _____ Fax: _____

Correo electrónico: _____

Número de identificación del usuario ante el distribuidor: _____

2. Datos generales del proyecto:

2.1 Fuente de energía renovable: (marque la (s) que corresponda (n):

| | | |
|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Hidráulica | <input type="checkbox"/> Eólica | <input type="checkbox"/> Biomasa |
| <input type="checkbox"/> Solar | <input type="checkbox"/> Geotérmica | <input type="checkbox"/> Otra _____ |

2.2 Especificaciones técnicas:

Número de unidades generadoras: _____ Potencia total instalada: _____ kW

2.3 Medios de protección, control y desconexión automática SI

Favor describir las características: _____

Manifiesto que NO deseo participar como vendedor de energía eléctrica y atentamente solicito el suministro e instalación del medidor bidireccional respectivo.
(En el caso de usuarios regulados, el suministro e instalación del medidor respectivo lo cubrirá el distribuidor; mientras que los grandes usuarios son responsables de su sistema de medición).

Lugar y fecha: _____

Firma del usuario: _____

Distribución gratuita

Formulario autorizado por CNEE según Resolución CNEE No. 171-2008

Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica. www.cnee.gob.gt.

Anexo I. **Formulario de solicitud de usuario Autoprodutor con excedente de energía proporcionado por Energuate**

FORMULARIO PARA QUE LOS USUARIOS AUTOPRODUCTORES CON EXCIDENTES DE ENERGIA LE INFORMEN AL DISTRIBUIDOR SOBRE LAS INSTALACIONES DE GENERACION DISTRIBUIDA RENOVABLE DENTRO DE SUS INSTALACIONES DE CONSUMO

1. Datos generales del Usuario :

Nombre del Usuaio o representante legal: _____
Razón social de la entidad: _____
Dirección: _____
Municipio: _____ Departamento: 
Teléfono _____ Fax: _____ Correo Electrónico: _____
Numero de identificaciones del usuario ante el Distribuidor: _____

2. Datos generales del proyecto :

2.1 Fuente de energía renovable (marque la(s) que corresponda(n)):

Hidráulica Eólica Biomasa
 Solar Geotérmica Otra

2.2 Especificaciones técnicas:

Numero de unidades Generadas _____ Potencia total Instalada _____ Kw.

2.3 Medios de Proteccion, control y desconexion automatica: Si

Favor describir las características: _____

Manifiesto que NO deseo participar como vendedor de energia electrica y atentamente solicito el suministro e instalacion del medidor bidimensional respectivo. (En el caso de Usuarios regulados , el suministro e instalacion del medidor respectivo lo cubrira el Distribuidor; mientras que los Grandes Usuarios son responsables de su sistema de medicion.)

LUGAR Y FECHA: _____ Guatemala, 3 de otra del 2013

Firma del solicitante: _____

Anexo J. **Certificado de cumplimiento de pruebas a paneles solares e inversores de energía eléctrica**

Certificate of Compliance

| | |
|--------------|------------------|
| Certificate: | Master Contract: |
| Project: | Date Issued: |
| Issued to: | |

The products listed below are eligible to bear the shown with adjacent indicators 'C' and 'US' for Canada and US or with adjacent indicator 'US' for US only or without either indicator for Canada only.

Issued by:

PRODUCTS

CLASS - POWER SUPPLIES - Distributed Generation Power Systems Equipment
CLASS - POWER SUPPLIES - Distributed Generation - Power Systems Equipment
- Certified to U.S. Standards

Utility Interactive Micro Inverters, Models M215-60-2LL-S2x, M215-60-2LL-S2x-NA, M215-60-SIE-S2x, M215-60-SIE-S2x-NA, M215-60-2LL-S2x-ZC, M215-60-2LL-S2x-ZC-NA, M215-60-2LL-S2x-IG, M215-60-2LL-S2x-IG-NA, M215-60-2LL-S2x-IG-ZC, M215-60-2LL-S2x-IG-ZC-NA, M240-60-2LL-S2x, M240-60-2LL-S2x-NA, M250-60-2LL-S2x, M250-60-2LL-S2x-NA, M250-60-2LL-S2x-ZC and M250-60-2LL-S2x-ZC-NA.

For details related to rating, size, configuration, etc. reference should be made to the

Notes:

- AC and DC connectors evaluated for disconnecting under load (for this application only).

D00 807 Rev. 2012-05-23 Page: 1

Fuente: Enphase Energy. www.enphaseenergy.com.