



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**INSTALACIÓN DE UN SISTEMA DE ALIMENTACIÓN BASADO EN  
CELDAS FOTOVOLTÁICAS PARA UN EQUIPO DE TELEFONÍA  
CELULAR**

**TESIS**

Que para obtener el título de

**Ingeniero en Telecomunicaciones**

**P R E S E N T A**

Belmonte Picón Jocsán Salomón

**DIRECTORA DE TESIS**

Dra. Aida Huerta Barrientos



**Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2018**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## JURADO ASIGNADO.

Presidente: Ing. Carlos Gabriel Giron Garcia.

Secretario: Ing. Alejandro Sosa Fuentes

Vocal: Dra. Aida Huerta Barrientos.

1° Suplente: Dr. Victor Garcia Garduño.

2° Suplente: Margarita Bautista González.

Lugar o lugares donde se realizó la tesis: Ciudad Universitaria, UNAM

### **TUTOR DE TESIS:**

Dra. Aida Huerta Barrientos

---

**FIRMA**

## AGRADECIMIENTOS

Gracias  
A Dios, a mis Padres, a mi Familia.

Gracias a Dios por darme la capacidad de salir adelante con mis estudios, darme la vida y todos los elementos posibles para llegar a este punto. Gracias a mis padres por ser los seres más maravillosos que he tenido la dicha de conocer, quienes fueron las personas que guiaron mi camino para llegar hasta el fin de la carrera. Gracias a mi familia que todo el tiempo me apoyó económicamente para terminar mis estudios y la finalización del presente trabajo.

Universidad Nacional Autónoma de México.

Especiales agradecimientos a la Dra. Aida Huerta Barrientos por todas las atenciones que me brindó desde el inicio del proyecto hasta la finalización del mismo. Gracias por la paciencia y el trato hacia mi persona e incluso, Gracias a ella que me dio la oportunidad de desarrollar el trabajo de la instalación del proyecto y sobre todo, a las facilidades y el tiempo invertido en los viajes que se realizaron en Oaxaca. Gracias a toda la comunidad de maestros que contribuyeron con sus opiniones y conocimientos para concluir el trabajo.

A Telecomunicaciones Indígenas Comunitarias y gente de Villa Talea de Castro.

Gracias Infinitas a todo el equipo de TIC, ya que sin ellos no hubiera sido posible la instalación y el tema para el presente trabajo. Gracias por la disposición de su tiempo, Gracias por los conocimientos teóricos y técnicos aportados a la instalación, Gracias por los estudios previos que realizaron para la instalación y sobre todo, Gracias por brindar el permiso para la difusión del proyecto. Gracias a los habitantes de las comunidad de Villa Talea de Castro quienes brindaron su hospitalidad y atención en los viajes y que también hicieron posible la instalación.

A los Miros, Compañeros de la FI, Amigos y Personas Especiales.

Eternos agradecimientos a los Miros: Edson, Alejandro, Allan, Efraín, Joel, Hersay, Mario y demás compañeros de la FI, quienes me apoyaron a terminar la carrera y sobre todo, gracias por el apoyo incondicional en el proceso. Gracias por su paciencia y su amistad. Gracias a René Espinosa quien me apoyó incondicionalmente al final del proceso y que de igual forma me apoyó en uno de los viajes a Oaxaca. Gracias Danny Xicotencatl quien me apoyó en la construcción del trabajo final. Gracias al Ingeniero Carlos Alonso, al Ingeniero Cesar Díaz y el equipo “team Audingmex” por su apoyo en las últimas instancias. Gracias a Susana Rodriguez, a Esmeralda Flores, Karen Vega, Daniela Martinez, a los Nemesis de P4: Selene, Elizabeth y Memo, Gracias a los de “La 10” por confiar en mi, Gracias por todo su apoyo y motivación durante la elaboración del trabajo.

ÍNDICE GENERAL.....	4
ÍNDICE DE FIGURAS.....	6
ÍNDICE DE TABLAS.....	8
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	9
1. CAPÍTULO 1. PROBLEMÁTICA EN EL SUMINISTRO DE ENERGÍA PARA SISTEMAS DE TELECOMUNICACIONES EN COMUNIDADES RURALES.....	12
1.1. Las redes de telecomunicaciones.....	12
1.2. Cobertura de las redes de telecomunicaciones.....	16
1.3. Sistema eléctrico en México.....	25
1.4. La telefonía celular comunitaria.....	30
1.4.1. Descripción técnica.....	32
1.4.2. Marco jurídico.....	38
1.4.3. Desempeño operativo.....	43
1.5. Problema por resolver.....	56
1.6. Objetivo general.....	58
1.7. Objetivo específico.....	58
2. CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE LA LITERATURA Y MARCO TEÓRICO.....	59
2.1. Aprovechamiento de la radiación solar.....	59
2.2. Célula fotovoltaica.....	62
2.3. Funcionamiento teórico de una celda.....	64
2.3.1. La Unión p-n.....	70
2.3.2. Fotogeneración de portadores de carga.....	72
2.3.3. Separación de los portadores de carga.....	74
2.3.4. Factor de llenado.....	75
2.3.5. Eficiencia en la conversión de energía.....	77
2.4. Otras formas de suministro de energía eléctrica alternativas.....	78
2.4.1. Molinos de vientos y aerogeneradores.....	78
2.5. Diseño de un sistema de alimentación fotovoltaico.....	81
2.5.1. Módulo fotovoltaico.....	84
2.5.2. Regulador de carga.....	86
2.5.3. Baterías de ciclo profundo.....	89
2.5.4. Inversor o convertidor.....	93
2.6. Casos de estudio.....	95
2.6.1. Instalación de un sistema de alimentación fotovoltaica.....	95
2.6.2. Instalación de Goodenergy en Santa Fe.....	104
2.6.3. Sistema híbrido aislado de sistema de diésel con un sistema de paneles solares.....	105

3. CAPÍTULO 3. INSTALACIÓN DE UN SISTEMA DE ALIMENTACIÓN BASADO EN CELDAS FOTOVOLTAICAS.....	107
3.1. Arreglo de un sistema de alimentación para un sistema de telefonía comunitaria.....	107
3.2. Dificultades principales al efectuar la instalación.....	127
3.3. Instalación de un sistema de alimentación por medio de celdas fotovoltaicas.....	129
4. EVALUACIÓN DE LA INSTALACIÓN.....	139
4.1. Periodo de Observación.....	139
4.2. Eficiencia de equipos.....	145
4.3. Recomendaciones técnicas para mejorar la eficiencia técnica.....	148
CONCLUSIONES.....	151
BIBLIOGRAFÍA.....	154
ACRÓNIMOS.....	157

ÍNDICE DE FIGURAS.....6

	PÁGINA
Figura 1. Diagrama de red de telecomunicaciones.....	12
Figura 2. Diagrama de ICT y RITIS.....	14
Figura 3. Tipos de Señales Continuas y Discretas.....	15
Figura 4. Denominaciones de cobertura geográfica de una red.....	16
Figura 5. Líneas de Penetración por cada 100 hogares para el servicio de Telefonía fija.....	18
Figura 6. Gráfica de los servicios de telefonía fija.....	19
Figura 7. Líneas fijas por cada 100 unidades.....	19
Figura 8 Flujo de distribución de telefonía móvil .....	21
Figura 9. Gráficas de pospago.....	21
Figura 10. Nivel nacional de teledensidad.....	22
Figura 11. Ciclo de conversión de energía eléctrica.....	25
Figura 12. Diagrama de tipos de Energías usados en México.....	26
Figura 13. Mapa de las regiones del sistema eléctrico nacional.....	29
Figura 14. Sistema celular y sus radiobases.....	33
Figura 15. Ejemplo de instalación de antena de telefonía celular.....	35
Figura 16. Esquema de operación de la Telefonía celular comunitaria.....	38
Figura 17. Tres capas en la infraestructura común.....	40
Figura 18. Diagrama esquemático del sistema de telefonía celular Comunitaria .....	41
Figura 19. Cadena de tecnología de telefonía celular.....	46
Figura 20. Hardware o equipo y medios de transmisión.....	46
Figura 21. Estadística del sistema de telefonía celular comunitaria instalada en la comunidad de Talea de Castro.....	50
Figura 22. Mapa de Cobertura de Talea de Castro en Radio Mobile .....	52
Figura 23. Visita Cerro Picacho, Oaxaca Villa Talea de Castro .....	56
Figura 24. Mapa de la república Mexicana donde se muestra la mayor y menor radiación solar.....	61
Figura 25. Diagrama de una célula fotovoltaica .....	63
Figura 26. Diagrama del efecto fotoeléctrico .....	64
Figura 27. Funcionamiento de una celda .....	65
Figura 28. Capa superior e inferior de las celdas.....	66
Figura 29. Representación de la diferencia de potencial o voltaje de corriente respecto al tiempo en corriente continua.....	68
Figura 30. Funcionamiento e implementación de celdas fotovoltaicas.....	68
Figura 31. Capas de una celda solar.....	75
Figura 32. Aerogeneradores. Parque eólico en Vendsyssel-Thy, Dinamarca.....	78
Figura 33. Transporte de aerogeneradores.....	80
Figura 34. Efecto fotoeléctrico.....	81
Figura 35. Kit de sistema fotovoltaico aislado.....	82
Figura 36. Estructura de un panel fotovoltaico.....	85
Figura 37. Regulador de carga básico.....	86
Figura 38. Regulador de carga.....	87
Figura 39. Baterías de ciclo profundo.....	89
Figura 40. Diferencia entre conexión serie y paralelo.....	92
Figura 41. Inversor o convertidor.....	93
Figura 42. Energía consumida en España por fuente de origen .....	95
Figura 43. Radiación solar media diaria en España.....	96
Figura 44. Cabina RBS Ericsson 2116 .....	97
Figura 45. Gabinete Ericsson 2116.....	99
Figura 46. Características del Panel Sharp ND-R250A5.....	100

Figura 47. Sistema de implementación final.....	101
Figura 48. Orientación e instalación con respecto a la montaña.....	102
Figura 49. Instalación del sistema fotovoltaico en Santa Fe.....	104
Figura 50. Esquema del circuito híbrido alimentado por diesel y celdas fotovoltaicas.....	106
Figura 51. Arreglo del sistema de alimentación por medio de celdas fotovoltaicas.....	106
Figura 52. Paneles fotovoltaicos 250 polycrystalline solar module.....	113
Figura 53. Especificación técnica de las baterías.....	114
Figura 54. Especificación técnica del regulador de carga.....	114
Figura 55. BTS alimentado por medio de un panel fotovoltaico.....	116
Figura 56. BTS que se usará en Villa Talea de Castro.....	116
Figura 57. Antena TX9181290NF.....	117
Figura 58. Diagrama de Radiación.....	120
Figura 59. Arquitectura de los conectores MC-4.....	120
Figura 60. Sistema de Alimentación de un sistema de telefonía celular comunitaria.....	121
Figura 61. Ubicación del punto donde se colocará el sistema.....	122
Figura 62. Diseño de una torre arriostrada.....	124
Figura 63. Diseño de la base hormigón de una torre de comunicaciones.....	125
Figura 64. Diseño de la torre de comunicación.....	125
Figura 65. Montaje de la torre de comunicación.....	126
Figura 66. Vista panorámica cerro Picacho.....	127
Figura 67. Visita técnica. Herramientas y torre.....	128
Figura 68. Montaje de paneles fotovoltaicos y estructura para sostener los paneles fotovoltaicos..	128
Figura 69. Día de la instalación de los paneles.....	129
Figura 70. Colocación de la torre.....	130
Figura 71. Montaje especial para las celdas y armario para colocar las baterías de ciclo profundo..	131
Figura 72. Material para cables CN40.....	132
Figura 73. Comprimiendo la terminal para el cable.....	134
Figura 74. Conectores MC-4 Macho.....	134
Figura 75. Fusible para protección del conector MC-4.....	134
Figura 76. Colocación de la cinta de aislar.....	135
Figura 77. Cables encinchados.....	136
Figura 78. Colocación del regulador de carga y baterías en el refrigerador.....	137
Figura 79. Instalación del sistema de alimentación.....	138
Figura 80. Configuración del regulador de carga.....	139
Figura 81. Montaje de la antena sectorial.....	140
Figura 82. Mapa de cobertura de Talea de Castro.....	141
Figura 83. Data Sheet de Antena TX9187290.....	143
Figura 84. Gráfica de eficiencia del sistema de alimentación.....	147
Figura 85. Equipo TIC.....	152

ÍNDICE DE TABLAS.....	8
Tabla 1. Tabla de operadores de las principales de empresas de telecomunicaciones en México.....	23
Tabla 2. Capacidad Instalada por tipo de tecnología (CFE.2011).....	28
Tabla 3. Tabla de características de sistema de telefonía comunitaria.....	42
Tabla 4. Características de la simulación en Software de Radio Mobile de la antena.....	52
Tabla 5. Relación de tensión del trabajo fotovoltaica .....	90
Tabla 6. Características de la BTS.....	97
Tabla 7. Sistema solar fotovoltaica aislado para alimentación de comunicaciones aisladas.....	99
Tabla 8. Características finales de la celda.....	99
Tabla 9. Calculadora de consumo de energía.....	107
Tabla 10. Resultados arrojados por la calculadora y dispositivos que cumplan con las características para alimentar de potencia los dispositivos para el sistema de alimentación.....	108
Tabla 11. Cálculo de sistema de alimentación fotovoltaica.....	108
Tabla 12. Cálculo de baterías para el sistema de alimentación.....	109
Tabla 13. Frecuencia de operación.....	115
Tabla 14. Datos eléctricos de TX9181290NF.....	118
Tabla 15. Datos mecánicos de la antena.....	119
Tabla 16. Lista de comunidades con vista directa, orientación en grados e inclinación con respecto a la antena.....	122
Tabla 17. Tabla de inclinación de celdas solares.....	131
Tabla 18. Datos de Salida del sistema de alimentación.....	142
Tabla 19. Datos finales arrojados por el sistema de alimentación.....	142
Tabla 20. Inversión inicial para el proyecto de Talea.....	149
Tabla 21. Aproximación de precios para el proyecto.....	150

ÍNDICE DE ECUACIONES.....	9
Ecuación 1. Cálculo de número de electrones y de huecos en las bandas de valencia y conducción.....	72
Ecuación 2. Factor de llenado.....	75
Ecuación 3. Eficiencia en la conversión de energía.....	77
Ecuación 4. Energía de un fotón.....	82
Ecuación 5. Método de potencia.....	109
Ecuación 6. Cálculo nominal de banco de baterías.....	110
Ecuación 7. Teorema de Pitágoras.....	125
Ecuación 8. Potencia máxima.....	142

## INTRODUCCIÓN

El objetivo general de este trabajo es la presentación de la instalación y evaluación de un sistema de alimentación por medio de celdas fotovoltaicas, para alimentar un sistema de telefonía celular comunitaria. Este trabajo es de gran impacto ya que se han abordado temas relacionados con el uso y aprovechamiento de energías sustentables, la demanda y falta de infraestructura energía eléctrica, cobertura geográfica de servicios de telecomunicaciones e infraestructura de telecomunicaciones. Con la finalidad de dar a conocer el impacto de las instalaciones de los sistemas sustentables y solucionar los problemas de falta de infraestructura eléctrica e intermitencia de energía eléctrica. El trabajo se basa en evaluaciones de proyectos realizados por la empresa Telecomunicaciones indígenas comunitarias (TIC), la cual es una empresa que utiliza las nuevas tecnologías de la información y la comunicación, especialmente en telefonía celular comunitaria, para facilitar el bienestar social, la organización comunitaria y la autonomía personal y colectiva. Su enfoque combina el activismo y la reforma regulatoria para el desarrollo de la infraestructura descentralizada de telecomunicaciones, la participación directa de las comunidades en zonas rurales y el compromiso crítico con las nuevas tecnologías.

La instalación de las celdas fotovoltaicas se realizó en Villa Talea de Castro, Oaxaca, ubicada en la parte centro-norte del estado y a 113 k.m de la capital del estado. De acuerdo con CONAPO en 2005 tenía 2 mil 324 habitantes.

En la actualidad, las tecnologías en las telecomunicaciones están evolucionando constantemente, y han contribuido con un gran impacto en el desarrollo de la vida cotidiana y laboral de las personas. El presente trabajo de investigación hace énfasis en temas importantes de las telecomunicaciones y de temas de desarrollo sustentable como son; la necesidad de que el hombre esté en contante comunicación para emergencias, negocios, entorno social entre otras, el impacto de promover alternativas de suministro energéticos sustentables, funcionales y rentables para satisfacer las necesidades de la sociedad, satisfacer la demanda de servicios de telecomunicaciones.

El presente trabajo está conformado por 4 capítulos. En el capítulo 1, trata sobre la infraestructura de los sistemas de telecomunicaciones, la problemática del acceso a servicios de telecomunicaciones en comunidades rurales y en la República Mexicana, la competencia de los proveedores de servicios de telecomunicaciones y su alcance, en donde se abordan las dificultades relacionadas con la falta de

infraestructura de telecomunicaciones en comunidades rurales y la falta de infraestructura de suministro de energía eléctrica en todo el país.

En el Capítulo 2, se describe el marco teórico sobre el uso y funcionamiento de los paneles fotovoltaicos y además, se hace mención de la literatura acerca de sistemas de alimentación por medio de paneles fotovoltaicos en equipos de telecomunicaciones, incluyendo los resultados y la eficiencia de usar estas fuentes de energías alternativas con la finalidad de fomentar y distribuir estos modelos de suministros de energía.

En el Capítulo 3, se describe paso a paso la instalación del sistema de alimentación conformada por paneles fotovoltaicos. Además, se enfatiza las dificultades que se tuvieron para la instalación, la obtención de materiales y especificaciones de los equipos para dar una proyección de futuros proyectos.

Finalmente, en el Capítulo 4, se evalúan los resultados de la instalación del sistema de alimentación. Además de que se hace un resumen técnico de la factibilidad de cada uno de los equipos y dispositivos para la integración del sistema de alimentación.

## Capítulo 1. Problemática en el suministro de energía para los sistemas de telecomunicaciones en comunidades rurales.

### 1.1 Las Redes de Telecomunicaciones.

Las tecnologías de la información y comunicación se han desarrollado tecnológicamente de forma exponencial, y una de las formas de demostrarlo es con la evolución de las telecomunicaciones, ya que de hoy en día se dan avances cada vez más modernos con el fin de satisfacer la necesidad de las personas para estar comunicando y compartir información desde cualquier punto. Según el Dr. Federico Kuhlmann y Antonio Alonso en la edición de 1996 de Información y Telecomunicaciones, las redes de telecomunicaciones consisten en la construcción de una infraestructura física mediante la cual se transporta información desde la fuente, hasta un destino (transmisor, receptor).

En la Figura 1, se observa un esquema de infraestructura básica de telecomunicaciones mostrando: medios de transmisión y conmutación, con los cuales los usuarios podrán gozar de diversos servicios de telecomunicaciones como son: llamadas locales, nacionales e internacionales, Internet, uso de datos móviles, voz, radio, televisión entre otros servicios.

Cada servicio que las telecomunicaciones ofrece tiene distintas características en su infraestructura, algunas pueden utilizar diferentes redes de transporte, y, por tanto, el usuario requiere de distintos equipos terminales. Por ejemplo, para tener acceso a la red telefónica, el equipo terminal requerido consiste en un aparato telefónico; para recibir el servicio de telefonía celular, el equipo terminal consiste en teléfonos portátiles con receptor y transmisores de radio.

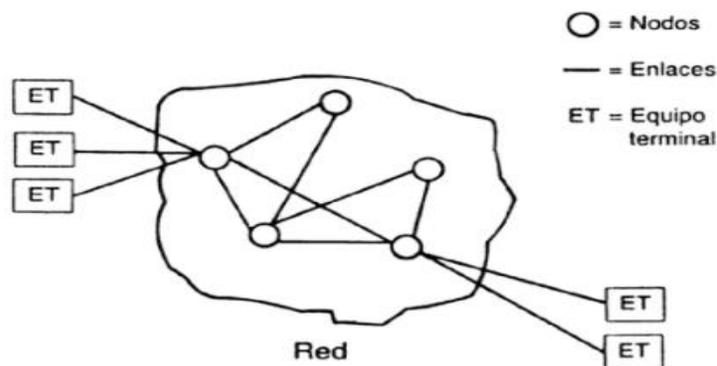


Figura 1. Diagrama de Red de Telecomunicaciones.

Recuperado de: <http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3>

El concepto de telecomunicaciones abarca todas las formas de alcanzar la comunicación a largas distancias. De acuerdo con el Instituto Federal de Telecomunicaciones<sup>1</sup>. Las telecomunicaciones son todos aquellos procedimientos de emisión, transmisión o recepción de signos, señales, datos, imágenes, voz, sonidos o información de cualquier naturaleza que se efectúe a través de hilos, ondas electromagnéticas, medios ópticos, físicos u otros sistemas radioeléctricos, es decir, hasta cuando la sensibilidad de los sentidos humanos se pierde. En resumen, las telecomunicaciones consisten en la transmisión de información desde un punto hasta otro mediante señales de cualquier naturaleza, típicamente electromagnéticas, pulsos de luz o microondas.

Las infraestructuras de las telecomunicaciones tienen diferentes estructuras que dependiendo el medio de transmisión que se va a utilizar para la distribución de los servicios que se van a transmitir. Las instalaciones son necesarias para adaptar y distribuir los servicios de telecomunicaciones a las viviendas locales, radiobases, televisión terrestre, telefonía y de telecomunicaciones de banda ancha. La infraestructura antes mencionadas están basadas la ICT (Infraestructura Común de Telecomunicaciones)

La ICT<sup>2</sup> (ver Figura 2) es la instalación básica que permite la distribución de señales de telecomunicaciones que engloba el soporte y equipamiento para ofrecer los servicios en:

- Telefonía.
- RDSI (Red Digital de Servicios Integrados).
- Radiocomunicaciones.
- Fibra óptica.
- Enlace Satelitales.
- Enlaces de Microondas.

Además, la ICT facilita una canalización conjunta normalizada para todos los servicios suministrado, regula la obra civil en el interior de los edificios, e incluye la instalación eléctrica necesaria para dar soporte a los servicios suministrados. En cada ICT, varía los equipos y soporte dependiendo el tipo de servicio que se va a distribuir.

Una ICT se divide en tres tipos de redes:

- Distribución: La red que distribuye los servicios entre las plantas del edificio.
- Dispersión: Aquella que distribuye los servicios dentro de cada planta hasta el domicilio del usuario.
- Usuario: Interna de cada vivienda.

RITS<sup>3</sup> (Recinto de Instalación de Telecomunicaciones Superior), es el cuarto de telecomunicaciones. En el cual se instalan los dispositivos necesarios para poder establecer un enlace telefónico. El RITI (Recinto de Instalación de Telecomunicaciones Inferior), es el origen de la canalización principal de ICT, en donde radican los registros principales para los servicios de telefonía disponible para el público y de banda ancha; las cuales son las envolventes que contienen los puntos de interconexión entre las redes de alimentación de los diferentes operadores y de la distribución de la edificación.

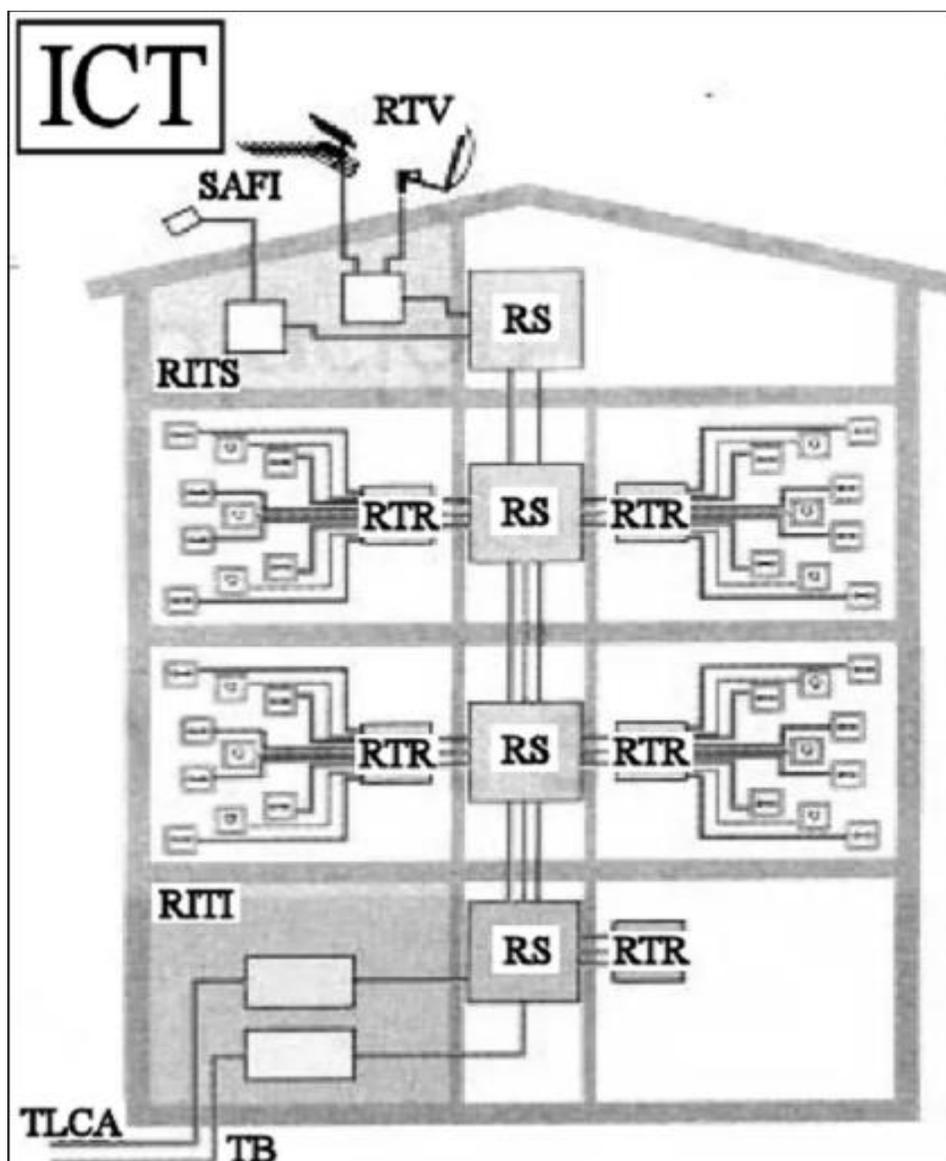


Figura 2. Diagrama de ICT y RITIS

Recuperado de: <https://automatismoindustrial.com/a-instalaciones-de-enlace/3-2-instalacion-electrica-en-vivienda/3-2-17-cuadro-servicios-generales/>

RITU (Recinto de Instalación de Telecomunicaciones Único), lleva lo necesario para que el servicio llegue a cada vivienda. En caso de conectarse una antena o televisión por cable, se haría a este. Se usa cuando la edificación es de viviendas unifamiliares o en bloques de 10 viviendas o menos. En caso de viviendas unifamiliares se usa un recinto único que contiene toda la infraestructura necesaria para distribuir todos los servicios de telecomunicaciones, en el caso de bloques pequeños de hasta 10 viviendas, este recinto puede ser un armario con dimensiones (2x1x0,5 m) que contiene los equipos necesarios para la distribución de los servicios de telecomunicaciones.

Todo sistema de telecomunicaciones está conformado en su totalidad por una fuente encargada de enviar la información mediante un canal o medio de transmisión por el cual se manda la información, como puede ser cable coaxial, fibra óptica y más comúnmente; el aire por medios de ondas electromagnéticas y un receptor que recibe la información. Estos sistemas tienen que tener con las principales requisitos de la ICT ya que facilitará cualquier instalación de un sistema de telecomunicaciones.

Todos los sistemas de telecomunicaciones transmiten y reciben señales (ver Figura 3), es decir, determinada información que varía en el tiempo que pueden ser: analógicas que tienen un valor en cada instante de tiempo o discretas que son aquellas que toman valores solo en determinados instantes de tiempo.

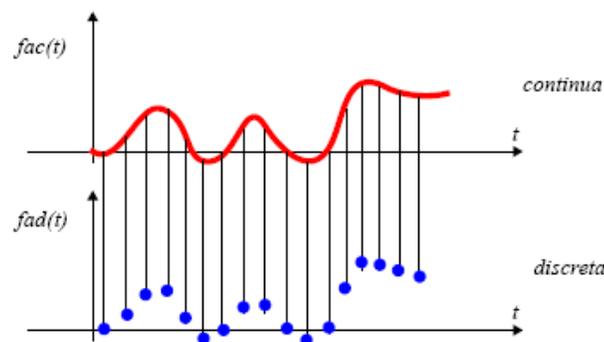


Figura 3. Tipo de Señales Continuas y Discretas.  
 Recuperado de: <https://tuelectronica.es/senales-analogicas-y-digitales/>

1. Instituto Federal de Telecomunicaciones. Órgano Regulador de las Telecomunicaciones en México.
2. El Real Decreto-ley 1/1998 Sobre la infraestructura común en los edificios para el acceso a los servicios de Telecomunicaciones. La ICT2 (Infraestructura Común de Telecomunicaciones).
3. RITI (Recinto de Instalación de Telecomunicaciones Inferior)
4. El Real Decreto-ley 1/1998 Sobre la infraestructura común en los edificios para el acceso a los servicios de Telecomunicaciones. RITS3 (Recinto de Instalación de Telecomunicaciones Superior).

## 1.2 Cobertura de las redes de telecomunicaciones.

Una característica importante de los sistemas de telecomunicaciones radioeléctricos es su alcance, es decir, el área de cobertura geográfica o cobertura de propagación, ya que ésta indica los límites en que un usuario puede conectarse y tener acceso a la red para utilizar los servicios que ofrece un prestador de servicios de telecomunicaciones. Por ejemplo, existen redes locales que enlazan computadoras instaladas en un mismo edificio o una sola oficina (conocidas como *LAN*<sup>1</sup> por su nombre en inglés: *local area network*), pero también existen redes de cobertura más amplia conocidas como *WAN*<sup>2</sup> (por su nombre en inglés *wide area network*), las redes de cobertura urbana que distribuyen señales de televisión por cable en una ciudad, redes metropolitanas que cubren a toda la población de una ciudad, redes que enlazan redes metropolitanas o redes urbanas formando redes nacionales, y redes que enlazan las redes nacionales, las cuales constituyen una red global de telecomunicaciones. (ver Figura 4).

El término de cobertura hace referencia al área geográfica en la que se dispone y distribuye un servicio, principalmente se suele emplearse en comunicaciones radioeléctricas.

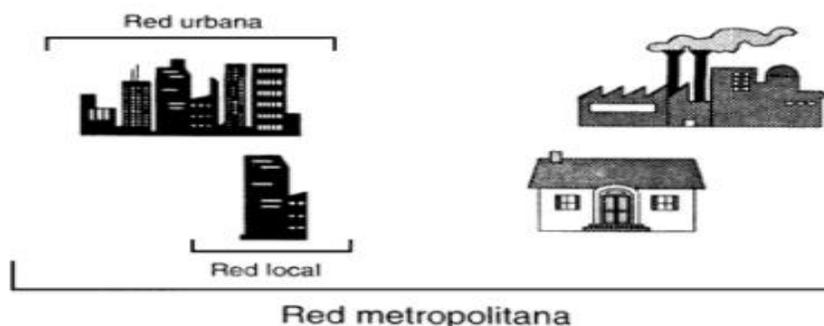


Figura 4. Denominaciones de cobertura geográfica de una red.

Recuperado de:

[http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/149/htm/sec\\_8.htm](http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/149/htm/sec_8.htm)

Como sugirió la ONM en 2014 (Organizaciones nacionales miembros), las telecomunicaciones son un mercado mundial que genera ingresos por valor de más de 1,5 billones de dólares.

Los servicios de telefonía móvil representan el 40%, por lo que los suscriptores de estos servicios en todo el mundo son en la actualidad más del doble de los usuarios en líneas telefónicas fijas.

De acuerdo con “*El Primer Informe Trimestral Estadístico 2016 (1T 2016)*” del Instituto Federal de Telecomunicaciones, en los últimos 5 años los sectores de telecomunicaciones y radiodifusión han registrado flujos importantes de “La Inversión extranjera directa” (IDE<sup>3</sup>).

Como lo indica el IFT, durante el 1T2016 los sectores de las telecomunicaciones y la radiodifusión (TyR) en conjunto presentaron un incremento en contribución al PIB nacional.

El dinamismo se aceleró durante los años 2013, 2014 y 2015 derivado de las fusiones y adquisiciones detonadas por el cambio en el marco regulatorio. De este modo, durante el 2014 se presentó una salida de IDE de \$4,157 millones de dólares estadounidenses debido a la venta que realizó el operador AT&T de su participación accionaria en América Móvil. Asimismo, en el 2015 se observó una entrada de capital de \$2,575 millones de dólares estadounidense derivada de la compra del operador Iusacell y el operador Nextel que realizó AT&T. Impulsando la industria extranjera y aumentando la competencia en las industrias de telecomunicaciones, sobre todo un incremento en la venta en los servicios de telecomunicaciones entre los cuáles; durante el Primer Trimestre del 2016 se tuvo que:

- La Penetración de Telefonía fija fue de 60 líneas por cada 100 hogares.
- El 76% de las líneas fueron residenciales y el 24% no residenciales.
- El 75% del tráfico fue nacional y el 25% de larga distancia internacional. Es decir, se incrementaron las llamadas de larga distancias.
- El mercado registró 19.5 millones de líneas fijas.

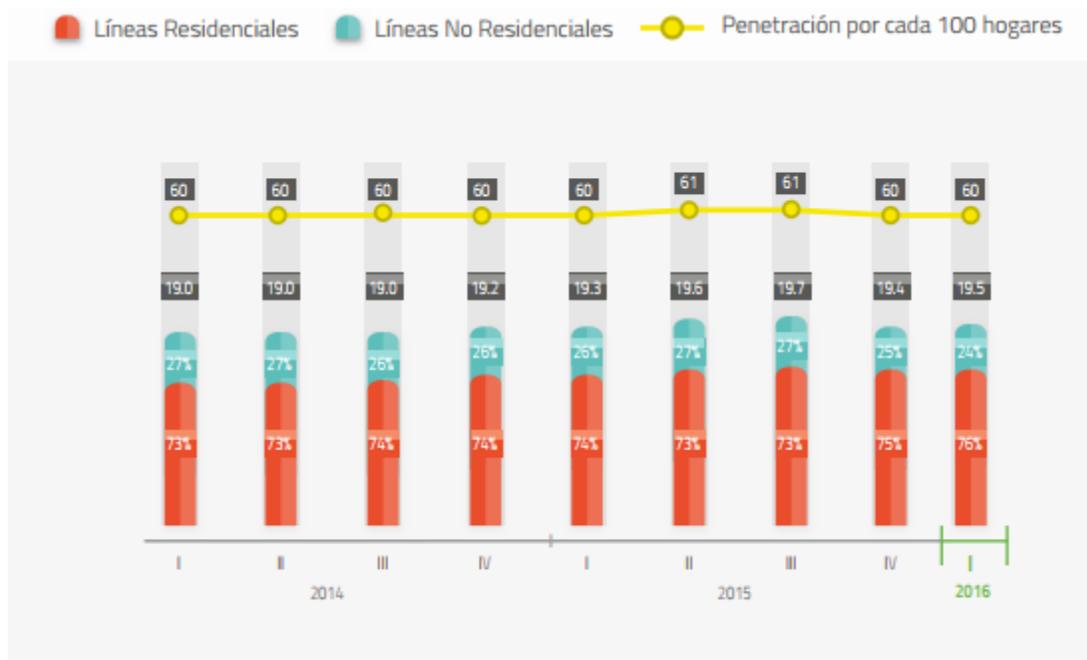


Figura 5. Líneas y Penetración por cada 100 hogares para el servicio de Telefonía Fija.

Recuperado de: Instituto Federal de Telecomunicaciones (2016), Primer Informe Trimestral Estadístico 2016. Ciudad de México, México.

Para el primer trimestre de 2016, la telefonía fija llegó a 19.6 millones de líneas a nivel nacional y se mantuvo relativamente estable desde el primer trimestre del 2014. (ver Figura 5).

Por otro lado, al cierre del 1T2016 el nivel de penetración se mantuvo en 60 líneas por cada 100 hogares, mientras que el número de líneas residenciales fue de aproximadamente 14.7 millones que equivalen al 76% del total de líneas con lo que la penetración de líneas residenciales fue de 45 líneas por cada 100 hogares.

Dado estas Circunstancias, la distribución de líneas inició con casi un 80% en el año del 2016 con las líneas concentradas de Telmex y Grupo Televisa, además GTM, Megacable-MCM y Axtel-Avantel-Alestra con 6.7%, 5.8% y 4.4% respectivamente.

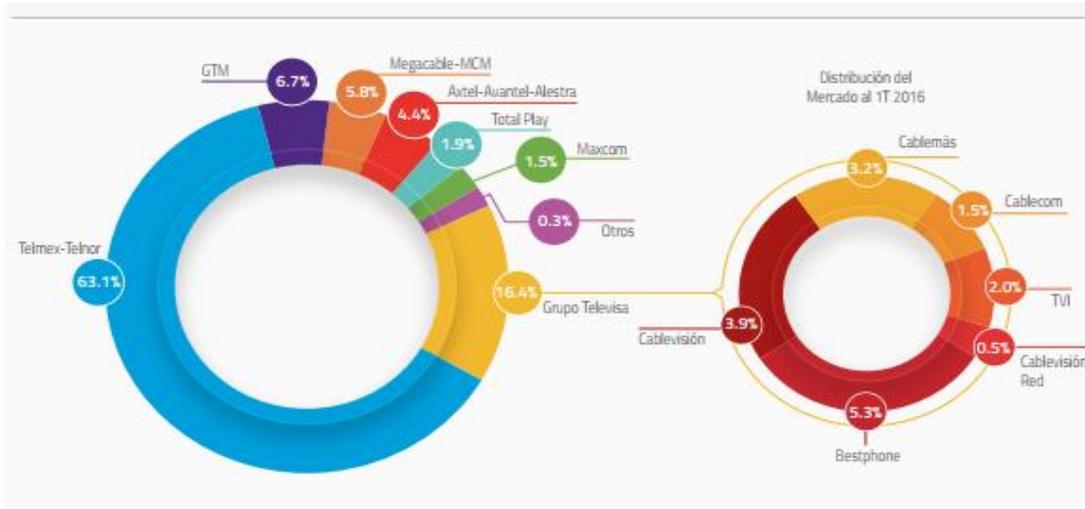


Figura 6. Gráfica de los Servicios de telefonía fija.  
 Recuperado de: Instituto Federal de Telecomunicaciones (2016), Primer Informe Trimestral Estadístico 2016. Ciudad de México, México.

De acuerdo con la Figura 6, en el segmento residencial, la penetración de telefonía fija cerró el 1T2016 en 45 líneas por cada 100 hogares, con un contraste entre entidades como la ciudad de México, Nuevo León y Jalisco, donde el nivel de adopción de telefonía fija en los hogares superó las 55 líneas por cada 100 hogares, y entidades como Oaxaca, Chiapas y Tabasco, donde la adopción del servicio se encontró por debajo de 25 líneas por cada 100 hogares. Observando que en los estados mencionados anteriormente no gozan, de suficiente telefonía fija para comunicarse al exterior o internamente.



Figura 7. Líneas fijas por cada 100 Unidades.  
 Recuperado de: Instituto Federal de Telecomunicaciones (2016), Primer Informe Trimestral Estadístico 2016. Ciudad de México, México.

Como se observa en la Figura 7, el mapa de la república mexicana muestra que la zona de Oaxaca, Guerrero y Chiapas los cuales son las zonas con menos infraestructura de telecomunicaciones en telefonía fija.

Por otra parte, la telefonía móvil o también llamada telefonía celular, tiene un incremento con la nueva “Ley Federal de Telecomunicaciones” y la entrada de nuevas empresas extranjeras para la distribución de servicios de telecomunicaciones.

La inversión de las empresas extranjeras hizo que se registrara durante el primer trimestre del 2016 lo siguiente:

- La teledensidad<sup>4</sup> de telefonía móvil fue de 89 suscripciones por cada 100 habitantes.
- El número de suscriptores de telefonía móvil llegó a 108.8 millones.
- La teledensidad de banda ancha móvil fue de 54 suscriptores por cada 100 habitantes.
- La Teledensidad de banda ancha móvil creció 26% respecto al mismo trimestre del 2015.

En el primer trimestre de 2016, el número de suscripciones de telefonía móvil llegó a 108.8 millones, lo que representa un crecimiento de 5.3% respecto al mismo periodo de 2015. Asimismo, durante el 1T2016 tanto la teledensidad como la distribución de suscripciones por esquema de pago mantuvieron un comportamiento estable, cerrando el periodo con una teledensidad de 89 suscripciones por cada 100 habitantes y un 84% de la población con acceso a telefonía móvil.

Con respecto a la distribución de mercado, al cierre del 1T 2016 Telcel se mantuvo como el operador con mayor nivel de participación con poco más de 73 millones de suscripciones. Por otro lado, Telefónica alcanzó casi 26 millones de suscripciones. Asimismo, AT&T se ubicó como el tercer operador con más participación al contar con 9.2 millones de suscripciones, mientras que los Operadores Móviles Virtuales (OMV<sup>6</sup>) alcanzaron alrededor de 870 mil suscripciones.

De este modo, la concentración, medida a través del Índice Herfindahl-Hirschman (IHH<sup>7</sup>), continuó con la tendencia a la baja que mostró durante el 2015, presentando una disminución de 179 puntos con respecto al primer trimestre de 2015, acompañada con una disminución en el índice de precios de telefonía móvil.

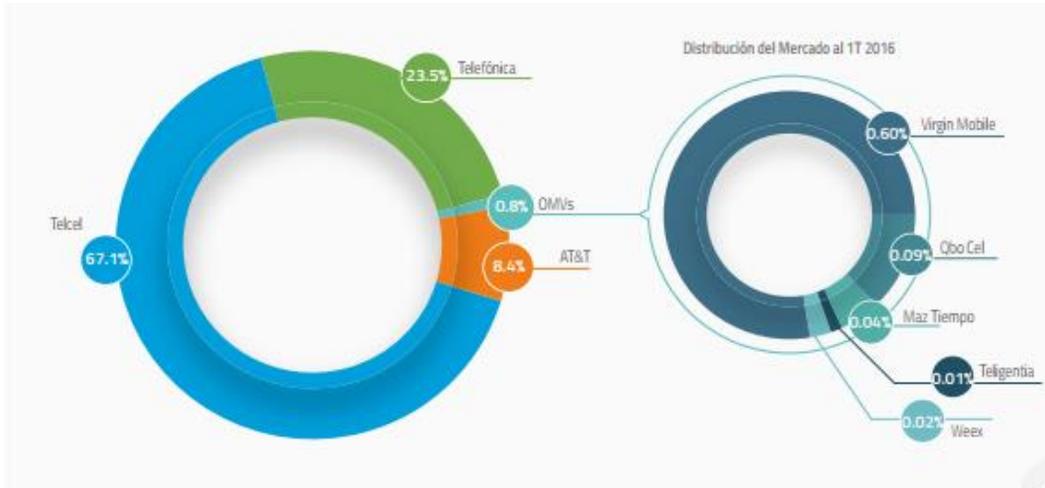


Figura 8. Flujo de distribución de Telefonía móvil.  
 Recuperado de: Instituto Federal de Telecomunicaciones (2016), Primer Informe Trimestral Estadístico 2016. Ciudad de México, México.

De acuerdo con la Figura 8, en la modalidad de prepago, Telcel y Telefónica concentran el mercado casi en su totalidad con una participación conjunta de más de 93%, sin embargo, solo Telefónica tuvo un incremento de casi 2% en su cuota de mercado con respecto al primer trimestre del 2015, mientras que Telcel la disminuyó en casi 3% durante el mismo periodo. Asimismo, destaca la participación de AT&T en este segmento debido a que del 4T 2015 al 1T 2016 el operador reportó un crecimiento del 14% en sus suscripciones. De la misma manera, del 1T 2015 al 1T 2016 los OMVs (ver Figura 9) pasaron de 212 mil a 870 mil suscripciones. Los movimientos antes mencionados se reflejaron en el IHH, el cual se redujo 308 puntos del 1T 2015 al 1T 2016, cerrando el 1T 2016 en 5,295.



Figura 9. Gráficas de Pospago  
 Recuperado de: Instituto Federal de Telecomunicaciones (2016), Primer Informe Trimestral Estadístico 2016. Ciudad de México, México.

casos como la Ciudad de México, Nuevo León, Estado de México y Aguascalientes en donde el indicador superó las 101 suscripciones por cada 100 habitantes, en contraste con estados como Oaxaca y Chiapas en donde la teledensidad está por debajo de 60 suscripciones por cada 100 habitantes.



Figura 10. Nivel Nacional de Teledensidad.  
Recuperado de: Instituto Federal de Telecomunicaciones (2016), Primer Informe Trimestral Estadístico 2016. Ciudad de México, México.

Como se muestra en la Figura 10, en el nivel nacional de teledensidad, una vez más mostrando a las zonas de Chiapas y Oaxaca como las zonas con menos cobertura en telefonía móvil.

En la Tabla 1, se hace un resumen de la información con los datos del estatus de las Redes Móviles: México 2017<sup>8</sup>, en donde se tiene los operadores más importantes de México con sus respectivos porcentajes de cobertura nacional y además, se muestra la tecnología que manejan para poder cubrir la República Mexicana.

Tabla 1. Tabla de Operadores de las principales empresas de Telecomunicaciones en México.

TELCEL	Movistar	AT&T
TDMA (Análogo Digital)	CDMA (Digital)	CDMA (Digital)
GSM (2G)	GSM (2G)	EV-DO (3G CDMA )
GPRS (2.5 G)	GPRS (2.5 G)	GSM (2G)
EDGE (2.75 G)	EDGE (2,75 G)	GPRS (2.5 G)
UMTS (3G)	UMTS (3G)	EDGE (2.75G)
HSPA y LTE (4G)	HSDPA (3.5 G)	UMTS (3G)
Cobertura en el País de 64.73%	LTE (4G)	HSPA+ (3.9G)
	53.00 %	LTE (4G)
		Cobertura en el país del 68.00%

Recuperado de: Instituto Federal de Telecomunicaciones (2016), Primer Informe Trimestral Estadístico 2016. Ciudad de México, México.

La cobertura de las redes de telecomunicaciones es un gran problema en México ya que, a pesar de los avances en las tecnologías de las telecomunicaciones, el aumento de infraestructura y la entrada de empresas extranjeras y debido a la alta demanda de usuarios con necesidad para acceso a las telecomunicaciones, no se tiene abastecido totalmente la telefonía móvil en la república mexicana. Por lo anterior se tiene que:

- Investigaciones de consultorías internacionales señalan que actualmente AT&T es el operador que tiene la mayor cobertura con 68% aproximadamente en tecnología 4G. Esta es la cobertura de AT&T:
- Investigaciones de consultorías señalan que actualmente Telcel tiene cubierto un territorio de 64.73%.
- Movistar se sitúa en el tercer puesto con tan solo el 52% de Territorio cubierto.

El uso de la telefonía móvil en México ha crecido enormemente con el paso de los años. Según datos del Instituto Federal de Telecomunicaciones, mientras que en 1990 apenas había 63 mil 900 suscripciones de telefonía móvil y en el año 2000 poco más de 14 millones, en el último trimestre de 2013 se alcanzó la cifra de 105 millones de suscripciones. Esto significa que al término de ese año que existían 88.3 suscripciones por cada 100 habitantes.

- 
1. Son las siglas de *Local Area Network*, Red de área local. Una LAN es una red que conecta los ordenadores en un área relativamente pequeña y predeterminada (como una habitación, un edificio, o un conjunto de edificios).
  2. Red de área amplia, una red de ordenadores que abarca un área geográfica relativamente grande. Normalmente, un WAN consiste en dos o más redes de área local (LANs).
  3. Inversión extranjera Directa. Instituto Federal de Telecomunicaciones (2016), Primer Informe Trimestral Estadístico 2016. Ciudad de México, México
  4. Una Medida de la cantidad de teléfonos en una región, en comparación con el número de habitantes.
  5. Operador Móvil Virtual. Instituto Federal de Telecomunicaciones (2016), Primer Informe Trimestral Estadístico 2016. Ciudad de México, México
  6. índice Herfinddahl-Hirschman
  7. estado de las redes móviles: México.

### 1.3 El sistema eléctrico en México.

Hoy en día la energía eléctrica es imprescindible en cualquier actividad cotidiana, ya que posee diversos usos finales que hacen que constantemente se busquen todos los medios para poder transformar diferentes fuentes primarias en energía.

Según SENACE, los sistemas eléctricos pueden ser tan complejos como se pretendan diseñar, y el diseño va en función de las necesidades que se tengan que cubrir.

De acuerdo con el Dr. Sergio Mora, las tres fases fundamentales de cualquier sistema eléctrico comprenden la generación, transmisión y distribución de energía.

Para poder generar energía eléctrica se debe contar con una red de transmisión que conduzca la energía de la central generadora, hasta un centro de consumo o una estación que permita posteriormente, como última fase técnica, distribuirla con menor potencia hacia un usuario final, (ver Figura 11).

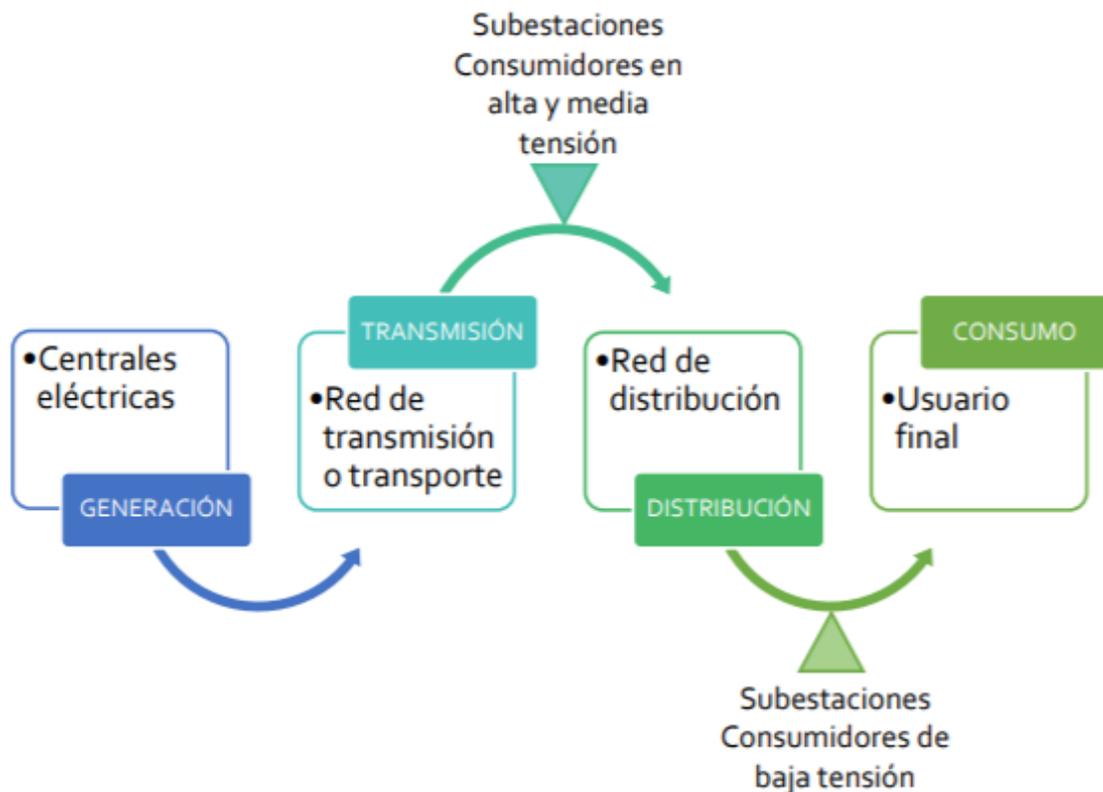


Figura 11. Ciclo de conversión de energía eléctrica.

Recuperado de: Desarrollo de proyectos de generación de energía eléctrica en México para 2024, A través de energía renovable, en el marco del mercado eléctrico, Sergio Mora Pérez.

El Sistema Eléctrico Nacional en México, es un sistema conformado por 3 subsistemas, pero separados estratégicamente por la geografía del país. Dos de los tres subsistemas se encuentran en la península de Baja California. Uno se distribuye en Baja California, y otro en Baja California Sur. El otro subsistema y el de mayor capacidad es el Sistema Interconectado Nacional (SIN), el cual corresponde al resto del país, es decir, desde Puerto Peñasco hasta en el extremo sur del país en Cozumel. Juntos conforman el SEN, cuyo control y operación se encarga el CENACE<sup>1</sup>.

Las centrales eléctricas pueden generar energía a través de diferentes tecnologías o procesos de conversión, básicamente se pueden clasificar en dos grupos de centrales, las de tecnología denominadas por SENER<sup>2</sup> como convencional que utilizan combustibles fósiles, y las de tecnologías limpias, la cuales emplean diferentes tipos de fuentes energéticas disponibles y aprovechadas en México, incluyendo nuclear, cogeneración eficiente y las energías renovables; y cada vez con mayor auge a la eólica y fotovoltaica (ver Figura 12).



Figura 12. Diagrama de tipos de Energías usados en México.  
 Recuperado de: Elaboración propia con información de Sistema de Información Energética (SENER), 2010

En México existe una matriz energética para el sector eléctrico relativamente diversificada, no obstante, el parque de generación de energía eléctrica mayoritariamente abarca un 82% del sistema Nacional ya que contiene centrales que utilizan combustibles fósiles y en consecuencia solo casi una quinta parte de dicha generación proviene de fuentes limpias, lo que significa el 18 %. De tal

modo, en México no se ha explotado totalmente el uso de las energías Limpias especialmente las energías limpias como la fotovoltaica.

Actualmente, la mayoría de los dispositivos electrónicos requieren de corriente eléctrica mediante una red de transmisión o pilas para cumplir con las tareas que se les fueron programadas, ya sea por transformación, amplificación o Interrupción.

Los equipos constituidos en su totalidad por componentes de electrónicos, como las tecnologías de información y las telecomunicaciones se caracterizan por tener:

- Dispositivos Semiconductores.
- Dispositivos pasivos como resistencias, capacitores e inductores.
- Dispositivos no pasivos electrónicos como amplificadores, transductores, convertidores o multiplexadores

Las redes de telecomunicaciones necesitan una fuente o una red eléctrica para poder efectuar sus funciones de transmisión y recepción sean: microondas, fibra óptica, radiofrecuencia, redes de datos, entre otras. Actualmente en México, solo hay una empresa de la distribución de energía eléctrica en México que es la CFE.

La madrugada del 11 de octubre de 2009 fue una noche amarga para una de las industrias que producían electricidad en México, ya que el gobierno de la república publicó mediante el *Diario Oficial de la Federación*, dio una noticia de gran impacto, ya que el presidente de la república mexicana; Firmó y decretó la “extinción de la empresa Luz y Fuerza del Centro (LyF)”. Entre las principales razones por las cual se dio la disolución de esta empresa radica, la comprobación de la ineficiencia operativa y financiera, ya que esta representaba un costo muy elevado ya que no representaba rentable para la economía nacional y sobre todo para los ciudadanos de la república.

Debido a esto y antes de que la reforma energética diera la entrada a la industria privada; se establece que el sector eléctrico es propiedad de *Comisión Federal de Electricidad (CFE)*<sup>3</sup> ya que la constitución Mexicana establece que es propiedad federal, dejándola como la principal y única empresa en ofrecer los servicios de electricidad en México. La empresa fue creada por el gobierno federal el 14 de agosto de 1937 la cual tendría como función organizar y dirigir un sistema nacional de generación, transmisión y distribución de las redes energética, basándose en los principios técnicos y económicos. Debido a esto CFE comenzó a construir plantas generadoras de tal forma que incrementaba su infraestructura para ampliar las redes de transmisión y distribución, beneficiando a más mexicanos, brindándoles servicios de bombeo de agua de riego y la molienda, así como mayor alumbrado público y electrificación de comunidades. Los Primeros Proyectos de generación de energía eléctrica se realizaron en Teloloapan (Guerrero), Pátzcuaro (Michoacán),

Suchiate y Xia (Oaxaca), y Ures y Altar (Sonora). De este modo la Red eléctrica de CFE crecería de forma radical ya que es reconocida como una de las mayores empresas eléctricas del mundo. Actualmente se cuenta con 197 centrales generadoras que suministran electricidad a aproximadamente 190 mil localidades que representan el 97.60% de la población nacional. Las centrales eléctricas se encuentran distribuidas de acuerdo a la Tabla 2. Hoy en día el uso de la energía eléctrica es una necesidad indispensable, las comunicaciones, el transporte, el abastecimiento de alimentos, los servicios en el hogar dependen de un buen suministro de energía eléctrica. A medida que los países se industrializan, el consumo de energía aumenta.

Tabla 2. Capacidad Instalada por tipo de tecnología (CFE,2011)

<b>Capacidad Efectiva instalada, centrales y Unidades Generadoras</b>			
<b>Tipo</b>	<b>No. Centrales</b>	<b>Unidades</b>	<b>Capacidad MW</b>
<b>Vapor convencional</b>	<b>26</b>	<b>87</b>	<b>12336.1</b>
<b>Dual</b>	<b>1</b>	<b>7</b>	<b>1778.36</b>
<b>Carboeléctrica</b>	<b>2</b>	<b>8</b>	<b>2600</b>
<b>Ciclo Combinado</b>	<b>13</b>	<b>59</b>	<b>6122.38</b>
<b>Geotermoeléctrica</b>	<b>7</b>	<b>37</b>	<b>886.6</b>
<b>Turbogás</b>	<b>39</b>	<b>68</b>	<b>1558.01</b>
<b>Combustión interna</b>	<b>9</b>	<b>56</b>	<b>211.01</b>
<b>Turbogás móvil</b>	<b>0</b>	<b>11</b>	<b>115.4</b>
<b>Combustión interna móvil</b>	<b>0</b>	<b>19</b>	<b>3.11</b>
<b>Hidroeléctrica</b>	<b>64</b>	<b>178</b>	<b>11210.89</b>
<b>Eoloeléctrica</b>	<b>3</b>	<b>106</b>	<b>1364.88</b>
<b>Nucleoeléctrica</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1364.88</b>
<b>Productores Independientes</b>	<b>22</b>	<b>74</b>	<b>11906.9</b>
<b>subtotal</b>	<b>178</b>	<b>712</b>	<b>51180.34</b>
<b>Zona Centro (A partir de Octubre de 2009)</b>			
<b>Geotermoeléctrica</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>224</b>
<b>Turbogas</b>	<b>2</b>	<b>25</b>	<b>822</b>
<b>Hidroeléctrica</b>	<b>16</b>	<b>38</b>	<b>288.33</b>
<b>subtotal</b>	<b>19</b>	<b>67</b>	<b>1334.33</b>
<b>GRAN TOTAL</b>	<b>197</b>	<b>779</b>	<b>52514.67</b>

Recuperado de: CFE estableció 9 regiones del sistema eléctrico nacional para poder distribuir el servicio del sistema eléctrico.



Figura 13. Mapa de las regiones del sistema eléctrico nacional.  
 Recuperado de: Mapa geográfico de distribución eléctrica CFE. 2014

La Figura 13, muestra cada una de las regiones donde se encuentra dividido el sistema eléctrico nacional en donde pondremos toda nuestra atención en la región 2, que es la encargada de suministrar energía eléctrica en los estados de Oaxaca, Veracruz y Chiapas.

Los estados de Oaxaca, Guerrero y Chiapas dependen de una sola región, lo cual se puede observar que son de los estados con menor infraestructura de red de distribución eléctrica. Además, como se vio antes la infraestructura de telefonía móvil y telefonía fija no tienen gran distribución en los estados de Oaxaca, Chiapas y Yucatan. Los lugares más vulnerables de infraestructura de telecomunicaciones y red de distribución eléctrica son las Comunidades Rurales, especialmente en la Zona de Oaxaca que hay zonas en la sierra donde las empresas de distribución de redes de telecomunicaciones no llegan ya que no sería rentable para ellos desplegar los equipos para brindar telefonía móvil o telefonía fija. Por lo que en este trabajo se presentará la Telefonía Celular Comunitaria promovida por la empresa de Telecomunicaciones Índigenas Comunitaria como una solución para poder brindar servicios de telefonía móvil y datos móviles

---

1. CENACE. Informe Anual del Centro Nacional de Control de Energía, 2015  
 2. SANER. Secretaría de Energía  
 3. Comisión Federal de Electricidad.

#### 1.4 Telefonía celular comunitaria.

Telefonía Celular Comunitaria es un esfuerzo conjunto de Telecomunicaciones indígenas comunitaria (TIC) <sup>1</sup> y Redes A.C.<sup>2</sup> para conectar a comunidades rurales a costos accesibles, a través de un esquema en el que la propia comunidad adquiere, administra y opera su red local de telefonía celular.

De acuerdo con el Manual de Telefonía Celular Comunitaria<sup>1</sup> 2014, explica que a través de una red local-celular, la comunidad brinda: llamadas locales y mensajes locales ilimitados, llamadas de larga distancia a México y el mundo a un costo hasta 98% menor al ofrecido por otros servicios de telefonía, variedad de aplicaciones móviles de acuerdo con las necesidades de la comunidad.

La Telefonía Celular Comunitaria es el resultado de muchos años de trabajo en la lucha por los derechos a la comunicación y ha logrado que, por primera vez en el mundo, el espectro para telefonía celular sea asignado de manera directa a concesionarios comunitarios e indígenas.

Además, es un modelo basado en las Recomendaciones de Política Pública para el Desarrollo de Tecnologías de Información y Comunicación (TIC) en Comunidades Rurales e Indígenas de la Unión Internacional de Telecomunicaciones<sup>1</sup> (International Telecommunications Union).

Estas recomendaciones señalan que la operación del servicio para atender a este tipo de localidades debe hacerse con base en niveles de economía, a partir del establecimiento de una cadena de operadores que administren la parte del servicio en la que cada uno es más eficiente. El modelo se basa en una red local totalmente operada y administrada por la comunidad con la asesoría de una asociación cooperativa a la que las comunidades pertenecen. Las llamadas nacionales se hacen a través de Internet, servicio que es proporcionado por una microempresa y el servicio de voz por Internet (VoIP<sup>2</sup>) es proporcionado por un pequeño operador, que se conecta a la red global de telefonía. De esta forma, bajo un esquema ganar-ganar, la comunidad participa en la operación del servicio y sus usuarios se ven beneficiados en la reducción de costos, asegurando que los ingresos se queden en la comunidad y en una asociación a la que ellos pertenecen para invertirlo en innovación y capacitación. Hay puntos muy importantes a tomar en cuenta en una comunidad como son:

- Las Comunidades son dueñas y operadoras de la infraestructura de su red local celular.
- Junto con TIC, la comunidad construya y administra su red a través de la instalación de una radiobase y el equipo necesario para su administración.
- TIC desarrolla la tecnología para mejorar el servicio de comunicaciones, gestiona acuerdos con proveedores de internet y VoIP y facilita el soporte técnico de la red.
- Las llamadas de larga distancia a México y el mundo requieren de un protocolo de internet y la comunidad contrata un proveedor.
- Las y los usuarios pueden ser miembros por una cuota mensual pactada entre TIC y la comunidad.
- Llamadas y mensajes locales son limitados.

La Telefonía Celular comunitaria tiene cuatro elementos indispensables para su operación.

- Base Organizativa. Es la base social que permite a la localidad operar una red bajo un esquema comunitario y a una serie de localidades administrar una concesión y dar servicios de mantenimiento y formación de personal
- Base tecnológica. Es la elección adecuada accesible en precio, en mantenimiento y en operación para las comunidades y sus organizaciones.
- Base económica. Es el esquema de negación basado en la desagregación de servicios de acuerdo con economías de gran escala, que hace posible prestar el servicio a la comunidad a bajo costo
- Base técnica. Es la infraestructura material y personal que permite a la comunidad adquirir las capacidades necesarias para la operación de un servicio, mantenimiento y desarrollo de aplicaciones e innovación.

- 
1. Manual de Telefonía Celular Comunitaria (MTCC). creado por Redes por la Diversidad, Equidad y sustentabilidad AC. Telecomunicaciones Indígenas comunitarias, Telecomunicaciones indígenas comunitaria, 2017
  2. Voz sobre IP<sup>3</sup> Voz sobre protocolo de Internet.

### 1.4.1 Descripción técnica.

La Telefonía Celular o Telefonía móvil son sistemas de comunicación Inalámbricos el cual funciona a través de ondas electromagnéticas. La telefonía celular es uno de los avances más significativos de las telecomunicaciones ya que a su llegada, millones de personas tienen acceso a la comunicación con facilidad y comodidad que otorga la tecnología.

De acuerdo con Juan Carlos Lara Tapia en conceptos básicos de telefonía celular, la telefonía móvil básicamente está formada por dos grandes partes: una red de comunicaciones (o red de telefonía móvil), que está compuesta de antenas repartidas por la superficie terrestre, y de los terminales (o teléfonos móviles), que permiten el acceso a dicha red.

Los teléfonos celulares, por muy sofisticados que sean y luzcan, no dejan de ser radio transmisores personales con usos personales dentro del entorno social del usuario<sup>1</sup>. Siendo un sistema de comunicación telefónica totalmente inalámbrica, los sonidos se convierten en señales electromagnéticas, que viajan a través del aire, siendo recibidas y transformadas nuevamente en mensaje a través de antenas repetidoras o vía satélite.

Para entender mejor cómo funcionan estos sofisticados aparatos puede ayudar compararlos con una radio de onda corta (OC<sup>1</sup>) o con un walkie-talkie. Un radio OC es un aparato simple. Este permite que dos personas se comuniquen utilizando la misma frecuencia<sup>2</sup>, así que sólo una persona puede hablar al tiempo.

Un teléfono celular es un dispositivo dual, esto quiere decir que, utiliza una frecuencia para hablar, y una segunda frecuencia aparte para escuchar. Un teléfono celular puede utilizar aproximadamente 1664 canales. Estos teléfonos también operan con "células" (o "celdas") y pueden alternar la célula usada a medida que el teléfono es desplazado.

Las células dan a los teléfonos un rango mucho mayor a los dispositivos que lo comparamos. Un walkie-talkie puede transmitir hasta quizás una milla. Una radio OC, debido a que tiene un poder mucho más alto, puede transmitir hasta 5 millas.

Alguien que utiliza un teléfono celular, puede manejar a través de toda la ciudad y mantener la conversación todo el tiempo mediante handover que es el traspaso de una célula a otra. Las células son la área que dan a los teléfonos celulares servicios de telefonía en rangos distintos o cobertura. Es importante mencionar que en cada célula existe una estación base que será la antena que tiene una amplitud<sup>3</sup> para emitir y recibir en un hexágono de espacio la señal (ver Figura 14).

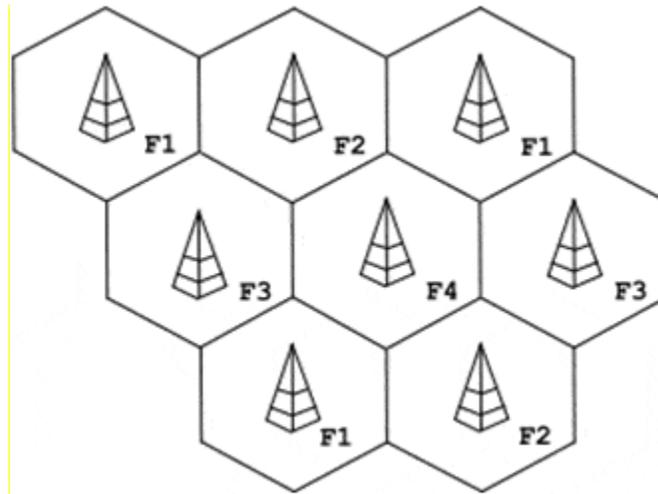


Figura 14. Sistema celular y sus radiobases.  
Fuente: <http://www.areatecnologia.com/telefonía-movil.htm>.

Cada célula utiliza varias decenas de canales. Un canal es por donde se puede emitir una llamada, es decir que por cada célula se pueden emitir varias decenas de llamadas diferentes y simultáneas una por canal. Cada canal es diferenciado por una frecuencia diferente. Realmente un canal son las ondas electromagnéticas emitidas y/o recibidas en una comunicación a una frecuencia determinada. Cuando yo me comunico con otra persona con mi teléfono, los dos lo hacemos por la misma frecuencia, la frecuencia del canal por el que nos estamos comunicando (emitimos ondas de la misma frecuencia).

Cada canal emite las señales (ondas electromagnéticas) a una frecuencia diferente, lo que da la posibilidad de que varias decenas de personas puedan comunicarse simultáneamente en cada célula sin interferirse unas con otras.

De acuerdo con el MTCC de 2014, se emite por un canal de la célula a una frecuencia concreta, por eso es única. Cuando una persona se mueve de una célula para otra, pasa a utilizar y engancharse a una de las frecuencias de la nueva célula (se engancha a un canal de la nueva célula), dejando libre el canal de la célula anterior para ser usada por otra persona también denominado circuito. Las operadoras de telefonía móvil tienen centrales de conmutación. La Central de Conmutación es la que permite la conexión entre dos terminales concretos. Hace la conexión entre los 2 teléfonos, conecta a los dos usuarios, el que hace la llamada y el que la recibe. Hoy en día la conmutación es digital, electrónica y totalmente

tautomatizada. Cuando un teléfono hace una llamada, se conecta con la central de conmutación de la estación base más cercana y que pertenezca a la red del su operador (movistar, Vodafone, Telecel)

Hoy en día todos los sistemas de telefonía celular están regidos bajo estos fundamentos. Aunque es importante resaltar que las grandes Radiobases y los ISP<sup>4</sup> se encuentran funcionando de manera constantes en ciudades grandes, que es donde se encuentran las grandes empresas de Telecomunicaciones.

Las redes de telefonía móvil de segunda generación (GSM y UMTS) están basados en arquitectura celular o celdas que quedan cubierto a nivel radioeléctrico por estaciones Base o BTS (Base Tranceiver Station). Las BTS tienen como función en una red de telefonía móvil:

- Ofrecer un canal de broadcast que los terminales de abonado utilizan para medir el grado de cobertura disponible y tratar de cambiar a otra BTS si es preciso (handover).
- Ofrecen canales de tráfico para el establecimiento de llamadas telefónicas desde/hacia los terminales de abonado.
- Disponen de conexiones alámbricas o inalámbricas hacia las centrales telefónicas BSC, desde donde se pueden encaminar las llamadas hacia otras zonas de la red.

Las BTS son capaces de prestar servicio a un número limitado de abonados dentro del área geográfica determinada la cual se determinado por su cobertura radioeléctrica. Es decir, dispone de un número acotado de canales de tráfico disponibles para el establecimiento de llamadas telefónicas. Si todos esos canales están ocupados, ningún otro abonado podrá establecer una llamada hasta que quede algún canal libre, situación que se conoce con el nombre de saturación.

En los entornos rurales, donde el número de usuarios es menor, las BTS suelen tener cobertura omnidireccional. En zonas urbanas, con mayor concentración de población, se utiliza la técnica de trisectorización, consistente en dividir la célula en tres zonas, denominadas sectores, que a efectos prácticos funcionan como células independientes.

Adicionalmente, en determinadas áreas como aeropuertos se instalan picocélulas o pequeñas BTS cuyo objetivo es ampliar las capacidades del sistema.

Las redes de telefonía móvil pueden verse afectadas por las catástrofes de dos formas.

- Por un lado, la propia catástrofe puede dañar la infraestructura de la red, averiando las BTS o sus enlaces con las centrales BSC, haciendo que las BTS queden inoperativas y que no se pueda prestar el servicio en determinadas zonas.
- Por otro lado, aun cuando la infraestructura no quede dañada, la catástrofe provocará un incremento espectacular en el número de llamadas, causando la saturación de las BTS implicadas y disminuyendo la eficiencia de la red. En la primera hora tras los atentados del 11-M en Madrid, se registró un aumento del 700% en el tráfico de llamadas telefónicas.

Para paliar estos efectos, las compañías operadoras de telefonía móvil disponen de BTS móviles, que pueden desplegarse bien cuando haya sucedido una catástrofe, bien en previsión de posibles saturaciones ante grandes concentraciones de público.

Las BTS móviles se montan sobre camiones o contenedores transportables y normalmente están dotadas de grupo electrógeno propio, siendo por tanto completamente autosuficientes (ver Figura 15 ).



Figura 15. Ejemplo de instalación de antena de telefonía celular.  
Recuperado de: <http://emercomms.ipellejero.es/2009/08/06/bts-moviles-en-redes-de-telefonía-celular/>

La Figura 15, muestra una BTS móvil de las tres operadoras de telefonía móvil que disponen de infraestructura propia en España: Telefónica, Vodafone y Amena (actual Orange), durante un despliegue preventivo en Madrid en el año 2004.

Este tipo de BTS son muy útiles si se despliegan de forma preventiva en situaciones en las que se esperen grandes concentraciones de público en una zona determinada. No obstante, las emergencias siempre suceden de forma imprevista y las BTS móviles pueden tardar en desplegarse en la zona. Por tanto, hemos de considerar que en las primeras horas o incluso días de una emergencia las redes de telefonía móvil pueden quedar inoperativas, por lo que los servicios de emergencia siempre deberán disponer de medios de comunicaciones alternativos.

La tecnología de la telefonía celular comunitaria tiene características esenciales como son:

- Bajo costo.
- Fácil de Operar.

De acuerdo con el MTCC, La telefonía comunitaria se hace posible gracias al desarrollo de dos tecnologías: SDR y GNU Radio.

SDR (*Software Defined Radio*) o radio definida por *software* que es un sistema de radiocomunicaciones en el que varios de los componentes típicamente implementados en hardware (mezcladores, filtros, moduladores o demoduladores, detectores) son ejecutados en *software*, utilizando una computadora personal u otros dispositivos de computación embebida.

La SDR ha evolucionado en función de la tecnología digital pues ha hecho posible desde el punto de vista práctico muchos los procesos que tiempo atrás solamente eran teóricos. Con SDR, una gran parte del procesamiento de las señales se realiza en procesadores de propósito general, en lugar de utilizar hardware de propósito específico.

Esta configuración permite cambiar los protocolos y formas de ondas simplemente cambiando parámetros en el *software*. Los SDR son de gran utilidad tanto en los servicios de telefonía celular como en el ámbito militar ya que en ambos se puede manejar vario protocolos en tiempo real, los cuales cambian frecuentemente en función de lo que se necesite. A largo plazo, se prevé que los radios definidos por *software* se conviertan en la tecnología dominante en radiocomunicaciones, pues es la vía que permite llegar a la radio cognitiva<sup>3</sup> Un SDR básico puede estar conformado por una computadora equipada con una tarjeta de sonido u otro conversor de analógico a la digital, precedido de algún adaptador de radiofrecuencia.

GNU Radio es una herramienta o *software* de desarrollo libre y abierto que provee bloques de procesamiento de señal para implementar sistemas de radio definida por *software*. Puede utilizarse con hardware de RF de bajo costo para crear radios definidas por *software* o sin hardware en un ambiente de simulación. Se utiliza extensivamente en ambientes académicos, aficionados y comerciales para dar soporte a la investigación en comunicaciones inalámbricas y en sistemas de radio en el mundo real.

Estos dos hallazgos, GNU Radio y SDR, permitieron las primeras experimentaciones con tecnología celular implementada desde el *software* libre y abierto, con lo que se evita tener que utilizar equipos de patente extremadamente caros.

- 
1. OC. Onda Corta en telecomunicaciones.
  2. Representa el número de ciclos completos por unidad de tiempo de una señal eléctrica. Se expresa generalmente en Hertz (ciclos/segundo). De acuerdo con el libro "Redes de Datos de Telecomunicaciones" de Evelio Ramírez, 2014.
  3. Radio Cognitiva es un paradigma de la comunicación inalámbrica en la cual tanto las redes como los mismos nodos inalámbricos cambian los parámetros particulares de transmisión o de recepción para ejecutar su cometido de forma eficiente sin interferir con los usuarios autorizados.

#### 1.4.2 Marco jurídico.

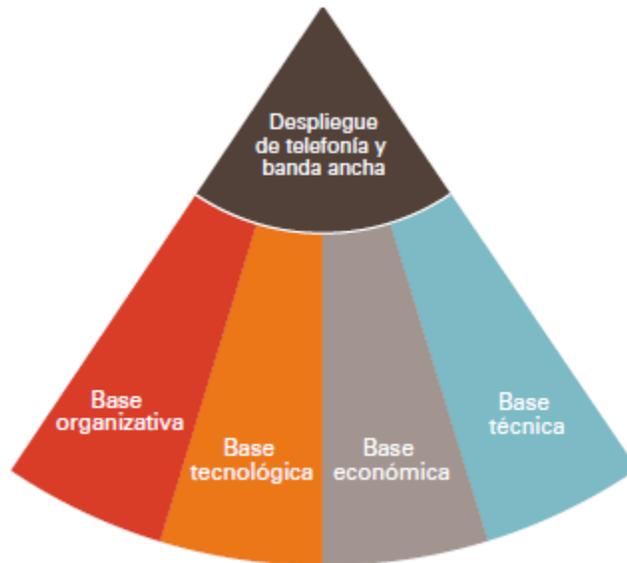


Figura 16. Esquema de operación de la Telefonía Celular Comunitaria.  
Recuperado de: Manual de Telefonía Celular Comunitaria (2017).

De acuerdo con el MTCC 2014 el marco jurídico en el que se desenvuelve la red local corresponde al sistema normativo propio de cada comunidad (ver Figura 16).

De acuerdo con el Artículo 2º de la Constitución Mexicana<sup>1</sup> y el Convenio 169 de la OIT, los pueblos y comunidades indígenas tienen el derecho a conservar y enriquecer sus formas de organización y sus sistemas normativos, los cuales tienen la validez en sus territorios.

La arquitectura de red, independientemente de que exista una regulación específica para redes comunitarias o indígenas, como en México, asume a la red local como propiedad de la comunidad, pues no es de carácter comercial y se circunscribe a una territorialidad específica cuyos titulares son los operadores de la red, es decir, la red es para darse servicio a sí mismos y no tiene interconexión pues ésta se hace a través de otra red. Tomando lo anterior, las normas constitutivas se derivan del sistema normativo interno de cada comunidad.

Para las comunidades indígenas es importante que la red se construya en una zona específica que, si bien comparten características con comunidades indígenas de otras regiones de México o del mundo, tienen particularidades. Lo anterior ha de tomarse en cuenta al momento de adaptar el modelo a otras regiones con distintas formas de organización.

En las comunidades de la Sierra Juárez de Oaxaca la propiedad privada es casi inexistente en materia de territorio. La tierra es comunal y las decisiones en torno a su uso toman a través de la Asamblea de comuneros que generalmente está integrada por los jefes de familia del núcleo agrario.

Los municipios gozan de autonomía y se rigen en su mayoría bajo el sistema de usos y costumbres mediante el cual eligen a sus autoridades, un sistema jerarquizado de servicio comunitario. En otras palabras, el presidente municipal y el cabildo son electos en Asambleas Comunitarias, tienen el encargo en periodos de uno y tres años, sin retribución alguna.

Cada comunidad tiene un sistema normativo propio que se ve reflejado principalmente en la forma en que eligen a sus autoridades, pero también en la forma en que organizan servicios como el agua, los caminos, la educación y hasta las fiestas. Es decir, tienen plena autonomía tanto en sus esquemas de gobierno, como en la administración de sus recursos como son:

- Sistema de Cargos.
- Bienes comunales.

El modo de vida de estos pueblos se ve reflejado en los que ha sido llamado por los propios pensadores indígenas como: “La tierra como madre y territorio, el consenso en asamblea para la toma de decisiones, el servicio gratuito como ejercicio de la autoridad.

El sistema resulta de la unión de dos componentes organizativos que se articulan para crear una red de telecomunicaciones. Para su regulación, es esencial comprender las reglas y principios sobre los cuales funcionan y se relacionan, así como los principios de funcionamiento que dimanen del tipo de recurso que manejan, en este caso, las redes de telecomunicaciones e información.

La tecnología que utiliza la telefonía comunitaria surge de dos proyectos principales de *software* libre que logran decodificar una tecnología cerrada; como el GSM para convertirla en una tecnología abierta de *software* libre para GSM (OpenBTS).

Las comunidades que han logrado desarrollar estos proyectos se rigen por determinados principios que son compatibles con los sistemas normativos aplicados a la gobernanza de los bienes comunes practicados, ancestralmente por las comunidades (Laval Y Dardot 2015<sup>1</sup>).

EL gozo en el trabajo y la consideración del conocimiento como un bien común, son normas perfectamente compatibles con la comunidad y como señalan LAVAL y Dardot, “La ética hacker desempeña un poco la misma función que las normas colectivas que rigen el establecimiento y las instituciones que fundan los bienes comunes naturales” (2015: 196)

En un esfuerzo por discutir por dilucidar algunos de los principios que derivan de esta ética, podemos identificar los siguientes elementos (ver Figura 17):

- El Juego creativo: El trabajo se considera como un acto creativo que se realiza por diversión, por pasión, no por obligación o por dinero y se hace de manera colectiva.
- La Solidaridad: Son las creaciones que se dan mediante procesos de ayuda mutua, cuyo único fin es contribuir a la creación que se constituye.
- Bienes Comunes. Son los bienes que se crean y se consideran comunes; no son susceptibles de apropiación, por consiguiente, deben estar disponibles para que todos puedan modificarlos, pues existe un valor en mantenerlos fuera del control privado y público. (Lessing, 2001)
- Reglas constitutivas y operativas. La apertura y colectividad implican una serie de reglas constitucionales y procedimientos operativos, así como instancias para la resolución de conflictos.

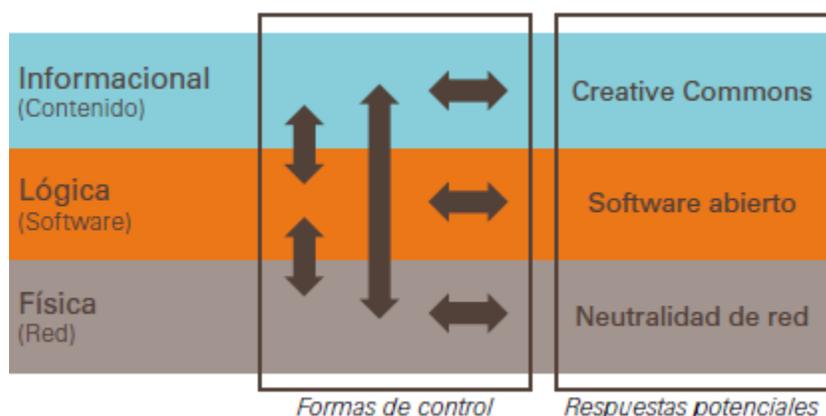


Figura 17. Las tres capas en la infraestructura común.  
Recuperado de: Manual de telefonía Celular Comunitaria. (2017).

Una red local comunitaria está compuesta por una radiobase que pertenece a la comunidad y espectro en la banda de 850 MHz, que está concesionado a una asociación civil de la que la comunidad es socia. Además, una red de transporte está integrada por un sistema de enlaces Wifi. Los enlaces pertenecen a un proveedor de servicio de internet regional (Internet Service Provider, ISP) por sus siglas en inglés) pero el espectro es de uso secundario a la asociación, quién permitirá su uso gratuito con fines de cobertura (ver Figura 18).

Bajo este esquema los enlaces pertenecen al ISP<sup>2</sup>, pero el espectro estará concesionado a la asociación. Ya que ISP se enlaza de un concesionario de red pública de telecomunicaciones.

De acuerdo con el título de concesión única<sup>3</sup> para uso social indígena fue otorgado por IFT con el fin de prestar servicios públicos de telecomunicaciones y radiodifusión. El titular tiene el derecho para prestar servicios públicos de telecomunicaciones y de radiodifusión que sean técnicamente factibles, con propósitos culturales o a la comunidad sin fines de lucro, por lo que las actividades y fines de la concesión serán acordes con la promoción, desarrollo y preservación de sus lenguas, su cultura, sus conocimientos, promoviendo sus actividades, sus tradiciones, normas internas y bajo los principios que respeten la igualdad de género. La concesión única tendrá una vigencia de 30 (treinta) años.

La concesión de espectro radioeléctrico quedará sujeta a las disposiciones legales y administrativa aplicables a partir de su entrada en vigor el cual, el pleno del instituto Federal de Telecomunicaciones mediante el acuerdo P/IFT/010716/349 de fecha de 1° de julio de 2016 en el cual deberá, única y exclusivamente usar y aprovechar las bandas de frecuencia 847-849/892-894 MHz de acuerdo con las siguientes especificaciones:

- El Segmento 847-849 MHz para la transmisión de la estación móvil.
- El Segmento 892-894 MHz para la transmisión de la estación base.
- Separación dúplex de 45 MHz.



Figura 18. Diagrama esquemático del sistema de Telefonía Celular Comunitaria.  
Recuperado de: Manual de telefonía Celular Comunitaria (2017)

Es importante señalar que las características son generales, ya que el funcionamiento de la red es complejo y pueden darse elementos de apertura o de control. Ya que, aunque la red local en principio es libre y abierta, no se interconecta de manera directa con otros concesionarios, por cuestiones de costos que podrían hacer inviable la prestación del servicio. Es decir, no por esta restricción podrían pensarse que la red es cerrada.

Tabla 3. Tabla de características de sistema de telefonía comunitaria.

Segmento	Característica
Red Local (Espectro 850 MHz)	Bien común libre y gratuito: en principio puede acceder a ella cualquier comunidad que, con base en sus propios sistemas normativos, manifieste su interés en convertirse en operador
Red de transporte (Espectro Wifi o 10 GHz)	Bien común de uso libre y gratuito: cualquiera puede acceder a él y en el caso de 10 GHz será igual, siempre y cuando tenga finalidad de atender a las comunidades rurales
Red troncal	Restringido: hay que pagar a un operador con poder sustancial. Este acceso también puede ser libre y gratuito de contarse con una red de fibra.

Recuperado de: Manual de telefonía Celular Comunitaria. (2017).

- 
1. De acuerdo con estos autores, la ética hacker “se basa en un cierto ethos de la alegría, un compromiso a favor de la libertad, una relación con la comunidad orientada hacia el don generalizado (Laval Y Dardot), 2015: 19
  2. ISP, Proveedor de servicios de Internet.
  3. Para que los concesionarios puedan prestar todo tipo de servicios a través de sus redes.

### 1.4.3 Desempeño operativo.

Dada los mapas mostrado de cobertura en la república mexicana, se observó que en el estado de Oaxaca es uno de los estados con una de las más bajas infraestructura de telecomunicaciones. Debido a esta demanda se puso el ojo en el Oaxaca, en un pueblo llamado Villa Talea de Castro, ubicada en la parte centro-norte del estado y a 113 k.m de la capital del estado. Desde hace años existe la telefonía fija en Villa Talea de Castro y actualmente alrededor de 100 casas poseen teléfonos fijos con Telmex, dice Alejandro Vázquez<sup>1</sup>. Además, existen casetas públicas de esta compañía. Sin embargo, los altos costos por el servicio, principalmente de las casetas públicas, los conllevó a buscar otras opciones más baratas para comunicarse con sus familiares que viven fuera del municipio, principalmente en Seattle, Los Ángeles y el Distrito Federal.

Además, cabe resaltar que en el 2008 contactaron a Telcel para que brindara en la comunidad el servicio de telefonía celular. La compañía no se negó, pero les pidió que; primero construyeran una carretera que llegase hasta la cabecera municipal y además introdujeran la energía eléctrica lo cual fue una tarea difícil ya que debido a la economía interna del pueblo no se podía realizar algunas de estas actividades.

Luego de varios años buscando alternativas se encontraron con la organización Telecomunicaciones Indígenas Comunitarias (TIC). Telecomunicaciones indígenas comunitarias es una organización extranjera especializada en el tema, esta empresa utiliza las nuevas tecnologías de la información y la comunicación, especialmente en telefonía comunitaria, para facilitar el bienestar social, la organización comunitaria y la autonomía personal y colectiva. Su enfoque combina el activismo y la reforma regulatoria para el desarrollo de la infraestructura descentralizada de telecomunicaciones, la participación directa de la comunidad y el compromiso crítico con las nuevas tecnologías. Gracias Telecomunicaciones indígenas comunitarias se implementó en Villa Talea de Castro su propia red de telefonía celular. El cual estableció el funcionamiento y el servicio del costo de la siguiente forma:

- Pasar a Sindicatura a pagar 15 pesos de cuota mensual.
- Con su recibo de pago deben acudir a Radio Comunitaria (también tiene señal de radio propia).
- En Radio Comunitaria indican cuanto tiempo aire quieren cargar y se realiza el pago respectivo. Las recargas inician desde los cinco pesos. Como es un servicio de prepago los usuarios no realizan contrato.
- Cuando el usuario consume su tiempo aire y/o se vence el mes, éste debe seguir procedimiento anterior.

Los beneficios de este servicio celular no sólo aplican a los usuarios en Villa Talea de Castro. También se expande hasta sus familiares que viven en México y en Estados Unidos. Para el caso de quienes viven allende el Río Bravo, ellos deben marcar un número local especial en la ciudad en que se encuentren y automáticamente los conecta con una operadora y quien a su vez les comunica con un teléfono en el municipio (fijo o móvil) por una tarifa reducida.

Y hablando de las tarifas algunas de ellas son las siguientes:

- Llamada a EUA a teléfono fijo: 20 centavos de peso por minuto.
- Llamada dentro de México a teléfono fijo: 50 centavos de peso por minuto.
- Llamada dentro de México a celular: 83 centavos de peso por minuto.

Por consiguiente, este propio sistema de telefonía comunitaria se instaló para abastecer el restante pueblo de Talea además de que con este nuevo sistema basado en tecnologías: SDR y GNU Radio. Radio definida por *software* o SDR (*Software Defined Radio* en inglés) es un sistema de radiocomunicaciones donde varios de los componentes típicamente implementados en hardware (mezcladores, filtros, moduladores/demoduladores, detectores, entre otros) son implementados en *software*, utilizando una computadora personal u otros dispositivos de computación incrustada. Aunque el concepto de SDR no es nuevo, la reciente evolución de la tecnología digital ha hecho posible desde el punto de vista práctico muchos de los procesos que tiempo atrás eran solamente teóricos.

Con SDR, una gran parte del procesamiento de las señales se realiza en procesadores de propósito general, en lugar de utilizar hardware de propósito específico. Esta configuración permite cambiar los protocolos y formas de onda simplemente cambiando parámetros en el *software*. Los SDR son de gran utilidad tanto en los servicios de telefonía celular como en el ámbito militar, pues en ambos se manejan varios protocolos en tiempo real, que cambian a necesidad casi constantemente. A largo plazo, se prevé que los radios definidos por *software* se conviertan en la tecnología dominante en radiocomunicaciones, pues es la vía que permite llegar a la radio cognitiva.

Un SDR básico puede estar conformado por una computadora equipada con una tarjeta de sonido u otro conversor analógico a la digital, precedido de algún adaptador de radiofrecuencia (RF). GNU Radio es una herramienta o *software* de desarrollo libre y abierta que provee bloques de procesamiento de señal para implementar sistemas de radio definida por *software*. Puede utilizarse con hardware de RF de bajo costo para crear radios definidas por *software*, o sin hardware en un ambiente de simulación. Es utilizada extensivamente en ambientes académicos,

aficionados y comerciales para dar soporte a la investigación en comunicaciones inalámbricas y en sistemas de radio en el mundo real.

Estos dos hallazgos, GNU Radio y SDR, permitieron las primeras experimentaciones con tecnología celular implementada desde el *software*, sin necesidad de utilizar equipos de patente y extremadamente caros. De esta experimentación nacen los dos grandes proyectos de *software* para hacer redes

La primera instalación que se hizo en Talea de Castro, utilizaba un equipo 5150 de Range Networks con una capacidad de 5 trx (35 canales) y 10 watts de potencia de salida. Los equipos de Range Network usan un sistema de *software* basada en SIP que se llama OpenBTS. Esta es una aplicación de Unix que utiliza un SDR para presentar una interfaz Um de GSM a teléfonos móviles y usa un *softswitch* SIP o PBX para conectar las llamadas.

Este equipo original estuvo funcionando algunos meses y luego se cambió por un equipo más grande de 50 watts de salida. Sin embargo, durante el periodo de prueba después de instalar los equipos, estos tuvieron fuertes problemas tanto con su *software* como el hardware. El *software*, OpenBTS, presentaba varios problemas con la entrega de SMS y con el manejo y acceso de su banco de datos interno de SQLite, haciendo que el sistema colapsara bajo un uso normal de 500 usuarios. El hardware tuvo fuertes problemas con el calentamiento de varios elementos dentro de equipo, resultando en la detención del funcionamiento del sistema de llamadas por periodos extendidos. Por lo tanto, Telecomunicaciones indígenas comunitarias junto con autoridades y asamblea, tomaron la decisión de cambiar el equipo de Range Networks por un equipo de Nutaq/NuRAN Wireless en el mes de enero de 2014.

Una vista general de la arquitectura de la red del de telefonía celular comunitaria se puede observar en la Figura 19, aunque ésta, pudiera variar dependiendo de las condiciones de cada comunidad.

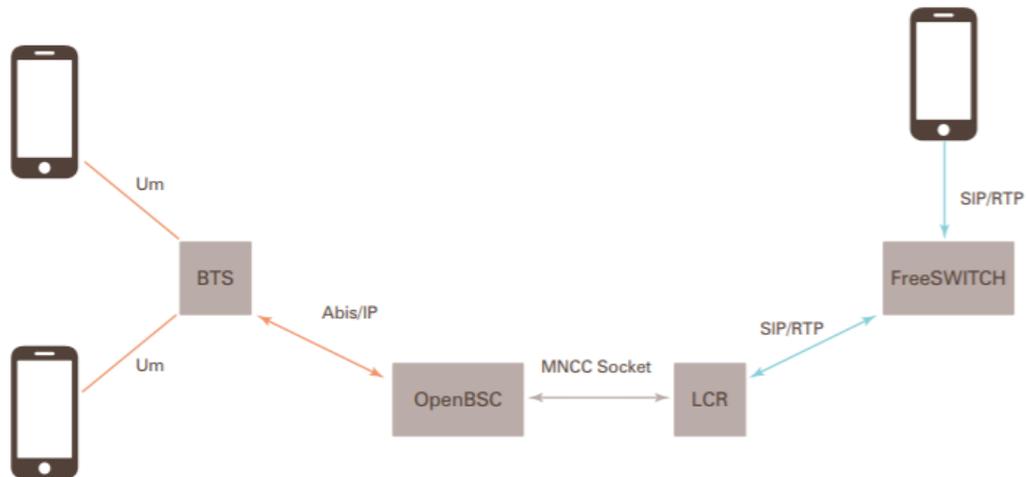


Figura 19. Cadena de tecnología de Telefonía Celular Comunitaria.  
 Recuperado de: Manual de telefonía Celular Comunitaria (2017).

En la Figura 20, se define cada uno de los componentes de la red, Hardware o equipos y medios de transmisión.



Figura 20. Hardware y medios de transmisión.  
 Recuperado de: Manual de telefonía Celular Comunitaria (2017).

Las características técnicas de algunos equipos son: *Software* o programas informáticos creados para operar la telefonía comunitaria.

OpenBSC Es parte del proyecto Osmocom, no es un BSC estándar (Base Station Controller), sino que es una implementación mínima de una red GSM, que es autocontenida (network in a box). Incluye una implementación del protocolo A-bis dentro de la misma BSC. También implementa un MSC y HLR. Para conectar llamadas fuera de la red Open BSC, esta red trabaja junto con el LCR para enrutar las llamadas salientes utilizando el protocolo SIP.8

Linux Call Router (LCR): Es un *software* Private Branch Exchange (PBX) para Linux que funciona con redes ISDN (Integrated Service Digital Network).

*FreeSWITCH*: Es una plataforma de telefonía, escalable y de fuente abierta, diseñada para enrutar e interconectar protocolos populares de comunicación utilizando audio, video, texto o cualquier otra forma de medio. Fue creado en 2006 para llenar el hueco que varias soluciones comerciales dejaron. También provee una plataforma de telefonía estable sobre la que muchas aplicaciones de telefonía pueden ser desarrolladas utilizando una amplia variedad de herramientas libres.

Kannel: Es un programa de fuente abierta compacta y poderosa que funciona con un puerto de entrada (gateway) para WAP Y SMS.<sup>11</sup>.

Custom: *Software* Existen dos paquetes diseñados totalmente por Telecomunicaciones indígenas comunitarias, que son los siguientes:

- RCCN es un paquete que hace funcionar juntos a todos los componentes del *software*. Es una API (Interfaz de Programación de Aplicaciones) basada en REST (transferencia del estado representacional), al cual hemos llamado RAPI.
- RCCR o Red Celular Comunitaria de Telecomunicaciones indígenas comunitarias es el *software* para correr la red para la RCCN.

Interfaz de Administración de Telecomunicaciones indígenas comunitarias (RAI) Es la interfaz usada para la administración de la red en las comunidades. RAI es un paquete php que utiliza la API-REST, y expone una interfaz administrativa http, que permite a los administradores registrar usos, pagos de administración, emitir mensajes de texto y acceder a las estadísticas del sistema en tiempo real.

El proyecto contempla la prueba del desempeño de los equipos y el sistema de Telefonía Celular Comunitaria en cuatro comunidades del estado de Oaxaca. Los cuatro sitios fueron seleccionados con dos principales criterios: el tamaño del sitio (es decir, el número de usuarios mensuales) y la antigüedad del sitio. Los sitios seleccionados fueron: Villa Talea de Castro, San Ildefonso Villa Alta, San Jerónimo Progreso y Santa María Alotepec.

Talea de Castro fue el primer sitio que se instaló y tiene ya dos años operando con una base fluctuante de usuarios mensuales de entre 150 y 300. Este sitio es interesante también por la existencia de una red de Movistar que llegó a instalarse en la comunidad a mediados del año 2014. Talea de Castro se encuentra dentro del Rincón de la Sierra Juárez en Oaxaca, a 125 km al noreste de la ciudad capital.

Villa Alta, que fue el quinto sitio de Telefonía Celular Comunitaria, tiene más usuarios (alrededor de 700 mensuales) que cualquier otro sitio, dando servicio a

Villa Alta, Lachirioag y otras localidades cercanas. El sitio tiene la distinción de ser el único donde existen dos radiobases, instaladas en dos lugares distintos, compartiendo una misma BSC. El sitio de Villa Alta opera desde septiembre 2014. Villa Alta se encuentra dentro de la Sierra Juárez de Oaxaca, a 135 km al noreste de la ciudad capital.

San Jerónimo Progreso inició con su red en noviembre 2014. El sitio fue seleccionado por ser de tamaño reducido y por ser agencia municipal, no cabecera, como los otros tres sitios. San Jerónimo Progreso forma parte del municipio de Silacayoapam en la zona Mixteca y está ubicado a 160 km de la ciudad capital del estado de Oaxaca.

Santa María Alotepec, fue seleccionado por ser uno de los sitios más nuevos, siendo instalado en el mes de mayo 2015. La comunidad se encuentra en la zona de la Mixe Alta a 90kms de la ciudad capital del estado.

De acuerdo con las recomendaciones del Consejo Consultivo del IFT respecto al proyecto de plan técnico para la medición de calidad de redes móviles, previo a una evaluación de calidad, es necesario identificar siete aspectos que permiten acotar la medición de la calidad en cada localidad. Dichos aspectos tienen que ver tanto con elementos del entorno regulatorio, tales como la disponibilidad de frecuencias, los operadores con poder sustancial, acceso no discriminatorio a la red; elementos del operador, como la ubicación de las radio bases; elementos del municipio o localidad, como los permisos para la colocación de infraestructura; elementos del fabricante de los dispositivos, como las características y funcionalidades de estos; y finalmente, elementos imponderables, como la infraestructura eléctrica local.

La Recomendación también señala que, debe atenderse a la calidad del funcionamiento de todos los elementos de la red como el funcionamiento independiente de la red, así como la experiencia de usuario, la cual puede tener elementos cualitativos y cuantitativos.

Lo que preocupa viendo estas cifras no es tanto que se va la luz o Internet, lo cual es inevitable, sino el tiempo que toma para responder a estas fallas, especialmente en cuanto al Internet. En México se ha tenido un problema con la generación de corriente eléctrica desde hace mucho tiempo.

A fines del siglo XIX, en México se generaban aproximadamente 31,000 kW en industria privada (textiles y mineras). La primera planta generadora que se instaló en el país (1879) estuvo en León, Guanajuato y era utilizada por la fábrica textil “La Americana”. Casi de inmediato se extendió a la industria minera y al alumbrado público y residencial. A inicios del siglo XX México contaba con una capacidad de 31 MW, propiedad de empresas privadas. Para 1910 eran 50 MW, de los cuales

80% los generaba The Mexican Light and Power Company, de origen canadiense, con el primer gran proyecto hidroeléctrico: la planta Necaxa, en Puebla. También existían el consorcio The American and Foreign Power Company, con tres sistemas interconectados en el norte de México, y la Compañía Eléctrica de Chapala, en el occidente. Las tres compañías eléctricas tenían las concesiones e instalaciones de la mayor parte de las pequeñas plantas que sólo funcionaban en sus regiones. Para el año 1925 el consumo de electricidad había aumentado a 390 MW. En enero de 1934 se creó la Comisión Federal de Electricidad, aunque existían muchas empresas privadas eléctricas, entre ellas la mexicana Luz y Fuerza Motriz. En febrero de 1939 aparece la primera Ley de la industria eléctrica, en la que se establece la electricidad como servicio público que puede ser prestado por el Estado o concesionado a particulares. Para 1951 ya se generaban 1400 MW. En 1960 México adquiere los derechos de las diversas industrias eléctricas y el congreso declara que solo la nación puede generar, transformar, distribuir y abastecer energía eléctrica para servicio público.

En 1965 empieza a funcionar Infiernillo, proyecto hidroeléctrico magno, situado en Michoacán. Sin considerar las consecuencias, en México se dio prioridad a las plantas termoeléctricas que en 1960 representaban el 48% de la energía eléctrica suministrada y para 1987 representaba el 81% alcanzándose una capacidad de 23.15 GW y el consumo por habitante era de 1505 kWh (kilowatt hora).

Observando los mapas anteriormente mostrado, podemos ver que en la parte de Oaxaca solo es suministrada por un solo sistema eléctrico. Dada esta situación hay numerosas fallas eléctricas y de intermitencia eléctrica por lo cual ciertos dispositivos eléctricos y de telecomunicaciones tendrían fallas; dañando los sistemas. Según el Periódico Milenio Novedades. El 23 mayo de 2017 se presentó un apagón en la Península de Yucatán afectando las zonas de Chiapas, Oaxaca y Yucatán. Por ende, la Comisión Federal de Electricidad (CFE) no ha querido informar la Causa. Pero se intuye por empresas privadas que empezó por una intermitencia eléctrica de tal forma que se dañaron las fuentes y plantas eléctricas.

Una de las diversas problemáticas que enfrentan las zonas rurales son los constantes apagones que afectan a las actividades diarias en regiones rurales. Los problemas de intermitencia prolongados que han llegado a durar hasta 3 semanas o hasta un mes sin energía eléctrica.

En el caso de la CFE, aunque se corta frecuentemente la energía eléctrica, sus tiempos de reacción son aceptables. En el caso de Internet, hay proveedores que carecen de los recursos humanos y económicos para la pronta resolución de sus fallas lo que puede deberse a que no tienen a quien mandar a hacer una reparación o porque les hace falta algún equipo en bodega, lo que implica esperar a que este

llegue. De alguna manera, dicho asunto afecta a Telecomunicaciones Indígenas Comunitarias y las comunidades y las responsabilidades técnicas que tienen bajo su cargo, aunque durante el proyecto no hubo incidentes graves relacionados con el funcionamiento de los equipos.

En la Figura 21, se muestra un resumen de las características operativas con respecto a la intermitencia de energía eléctrica en Villa Talea.

Además, se realizó una simulación prueba de la cobertura de propagación de un estudio en Villa Talea de Castro por medio del software Radio Mobile (ver Figura 22).

Las características Iniciales consistían en los dispositivos más básicos ya que con esta proyección básica se hacía una proyección de que con una antena Yagui se podía realizar un enlace adecuado a la comunidad de Villa Talea de Castro, además se tomaron en cuenta las frecuencias con las que operan los sistemas de comunicación con las que Telecomunicaciones Indígenas Comunitarias realiza sus trabajos. (ver Tabla 4).

Días	Horas	Minutos	Segundos
0	0	3	48
0	0	8	31
0	1	53	21
0	11	6	36
0	1	3	39
0	1	59	27
0	8	31	50
0	0	12	53
3	10	58	26
0	3	4	44
0	0	39	49
0	1	11	45
0	0	47	14
0	5	20	47
0	15	37	13
0	0	29	15
0	0	57	45
0	0	57	47
0	6	18	49
0	6	18	49
1	16	23	49
<b>4</b>	<b>84</b>	<b>593</b>	<b>797</b>

RESUMEN FINAL TALEA DE CASTRO ENERO – MAYO 2016			
Días	Horas	Minutos	Segundos
4	84	593	797
Esto es igual a:			
7 Días	22 Horas	6 Minutos	17 Segundos
<b>TIEMPO TOTAL SIN CONEXIÓN</b>		<b>7 Días 22 Horas 6 Minutos 17 Segundos</b>	



Figura 21. Estadísticas del sistema de Telefonía Celular Comunitaria instalada en la Comunidad de Talea de Castro  
 Recuperado de: Modelo de Operación Social de un Sistema Autogestionado de Telecomunicaciones, junio 2016.

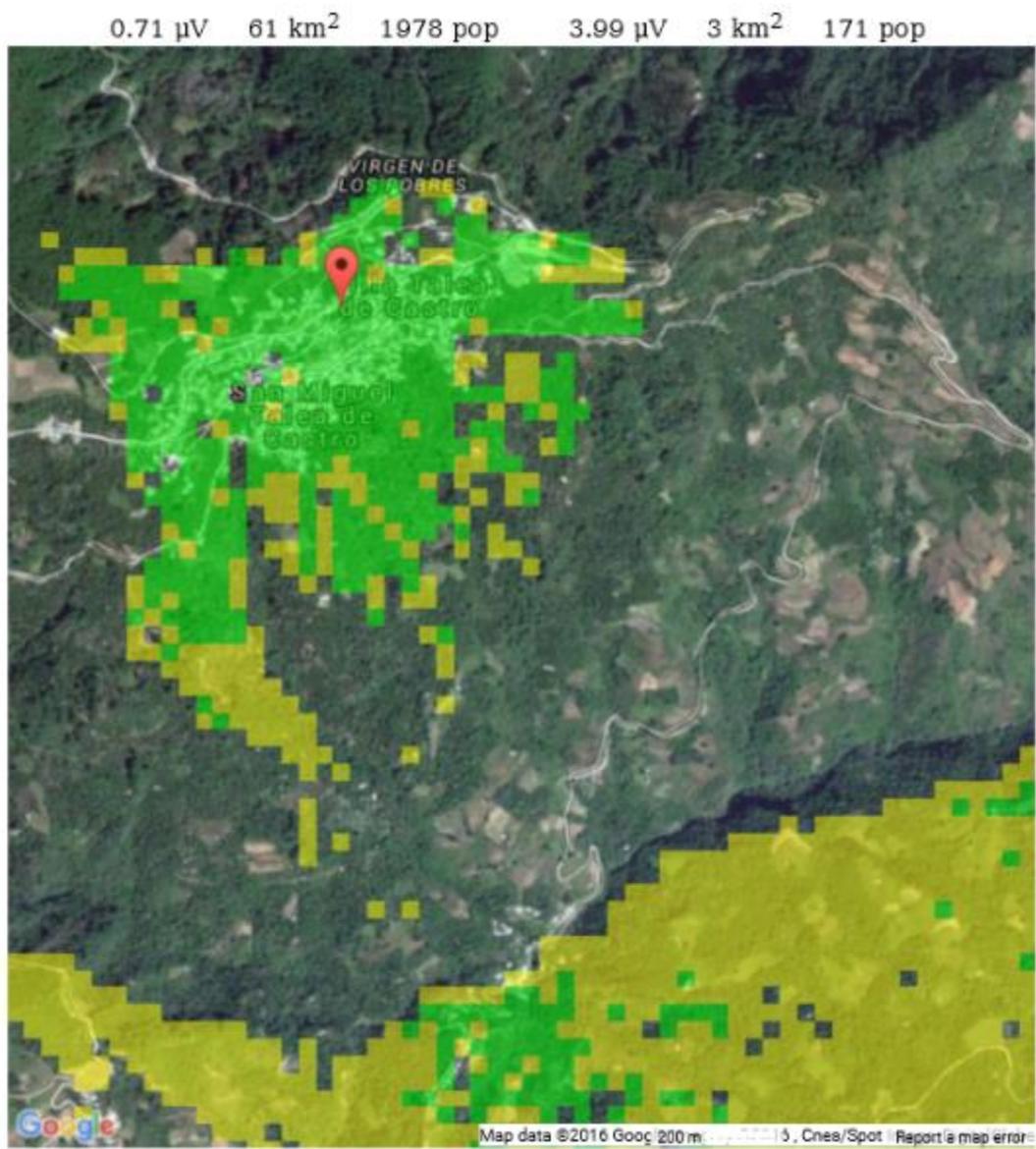


Figura 22. Mapa de Cobertura de Talea de Castro en Radio Mobile.  
 Recuperado de: Simulación realizada en el software *Radio Mobile*.

Tabla 4. Características de la simulación en *Software de Radio Mobile* de la antena.

Radio Mobile Online Coverage report	
Descripción	Talea 902 MHz.
Frecuencia	902 MHz.
Base Name	Talea
Latitud	17.36252226
Longitud	-96.24872088
Latitud	17°21'42.51"N
Longitud	096°14'59.81"W
QRA	EK17VI
UTM (WGS84)	14QE792379N1921758
Elevación	1644.9 m
Base Antenna Height	6 m
Base Antenna Gain	9.0 dBi
Base Antenna Type	yagi
Base Antenna Azimuth	90°
Base Antenna Tilt	3°
Mobile Antenna Height	1.5 m
Mobile Antenna Gain	2.0 dBi
TX Power	5.0000 W
TX Line Loss	1.0 dB
RX Line Loss	0.5 dB
Rx Threshold	0.709 $\mu$ V (-110.0 dBm)
Required Reliability	99%
Strong signal margin	15.0 dB
Weak signal covered area	24.3 dB $\mu$ V/m
Strong signal covered area	39.3dB $\mu$ V/m
Weak signal covered area	61 Km2
Strong signal covered area	3 Km2
Weak signal population reach	1978 pop.
Strong signal population reach	171 pop
Landcover used	Yes
Two rays method used	Yes
User ID	Telecomunicaciones Indígenas Comunitarias
Radio coverage ID	RM1F81F242FD00_4
Generated on	5/17/2016 10:53:51 AM

Recuperado de: Simulación realizada en el *software Radio Mobile*.

Como hemos visto, la causa más frecuente de suspensión del servicio fue por la inexistencia de energía eléctrica durante largos y frecuentes periodos en los 4 sitios donde se realizaron las instalaciones. Una posible solución sería la instalación de baterías y posiblemente celdas solares, para darles autonomía a los equipos de la red celular de funcionar sin energía de la red eléctrica. Ello también ofrecería una gran ventaja en cuanto a la protección de los equipos. En otros sitios que no formaban parte de este piloto, hemos experimentado daños a los equipos por descargas en la red eléctrica, lo cual no pasaría si se instala con celdas y baterías y no se conecta a la red de CFE.

De acuerdo con el Modelo de Operación Social de un Sistema Sugestionado de telecomunicaciones, UAM 2016, con respecto al acceso y estabilidad del servicio de Internet, hay dos soluciones posibles. La primera requiere una inversión en la infraestructura del estado de Oaxaca para poder mejorar este servicio en comunidades rurales. Ahora bien, los servicios de Internet que se contratan para la Telefonía Celular Comunitaria son de pequeños ISPs que compran conectividad en la ciudad capital y construyen torres para montar antenas direccionales de WiFi para repetir el acceso hasta las localidades. Este trabajo puede ser costoso y complejo, pero más aún cuando la disponibilidad de acceso a conexiones simétricas de fibra óptica es tan limitada como es el caso en la ciudad de Oaxaca.

Otra manera de posicionarse ante la falta de Internet es mejorando la calidad de la red local cuando no hay conexión de Internet. Eso implicaría desarrollar la red como local y regional y enfocarse menos en el servicio de larga distancia, el componente de la red que más requiere de Internet para funcionar. Ello llevaría a desarrollar aplicaciones y servicios locales que generarían valor para las comunidades y los usuarios que permitiera diferenciar las redes comunitarias ante los servicios celulares comerciales.

Más allá del nivel técnico, hemos mencionado la necesidad de poder atender las fallas de manera más ágil. Para poder hacerlo, es necesario mejorar la capacitación a las comunidades y en especial a los encargados de los sistemas comunitarios de telefonía celular. Un primer intento está contemplado como parte de esta investigación.

Más allá de los sitios que formaron parte de este proyecto, hemos visto otros dos asuntos técnicos muy importantes que tienen que ver con la forma en la que el sistema de red comunitaria interactúa con otros sistemas y regulaciones. El primer asunto que existe en todos los sitios y que provoca altos índices de llamadas fallidas o no completadas tiene que ver con la marcación que se ha implementado para hacer funcionar los sistemas comunitarios sin contar con numeración propia

asignada por el gobierno. Eso significa que los usuarios de la red tienen que incluir la lada internacional para marcar hacia afuera, lo cual causa confusión.

Posteriormente, para marcar desde afuera hacia los sitios comunitarios, es necesario tomar un paso extra. Por cuestiones económicas no es factible asignar un número público (DID) a cada usuario, por lo que cada sitio comparte un solo número público y al marcarlo debe esperar a que la llamada sea contestada por el conmutador y entonces marcar la extensión del usuario final. Este proceso también causa confusión y errores en la marcación.

Entre las poblaciones que participan en el proyecto de Telefonía Celular Comunitaria, San Jerónimo Progreso es el sitio con la menor cantidad de habitantes y en donde la manutención económica de la red misma sería casi imposible sin la aportación de un gran número de migrantes en Estados Unidos oriundos del pueblo, que subsidian sus actividades. En un principio, para enfrentar esta situación de sostenibilidad, instalaron una radio base en una loma perteneciente al pueblo con vista y por consiguiente con cobertura— a unas seis o siete comunidades cercanas. Unas horas después de tener la señal instalada, llegaron las autoridades de casi todas las comunidades vecinas para solicitar que se les incluyera en el proyecto y la posibilidad de dar de alta los teléfonos de sus residentes. Sin embargo, horas más tarde, llegaron las autoridades del único otro pueblo cercano a quejarse de que la nueva señal estaba “tapando” o interfiriendo con una repetidora de Telcel que tenían en su comunidad.

El equipo de Telecomunicaciones Indígenas comunitarias fue a investigar y encontraron que, con una inversión del mismo pueblo, una empresa que no era Telcel había instalado una repetidora no registrada y, por lo tanto, fuera de la normatividad para repetir una señal de Telcel proveniente de una torre en una población lejana. Tal señal llegaba tan débil a la población que un teléfono celular normal no la podía percibir, y sólo la repetidora, con antenas de alta ganancia, tenía la posibilidad de recibir y luego retransmitir la señal.

Después de varios intentos de hacer que la repetidora no repitiera la señal comunitaria de San Jerónimo, lo que no fue posible debido a la gran diferencia de potencia que le llegaba de las dos señales y a la falta de filtros adecuados en la repetidora que permitieran solamente repetir la de Telcel, se tomó la decisión, junto con las autoridades de San Jerónimo, de quitar el equipo de la loma e instalarlo de nuevo más abajo, dentro de la comunidad, con el desafortunado resultado de que los pueblos vecinos ya no pudieron recibir la señal.

Problemas de esta índole han sido comunes en el trabajo de Telecomunicaciones indígenas comunitarias, a veces debido a repetidoras y en otros casos debido a la

presencia de terminales celulares fijas con antenas de alta ganancia. En este último caso, los proveedores instalan teléfonos en hogares que desean tener servicio celular, pero en donde llega una señal muy débil desde lejos. Debido al uso de antenas de alta ganancia, esta “solución” también está fuera de la norma, pero para muchas personas representa la única forma de comunicarse, al grado de que a veces pagan 10 veces el costo del teléfono al proveedor. Cuando se instala un sistema celular del proyecto de Telefonía Celular Comunitaria en la misma comunidad, estos teléfonos se “ensordecen” por la alta ganancia de su antena y la relativamente alta potencia de la nueva señal. Esto hace que no puedan percibir la señal que antes recibían. Para muchas personas, esta situación es molesta porque perciben la pérdida de un servicio que antes tenían. Sin embargo, a nadie debería molestar la entrada de una nueva señal con un servicio más económico.

Tomando en cuenta lo anterior, partieron de una evaluación cualitativa de la experiencia del usuario y los administradores de las redes comunitarias, tomando en cuenta dos criterios cualitativos clasificados como problemas graves y problemas de calidad, siendo los primeros aquellos que no permiten el servicio en lo absoluto y los segundos aquellos que afectan de alguna forma la prestación de este.

Por otra parte, es importante identificar las características de la red tanto el entorno en que trabaja, pues se trata de una red híbrida que depende de la existencia de al menos tres redes independientes: una red local móvil, una red de transporte de Internet y una red troncal, cada una operada por distintos proveedores. Asimismo, se trata de entornos rurales en los que los servicios de energía eléctrica y conectividad enfrentan fallas frecuentes.

Para entender mejor los desafíos técnicos enfrentados por el proyecto, es necesario matizar entre problemas graves es decir, aquellos que pueden ser la suspensión del servicio durante un largo tiempo o el mal funcionamiento recurrente de algún equipo, imposibilitando el servicio y asuntos de calidad. Es decir, Infraestructura de distribución eléctrica. para implementar un sistema de telefonía celular comunitaria.

---

1. Alejandro Vázquez secretario del síndico municipal.

## 1.5 El problema a resolver.



Figura 23. Visita Cerro Picacho, Oaxaca Villa Talea de Castro.  
Recuperado de: Visita técnica campo Agosto, 2017.

Para Villa Talea de Castro en Oaxaca (ver Figura 23), se presentan 2 grandes problemas para la instalación de una red de telefonía celular comunitaria; la falta de empresas que ofrezcan servicios de telecomunicaciones, ya que las empresas no ven una gran inversión en el pueblo debido a la falta de infraestructura de carretera para entrar al pueblo y la población que no es muy abundante en el pueblo. Además, la falta de una red eléctrica eficiente ya que, la red eléctrica presenta fallas eléctricas provocando intermitencias eléctricas.

El problema principal en el que el presente trabajo pone gran énfasis es en la red eléctrica, ya que para alimentar estos equipos de comunicación se necesita de corriente eléctrica de máxima eficiencia y disponibilidad con el fin de que no existan interrupciones eléctricas que incluso lleguen a ocasionar fallas críticas en los equipos de comunicaciones. Las sobretensiones transitorias de gran magnitud pueden dañar componentes o placas de circuitos. Llegando incluso a quemarlas, pudiendo provocar la destrucción del equipo y la instalación eléctrica. Aunque las sobretensiones han existido desde la misma creación de las redes eléctricas, actualmente la necesidad de protección es mucho mayor, ya que la tecnología ha

evolucionado haciendo los componentes electrónicos cada vez más pequeños y sensibles a las perturbaciones electromagnéticas.

Entre las soluciones más adecuadas y eficientes para resolver el problema de la red eléctrica está la instalación de paneles fotovoltaicos como suministro de energía sustentable<sup>1</sup>, además del impacto social que se tendría con dicho proyecto.

---

1 Es aquella Energía que diferencia de la energía eléctrica ya que se puede obtener de recursos renovables.

## 1.6 El objetivo general.

Instalar un sistema de alimentación sustentable mediante el uso de paneles fotovoltaicos para el suministro de energía a un equipo de telefonía celular comunitaria en Villa Talea de Castro para mejorar la disponibilidad.

## 1.7 Los objetivos específicos.

- Revisar la literatura acerca de los sistemas de alimentación sustentables utilizados para equipos de telecomunicaciones.
- Instalación de un sistema de alimentación basado en celdas fotovoltaicas para alimentar un equipo de telefonía celular comunitaria en la comunidad de Villa Talea de Castro.
- Evaluación del desempeño operativo del sistema de alimentación basado en celdas fotovoltaicas.

## Capítulo 2 MARCO TEÓRICO Y REVISIÓN DE LA LITERATURA.

### 2.1 El aprovechamiento de la radiación solar.

La radiación solar es el conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el sol. El sol es una estrella que se encuentra a una temperatura media de 6000 K° en cuyo interior tienen lugar una serie de reacciones de fusión nuclear, que producen una pérdida de masa que se transforma en energía. Esta energía liberada del sol se transmite al exterior mediante la radiación solar. El sol se comporta prácticamente como un cuerpo negro<sup>1</sup> el cual emite energía siguiendo la ley de Planck<sup>2</sup> a la temperatura ya citada. La radiación solar se distribuye desde el infrarrojo hasta el ultravioleta. No toda la radiación alcanza la superficie de la tierra, porque las ondas ultravioletas más cortas, son absorbidas por los gases de la atmósfera fundamentalmente por el ozono. La magnitud que mide la radiación solar que llega a la tierra es la irradiancia, que mide la energía que, por unidad de tiempo y área, alcanza a la Tierra. Su unidad es el W/m<sup>2</sup> (watt por metro cuadrado).

Existen 2 diferentes tipos de radiación que van en función de cómo reciben la radiación solar los objetos situados en la superficie terrestre, se pueden distinguir estos tipos de radiación.

- Radiación directa que es aquella que llega directamente del sol sin haber sufrido cambio en su dirección. Este tipo de radiación se caracteriza por proyectar una sombra definida de los objetos opacos que la interceptan.
- Radiación difusa. Parte de la radiación que atraviesa la atmosférica es reflejada por las nubes o absorbida por éstas. Esta radiación, que se denomina difusa, va en todas direcciones, como consecuencia de las reflexiones y absorciones, no sólo de las nubes sino de las partículas de polvo atmosférico, montañas, árboles, edificios, el propio suelo. Este tipo de radiación se caracteriza por no producir sombra alguna respecto a los objetos opacos interpuestos. Las superficies horizontales son las que más radiación difusa reciben, ya que ven toda la bóveda celeste, mientras que las verticales reciben menos porque sólo ven la mitad.

La radiación ultravioleta que es la radiación a de menor longitud de onda (360 nm), lleva mucha energía e interfiere con los enlaces moleculares. Especialmente las de menos de 300 nm que pueden alterar las moléculas de ADN, muy importantes para la vida. Estas ondas son absorbidas por la parte alta de la atmósfera, especialmente por la capa de ozono. Es importante protegerse de este tipo de radiación ya que por su acción sobre el ADN está asociada con el cáncer de piel. Sólo las nubes tipo cúmulos de gran desarrollo vertical atenúan estas radiaciones prácticamente a cero.

El resto de las formaciones tales como cirrus, estratos y cúmulos de poco desarrollo vertical no las atenúan, por lo cual es importante la protección aún en días nublados.

Es importante tener especial cuidado cuando se desarrollan nubes cúmulos, ya que éstas pueden llegar a actuar como espejos y difusores e incrementar las intensidades de los rayos ultravioleta y por consiguiente el riesgo solar. Algunas nubes tenues pueden tener el efecto de lupa. Como se ve en la siguiente Figura 24 , se muestra un mapa en donde se presentan los estados con máxima irradiación solar.

De acuerdo con Martínez Hernández D, 2006, Control Digital para convertidor multinivel alimentado con energía solar, Cholula, Puebla: La radiación solar que incide sobre la tierra equivale a más de 800,000 millones de GWh de energía en un año que representa cerca de 35000 veces del consumo mundial, y es 500 veces mayor que el equivalente energético suministrado por todas las demás fuentes de energía.

Fotovoltaica es la conversión directa de la luz en electricidad a nivel atómico. La energía fotovoltaica es el proceso de convertir directamente la energía que proviene del sol en electricidad mediante el uso de las celdas solares.

- Su conversión es la más instálala de todas.
- Es modular y aditiva, es decir, puede generar desde valores de potencia menores del watt hasta decenas de MW.
- Su costo de mantenimiento es el más bajo.
- Tecnología aceptada internacionalmente.
- Tecnología que permite generar un desarrollo industrial sustentable.
- La energía proporcionada por el sol tiene la ventaja que es una fuente limpia, inagotable y de acceso libre.
- La energía Solar, es la fuente renovable de energía más fácil de introducir en un ambiente urbano.
- Es fácil de producir e instalar a escala masiva.
- Es el modo más accesible de proveer energía a los miles de millones de personas sin electricidad en el mundo.

Para la instalación del desarrollo de la energía solar a la energía eléctrica, se presentan diversas problemáticas que frenan las ventajas y el avance de dichas correlaciones como son:

- Por ser Relativamente una nueva tecnología, aún no existe un gran conocimiento y cultura respecto a su utilización.
- Son necesarios estudios previos para la instalación de esta tecnología.

Igualmente se requiere de personal capacitado para poder potencializar el sistema y obtener resultados más eficientes, aprovechando al máximo su recolección.

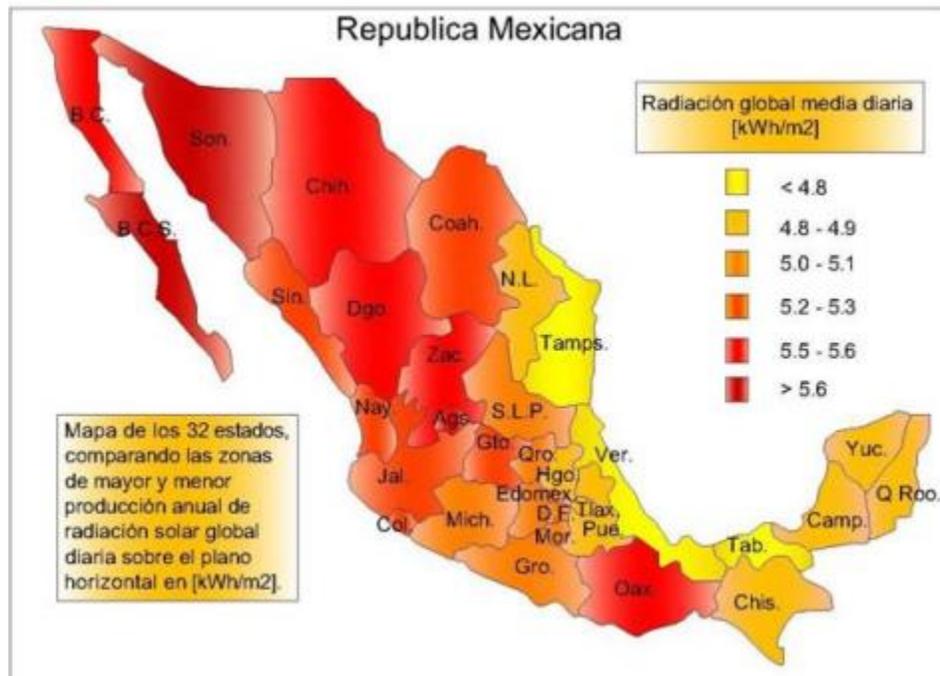


Figura 24. Mapa de la República Mexicana de Irradiancia Solar.  
Recuperado de: [http://www.geofisica.unam.mx/radiacion\\_solar/atlas.php](http://www.geofisica.unam.mx/radiacion_solar/atlas.php)

Cómo se observa en la Figura 24, en el Estado de Oaxaca se presenta una Radiación mayor de 5.6 [kW/m<sup>2</sup>]. Usando y aprovechando la energía se pensó en dar una solución de alimentación por medio de Celdas fotovoltaicas.

1. Es un objeto que absorbe toda la luz y toda la energía que incide sobre él.
2. La ley de Planck describe la radiación electromagnética emitida por un cuerpo negro en equilibrio térmico en una temperatura definida. La constante de plank equivale a  $6.63 \times 10^{-34} \text{J} \cdot \text{s}$

## 2.2 Células fotovoltaicas.

De acuerdo con Martínez Hernández D, 2006, *Control Digital para convertidor multinivel alimentado con energía solar*, Una célula fotoeléctrica, también llamada celda, es un dispositivo electrónico que permite transformar la energía lumínica o luminosa (fotones, Partícula de Luz) en energía eléctrica (flujo de partículas de electrones libres) mediante el efecto fotoeléctrico, generando energía solar fotovoltaica<sup>1</sup>. Compuesto de un material que presenta efecto fotoeléctrico: absorben fotones de luz y emiten electrones. Cuando estos electrones libres son capturados, el resultado es una corriente eléctrica que puede ser utilizada como electricidad.

El efecto fotoeléctrico fue descubierto por el físico francés Becquerel Edmond en 1839 cuando observó que la conductividad de algunos materiales aumentaba cuando éste era expuesto a la luz solar. La explicación del fenómeno tuvo que esperar hasta el siguiente siglo con el desarrollo de la mecánica cuántica. La radiación electromagnética se puede explicar como un chorro de objetos cuánticos llamados fotones. Cuando los fotones son absorbidos en el material pueden provocar la promoción de electrones a un estado de mayor energía potencialmente realizando la conductividad del material.

Un Panel fotovoltaico está compuesto por un conjunto de celdas fotovoltaicas y un panel puede formar la integración de un conjunto o arreglo de paneles (ver Figura 25) estas están hechas de materiales especiales llamados semiconductores<sup>2</sup> tales como el silicio, que es el material más usado. El silicio tiene algunas propiedades químicas especiales, sobre todo en su forma cristalina. Un átomo de silicio tiene 14 electrones en 3 capas diferentes. Las primeras dos capas, las más cercanas al centro están completamente llenas. La capa exterior sólo está semi llena, por cuanto tiene sólo cuatro electrones. Un átomo de silicio siempre buscará llenar su última capa con 8 electrones. Para hacer esto compartirá cuatro electrones de su átomo vecino. Este proceso forma la estructura cristalina y esta estructura resulta ser importante para este tipo de celdas fotovoltaica. Este silicio puro no sirve como conductor, por eso se utiliza silicio con impurezas. Normalmente se utilizan estructuras de silicio con fósforo ya que este al tener 5 electrones, deja uno libre no atado a la estructura. Al aplicar energía, por ejemplo, en forma de calor, este electrón es liberado de su posición más fácilmente que en una estructura de silicio puro. Este proceso de agregar impurezas al silicio se denomina Dopping<sup>3</sup>.

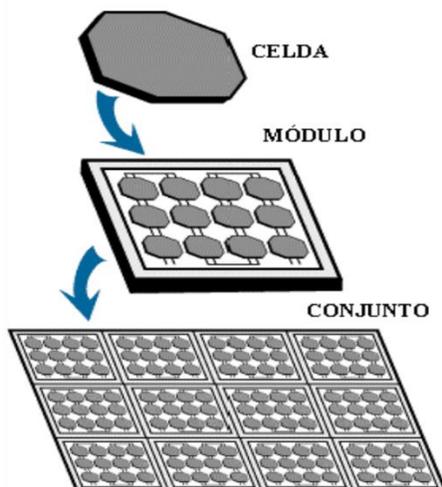


Figura 25. Diagrama de una Célula fotovoltaica  
 Recuperado de: [http://www.revista.unam.mx/vol.8/num12/art89/Dic\\_art89.pdf](http://www.revista.unam.mx/vol.8/num12/art89/Dic_art89.pdf)

La reacción fotovoltaica de las celdas de una sola juntura está limitada a la porción del espectro solar cuya energía está por encima del espacio de interbanda del material absorbente, y por tanto aquellos fotones con energía más baja no son utilizados.

La mayoría de las celdas fotovoltaicas están elaboradas de silicio ya que estas se construyen utilizando planchas (Wafers<sup>3</sup>), monocristalinas, planas policristalinas o láminas delgadas. De acuerdo con el informe de Célula fotovoltaica de Sobrino Eloy, 2013 las planchas monocristalinas se cortan de un gran lingote que se ha desarrollado aproximadamente a 100 °C, este es un proceso muy costoso. El silicio debe ser de una pureza muy elevada y tener una estructura cristalina casi perfecta

- 
1. Fuente de Energía que produce electricidad renovable.
  2. Material aislante que, cuando se le añaden ciertas sustancias en un determinado contexto, se vuelve conductor
  3. Silicio o substrato de silicio es un delgado semiconductor de silicio.

### 2.3. Funcionamiento una celda fotoeléctrica

De acuerdo con la revista *iluminet*<sup>1</sup>; Revista de iluminación Online, las celdas fotovoltaicas funcionan con el principio del Efecto Fotoeléctrico (ver Figura 26).

El efecto fotoeléctrico es el fenómeno en el que las partículas de luz llamadas fotón o fotones, impactan con los electrones de un material metálico, de tal forma que arrancan sus átomos. El electrón se mueve durante el proceso, dando origen a una corriente eléctrica con la cual se puede hacer funcionar diferentes dispositivos los cuales necesitan corriente eléctrica. Estos dispositivos están hechos de dos tipos de materiales semiconductores, uno de carga positiva (p) y otro de carga negativa (n).

Cuando son expuestos a la luz permiten que un fotón de la luz solar “arranque” un electrón, el electrón libre deja un “hueco<sup>1</sup>” que será llenado por otro electrón que a su vez fue arrancado de su propio átomo.

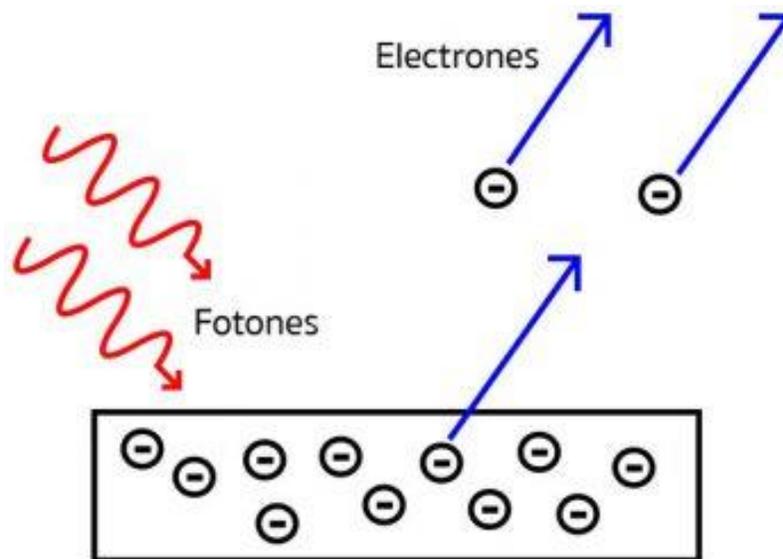


Figura 26. Diagrama del efecto fotoeléctrico.

Recuperado de: <https://www.vix.com/es/btg/curiosidades/4619/que-es-el-efecto>.

El trabajo de la celda es provocar que los electrones libres vayan de un material semiconductor a otro en busca de un hueco que llenar. Esto produce una diferencia de potencial<sup>2</sup> y por tanto una corriente eléctrica<sup>3</sup>, es decir, que se producirá un flujo de electricidad del punto de mayor potencial al de menor potencial hasta que en los dos puntos el potencial sea el mismo.

Las celdas fotovoltaicas celdas de silicio, el cual es el mismo material que se emplea en la industria de la microelectrónica. Se emplea una delgada rejilla semiconductor

para poder originar un campo eléctrico, positivo en un lado y negativo en el otro, claro está; cuando la energía proveniente de los rayos solares llega a la celda fotovoltaica, los electrones son golpeados y sacados de los átomos del material semiconductor.

La electricidad se obtiene, se ponen a los semiconductores tanto positivos como negativos formando un circuito eléctrico, es entonces cuando los electrones son capturados en forma de corriente eléctrica (ver Figura 27).

Los módulos están contruidos con el objetivo de brindar un determinado nivel de voltaje, un ejemplo es un sistema de 12 V; la corriente que se produzca dependerá siempre de cuanta luz pueda captar el módulo. Los sistemas de este estilo pueden funcionar aisladamente o conectados en red; con respecto a estos último, los mismos interaccionan a través de una interfaz electrónica, es decir, un inversor, que transforma la corriente directa en alterna para poder ser utilizada luego.



Figura 27. Funcionamiento de una Celda.

Recuperado de: <http://www.iluminet.com/funcionamiento-paneles-fotovoltaicos-energia-solar/>

En un semiconductor expuesto a la luz, un fotón de energía arranca un electrón, creando a la vez un hueco en el átomo excitado. Normalmente, el electrón encuentra rápidamente otro hueco para volver a llenarlo, y la energía proporcionada por el fotón, por tanto, se disipa en forma de calor. El principio de una célula fotovoltaica es obligar a los electrones y a los huecos a avanzar hacia el lado opuesto del material en lugar de simplemente recombinarse en él: así, se producirá una diferencia de potencial y por lo tanto tensión entre las dos partes del material, como ocurre en una pila.

Para ello, se crea un campo eléctrico permanente, a través de una unión p-n, entre dos capas dopadas respectivamente, p y n. En las células de silicio, que son mayoritariamente utilizadas, se encuentran, por tanto:

- La capa superior de la celda, que se compone de silicio dopado de tipo n. En esta capa, hay un número de electrones libres mayor que en una capa de silicio puro, de ahí el nombre del dopaje n, negativo. El material permanece eléctricamente neutro, ya que tanto los átomos de silicio como los del material dopante son neutros: pero la red cristalina tiene globalmente una mayor presencia de electrones que en una red de silicio puro (ver Figura 28).
- La capa inferior de la celda, que se compone de silicio dopado de tipo p. Esta capa tiene por lo tanto una cantidad media de electrones libres menor que una capa de silicio puro. Los electrones están ligados a la red cristalina que, en consecuencia, es eléctricamente neutra, pero presenta *huecos*, positivos (p). La conducción eléctrica está asegurada por estos portadores de carga, que se desplazan por todo el material (ver Figura 28).

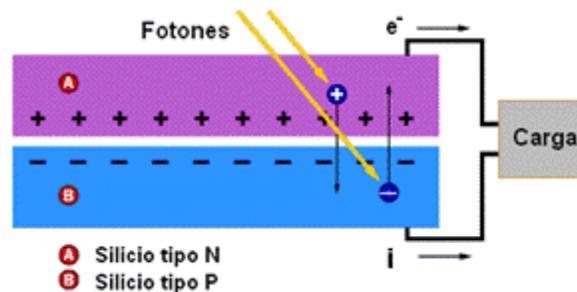


Figura 28. Capa superior e inferior de las celdas.

Recuperado: <http://www.geocities.ws/cytparatodos/celdasolar/index.htm>.

De acuerdo con Paul A. Lynn en su libro: *An Introduction to Photovoltaics*. En el momento de la creación de la unión pn, los electrones libres de la capa n entran instantáneamente en la capa p y se recombinan con los huecos en la región p.

Existirá así durante toda la vida de la unión, una carga *positiva* en la región n a lo largo de la unión (porque faltan electrones) y una carga *negativa* en la región en p a lo largo de la unión (porque los *huecos* han desaparecido); el conjunto forma la Zona de Carga de Espacio (ZCE) o "zona de barrera" y existe un campo eléctrico entre las dos, de n hacia p. Este campo eléctrico hace de la ZCE un diodo, que solo permite el flujo de portadores en una dirección: En ausencia de una fuente de corriente exterior y bajo la sola influencia del campo generado en la ZCE los electrones solo pueden moverse de la región p a la n, pero no en la dirección opuesta y por el contrario los *huecos* no pasan más que de n hacia p.

En funcionamiento, cuando un fotón arranca un electrón a la matriz, creando un electrón libre y un *hueco*, bajo el efecto de este campo eléctrico cada uno va en dirección opuesta: los electrones se acumulan en la región n (para convertirse en polo negativo), mientras que los *huecos* se acumulan en la región dopada p (que se convierte en el polo positivo). Este fenómeno es más eficaz en la ZCE, donde casi

no hay portadores de carga (electrones o huecos), ya que son anulados, o en la cercanía inmediata a la ZCE: cuando un fotón crea un par electrón-hueco, se separaron y es improbable que encuentren a su opuesto, pero si la creación tiene lugar en un sitio más alejado de la unión, el electrón (convertido en *hueco*) mantiene una gran oportunidad para recombinarse antes de llegar a la zona n. Pero la ZCE es necesariamente muy delgada, así que no es útil dar un gran espesor a la célula. Efectivamente, el grosor de la capa n es muy pequeño, ya que esta capa solo se necesita básicamente para crear la ZCE que hace funcionar la célula. En cambio, el grosor de la capa p es mayor: depende de un compromiso entre la necesidad de minimizar las recombinaciones *electrón-hueco*, y por el contrario permitir la captación del mayor número de fotones posible, para lo que se requiere cierto mínimo espesor.

En resumen, una célula fotovoltaica es el equivalente de un generador de energía a la que se ha añadido un diodo. Para lograr una célula solar práctica, además es preciso añadir contactos eléctricos (que permitan extraer la energía generada), una capa que proteja la célula pero deje pasar la luz, una capa antireflectante para garantizar la correcta absorción de los fotones, y otros elementos que aumenten la eficiencia de la misma.

La energía solar se ha extendido en diversos países como una fuente importante de electricidad, también es considerada como una de las fuentes de energía para el futuro, debido a que el sol es un recurso que actualmente es inagotable y a que este tipo de energía no produce residuos. Actualmente la eficiencia de las celdas solares se encuentra alrededor del 12% según las condiciones climáticas y el material de que estén constituidas. Las menos eficientes dan un 6%, mientras que, dentro del laboratorio, se ha logrado una eficiencia del 42%. Los principios teóricos se rigen como:

- Algunos de los fotones, que provienen de la radiación solar, impactan sobre la primera superficie del panel, penetrando en este y siendo absorbidos por materiales semiconductores, tales como el silicio o el arseniuro de galio.
- Los electrones, partículas subatómicas que forman parte del exterior de los átomos, y que se alojan en orbitales de energía cuantizada, son golpeados por los fotones (interaccionan) liberándose de los átomos a los que estaban originalmente confinados.

Esto les permite, posteriormente, circular a través del material y producir electricidad. Las cargas positivas complementarias que se crean en los átomos que pierden los electrones, (parecidas a burbujas de carga positiva) se denominan huecos y fluyen en el sentido opuesto al de los electrones, en el panel solar.

Un panel solar convierte la energía eléctrica en corriente continua, la corriente continua tiene un valor de voltaje continuo con respecto en el tiempo las cuales pueden ser positivos o negativa es decir, es decir todos los dispositivos conectados

recibirán la misma corriente. Con ayuda de un regulador de carga esta corriente continua se transforma a corriente continua. (ver Figura 29).

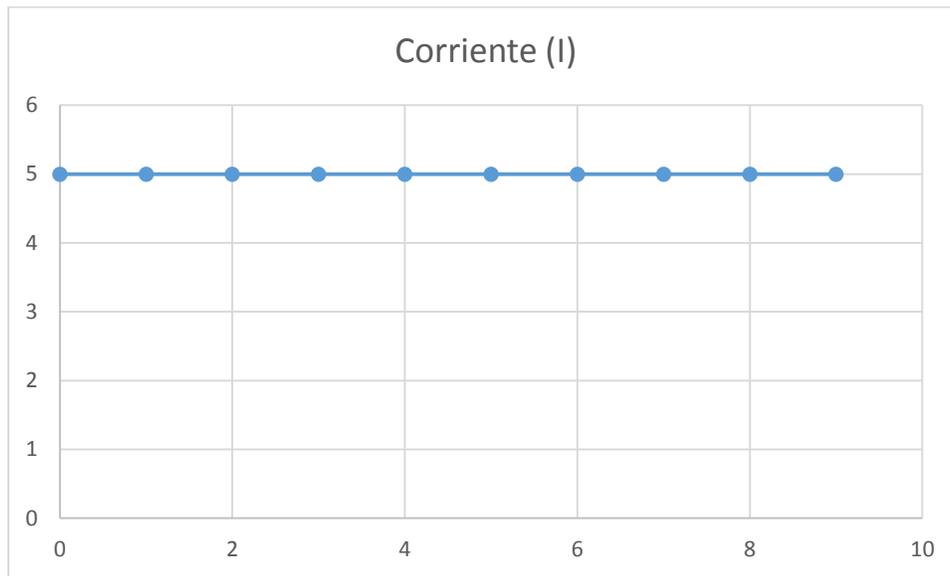


Figura 29. Representación de la diferencia de potencial, o voltaje de corriente respecto al tiempo en corriente continua.  
Recuperado de: Elaboración propia. (2018).

Se debe comentar que, así como el flujo de electrones corresponde a cargas reales, es decir, cargas que están asociadas a desplazamiento real de masa, los huecos, en realidad, son cargas que se pueden considerar virtuales puesto que no implican desplazamiento de masa real.



Figura 30. Funcionamiento e implementación de células fotovoltaicas.  
Recuperado de: [http://www.cenitsolar.com/fotovoltaica\\_esquema.php](http://www.cenitsolar.com/fotovoltaica_esquema.php)

Un conjunto de paneles solares transforman la energía solar (energía en forma de radiación y que depende de la frecuencia de los fotones) en una determinada

cantidad de corriente continua, también denominada DC<sup>4</sup>. Los electrones se mueven de los valores más bajos a los más altos.

- La corriente continua se lleva a un circuito electrónico conversor (inversor) que transforma la corriente continua en corriente alterna, (AC) (tipo de corriente disponible en el suministro eléctrico de cualquier hogar) de 120 o 240 voltios.
- La potencia de AC entra en el panel eléctrico de la casa.
- La electricidad generada se distribuye, casi siempre, a la línea de distribución de los dispositivos de iluminación de la casa, ya que estos no consumen excesiva energía, y son los adecuados para que funcionen correctamente con la corriente generada por el panel.
- La electricidad que no se usa se puede enrutar y usar en otras instalaciones.

- 
1. Se forma cuando la banda de valencia se pierde un electrón
  2. Cambio de energía potencial del sistema cuando una carga de prueba se mueve entre dichos puntos, dividido entre la carga de prueba
  3. Flujo de carga eléctrica que recorre un material.
  4. Acrónimo del inglés Direct Current y que corresponde a un tipo de corriente eléctrica que se describe como un movimiento de cargas en una dirección y un solo sentido, a través de un circuito

### 2.3.1 La unión p-n.

La unión P-N es la estructura fundamental de los componentes electrónicos comúnmente denominados semiconductores. La unión P-N se utiliza en aplicaciones de rectificación y conmutación. La célula está configurada como una gran área de unión p-n. (Paul A. Lynn, 2010)

De acuerdo con el Manual de semiconductores de Sobrino Eloy, 2013. Los materiales Semiconductores extrínsecos son materiales semiconductores puros contaminados con impurezas en mínimas proporciones. Según el doping que realice el material, existen dos tipos:

- Materiales tipo N: En este caso se contamina el material con átomos de valencia 5, como son: Fósforo (P), Arsénico (As) o Antimonio (Sb). Al introducirlos, fuerza al quinto electrón de este átomo a vagar por el material semiconductor, pues no encuentra un lugar estable en el que situarse. Al conjunto de estos electrones se les llama electrones mayoritarios.
- Material tipo P: Tipo P: En este caso se contamina el material semiconductor con átomos de valencia 3, como son Boro (B), Galio (Ga) o indio (In). Si se introduce este átomo en el material, queda un hueco donde debería ir un electrón. Este hueco se mueve fácilmente por la estructura como si fuese un portador de carga positiva. En este caso, los huecos son portadores mayoritarios.

Resumen: Los semiconductores tipo N tienen exceso de portadores de carga negativos (electrones) y los semiconductores tipo P tienen exceso de portadores de carga positiva (huecos)

Una simplificación de este tipo de los tipos de paneles puede considerarse como una capa de silicio de tipo n directamente en contacto con una capa de silicio de tipo p. En la práctica, las uniones p-n de las células solares, no están hechas de la manera anterior, más bien, se elaboran por difusión de un tipo de dopante en una de las caras de una oblea de tipo p, o viceversa.

Si la pieza de silicio de tipo p es ubicada en íntimo contacto con una pieza de silicio de tipo n, tiene lugar la difusión de electrones de la región con altas concentraciones de electrones (la cara de tipo n de la unión) hacia la región de bajas concentraciones de electrones (cara tipo p de la unión).

Cuando los electrones se difunden a través de la unión p-n, se recombinan con los huecos de la cara de tipo p. Sin embargo, la difusión de los portadores no continúa indefinidamente. Esta separación de cargas, que la propia difusión crea, genera un

campo eléctrico provocado por el desequilibrio de las cargas parando, inmediatamente, el flujo posterior de más cargas a través de la unión.

El campo eléctrico<sup>1</sup> establecido a través de la creación de la unión p-n crea un diodo que permite el flujo de corriente en un solo sentido a través de dicha unión. Los electrones pueden pasar del lado de tipo p hacia el interior del lado n, y los huecos pueden pasar del lado de tipo n hacia el lado de tipo p. Esta región donde los electrones se han difundido en la unión se llama región de agotamiento porque no contiene nada más que algunos portadores de carga móviles. Es también conocida como la región de espacio de cargas.

---

1. Región del espacio en la que interactúa la fuerza eléctrica.

### 2.3.2 Fotogeneración de portadores de carga.

Cuando un fotón llega a una pieza de silicio, pueden ocurrir tres acontecimientos:

- El fotón puede pasar a través del material de silicio sin producir ningún efecto; esto ocurre, generalmente, para fotones de baja energía.
- Los fotones pueden ser reflejados al llegar a la superficie del panel, y son expulsados de este.
- El fotón es absorbido por el silicio, en cuyo caso puede ocurrir:
  1. Generar calor.
  2. Producir pares de electrones-huecos, si la energía del fotón incidente es más alta que la mínima necesaria para que los electrones liberados lleguen a la banda de conducción.

De acuerdo con Cazenave Philippe (1998), la fotogeneración se define como el número de pares generados por unidad de volumen y de tiempo. Debido a esta fotogeneración, los procesos de generación y recombinación térmicos intentarán reestablecer el equilibrio. (Ec. 1. Cálculo de número de electrones y de huecos en las bandas de valencia y conducción)

Ahora el número de electrones y de huecos en las bandas de valencia y conducción será:

$$\left. \begin{aligned}
 n &= n_0 + \Delta n \\
 p &= p_0 + \Delta p \\
 \Delta n &\approx \Delta p \\
 n \cdot \rho &> n_1^2
 \end{aligned} \right\}$$

.....Ec. 1.

Nótese que si un fotón tiene un número entero de veces el salto de energía para que el electrón llegue a la banda de conducción podría crear más de un único par electrón-hueco. No obstante, este efecto no es significativo, de manera usual, en las células solares. Este fenómeno, de múltiplos enteros, es explicable mediante la mecánica cuántica y la cuantización de la energía.

Cuando se absorbe un fotón, la energía de este se comunica a un electrón de la red cristalina. Usualmente, este electrón está en la banda de valencia, y está fuertemente vinculado en enlaces covalentes que se forman entre los átomos colindantes. El conjunto total de los enlaces covalentes que forman la red cristalina da lugar a lo que se llama la banda de valencia. Los electrones pertenecientes a esa banda son incapaces de moverse más allá de los confines de la banda, a no ser que se les proporcione energía, y además una energía determinada. La energía que el fotón le proporciona es capaz de excitarlo y promocionarlo a la banda de conducción, que está vacía y donde puede moverse con relativa libertad, usando esa banda, para desplazarse, a través del interior del semiconductor.

El enlace covalente<sup>1</sup> del cual formaba parte el electrón tiene ahora un electrón menos. La presencia de un enlace covalente perdido permite a los electrones vecinos moverse hacia el interior de ese hueco, que producirá un nuevo hueco al desplazarse el electrón de al lado, y de esta manera, y por un efecto de traslaciones sucesivas, un hueco puede desplazarse a través de la red cristalina. Así pues, se puede afirmar que los fotones absorbidos por el semiconductor crean pares móviles de electrones-huecos.

Un fotón solo necesita tener una energía más alta que la necesaria para llegar a los huecos vacíos de la banda de conducción del silicio, y así poder excitar un electrón de la banda de valencia original a dicha banda.

El espectro de frecuencia<sup>2</sup> solar es muy parecido al espectro del cuerpo negro cuando este se calienta a la temperatura de 6000K y, por tanto, gran cantidad de la radiación que llega a la Tierra está compuesta por fotones con energías más altas que la necesaria para llegar a los huecos de la banda de conducción. Ese excedente de energía que muestran los fotones, y mucho mayor de la necesaria para la promoción de electrones a la banda de conducción, será absorbido por la célula solar y se manifestará en un apreciable calor (dispersado mediante vibraciones de la red, denominadas fonones) en lugar de energía eléctrica utilizable.

---

1. Un enlace covalente entre dos átomos se produce cuando estos átomos se unen, para alcanzar el octetoestable, compartiendo electrones del último nivel

2. El espectro de frecuencia de un fenómeno ondulatorio (sonoro, luminoso o electromagnético), superposición de ondas de varias frecuencias, es una medida de la distribución de amplitudes de cada frecuencia. También se llama espectro de frecuencia al gráfico de intensidad frente a frecuencia de una onda particular.

### 2.3.3 Separación de los portadores de carga.

Hay dos modos fundamentales para la separación de portadores de carga en una célula solar:

- Movimiento de los portadores, impulsados por un campo electromagnético establecido a través del dispositivo.
- Difusión<sup>1</sup> de los portadores de carga de zonas de alta concentración de portadores a zonas de baja concentración de portadores (siguiendo un gradiente de potencial eléctrico).

En las células de unión p-n, ampliamente usadas en la actualidad, el modo que predomina en la separación de portadores es por la presencia de un campo electromagnético. No obstante, en células solares en las que no hay uniones p-n (típicas de la tercera generación de células solares experimentales, como células de película delgada de polímeros o de tinta sensibilizada), el campo electromagnético parece estar ausente. En este caso, el modo dominante de separación es mediante la vía de la difusión de los portadores de carga.

---

1. Distribución uniforme de una sustancia, gas o cuerpo producida por el movimiento espontáneo de las moléculas que lo componen.

### 2.3.4 Factor de llenado

Otro término para definir la eficacia de una célula solar es el factor de llenado o fill factor (FF), que se define como la relación entre el máximo punto de potencia dividido entre el voltaje en circuito abierto<sup>1</sup> (Voc) y la corriente en cortocircuito<sup>2</sup> Isc. Mientras más alto sea este factor, mejor será la calidad de la celda.

$$FF = \frac{Potmax}{Voc*Isc} \dots\dots\dots Ec. 2$$

La eficiencia de una celda tiene que ver con varios factores, uno de ellos, por supuesto, es el material semiconductor que elija el fabricante. Además, tiene gran importancia qué porcentaje de la luz del sol que llega hasta la celda es reflejada por ella y desaprovechada. Tan relevante es este factor de reflexión que se han desarrollado recubrimientos especiales capaces de absorber la luz de manera uniforme independientemente del ángulo del panel con respecto al sol.

La energía solar depende mucho de la latitud en que se instalen los paneles; ya que según esta puede aprovecharse más o menos el potencial de los rayos solares. La eficiencia de una instalación dependerá de la orientación y la inclinación del dispositivo hacia la luz solar.

Dentro de un panel solar común podemos encontrar diferentes capas (ver Figura 31):

- Cubierta de vidrio templado.
- Varias subcapas de material encapsulante que protege las células; ya que tienen una alta transmisión de la radiación y una baja degradabilidad a lo largo del tiempo.
- Celdas fotovoltaicas.
- Cubiertas posteriores de TEDLAR o vidrio generalmente opacas y de color claro para reflejar la luz que traspasó las celdas. Esto hace que la luz regrese al frente del panel y que pase de nuevo por las celdas hasta ser absorbida.
- Un marco de acero inoxidable o aluminio anodizado que sujeta el conjunto.

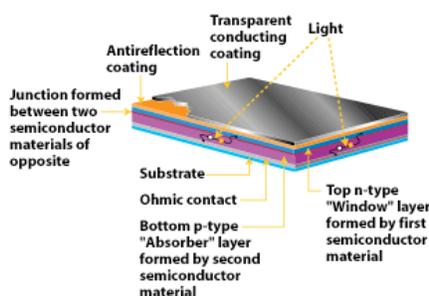


Figura 31. Capas de una celda solar  
Recuperado de: [http://www.cenitsolar.com/fotovoltaica\\_esquema.php](http://www.cenitsolar.com/fotovoltaica_esquema.php)

- Aplicaciones autónomas: Son aquellas en las que los paneles abastecen el lugar en el que recogen la energía solar; como abastecimientos de hogares o alumbrado público.
- Aplicaciones en red: Son aplicaciones en las que la energía generada no se consume en el mismo sitio de producción, sino que se vende al país al que pertenezca la instalación, como los “parques” o “huertos” solares.

De acuerdo con el instituto de Geofísica, México es uno de los 5 países en el mundo con mayor potencial de radiación solar (5 kWh/m<sup>2</sup> por día), lo que lo convierte en un sitio ideal para invertir en este tipo de tecnología. La energía solar depende mucho de la latitud en que se instalen los paneles; ya que según esta puede aprovecharse más o menos el potencial de los rayos solares. La eficiencia de una instalación dependerá en gran medida de la orientación y la inclinación del dispositivo hacia la luz solar.

La eficiencia de conversión media obtenida por las células disponibles comercialmente (producidas a partir de silicio monocristalino) está alrededor del 16 %, pero según la tecnología utilizada varía desde el 6% de las células de silicio amorfo hasta el 22 % de las células de silicio monocristalino. También existen las células multicapa, normalmente de arseniuro de galio, que alcanzan eficiencias del 30 %. En laboratorio se ha superado el 46 % con células experimentales<sup>3</sup>.

La vida útil media a máximo rendimiento se sitúa en torno a los 25 años, período a partir del cual la potencia entregada disminuye por debajo de un valor considerable.

Los paneles fotovoltaicos consisten en una red de células solares conectadas como circuito en serie para aumentar la tensión de salida hasta el valor deseado (usualmente se utilizan 12 V ó 24 V) a la vez que se conectan varias redes como circuito paralelo para aumentar la corriente eléctrica que es capaz de proporcionar el dispositivo.

El tipo de corriente eléctrica que proporcionan es corriente continua, por lo que si necesitamos corriente alterna aumentar su tensión, tendremos que añadir un inversor y/o un convertidor de potencia.

---

1. Son aquellos por los que no circula adecuadamente un fluido.

2. Aumento brusco de intensidad en la corriente

3. Células de experimentación

### 2.3.5 Eficiencia en la conversión de energía.

La eficiencia de una célula solar ("eta"), es el porcentaje de potencia convertida en energía eléctrica de la luz solar total absorbida por un panel, cuando una célula solar está conectada a un circuito eléctrico. Este término se calcula usando la relación del punto de potencia máxima,  $P_m$ , dividido entre la luz que llega a la celda, irradiancia ( $E$ , en  $W/m^2$ ), bajo condiciones estándar (STC<sup>1</sup>) y el área superficial de la célula solar ( $A_c$  en  $m^2$ ) (Eliseo Sebastián 2015)

$$\eta = \frac{FF * V_{oc} * I_{sc}}{G * A} \dots \dots \dots \text{Ec. 3}$$

La STC especifica una temperatura de 25 °C y una irradiancia de 1000  $W/m^2$  con una masa de aire espectral de 1,5 (AM 1,5). Esto corresponde a la irradiación y espectro de la luz solar incidente en un día sobre una superficie solar inclinada con respecto al sol con un ángulo de 41, 81° sobre la horizontal.

Esta condición representa, aproximadamente, la posición del sol de mediodía en los equinoccios de primavera y otoño en los estados continentales de los EEUU con una superficie orientada directamente al sol. De esta manera, bajo estas condiciones una célula solar típica de 230  $cm^2$  (6 pulgadas de ancho), y de una eficiencia del 16 %, aproximadamente, se espera que pueda llegar a producir una potencia de 4,4 W.

---

1. STC. Standard Test Conditions. Define por 1000  $W/m^2$  de irradiancia, con una distribución espectral AM 1.5G y 25 °C de temperatura.

## 2.4 Otras formas de suministro de energía alterna.

### 2.4.1 Molinos de Vientos y Aerogeneradores.

Otras de las alternativas para poder atacar nuestro problema de energía eléctrica, era el uso de molinos de viento ó aerogeneradores (ver Figura 32), para aprovechar la energía eólica, ya que el Monte Picacho se encuentra a 1500 [msnm] en donde las corrientes de viento corren alrededor de 0,15 m/s.

De acuerdo con el informe anual, 2010 de EWEA<sup>1</sup>, La energía eólica es la energía obtenida a partir del viento, es decir, la energía cinética generada por efecto de las corrientes de aire, y que es convertida en otras formas útiles de energía para las actividades humanas, entre ellas la generación de corriente eléctrica. La energía del viento es bastante estable y predecible a escala anual, aunque presenta variaciones significativas a escalas de tiempo menores. Al incrementarse la proporción de energía eólica producida en una determinada región o país, se hace imprescindible establecer una serie de mejoras en la red eléctrica local.

La energía del viento está relacionada con el movimiento de las masas de aire que se desplazan desde zonas de alta presión atmosférica hacia zonas adyacentes de menor presión, con velocidades proporcionales al gradiente de presión.

Los vientos se generan a causa del calentamiento no uniforme de la superficie terrestre debido a la radiación solar; entre el 1 y el 2 % de la energía proveniente del sol se convierte en viento. Durante el día, los continentes transfieren una mayor cantidad de energía solar al aire que las masas de agua, haciendo que este se caliente y se expanda, por lo que se vuelve menos denso y se eleva. El aire más frío y pesado que proviene de los mares, océanos y grandes lagos se pone en movimiento para ocupar el lugar dejado por el aire caliente.



Figura 32. Aerogeneradores. Parque eólico en Vendsyssel-Thy, Dinamarca  
Recuperado de: <https://www.accion.com/es/energias-renovables/energia-eolica/aerogeneradores/>.

Para poder aprovechar la energía eólica es importante conocer las variaciones diurnas, nocturnas y estacionales de los vientos, la variación de la velocidad del viento con la altura sobre el suelo, la entidad de las ráfagas en espacios de tiempo breves, y los valores máximos ocurridos en series históricas de datos con una duración mínima de 20 años. Para poder utilizar la energía del viento, es necesario que este alcance una velocidad mínima que depende del aerogenerador que se vaya a utilizar pero que suele empezar entre los 3 m/s (10 km/h) y los 4 m/s (14,4 km/h), velocidad llamada "cut-in speed", y que no supere los 25 m/s (90 km/h), velocidad llamada "cut-out speed".

La energía del viento se aprovecha mediante el uso de máquinas eólicas o aeromotores capaces de transformar la energía eólica en energía mecánica de rotación utilizable, ya sea para accionar directamente las máquinas operatrices o para la producción de energía eléctrica. En este último caso, el más ampliamente utilizado en la actualidad, el sistema de conversión es conocido como aerogenerador (ver Figura 33). En estos, la energía eólica mueve una hélice y mediante un sistema mecánico se hace girar el rotor de un generador, normalmente un alternador, que produce energía eléctrica. Para que su instalación resulte rentable, suelen agruparse en concentraciones denominadas parques eólicos.

Un aerogenerador es una máquina que transforma la energía del viento en energía eléctrica aprovechable mediante unas aspas oblicuas unidas a un eje común. El eje giratorio puede conectarse a varios tipos de maquinaria para moler grano (molinos), bombear agua o generar electricidad. Cuando se usa para producir electricidad se le denomina generador de turbina de viento. Las máquinas movidas por el viento tienen un origen remoto, funcionando las más antiguas como molinos.

El National Renewable Energy Laboratory (NREL<sup>2</sup>), 2010 estima que el coste normalizado de la energía eólica en Estados Unidos disminuirá un 25 % entre 2012 y 2030.



Figura 33. Transporte de aerogeneradores, 2007

Recuperado de: <https://www.acciona.com/es/energias-renovables/energia-eolica/aerogeneradores/>

Un convoy que transporta palas para aerogeneradores atraviesa la localidad de Edenfield, en Reino Unido (2008). Piezas incluso mayores que la de la imagen son fabricadas por separado y posteriormente ensambladas in situ en la propia base del aerogenerador para facilitar su transporte (ver Figura 33).

El problema con este tipo de instalación es que la energía eólica requiere de una considerable inversión inicial, pero posteriormente no presenta gastos de combustible. Además, estamos hablando de un monte en donde los molinos de viento serían de igual forma extremadamente costoso subir esos molinos.

En 2004, el coste de la energía eólica era una quinta parte del que presentaba en los años 1980, y los expertos consideran que la tendencia a la baja continuará en el futuro próximo, con la introducción en el mercado de nuevos aerogeneradores "multi-megavatio" cada vez más grandes y producidos en masa, capaces de producir hasta 8 megavatios de potencia por cada unidad. En 2012, los costes de capital de la energía eólica eran sustancialmente inferiores a los de 2008-2010, aunque todavía estaban por encima de los niveles de 2002, cuando alcanzaron un mínimo histórico. La bajada del resto de costes ha contribuido a alcanzar precios cada vez más competitivos según un informe de 2011 de la Asociación Americana de la Energía Eólica (*American Wind Energy Association*).

- 
1. EWEA, The European Wind Energy Association.
  2. NREL, National Renewable Energy Laboratory.

## 2.5 Diseño de los sistemas de alimentación fotovoltaico.

El sistema es fundamentado en el principio fotovoltaico (ver Figura 34), mediante la cual las radiaciones de la luz solar se pueden transformar en energía eléctrica.

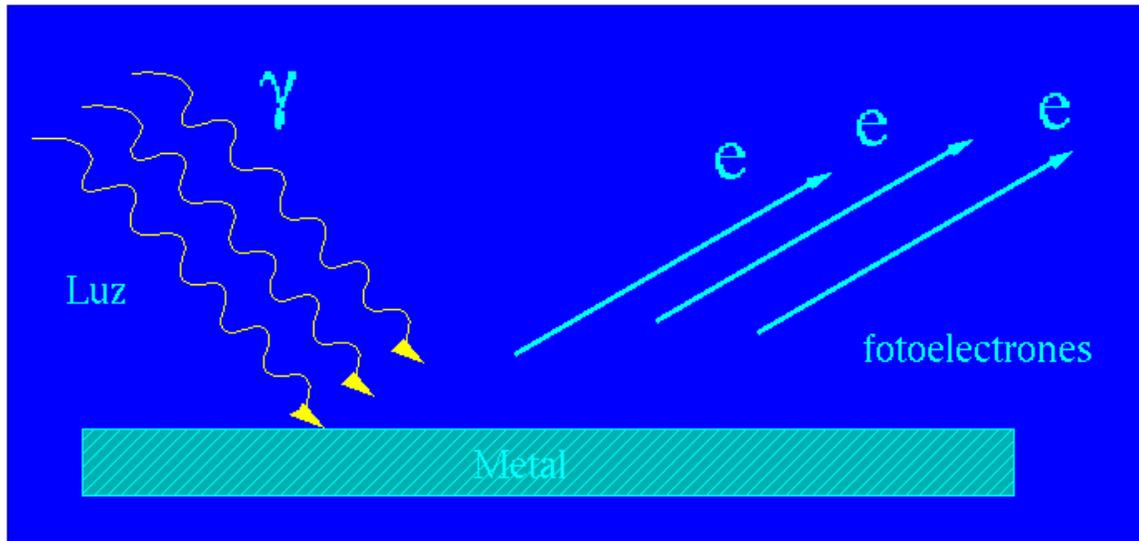


Figura 34. Efecto foto eléctrico.

Fuente: Imagen recuperada de: <https://www.nucleares.unam.mx>.

Los fotones llevan asociada un valor de energía ( $E$ ), que depende de la Longitud de onda ( $\lambda$ ) de la radiación cuyo valor cuantitativo está expresado de la siguiente fórmula.

$$E = \frac{h \cdot c}{\lambda} \dots \dots \dots \text{Ec. 4.}$$

Donde ( $h$ ) es la constante de Planck y ( $c$ ) es la velocidad de la luz.

Las células solares de silicio monocristalino se fabrican a partir de secciones cortadas o extraídas de una barra de silicio perfectamente cristalizado de una sola pieza, y que permiten alcanzar rendimientos del 24% en ensayos de laboratorio y del 16% para células de paneles comercializados.

De acuerdo con el Manual No° 192 de Ingeniería mecánica, instalación Solar Fotovoltaicas, la arquitectura básica de una instalación fotovoltaica es la siguiente (ver Figura 35):

- Paneles o módulos solares son los encargados de captar la radiación solar y transformarla en electricidad, generando una corriente continua<sup>1</sup> (CC), también llamada directa (DC). El número de paneles quedará determinado por la potencia que se necesita suministrar, y su disposición y forma de conexionado (en serie o en paralelo), será en función de la tensión nominal de suministro y la intensidad de corriente que se desee generar.
- Regulador o controlador de carga, encargado de controlar la carga de las baterías desde los módulos o paneles generadores, así como de su descarga hacia el circuito de alimentación, evitando que se produzcan cargas o descargas excesivas del conjunto de baterías.
- Acumuladores o baterías, permite el almacenamiento de la energía que se produce durante el día con la radiación solar para ser utilizada en el día o durante periodos prolongados de mal tiempo o con poca radiación solar. Además, el uso de baterías permite poder inyectar una intensidad de corriente superior a la que los propios paneles solares puedan entregar, si la instalación interior de la vivienda lo requiere.
- Inversor o convertidor DC/AC, dispositivo que permite la conversión de la corriente continua (DC) generada en los paneles fotovoltaicos en corriente alterna (AC) para que pueda ser empleada por los receptores y electrodomésticos utilizados en la vivienda.

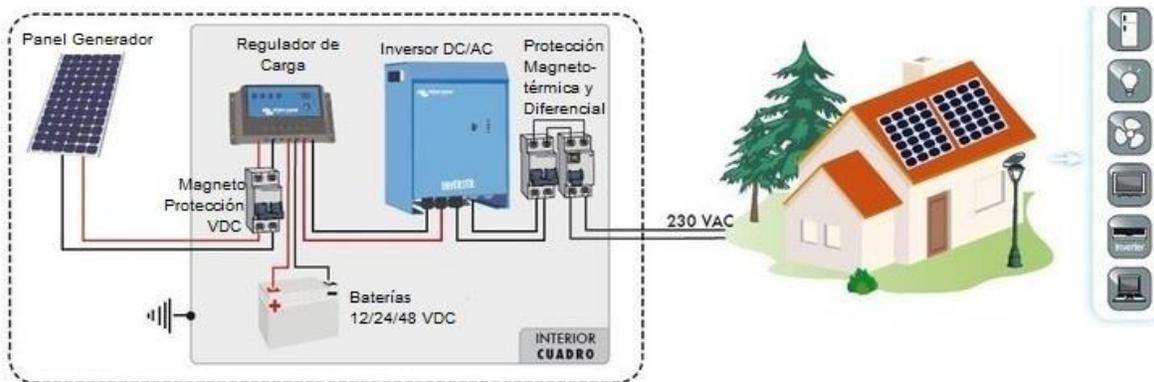


Figura 35: Kit de sistema fotovoltaico aislado.

Recuperado de: <http://ingemecanica.com>

La conexión entre células puede ir en serie y/o en paralelo, para adaptar el panel a los niveles de tensión y corriente requeridos. Cada célula de las que compone un panel fotovoltaico es capaz de ofrecer una tensión del orden de 0,5 voltios y una potencia eléctrica alrededor de los 3 watts, aunque este valor dependerá de la

superficie que mida la célula. De esta manera la potencia que pueda ofrecer un módulo dependerá del número de células que posea, estando diseñado para el suministro eléctrico en corriente continua (directa, *DC*), a un determinado voltaje (normalmente 12 ó 24 V).

La tensión e intensidad de corriente que es capaz de ofrecer un panel fotovoltaico dependerá del número de células que disponga y el tipo de conexión entre células.

Como norma general, los paneles solares se fabrican disponiendo primero las células necesarias en serie hasta que se alcance la tensión que se desee a la salida del panel, y a continuación, estos ramales de células se asocian en paralelo hasta alcanzar el nivel de corriente deseado.

Por otro lado, al sistema completo formado por el conjunto de módulos o paneles fotovoltaicos dispuestos o conexiados en serie y/o en paralelo se le suele denominar generador fotovoltaico. Con el fin de poder ofrecer la potencia eléctrica deseada, así como de la tensión e intensidad de corriente a la salida del generador, los distintos módulos o paneles serán distribuidos en serie y/o en paralelo, según convenga.

- 
1. Corriente de intensidad constante en el que el movimiento de las cargas siempre en el mismo sentido.

### 2.5.1 Módulo Fotovoltaico.

De acuerdo con el Manual No° 192 de Ingeniería mecánica, instalación Solar fotovoltaicas, para formar un panel o módulo fotovoltaico, las células conectadas unas con otras se dispondrán encapsuladas y montadas sobre una estructura soporte o marco, conformando el llamado módulo fotovoltaico (ver Figura 36).

Los elementos que componen un módulo fotovoltaico son los siguientes:

- Una cubierta exterior transparente realizado en vidrio templado de unos 3 ó 4 mm de espesor, con su cara exterior texturada de modo que mejore el rendimiento cuando la radiación solar ocurre a bajo ángulo de incidencia, así como para absorber mejor la radiación solar difusa del ambiente.
- Un material de relleno interior, que funciona de encapsulante, hecho a base de vinilo de acetato etileno (EVA), que sirve para recubrir las células fotovoltaicas dentro del módulo, protegiéndolas de la entrada de aire o humedad, y evitando así que se produzca la oxidación del silicio que conforma las células, dado que de producirse dejarían de funcionar.
- Una cubierta posterior realizada normalmente a base de fluoruro de polivinilo (PVF), que además de sus propiedades como aislante dieléctrico, ofrece gran resistencia a la radiación ultravioleta, contribuyendo a servir de barrera a la entrada de humedad y ofreciendo una gran adhesión al material del que está hecho el encapsulante interior.
- Las propias células fotoeléctricas, ya estudiadas en apartados anteriores.
- Elementos de conexión eléctrica entre células, para establecer el circuito eléctrico.
- Una caja estanca de conexiones, dotada de bornes de conexión normalizados y con grado de protección IP65, de donde parte el cableado exterior del módulo para su conexión con otros módulos que conforman el sistema completo de generación fotovoltaica. En dicha caja se incluyen los diodos de protección cuya misión es la de reducir la posibilidad de pérdida de energía debido a un mal funcionamiento por sombreados parciales de paneles y de evitar la rotura del circuito eléctrico por este efecto. Ello es así porque cuando se produce una sombra parcial sobre un panel, éste deja de generar corriente y se convierte en absorbedor de energía, lo que produciría un recalentamiento excesivo del mismo que podría dañarlo.
- El marco estructural realizado generalmente en aluminio anodizado que ofrece resistencia mecánica y soporte al conjunto. Se deberá comprobar en las especificaciones del fabricante del módulo su resistencia mecánica frente al viento y cargas de nieve, de manera que el conjunto se adecue a las condiciones ambientales del lugar donde se instalen.

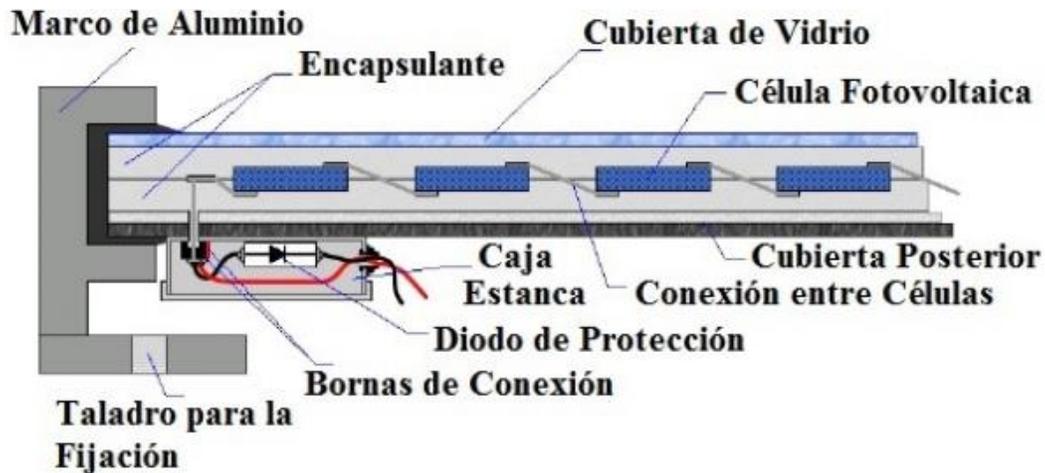


Figura 36. Estructura de un panel fotovoltaico  
 Recuperado de: <http://ingemecanica.com>

Las prestaciones de los módulos que aparecen en la información técnica que proporciona cualquier fabricante están obtenidas sometiendo a los módulos a unas Condiciones Estándar de Medida<sup>1</sup> de irradiancia y temperatura, que son siempre las mismas y son utilizadas universalmente para caracterizar células, módulos y generadores solares. Estas condiciones son las siguientes:

- Irradiancia solar: 1000 W/m<sup>2</sup>;
- Distribución espectral: AM 1,5 G;
- Temperatura de célula: 25 °C.

No obstante, las condiciones reales de operación de los módulos serán distintas a los estándares anteriores, por lo que habrá que aplicar los correspondientes coeficientes correctores a los procedimientos de cálculos que se realicen.

---

1. Condiciones Estándar de Medida (CEM)

### 2.5.2 Regulador de Carga.

Un regulador de carga, cuyo emplazamiento se indica con la letra B en la Figura 36, es un equipo encargado de controlar y regular el paso de corriente eléctrica desde los módulos fotovoltaicos hacia las baterías.

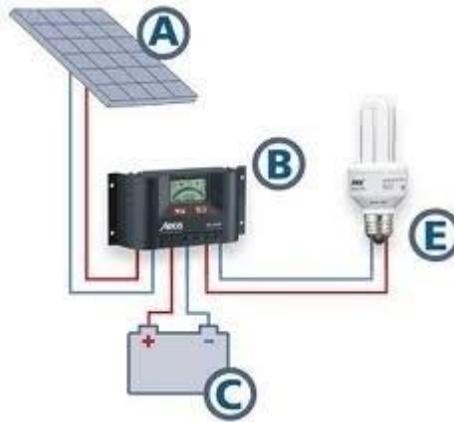


Figura 37. Regulador de carga básico.  
Recuperado de: <http://ingemecanica.com>

Por lo tanto, estos dispositivos funcionan como un cargador de baterías, evitando además que se produzcan sobrecargas y a la vez limitan la tensión de las baterías a unos valores adecuados para su funcionamiento.

De este modo, un regulador de carga se encarga de controlar la forma de realizar la carga de las baterías cuando los paneles solares están recibiendo radiación solar evitando que se produzcan cargas excesivas.

Y a la inversa, esto es, durante el proceso de descarga de las baterías destinado al consumo de electricidad, el regulador evita igualmente que se produzcan descargas excesivas que puedan dañar la vida de las baterías.

De un modo sencillo, un regulador se puede entender como un interruptor colocado en serie entre paneles y baterías, que está cerrado y conectado para el proceso de carga de las baterías, y abierto cuando las baterías están totalmente cargadas.

Asimismo, en la actualidad la mayoría de los reguladores de carga disponen de una función que permite maximizar la energía capturada por el generador fotovoltaico mediante el uso de una tecnología específica de seguimiento y búsqueda del punto de máxima potencia de funcionamiento del generador denominado MPP<sup>1</sup> o también llamado MPP tracking ó MPPT<sup>2</sup> del inglés, track.

El regulador de carga (Figura 38) se seleccionará para que sea capaz de resistir sin daños unos valores de tensión nominal e intensidad máxima de acuerdo a la

configuración del sistema de generadores fotovoltaicos instalados. De esta manera, éste debe estar dimensionado para soportar la intensidad máxima de corriente generada en el sistema, tanto en la línea de entrada al regulador procedente de los generadores fotovoltaicos, como en la línea de salida hacia las cargas que alimenta.



Figura 38. Regulador de carga.  
Recuperado de: <http://ingemecanica.com>

En este sentido, la corriente máxima prevista por la línea de entrada al regulador desde los generadores fotovoltaicos es la correspondiente a la corriente de cortocircuito ( $I_{sc}$ ) del generador fotovoltaico más un margen de seguridad (generalmente un 25%), para tener en cuenta los posibles picos de irradiancia o los cambios de temperatura.

Por otro lado, la corriente máxima prevista por la línea de salida viene dada por el consumo de las cargas del sistema (aparatos eléctricos, electrodomésticos) también incrementada en un 25% ( $I_{salida}$ ). La elección del regulador será aquel que soporte la mayor de las dos anteriores corrientes eléctricas, como se verá más adelante en este tutorial.

Como ya se ha visto, el regulador actuará interrumpiendo el suministro de electricidad desde las baterías de acumulación hacia la instalación interior de la vivienda cuando el voltaje de las baterías quede por debajo del umbral de funcionamiento, con objeto de evitar su descarga total que pueda provocar daños en las baterías.

Igualmente, durante los periodos de insolación donde los paneles solares están generando electricidad y el voltaje de las baterías llegue a un valor límite máximo, el regulador interrumpirá la conexión entre los módulos fotovoltaicos y las baterías, o bien actuará reduciendo gradualmente la corriente media entregada por los paneles.

Por lo tanto, a la hora de seleccionar el regulador más idóneo, se deberá tener en cuenta que la tensión de desconexión de la carga de consumo del regulador deberá elegirse para que la interrupción del suministro de electricidad a las cargas se produzca cuando la batería haya alcanzado la profundidad máxima de descarga permitida, según indique las especificaciones del fabricante de la batería.

Todo regulador de corriente instalado deberá estar convenientemente protegido frente a cortocircuitos que se produzcan en la línea de consumo de la vivienda, además de contra la posibilidad de poder producirse una desconexión accidental de la batería mientras los paneles están generando energía.

Las caídas internas de tensión del regulador entre sus terminales de generador y acumulador serán inferiores al 4% de la tensión nominal (0,5 V para 12 V de tensión nominal), para sistemas de menos de 1 kW, y del 2% de la tensión nominal para sistemas mayores de 1 kW, incluyendo los terminales. Asimismo, las caídas internas de tensión del regulador entre sus terminales de batería y consumo serán inferiores al 4% de la tensión nominal (0,5 V para 12 V de tensión nominal), para sistemas de menos de 1 kW, y del 2 % de la tensión nominal para sistemas mayores de 1 kW, incluyendo igualmente los terminales.

En todo caso, las pérdidas de energía diarias causadas por el autoconsumo del regulador en condiciones normales de operación deberán ser inferiores al 3 % del consumo diario de energía.

Por último, indicar que todo regulador que se emplee en la instalación deberá estar etiquetado con al menos la siguiente información:

- Tensión nominal (V)
- Corriente máxima (A)
- Fabricante (nombre o logotipo) y número de serie
- Polaridad de terminales y conexiones

- 
1. MPP. Maximum power point
  2. MPPT. Maximum power point tracking

### 2.5.3 Baterías de Ciclo Profundo

Las baterías, también llamadas acumuladores solares o fotovoltaicos, se utilizan para almacenar la energía eléctrica generada por el sistema de generadores fotovoltaicos, con objeto de disponer de ella en periodos nocturnos o en aquellas horas del día que no luzca el sol (ver Figura 39).



Figura 39. Baterías de Ciclo profundo.  
Recuperado de. <http://ingemecanica.com>

No obstante, también pueden desempeñar otras funciones, como elementos que sirven para estabilizar el voltaje y la corriente de suministro, o para inyectar picos de corriente en determinados momentos, tales como en el arranque de motores.

Las baterías se componen básicamente de dos electrodos<sup>1</sup> que se encuentran sumergidos en un medio electrolítico. Los tipos de baterías más recomendadas para uso en instalaciones fotovoltaicas son las de tipo estacionarias de plomo ácido y de placa tubular, compuestas de un conjunto de vasos electroquímicos interconectados de 2 V cada uno, que se dispondrán en serie y/o paralelo para completar los 12, 24 ó 48 V de tensión de suministro y la capacidad de corriente en continua que sea adecuado en cada caso.

Generalmente a la asociación eléctrica de un conjunto de baterías se le suele llamar sistema acumulador o simplemente acumulador.

En la Tabla 5, se indica el nivel del voltaje del módulo fotovoltaico en función de las necesidades de consumo de potencia que se demande.

Tabla 5. Relación de tensión del trabajo fotovoltaica.

<b>Tensión de trabajo del sistema fotovoltaica</b>	
<b>Potencia demandada (W)</b>	<b>Tensión de Trabajo del sistema fotovoltaico</b>
<b>&lt; de 1500 W</b>	<b>12 V</b>
<b>Entre 1500 W y 5000 W</b>	<b>24 V Ó 48 V</b>
<b>&gt; 5000 W</b>	<b>120 V Ó 300 V</b>

Recuperado de: Creación propia.

La capacidad de una batería se mide en amperios-hora (*Ah*), unidad de carga eléctrica que indica la cantidad de carga eléctrica que pasa por los terminales de una batería. Indica la cantidad de electricidad que puede almacenar durante la carga la batería, para después devolverla durante su descarga.

No obstante, el tiempo invertido en la descarga de la batería influye de manera decisiva en su capacidad de almacenaje. De esta forma, conforme más rápido se realice la descarga de la batería su capacidad de suministro disminuye, debido a que más energía se pierde por la resistencia interna, y a la inversa, conforme el tiempo de descarga aumenta y se realiza de forma más lenta, entonces la capacidad de la batería aumenta.

Por ello, al depender la capacidad de una batería del tiempo invertido en su descarga, este valor se suele suministrar referido a un tiempo estándar de descarga (10 ó 20 horas), y para un voltaje final determinado.

A continuación, se indicarán las definiciones y comentarios sobre los parámetros más importantes que definen a las baterías o acumuladores solares.

Factor de rendimiento de la batería: parámetro que se define como el cociente entre el valor de los amperios-hora que realmente se puede descargar de la batería dividida por el valor de los amperios-hora empleados en su carga.

Autodescarga: es la pérdida de carga de la batería cuando ésta permanece en circuito abierto. Habitualmente se expresa como porcentaje de la capacidad nominal, medida durante un mes, y a una temperatura de 20 °C. En general, los valores de autodescarga de las baterías empleadas no excederá del 6% de su capacidad nominal por mes.

Capacidad nominal,  $C_{20}$  (*Ah*): es la cantidad de carga eléctrica que es posible extraer de una batería en 20 horas, medida a una temperatura de 20 °C, hasta que la tensión entre sus terminales llegue a 1,8V/vaso.

Régimen de carga (o descarga): es un parámetro que relaciona la capacidad nominal de la batería y el valor de la corriente a la cual se realiza la carga (o la descarga). Se expresa normalmente en horas, y se representa como un

subíndice en el símbolo de la capacidad y de la corriente a la cual se realiza la carga (o la descarga). Por ejemplo, si una batería de  $100\text{ Ah}$  se descarga en 20 horas a una corriente de  $5\text{ A}$ , se dice que el régimen de descarga es 20 horas ( $C_{20} = 100\text{ Ah}$ ) y la corriente se expresa como  $I_{20} = 5\text{ A}$ .

Profundidad de descarga (PD ó DOD): se define como el cociente entre la carga extraída de una batería y su capacidad nominal, expresándose normalmente en %.

Profundidad de descarga máxima ( $PD_{\text{máx}}$ ): en este caso se define como el nivel máximo de descarga que se le permite a la batería antes que se produzca la desconexión del regulador, con objeto de proteger la durabilidad de la misma. Las profundidades de descarga máximas que se suelen considerar para un ciclo diario (profundidad de descarga máxima diaria) están en torno al 15-25%. Para el caso de un ciclo estacional, que es el número máximo de días que podrá estar una batería descargándose sin recibir los módulos radiación solar suficiente, está en torno a los 4-10 días y una profundidad de descarga del 75% aproximadamente.

En todo caso, para instalaciones fotovoltaicas no se recomiendan descargas agresivas, sino más bien progresivas, por lo que las baterías a utilizar suelen ser con descarga de 100 horas ( $C_{100}$ ), pues cuanto más intensa y rápida es la descarga de una batería, menos energía es capaz de suministrarlos.

Capacidad útil: es la capacidad disponible o utilizable de la batería y se define como el producto de la capacidad nominal por la profundidad máxima de descarga permitida.

Estado de carga: se define como el cociente entre la capacidad residual de una batería, en general parcialmente descargada, y su capacidad nominal.

En la mayoría de las ocasiones, los sistemas de acumulación de energía estarán formado por asociaciones de baterías, que estarán conectadas en serie o en paralelo, para satisfacer las necesidades, bien de tensión, o bien de capacidad que sean demandadas.

Mediante las asociaciones en serie de baterías se consigue aumentar el voltaje final respecto a la tensión de servicio que cada batería por sí sola puede ofrecer.

En el conexionado en serie de varias baterías se debe conectar el borne negativo de cada batería con el positivo de la siguiente, y así sucesivamente. La tensión o voltaje que proporciona el conjunto es igual a la suma de las tensiones de cada una de las baterías individuales (ver Figura 40).

Por el contrario, mediante las asociaciones en paralelo de baterías se consigue aumentar la capacidad de suministro del conjunto, es decir, su autonomía,

sumando las capacidades nominales de cada batería y manteniendo el mismo voltaje de cada batería individual (ver Figura 40).

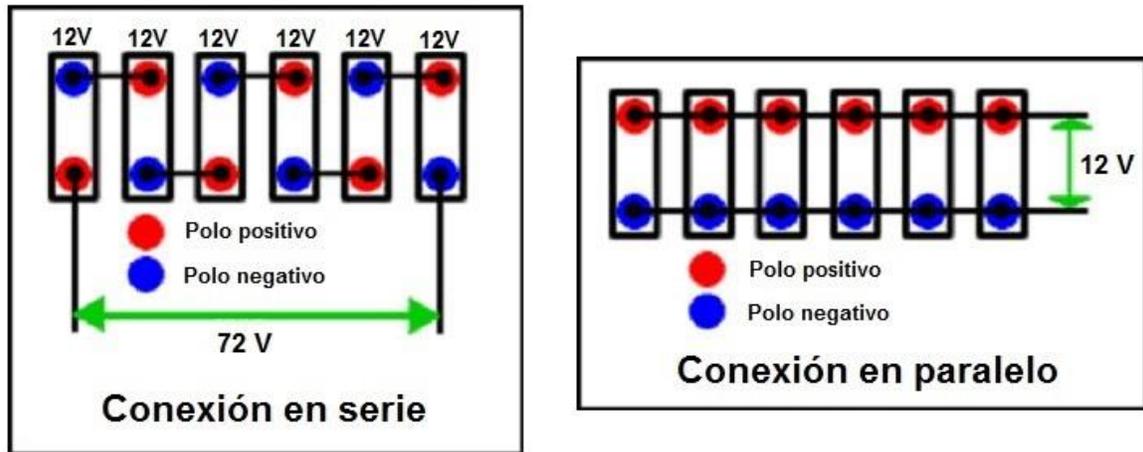


Figura 40. Diferencia entre conexión serie y conexión paralela.  
Recuperado de: <http://ingemecanica.com>

- 
1. Conductor eléctrico utilizado para hacer contacto con una parte metálica de un circuito.

## 2.5.4 Inversor o Convertidor

El convertidor de corriente DC/AC (ver Figura 41), también llamado inversor u ondulator, es un dispositivo electrónico de potencia encargado de convertir la corriente continua (DC) proveniente de los generadores fotovoltaicos en corriente alterna (AC) para su consumo en la vivienda. Además, sincroniza la frecuencia de la corriente inyectada con la de la red, adaptándola a las condiciones requeridas según el tipo de carga, garantizando así la calidad de la energía vertida en la instalación eléctrica de la vivienda.



Figura 41. Inversor o convertidor.  
Recuperado de: <http://ingemecanica.com>

Los inversores vienen caracterizados principalmente por la tensión de entrada desde las baterías, la potencia máxima que puede proporcionar y su eficiencia o rendimiento de potencia. Este último se define como la relación entre la potencia eléctrica que el inversor entrega para su uso (potencia de salida) y la potencia eléctrica que extrae del sistema de baterías o de los generadores fotovoltaicos (potencia de entrada).

En general, los inversores en las instalaciones fotovoltaicas deben cumplir las siguientes exigencias:

- Deberán ofrecer una eficiencia<sup>1</sup> lo más alta posible que minimice las pérdidas. El rendimiento de potencia de los inversores (cociente entre la potencia activa de salida y la potencia activa de entrada), oscila entre el 90% y el 97%. El valor del rendimiento depende mucho de la potencia de entrada, que deberá ser lo más cercana, o incluso tratar que sea igual a la nominal de funcionamiento del inversor, dado que si varía mucho entonces el rendimiento del inversor disminuye sensiblemente.
- Estar adecuadamente protegidos contra cortocircuitos y sobrecargas, como más adelante se verá.

- Disponer de elementos que incorporen el rearme y desconexión automática del inversor.
- Poder admitir demandas instantáneas de potencia mayores del 150% de su potencia máxima o nominal, con objeto de hacer frente a los picos de arranque que originan muchos electrodomésticos, como frigoríficos, lavadoras, que van a demandar mayor potencia que la nominal en el momento de su puesta en marcha o arranque de sus motores.
- Ofrecer una baja distorsión armónica y bajo autoconsumo.
- Disponer de aislamiento galvánico.
- Disponer de sistema de medida y monitorización.
- Incorporar controles manuales que permitan el encendido y apagado general del inversor, y su conexión y desconexión a la interfaz AC de la instalación.

Volviendo a las protecciones que deben incorporar en sus funciones los inversores de corriente, éstas deberán ser las siguientes:

- Protección contra sobrecargas y cortocircuitos, que permitirá detectar posibles fallos producidos en los terminales de entrada o salida del inversor.
- Protección contra calentamiento excesivo, que permitirá desconectar el inversor si la temperatura del inversor sobrepasa un determinado valor umbral, y mantenerse desconectado hasta que el equipo no alcance una temperatura inferior preestablecida.
- Protección de funcionamiento modo isla, que desconectará el inversor en caso de que los valores de tensión y frecuencia de red queden fuera de unos valores umbrales que permitan un funcionamiento correcto.
- Protección de aislamiento, que detecta posibles fallos de aislamiento en el inversor.
- Protección contra inversión de polaridad, que permite proteger el inversor contra posibles cambios en la polaridad desde los paneles fotovoltaicos.

Por último, la envolvente o carcasa que protege el dispositivo inversor ofrecerá un grado de aislamiento de tipo básico clase 1 y un grado de protección mínima IP20 para aquellos inversores instalados en el interior de edificios y sean lugares inaccesibles, de IP30 para inversores situados en el interior de edificios y lugares accesibles, y con grado de protección mínima de IP 65 para inversores instalados a la intemperie.

---

1. Relación de potencia de salida entre la potencia de entrada.

## 2.6 Casos de Estudios

### 2.6.1 Instalación de un sistema de alimentación fotovoltaicas

En la Universidad Carlos III de Madrid se realizó el diseño y la implementación de un sistema de energía solar fotovoltaico aislado para alimentación de estaciones de comunicaciones aisladas. La implementación y la instalación se realizó en Peñalba de Santiago, una aldea berciana. Ubicada a unos 20 km de Ponferrada, justo en la cabecera del valle del río Oza en España. En esta zona la falta de señal de telefonía móvil en el pueblo y en los alrededores es escasa, afectando a los ciudadanos de Peñalba y a los turistas que es la principal fuente económica del pueblo de Peñalba.

En España se realizó una gráfica de las fuentes de energía más usadas (ver Figura 42). Fue evidente que la energía solar no puede sustituir a la producida por los combustibles fósiles, pero sí supone un complemento a las necesidades energéticas del país. En el siguiente gráfico se pueden ver los porcentajes consumidos de cada tipo de energía en España.

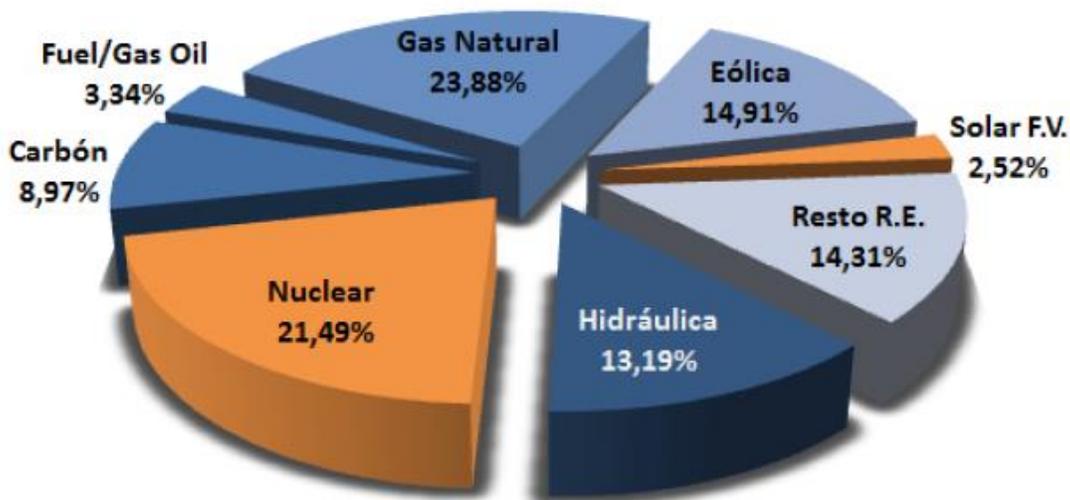


Figura 42. Energía consumida en España por fuente de origen.  
Recuperado de: Universidad Carlos III de Madrid. Tesis Madrid sobre sistema de alimentación fotovoltaico.

España es un país con grandes privilegios en los que goza de condiciones climatológicas con alto índice de irradiación solar que la hacen favorable para el aprovechamiento de la energía solar (ver Figura 43).

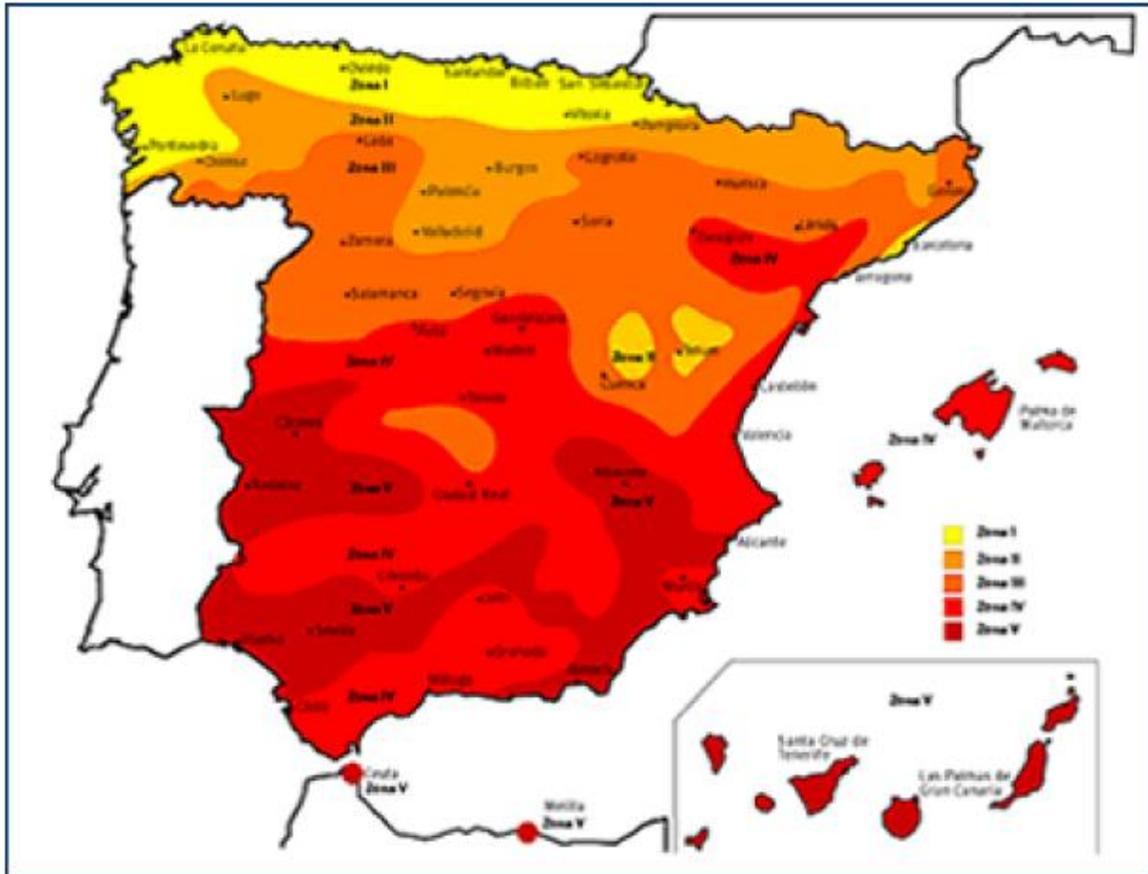


Figura 43. Radiación media diaria en España.  
 Recuperado de: Universidad Carlos III de Madrid. Tesis Madrid sobre sistema de alimentación fotovoltaico.

Para aprovechar las condiciones climatológicas se realizó el diseño de un sistema Aislado por medio de celdas fotovoltaicas. Dado que es un sistema aislado; todas las instalaciones fotovoltaicas aislados tiene que cumplir con los requisitos de protecciones y seguridad de las personas dispuestas en el Reglamento Electrónico de baja tensión:

Se deben de incluir todos los elementos de seguridad necesarios para proteger a las personas frente a contactos, tanto directos como indirectos, en instalaciones con tensiones de operación superiores a 50 VRMS o 120 VDC. Es recomendable en este tipo de instalaciones la utilización de equipos y materiales de clase de protección II.

La instalación ha de protegerse frente a cortocircuitos. Los materiales situados en la intemperie se protegerán contra los agentes atmosféricos, sobre todo frente a la

radiación solar y la humedad. Los equipos a la intemperie tendrán un grado de protección mínimo IP65.

Los equipos que se instalaron serán de tipo Outdoor, minimizando los costes que supondría la instalación de una caseta. Existen distintos proveedores que nos pueden facilitar una solución óptima a nivel práctico. El equipo fue el Ericsson 2116 (ver Figura 44) RBS2116, el cual tiene una capacidad de hasta 12 TRX por bastidor y puede configurarse como unan estación trisectora. Estos son dispositivos que están incluidos en una ICT básica para equipos de telefonía móvil.

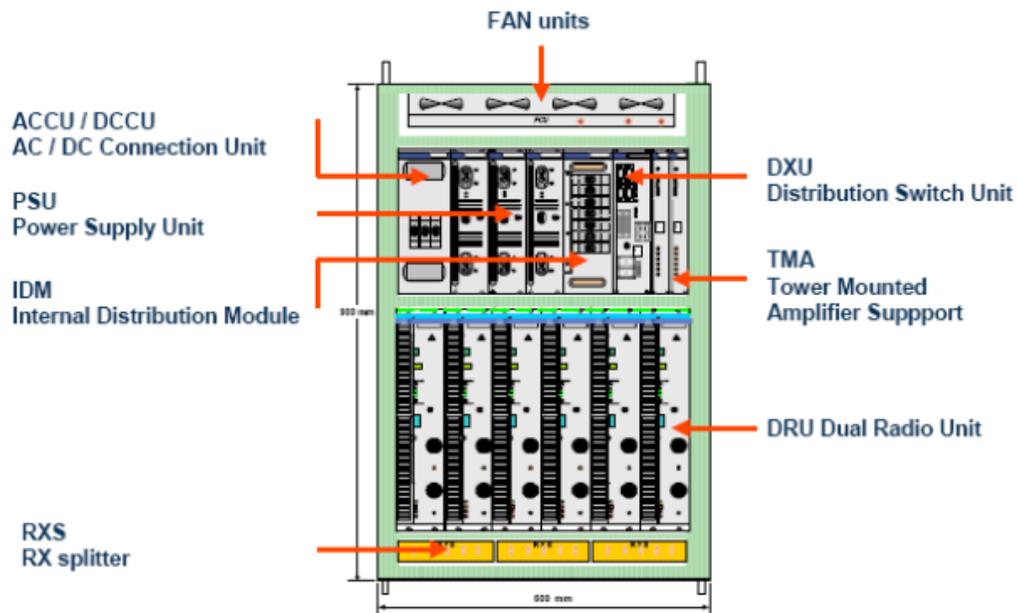


Figura 44. Cabina RBS Ericsson 2116  
Recuperado de: Universidad Carlos III de Madrid. Tesis Madrid sobre sistema de alimentación fotovoltaico.

Tabla 6. Características de la BTS.

Dimensiones	600*500*900 mm
Peso estimado	250 Kg
Potencia máxima	2.2 KW
Potencia Nominal	1.5 KW
Tensión de funcionamiento	24 VDC o 48 VDC

Recuperado de: Universidad Carlos III de Madrid. Tesis Madrid sobre sistema de alimentación fotovoltaico.

La BTS está instalada en el gabinete del Ericson 2116, la cual pertenece a la serie de radiobases de última generación ya que posee una diversidad de configuraciones para varios modelos de construcción.

La BTS es una instalación fija moderada de radiocomunicaciones que tiene la finalidad de comunicar a una base de radios móviles ya que tienen la característica principal de conectar radios de baja potencia sirviendo como punto de acceso a una red de comunicación fija. La BTS Ericson 2116 tiene la capacidad de realizar el enlace de Radiofrecuencia entre las celdas a las terminales de celular permitiendo la transmisión de información a la estación de control. La BTS contiene una unidad de control, una unidad de energía para transmisión de señales por medio de antenas sectoriales en sistemas GSM, 3G y 4G.

La BTS contiene un CDU. Unidad de distribución y combinación. La CDU es la interfaz entre el transductor y la antena. Todas las señales se filtran antes de la transmisión y después de la recepción por medio de un filtro paso banda. También posee la DTRU realiza las siguientes funciones: recibe información de administración y configuración de la DTMU, e informa su propia información de estado y alarma a la DTMU, recibe señales de estaciones móviles a través del sistema de antena, separa las señales en señalización e información de voz a través de demodulación y balanceo y luego los envía al nivel superior. además se encarga de procesamiento de señales de enlaces descendientes y información de voz para enviarlas a las estaciones móviles mediante la antena.

Funcionalmente el DTRU se puede dividir en tres módulos más pequeños.

- DTUR de banda base y unidad de RF (DBRU)
- Unidad de amplificador de potencia (DTRU)
- Unidad de fuente de alimentación (DPAU)

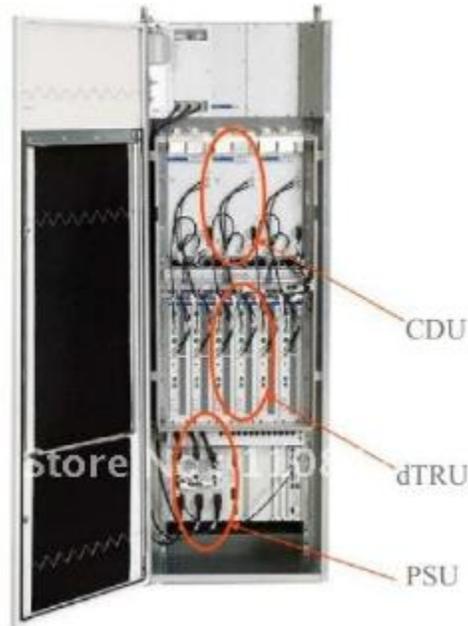


Figura 45. Gabinete de Ericsson 2116  
 Recuperado de: Universidad Carlos III de Madrid. Tesis Madrid sobre sistema de alimentación fotovoltaico.

Para la realización del dimensionamiento del sistema fotovoltaico, hicieron una cuenta de consumos de la estación base de comunicaciones (ver Tabla 7) (ver Figura 45).

Tabla 7. Sistema solar fotovoltaica aislado para alimentación de comunicaciones aisladas.

Elemento	Potencia Consumida	Horas [h/día]	Potencia*horas/día
BTS	700 W	24	16800 W
Luminarias Caseta	2*36 W	4	288 W
Ventilación Caseta	100 W	12	1200 W
<b>Total</b>			<b>18288 W</b>

Recuperado de: Universidad Carlos III de Madrid. Tesis Madrid sobre sistema de alimentación fotovoltaico

Además, se hizo un cálculo para la selección del panel, el cual se llegó a la conclusión de que será el ND-R250A5, cuyas características eléctricas se muestran en la siguiente tabla (ver Tabla 8).

Tabla 8. Características finales de la celda.

Potencia Nominal	Pmax	250.29 W
Tensión en circuito abierto	Voc	37.6 V
Corriente de corto circuito	Isc	8.68 A
Tensión en el punto de máxima potencia	Vmpp	30.9 V
Corriente en el punto de máxima potencia	Impp	8.10 A

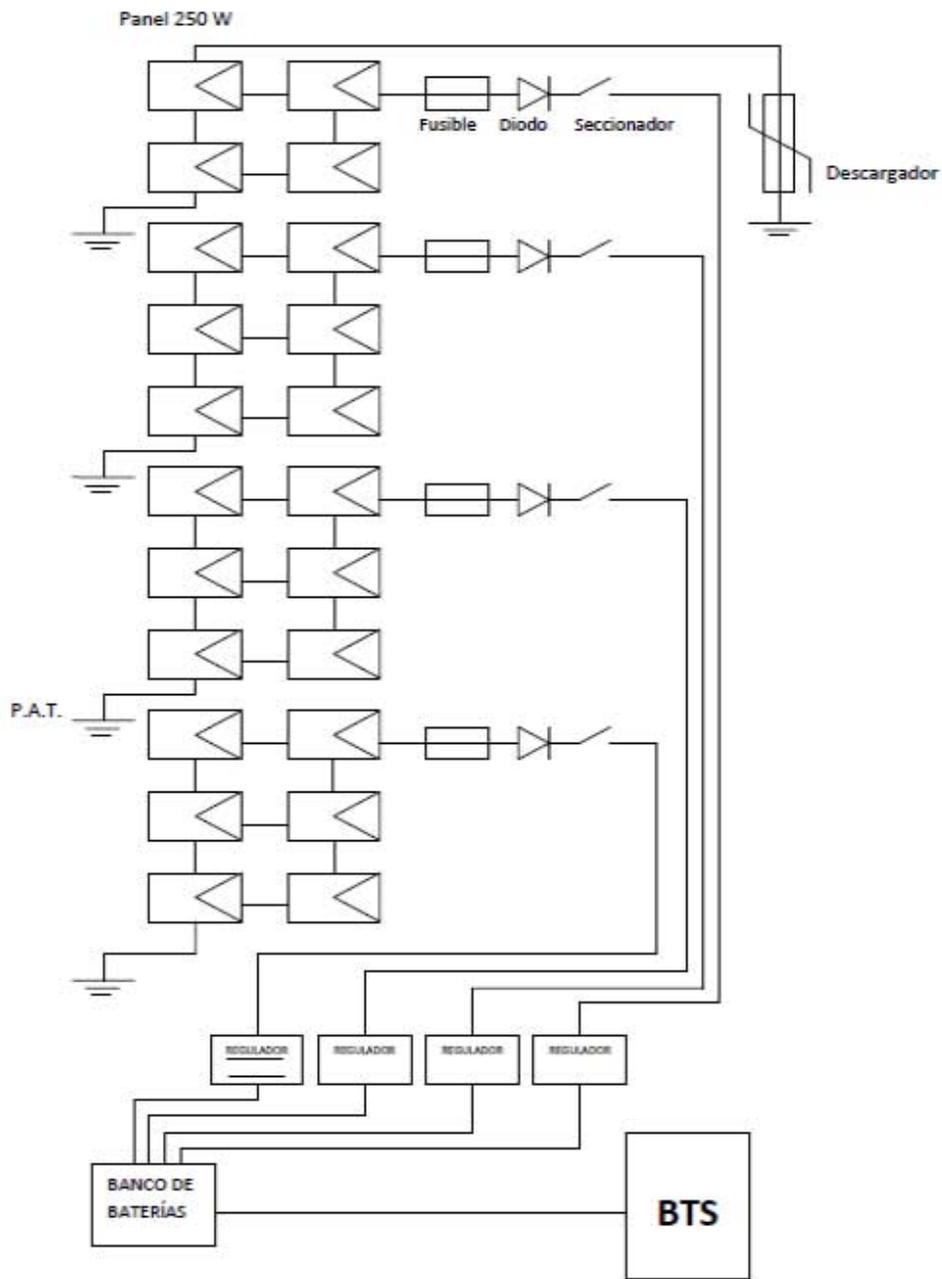
Recuperado de: Universidad Carlos III de Madrid. Tesis Madrid sobre sistema de alimentación fotovoltaico.



Figura 46. Características del Panel Sharp ND-R250A5

Recuperado de: Universidad Carlos III de Madrid. Tesis Madrid sobre sistema de alimentación fotovoltaico.

A continuación, se muestran dos planos. El primero es el esquema eléctrico de la instalación solar fotovoltaica aislada (ver Figura 47), conectada a la estación base de comunicaciones. El Segundo es plano que refleja la orientación y la situación de la instalación con respecto a la montaña (ver Figura 48).



Universidad Carlos III de Madrid	Rodrigo González González
Proyecto: Sistema de energía solar fotovoltaica aliado para alimentación de estaciones de comunicaciones aliadas	
Plano 1: Esquema de conexión	Fecha: 11/02/2013

Figura 47. Sistema de implementación final.  
 Recuperado de: Universidad Carlos III de Madrid. Tesis Madrid sobre sistema de alimentación fotovoltaico.

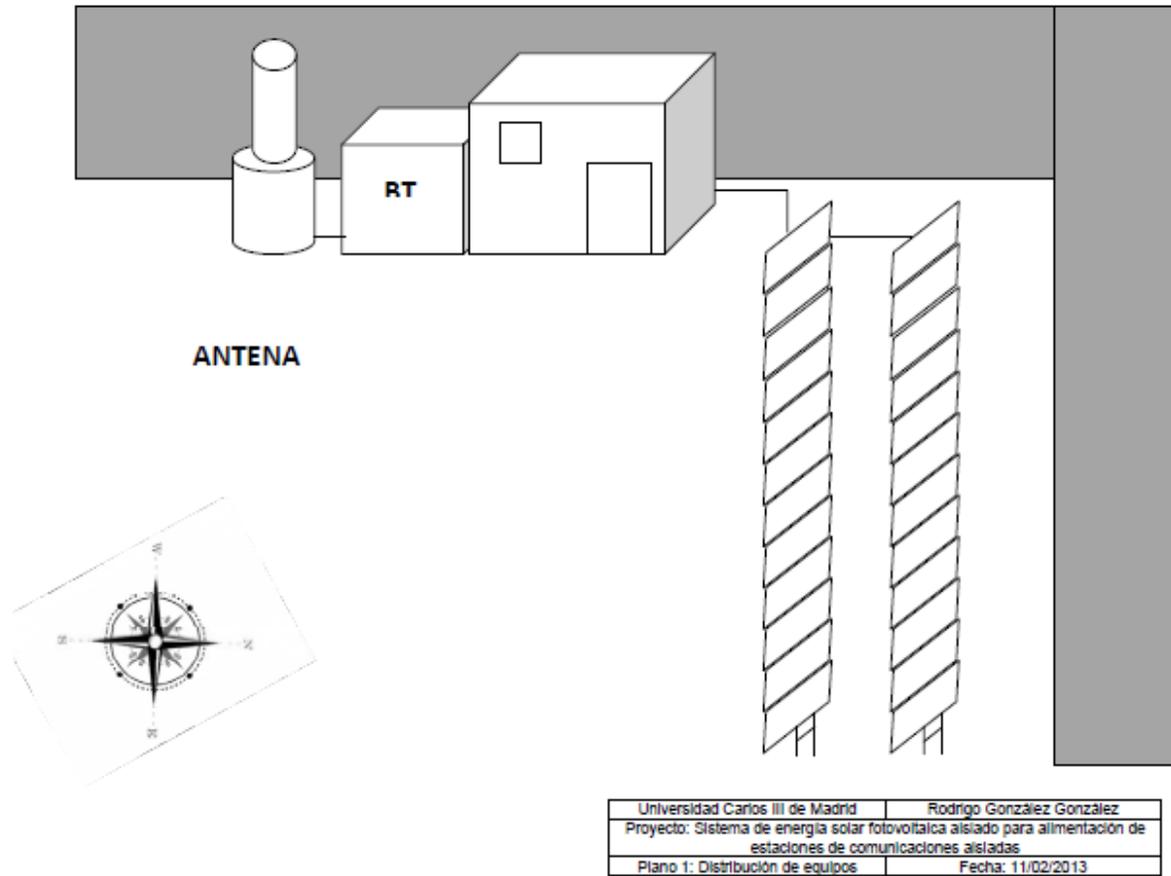


Figura 48. Orientación e instalación con respecto a la montaña.  
 Recuperado de: Universidad Carlos III de Madrid. Tesis Madrid sobre sistema de alimentación fotovoltaico.

El costo económico de la instalación a priori es estable conforme a la inversión que posteriormente se tendrá con el gran ahorro de energía. El dominio del sector por parte de una compañía de telefónica revertirá ganancias. Entre las compañías de telefonía grandes, las cuales son dueñas de las redes de cobertura la competencia en cuanto al precio de los servicios de cara a los usuarios es altísima. En este aspecto, la competencia es tan férrea, que los precios que ofrecen las grandes compañías son casi calcados. Uno de los pocos puntos en que una compañía puede destacarse frente a las otras es en su capacidad de cobertura. Actualmente las grandes compañías aseguran cobertura telefónica en más de un 99% del territorio español. La zona en la que se sitúa Peñalba de Santiago es de las pocas zonas de nuestro país que carece de cobertura telefónica. La empresa que invirtiese en dar cobertura a la zona sería la empresa que garantizase mayor capacidad de cobertura de todas. Esto, entre los usuarios indecisos, sería una gran ventaja, ya que, a igualdad de precios muchos usuarios se podrían decantar por una compañía o por otra dependiendo de su capacidad de cobertura. “Puedo hablar en más sitios por el

mismo precio”. Este podría ser el razonamiento de un usuario medio, que son la mayoría de los usuarios de las compañías telefónicas. Se trata de un tema psicológico.

---

1. Tesis Recuperada de González González Rodrigo, Sistema de energía solar fotovoltaica aislado para alimentación de estaciones de comunicaciones aislada,2013.

2. Tesis recupera de Serrano Ruíz Víctor, Sistema de alimentación para dispositivos de instrumentación basado en estándar Qi, 2016

## 2.6.2 Instalación de Goodenergy en Santa Fe<sup>1</sup>

También en las áreas urbanas pueden aprovechar de la irradiación solar. Tal es el caso de la compañía Goodenergy que ha instalado paneles solares fotovoltaicos para bastecer 10 antenas de telecomunicaciones en la zona de Santa Fe (ver Figura 49).



Figura 49. Instalación del sistema fotovoltaico en Santa Fe.

Recuperado de: <http://www.energiaestrategica.com/goodenergy-instala-paneles-solares-fotovoltaicos-para-abastecer-antenas-de-telecomunicaciones-en-santa-fe>

El proyecto abarca 10 antenas para telecomunicaciones. Cada Torre consiste de 3 paneles de 250 W y 4 baterías de 165 A el sistema se instaló en 24 Vcc, por lo que no requirió de inversores de energía, solo controladores solares.

Cómo ya se ha mencionado antes este tipo de instalaciones suelen instalarse en lugares sin acceso a la red eléctrica nacional, por lo cual las energías renovables son el único recurso viable para que funciones.

---

1. Fanés Gastón, Artículo, Googenergy instala paneles solares fotovoltaicos para abastecer antenas de telecomunicaciones Santa Fe, 2016

### 2.6.3 Sistema híbrido aislado de sistema de diesel con un sistema de paneles solares.

Las energías renovables han crecido de manera exponencial en los últimos años, de tal manera que ha reducido los costes de energización de los dispositivos, especialmente en la energía eólica y en la energía fotovoltaica, que de igual forma a causado una fuerte demanda. Actualmente se prefiere instalar una celda solar fotovoltaica con baterías en una casa rural que utilizar un generador de diesel, ya que incluso el mantenimiento de las celdas fotovoltaicas es menor y llega ser más rentable.

Países como la India han empezado a sustituir o combinar los sistemas de generación de diesel por sistemas de generación de energía solar fotovoltaica en algunas de sus instalaciones, como por ejemplo en torres de comunicación de telefonía móvil.

SunEnergy Europe es una empresa de Ingeniería de Origen Alemán especializada en el desarrollo de proyectos fotovoltaicos. Dicha empresa Diseñó un sistema aislado híbrido fusionando un subsistema de celdas fotovoltaica con un subsistema de alimentación de diesel para la alimentación de una torre de comunicaciones de telefonía móvil. Con esto se busca corregir una reducción de costes operacionales y de mantenimiento para la instalación y que, además, ayudará la decisión de implementar sistemas fotovoltaicos a futuro.

Este Sistema Híbrido está constituido por un sistema de alimentación generado por diesel, paneles fotovoltaicos y baterías, compartiendo aproximadamente un tercio de carga por cada uno de ellos. Las torres de comunicación son del tipo BTS con dimensiones 2/2/2 y 4/4/4 y además estarán funcionando con potencia fotovoltaica de 3,0KWp y 4,8KWp respectivamente. La tensión de trabajo es de 24V a 48 V.

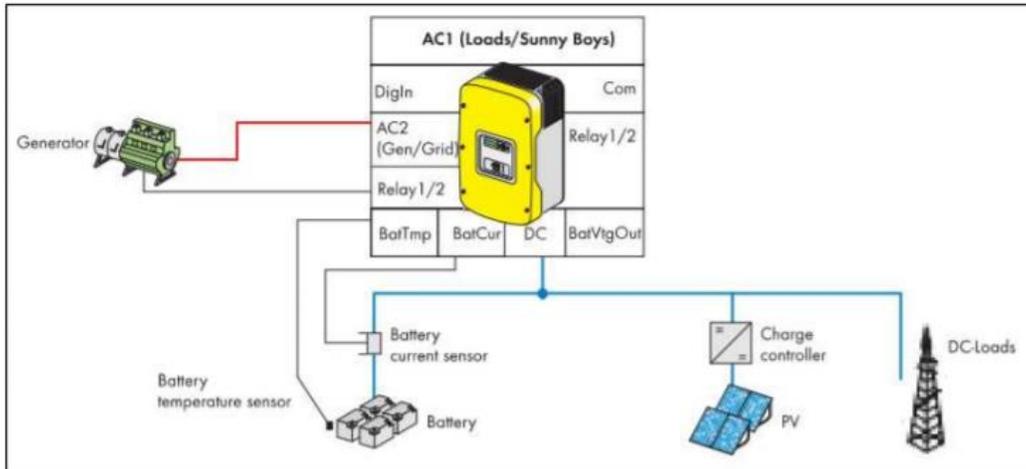


Figura 50. Esquema del circuito híbrido alimentado por diesel y celdas fotovoltaicas.

Recuperado de: : [http://www.cenitsolar.com/fotovoltaica\\_esquema.php](http://www.cenitsolar.com/fotovoltaica_esquema.php)

El generador de diesel<sup>2</sup> inicial funciona del estado de las baterías y de la potencia generada por los paneles fotovoltaicos. La corriente producida por el generador será transformada de alterna a continua en el controlador central para poder ser utilizada en el dispositivo de telecomunicaciones (ver Figura 50).

El controlador también supervisará la corriente de carga y descarga de la batería y su temperatura mediante sensores para obtener el mejor rendimiento.

La Corriente producida por el generador fotovoltaico estará controlada y será convertida a la tensión requerida mediante un controlador de carga o convertidor DC/DC. Ya que en ningún momento la torre debe quedarse sin alimentación. La potencia final del sistema sería de 235 W nominales para alimentar las BTS.

- 
1. Montemayor Escudero Carlos, Instalación fotovoltaica aislada para torres de comunicaciones, 2010.
  2. Equipo cuya utilización está indicada para aplicaciones que requieran mayor potencia y para funcionamiento continuo.



Tabla 10. Resultados arrojados por la calculadora y dispositivos que cumplan con las características para alimentar de potencia los dispositivos para el sistema de alimentación.

BARRA DE PARAMETROS					
CANTIDAD DE MODULOS FV	CANTIDAD DE BATERIAS	MODULO FV	BATERIA	AUTONOMIA	HRS. INCIDENCIA
3 modulos	6 baterias	255 V	326 Ah	1.2 días	5.26 días

**DÍAS DE ATONOMÍA**

<b>LISTAS DE MATERIALES.</b>	<b>1.5</b>
<b>MODULOS FV</b>	
<b>PROSE15012: MODULO FV DE 150W 12VCD - 9.02A (Isc)</b>	
<b>CONTROLADORES</b>	
<b>TSMPT45: CONTROLADOR 12/24/48VCD 45ª</b>	
<b>BATERIAS</b>	
<b>PL110D12: 110Ah 12VCD AGM VRLA</b>	
<b>INVERSOR</b>	
<b>PST12012: 12VCD - 120W - 120VCA ONDA PURA 60HZ</b>	
<b>INVERSORES/CARGADORES</b>	
<b>No será un sistema Híbrido.</b>	
<b>GABINETES</b>	
<b>No aplica.</b>	
<b>MONTAJES</b>	
<b>No aplica.</b>	
<b>ACCESORIOS</b>	
<b>Conectores MC-4.</b>	

Recuperado de: Documento Excel de Epcom Power Line

Tabla 11. Cálculo de sistema de alimentación fotovoltaica.

Paneles	
Potencia del panel (poner el que deseemos)	300 W
Provincia	Oaxaca
Periodo del año que usaremos la instalacion (Radiacion a seleccionar)	Media anual
Radicacion (35º) en el periodo seleccionado (Kwh/dia)	5.78
Media anual	5.78
Peor mes	3.87
Media Invierno	4.41
Media verano	6.75
Energía generada por un módulo	1,734 wh/dia
Nº paneles necesarios (sin pérdidas)	2.1 paneles
Pérdidas	20%
Nº modulos despues de pérdidas	2.57
<b>Nº de paneles entero</b>	<b>3 paneles</b>

Recuperado de: Documento Excel de Epcom Power Line

Se observa que se requieren 2.1 Paneles sin considerar las pérdidas en irradiación solar por lo que se procedió a calcular el número de paneles con el método de cálculo de potencia fotovoltaica.

Tabla 12. Cálculo de Baterías para el sistema de alimentación,

Batería	
Días de autonomía (en caso de mal tiempo)	1.2
Nivel mínimo de la batería hasta el que deseamos descargarla (en %)	40%
Energía batería que necesitamos	7,426 Wh
Voltaje total de la batería	12 v
Ah de batería	619 Ah
Voltios del vaso de batería utilizado	2 V
<b>Nº total de vasos de batería</b>	<b>6</b>

Recuperado de: Documento Excel de Epcom Power Line

Para justificar la tabla de consumo de potencia en paneles solares se utilizó el método de potencia para verificar el número de paneles fotovoltaicos con pérdidas que se utilizará en la instalación (Ec. 5 )

$$N^{\circ} \text{ paneles} = \frac{E * 1.3}{HSP * Wp} \dots \dots \dots \text{Ec. 5}$$

Donde

- N° Paneles= Número de paneles.
- E=Consumo diario [w].
- HSP=Horas Solar Pico en Villa Talea de Castro. [h]
- Wp=Potencia Panel.[w]
- 1.3=Factor seguridad para dimensionar un 30% de consumo.

$$N^{\circ} \text{ paneles} = \frac{3712.8wh * 1.3}{6h * 300w}$$

$$N^{\circ} = 2.6 \text{ Paneles.}$$

Como se comentó en la tabla 9, se requieren a 3712,8 watts por día para la alimentación del sistema. De acuerdo con el cálculo de potencia, se necesitan 2.6 paneles para poder administrar por 24 horas el sistema. Debido que en el cerro de Talea se observa la presencia de rayos solares por 9 horas de las cuales 6 horas se consideran pico o de máxima irradiancia solar. Para poder fortalecer el sistema se realizó el cálculo de baterías en serie y paralelo para sumar la intensidad útil de del sistema y sea redundante.

Para el cálculo de baterías se hizo un arreglo de banco de baterías con 6 baterías de ciclo profundo de 12 volts y con 163 Ah con el fin de adecuar la falta de medio panel para la alimentación del sistema de alimentación. Las baterías tendrían un arreglo en paralelo para que al final directamente a las baterías se coloque en serie para una suma de 24 volts y capacidad nominal del banco de 972 Ah. Lo antes mencionado se puede justificar con la Ec. 6. Capacidad nominal de banco de baterías.

$$C \text{ nom Banco de Baterias} = \frac{E \text{ carga total} * (D \text{ out} + 1)}{\text{Tensión del Banco} * (\eta_{inv}) * (P_{max}) (\eta_{BD})} \dots \text{Ec.6.}$$

Donde:

- C nom Banco de Baterías. Capacidad Nominal del Banco de baterías.
- E Carga Total. Sumatoria de potencia de los dispositivos.
- D out. Días de inactividad solar en Villa talea de Castro. De acuerdo con SEDEMA. Oaxca tiene en promedio 1 días de inactividad o baja irradiancia solar.
- Tensión del Banco. Sumatoria de tensión del banco de baterías.
- $\eta_{inv}$ . Ineficiencia de regulador.
- Pmax. Eficiencia de Profundidad de descargada de baterías 0.8.
- $\eta_{BD}$  Eficiencia de conversión de energía eléctrica

$$C \text{ nom. Banco de Baterias} = \frac{3712.8 \text{ Wh/dia} * (1 + 1) \text{ dias}}{24 \text{ V} * (0.8) * (0.5) * (0.98)} = 789.28 \text{ Ah}$$

Por lo que el arreglo que se presenta tiene una capacidad nominal del banco de baterías de 978 Ah. Teniendo un respaldo de energía para sustituir medio panel fotovoltaico.

Estos cálculos fueron importantes para la instalación del sistema por lo que se tuvieron que poner dispositivos similares a los que arrojaba la calculadora. Inicialmente se hizo un ajuste, ya que se tenían tan solo 2 paneles fotovoltaicos, se tuvieron que incrementar el número de baterías para que sustentara la energía del panel que hacía falta con respecto a la calculadora (ver Tabla 10).

El nuevo sistema se proyecta para que tuviera una capacidad máxima de hasta 300 watts de potencia por hora y 3,600 W por 11 horas a la exposición de los rayos del

sol sería la potencia además, el resto de energía se daría mediante las baterías y esta potencia sería la necesaria para poder alimentar el sistema en función de la incidencia total.

De acuerdo con la empresa: Atmospheric Science Data Center compañía de la Nasa del departamento Surface Meteorology and Solar Energy, en Oaxaca existe una incidencia solar promedio de 5.78 kWh/m<sup>2</sup>/d. La cual hace perfecto el punto de Talea de Castro para alimentar el sistema.

Considerando lo anterior y para iniciar con la instalación se tomó la arquitectura básica para la instalación de un sistema tal y como se vio en el capítulo 2 para lo cual se necesitó lo siguiente: (ver Figura 51):

- 2 paneles fotovoltaicos.
- 6 baterías de ciclo Profundo. Marca LTH.
- 1 tramo de torre de 6 m. Con características similares a la Z35.
- Cable de acero de 1/8" para retenidas.
- Cable de cobre 8 awg<sup>1</sup> para realizar el aterrizaje físico.
- Controlador de carga Morningstar modelo Tristar TS-45 tecnología PWM<sup>2</sup>.
- Refrigerador adaptado como contenedor de baterías.
- Anclas para retenidas.
- Ancla para torre.

Estos materiales se gestionaron gracias a un estudio realizado por la empresa de telecomunicaciones indígenas comunitarias (TIC). Se hicieron estudios de cobertura descritas en el capítulo 1 para proyectar que el servicio de telecomunicaciones tuviera máxima cobertura en Villa Talea de Castro.

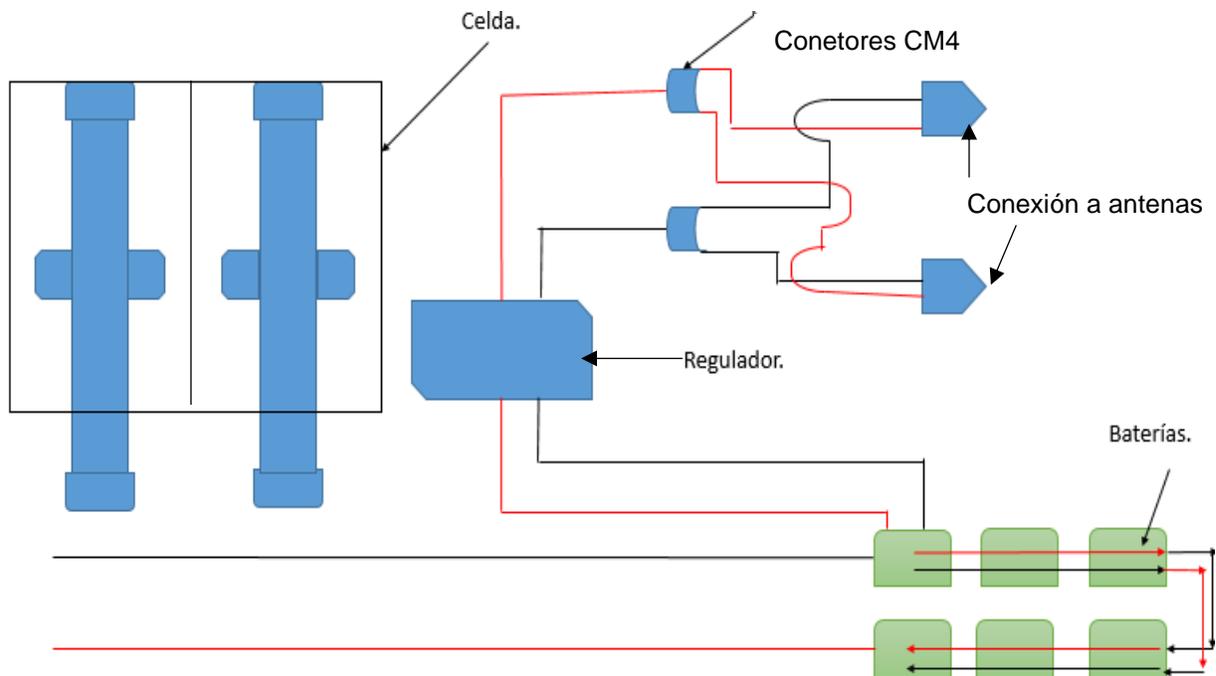


Figura 51. Arreglo del sistema de alimentación por medio de celdas fotovoltaicas.  
 Recuperado de: Diseño propio en colaboración con Telecomunicaciones Indígenas Comunitarias.

Los paneles fotovoltaicos S-Energy SN300P-10 Policristalino. El cual tendrá un arreglo en paralelo con un voltaje ( $v_{mp}$ ) máxima de 35.60 V y corriente a potencia máxima de 8.44 A. una Salida de 300.00 watts por hora (ver Figura 52) los cuales tienen 16.6% de eficiencia de conversión de módulos, además tienen tolerancia positiva por arriba de los 5 watts. También posee tecnología celular avanzada y los materiales calificados que conducen a una alta resistencia PID.

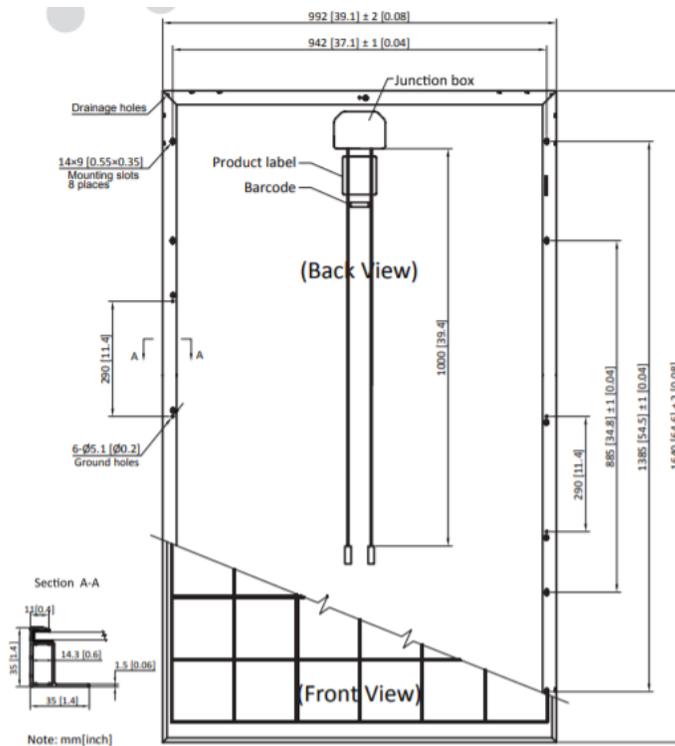


Figura 52. Paneles fotovoltaicos 250 polycrystalline solar module  
 Recuperado de: <http://dansolar.dk/wp-content/uploads/2012/09/Suntech-STP250-poly.pdf>

Como se observa en la Figura 51, se instalaron 6 baterías de ciclo profundo marca LTH modelo: L-31T-S-190M con un voltaje de 12 V y corriente de 163 Ah cuyas características físicas son (ver Figura 53):

- Peso de 27.7 Kg.
- Alto: 239 cm.
- Largo: 330.
- Ancho: 172 c.m.

Para aprovechar la máxima eficiencia, se realizó un arreglo por medio de conectores denominados “MC-4” para realizar una conexión Serie/paralelo y poder alimentar Finalmente el sistema fotovoltaico hasta 978 Ah a 24 Volts; Es decir dicho sistema estará Implementado de tal forma que el voltaje de cada una de las baterías terminará sumando 24 Volts ya que al final estará conectado en serie. Se creará un sistema de 2 conjuntos de baterías. Además, las conexiones en paralelo sumarán los 972 AH.

Como se observa en el diagrama de conexión de la Figura 51. Se puede visualizar que tanto los cables positivos/negativo están conectados en un ajuste serie/paralelo.

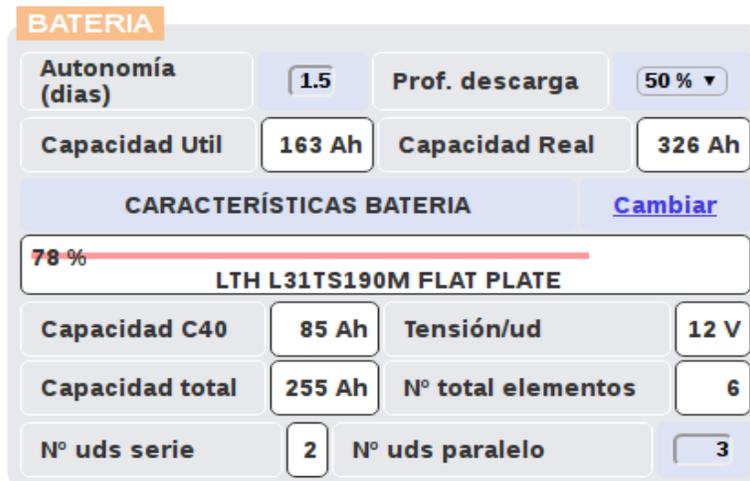


Figura 53. Especificación técnica de las baterías.

Recuperado de: Especificaciones técnicas de Baterías LTH <http://lthvacontigo.com/cdm>.

Como ya se mencionó en el capítulo 2, los reguladores son equipos encargados de controlar y regular el paso de corriente eléctrica desde los módulos fotovoltaicos hacia las baterías con tecnología PWM. Además, de que el regulador de carga soporta hasta 3000 pies de altura el cual es adecuado para las condiciones en donde se instalará el sistema de alimentación.

El regulador es un equipo Morningstar Tristar MPPT 45 MPPT (ver Figura 54), el cual tiene una eficiencia de 98.34% de forma ideal a 12 V.



Figura 54. Especificación técnica del regulador de carga.

Recuperado de: Especificaciones técnicas Morningstar. <http://lthvacontigo.com/cdm>

Para el sistema de alimentación diseñado, se usó un equipo BTS Marca Durán, modelo LiteCell 850, ya que estos equipos son asequibles y fácil de operar debido al poco consumo de energía que necesitan para operar y además, es compatible con Osmocom respecto a Open source mobile communications, que incluye *software* y herramientas para la adaptaciones en comunicaciones móviles estandarizadas.

Incluyendo: GSM (2G), DECT, TETRA y otras tecnologías. Otra de las razones por la que se eligió esta tecnología es porque los equipos LiteCell pueden operar en diversas aplicaciones como son:

- Cobertura Rural.
- Cobertura en carretera.
- Poblaciones de baja densidad.
- Ubicaciones remotas.
- Países del tercer mundo o en desarrollo.
- Redes Privadas.

Hasta ahora, las ubicaciones con baja densidad de población no podían disfrutar de cobertura móvil, ya que los beneficios arrojados por las bases de suscriptores pequeñas no podían justificar los costes de lanzamiento y operación que vienen con el equipamiento tradicional. Gracias a la GSM LiteCell se puede lograr, ya que su tecnología permite construir sitios a muy bajo coste y en lugares donde no hay infraestructura de telecomunicaciones. De esta manera, los operadores tienen ahora la posibilidad de ampliar su cobertura de red y alcanzar a estos suscriptores de forma viable.

Otras de las características principales es su frecuencia de operación la cual se muestra en la Tabla 11 que son las características necesarias para operar en 2G.

Tabla 13. Frecuencia de operación.

BANDA	RECEPCIÓN	TRANSMISIÓN
850	824-850 MHz	869-895 MHz
900	880-915 MHz	925-960 MHz
1800	1710-1785 MHz	1805-1880 MHz
1900	1850-1910 MHz	1930-1990 MHz

Recuperado de: Ficha técnica de GSM-LiteCell.

Otra de las ventajas que se tiene es su sensibilidad de -109 dBm y una salida máxima de potencia de 2\*5 watts o 1\*10 watts (ver Figura 55), es decir con la energía que un panel puede proveer de forma provisional.



Figura 55. BTS alimentado por medio de un panel fotovoltaico.

Recuperado de: [http://nuranwireless.com/wp-content/uploads/2015/05/NuRANGSMLiteCell\\_WEB\\_ES.pdf](http://nuranwireless.com/wp-content/uploads/2015/05/NuRANGSMLiteCell_WEB_ES.pdf)

La BTS (ver Figura 55) aparte de ser un equipo que funcione con poca energía y adaptable en espacios rurales, este equipo tiene bajo costo y se atiende a las necesidades y capital en Talea de Castro.



Figura 56. BTS que se usará en Villa Talea de Castro.

Recuperado de: Visita en Campo

La antena que se instaló fue una de panel plano que consiste en uno o más radiadores delante de un panel reflector. Este diseño nos asegura unas antenas planas y robustas con una alta ganancia y ancho de banda útiles para un repetidor.

Además, la antena está fabricada de aluminio resistente al agua, todos los accesorios de montaje son de acero inoxidable que tienen la facilidad de poderse montar en polarización vertical. (ver Tabla 14)



Figura 57. Antena TX9181290NF  
Recuperado de: Catalogo Texas Engineered, 2012

Tabla 14. Datos eléctricos de TX9181290NF.

Especificaciones.		
Frecuencia	806-960 MHz	1710-1990 MHz
Ganancia		12 dBi
VSWR		<1.5:1
Polarización		Vertical
Ancho de haz horizontal	83°±5°	90°±5°
Ancho de haz vertical		30°
Impedancia Nominal		50 Ω
F/B Ratio		> 25 dB
Máxima potencia de entrada		100 W
Protección contra Rayos		DC Ground
Máxima potencia de entrada		103 W

Recuperado de: Elaboración propia con datos de Catalogo Texas Engineered, 2012

Tabla 15. Datos mecánicos de la antena

Datos Mecánicos	
Tipo de Conector	N Female
Dimensiones	1037*270*130mm
Longitud, Ancho, Altura	1037*270*130mm
Peso	13.5 Kg/29.74 lb
Radome Material	UV Resistance PVC
Mounting Method	Mast
Mast Size	Ø40.8*10.63*5.12 in
Rated Wind Velocity	210 km/h
Operating Temperature	(-)40+65C°

Recuperado de: Elaboración propia con datos de Catalogo Texas Engineered, 2012.

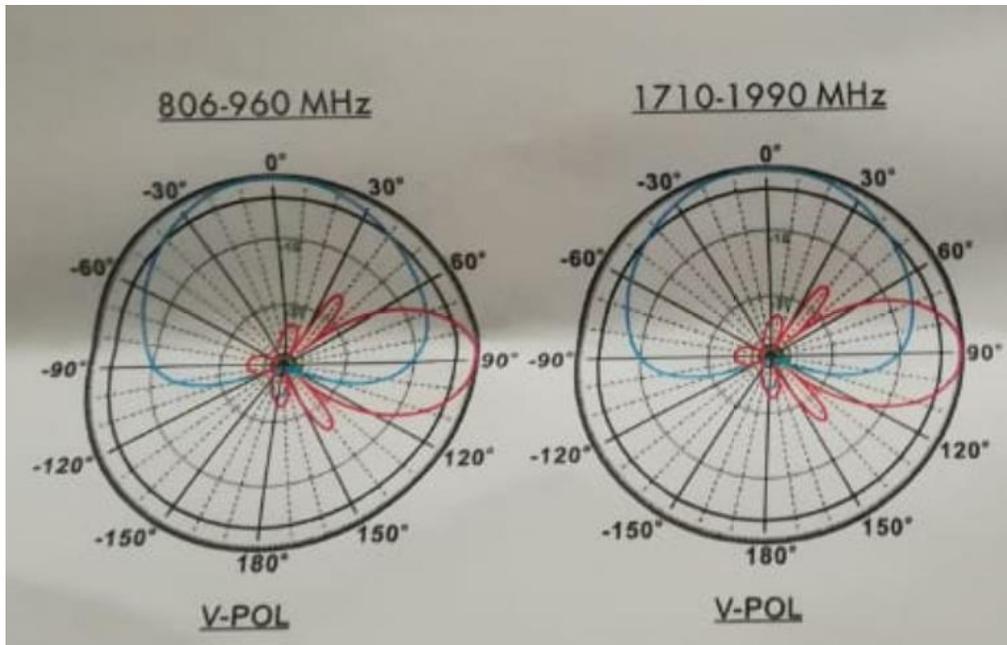


Figura 58. Diagrama de Radiación  
 Recuperado de: Catalogo Texas Engineered, 2012.

El Diagrama de radiación es la representación gráfica de las características de radiación en función de la dirección angular. En la figura 56, se muestra la potencia de irradiancia por la antena y su escala se mide en decibeles (ver Figura 58).

Se conectarán por cable de Cu y con conectores MC-4 (ver Figura 59). Los Conectores MC4 son conectores eléctricos de uso común para la conexión de los paneles solares. Principalmente se refieren al pasador de clavija de contacto de 4 mm de diámetro. Su principal función es conectar cadenas de paneles para el ahorro de tiempo y la seguridad del cableado en serie o en paralelo de los paneles fotovoltaicos con una corriente nominal de hasta 30 A. Poseen una tensión de sistema máx. de 1KV. Aguanta temperaturas en un rango de -40°C hasta +90°C.



Figura 59. Arquitectura de los conectores MC-4.  
 Recuperado de: MCCEEA, Catálogo, 2017, <https://cceeaa.mx/blog/energia-solar-fotovoltaica/conectores-mc4>

La instalación del sistema de alimentación se muestra en la siguiente figura.

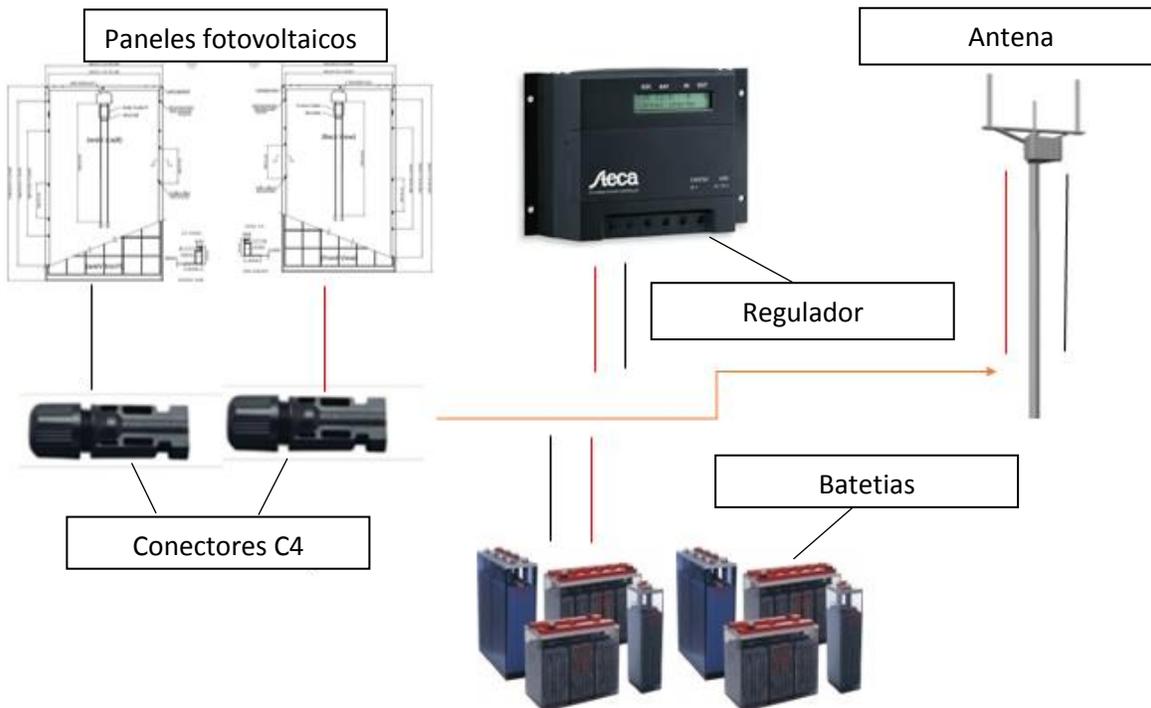


Figura 60. Sistema de alimentación para un sistema de telefonía celular comunitaria.

Recuperado de: Creación Propia.

La instalación del sistema de alimentación para el equipo de telefonía celular comunitaria consistió en 6 viajes a Talea de castro en donde se trabajaron en etapas para finalizar la instalación, preparación y pruebas del sistema, además, se presentaron diversas dificultades en los viajes.

La primera visita se realizó el 20 junio del 2017, en donde la primera actividad que se realizó fue, encontrar el mejor sitio para la instalación. En el trayecto se identificaron 2 puntos que cumplían con los requerimientos adecuados para realizar la instalación que conectaría con Talea y que de igual manera podría proveer servicios con las comunidades de Otatitlan y Yatoni (Tabla 16). Las coordenadas donde se decidió realizar la instalación fueron: Latitud: 17°21'42.51" Longitud: 96°14'59.81" (ver Figura 61) el cual sería el punto más alto del cerro picacho.

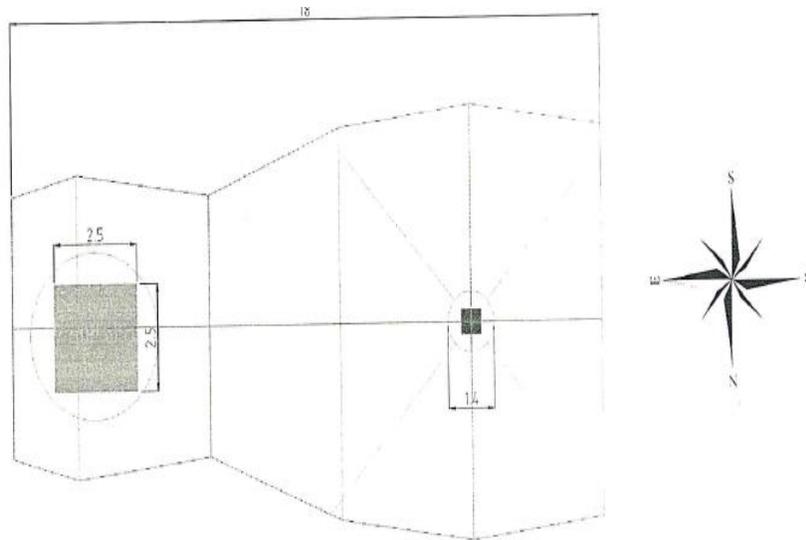


Figura 61. Ubicación del punto donde se colocará el sistema.  
 Recuperada de: Estudio de ubicación del sistema elaborado por Telecomunicaciones indígenas comunitarias.

Tabla No.16. Lista de comunidades con la vista directa, orientación en grados e inclinación con respecto a la antena

Lugar	Dirección	Distancia (km)	Ángulo de inclinación	
1	Talea de Castro	268° O	4.47	0.80°
2	Yatoni	294° NO	5	0.5°
3	Otatitlan	321° NO	4.86	0.5°
4	Yatzona	45° NE	6.68	3.2°
5	Tamascalapa	68° NE	6.12	5.5°
6	Villa Alta	113° SE	7.12	2.8°
7	Yatee	141° SE	8.32°	1.3°
8	Tabaa	176° SE	6.82	2.9°

Recuperado de: Estudio de ubicación del sistema elaborado por Telecomunicaciones indígenas comunitarias.

En el segundo viaje se realizó el 2/09/2017 en el cual se fragmentó en 2 días. El día , se acudió a Talea para realizar los siguientes trabajos:

- Soportes para los paneles.
- Se realizaron ajustes a un refrigerador, esto para que pueda realizar la función de contenedor para baterías, también se le colocó ventilación a la puerta y así evitar las altas temperaturas dentro del contenedor.
- Se ajustaron a una medida las anclas de retenidas para la torre.

En el día , se subieron los primeros equipos y herramientas necesarias para realizar los trabajos, los cuales fueron:

- Cavar los Hoyos para las anclas de retenida y torre.
- Cavar los hoyos para colocar el soporte de los paneles fotovoltaicos y armar el soporte de los paneles. Dándole la inclinación y dirección requerida.
- Se rellenaron los hoyos con cemento con las anclas situadas en su lugar.
- Se colocaron los soportes para los paneles solares dentro de los hoyos y se rellenaron con cemento y rocas.
- Se colocaron en los paneles a los soportes.
- Se colocó el contenedor.
- Se cortaron los cables de cobre para realizar el aterrizado.

En cuanto a la torre de comunicación, se instaló una torre metálica de 6 metros de altura. La torre instalada se montó sobre una base de concreto. Éstas son construidas para soportar los equipos de telecomunicaciones o radiodifusión.

Debido al tipo de suelo que se encuentra en el cerro, se montó una torre arriostrada (ver Figura 62). Comúnmente las torres arriostradas se fabrican con alturas cercanas a los 60 metros.

La con la normativa técnica con la que se instaló para la colocación de la BTS, se montó una torre arriostrada la que se instaló en el sitio seleccionado. De acuerdo con el capítulo I, de la Norma, características y acabados para Torres de Telcel (NCATT), las torres arriostradas (ver Figura 62) se pueden utilizar cuando es necesario instalar una radiobase dentro de un Inmueble existente como son casas, edificios y terrenos naturales ya que, es posible ubicarlas en sitios donde no hay problemas de espacio, pues requiere grandes claros por la posición de las retenidas.

Estas estructuras son de sección triangular en planta y en elevación de sección constante y para su estabilidad estructural óptima deben contar con 3 ó 4 retenidas.

Estas estructuras son esbeltas y son una buena solución si el impacto visual no es relevante.

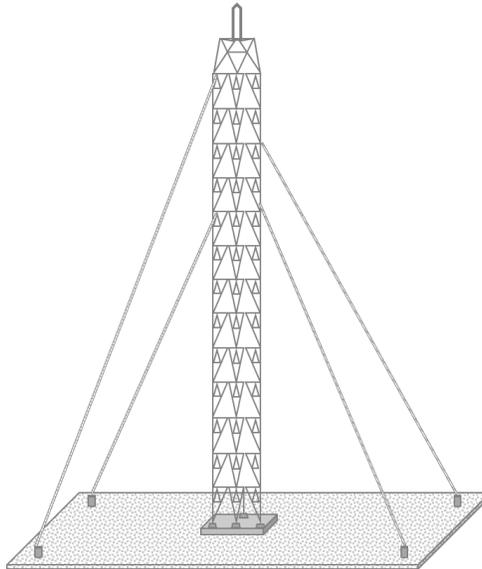


Figura 62. Diseño de una torre arriostrada.

Recuperado de: Anexo III, Torres y mástiles de telecomunicaciones y radiodifusión.

De acuerdo con la NOM-001-SEDE-2012, Toda torre instalada es susceptible de utilización por uno o más operadores siempre que no sobrepasen las cargas soportadas.

Además, para que un sitio sea susceptible de utilización siempre debe contar con el espacio que permita la colocación e instalación de los elementos necesarios para el correcto funcionamiento de la infraestructura que servirá la prestación de servicios de telecomunicaciones y radiodifusión.

La torre que se instaló tiene una altura de 6 metros. Para empezar con el montaje de la torre se colocó la base hormigón. De acuerdo con el manual de Ampliantena, torres triangulares arriostradas serie 180-250-360-460. El hormigón es un material de construcción formado por una mezcla de cemento, arena, agua y grava o piedra.

El hormigón (ver Figura 63), es utilizado para construir cosas de cualquier forma, tiene una especial relevancia por su uso en cimentación. Esta pequeña construcción es muy importante ya que es donde convergen todos los vectores de fuerza resultantes. Se sumó el peso de todos los tramos que componen la torre que en este caso son 3 tramos de 2 metros, además considerar todos los elementos que se emplearon en la instalación. A la hora de la instalación se tomó en cuenta que la base deberá soportar el peso. La parte inferior de la base es aconsejable que su superficie sea mayor que su oponente superior alrededor del 30%.

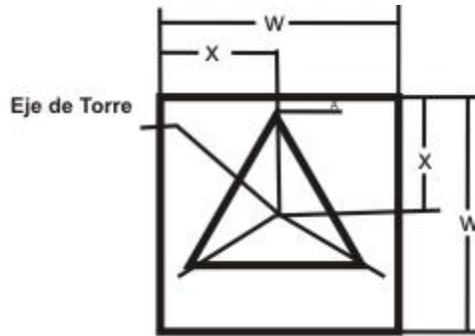


Figura 63. Diseño de la base hormigón de una torre de comunicaciones.  
 Recuperado de: Anexo III, Torres y mástiles de telecomunicaciones y radiodifusión.

Para calcular la medición para los tensores se utilizó el teorema de Pitágoras (Ec. 7) para las retenidas y poder sostener la torre (ver Figura 64).

$$c^2 = a^2 + b^2 \dots \dots \dots \text{Ec. 7}$$

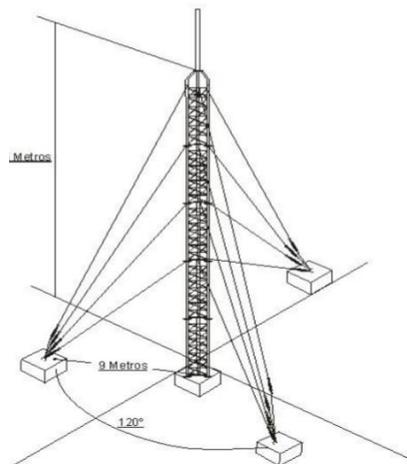


Figura 64. Diseño de la torre de comunicación.  
 Recuperado de: Anexo III, Torres y mástiles de telecomunicaciones y radiodifusión.

Cuando se montó la torre sobre el hormigón, se aseguró de que el ancla estuviera enterrada lo suficiente para que la torre estuviera fija y las condiciones climáticas no tirarían la torre (ver Figura 64).



Figura 65. Montaje de la torre de comunicación.  
Recuperado de: Visita técnica Agosto, 2017.

---

1 Awg. American wire gauge. Calibre de alambre estadounidense.

2 PWM. Modulación de ancho de pulsos.

### 3.2 Dificultades principales al efectuar la instalación.

Conforme al arreglo para la instalación del sistema de alimentación fotovoltaico se planificó que: tanto el sistema de alimentación, como la torre de comunicaciones instalarán en el en el punto más alto del cerro Picacho ya que tiene línea de vista con Talea.

El Cerro se encuentra a 1500 metros sobre el nivel del mar, el punto adecuado en donde se le podría brindar los servicios de telecomunicaciones a la comunidad de Villa Talea de Castro, Yaontli y Ototitlan de Morelos. Este cerro está aproximadamente a 10 k.m de distancia de Villa Talea de Castro (ver Figura 66), además, de esos 10 k.m, 5 k.m son cuesta arriba y sin infraestructura carretera.

Debido a la situación antes mencionada, es complicado llegar al punto de instalación ya que, no se cuenta con un acceso fácil para subir al monte. Para atacar este problema se utilizaron vehículos de carga 4x4 propiedad de TIC para subir los paneles fotovoltaicos, las baterías, la torre, los componentes electrónicos y las herramientas necesarias para efectuar los trabajos de instalación (ver Figura 67).

Se tuvieron, que realizar viajes constantes desde el punto donde la camioneta ya no puede subir, hasta el punto de la instalación para poder subir todo lo necesario para la instalación.

Para poder subir las herramientas y las baterías fue necesario el uso de animales de carga. Estos animales fueron de gran utilidad. En este punto se tuvo que subir a pie alrededor de 5 km con obstáculos en el suelo ya que el cerro está cuesta arriba para llegar al punto adecuado para la instalación de los equipos.



Figura 66. Vista panorámica Cerro picacho.  
Recuperado de: Visita de técnica Agosto, 2017.



Figura 67. Visita técnica. Herramientas y torre. (2017)  
Recuperado de: Visita de técnica Agosto, 2017.

Aparte de los animales y los vehículos en los que nos apoyamos para subir las herramientas necesarias para la instalación. Se tuvieron que necesitar gente del pueblo de Talea para poder subir todo el equipo, se necesitó de 4 personas más para poder subir los equipos y mano de obra para efectuar el montaje de la torre.

Otra de las dificultades que se tuvo fue el montaje adecuado para el regulador de carga y de las baterías. Para resolver estas circunstancias, se tuvo que conseguir un refrigerador viejo con las dimensiones adecuadas y ajustes para poder colocar las 6 baterías de ciclo profundo, el regulador de carga además de realizar el aterrizaje a tierra.

También se diseñó una estructura adecuada para el montaje de los paneles fotovoltaicos en el cual se podían montar las celdas y ajustarla de tal forma que el viento que estuviera en lo alto del cerro no tirara la estructura que sostenían los paneles solares (ver Figura 68).



Figura 68. Paneles fotovoltaicos y estructura para sostener los paneles fotovoltaicos.

Recuperado de: Visita técnica Agosto, 2017.

### 3.3 Instalación de un sistema de alimentación por medio de celdas fotovoltaicas.



Figura 69. Día de la instalación de los paneles.  
Recuperado de: Visita técnica Agosto, 2017

La instalación completa del sistema de alimentación por celdas fotovoltaicas (ver Figura 69) se realizó en el tercer viaje en colaboración de personal de la comunidad de villa Talea de castro y la supervisión de la Dra. Aida Huerta Barrientos. En esta visita a colaboré técnicamente en la instalación del proyecto junto con mi compañero Edgar Salvador Juárez Díaz.

Entre las actividades que se hicieron durante el tercer viaje se realizó:

- Colocar la torre.
- Tensar las retenidas de la torre.
- Enlace de la torre.
- Cajas de protección con Poe.
- Conexión de los paneles en paralelo.
- Cablear la energía de la torre.
- Colocar las 6 baterías.

Se instaló la torre colocando las retenidas con cable de acero de 1/8" y el tornillo del hormigón para sostener la torre y que las condiciones climáticas no sean factor para tirar la torre. Posteriormente se tensaron los cables para complementar la torre arriostrada en donde se colocó la BTS-Nuran (ver Figura 70).



Figura 70. Colocación de la Torre.  
Recuperado de: Visita técnica Agosto, 2017.

Para la instalación del sistema, se adecuo un soporte especial que se había puesto en viajes anteriores para adecuar las celdas en donde se agregó una barra de metal para poder sostener las celdas. Este montaje se realizó con estudios de topografía del cerro y adecuado para ajustar los paneles al soporte.

La adecuación fue necesaria para la instalación de tal forma que, la inclinación de los paneles forme un ángulo óptimo para captar los rayos del sol de manera perpendicular. Para poder colocar los paneles solares correctamente se debe hacer un estudio de latitud de la zona ya que el sol pasa por la línea del ecuador latitud  $0^{\circ}$ . Rodríguez Cano, L.R. y García Herbosa, G. (n.d). Frió e hidrogeno medinte energías renovables Burgos: Universidad de Burgos.

De acuerdo con el sistema de coordenadas de la INEGI, el cerro Picacho se encuentra a una latitud de  $17^{\circ}21'48''N$  y una longitud de  $096^{\circ}14'55''W$ . Esto es importante ya que acuerdo a estas coordenadas se montará la celda a  $17^{\circ}$  dirección Sur. De esta forma los rayos del sol golpearán directo a las células de la celda (ver Tabla 15).

Tabla 17. Tabla de inclinación de celdas solares.

Latitud del lugar (en grados)	Ángulo de inclinación fijo
0° a 15°	15°
15° a 25°	La misma latitud
25° a 30°	Latitud más 5°
30° a 35°	Latitud más 10°
35° a 40°	Latitud más 15°
40° o más	Latitud más 25°

Recuperado de: Rodríguez Cano, L.R. y García Herbosa, G. (n.d). Frío e hidrogeno medinte energías renovables Burgos: Universidad de Burgos

Entre los viajes pasados, ya se había subido un refrigerador (ver Figura 71), en el cual se iban a ajustar las baterías con las adecuaciones necesarias para poder introducir 6 baterías de ciclo profundo. El refrigerador fue ajustado a ras de piso con el fin de que este no se cayera o fuera tirado por los vientos que se presentan a las alturas, además, el peso de las baterías sería otro factor más para que no se vuele el refrigerador.



Figura 71. Montaje especial para las celdas y armario para colocar las baterías de ciclo profundo.

Recuperado de: Visita técnica Agosto, 2017

Para el montaje de los paneles fotovoltaicos, se tuvo que atornillar al montaje a los paneles realizando agujeros en la parte debajo del plástico de los paneles sin dañar directamente las celdas.

De los optimizadores de electrónica de potencia se anexaron los conectores MC-4. Los conectores MC-4 (ver Figura 72) son conectores especiales para sistemas fotovoltaicos con la finalidad de hacer una conexión Plug and play<sup>2</sup>. Para la instalación se necesitó lo siguiente:

- Conectar MC4 Hembra.
- CN40-CM Terminal Hembra.
- CN40-CM Conector Macho.
- CN40-CM Terminal Macho.
- Crimpadora.
- Spanner.
- Cable de Cu.



Figura 72. Material para cables CN40.

Recuperado de: [https://www.cosmoplas.cl/wp-content/uploads/2016/08/MI\\_224111\\_12\\_13\\_14\\_15\\_223999\\_98\\_97-1.pdf](https://www.cosmoplas.cl/wp-content/uploads/2016/08/MI_224111_12_13_14_15_223999_98_97-1.pdf)

Para su preparación, se tenía que cortar el cable al largo para llegar a la BTS. Para prevenir futuras fallas, se dejó un embobinado de 10 metros de cable.

Después de pelar el cable a la medida correcta, insertaremos el cable a la terminal sea macho o hembra. Se comprimirá la terminal macho o Hembra con el Crimpadora o pinzas (ver Figura 73).



Figura 73. Comprimiendo la terminal para el cable.  
Recuperado de: Visita técnica Agosto, 2017

Una vez insertado las terminales hembra y macho respectivamente (ver Figura 69), se van a insertar los conectores hembra y machos respectivamente para ajustar la tapa del conector hembra/macho a el spanner para ajustar el conector.

Además, se diseñó un circuito con conector especial para sistemas fotovoltaicos, diseñado por los ingenieros de TIC de paso de corriente continuo en el cual, se colocarían 2 fusibles con el fin de proteger los conectores machos/hembras del flujo de energía que provea las celdas solares (ver Figura 74).



Figura 74. Conectores MC-4 Macho.  
Recuperado de: Visita técnica Agosto, 2017



Figura 75. Fusibles para protección del conector MC-4.  
Recuperado de: Visita técnica Agosto, 2017.

Como se muestra en la Figura 75, el terminado del cable con los conectores MC-4 y el diseño de circuito con fusible, están listos para pasar al regulador de carga con el fin de que la corriente captada por los paneles solares se regule con la potencia adecuada para poder alimentar la torre y por ende hacer funcionar la BTS.



Figura 76. Colocación de la cinta de aislar  
Recuperado de: Visita técnica Agosto, 2017.

Se encincharon los cables de la salida de los optimizadores de electrónica de potencia (ver Figura 76), que ya están integrados en cada panel solar al tubo de soporte donde se colocaron las celdas solares. Se usó cinta aislar para proteger los cables de CU, ya que la cinta puede usar la función de protector de los cables aún en condiciones extremas.



Figura. 77 Cables encinchados.  
Recuperado de: Visita de técnica Agosto, 2017

Una vez terminado el cableado y habiendo dejado el embobinado aparte para alimentar la torre, se pasó a colocar el regulador (ver Figura 77).

El regulador de carga es un equipo encargado de controlar y regular el paso de corriente continua para transformarla en corriente alterna de tal forma que esta corriente alterna se distribuya a la torre con la energía necesaria para que opere la BTS. Además, el regulador tiene la función principal de evitar una sobretensión de energía y por ende proteger la BTS.

El regulador de carga se colocaría en un espacio dentro del refrigerador y debajo de las baterías y adecuado para realizar un amarre de conexión completa del sistema a tierra en forma de anillo y los cables que salen de los optimizadores de electrónica de potencia para distribuir la energía a la BTS (ver Figura 75).

Una vez terminado de haber preparado los cables y habiendo colocado las 6 baterías y el regulador de carga en el refrigerador, se procedió a cablear hasta las baterías (ver Figura 76).

Inicialmente se había programado hacer la conexión de las baterías en paralelo, configurar el controlador de carga, montar la BTS y hacer pruebas de operación.

Pero debido al tiempo climático que se presentó en ese momento. No se pudo encender una carga que realizan con pólvora y fuego, pero la humedad pagaba de inmediato la chispa para prender la pólvora. Además, empezó a llover lo cual dificultó terminar las tareas programadas en ese viaje. Se decidió dejar las actividades por ese día y reprogramar un nuevo viaje para terminar las tareas faltantes.



Figura 78. Colocación del regulador de carga y baterías en el refrigerador.  
Recuperado de: Visita de Campo.

Finalmente guardamos las herramientas y dejamos los enbobinados de cable debajo dentro del refrigerador para que notuvieran daños. Debido a que es complicado subir al monte ya que presentan diversas dificultades para subir. Dejamos el monte alrededor de las 5 p.m con el cuidado de que la instalación permaneciera intacta para la siguiente visita de campo.

Como conclusión del viaje se en listó las actividades realizadas, las cuales fueron:

- Montar los paneles fotovoltaicos.
- Montar la torre.
- Montar las baterías y el regulador de carga.
- Cablear las baterías.



Figura 79. Instalación del sistema de alimentación.  
Recuperado de: Visita de Campo.

---

1 Plug and Play. es la tecnología o cualquier avance que permite a un dispositivo informático, ser conectado a una computadora sin tener que configurar, mediante jumpers o *software* específico (no controladores) proporcionado por el fabricante, ni proporcionar parámetros a sus controladores

2 MPPT. Maximum power point tracking

## Capítulo 4. Evaluación de la Instalación.

### 4.1 Periodo de observación

Debido a las condiciones climáticas que se presentaron en el tercer viaje que impidieron que se terminara la instalación, se programó un cuarto viaje; En este viaje los técnicos de la empresa TIC realizaron las siguientes:

- Se realizaron las conexiones de todas las baterías siguiendo un arreglo en paralelo, conectando todas las terminales de baterías.
- Se configuró el regulador de carga (ver Figura 80).
- Se colocó un dispositivo electrónico llamado booster step-up<sup>1</sup> cuya función es elevar el voltaje de 12 a 24 V.
- Se montó la BTS y las antenas del panel (ver Figura 81).



Figura 80. Configuración del regulador de carga.  
Recuperado de: Visita técnica Noviembre, 2017



Figura 81. Montaje de la antena sectorial  
Recuperado de: Visita técnica Noviembre, 2017.

Una vez que se instaló todo se pasó a probar que funcionara la antena, el regulador de carga, las baterías y soportería de las baterías con el fin de asegurar que la instalación quedara segura.

Se hicieron pruebas y el sistema funcionaba adecuadamente durante el día, aunque se notó que durante la noche dejaba de funcionar por lo que se programó un quinto viaje ya que a primera instancia se pensaba que las antenas eran el problema principal.

Mientras se realizaba el estudio para determinar la antena sectorial adecuada para instalación, se observó que el clima en el cerro se complicó durante la operación del sistema de alimentación ya que se presentaron lluvias durante días seguidos y el sistema funcionó 4 días seguidos con la energía solar que había absorbido durante días pasados.

Partiendo de lo anterior se hizo un estudio de cobertura con el fin de ver que la antena sectorial y la BTS funcionaran correctamente y el aprovechamiento de las bandas de frecuencias. Después de obtener varios puntos se hizo un mapa de cobertura por medio de software como se muestra en la Figura 82.

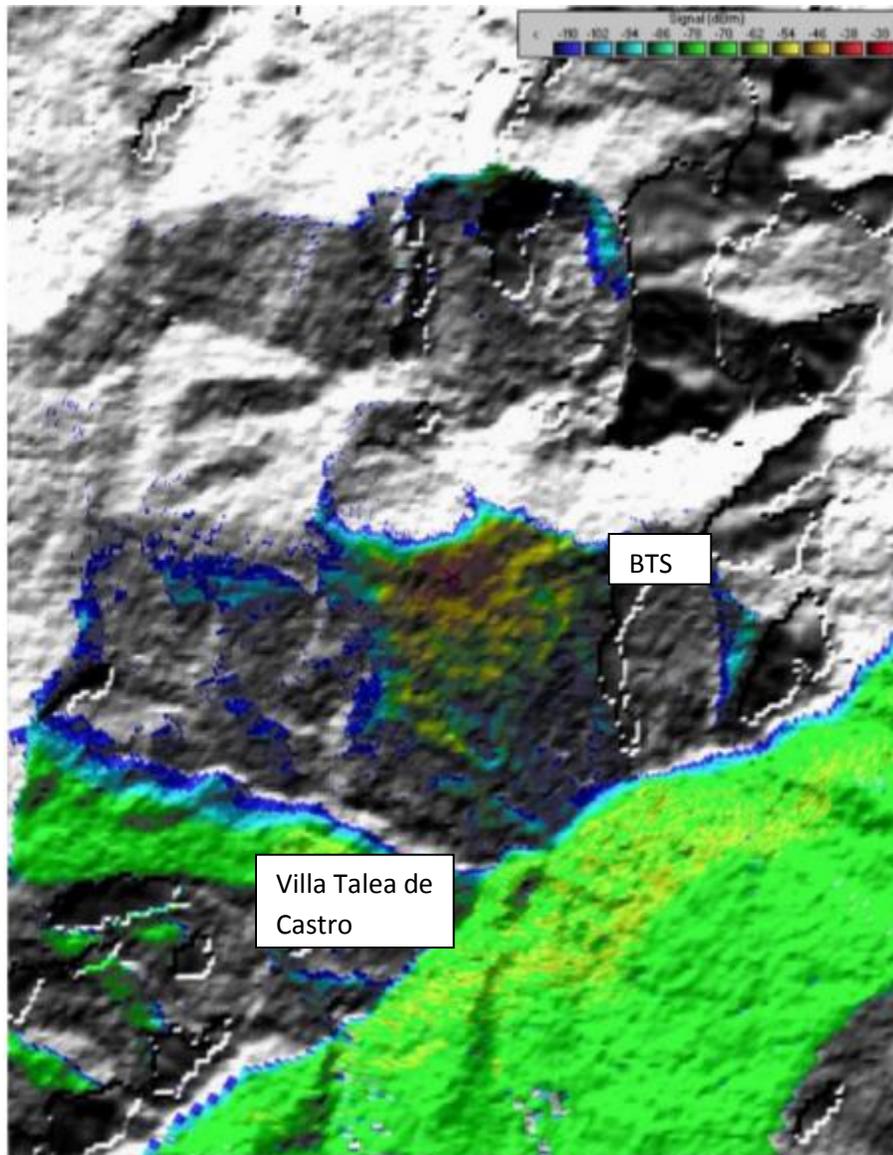


Figura 82. Mapa de cobertura en Talea de Castro  
Recuperado de: Elaboración propia.

La extensión de superficie donde la cobertura de señal está presente es de 10 [Km<sup>2</sup>] en la mayoría de la zona de cobertura podemos observar que la potencia presente se encuentra en un rango de -110 a -70 [dBm] en la zona de cobertura muy cercana al centro de radiación la señal presenta una potencia de al menos -54 [dBm]. Debido a las características del terreno no es posible tener una zona de cobertura uniforme, es por ello que la zona de cobertura con presencia de señal débil es muy extensa, y la zona con presencia de señal fuerte es mucho menos extensa. Existen depresiones donde existe la total ausencia de cobertura.

Esta información fue de gran relevancia ya que se determinó que sistema funcionaba, era eficiente y viable para futuras instalaciones. Solo se tenía que investigar el problema que origina que durante la noche el sistema dejara de funcionar.

Los valores que se arrojaron se muestran en la Tabla 16. Estos valores se obtuvieron gracias a pruebas realizadas por el equipo de Telecomunicaciones Indígenas Comunitarias (ver Tabla 18).

El sistema dejó de funcionar después de 4 meses sin interrupción. En cuanto el sistema dejó de funcionar se realizó el quinto viaje ya con una antena que funcionaría con respecto al sistema de alimentación.

Tabla 18. Datos de salida del sistema de alimentación.

Potencia Pico * (Pmax)	
Tensión	38.0 V
Intensidad de Cortocircuito	7.85 A
Tensión en el punto de máxima potencia	29.8 V
Intensidad en el punto máxima potencia	7.20 A

Recuperado de: Elaboración propia con datos de TIC.

En el quinto viaje se realizó los cambios de las antenas por unas de mayor apertura. Fue una antena TX9187290 (ver Figura 81) de la marca Texas Engineered. Con el fin de que se tuviera máxima cobertura de potencia en Villa Talea de Castro.

**Electrical Data**

Frequency:	806-960 MHz	806-960 MHz
Gain:	12 dBi	12 dBi
VSWR:	<1.5:1	<1.5:1
Polarization:	Vertical	Vertical
Horizontal Beamwidth :	83°±5°	90°±5°
Vertical Beamwidth:	30°	30°
Nominal Impedance:	50 Ohms	50 Ohms
F/B Ratio:	>25 dB	>25 dB
Max Input Power:	100 W	100 W
Lightning Protection:	DC Ground	DC Ground

**Mechanical Data**

Connector :	7/16 DIN
Dimensions:	1020*270*130mm
length*width*height	/40.16*10.63*5.12in
Weight:	13.5kg/29.74lb
Reflector Material:	Brass
Radome Material:	Fiberglass
Mounting Method:	Mast
Mast Size:	Ø40-Ø90mm
Rated Wind Velocity:	210km/h
Operating temperature:	-40~+65°C



Figura 83. Data Sheet de Antena TX9187290  
Recuperado de: Catalogo Texas Engineered, 2012.

Una vez que subieron al monte se efectuaron las siguientes actividades:

- Se cambiaron las antenas.
- Se aseguraron las baterías.
- Se reconfiguró el controlador de carga.
- Se dejaron cargar las baterías.

Al día siguiente de realizar las acciones pasadas, se observó la operación del sistema una vez más y el sistema volvió a fallar por la noche. Con esta acción se hizo un análisis de todos los dispositivos para ver si alguno de los dispositivos fallaba y debido a las lluvias que se presentan en el cerro se llegó a la conclusión de que el regulador de carga era el dispositivo ya que el regulador no tiene la suficiente resistencia al agua o acto de entrada<sup>2</sup>

El Regulador de carga tiene un grado IP65 de resistencia al agua y debido a las lluvias que se presentan, dañó el regulador provocando que el regulador dejara de funcionar.

Esta situación se observó ya que se probó equipo por equipo hasta ver que el controlador no era el adecuado. Después de un estudio completo de las características del dispositivo se vio que se necesitaba un regulador de carga con IP66 para que soportara las condiciones que se presentan en el cerro picacho.

Como objetivo para que el sistema funcionara correctamente se propuso el controlador de carga TSMPPT-45 que tiene un grado de IP67 que tiene más resistencia al agua.

---

1 Capacidad para impedir la entrada de objetos extraños o agua a los dispositivos.

2 Norma Internacional CEI 60529 of Protection.

## 4.2 Eficiencia de los equipos

Se hicieron estudios profundos de cada uno de los equipos para poder establecer conclusiones y recomendaciones para futuros sistemas de alimentación. Ya que el sistema funcionó por 4 meses por la mañana sin problema alguno sin interrupción por la mañana. El sistema de alimentación, con el regulador adecuado tiene una duración de vida de 10 años dando servicios de día y de noche con tan solo una pérdida del 10% anual.

Se llegó a la conclusión de que el sistema tenía una eficiencia del 70% en su funcionamiento total. A continuación, se hará una lista de cada uno de los equipos con su eficiencia y desempeño:

- Controlador de Carga Morningstar modelo TSMPPT-45 con una eficiencia del 99% pico además de que tiene un grado de IP67 que es el que se necesitaba para que el controlador soportara las condiciones climáticas que se encontraban en el cerro picacho, además, soporta temperaturas de 5 C°- 45 C°. Además de que aguanta 100% de humedad. Aguanta un Voltaje nominal del sistema de 12,24,36 ó 48 Vcd.
- Panel fotovoltaico Policristalino de 255 watts con una eficiencia del 97% que va en función de la irradiancia solar del lugar. Tiene un grado de IP67 de resistencia al agua y resistencia de 100% de humedad. 10 años de ciclo de vida y trabajan a una temperatura de -40C° a +85C°
- Baterías tienen un ciclo de vida de 8 meses de 100% de eficiencia, después de este periodo la eficiencia empieza a caer.
- La antena sectorial aguanta temperaturas de -40C° + 65C° apta para condiciones extremas. Aguante de 100% de Humedad. Tiene una sensibilidad de -109 dBm y un ciclo de vida de 10 años.
- La BTS tiene aspectos ambientales considerables para aguantar las condiciones del cerro picacho, ya que puedo operar a una temperatura de -40C° a 55C° con clasificación IP67. Tiene un ciclo de vida de 10 años.
- Los montajes estaban bien colocados por lo que el viento y las tormentas no serán obstáculos para derribar los montajes, además el único factor que podría dañar a futuro sería la humedad ya que el montaje de la celda tenía una aleación de acero galvanizado deteniendo la erosión del montaje. Además, el refrigerador es de acero inoxidable por lo que la humedad será el factor que menos dañe.

Los datos finales que lanzó el sistema de alimentación son los que se muestran en la Tabla 17. Con los datos de la tabla se hicieron los cálculos de Potencia máxima (ver Ecuación 8), también se calculó el factor de llenado para poder calcular la eficiencia del sistema de alimentación considerando el regulador MPPT-45, el sistema de alimentación arrojó lo siguiente:

Tabla 19. Datos finales arrojados por el sistema de Alimentación.

Potencia Pico * (Pmax)	
Tensión	37.0 V
Intensidad de Cortocircuito	7.85 A
Tensión en el punto de máxima potencia	29.8 V
Intensidad en el punto máxima potencia	7.20 A

Recuperado de: Creación propia con datos proveídos de TIC.

$$P_{max} = V_{max} * I_{max} \dots\dots\dots Ec. 6$$

$$P_{max} = (29.8 V) * (7.20 I) = 214.56 w$$

Calculando Factor de llenado.

$$FF = \frac{214.56}{290.45} = 0.73 \dots\dots\dots Ec. 2$$

Calculando eficiencia del sistema.

$$\eta = \frac{(0.7)(37)(7.85)}{(0.7)(5.26)} = 0.700010 \dots\dots\dots Ec.3$$

$$\eta = 70\%$$

Se anexa gráfico representando un el 70% de eficiencia del sistema.

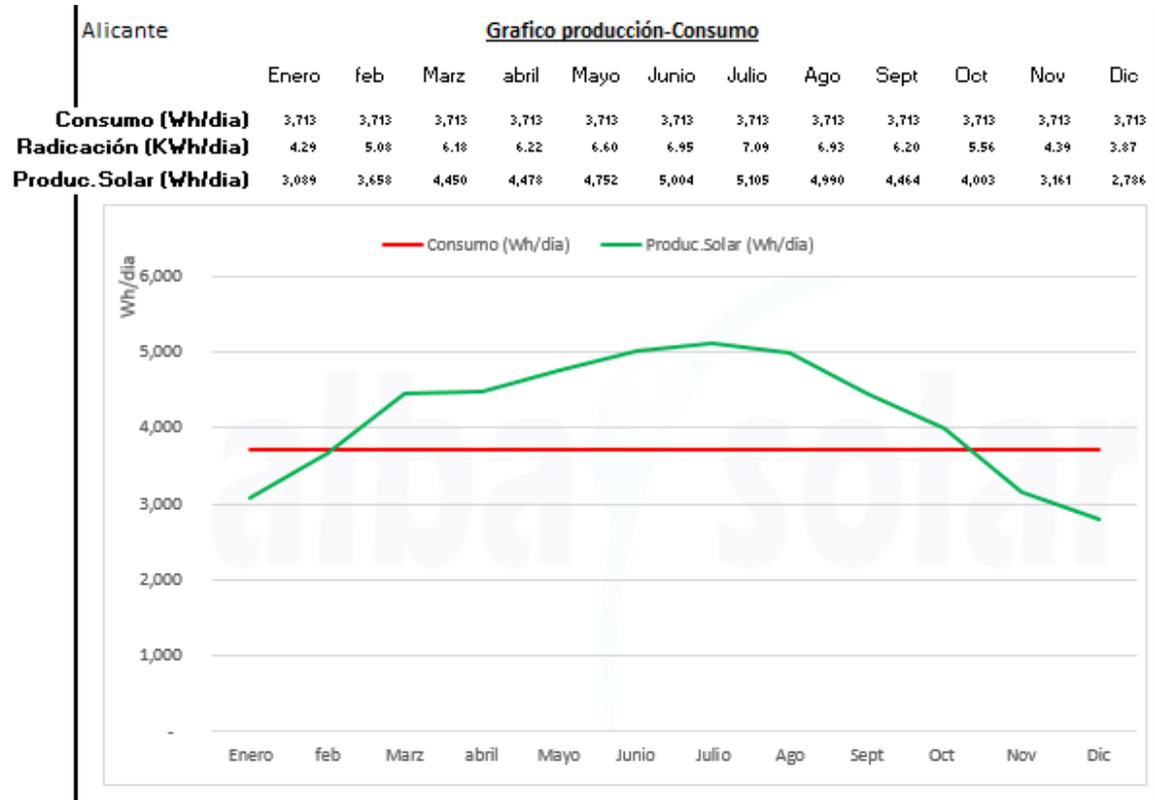


Figura 84. Gráfica de eficiencia del sistema de alimentación.  
Recuperado de: Creación Propia.

### 4.3 Recomendaciones técnicas para mejorar la eficiencia operativa.

Que se ha visto anteriormente, se ha observado que el sistema funciona y tiene un alto grado de eficiencia. Pero como todo sistema es necesario hacer estudios anticipados de toda la instalación, de las características principales de todos dispositivos de la instalación y por ende, un estudio total de las condiciones climáticas en donde se hará la instalación.

A continuación, se hará una lista de las recomendaciones necesarias para futuras instalaciones de sistemas de comunicación por medio de celdas fotovoltaicas.

1. Hacer un estudio completo y bien hechos de las condiciones climáticas del lugar donde se efectuará la instalación con el fin de que se consideren las características electrónicas para que los dispositivos aguanten las condiciones climáticas en donde se efectuarán la instalación.
2. Dado que en el caso de Villa Talea de Castro se encuentra a una gran altura, la humedad es uno de los factores que más se presenta en estos tipos de lugares. Por esta misma razón se recomienda que todos los equipos tengan un grado IP67 para que aguanten la humedad y que el agua que se presente debido a las lluvias del lugar no entren directamente a los circuitos interno de los dispositivos y de esa forma, dañar por completo la operación de los dispositivos.
3. Se recomienda que los montajes para las celdas fotovoltaicas tengan una aleación de acero galvanizado para que la humedad no corroa la estructura y con el tiempo no se desgaste los montajes. Además, como recomendación adicional, se requiere que todo el regulador sea resguardado en una pequeña caja para que tenga una máxima protección contra la humedad y contra el agua de lluvias.
4. Para futuras instalaciones, tratar de localizar un punto con mejor accesibilidad para la instalación ya que en Talea la accesibilidad debido a la falta de infraestructura carretera dificultó en los viajes de la instalación, llevándola a tardar más tiempo y más costos económicos.
5. Realizar una barrera de seguridad que protejan toda la instalación.
6. Se recomienda apegarse a las normas de una ICT para poder generar una infraestructura más adecuada para un sistema de telefonía celular.

La instalación es una de las forma eficiente y barata para operar en comunidades indígenas y brindar los servicios de telecomunicaciones básicos.

Para la comunidad de Talea se facilitó bastante económicamente, ya que se dieron aportaciones para la instalación del sistema. Por parte de la Dra. Aida Huerta Barrientos (ver Tabla 18), se aportaron las celdas solares y las baterías de ciclo

profundo para la instalación en Talea. Con estas aportaciones que no fueron para nada mínimas, se instaló el sistema haciendo una inversión inicial de \$20,798.00

Aunque inicialmente, el costo es un poco elevado al principio se tiene la certeza de que es un sistema funcional y el costo elevado se debe a que se tienen que comprar los dispositivos adecuados para aguantar las condiciones adecuadas y que la eficiencia de operación sea óptima.

Hay instalaciones que serán necesarias agregar más baterías o más paneles y en función de eso, el sistema incrementará el precio, pero es una inversión inicial grande que pasando el tiempo garantiza que la inversión sea más económica. Ya que instalar infraestructura eléctrica sería costo y no sería viable para las empresas que dan Electricidad. Además, como se mencionó en el capítulo 1. La falta de infraestructura carretera hace que empresas de telecomunicaciones no desplieguen sus equipos.

Si se desea hacer instalaciones de la misma calidad, inicialmente se hace una inversión de \$27,219.00 (ver Tabla 19), el costo beneficio se observa cuando es más barato realizar este tipo de instalaciones y cambiar las baterías cada 8 meses que realizar una instalación de infraestructura eléctrica y contactar con empresas de telecomunicaciones que distribuyan los servicios de telecomunicaciones.

Tabla 20. Inversión inicial para el proyecto de Talea

<b>Equipo</b>	<b>Precio \$</b>	<b>Cantidad</b>
Regulador de tensión	\$479.00	1
Paneles Solares	\$0.00	2
Baterías	\$0.00	6
Kit de Torre de Arriostrada	\$7,319.00	1
Antena Sectorial	\$2,000.00	1
Conectores MC-4	\$1,000.00	1 Lote
BTS Litcell	\$10,000.00	1
<b>Total</b>		<b>\$20,798.00</b>

Recuperado de: Creación propia e investigación de los proveedores de sistemas solares.

Tabla 21. Aproximación de precios para el proyecto

<b>Equipo</b>	<b>Precio \$</b>	<b>Cantidad</b>
Regulador de tensión	\$479.00	1
Paneles Solares	\$3,500.00	2
Baterías	\$3,400.00	6
Kit de Torre de Arriostrada	\$7,319.00	1
Antena Sectorial	\$2,000.00	1
Conectores MC-4	\$1,000.00	1 Lote
BTS Litcell	\$10,000.00	1
<b>Total</b>		<b>\$27,219.00</b>

Recuperado de: Creación propia e investigación de los proveedores de sistemas solares.

Además, en comunidades comunitarias, la instalación que se presenta en el trabajo es accesible y funcional si se consideran los puntos que anteriormente se presentaron, ya que debido a la economía escasa que presenta algunas comunidades, la falta de infraestructura eléctrica y de despliegue de infraestructura de telecomunicaciones, hacen de esta instalación una opción sustentable y accesible para desplegar un equipo de Telefonía Celular Comunitaria.

## Conclusiones.

El objetivo general del trabajo fue la presentación de la instalación de un sistema de alimentación sustentable mediante el uso de celdas fotovoltaicas para el suministro de energía a un equipo de Telefonía Celular Comunitaria. La instalación cumplió con el objetivo general ya que se llevó a cabo la instalación del sistema de alimentación y, aunque independientemente de que el regulador de carga no fue el adecuado y solo funcionaba durante el día; El sistema funcionó por 4 meses seguidos sin interrupciones y sin intermitencias eléctricas.

Para que el sistema funcione adecuadamente, se tiene que instalar un regulador de carga MPPT-45 con grado IP67 para que aguante las condiciones del cerro.

Revisando los casos de estudio de las instalaciones por medio de celdas fotovoltaicas, se hicieron las adecuaciones para que el sistema de alimentación que se instaló en Talea fuera funcional y operara de forma eficiente. En los casos de estudios que se presentaron el trabajo se observa que la tecnología fotovoltaica es manipulable como un suministro de energía eléctrica

La instalación se completó gracias a los técnicos de Telecomunicaciones Indígenas Comunitarias (ver Figura 82), quienes fueron los técnicos que realizaron los cálculos previos a la instalación y fueron las personas que terminaron con la instalación, montando la antena sectorial. Además de que fueron los técnicos que montaron la torre de comunicación gracias a su vasta experiencia colocando sistemas de comunicación en Comunidades de Oaxaca. Ellos fueron las personas que me dieron la oportunidad de usar la instalación como proyecto de tesis y que me proporcionaron los datos necesarios para realizar cálculos. Además de los habitantes de Talea que apoyaron ayudando a subir las herramientas y dispositivos para que la instalación se llevara a cabo.



Figura 82. Equipo TIC.  
Recuperado de: Visita técnica Agosto, 2018.

Básicamente con el funcionamiento de las energías renovables, especialmente con la tecnología fotovoltaica se muestra como una solución muy útil en lugares donde no se tiene acceso a la red eléctrica. Además de que es una energía limpia y los dispositivos electrónicos necesarios para su instalación se pueden manipular para aprovechar la irradiación solar; siempre y cuando sean dispositivos que soporten las condiciones climáticas donde se instalará el sistema. Otra de las grandes ventajas es que requiere poco espacio para la instalación.

Para las instalaciones de este tipo es necesario un estudio completo de clima para poder seleccionar equipos certificados para intemperie para que el polvo, la humedad o el agua dañen a los equipos de la instalación adecuados y cálculos para que el sistema opere

La energía solar desempeñará un papel clave en el modelo energético del futuro. Sin embargo, en el camino hacia su implantación definitiva aún queda un obstáculo por superar: su elevado precio inicial. Ya que este tipo de instalaciones tiene una gran ganancia a largo plazo. Las células fotovoltaicas cuentan con un amplio margen para las mejoras técnicas. La nanotecnología, las células multicapa y las de concentración prometen rendimientos mucho más elevados. Por lo que este tipo de instalaciones son muy útiles y fáciles de instalar y dependiendo del tipo de

instalación se pueden realizar arreglos más complejos para poder aprovechar toda la energía solar.

Es un mercado sumamente rentable para quienes pueden invertir en él, debido a las altas barreras de entrada a este mercado. Además, este tipo de producción eléctrica tiene costos de mantenimiento bajos y es posible recuperar la inversión inicial en un periodo de tres a seis años.

Hay numerosas razones que hacen a la energía fotovoltaica un mercado atractivo. En México existen más de 65 compañías que producen energía renovable; 27 de ellas abarcan 77 % del mercado. Esta estructura corresponde a una lógica de monopolio competitivo. La situación es especialmente redituable para el mercado de energía fotovoltaica, el cual tiene tendencia a convertirse en un oligopolio, según Vargas y Espinosa.

## Bibliografía.

1. Rodríguez, H. & González, F. (1992). *Manual de radiación solar en Colombia*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
2. Matas, J. y Ramos, R. (2001). *Microcontroladores MCS 51 y MCS 251*. Barcelona: UPC.
3. Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas. (2004). *Fundamentos, dimensionado y aplicaciones de la energía solar fotovoltaica*. Madrid: Autor.
4. Ibañez, M., Rosell, J.R., Rosell, J.I. (2004). *Tecnología Solar*. Lérida: Mundiprensa.
5. Knopf, Hannes. (2018). *Analysis, simulation, and evaluation of maximum power point tracking (MPPT) methods for a solar powered vehicle*. Universidad Estatal de Portland.
6. Universidad Autónoma Metropolitana. (2016). Modelo de Operación Social de un Sistema Autogestionado de Telecomunicaciones. Evaluación Técnica. Recuperado de:  
[https://wiki.rhizomatica.org/images/SCT\\_IV\\_EVALUACI%C3%93N\\_T%C3%89CNICA\\_BUENO.pdf](https://wiki.rhizomatica.org/images/SCT_IV_EVALUACI%C3%93N_T%C3%89CNICA_BUENO.pdf)
7. García, E., Moubarak, Y., Velázquez J.E., Calvo, J. (2012). *Solar energy: silicon solar cells*. En *Science in School*, (23), 43-47. Recuperado de:  
<https://www.scienceinschool.org/es/2012/issue23/solar>.
8. Serway, R., Beichner, R., Jewett, J. *Physics for Scientist an Engineers*. Virginia: Saunders College.
9. Lynn, P.A. (2010). *Electricity from sunlight, An Introduction to Photovoltaics*. Inglaterra: Wiley.
10. Ministerio de Industria, Comercio y Turismo. (2018). Recuperado de:  
<http://www.mincotur.gob.es/energia/es-ES/Paginas/index.aspx>
11. Serrano V. *Sistema de alimentación para dispositivos de instrumentación basado en estándar Qi*. Universidad Nacional Autónoma de México.
12. González, R. *Sistema de energía solar fotovoltaica aislado para alimentación de estaciones de comunicaciones aislada*. Universidad Nacional Autónoma de México.
13. Energía Estratégica. (2018). Goodenergy instala paneles solares fotovoltaicos para abastecer antenas de telecomunicaciones en Santa Fe. Recuperado de: <http://www.energiaestrategica.com/goodenergy-instala-paneles-solares-fotovoltaicos-para-abastecer-antenas-de-telecomunicaciones-en-santa-fe/>
14. Secretaría de Energía [SENER]. (2016). *Balance Nacional de Energía*. México: Autor.

15. Secretaría de Energía [SENER]. (2016). *Reporte de Avance de Energías Limpias*. México: Autor.
16. Chu, Y. (2011). *Review and Comparison of Different Solar Energy Technologies*. Estados Unidos: Global Energy Network Institute [GENI].
17. Montemayor, C. (2010). *Instalación fotovoltaica aislada para torres de comunicaciones*. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña.
18. Barsukov, I.V., Johnson C.S., Doninger J.E., Barsukov V.Z.(Eds.) (2006). *New Carbon Based Materials for Electrochemical Energy Storage Systems: Batteries, Supercapacitors and Fuel Cells*. 10.1007 / 1-4020-4812-2
19. Barsukov, I.V., Johnson C.S., Doninger J.E., Barsukov V.Z.(Eds.) (2003). *New Carbon Based Materials for Electrochemical Energy Storage Systems: Batteries, Supercapacitors and Fuel Cells*. Estados Unidos: Springer.
20. Lara Tapian Juan Carlos (Eds.) (2016). *Conceptos Básicos de telefonía Celular*, México: Pachica de Soto Hidalgo
21. The Institute of Electrical and Electronics Engineers [IEEE]. *Recomended Practice for Sizing Lead-Acid batteries for Photovoltaic (PV) Systemes*. Estados Unidos: Autor.
22. NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2012, *Instalaciones Eléctricas (utilización)*. 29/11/2012.
23. Maya, S. (2015). *Infraestructura para una BTS de telefonía móvil urbana*. Universidad de Sevilla: España.
24. Sarmiento, P. (1995). *Energía Solar: Aplicaciones e Ingeniería*. Ediciones Universitarias de Valparaíso: Chile.
25. D'Addario, M. (2017). *Manual de Luminotecnia: Fundamentos, cálculos y aplicaciones*. Createspace: Estados Unidos.
26. Enríquez, G. (2003). *Manual práctico de alumbrado*. Limusa: México.
27. Sapag, N. y Sapag, R. (1989). *Preparación y evaluación de proyectos*. McGrawHill: México.
28. Müller, B. (2012). *El futuro de la Energía Solar*. En *Investigación y Ciencia*. Recuperado de: <http://www.investigacionyciencia.es/revistas/investigacion-y-ciencia/neurociencia-de-la-identidad-549/el-futuro-de-la-energa-solar-8600>.

## Acrónimos

TIC	Telecomunicaciones Indígenas Comunitarias
IFT	Instituto Federal de Telecomunicaciones
BTS	Base Transceiver Station
Cu	Cobre
mm	milímetro
V	volt
Kg	Kilogramo
W	watts o vatios
Hz	hertz
m	metros
Mhz	Mega hertz
Ghz	Giga hertz
A	ampere
Ah	ampere hora
ONM	Las Organizaciones Nacionales Miembros

1T2016	Primer informe Trimestral Estadístico 2016
IDE	Inversión extranjera directa.
TyR	Telecomunicaciones y Radiodifusión.
PIB	Producto Interno Bruto
Pmax	Potencia máxima
Vmax	Voltaje máximo
I <sub>max</sub>	Corriente máxima
FF	Factor de llenado
$\eta$	Eficiencia.
C°	Grados centigrados
DIN	Dinas
dB	Decibelios
dBi	Ganancia de antena por encima de un radiador isotrópico.
lb	Libras
CONAPO	Consejo Nacional de Población
	Secretaria de medio Ambiente.

