

## Desarrollo de estructura de servicios de telecomunicaciones y energía eléctrica para comunidades de Yucatán

### Development of structure of telecommunications and electric power services for communities of Yucatán

HERNÁNDEZ-CASTELLANOS, Germán Felipe\*†, RUIZ-CASTILLO, Luis Manuel y FRANCO LÓPEZ, Aref Jesús

*Universidad Tecnológica del Centro, Carretera Hochtún-Izamal KM 1.5 CP. 97540*

ID 1<sup>er</sup> Autor: *German Felipe Hernandez Castellanos* / ORC ID: 0000-0002-2619-1541, Researcher ID Thomson: S-5912-2018, CVU CONACYT-ID: 898283

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *Luis Manuel Ruiz Castillo* / ORC ID: 0000-0001-9568-8829, Researcher ID Thomson: S-6616-2018, CVU CONACYT-ID: 898763

ID 2<sup>do</sup> Coautor: *Aref Jesus Franco Lopez* / ORC ID: 0000-0002-0710-3841, Researcher ID Thomson: S-6624-2018, CVU CONACYT-ID: 447822

Recibido Enero 27, 2018; Aceptado Marzo 30, 2018

#### Resumen

El presente proyecto está diseñado para brindar los servicios de Internet y red eléctrica a tres comunidades del estado de Yucatán. Para entregar los servicios de Internet se diseñó una red WAN y LAN para cada comunidad.

Se realizaron enlaces satelitales para las comunidades de: Izamal, Kimbila, Citilcum, Teya y Tepakán; y enlaces inalámbricos entre las comunidades. La red LAN está diseñada para dar servicios a cinco computadores y una línea telefónica VoIP, estos equipos están conectados a un switch, salen al internet por medio de un Router que se enlaza al proveedor de Internet y telefonía. Se diseñó una red eléctrica utilizando un sistema fotovoltaico para generar energía eléctrica renovable y poder alimentar los equipos de telecomunicaciones, computadoras y dotar de luz eléctrica a la escuela donde se encuentra la infraestructura tecnológica. Mediante un análisis económico se presenta el costo total para la implementación del proyecto, considerando el costo de mantenimiento y el costo de operación.

**Energía renovable, Telecomunicaciones, Servicios**

#### Abstract

This project is designed to provide Internet and electricity network services to three communities in the state of Yucatan. In order to deliver Internet services, a WAN and LAN network was designed for each community. Satellite links were made for the communities of: Izamal, Kimbila, Citilcum, Teya and Tepakán; and wireless links between the communities. The LAN network is designed to provide services to five computers and a VoIP telephone line, these devices are connected to a switch, they go to the Internet through a Router that connects to the Internet and telephony provider. An electrical network is designed using a photovoltaic system to generate renewable electric power and to power telecommunications equipment, computers and provide electric light to the school where the technological infrastructure is located. Through an economic analysis, the total cost for the implementation of the project is presented, considering the cost of maintenance and the cost of operation.

**Renewable energy, Telecommunications, Services**

**Citación:** HERNÁNDEZ-CASTELLANOS, Germán Felipe†, RUIZ-CASTILLO, Luis Manuel y FRANCO LÓPEZ, Aref Jesús. Desarrollo de estructura de servicios de telecomunicaciones y energía eléctrica para comunidades de Yucatán. Revista de Ingeniería Eléctrica. 2018. 2-4: 6-14.

† Investigador contribuyendo como primer autor.

\*Correspondencia al Autor Correo Electrónico: (german.hernandez@utcentro.edu.mx)

## Introducción

En el Estado de Yucatán existen sectores rurales donde aun la energía eléctrica no ha se encuentra del todo habilitada, esto ha traído consecuencia el subdesarrollo de estos sectores ya que no tiene acceso a los servicios básicos y a la información. A través de este diseño se plantea entregar un kit Tecnológico a las comunidades que presentan un rezago en el servicio de conexión de internet.

El kit tecnológico consta de un sistema de energía renovable, un sistema utilizado para obtener internet y telefonía.

Con estos sistemas tecnológicos, hace que tenga en las comunidades el servicio de electricidad utilizando sistemas de energía fotovoltaica que con esto se pueda energizar los equipos de comunicaciones los cuales proporcionarían el servicio de internet y telefonía VoIP, adicional a esto se entregara el servicio de luz eléctrica en determinados lugares de la comunidad.

## Análisis de las comuninades del proyecto

Las cinco comunidades a las cuales están dirigidas este proyecto se encuentran dentro de la región centro del estado de Yucatán, debido a que en estas comunidades se encuentran limitada los servicios de conexión de internet y calidad en la energía eléctrica.

## Ubicación geográfica de las comunidades

A continuación, se describe la situación geográfica de cada una de las comunidades del estado de Yucatán:

### Izamal

Entre los paralelos 20°45' y 21°01' de latitud norte; los meridianos 88°48' y 89°12' de longitud oeste; altitud entre 0 y 100 m. Colinda al norte con los municipios de Tekantó, Teya, Tepakán y Tekal de Venegas; al este con los municipios de Tekal de Venegas, Tunkás y Sudzal; al sur con los municipios de Sudzal, Kantunil y Hochtún y al oeste con los municipios de Hochtún, Bokobá y Tekantó. Las comunidades de Kimbila y Citilcum son comisarias de Izamal.

### Teya

Entre los paralelos 20°59' y 21°08' de latitud norte; los meridianos 88°59' y 89°08' de longitud oeste; altitud entre 0 y 100 m. Colinda al norte con los municipios de Cansahcab y Tepakán; al este con el municipio de Tepakán; al sur con los municipios de Tepakán, Izamal y Tekantó y al oeste con los municipios de Tekantó, Suma y Cansahcab.

### Tepakán

Entre los paralelos 20°59' y 21°09' de latitud norte; los meridianos 88°56' y 89°04' de longitud oeste; altitud entre 0 y 100 m. Colinda al norte con los municipios de Teya, Cansahcab y Temax; al este con los municipios de Temax y Tekal de Venegas; al sur con los municipios de Tekal de Venegas, Izamal y Teya y al oeste con los municipios de Teya y Cansahcab.

Con las coordenadas tomadas en cada comunidad ya se les puede ubicar en un mapa geográfico y ver que infraestructura de telecomunicaciones se encuentra cercana a la comunidad para poder llevar la señal de internet. En nuestro caso se utiliza la comunidad de Izamal para realizar el enlace inalámbrico para las comunidades del proyecto para hacer llegar la señal de internet (Figura 1).

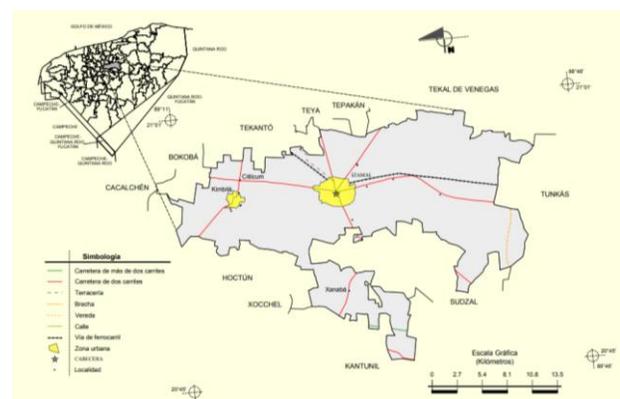


Figura 1 Localización de las comunidades (INEGI, 2009)

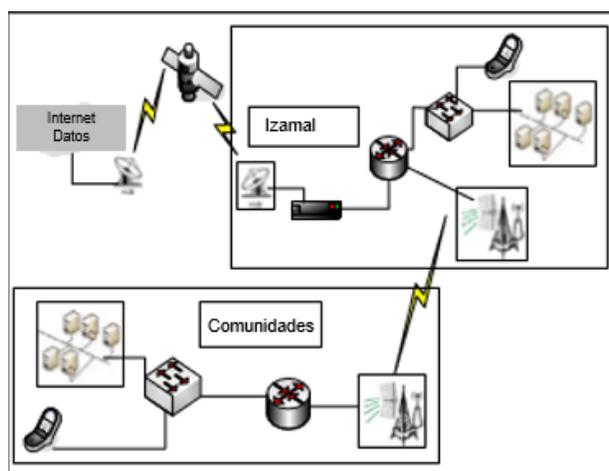
## Características Tecnológicas

De acuerdo a los datos geográficos obtenidos y la revisión de las tecnologías que se pueden aplicar, en la tabla 1 se encuentran los enlaces inalámbricos que se van a diseñar para poder tomar la señal de de internet y llevarle a la comunidad.

Comunidad 1	Comunidad 2	Distancia (Km)
Izamal	Kimbila	12.7
Izamal	Citilcum	10.9
Izamal	Teya	58.2
Izamal	Tepakan	13.5

**Tabla 1** Enlaces y distancias de las comunidades *Fuente: Elaboración Propia*

La red de transporte de servicios se conforma por un enlace WAN que está dividida en dos etapas como se muestra en la figura 2, la primera es un enlace satelital el cual se toma la señal de datos del satélite y se lleva a la comunidad y la segunda etapa es un enlace inalámbrico que va de la comunidad de Izamal a las demás comunidades del proyecto.



**Figura 2** Esquema del diseño de la red de transporte de datos

*Fuente: Elaboración Propia*

De acuerdo al esquema anterior se tiene ya determinado como estaría la red de transporte, para después llevar la señal con los servicios de comunicaciones utilizando un enlace de última milla, que es una red LAN formada por las terminales de usuario que son cinco computadoras y una línea de telefonía VoIP.

### Análisis del tráfico de datos

Para determinar el nivel de tráfico que será enviado por la red, se tomará valores de referencia de la información de voz y datos que se transmitirá.

En la tabla 2 se encuentra el ancho de banda necesario para que la VoIP se transmita por Ethernet, dependiendo del codec que se utilice en la codificación se necesita un ancho de banda para la transmisión.

CODEC	Tasa	BW (Kbps)
G 729	8 kbps	28.80
G 723.1	6.4 kbps	27.20
	5.3 kbps	26.13
G 711	64 kbps	74.40
G 726	32 kbps	52.80

**Tabla 2** Ancho de banda para VoIP

*Fuente: Elaboración Propia*

Las aplicaciones típicas que se transmiten como Datos es: Correo Electrónico documentos en Word, Excel, PowerPoint y páginas Web, en la tabla 3 se indica valores referenciales de las aplicaciones típicas que se transmiten por Internet.

Aplicación	Valor referencial
Word	300 KB
Excel	300 KB
Power Point	600 KB
Correo electrónico	100 KB
Páginas Web	180 KB

**Tabla 3** Aplicaciones que se transmiten por internet

*Fuente: Elaboración Propia*

Una página Web debe demorar entre 5 a 10 segundos en descargarse para que tenga calidad de servicio. Un usuario que está abriendo una página Web que pesa un promedio de 180Kb con estos datos y aplicando la ecuación 1 se obtiene la velocidad de transmisión de:

$$V_{transf} = \frac{\text{tamaño página}}{\text{tiempo}} \quad (1)$$

$$V_{transf} = \frac{180 \text{ Kb}}{5s} = 36 \text{ Kbps}$$

Los 36 Kbps es por cada usuario, se tiene 5 computadoras, poniendo en peores condiciones que los cinco usuarios estén abriendo páginas Web, la velocidad de transmisión se multiplica por el número de usuarios como muestra la ecuación 2, para tener la velocidad de transmisión total que debe haber para que haya calidad de servicio.

$$V_{transf} = (V_{transf})(\text{núm usuarios}) \quad (2)$$

$$V_{transf} = (36 \text{ Kbps})(5) = 180 \text{ Kbps}$$

Las centrales telefónicas SIP y las líneas telefónicas utilizan la codificación G.711 para la digitalización de la señal y como se va a transmitir por Ethernet el enlace VoIP ocupará un ancho de banda de 74.4 Kbps.

Tipo información	Velocidad de transmisión
Datos	180 kbps
Voz	74.4 kbps
Total	254.4 kbps

**Tabla 4** Velocidades de transmisión  
Fuente: *Elaboración Propia*

Cuando se quiere enviar un correo electrónico con un archivo adjunto se necesitará tener un ancho de banda de subida, el cual tenga un nivel de subida aceptable al usuario. Por pruebas realizadas se tiene un tiempo estimado de 20 a 30 segundos para que suba un archivo que pesa un promedio de 400Kb ya sea un documento de Word, Excel, etc., así que para que suba el archivo al Internet se debe calcular con la ecuación 1 la velocidad de transmisión.

$$V_{transf} = \frac{400\text{ Kb}}{20s} = 20\text{Kbps}$$

La velocidad de transmisión de 20Kbps es por cada usuario, poniendo en peores condiciones que los 5 usuarios este subiendo un archivo de más o menos la misma capacidad la velocidad total de transmisión será (aplicando la ecuación 2):  $V_{transf} = (20\text{Kbps})(5) = 100\text{ Kbps}$ .

Aproximando los valores encontrados se deberá contratar un ancho de banda de 256 Kbps de bajada y 128Kbps de subida.

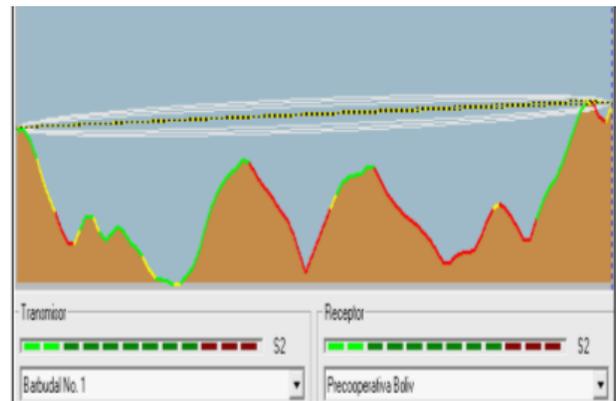
**Diseño de la red de telecomunicaciones**

Utilizando el software Radio Mobile se ubican con las coordenadas a las comunidades del proyecto en el mapa geográfico, con esto se determina los enlaces inalámbricos que se puede realizar entre las dos comunidades. En la figura 3 se tiene el mapa de la región centro del estado de Yucatán donde se encuentran ubicadas las comunidades del proyecto.

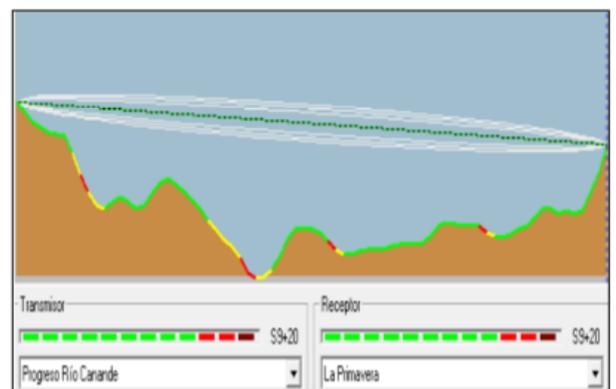


**Figura 3** Conexión de las comunidades del proyecto  
Fuente: *Mapa INEGI, 2009*

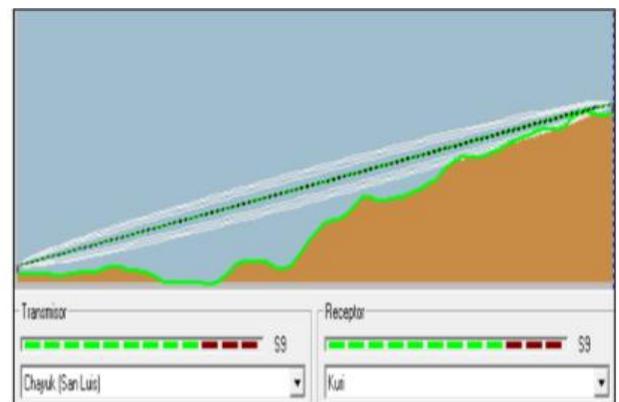
De acuerdo a la figura 3 anterior se obtiene los perfiles de los enlaces inalámbricos de las cinco comunidades.



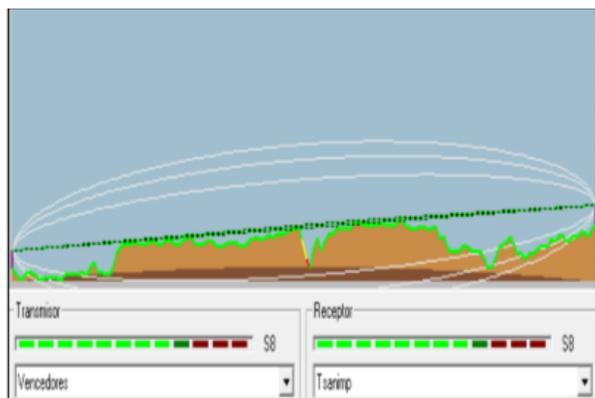
**Figura 4** Conexión de Izamal-Kimbila  
Fuente: *SW Mobile*



**Figura 5** Conexión de Izamal-Citilcum  
Fuente: *SW Mobile*



**Figura 6** Conexión de Izamal-Teya  
Fuente: *SW Mobile*



**Figura 7** Conexión de Izamal-Tepakán

Fuente: SW Mobile

Una vez determinado los enlaces y su distancia se obtienen las alturas de las antenas para que las zonas de fresnel no choquen con el perfil del terreno. En la tabla 5 se tiene un resumen de los datos del diseño de los enlaces Inalámbricos.

Enlace	Altura antena	Potencia de transmisión
Izamal-Kimbila	7 m	30 mW
Izamal-Citilcum	10 m	464 mW
Izamal-Teya	27.7 m	360 mW
Izamal-Tepakán	19.6 m	112.7 mW

**Tabla 5** Datos de enlaces inalámbricos

Fuente Elaboración propia

### Especificaciones técnicas de equipos de comunicaciones para el proyecto

Se detallan a continuación las especificaciones técnicas del sistema de comunicaciones diseñado para llevar la señal de internet hacia las comunidades.

#### Características del sistema

El sistema satelital está compuesto de tres partes la antena parabólica, la unidad ODU y la unidad IDU. La antena parabólica debe ser compuesta de un material de poliéster reforzado con fibra de vidrio, la cual tenga movimientos de 360° y un ajuste fino de  $\pm 20^\circ$ , la elevación debe ser de 7° a 84° con un ajuste fino continuo.

En la tabla 6 se indica los parámetros de funcionamiento que debe cumplir la antena parabólica.

Parámetros	Característica
Tipo de reflector	Solido
Apertura efectiva	Mínimo: 1.8 m Máximo: 2.4 m
Frecuencia de operación	Uplink: 14,00 – 14,50 GHz Downlink: 11,70 – 12,20 GHz
Polarización	Lineal horizontal, lineal vertical
Ganancia	Uplink: 43dBi @ 14,25 GHz Downlink: 41dBi @ 11,95 GHz
Ancho de haz a 3dB	Uplink: 1,2° @ 14,3 GHz Downlink: 1,5° @ 12,0 GHz
ROE	1,3 como máximo

**Tabla 6** Características de una antena satelital

Fuente: Elaboración Propia

La unidad ODU es un equipo donde recibe y transmite la señal satelital, está ubicado en la antena parabólica, en la tabla 7 se encuentra los parámetros que debe tener para transmisión y recepción de la señal.

Parámetros de transmisión	Característica
Banda	14,0 – 14,5 GHz
Compresión	35 / 33 dBm
Frecuencia del osc local	13,05 GHz (banda Ku)
Frecuencia de referencia	10 MHz
Nivel de referencia	-5 a +5 dBm
Ganancia lineal típica	57 dB
Frecuencia intermedia IF	950 – 1450 MHz
Conector IF	Tipo F, 75 Ohmios
Potencia / Tensión	<20 W / 18-28 VDC

Parámetros de recepción	Característica
Banda	10,70 – 12,75 GHz
Frecuencia intermedia	950 – 2150 MHz
Ganancia de conversión	58 – 68 dB
Frecuencia del osc local	9,75 GHz / 10,6 GHz
Ruido (10/100/1000 kHz)	-85/-105/-120 dBc/Hz
Rango de temperatura de operación	-35°C a +55°C
Grado de protección IP	64

**Tabla 7** Parámetros de transmisión y receptor ODU

Fuente: Elaboración Propia

La unidad IDU es el modem satelital en la tabla 8 se tiene los parámetros que deben cumplir este equipo.

Parámetros del receptor	Característica
Modulación	Desfase fino de cuadratura (QPSK)
Frecuencia de muestreo	1 – 45 Msps
Corrección de errores	cumple DVB-S 1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8

Parámetros del transmisor	Característica
Modulación	Desfase fino de cuadratura (QPSK)
Frecuencia de muestreo	125 – 1200 kpsps

**Tabla 8** Parámetros del receptor y transmisión IDU

Fuente: Elaboración Propia

### Características del sistema inalámbrico

El sistema inalámbrico está compuesto de los enlaces punto a punto que se realizan para llevar la señal de una comunidad a otra, en la tabla 9 se describe los parámetros que debe cumplir el equipo de radio frecuencia.

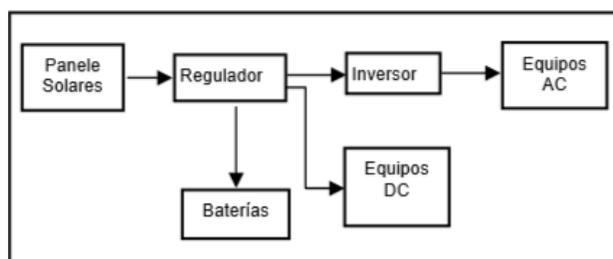
Parámetro	Característica
Banda de frecuencia	ISM 2400-2483.5 MHz
Tasa de transmisión	Mínimo 10 Mbps
Distancia	5 – 30 Km
Potencia Isotrópica	Ajustable a 12.0 W
Ancho del canal	20 MHz
Ganancia de antenas	11 dB
Encriptación	DES
Grado de protección IP	64

**Tabla 9** Parámetros del equipo inalámbrico  
Fuente: Elaboración Propia

### Diseño del sistema fotovoltaico

Para realizar un diseño de un sistema fotovoltaico, se debe entender el funcionamiento de cada uno de los elementos que compone un sistema de energía renovable; además de debe conocer los parámetros y características, que los fabricantes de cada componente emiten, los cuales son de utilidad para el diseño.

El sistema de energía fotovoltaico está compuesto de paneles solares, regulador de voltaje, banco de baterías y un inversor de DC/AC, como se muestra en la figura. 8.



**Figura 8** Elementos del sistema fotovoltaico  
Fuente: Elaboración Propia

### Sistema fotovoltaico

Los paneles están formados de un conjunto de células solares que transforman la energía solar en energía eléctrica, los voltajes que proporcionan son en corriente continua. Los principales parámetros que el fabricante de los paneles solares proporciona, para tomar en cuenta para un diseño son:

- Tensión máxima de potencia (VPmax)
- Intensidad máxima de potencia (IPmax)
- Corriente de cortocircuito (ISC)
- Tensión de circuito abierto (VOC)
- Factor de forma (FF)
- Valores de VPmax y IPmax son menores que ISC y VOC

El cálculo de los paneles solares en serie se hace con la ecuación 3.

$$Nps = \frac{V_n}{V_{Pmax}} \quad (3)$$

El número de paneles solares en paralelo se calcula con la ecuación 4.

$$Npp = \frac{L}{Im * Gdm(\beta) * \eta_g * \eta_b} \quad (4)$$

El total de paneles se calcula con la ecuación 5.

$$Np = Nps * Npp \quad (5)$$

### Baterías

Las baterías están formadas de un conjunto de vasos los cuales constan de electrodos de plomo con una disolución electrolítica, las baterías más utilizadas tienen voltajes de 12 o 24 voltios. Los principales parámetros que el fabricante de baterías proporciona para realizar el diseño del sistema fotovoltaico son:

- Tensión nominal VNBata
- Capacidad nominal CNbat
- Profundidad máxima de descarga PDmax
- Capacidad disponible CUBat

Con la ecuación 6 se calcula la capacidad que tiene la batería esta capacidad se da en (Ah).

$$C = \frac{L * d}{P_d} \quad (6)$$

Para calcular el número de baterías en serie y en paralelo se utilizan las ecuaciones 7 y 8.

$$Nbs = \frac{Vns}{Vnb} \quad (7)$$

$$Nbp = \frac{C}{Cn} \quad (8)$$

Con la ecuación 9 se calcula el número total de batería.

$$Nb = Nbp * Nbs \quad (9)$$

### Regulador

El regulador cumple algunas funciones en el sistema fotovoltaico, las funciones son estabilizar, mantener el voltaje que entrega las celdas fotovoltaicas, realiza la función de cargador de baterías y realiza el aislamiento de las baterías con los paneles solares. Los principales parámetros del regulador que el fabricante proporciona para poder realizar el diseño son:

- Corriente máxima  $I_{maxReg}$
- Tensión de trabajo  $V_{NReg}$

Para encontrar la corriente máxima del regulador se utiliza la ecuación 10

$$I_{maxreg} = Npp * Icc \quad (10)$$

### Inversores

Los inversores son la última etapa del sistema fotovoltaico en esta etapa el voltaje que viene de las baterías se transforma de corriente continua en corriente alterna (DC/AC). Los parámetros del inversor que el fabricante proporciona son:

- Tensión de trabajo  $V_{Nconv}$
- Potencia instantánea  $P_{lconv}$
- Eficiencia del inversor, el fabricante entrega el rendimiento al 70%

En la tabla 10 se encuentra los valores de potencia de los equipos de telecomunicaciones, la potencia total se tiene que es 306 W, el inversor más cercano que se encuentra en el mercado es de 500W con voltaje nominal de 24V de energía continua de salida con energía de cresta de 1200W.

Equipo	Cantidad	Potencia (W)	Potencia total (W)
Computadoras de escritorio	5	50	250
Switch 8 puertos	1	8	8
Router	1	8	8
Enlace inalámbrico	1	9	9
ATA	1	1	1
Modem Vsat	1	30	30
Total		<b>106</b>	<b>306</b>

**Tabla 10** Potencia de equipo  
Fuente Elaboración propia

### Diseño

Existen tres parámetros que se deben obtener para poder realizar un buen diseño del sistema fotovoltaico, los parámetros son: Energía consumida, carga en AC/DC y la incidencia solar. Cada equipo ya sea eléctrico o electrónico va a tener una potencia de consumo, la cual es dada por el fabricante, en la tabla 11 se encuentran los valores obtenidos de potencia en Watt de los equipos de telecomunicaciones, además se encuentra el tiempo de funcionamiento que va a tener el equipo por día, con esto se obtiene la energía de consumo.

Equipo	Cantidad	Potencia (W)	Horas diarias de consumo (h)	Energía consumida Wh/día
Computador	5	50	8	2000
Switch 8 puertos	1	8	8	64
Router	1	8	8	64
Enlace inalámbrico	1	9	8	72
ATA	1	1	8	8
Modem Vsat	1	30	8	240
Energía total consumida (Wh/día)				<b>2448</b>

**Tabla 11** Cálculo de energía consumida de equipo de telecomunicaciones

Fuente: Elaboración Propia

Utilizando la ecuación 3 y con los datos obtenidos de energía consumida se puede obtener la carga AC en Ah/día, este valor se obtiene ya que es mejor realizar los cálculos con la carga porque va a ser un valor fijo evitando errores por la variación de voltaje.

$$Lac = \frac{2448 \left(\frac{Wh}{día}\right)}{24 V} = 102 \frac{Ah}{día}$$

La corriente consumida real depende de la eficiencia que tenga el convertidor DC/AC, la eficiencia de convertidor depende de la potencia consumida la mayoría de fabricantes suministra la eficiencia al 70% de su potencia nominal.

Utilizando la Ecuación 4 se calcula la carga real diaria, lo cual es la suma de la carga en DC y la carga en AC dependiendo de la eficiencia del convertidor.

$$L = 0 + \frac{102 Ah/día}{0.7} = 145.71 Ah/día$$

La incidencia solar es la cantidad de luz solar que irradia en la superficie terrestre, esta cantidad es un valor medio de la irradiación global que incide todos los días dividido por el número de días del mes, su unidad de medida es (Gdm (0), en kWh/m<sup>2</sup>×día). Este dato es proporcionado por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN). Un estudio realizado para el Sistema de Información Geográfica para las Energías Renovables en México (SIGER) muestra la irradiación solar de la República Mexicana en el cual sitúa a la Península de Yucatán en nivel promedio de 5.66-6.15 kWh/m<sup>2</sup>-día, tal como se indica en la figura 9.



**Figura 9** Radiación solar diaria promedio anual *Fuente: SIGER 2017*

### Especificaciones técnicas de los equipos del sistema fotovoltaico

En la tabla 12 se encuentra los parámetros y características que deben cumplir cada uno de los equipos que forman el sistema fotovoltaico, para que funcione entregando energía a los equipos de telecomunicaciones con una autonomía de 4 días de radiación solar nula.

Equipos del sistema fotovoltaico	Característica	Cantidad carga equipos
Carga eléctrica	3963 Wh/día	
Paneles solares	V <sub>np</sub> = 30.3 Vdc I <sub>m</sub> = 8.159 A I <sub>cc</sub> = 8.45 A	11
Baterías	V <sub>nb</sub> = 12 Vdc C <sub>n</sub> = 204 Ah P <sub>d</sub> = 0.5	20
Regulador	I <sub>máxreg</sub> = 59.15 A I <sub>minreg</sub> = 33.8 A V <sub>nreg</sub> = 24 Vdc	1
Inversor	Energía continua de 1500W y 24Vdc salida Energía de cresta de 1800W	1

**Tabla 12** Requerimientos de sistema eléctrico  
*Fuente: Elaboración Propia*

### Conclusiones

Las comunidades: Kimbila, Citilcum, Teya y Tepakán, reciben los servicios tomando la señal de la comunidad de Izamal, ya que es posible realizar enlaces inalámbricos entre comunidades, este diseño se adoptó debido a su situación geográfica.

De acuerdo al análisis del tráfico realizado, se determinó que el ancho de banda que debe ser contratado para la transmisión de los servicios de Internet y telefonía es de 256/128 up/down, como mínima capacidad para cada una de las comunidades. Las comunidades del proyecto van a tener un ancho de banda de 512/256 up/down, por lo que no afectaría el compartir su ancho de banda, manteniendo la calidad de servicio en los niveles aceptables, de acuerdo al análisis realizado.

En el diseño del sistema eléctrico se tiene algunos puntos en los cuales el diseñador debe analizar y llegar a un equilibrio, estos puntos son espacio físico y costo. Con respecto al espacio se puede tener mayor cantidad de paneles fotovoltaicos y menos baterías o se puede tener menos paneles fotovoltaicos, pero aumentando el voltaje nominal del sistema, esto implica mayor cantidad de baterías; revisando el análisis de costos se tiene que al aumentar el voltaje nominal baja un 5% el costo total del proyecto así que se toma el diseño con un voltaje nominal de 24V.

En el análisis de selección de tecnologías para este proyecto, se consideró para el acceso: Internet por medio de enlaces satelitales y un sistema inalámbrico; pero al efectuar el análisis de los costos de implementación, los dos sistemas son semejantes, con una pequeña variación del 5% como costo referencial, sin embargo, al realizar el análisis de operación y mantenimiento, en los enlaces satelitales a mediano plazo se incrementa el costo considerablemente, debido al costo por arrendamiento del espacio satelital, el valor del internet es 3 veces superior al que resultaría en un enlace inalámbrico.

Con los diseños presentados se entrega para su implementación en cada comunidad un sistema de comunicaciones que brinda los servicios de: telefonía VoIP e Internet en un centro de cómputo ubicado en la escuela de la comunidad, además se entrega un diseño del sistema fotovoltaico para la generación de energía eléctrica, la cual será utilizada en la alimentación de los equipos de cómputo.

## Referencias

ALLEGRO MICROSYSTEMS [en línea]. Allegro in the Commonwealth of Massachusetts [USA]. [citado el 10 de 01 de 2018]. Disponible en el sitio Web: <<http://www.allegromicro.com/Products/Current-Sensor-ICs/Zero-To-Fifty-Amp-Integrated-Conductor-Sensor-ICs.aspx>>.

ARIAS NAVARRO, A. Casa Rural Sostenible. Proyecto final de Carrera de la especialización en electricidad. Barcelona. Universidad de Cataluña. 2009.

ARRIBAS, L. “Electrificación rural con aerogeneradores de pequeña potencia en América Latina”, XVII Simposio Peruano de Energía Solar, Cusco, noviembre de 2010.

DIAZ N. Hedier, y DIEZ C. Fabián. Analisis, Modelado, Simulación y Validacion de un sistema de generacion de energía solar autónomo. Trabajo de grado para Ingeniero Electricista. Universidad Autónoma. Facultad de Ingeniería. 2007. Cali. 121p. Disponible en el sitio Web: <http://bdigital.uao.edu.co/handle/10614/322>

eRENOVABLE [en línea]. Historia de Energias Renovables. 2011. [citado el 19 de enero de 2018]. Disponible en el sitio Web: <http://erenovable.com/2011/04/11/historia-energia-renovable/>

Grupo de Telecomunicaciones Rurales, Pontificia Universidad Católica del Perú, “REDES INALÁMBRICAS PARA ZONAS RURALES”, primera edición, Publicado en Perú Enero del 2008

INEGI, (2009) “Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos”

JUNCA, Marco A, RIAÑO CASTELLANO, Paola A., Teléfono software IP Basado en SIP e implementado en PESQ, Pontificia Universidad Javeriana, Bogota mayo del 2005.

MURCIA, H. R. Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus Perspectivas. En: Revista de Ingeniería. Universidad de los Andes. Bogotá. No.28 (2008); p. 83-89.

SANCHEZ P. Carlos. Sistemas de Energía Solar Fotovoltaica Aplicados a Viviendas Residenciales en Entorno Urbano. Universidad Internacional de Andalucía. Andalucía. España. 2010. p.1-65. Disponible en el sitio Web: <http://dspace.unia.es/handle/10334/503>

SIGER (2017) Proyecto SIGER disponible en: <https://www.ineel.mx/detalle-de-la-nota.html?id=933>

Tricalcar, Tecnologías Inalámbricas para el desarrollo de América Latina y el Caribe, Primera versión. Julio 2007, consultado en febrero del 2018. Disponible en la URL: [http://www.wilac.net/index\\_pdf.html](http://www.wilac.net/index_pdf.html)

The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. (IEEE). (1994). IEEE Guide for the Selectio and Sizing of Batteries for Uninterruptible Power Systems. Nueva York.