



Mestrado em Engenharia Electrotécnica

Estudio de sistemas híbridos con seguimiento solar para la comunidad de Yuwints en el Oriente Ecuatoriano

Iván Alberto Coronel Villavicencio

Leiria, Septiembre de 2017



Mestrado em Engenharia Electrotécnica

Estudio de sistemas híbridos con seguimiento solar para la comunidad de Yuwints en el Oriente Ecuatoriano

Iván Alberto Coronel Villavicencio

Dissertação de Mestrado realizada sob a orientação do(a) Doutor(a) Pedro José Franco Marques, Professor(a) da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria e coorientação do(a) Doutor(a) Luis Ismael Minchala Ávila, Professor(a) da Escola de Eléctrica y Telecomunicaciones de la Universidad de Cuenca.

Leiria, Septiembre de 2017

Dedicatória

Este trabajo de tesis quiero dedicarle en especial a Dios por ayudarme en el diario caminar e iluminar mis días.

A mis padres Luis y Gloria que siempre me han apoyado en todo, gracias por su apoyo incondicional.

A mi esposa Jéssica y mi adorada hija Camila que han sido mi principal fuente de motivación.

A mis hermanos, hermanas que siempre me apoyan al igual que a todos mis compañeros de estudios, amigos que han sido un gran apoyo en este largo camino.

Agradecimientos

A mis directores de tesis Ph.D. Luis Ismael Minchala Ávila, Ph.D. Pedro José Franco Marques por su colaboración imprescindible, sabiduría, paciencia y apoyo incondicional que me han brindado en esta etapa de preparación, y poder culminar este trabajo, que Dios les pague toda la ayuda brindada y bendiga a todos sus seres queridos.

Resumo

El presente trabajo realiza el estudio de un sistema híbrido con seguimiento solar para la comunidad de Yuwints en el oriente ecuatoriano, los parámetros variables del estudio son: el recurso solar, la demanda energética horaria de las viviendas de la comunidad y el dimensionamiento adecuado de los equipos de la instalación híbrida con seguimiento solar. La propuesta plantea generar energía eléctrica mediante un sistema de seguimiento solar que permita cubrir con las necesidades energéticas de las viviendas de la comunidad, constituyéndose como la única fuente de generación de energía eléctrica.

El documento expone una revisión literaria de los principales componentes de las instalaciones fotovoltaicas aisladas y conectadas a la red, también se revisan los diferentes sistemas de seguimiento solar como los beneficios en la captación solar que prestan los diversos sistemas de seguimiento solar, un eje, dos ejes, en comparación con las instalaciones de paneles solares fijos.

Para el desarrollo se ha tomado en cuenta la demanda energética de las viviendas en base a una encuesta in-situ, se realiza un programa de optimización en el software de MATLAB con la finalidad de seleccionar grupos de viviendas hasta un determinado límite de energía y poder seleccionar el lugar de emplazamiento del sistema fotovoltaico. Con los datos de radiación y latitud, se realiza el análisis de la captación anual media de energía de los sistemas de seguimiento en comparación con una instalación fija en el software CENSOL 5.0 con el fin de analizar el sistema fotovoltaico con seguimiento más adecuado para la comunidad de estudio.

Consecuente a la elección del sistema de seguimiento, se realiza el dimensionamiento de los equipos del sistema fotovoltaico, el cálculo de la caída de tensión de cada sistema hacia las viviendas. Se realiza también un análisis comparativo en el software Homer Energy del sistema de seguimiento seleccionado con una instalación fija con los datos de la comunidad, se exhibe los resultados obtenidos de las simulaciones realizadas, y se presenta finalmente las conclusiones y recomendaciones del estudio.

Palabras-clave: Sistemas FV, sistemas de seguimiento solar, Centrosur, programación lineal, optimización.

Abstract

The present work makes the study of a hybrid system with solar tracking for the Yuwints community in eastern Ecuador, the variable parameters of the study are: the solar resource, the hourly energy demand of the community dwellings and the adequate dimensioning of the Hybrid installation equipment with solar tracking. The proposal proposes to generate electric energy by means of a solar tracking system that allows to cover with the energy needs of the houses of the community, constituting itself as the only source of electric power generation.

The document presents a literary review of the main components of photovoltaic installations isolated and connected to the network, also reviewed the different systems of solar tracking as the benefits in the solar capture that provide the various solar tracking systems, one axis, two axes, compared to fixed solar panel installations.

For the development has taken into account the energy demand of the homes based on an in-situ survey, an optimization program is carried out in MATLAB software in order to select groups of dwellings up to a certain limit of energy and power select the location of the photovoltaic system. With the radiation and latitude data, the analysis of the average annual energy collection of the monitoring systems in comparison to a fixed installation in the CENSOL 5.0 software is performed in order to analyze the photovoltaic system with the most appropriate monitoring for the community study.

Consistent with the choice of monitoring system, the equipment of the photovoltaic system is dimensioned, the calculation of the voltage drop of each system towards the dwellings. A comparative analysis is also carried out in the Homer Energy software of the selected monitoring system with a fixed installation with the community data, the results obtained from the simulations are displayed and the conclusions and recommendations of the study are finally presented.

Keywords: PV systems, solar tracking systems, Centrosur, linear programming, optimization.

Listado de figuras

Figura 1.1: Capacidad y adiciones anuales de energía solar FV, 2005-2015 [6].-----	3
Figura 2.1: Paneles solares adosados en el techo, loza y en una base en la tierra. -----	6
Figura 2.2: Células FV de Silicio Mono y Poly Cristalino [3].-----	7
Figura 2.3: Células FV de película delgada (thin-film). -----	8
Figura 2.4: Esquema de un sistema FV domiciliario: A-panel FV, B-Controlador de carga, C-Baterías, D-Inversores, E-Cargas c-a, F-Caja de conexiones. -----	9
Figura 2.5: Inversor para sistemas aislados de onda senoidal. -----	11
Figura 2.6: Sistema FV autónomo para la extracción de agua. -----	12
Figura 2.7: Esquema de un sistema FV híbrido formando una minirred: 1-Paneles FV, 2-Controlador de carga, 3-Inversores, 4-Baterías, 5-Grupo electrógeno, 6-Generador eólico. ---	13
Figura 2.8: Esquema de un sistema FV conectado a la red eléctrica convencional. -----	14
Figura 2.9: Comparación fotovoltaica convencional y con seguimiento. -----	15
Figura 2.10: Sistema de seguimiento fotovoltaico de la central solar de Amareleja. -----	16
Figura 2.11: Sistema de seguimiento solar de un eje polar.-----	17
Figura 2.12: Sistema de seguimiento de un eje azimutal. -----	17
Figura 2.13: Sistema de seguimiento de un eje horizontal.-----	18
Figura 2.14: Sistema de seguimiento de dos ejes en monoposte.-----	19
Figura 2.15: Sistema de seguimiento sobre carril.-----	19
Figura 2.16: Diseño de los hidroseguidores [16]. -----	20
Figura 2.17: Sistema de seguimiento, con mini panel para alimentación del mecanismo del seguidor.-----	21
Figura 2.18: Proyectos de Generación Eléctrica en Galápagos [18]. -----	22
Figura 2.19: Parque Solar Salinas y Tren Salinas. -----	24
Figura 2.20: Parque Solar San Antonio [19].-----	24
Figura 2.21: Parque Solar Santa Rosa [19]. -----	25
Figura 2.22: Resultados de la carga en la batería con los dos sistemas [16]. -----	28
Figura 3.1: Ubicación del cantón Taisha en el contexto provincial.-----	29
Figura 3.2: Energías renovables en el área de concesión de la Centrosur. -----	30
Figura 3.3: Emprendimiento SUWA hotel de la comunidad de Yuwints. -----	31
Figura 3.4: Sendero parroquia Macuma a la comunidad de Yuwints.-----	32
Figura 3.5: Sistema fotovoltaico en comunidades aisladas Centrosur. -----	33
Figura 3.6: Diagrama del circuito básico del sistema FV del programa Yantsa ii Etsari [23].---	33
Figura 3.7: Más del 90% de los sistemas fotovoltaicos de la comunidad de Yuwints se encuentran funcionando de manera correcta después de 2 años de operación. -----	36
Figura 3.8: Energía necesaria para cada vivienda en un día según la encuesta. -----	37
Figura 3.9: Curva de carga tanto en AC como en DC de la comunidad de Yuwints.-----	38
Figura 3.10: Comportamiento de la curva de carga de iluminación de la comunidad de Yuwints.--	38
Figura 3.11: Curva de carga de los artefactos eléctricos en AC de Yuwints. -----	39

Figura 3.12: Curva de carga diaria de la escuela en el periodo de estudios de la comunidad de Yuwints.-----	39
Figura 3.13: Curva de carga diaria del subcentro de salud.-----	40
Figura 3.14: Diagrama de flujo de la metodología a seguir para el estudio de los sistemas híbridos con seguimiento solar para la comunidad de Yuwints.-----	42
Figura 4.1: Distribución de las viviendas, escuela, centro de salud y pista de la comunidad de Yuwints según las coordenadas. -----	43
Figura 4.2: Distribución de los grupos seleccionados para la aplicación del programa de optimización.-----	44
Figura 4.3: Flujograma del programa realizado en MATLAB para la optimización. -----	45
Figura 4.4: Primera iteración del programa realizado para el grupo 2 en MATLAB, donde se agrupan tres viviendas. -----	46
Figura 4.5: Distribución de los subgrupos seleccionados mediante la aplicación del programa de optimización en todos los grupos. -----	47
Figura 4.6: Ubicación de los sitios para los distintos sistemas de seguimiento, en base a las agrupaciones del programa de optimización.-----	48
Figura 4.7: Instalación del panel solar sin seguimiento, para la latitud del lugar. -----	50
Figura 4.8: Sistema de seguimiento solar de eje horizontal, para la latitud del lugar. -----	51
Figura 4.9: Sistema de seguidor solar de eje vertical, para la latitud del lugar.-----	52
Figura 4.10: Sistema de seguidor solar en un eje inclinado, para la latitud del lugar.-----	53
Figura 4.11: Sistema de seguidor solar de dos ejes, para la latitud del lugar. -----	53
Figura 4.12: Selección de los equipos en el esquemático de Homer. -----	60
Figura 4.13: Carga total del sistema ingresada en Homer. -----	61
Figura 4.14: Datos radiación mensual ingresados en el Homer. -----	61
Figura 4.15: Sistema híbrido aislado con sistema de seguimiento solar de eje horizontal. -----	63

Listado de tablas

Tabla 2.1: Diferencias entre baterías de iones de litio y plomo ácido [11].-----	10
Tabla 2.2: Captación anual media de sistema FV fijo y con seguimiento [20].-----	25
Tabla 2.3: Resultados con sistema solar fijo [16].-----	26
Tabla 2.4: Resultados con sistema de seguimiento solar [16].-----	27
Tabla 3.1: Capacidad del sistema.-----	34
Tabla 3.2: Consumo básico por cliente del programa Yantsa ii Etsari [23].-----	34
Tabla 3.3: Valoración del consumo.-----	35
Tabla 3.4: Gastos incurridos una vez al año, mensualizado [\$ por usuario].-----	35
Tabla 3.5: Artefactos típicos de la comunidad de Yuwints.-----	37
Tabla 4.1: Agrupaciones y su demanda de energía de la comunidad de Yuwints.-----	49
Tabla 4.2: Ángulo de inclinación recomendado para instalaciones fijas [20].-----	50
Tabla 4.3: Resultados de los sistemas de seguimiento con el software CENSOL 5.0-----	54
Tabla 4.4: Límite de la caída de tensión para instalaciones fotovoltaicas [22].-----	58
Tabla 4.5: Caída de tensión para los sistemas de seguimiento.-----	59
Tabla 4.6: Datos del convertidor para la simulación en Homer.-----	62
Tabla 4.7: Datos de la batería ingresados en Homer.-----	63
Tabla 4.8: Resultados de la optimización realizado en Homer con seguimiento de eje horizontal.-----	64
Tabla 4.9: Resultados de la optimización realizado en Homer para una instalación fija.-----	64
Tabla 4.10: Resultados de la generación fotovoltaica del sistema de eje horizontal y el sistema fotovoltaico de instalación fija.-----	65
Tabla 4.11: Generación adicional de energía del sistema de seguimiento de eje horizontal en comparación a una instalación fija.-----	66

Lista de siglas

FV: Fotovoltáico.

Centrosur: Empresa Eléctrica Regional Centro Sur.

MPPT: Seguidor del punto de máxima potencia.

Thin-film: Película delgada.

CIGS: Cobre, Indio, Galio, Selenio.

CD: Corriente Directa.

CA: Corriente Alterna.

MLPEs: Module Level Power Electronics.

MEER: Ministerio de Electricidad y Energía Renovable.

BID: Banco Interamericano de Desarrollo.

GEF: Fondo Mundial del Medio Ambiente.

Entsa ii Etsari: Programa luz de nuestro sol.

GAD: Gobierno autónomo descentralizado.

FERUM: Programa de energización rural y electrificación urbano-marginal.

INDICE

Dedicat6ria-----	ii
Agradecimientos -----	iv
Resumo-----	vi
Abstract-----	viii
Listado de figuras -----	x
Listado de tablas -----	xiii
Lista de siglas-----	xv
INDICE-----	xvii
1. Cap6tulo 1 -----	1
1.1. Introducci6n -----	1
1.2. Planeamiento del problema y motivaci6n -----	3
1.3. Meta-----	4
1.4. Objetivos-----	4
1.5. Hip6tesis-----	5
2. Cap6tulo 2. REVISI6N LITERARIA -----	6
2.1. La energ6a fotovolta6ca -----	6
2.2. Componentes de un sistema fotovolta6co -----	6
2.2.1. C6lulas y m6dulos fotovolta6cos -----	7
2.2.2. Controladores de carga-----	8
2.2.3. Bater6as-----	9
2.2.4. El inversor-----	10
2.3. Clasificaci6n de los sistemas fotovolta6cos -----	12
2.3.1. Aplicaciones en zonas aisladas-----	12
2.3.2. Aplicaciones en zonas electrificadas -----	13
2.4. El seguimiento fotovolta6co -----	14
2.4.1. Tipos de seguidores solares-----	16
2.4.2. Seguidor polar de un eje-----	16
2.4.3. Seguidor de eje vertical y de azimut -----	17
2.4.4. Seguidor de eje horizontal -----	18
2.4.5. Seguidor de dos ejes -----	18
2.4.6. Seguidor de dos ejes de plataforma en monoposte-----	18
2.4.7. Seguidor de dos ejes de plataforma rotativa o carrousel -----	19
2.4.8. Seguidores solares pasivos -----	20
2.4.9. Seguidores activos-----	21
2.5. Proyectos fotovolta6cos en el Ecuador-----	22
2.5.1. Programa eurosolar -----	23
2.5.2. Consolidaci6n de las energ6as renovables en el norte amaz6nico ecuatoriano -----	23

2.5.3.	Eletrificación rural con energías renovables en zonas aisladas del Ecuador-Proyecto BID/GEF-----	23
2.5.4.	Parques solares Salinas y Tren Salinas -----	23
2.5.5.	Parques solar San Antonio, Santa Rosa-----	24
2.6.	Estudios de sistemas de seguimiento solar en el Ecuador -----	25
3.	Capítulo 3. INFORMACIÓN DE LA COMUNIDAD CASO DE ESTUDIO -----	29
3.1.	El cantón Taisha -----	29
3.2.	Las comunidades Shuar y Achuar -----	30
3.3.	Comunidad de Yuwints de la parroquia de Macuma cantón Taisha caso de estudio---	31
3.4.	Programa Yantza ii Etsari-----	32
3.5.	Determinación del consumo de energía-----	34
3.5.1.	Determinación del consumo mensual promedio por cliente por parte de la Centrosur--- -----	34
3.5.2.	Determinación de costos de operación y mantenimiento de los sistemas fotovoltaicos-- -----	35
3.6.	Visita a comunidades aisladas de la parroquia de Macuma -----	36
3.6.1	Actividades realizadas -----	36
3.6.2.	Resultados de la encuesta realizada en la comunidad de Yuwints-----	37
3.7.	Metodología del estudio de sistemas híbridos con seguimiento solar -----	40
4.	Capítulo 4. DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN DEL SISTEMA HÍBRIDO CON SEGUIMIENTO SOLAR PARA LA COMUNIDAD DE YUWINTS-----	43
4.1.	Ubicación de la comunidad de Yuwints-----	43
4.1.1.	Aplicación del programa de optimización al caso de estudio-----	44
4.2.	Análisis de los sistemas de seguimiento en el software CENSOL 5.0 -----	49
4.2.1.	Estudio en el software CENSOL 5.0 de una instalación sin seguimiento -----	49
4.2.	Estudio en el software CENSOL 5.0 con seguimiento en un eje horizontal-----	51
4.2.3	Estudio en el software CENSOL 5.0 con seguimiento en eje vertical-----	51
4.2.4.	Estudio en el software CENSOL 5.0 con seguimiento en un eje inclinado -----	52
4.2.5.	Estudio en el software CENSOL 5.0 con seguimiento en dos ejes -----	53
4.3.	Dimensionamiento del sistema de eje horizontal para la comunidad de Yuwints -----	54
4.4.	Cálculo de la caída de tensión de los sistemas de seguimiento de la comunidad -----	57
4.5.	Simulación en Homer caso de estudio-----	60
4.5.1.	Valor de la carga en Homer-----	60
4.5.2.	Recurso energético solar mensual -----	61
4.5.3.	Paneles fotovoltaicos-----	62
4.5.4.	Convertidor -----	62
4.5.5.	Baterías -----	62
4.5.6.	Simulación de los datos del sistema-----	63
5.	Capítulo 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES PARA TRABAJOS FUTUROS	67
5.1.	Conclusiones -----	67
5.2.	Recomendaciones-----	68

5.3. Trabajos futuros -----	69
Bibliografía-----	70
Anexos-----	73
Anexo 1-----	73
Anexo 2-----	74
Anexo 3-----	75
Anexo 4-----	82
Anexo 5-----	85
Anexo 6-----	88
Anexo 7-----	91
Anexo 8-----	93
Anexo 9-----	94

1. Capítulo 1

1.1. Introducción

La producción y consumo de energía juegan un papel fundamental en el desarrollo de la sociedad. Actualmente, cualquier actividad humana está ligada a diferentes fuentes de energía, ya sean renovables como no renovables. A través de la energía, el ser humano satisface muchas de sus necesidades básicas como son: alimentación, transporte, comunicación, etc.

Una de las fuentes de energía más utilizadas en la historia de la humanidad es la leña; ésta fue y continúa siendo de ayuda por la abundancia del recurso en el planeta. Fuentes de energía como los aceites vegetales, grasas de los animales, y pequeños yacimientos o filtraciones superficiales de minerales como el petróleo, asfaltos, carbón, proporcionan una gran fuente de energía útil para el beneficio del hombre.

La cantidad y calidad de la energía consumida representa un indicador del nivel de vida que posee hoy la humanidad teniendo un relevante peso la energía eléctrica y la energía mecánica.

La amenaza medioambiental por el desarrollo tecnológico puede traer consigo consecuencias negativas para el planeta ya que se explotan recursos naturales y riquezas de la tierra que en la mayoría de los casos son no renovables, como el: carbón, petróleo, bosques provocando cambios en nuestros ecosistemas que en un gran número de las veces han llegado a provocar la extinción de especies animales, vegetales y ponen en riesgo la salud de muchas personas.

La tecnología con su progreso produce una gran cantidad de desechos y residuos de todo tipo, provocando emisiones de sustancias tóxicas para el aire, agua y la tierra. Con este envenenamiento se traen consecuencias como el efecto invernadero, que produce aumentos en la temperatura de la tierra por algunos gases como el CO₂, no son tóxicas, pero sí dañinas al impedir que el calor que entra en la Tierra pueda salir, elevando así la temperatura del planeta. Existen además otros tipos de contaminación, como la acústica, la visual, etc.

Toda actividad realizada por el hombre en beneficio de su desarrollo lleva a una alteración a la naturaleza, y por si un cierto grado de contaminación, por lo que requiere

emplear tecnologías que sean más amigables con el ambiente. Una de ellas es la utilización como fuente primaria de energía el sol.

Aunque sea de forma indirecta, el sol es el origen de la mayoría de las fuentes de energía que utilizamos en la Tierra¹ y su uso es de gran relevancia debido a la existencia de muchos países tropicales los cuales poseen un alto nivel de radiación solar. Los países que se encuentran en la zona ecuatorial terrestre y cercanos a esta presentan niveles de irradiación estables a lo largo del año, presentando una característica idónea para el aprovechamiento solar², la cual podría explotarse y usarse en reemplazo de tecnologías tradicionales, para evitar la contaminación ambiental por emisiones de CO₂.

La energía solar fotovoltaica (FV) ha tenido y tendrá un continuo abaratamiento, producto de que la industria que soporta a las celdas fotovoltaicas es la misma que desarrolla los chips de semiconductores de la electrónica [1]. El éxito o fracaso de la generación eléctrica mediante energía FV vendrá determinado por su capacidad para competir en costo con otras fuentes de energía [2]. La energía FV según IRENA 2015 con una capacidad instalada a nivel mundial de 139 GW a finales de 2013, es la tercera fuente de energía, superada por la hidroeléctrica y la eólica [2]. El país pionero en la producción de energía eléctrica con fuentes renovables FV es Alemania, dejando atrás a la energía nuclear, combustibles fósiles y carbón. En el 2009 el país tenía 3800 MW de capacidad instalada y en 2015 alcanzó más de 43 GW convirtiéndose en la capacidad más alta de Europa y una de las más altas del mundo. Alemania se ha convertido en uno de los pioneros en la producción de energía eléctrica promoviendo fuertemente la generación de energía eólica, solar, biomasa y ha cerrado la mitad de sus plantas nucleares³. La figura 1.1 muestra la capacidad y adiciones anuales de energía solar FV según REN21 sobre el reporte de la situación de las energías a nivel mundial [3].

¹ <http://www.scienceinschool.org/es/2012/issue23/solar>
Última hora de acceso 02/07/2017 a las 15h41.

² K. Rutledge, M. McDaniel, D. Boudreau, T. Ramroop, S. Teng, E. Sprout, H. Costa, H. Hall, y J. Hunt, "Season", 2011.
Última hora de acceso 02/07/2017 a las 15h50.

³ <https://energialimpiaparatodos.com/2016/11/30/fsprndxc-jmtmwz/>
Última hora de acceso 02/07/2017 a las 16h30.

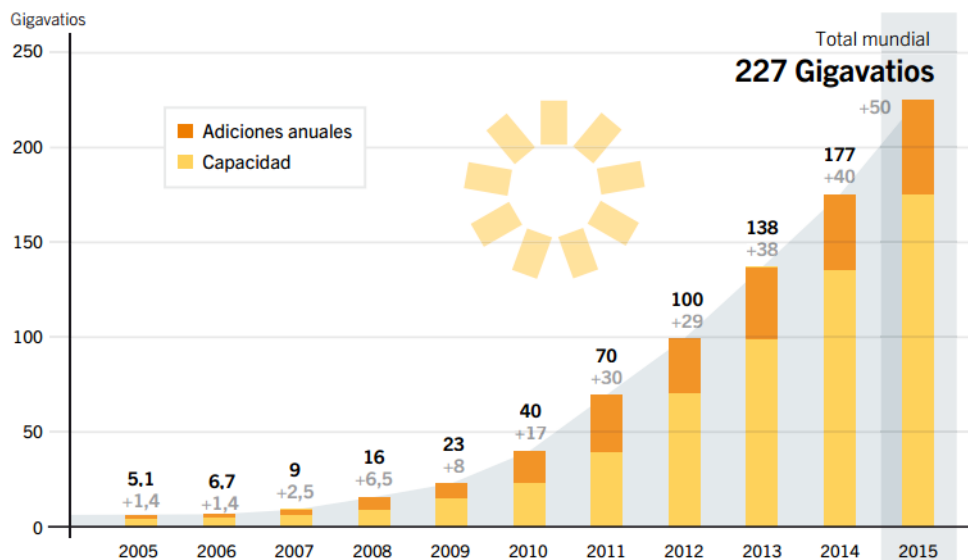


Figura 1.1: Capacidad y adiciones anuales de energía solar FV, 2005-2015 [6].

La energía FV está presente a lo largo y ancho de nuestra región, ésta puede ser captada por igual en la ciudad, en los campos, en los lugares montañosos, en la región insular y en lugares de difícil acceso. La energía FV permite brindar confort y comunicación a las poblaciones alejadas y aisladas de las redes eléctricas de centros urbanos y con ello se reduce la migración del campo a la ciudad [2], potenciando el comercio entre los pueblos y contribuyendo con la equidad entre los habitantes.

1.2. Planeamiento del problema y motivación

El creciente deterioro del medio ambiente por el desarrollo industrial a causa de las emisiones del dióxido de carbono, un gas que contribuye a aumentar el efecto invernadero ha llevado a encontrar soluciones energéticas que sean amigables con el medioambiente. La energía solar FV se plantea como una solución, es por ello que muchos gobiernos están invirtiendo en su uso.

El Ecuador es un país que posee muchos lugares para la explotación de las energías no convencionales, la explotación de estas energías, son fundamentales para el adecuado desenvolvimiento de las actividades productivas del Ecuador [4]. La participación de generación hidroeléctrica, la inserción paulatina a mediano y largo plazo de otros recursos renovables tales como: energía solar, eólica, geotérmica y biomasa.

La incorporación de esta nueva capacidad de generación requiere el desarrollo paralelo del sistema de transmisión, distribución con niveles razonables de confiabilidad y seguridad permitiendo la incorporación al sistema nacional, de regiones del país que

permanecen aún aisladas o bien cuyas demandas no pueden ser satisfechas en su totalidad [5].

La energía eléctrica, es la herramienta que requiere la población para el desarrollo de sus actividades productivas y mejoramiento de su calidad de vida, atendiendo sus necesidades de comunicación, alumbrado y principalmente para el desarrollo de sus actividades agropecuarias, artesanales, comerciales e industriales. En el Ecuador existen zonas aún no servidas ubicadas especialmente en la Amazonía e incluso en la provincia de Pichincha. El difícil acceso a zonas rurales que se encuentran aisladas de la red de distribución de energía eléctrica, especialmente en la región amazónica ha llevado a plantear un estudio de un sistema híbrido de generación fotovoltaica con seguimiento solar, que contribuya a captar en mayor proporción el recurso solar y a la generación de energía eléctrica para el beneficio directo de los habitantes de una comunidad en estudio.

1.3. Meta

La meta de este trabajo de tesis consiste en realizar un estudio para un sistema de generación híbrida fotovoltaica con seguimiento solar que sirva para abastecer las necesidades energéticas de las viviendas de una comunidad en el oriente ecuatoriano. Para cumplir esta meta se propone realizar un programa de optimización con el fin de agrupar a las viviendas que se encuentren dentro de un rango de energía, la información de las necesidades de energía de la comunidad en estudio se las obtendrá de encuestas realizadas en el lugar y de los sistemas FV autónomos de la región Amazónica instalados por la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A. (Centrosur), además se realizará un análisis de la generación de energía de una instalación FV fija en comparación con las instalaciones solares con seguimiento y la selección del sistemas de seguimiento solar para la comunidad en estudio. Finalmente por medio del software Homer Energy se analizará el dimensionamiento de los equipos más adecuados del sistema de seguimiento solar que el software proporciona, optimizando los recursos tanto naturales como económicos.

1.4. Objetivos

Alcanzar la meta establecida en la sección 1.3, por lo que se tienen que realizar los siguientes objetivos particulares:

- Obtener los perfiles de carga para el análisis de los sistemas de la comunidad en estudio (carga mediana, pequeña y grande).

- Obtener datos de radiación, energía producida de una comunidad de la Amazonía con el propósito de analizar la viabilidad de un proyecto de seguimiento solar.
- Alcanzar un resultado mediante un algoritmo de optimización como el software Homer Energy para el diseño técnico económico de los equipos de generación FV.
- Obtener un resultado de factibilidad técnico en el estudio de un sistema fotovoltaico, indicando que tipo de seguimiento es el más adecuado para el caso de los paneles de la Centrosur.

1.5. Hipótesis

Las tecnologías de seguimiento solar son cada vez más usadas en muchos países del mundo, éstas tecnologías en el Ecuador mejorarán la captación de la energía solar para conseguir mayor ganancia de energía en comparación a las instalaciones de paneles fijos.

Los sistemas de dos ejes son estructuras que consiguen aprovechar en mayor porcentaje la radiación solar según estudios realizados en distintas latitudes [6]. En el Ecuador un sistema de dos ejes tendrá una diferencia significativa en la generación de energía eléctrica en comparación con las instalaciones de seguimiento de un eje (horizontal, vertical e inclinado) y una fija.

La tesis también pretende responder las siguientes inquietudes.

- ¿Los sistemas de seguimiento solar de bajo costo serán de gran utilidad para cubrir la demanda de energía en comunidades aisladas?
- ¿Los sistemas de seguimiento solar de un eje serán bastos para conseguir un adecuado mejoramiento en la eficiencia de los sistemas fotovoltaicos en el Ecuador?
- ¿La radiación solar en el país es adecuada para la producción de energía eléctrica en gran escala como son las centrales solares?

2. Capítulo 2. REVISIÓN LITERARIA

En este capítulo se revisan los fundamentos teóricos principales de los sistemas solares fotovoltaicos, sus principales componentes, como a su vez los tipos de sistemas de seguimiento solar que se encuentran en uso en las distintas regiones del planeta.

2.1. La energía fotovoltaica

La utilización de energía solar para la producción de electricidad se remonta a las últimas dos décadas y ha demostrado ser una tecnología madura, fiable y eficiente [7]. Los sistemas FV utilizan la energía solar para generar energía eléctrica, la mayoría de las instalaciones se encuentran adosadas en bases inamovibles de techos, lozas o en una base en la tierra, en la figura 2.1 se muestra algunos de los casos más usuales de los paneles solares fijos.



Figura 2.1: Paneles solares adosados en el techo, loza y en una base en la tierra.⁴

2.2. Componentes de un sistema fotovoltaico

Los sistemas FV se caracterizan por estar constituidos generalmente por un bloque generador (paneles), un bloque de acondicionamiento de potencia y opcionalmente un bloque de almacenamiento. En el bloque generador se encuentran los arreglos de paneles o módulos FV, estos módulos se encuentran en diferentes asociaciones serie o paralelo de acuerdo al cableado eléctrico que los interconecta, el bloque de acondicionamiento de potencia puede tener convertidores de cc-cc, seguidor del punto de máxima potencia (MPPT), inversores, controladores de carga (si el sistema FV tuviera almacenamiento), y otros dispositivos de protección, supervisión y control. El bloque de almacenamiento se encuentra constituido por los acumuladores eléctricos (baterías) [8].

⁴ <http://termicalia.com/preguntas-frecuentes-dudas-eneriga-solar/>
Último acceso 7/05/2017 a las 22:04

2.2.1. Células y módulos fotovoltaicos

Una célula fotovoltaica es principalmente una combinación organizada de materiales semiconductores. Los semiconductores pueden emitir electrones cuando golpean con suficiente energía los fotones sobre la superficie del semiconductor [9].

Las células fotovoltaicas individuales están interconectadas para formar un módulo fotovoltaico. Un sistema FV está alimentado por muchos módulos fotovoltaicos de película fina o cristalina, estas toman la forma de un panel para su fácil instalación [3].

Las formas de procesar el Silicio definen el tipo de panel en mono-cristalinos, poli-cristalinos y amorfos, la figura 2.2 muestra a estos tipos de panel. Existen otros tipos de paneles que están revolucionando la generación eléctrica fotovoltaica, tipos de células solares de forma esférica de tamaño pequeño entre 1 y 1,5 mm de diámetro, están en desarrollo, estos consisten en una matriz de células solares esféricas capaces de absorber la radiación solar con cualquier ángulo, con la que se aprovecha tanto la radiación reflejada como la difusa.⁵

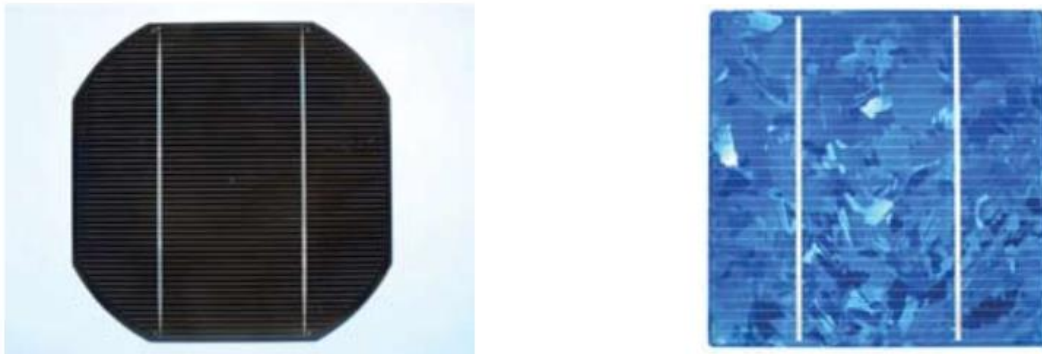


Figura 2.2: Células FV de Silicio Mono y Poly Cristalino [3].

La figura 2.3 muestra un panel FV de película delgada (thin-film) que consiste en módulos de película delgada, los que no están hechos a base de células de silicio convencionales, se basan en CIGS (Cobre Indio Galio Selenio) incrustadas en un soporte flexible ligero y aptas para colocarse sobre los tejados, fachadas de edificios, ventanas, teléfonos móviles, ordenadores portátiles y coches.⁵

⁵ <http://www.energiza.org/solar-fotovoltaica/22-solar-fotovoltaica/627-paneles-fotovoltaicos-concepto-y-tipos>
Última hora de acceso 09/05/2017 a las 9:51



Figura 2.3: Células FV de película delgada (thin-film).⁶

2.2.2. Controladores de carga

Un panel solar fotovoltaico genera energía eléctrica de la luz solar incidente, sin embargo, como la luz del sol varía durante el día, el voltaje de salida varía. Así, para obtener una tensión de la carga, la energía generada por el panel tiene que ser almacenada en una batería, lo que permitirá el drenaje por la carga a un voltaje razonablemente constante. Esto implica que la batería debe cargarse desde el panel FV [10]. Por lo que la función del controlador de carga es el de proteger a la batería ó al banco de baterías de cargas y descargas excesivas asegurando la vida larga de la batería.

Los controladores de carga son componentes críticos en los sistemas FV aislados, en el caso de que el controlador falle, la batería puede sufrir daños, ya que no se tendría el control de las cargas y descargas. En la figura 2.4 se muestra un esquema de un sistema FV domiciliario.

El controlador es considerado indispensable en los sistemas FV, permitiendo el dimensionamiento del banco de baterías y su cargamento, la desconexión en el caso de un bajo estado de carga y protección contra un elevado consumo. El controlador debe desconectar el generador FV cuando la batería llegue a plena carga y cuando el estado de carga de la batería llegue a un valor mínimo de seguridad.

⁶ <https://spanish.alibaba.com/p-detail/high-performance-thin-film-sunpower-mono-cells-100w-solar-pv-panel-systems-semi-flexible-solar-panel-60577747444.htm>
Última hora de acceso 09/05/2017 a las 10:06

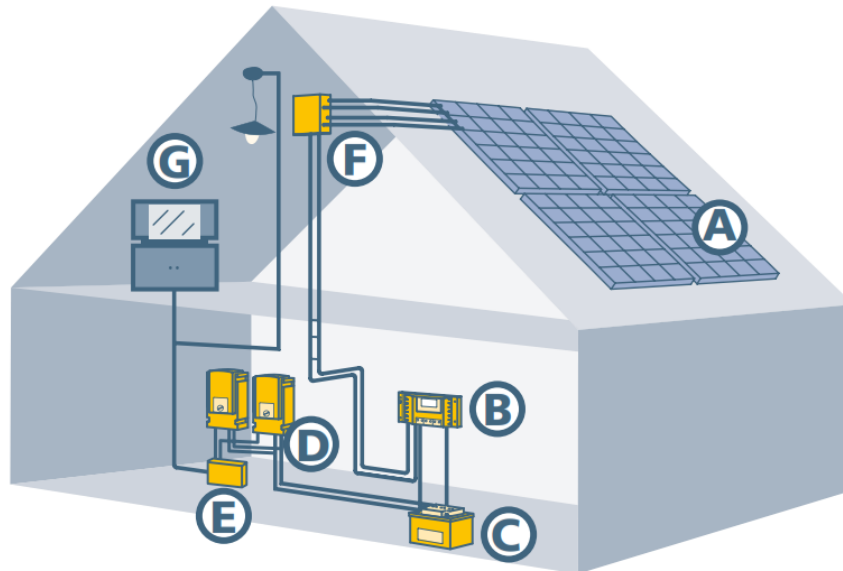


Figura 2.4: Esquema de un sistema FV domiciliario: A-panel FV, B-Controlador de carga, C-Baterías, D-Inversores, E-Cargas c-a, F-Caja de conexiones.⁷

La estrategia de control adoptada por los fabricantes en los controladores a la hora de conectar y desconectar los paneles de la batería, los distinguen unos de otros, el control más utilizado es la interacción del flujo de corriente en la batería, tensión, y la densidad del electrolítico en la batería.

2.2.3. Baterías

La función de las baterías en un sistema de generación fotovoltaico es la de acumular la energía que produce el panel FV durante las horas de luminosidad, para poder ser utilizada en la noche o durante periodos de mal tiempo. Las baterías también proveen una intensidad de corriente superior a la que el dispositivo fotovoltaico puede entregar.

Los tipos de baterías más comúnmente usadas para el almacenamiento de energía solar fotovoltaica en el hogar son las baterías de iones de litio y plomo-ácido.

Las baterías que generalmente se usan con los sistemas FV son las de plomo ácido y se pueden encontrar en los rangos de tensión de 6, 12, 24, 36, 48 Vcc.

La tabla 2.1 muestra algunas características principales y diferencias entre las baterías de iones de litio y las baterías de plomo-ácido:

⁷ Steca_PV_off_Grid_ENproduct_catalogue
Última hora de acceso 09/05/2017 a las 10:10

Tabla 2.1: Diferencias entre baterías de iones de litio y plomo ácido [11].

Baterías de iones de litio	Baterías de plomo ácido
(Comúnmente encontrados en dispositivos electrónicos como laptops y teléfonos móviles)	(Utilizado en automóviles)
• Más caras	• Más baratas
• Cada vez más usados en sistemas FV	• Usado típicamente para instalaciones aisladas
• Requiere un controlador integrado, que gestiona la carga / descarga	• Más pesadas y más grandes
• Más eficiente	• Necesita una buena rutina de carga y descarga para mantener la batería
• Puede descargar más energía almacenada	• Menos eficiente
• Mayor vida útil	• Menor vida útil

La duración de vida útil de una batería depende de la tecnología y de la forma en que se utilice la batería entre la carga y descarga, los fabricantes generalmente dan una vida útil esperada en años y / o en "ciclos de carga-descarga" [11].

Las baterías de plomo ácido además tienen las siguientes características:⁸

- Tienen la capacidad de recargarse.
- La capacidad de un banco de baterías depende de la cantidad de baterías conectadas en paralelo a un voltaje dado.
- Se pueden someter a descargas por tiempos prolongados.
- Pueden ser descargadas del 15% al 25% de su capacidad.

2.2.4. El inversor

La energía generada por los sistemas FV, requieren de inversores que tienen la función de transformar la corriente continua generada por el panel o suministrada por la batería a corriente alterna (CD/CA), los inversores deben admitir las variaciones de voltaje y potencia que entrega el panel, producto de las variaciones de la radiación solar. En los sistemas FV generalmente se encuentran dos tipos de cargas, en corriente continua y en corriente alterna.

Existen tres tipos de inversores, se clasifican por el tipo de onda en su salida, como onda cuadrada, cuasisenoidal y senoidal. La onda de tensión más favorable, es la de salida

⁸ <http://eliseosebastian.com/baterias-para-paneles-solares-fotovoltaicos-2/>
Última hora de acceso 17/07/2017 a las 17:43

senoidal ya que las otras pueden generar mal funcionamiento en los artefactos como computadores, impresoras y equipos de comunicación [12].

Para instalaciones de autoconsumo residencial se usan tres tipos de inversores solares, string o en cadena, microinversores y optimizadores de potencia, en cambio para aplicaciones industriales a los microinversores y optimizadores de potencia se les conoce como dispositivos de electrónica de potencia a nivel de módulo o MLPEs (Module Level Power Electronics). La figura 2.5 muestra un inversor de onda senoidal de una instalación solar fotovoltaica.



Figura 2.5: Inversor para sistemas aislados de onda senoidal. ⁹

Los inversores string captan tanta electricidad como el panel menos eficiente del ramal, es decir, si un único panel del ramal se ve afectado por una sombra a cualquier hora del día o de forma estacionaria, la potencia entera del ramal se ve reducida a la potencia del panel que se encuentra en la zona sombreada. Por lo que, el inversor string no es recomendado cuando los paneles se ven afectados por sombras. ¹⁰

Los microinversores son usados en sistemas de autoconsumo residencial, estos son instalados en cada panel FV individual ó situarse próximo a éste, su principal ventaja que presenta en comparación con los string es el impacto de las sombras y se puede realizar el monitoreo del panel al que está instalado.

Los optimizadores de potencia generalmente vienen integrados en los paneles FV y siguen el MPPT y son convertidores de corriente continua a corriente continua cuya función es modificar el punto de funcionamiento de la curva I-V (Intensidad-Tensión) de los paneles

⁹ <http://www.solaricashop.com/off-grid-inverters/studer/studer-sinus-inverter-aj275-12.html>
Última hora de acceso 14/07/2017 a las 14:34

¹⁰ <https://www.sotysolar.es/academy/inversor-energia-solar-fotovoltaica-que-son-que-tipos-existen>
Última hora de acceso 14/07/2017 a las 15:03

que reciben sombras y se los considera un complemento de los microinversores y de los inversores en string.

2.3. Clasificación de los sistemas fotovoltaicos

Los sistemas FV se clasifican atendiendo a diferentes usos, estos son:

2.3.1. Aplicaciones en zonas aisladas

Las aplicaciones en zonas aisladas son caracterizadas por trabajar en régimen autónoma alimentando cargas de manera aislada e independiente, sin conexión a la red eléctrica. Los sistemas autónomos presentan las características de cubrir necesidades energéticas relativamente bajas y de adaptarse muy bien a cualquier tipo de aplicación.

En la figura 2.6 se muestra un sistema autónomo, en el que el panel suministra energía a una bomba para la extracción de agua.



Figura 2.6: Sistema FV autónomo para la extracción de agua.¹¹

Los sistemas híbridos se caracterizan porque en sus instalaciones a más del panel FV existe otras fuentes de suministro de energía eléctrica como un aerogenerador, un generador electrógeno, éste puede ser a diesel o a gasolina. El propósito de un sistema híbrido es de dotar de energía eléctrica a las instalaciones garantizando el suministro de energía de manera permanente, la figura 2.7 muestra un sistema híbrido de una minirred compuesta por un aerogenerador, un grupo electrógeno y paneles FV.

¹¹ <http://pinsafuturosolar.com/index.php?p=servicios>
Última hora de acceso 15/05/2017 a las 14:59

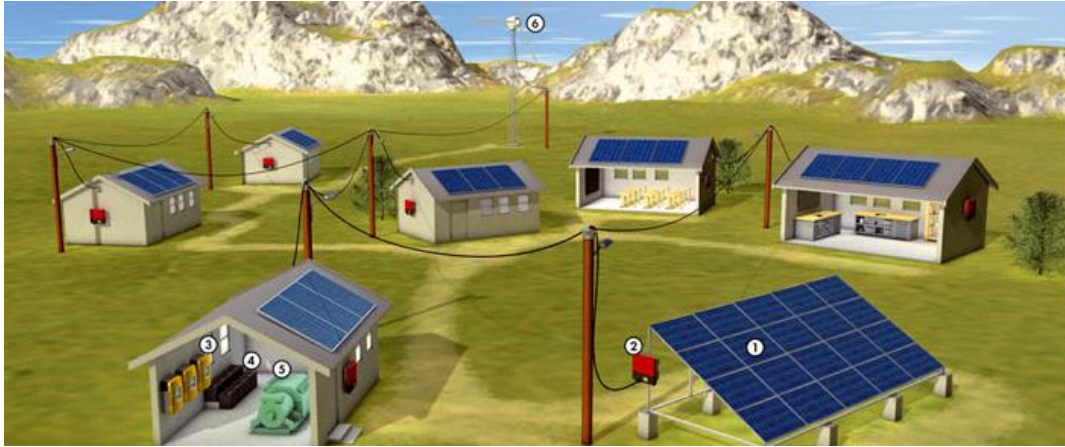


Figura 2.7: Esquema de un sistema FV híbrido formando una minired: 1-Paneles FV, 2-Controlador de carga, 3-Inversores, 4-Baterías, 5-Grupo electrógeno, 6-Generador eólico.¹²

2.3.2. Aplicaciones en zonas electrificadas

Los sistemas FV conectados a la red eléctrica operan en paralelo con la red eléctrica convencional, en el momento en que los paneles FV generen más energía de la que necesita la instalación, éste excedente de energía es suministrado a la red ó almacenado en baterías, ó al contrario si la generación eléctrica de los paneles FV, no es suficiente para cubrir con la demanda de energía de la instalación, la red convencional cubrirá la demanda de energía que necesita la instalación. La energía inyectada hacia la red, como la recibida por la red convencional, es contabilizada por un contador de energía eléctrica de doble sentido.

Una de las ventajas de este sistema es que se necesitan menos componentes, ya que no requiere de las baterías para el almacenamiento de la energía sobrante, por lo que resultan más económicos.¹³ La figura 2.8 muestra una instalación conectada a la red de distribución de energía eléctrica, en la que se puede observar claramente el contador de energía de doble sentido.

¹² <http://www.solarta.com/es/instalaciones-energia-solar/solar-fotovoltaica/esquemas-sistemas-solar-fotovoltaica.php>

Última hora de acceso 15/05/2017 a las 17:36

¹³ <http://www.sitiosolar.com/el-autoconsumo-fotovoltaico-inyectado-a-red/>

Última hora de acceso 15/05/2017 a las 18:39

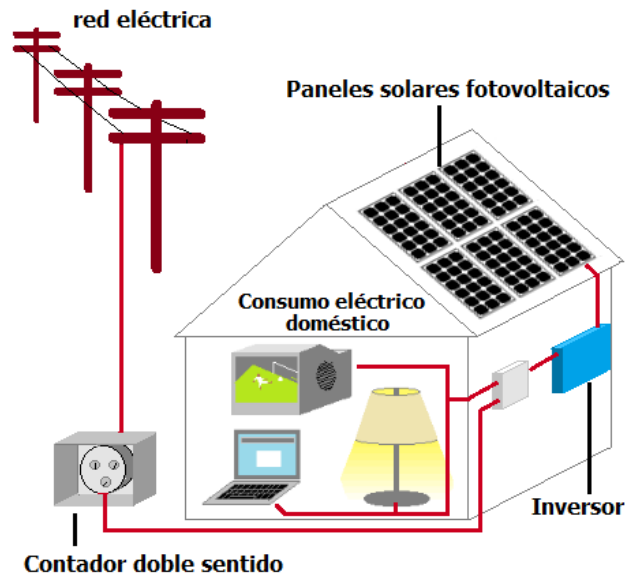


Figura 2.8: Esquema de un sistema FV conectado a la red eléctrica convencional.¹⁴

2.4. El seguimiento fotovoltaico

El seguidor solar es una estructura o un aparato tecnológico con la suficiente capacidad de orientarse con el sol desde el amanecer hasta la puesta del sol de manera que se puede aprovechar el máximo rendimiento del panel FV. Un diseño de seguimiento solar puede aumentar el rendimiento energético hasta un 40% durante el año en comparación con el diseño de un conjunto fijo [13], la figura 2.9 muestra la ganancia de una instalación con seguimiento solar y otra fija. Las instalaciones fotovoltaicas se deben diseñar para que aprovechen de mejor manera la radiación solar, aprovechando de forma más óptima la luz solar ya que la tierra se mueve alrededor del sol, el seguimiento aumenta el rendimiento energético en comparación con las instalaciones fijas.

El seguimiento de un eje sólo afecta a un ángulo, por lo que este tipo de seguidor presenta sus mejores condiciones si el eje es paralelo al eje de la tierra, este tipo de seguimiento se realiza de este a oeste, es decir desde el amanecer hasta la puesta del sol.

¹⁴ <http://www.sitiosolar.com/el-autoconsumo-fotovoltaico-inyectado-a-red/>
Última hora de acceso 15/05/2017 a las 18:39

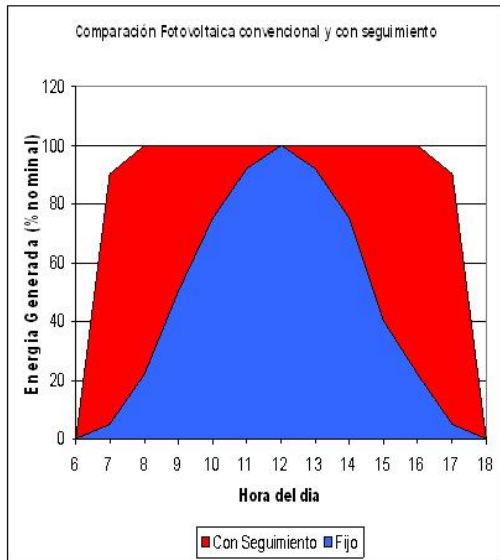


Figura 2.9: Comparación fotovoltaica convencional y con seguimiento.¹⁵

El seguimiento de dos ejes permite hacer el seguimiento del sol con mayor precisión en comparación con los seguidores de un eje y de las instalaciones de inclinación óptima, en el seguimiento de dos ejes generalmente se usan dos motores de accionamiento lineal, que siguen al sol de este a oeste en el día y de norte a sur en caso de las estaciones del año. Los seguidores solares minimizan el ángulo de incidencia de la radiación directa en su superficie, es decir tienen la función de captar los rayos solares lo más perpendicular posible aumentando el rendimiento del panel.

La figura 2.10 muestra un seguidor solar con orientación azimutal de la central solar de Amareleja (Portugal), programada para acompañar automáticamente la trayectoria del sol en el horizonte en cada día del año y de ese modo optimizar la producción de energía.¹⁶

¹⁵ <http://www.madrimasd.org/blogs/energiasalternativas/2008/10/08/102931>

Última hora de acceso 17/05/2017 a las 22:38

¹⁶ https://www.sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2015-04-26_12-53-25120484.pdf

Última hora de acceso 16/05/2017 a las 23:51



Figura 2.10: Sistema de seguimiento fotovoltaico de la central solar de Amareleja.

2.4.1. Tipos de seguidores solares

Existen muchos tipos de estructuras tecnológicas de seguimiento solar, se los clasifica de acuerdo a la forma de la captación solar, el seguimiento lo pueden realizar en un eje, se encuentran en el mercado los siguientes tipos:

- En un eje polar
- En un eje azimutal
- En un eje horizontal

2.4.2. Seguidor polar de un eje

Este tipo de seguimiento es capaz de generar hasta un 30% más de energía que los sistemas de estructura fija sobre suelo.¹⁷

El seguidor polar gira sobre un eje orientado norte sur e inclinado con un ángulo igual a la latitud del lugar. El giro se ajusta para que la normal a la superficie coincida en todo momento con el meridiano terrestre que contiene al Sol. La velocidad de giro es de 15° por hora, como la del reloj,¹⁷ la figura 2.11 muestra un sistema de seguimiento de esta característica.

¹⁷ http://mecasolar.com/_bin/ventajas_tecnologicas_1_eje_polar.php
Última hora de acceso 16/05/2017 a las 23:55

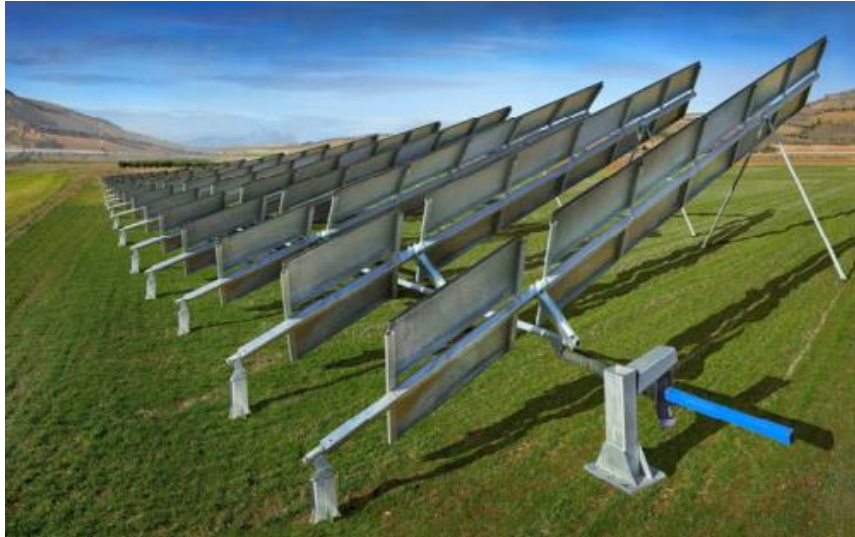


Figura 2.11: Sistema de seguimiento solar de un eje polar.¹⁸

2.4.3. Seguidor de eje vertical y de azimut

La figura 2.12 muestra un seguidor de eje azimutal, en la que la superficie gira sobre un eje vertical, el ángulo de la superficie es constante e igual a la latitud de la localidad. El giro se ajusta para que la normal a la superficie coincida en todo momento con el meridiano local que contiene al sol. La velocidad de giro es variable a lo largo del día.¹⁷



Figura 2.12: Sistema de seguimiento de un eje azimutal.¹⁹

¹⁸ <http://www.grupoclavijo.es/es/renovables/seguidores-solares/seguidores-solares-de-1-eje-polar>
Última hora de acceso 17/05/2017 a las 8:21

¹⁹ <http://degeriberica.com/>
Última hora de acceso 16/05/2017 a las 23:57

2.4.4. Seguidor de eje horizontal

Los seguidores de eje horizontal son estructuras con capacidad de generar hasta 30% de energía más que los sistemas de estructura fija sobre el suelo, dependiendo de la latitud de la instalación [14].

Este tipo de seguidores giran sobre un eje horizontal norte sur, los módulos se encuentran colocados de manera paralela al eje de giro [15], la figura 2.13 muestra una planta solar con seguimiento de eje horizontal.



Figura 2.13: Sistema de seguimiento de un eje horizontal.²⁰

2.4.5. Seguidor de dos ejes

Los seguidores de dos ejes se los puede encontrar en los siguientes tipos:

- Plataforma en monoposte
- Plataforma en carrousel ó carril

2.4.6. Seguidor de dos ejes de plataforma en monoposte

El seguidor en monoposte posee un solo apoyo central, la tecnología para el tipo de seguimiento depende de la empresa que lo construye, la figura 2.14 muestra un seguidor de esta característica.

²⁰ http://mecasolar.com/_bin/noticia.php?anno=2012
Última hora de acceso 17/05/2017 a las 08:35



Figura 2.14: Sistema de seguimiento de dos ejes en monoposte.²¹

2.4.7. Seguidor de dos ejes de plataforma rotativa o carousel

Comprende de una estructura fija instalada sobre una estructura rotativa circular controlada en un carril, caracterizado porque el giro de la plataforma móvil, en azimut, se consigue mediante un motorreductor acoplado a una de las ruedas, el cual hace girar a la plataforma móvil hasta un ángulo de aproximadamente 210° en un tiempo de aproximadamente catorce horas, desde la salida del sol hasta el ocaso, retornando por la noche a la posición primitiva para quedar dispuesto a iniciar otro ciclo²², la figura 2.15 muestra una imagen de este sistema.



Figura 2.15: Sistema de seguimiento sobre carril.²³

²¹ <https://www.yumpu.com/en/document/view/4740977/solar-tracker-single-axis-imo>
Última hora de acceso 17/05/2017 a las 09:43

²² <http://patentados.com/patente/seguidor-solar-para-central-electrica-fotovoltaica/>
Última hora de acceso 17/05/2017 a las 0:09

²³ <http://www.solener.com/seguidores.html>
Última hora de acceso 17/05/2017 a las 20:43

2.4.8. Seguidores solares pasivos

Los seguidores solares pasivos son aquellos que realizan su movimiento para orientarse con el sol sin la utilización de energía eléctrica y poseen un eje de rotación.

Existen algunas tecnologías de este tipo desarrolladas por centros investigativos, empresas relacionadas al área de las energías renovables con paneles FV, y universidades. Un seguidor de este tipo es descrito y desarrollado en una tesis de la Universidad de Cuenca con el nombre de Evaluación de Sistemas Fotovoltáicos con Hidroseguidores [16].

Los hidroseguidores son amplificadores hidráulicos con autocontrol del seguimiento del sol, accionados por la energía de la gravedad durante la descarga y carga libre de agua. Los hidroseguidores están formados por dos recipientes (de área de sección transversal constante para toda altura) con un flotador con carga en cada uno de ellos. El hidroseguidor en la posición más alta, durante la descarga arrastra y controla en su descenso al flotador con carga a una velocidad v constante, el cual hace que el módulo solar adaptado a este seguidor consiga un movimiento sincrónico con el sol, el otro hidroseguidor de iguales proporciones que el primero, ubicado a menor altura, recibe por gravedad el agua del primer recipiente y controla en su ascenso al flotador con carga a igual velocidad v constante. Los flotadores accionan a un sistema mecánico de transmisión para lograr el movimiento sincrónico con el sol de los módulos solares [16].

La figura 2.16 muestra un esquema del sistema de seguimiento con hidroseguidores.

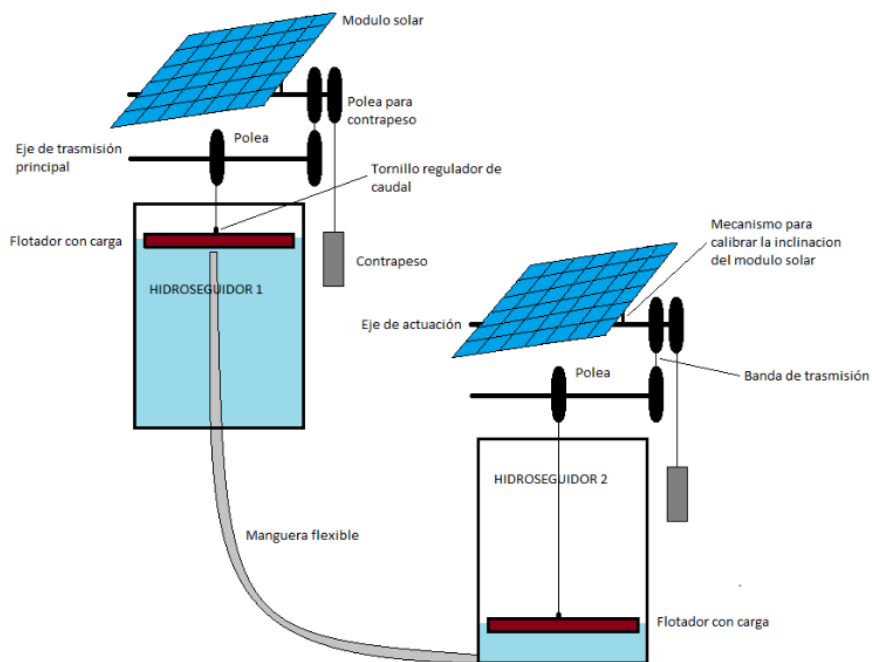


Figura 2.16: Diseño de los hidroseguidores [16].

2.4.9. Seguidores activos

Los seguidores activos utilizan motores que consumen energía eléctrica para realizar el movimiento del panel ó paneles FV, el tipo de seguimiento que pueden hacer es el de un eje, dos ejes. Existen una serie mecanismos para el movimiento sincrónico con el sol, una de ellas es el uso de motores lineales que generalmente son alimentados por pequeños paneles FV independiente del panel principal, la figura 2.17 muestra un seguidor de esta característica.

En el caso de los huertos solares el uso de motores para el seguimiento solar es muy usado ya que la energía generada es muy superior a la energía consumida por los motores.



Figura 2.17: Sistema de seguimiento, con mini panel para alimentación del mecanismo del seguidor.²⁴

²⁴ http://www.sc.ehu.es/sbweb/energias-renovables/laboratorios/laboratorio_2.html
Última hora de acceso 19/05/2017 a las 19:33

2.5. Proyectos fotovoltaicos en el Ecuador

En el Ecuador existen proyectos de electrificación mediante sistemas FV, las instalaciones más representativas se encuentran en las islas Galápagos con la iniciativa del programa cero combustibles fósiles, la isla Baltra cuenta con una instalación de 200 kWp, en puerto Ayora de 1,5 MWp y en la isla Isabela de 0.927 MWp. La figura 2.18 muestra la iniciativa del proyecto cero combustibles fósiles [17].

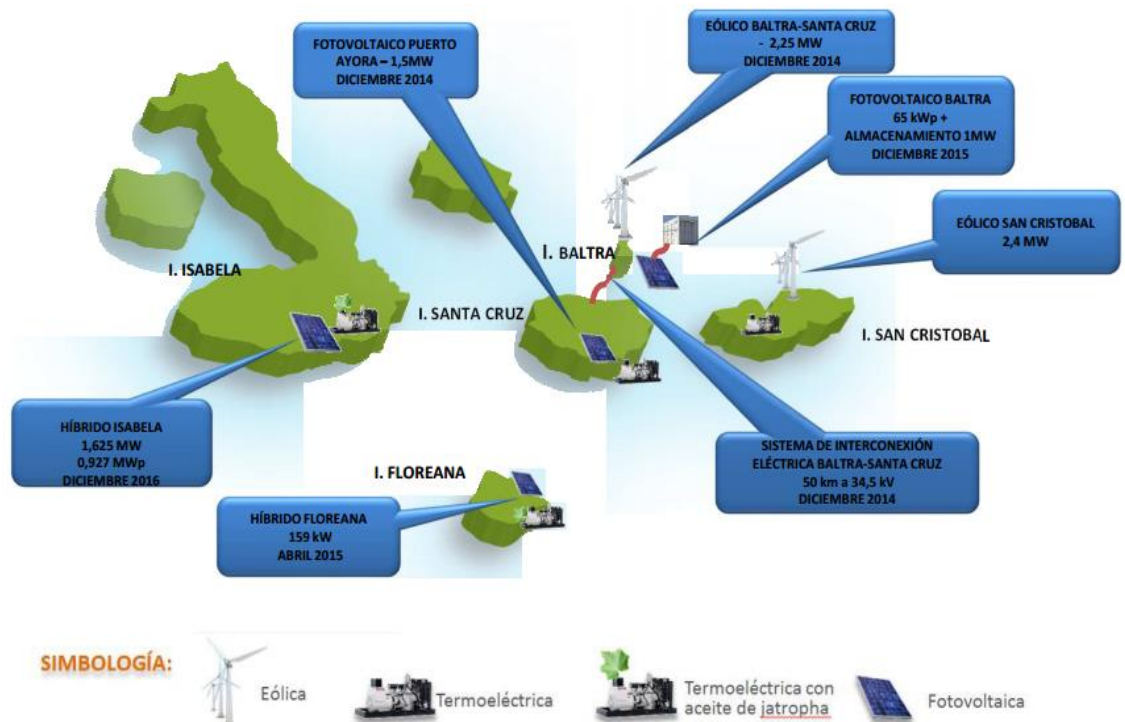


Figura 2.18: Proyectos de Generación Eléctrica en Galápagos [18].

El Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER) promueve la gestión de proyectos de electrificación rural con energías renovables con el objetivo de incrementar la cobertura del servicio eléctrico en localidades remotas del país. Existen diversos programas de electrificación rural que se han llevado a cabo en el país entre ellas se encuentran:

- Programa Eurosolar.
- Consolidación de las Energías renovables en el Norte Amazónico Ecuatoriano.
- Fortalecimiento de la Unidad de Energía Renovable en la EEASA.
- Observatorio de Energía Renovable en Morona Santiago.

- Electrificación Rural con Energías Renovables en Zonas Aisladas del Ecuador – Proyecto BID/GEF.

2.5.1. Programa eurosolar

El programa Eurosolar promueve el uso de energías renovables, este proyecto beneficia a 39629 habitantes de 7 provincias que son: Guayas Esmeraldas, Sucumbíos, Orellana, Napo, Pastaza y Morona Santiago. El programa ha mejorado la calidad de vida de 91 comunidades beneficiarias en las que se ha incluido acceso a servicios de telecomunicaciones, salud y educación.

2.5.2. Consolidación de las energías renovables en el norte amazónico ecuatoriano

El proyecto está dirigido a las Provincias de Orellana y Sucumbíos, los cantones beneficiados de este programa son: Cascales, Cuyabeno, Gonzalo Pizarro, Lago Agrio, Putumayo, Shushufindi, Sucumbíos y Orellana.

2.5.3. Eletrificación rural con energías renovables en zonas aisladas del Ecuador- Proyecto BID/GEF

El MEER cuenta con socios estratégicos como es el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) quién logró un financiamiento no reembolsable por parte del Fondo Mundial del Ambiente-GEF, éste proyecto incrementará el acceso sostenible a la electricidad en comunidades rurales aisladas a través de sistemas domiciliarios o microrredes alimentados con energías renovables principalmente por energía solar en las provincias de la región Amazónica, principalmente en la provincia de Morona Santiago, ya que su población se caracteriza por ser mayoritariamente de la zona rural en un 66%.

2.5.4. Parques solares Salinas y Tren Salinas

El parque se encuentra en la provincia de Imbabura con una capacidad de 3,6 MW dividida en dos proyectos, el primero de 2,4 MW en un área de cuatro hectáreas en Salinas de Ibarra y el segundo de 1,2 MW en un terreno de dos hectáreas en Tren de Salinas la irradiación del lugar es de 5,1 kWh*m² día, la producción de energía de la planta en su totalidad es de 5400000 kWh al año con lo que se obtiene una reducción de 3724 toneladas

métricas de CO₂.²⁵ La figura 2.19 muestra la instalación del parque y algunas especificaciones técnicas de la instalación.

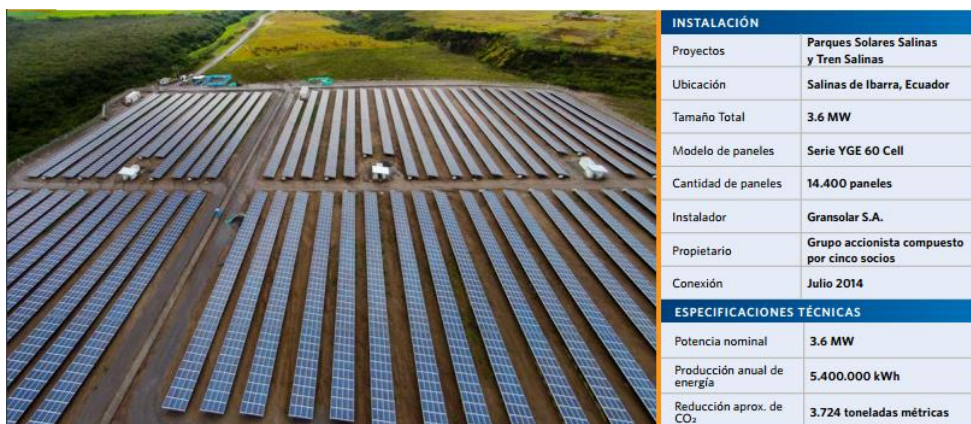


Figura 2.19: Parque Solar Salinas y Tren Salinas.²⁵

2.5.5. Parques solar San Antonio, Santa Rosa

El proyecto comprende la colocación de unos 15000 paneles solares, el parque se encuentra ubicado en la parroquia San Antonio del cantón Santa Rosa, La figura 2.20 muestra al parque San Antonio con una producción de 3 MW, y está conformado por 3 plantas fotovoltaicas, Solsanantonio S.A, Solchacras S.A y Solhuaqui S.A [19].



Figura 2.20: Parque Solar San Antonio [19].

La figura 2.21 muestra al parque Santa Rosa que está formado por Saracaysol S.A, Solsantros S.A y Sanersol S.A. y tiene una producción de 3 MW.

²⁵http://d9no22y7yqre8.cloudfront.net/assets/uploads/projects/downloads/Caso%20de%20Exito%20Yingli_%20Salinas%20Ecuador_LR.pdf
 Último acceso 11/04/2017 a las 23:17



Figura 2.21: Parque Solar Santa Rosa [19].

Existen otros proyectos en la provincia de Loja con importantes aportes a la producción de energía eléctrica mediante paneles solares, estos parques son:

- Parque Solar la Era (2 MW).
- Parque Solar Gonzanamá (2 MW).
- Planta Solar Sabiango (1 MW).
- Planta Solar Loja Energy (1 MW).

2.6. Estudios de sistemas de seguimiento solar en el Ecuador

Los estudios realizados en el Ecuador de sistemas de seguimiento solar aseguran que un buen sistema de seguimiento solar de dos ejes aumenta la ganancia máxima de captación anual media en un 33% y se obtiene una ganancia del 28% con un sistema de seguimiento en un eje horizontal, estos análisis con respecto a la máxima captación de un panel fijo en cualquier localidad del Ecuador [20].

Los resultados de los diferentes sistemas de seguimiento analizados con el software censol 5.0 para una latitud entre los 0° y -3° en el que se encuentra el territorio ecuatoriano, se presentan en la tabla 2.2 [20].

Tabla 2.2: Captación anual media de sistema FV fijo y con seguimiento [20].

Sistema	Captación anual media
Panel solar fijo 13° de inclinación	98%
Seguimiento	
Dos ejes	133%
Eje horizontal e inclinado	128%
Eje vertical	100,01%

Al comparar los resultados del aprovechamiento de un sistema solar a dos ejes no es muy significativo en comparación con el sistema de eje horizontal, el autor recomienda el uso de seguidores de un eje por simplicidad de los diseños y costos.

Otro estudio realizado en Ecuador en la provincia del Azuay a 10 minutos de la ciudad de Cuenca a una altura de 2764 msnm con coordenadas 2°51'51.46" S. y 79°00'50.65" O., en la que el autor indica que la inclinación óptima para esta latitud en instalaciones de paneles fijos es de 2.86° en dirección al norte, se realizaron pruebas durante 15 días entre los dos sistemas el fijo y con seguimiento con características similares entre los dos sistemas, la tabla 2.3 muestra los datos que el autor expone en su sistema fijo con inclinación óptima para el lugar [16].

Tabla 2.3: Resultados con sistema solar fijo [16].

DATOS OBTENIDOS DEL SISTEMA SOLAR FIJO				
# De datos	Hora [h]	Voltaje [V]	Potencia [W]	Energía [Wh]
1	07:30	11,85	27,72	13,86
2	08:00	11,89	27,82	13,91
3	08:30	12,08	28,26	14,13
4	09:00	12,25	28,66	14,33
5	09:30	12,38	28,96	14,48
6	10:00	12,58	29,43	14,71
7	10:30	12,72	29,76	14,88
8	11:00	12,88	30,13	15,06
9	11:30	13,09	30,63	15,31
10	12:00	13,22	30,93	15,46
11	12:30	13,27	31,05	15,52
12	13:00	13,26	31,02	15,51
13	13:30	13,28	31,07	15,53
14	14:00	13,21	30,91	15,45
15	14:30	13,22	30,93	15,46
16	15:00	13,23	30,95	15,47
17	15:30	13,25	31	15,5
18	16:00	13,21	30,91	15,45
19	16:30	13,24	30,98	15,49
20	17:00	13,26	31,02	15,51
21	17:30	13,22	30,93	15,46
22	18:00	13,23	30,95	15,47

Los datos se han tomado en los bornes de la batería y la corriente de carga que suministra el panel fotovoltaico hacia la batería. La tabla 2.4 muestra los resultados que expone el autor [16].

Tabla 2.4: Resultados con sistema de seguimiento solar [16].

DATOS OBTENIDOS DEL SISTEMA SOLAR MÓVIL					
# De datos	Hora [h]	Voltaje [V]	Potencia [W]	Energía [Wh]	Inclinación (°C)
1	07:30	11,9	27,84	13,92	-67,5°C
2	08:00	12,11	28,3	14,15	-60°C
3	08:30	12,25	28,66	14,33	-52,5°C
4	09:00	12,46	29,15	14,57	-45°C
5	09:30	12,78	29,9	14,95	-37,5°C
6	10:00	12,96	30,32	15,16	-30°C
7	10:30	13,15	30,77	15,38	-22,5°C
8	11:00	13,28	31,07	15,53	-15°C
9	11:30	13,26	31,02	15,51	-7,5°C
10	12:00	13,25	31	15,5	00°C
11	12:30	13,23	30,95	15,47	7,5°C
12	13:00	13,27	31,05	15,52	15°C
13	13:30	13,21	30,91	15,45	22,5°C
14	14:00	13,25	31	15,5	30°C
15	14:30	13,26	31,02	15,51	37,5°C
16	15:00	13,27	31,05	15,52	45°C
17	15:30	13,26	31,02	15,51	52,5°C
18	16:00	13,22	30,93	15,56	60°C
19	16:30	13,25	31	15,5	67,5°C
20	17:00	13,24	30,98	15,49	75°C
21	17:30	13,19	30,86	15,43	72,5°C
22	18:00	13,22	30,93	15,46	90°C

Finalmente, el autor expone sus resultados en la carga de la batería producto de los dos sistemas sin seguimiento y con seguimiento solar, la figura 2.22 muestra este resultado [16].

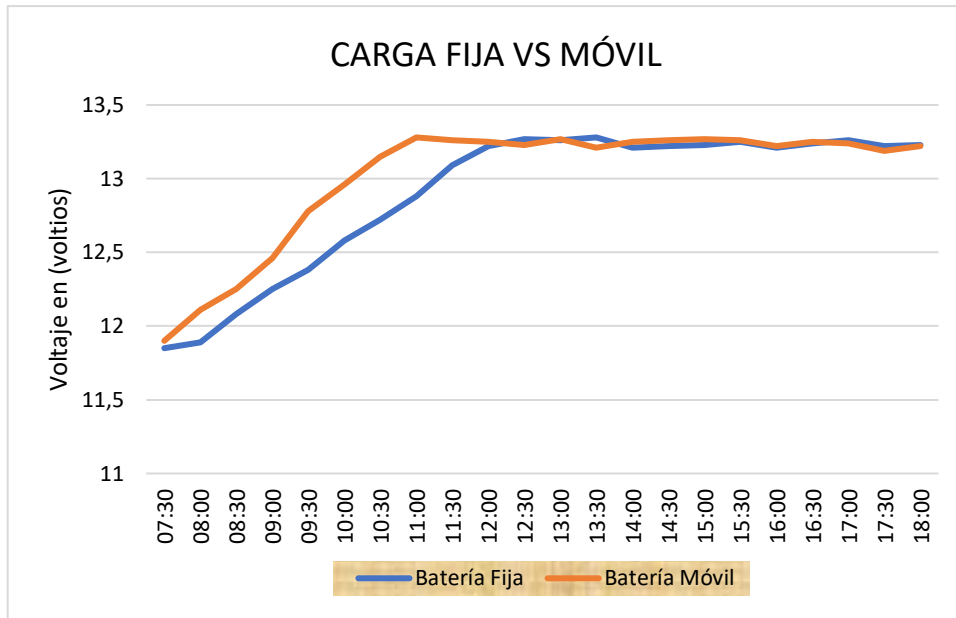


Figura 2.22: Resultados de la carga en la batería con los dos sistemas [16].

3. Capítulo 3. INFORMACIÓN DE LA COMUNIDAD CASO DE ESTUDIO

Este capítulo presenta detalles de la comunidad caso de estudio, su ubicación geográfica en el contexto provincial, el programa Entsa ii Etsari (Programa Luz de nuestro sol), los problemas asociados con los sistemas existentes, los resultados de las encuestas realizadas en la comunidad de Yuwints y la metodología para solucionar los problemas energéticos de la comunidad.

3.1. El cantón Taisha

El cantón Taisha fue fundada el 28 de junio de 1996, se encuentra ubicada en la provincia de Morona Santiago con coordenadas 220970 S, 9736535 W y a una altitud de 510 msnm aproximadamente. La población total al 2014 según el gobierno autónomo descentralizado (GAD) del cantón Taisha en su informe actualización del plan de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón Taisha 2014-2019 [21], es de 27188 habitantes, el cantón Taisha posee una extensión de 6169,7 km² y se encuentra entre el río Pastaza, las cordilleras del Kutukú y la frontera sur con la república del Perú, la figura 3.1 muestra la ubicación del cantón Taisha en el contexto provincial.

Los habitantes del cantón en su mayoría son pertenecientes a la nacionalidad shuar en un porcentaje del 73.1%, el 20.38% a la Achuar y el 6.52% mestiza [21]. La comunidad en estudio es la comunidad de Yuwints, pertenece a la parroquia Macuma y sus habitantes son de nacionalidad shuar.

Morona Santiago

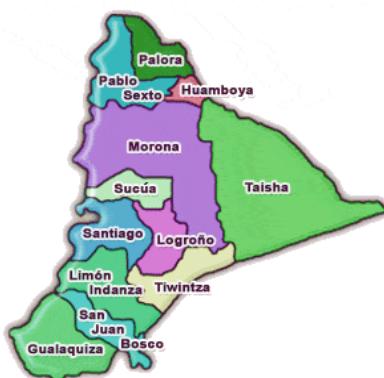


Figura 3.1: Ubicación del cantón Taisha en el contexto provincial.²⁶

²⁶ <http://turismo-amazonico.blogspot.com/2011/08/division-politica.html>
Último acceso 11/04/2017 23:02

3.2. Las comunidades Shuar y Achuar

En las provincias de Pastaza y Morona Santiago se encuentran grupos étnicos de origen Shuar y Achuar, en el área de concesión de la Centrosur, se encuentran en su mayoría con comunidades Shuar y en menor porcentaje Achuar asentadas hacia el este de la cordillera Kutukú, a las riveras de los ríos Morona y Pastaza,²⁷ la figura 3.3 muestra la ubicación de los sistemas FV instalados en el oriente ecuatoriano en el área de concesión de la Centrosur.

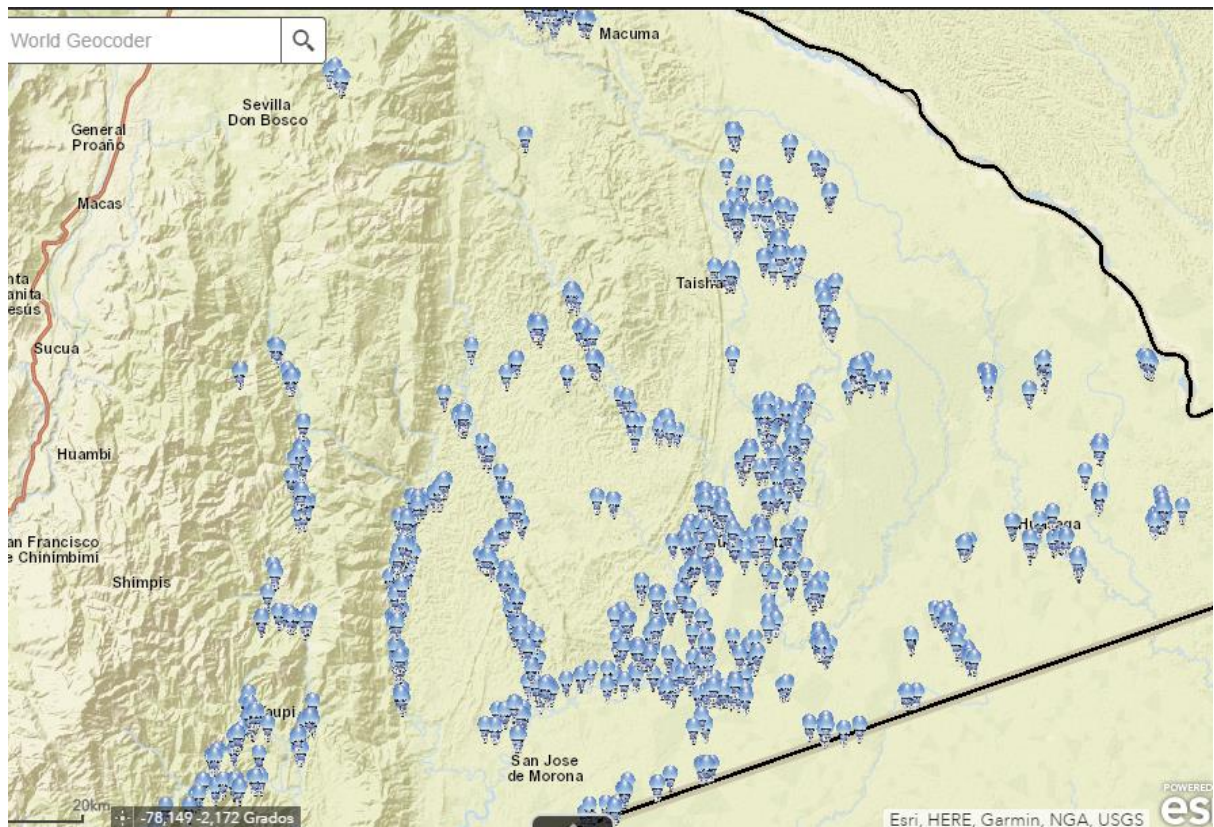


Figura 3.2: Energías renovables en el área de concesión de la Centrosur.²⁸

²⁷ <http://gruposetnicosec.blogspot.com/2013/04/achuar.html>

Último acceso 01/03/2017 16:30

²⁸ <http://gissigde.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=b9ccf92d5f324cc1a852ca87b05c295>

Último acceso 11/04/2017 23:02

3.3. Comunidad de Yuwints de la parroquia de Macuma cantón Taisha caso de estudio

La comunidad de Yuwints se encuentra a 16 km de la parroquia de Macuma la vía de acceso a la comunidad es a pie o por medio de avioneta, la comunidad cuenta con los servicios de agua entubada y el suministro de energía eléctrica mediante paneles fotovoltaicos fijos instalados por la Centrosur. El grupo étnico al que pertenece la comunidad es de nacionalidad Shuar, la comunidad cuenta con un hotel para el alojamiento de turistas, la figura 3.3 muestra el hotel de la comunidad y es reconocida por el turismo de Morona Santiago como proyecto SUWA.²⁹



Figura 3.3: Emprendimiento SUWA hotel de la comunidad de Yuwints.³⁰

El número de sistemas FV domiciliarios en la comunidad es de 34, en el lugar existe una pista de avionetas, cancha de tierra para la práctica de indor-fútbol, vóley, un subcentro de salud y una escuela.

La electrificación de la comunidad parte de la segunda etapa del programa Yantza ii Etsari la instalación de los equipos se la realizó en el mes de agosto del año 2015. En la visita a las viviendas de la comunidad se encontraron daños asociados a la batería, inversor, luminarias y controlador, en conjunto se constató que en la comunidad el

²⁹<https://www.facebook.com/MinturMoronaSantiago/photos/a.405200993017732.1073741870.100879550116546/405520889652409/?type=3&theater>
Último acceso 11/04/2017 23:33

³⁰<https://www.facebook.com/MinturMoronaSantiago/photos/a.405200993017732.1073741870.100879550116546/405520889652409/?type=3&theater>
Último acceso 11/04/2017 23:33

mantenimiento y el uso del sistema FV es realizado de manera bastante buena ya que sólo seis sistemas presentan inconvenientes representando el 17 % del total, el hotel de la comunidad es electrificado por medio de una pequeña turbina hidráulica y paneles fotovoltaicos, la figura 3.4 muestra el sendero desde la parroquia de Macuma hacia la comunidad de Yuwints.



Figura 3.4: Sendero parroquia Macuma a la comunidad de Yuwints.³¹

3.4. Programa Yantza ii Etsari

La Centrosur, con el apoyo del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER) ha desarrollado el proyecto de suministro de energía eléctrica mediante paneles FV a comunidades alejadas de la red eléctrica, con recursos provenientes del programa de energización rural y electrificación urbano-marginal (FERUM).

El programa de electrificación mediante sistemas FV implementados en las comunidades aisladas de la red eléctrica pública en el oriente ecuatoriano y en el área de concesión de la Centrosur, parte de recursos provenientes del estado y es de responsabilidad de la empresa Centrosur la formulación, ejecución y operación de los proyectos. Los beneficiarios de este proyecto fueron directamente los habitantes de las comunidades y su uso es básicamente residencial pero el programa abarca también casas comunales, escuelas y centros de salud.

³¹<https://www.facebook.com/MinturMoronaSantiago/photos/a.405200993017732.1073741870.100879550116546/405520889652409/?type=3&theater>
Último acceso 11/04/2017 23:33

Los sistemas FV son unifamiliares y pueden brindar el servicio de iluminación y consumo de un artefacto menor por un período de 3 a 4 días, aún en ausencia de radiación solar. La figura 3.5 muestra un esquema del sistema implementado [22].

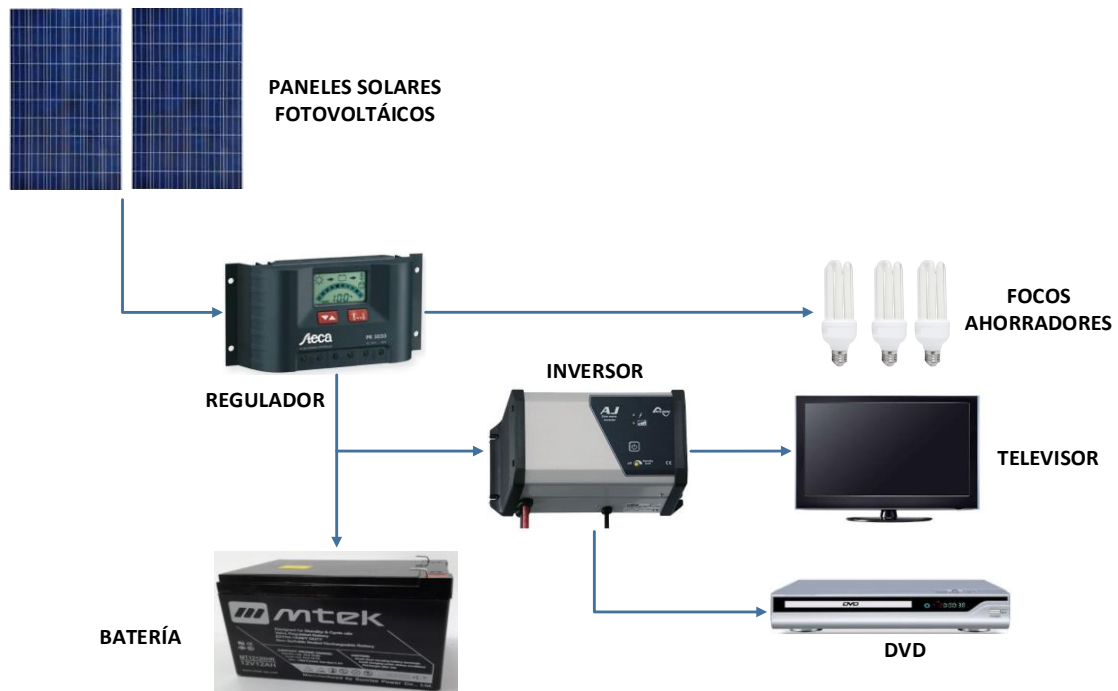


Figura 3.5: Sistema fotovoltaico en comunidades aisladas Centrosur.

La figura 3.6 muestra el diagrama del circuito del programa Yantsa ii Etsari [23].

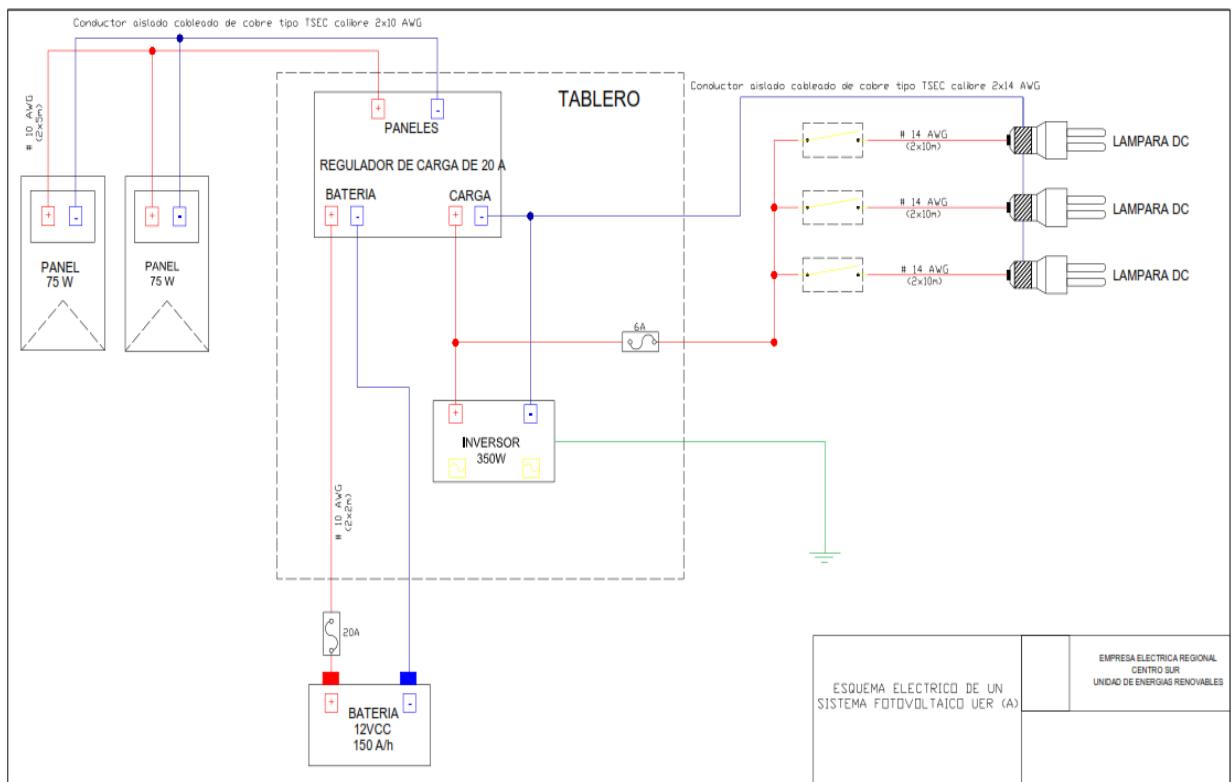


Figura 3.6: Diagrama del circuito básico del sistema FV del programa Yantsa ii Etsari [23].

3.5. Determinación del consumo de energía

Se indica la energía necesaria que requieren los beneficiarios del programa Yantsa ii Etsari.

3.5.1. Determinación del consumo mensual promedio por cliente por parte de la Centrosur

Se calcula en base de dos parámetros que son:

- La capacidad instalada existente.
- El máximo aprovechamiento que se podría sacar del sistema.

Tabla 3.1: Capacidad del sistema.

Potencia del sistema	150	Wp
Capacidad de la batería	150	A-h
Profundidad de descarga	60	%
Capacidad útil	90	A-h

Con los valores indicados en la tabla 3.1, la energía disponible en la batería llegaría 1080 Wh.

La tabla 3.2 muestra el consumo de energía, la potencia de los equipos y el uso en el día con un consumo promedio por usuario [23].

Tabla 3.2: Consumo básico por cliente del programa Yantsa ii Etsari [23].

Artefacto	Cantidad	Potencia [W]	Horas por día [h]	Total [W-h]
Luminaria - Foco ahorrador	2	15	5	150
Luminaria - Foco ahorrador	1	15	12	180
Radio	1	20	6	120
Artefacto en CA (computador portátil, DVD-TV)	1	100	1	100
Otros Artefactos	1	15	4	60
Consumo diario por cliente [Wh-día]				610
Consumo mensual por cliente [Wh-mes]				18,55
Consumo mensual por cliente ajustado para la facturación [kWh-mes]				19

3.5.2. Determinación de costos de operación y mantenimiento de los sistemas fotovoltaicos

Aplicando el pliego tarifario vigente al consumo de energía estimado, a cada cliente le correspondería pagar la suma de 2,95 dólares por este concepto; sin embargo, al ser este tipo de abonados beneficiarios de la tarifa de la dignidad, su pago mensual será reducido a 1,49 dólares, la tabla 3.3 muestra el valor de pago por el servicio de los sistemas fotovoltaicos y la tabla 3.4 muestra los gastos incurridos al transcurso del año.³²

Tabla 3.3: Valoración del consumo.³¹

Consumo mensual promedio - [kWh]	19
Aplicación del pliego tarifario	
Costo por energía – [\$/kWh]	0,081
Cargo de comercialización – [\$/]	1,41
Costo total del servicio - [\$/]	2,949
Responsabilidad del usuario - [\$/]	1,46
Aplicación de subsidio Tarifa Dignidad - [\$/]	1,49

Tabla 3.4: Gastos incurridos una vez al año, mensualizado [\$/ por usuario].³¹

Gastos incurridos mensualmente [\$/ por usuario]	
Inspecciones	3,53
Costo de materiales (fusibles, conductores, otros)	0,47
Sub-Total	4,00
Gastos incurridos una vez al año, mensualizado [\$/ por usuario]	
Capacitación (Técnicos CSUR y Comunidad), publicidad	1,43
Contrato de verificación técnica de operación de los sistemas	2,92
Herramientas, equipos de seguridad, de medición	0,34
Sub-Total	4,69
TOTAL O&M	8,70

³² Realizado por el Departamento de Estudio Técnicos Dirección de Planificación de la Centrosur, Abril de 2011.

3.6. Visita a comunidades aisladas de la parroquia de Macuma

3.6.1. Actividades realizadas

La visita a las comunidades de la región amazónica perteneciente a la provincia de Morona Santiago, cantón Taisha parroquia Macuma fueron: La comunidad de Yuwints, también conocida como Yuvientza por la Centrosur, Cusutka entre otras, las dos señaladas anteriormente fueron las que se analizaron con mayor realce.

En la comunidad de Yuwints el síndico de la comunidad realizó una reunión con los moradores del sector para informarles que se está realizando una visita a las instalaciones de la Centrosur, donde se les informó que los usuarios den a conocer los problemas que tienen con los sistemas FV, dudas sobre el uso, mantenimiento y estado del sistema.

Al realizar un recorrido por las viviendas se observó las condiciones en las que se encontraban los sistemas FV, se aprovechó para conversar con los habitantes de la comunidad y realizarles una pequeña encuesta relacionadas con los sistemas FV, sus usos y costumbres.

La figura 3.7 muestra el estado que se encuentran los sistemas FV en la comunidad de Yuwints y las fallas que han presentado después de dos años de funcionamiento.

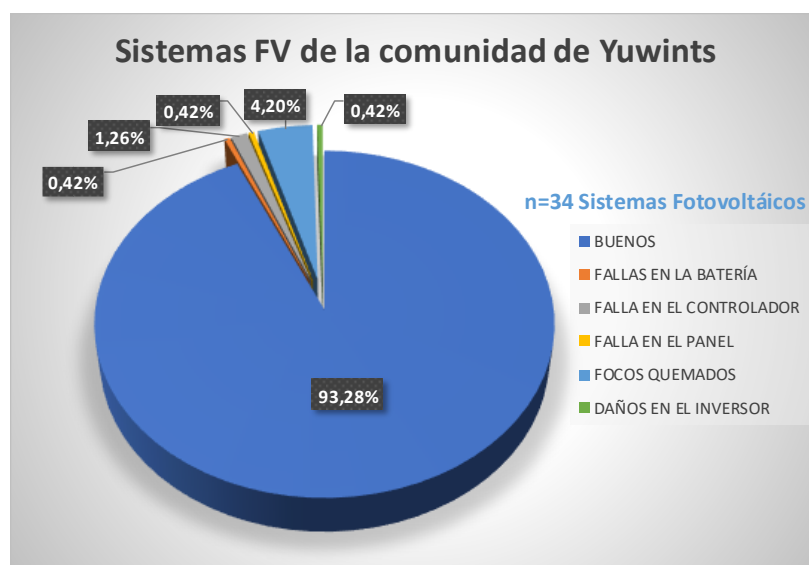


Figura 3.7: Más del 90% de los sistemas fotovoltaicos de la comunidad de Yuwints se encuentran funcionando de manera correcta después de 2 años de operación.

3.6.2. Resultados de la encuesta realizada en la comunidad de Yuwints

En el anexo 1 se presenta la encuesta realizada en la comunidad de Yuwints. Las preguntas más relevantes son la pregunta 4 y 5 que dan información del uso final de la energía de los sistemas FV. La tabla 3.5 muestra los equipos eléctricos de más uso en la comunidad.

Tabla 3.5: Artefactos típicos de la comunidad de Yuwints.

Artefactos eléctricos típicos de la comunidad		
Item	Descripción	Potencia (W)
1	Lámpara (LFC)	11
2	Radio	10-20
3	Televisión	65-85
4	DVD	15-20
5	Computador	65-150
6	Cargador de teléfono celular	5
7	Teléfono satelital	10

La figura 3.8 muestra la energía necesaria en Wh/día para cada vivienda según la encuesta realizada en la comunidad.

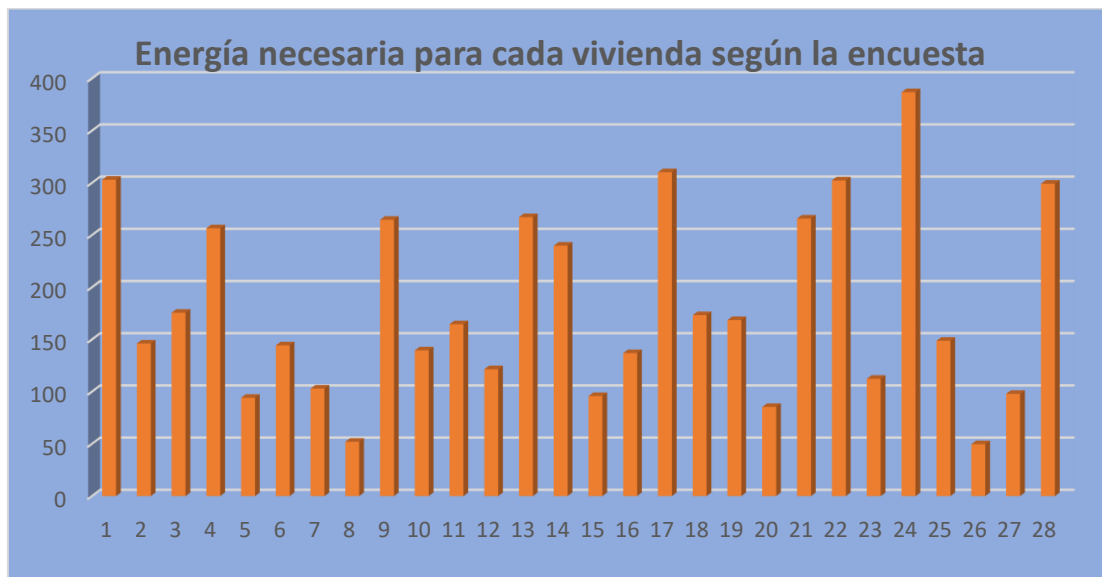


Figura 3.8: Energía necesaria para cada vivienda en un día según la encuesta.

La curva de carga de los artefactos en AC y DC se elaboró con un intervalo de 15 minutos, en base a los usos, costumbres de los moradores de Yuwints, la figura 3.9 muestra

la curva de carga en AC y DC, en la que se observan tres picos de mayor demanda de energía, en la mañana, tarde y noche.

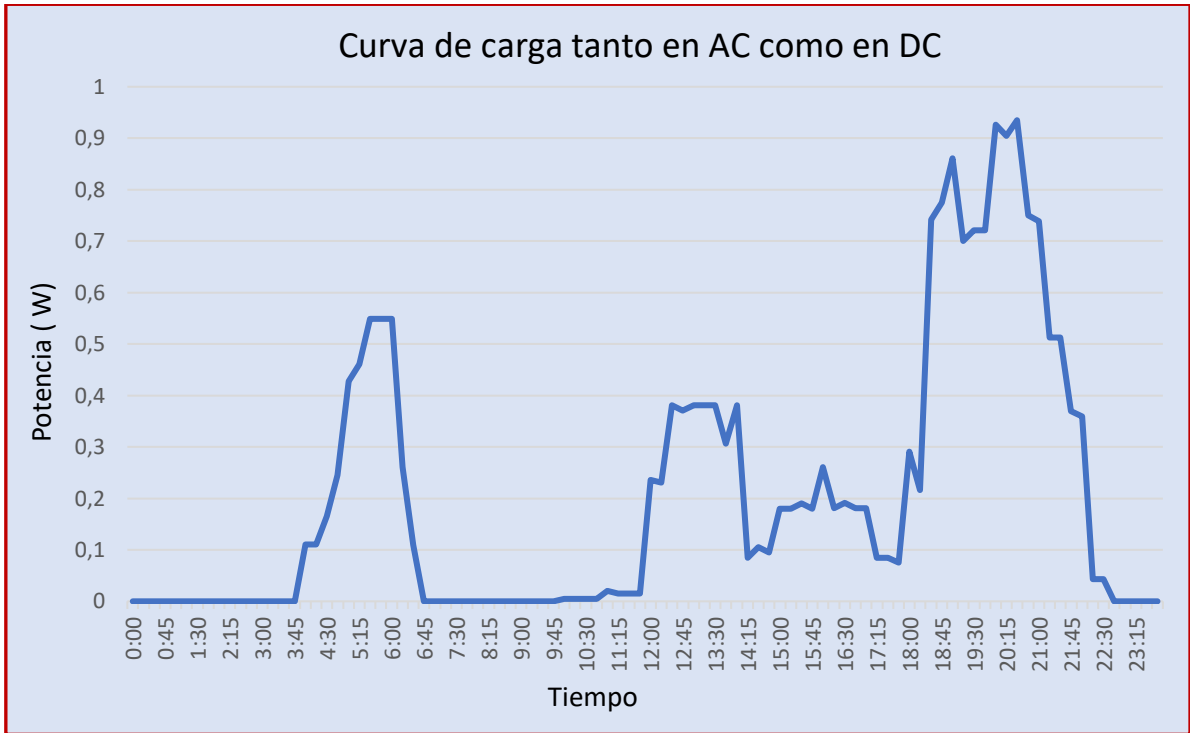


Figura 3.9: Curva de carga tanto en AC como en DC de la comunidad de Yuwints.

La figura 3.10 muestra la carga en DC que corresponde a la carga de iluminación, en la que se observa dos picos marcados en el amanecer y la noche según la costumbre de los moradores de la comunidad.

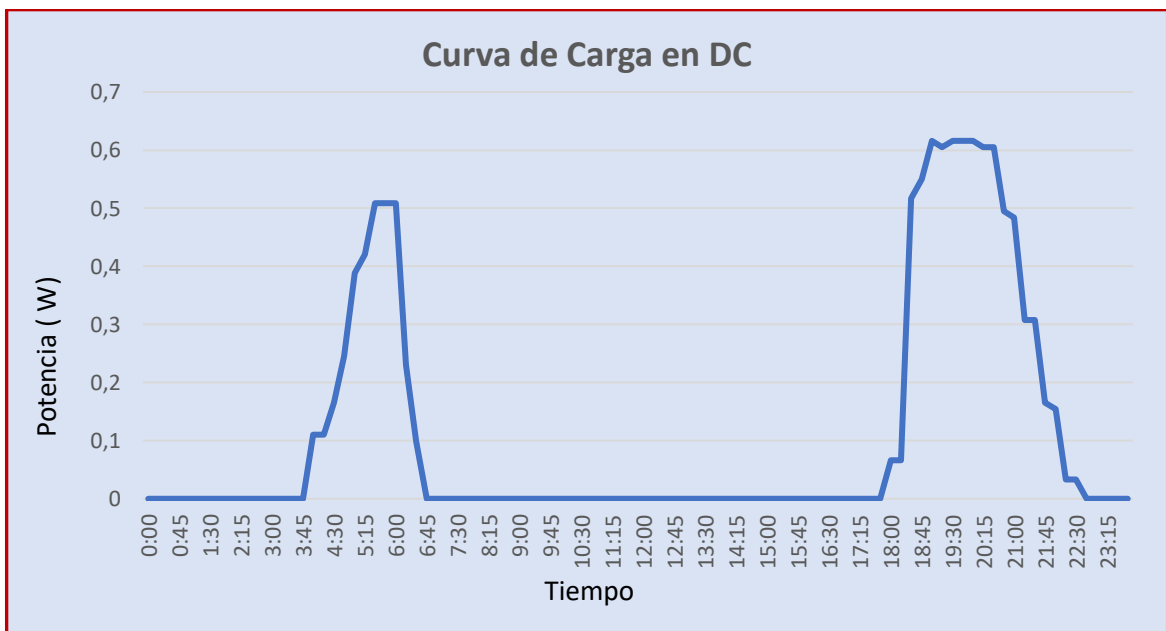


Figura 3.10: Comportamiento de la curva de carga de iluminación de la comunidad de Yuwints.

La figura 3.11 muestra que los habitantes de Yuwints usan la iluminación mayoritariamente en las mañanas desde las 04h00 a 06h30 y de 18h00 a 22h00.

Las cargas AC de los artefactos eléctricos antes descritos en la tabla 3.5 presentan el siguiente uso, en la que se observa que los artefactos son utilizados mayoritariamente en las horas de la tarde y noche. La figura 3.11 muestra la curva de carga en AC de la comunidad de Yuwints.

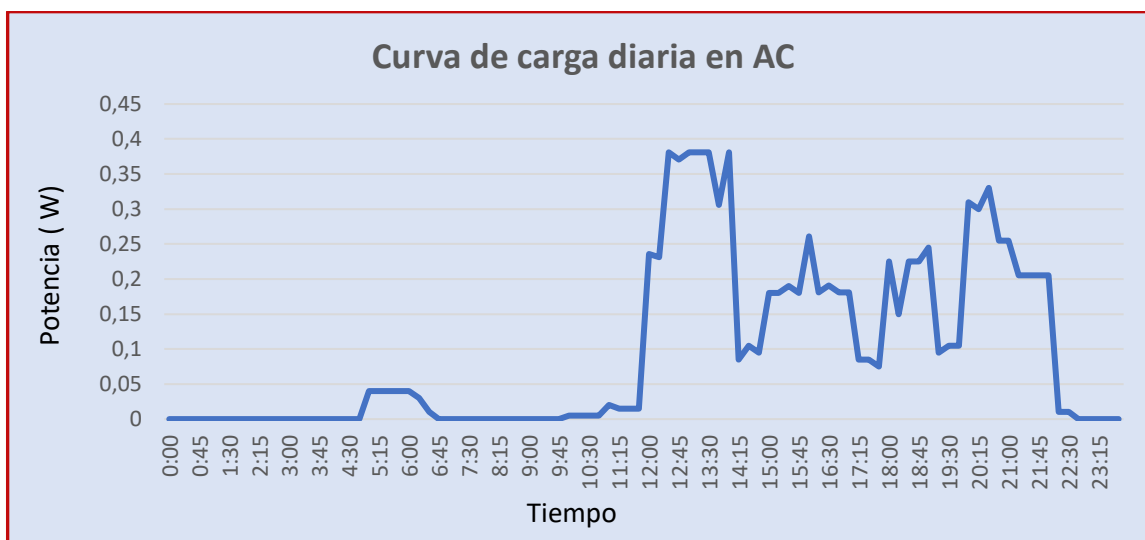


Figura 3.11: Curva de carga de los artefactos eléctricos en AC de Yuwints.

La curva de carga de la escuela presenta un consumo de energía desde las 07h45 hasta las 11h00 y con un mínimo de consumo en las horas de la noche. La figura 3.12 muestra el comportamiento de consumo de energía de la escuela de la comunidad.

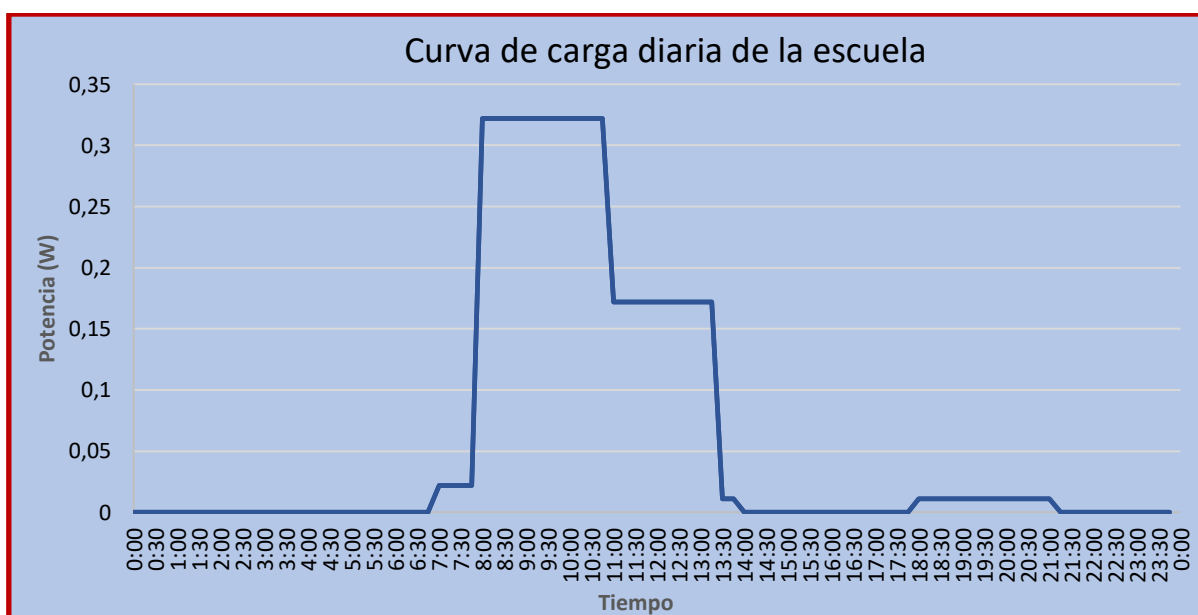


Figura 3.12: Curva de carga diaria de la escuela en el periodo de estudios de la comunidad de Yuwints.

El comportamiento de uso de la energía en el subcentro de salud tiene una demanda ponderadamente constante, ya que presenta un consumo predominante del refrigerador, con un pronunciado pico en el periodo que corresponde desde las 11h30 a 12h30. La figura 3.13 muestra el comportamiento diario del subcentro de salud.

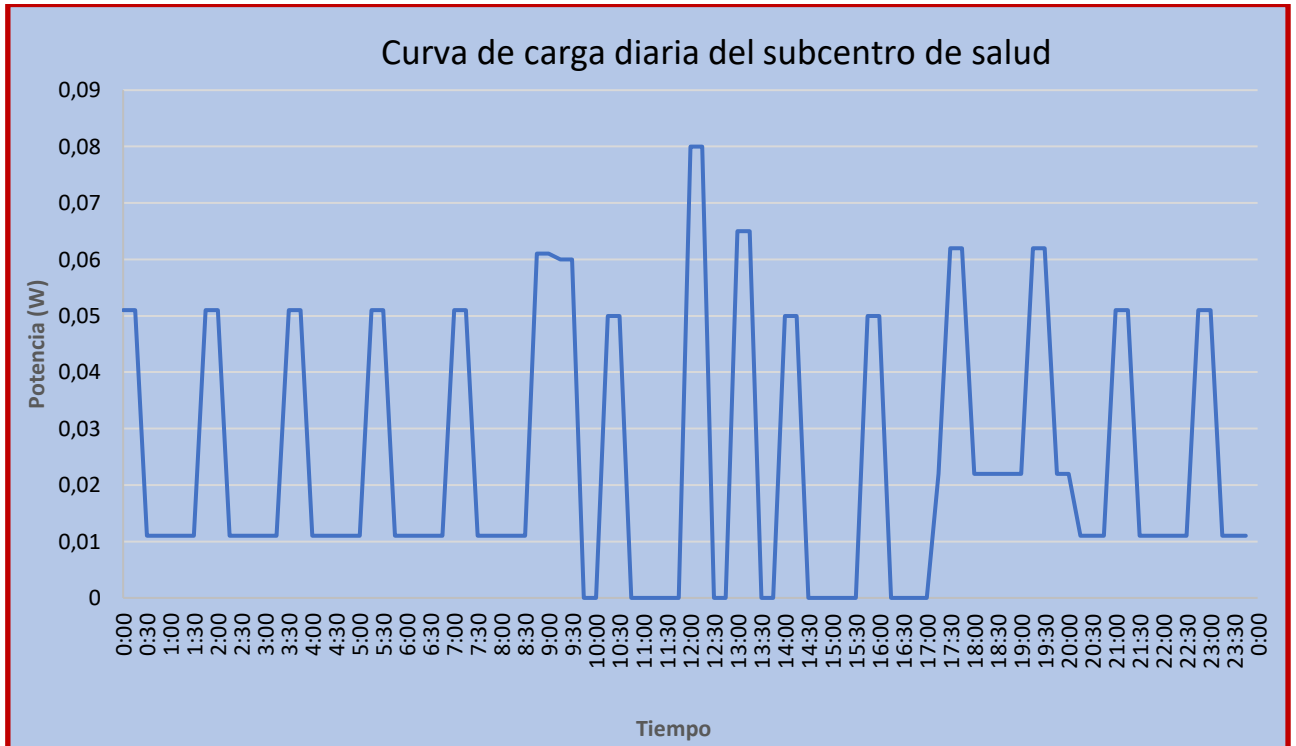


Figura 3.13: Curva de carga diaria del subcentro de salud.

3.7. Metodología del estudio de sistemas híbridos con seguimiento solar

La metodología del estudio de sistemas híbridos de seguimiento solar para la comunidad de Yuwints en el oriente ecuatoriano, consiste en realizar tareas de simulación y optimización para las viviendas de la comunidad en estudio, primero se obtendrá los datos de los requerimientos energéticos de las viviendas de la comunidad, la ubicación geográfica, recursos ambientales (solar), entre otros datos para su análisis en dos programas computacionales, la primera es realizada haciendo uso de funciones de optimización mediante la programación de optimización elaborada en el software de MATLAB, que tiene la finalidad de agrupar a las viviendas que poseen características similares tanto en demanda de energía y la distancia establecida entre cada vivienda hasta un límite de energía. Se hizo uso del comando *intlinprog* que es una herramienta de

programación lineal del software de MATLAB en base a la programación lineal entera, el programa se realiza en casos con grupos de selecciones.

Posterior a la selección y agrupación de las viviendas mediante la optimización realizada en MATLAB se realiza el cálculo de los centros de masa de las viviendas seleccionadas, con el fin de ubicar el lugar adecuado del emplazamiento de los equipos, estructuras del sistema híbrido de seguimiento solar, que permita cubrir con los requerimientos energéticos de las viviendas seleccionadas. Se analiza los diferentes tipos de seguimiento solar con el software CENSOL 5.0, dos ejes, un eje (horizontal, vertical e inclinado) en comparación con una instalación de panel fijo y obtener la ganancia de energía de las diferentes estructuras, se realiza también el análisis de la caída de tensión para los diferentes sistemas.

Para finalizar se analiza la viabilidad del proyecto mediante la herramienta computacional de HOMER que se encarga de realizar un modelo de simulación de diseño que da resultados del tamaño del sistema, con el menor costo mediante el uso de estrategias de optimización y control del sistema de energía que esta herramienta proporciona.

La figura 3.14 muestra un diagrama de flujo de la metodología a seguir para el estudio de los sistemas híbridos con seguimiento solar de la comunidad de Yuwints.

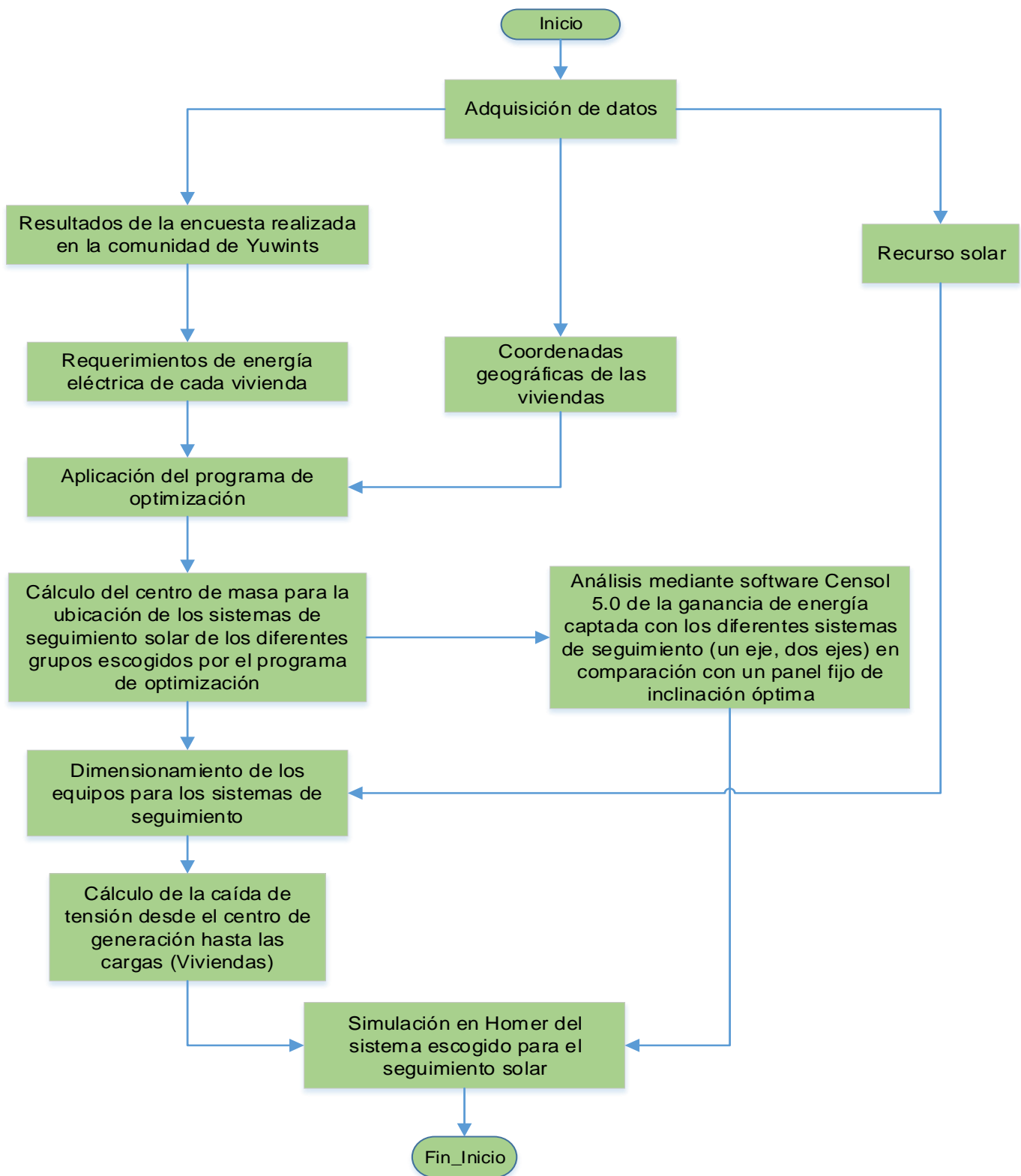


Figura 3.14: Diagrama de flujo de la metodología a seguir para el estudio de los sistemas híbridos con seguimiento solar para la comunidad de Yuwints.

4. Capítulo 4. DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN DEL SISTEMA HÍBRIDO CON SEGUIMIENTO SOLAR PARA LA COMUNIDAD DE YUWINTS

Este capítulo trata sobre la problemática energética de la comunidad de Yuwints, el análisis se basa a métodos de optimización elaborado en MATLAB, análisis mediante software Censol 5.0 de la ganancia de energía de los sistemas de seguimiento en comparación con la energía generada con una instalación de paneles fijos de inclinación óptima y al uso del paquete informático Homer para la selección de equipos con la mira a suministrar energía a cada vivienda de la comunidad contribuyendo al aprovechamiento de los recursos tanto naturales como económicos.

4.1. Ubicación de la comunidad de Yuwints

En el capítulo anterior se dio a conocer la ubicación de la comunidad de Yuwints, ésta se encuentra a 16 km de la parroquia de Macuma perteneciente al cantón Taisha, provincia de Morona Santiago, la figura 4.1 muestra la distribución de las viviendas de la comunidad, las mismas se encuentran enumeradas para su respectiva identificación.

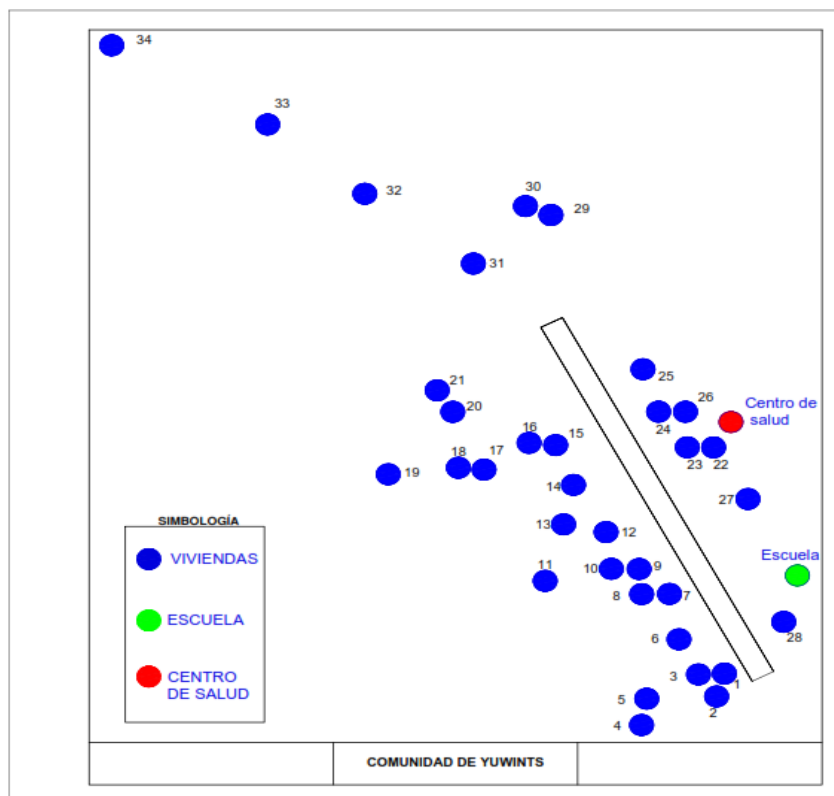


Figura 4.1: Distribución de las viviendas, escuela, centro de salud y pista de la comunidad de Yuwints según las coordenadas.

4.1.1. Aplicación del programa de optimización al caso de estudio

En la figura 4.1 se indicó la distribución de las viviendas de la comunidad con su respectiva identificación, en el anexo 2 se muestra las coordenadas de las viviendas, la carga de cada una de ellas según la encuesta. Para la aplicación del algoritmo de optimización se realiza una agrupación de las viviendas en grupos, esta agrupación se la elabora por motivos de las ubicaciones geográficas y para tomar una adecuada selección de viviendas en base a la optimización realizada en el programa. A continuación, la figura 4.2 muestra la agrupación realizada para los distintos casos de la comunidad para el uso del programa.

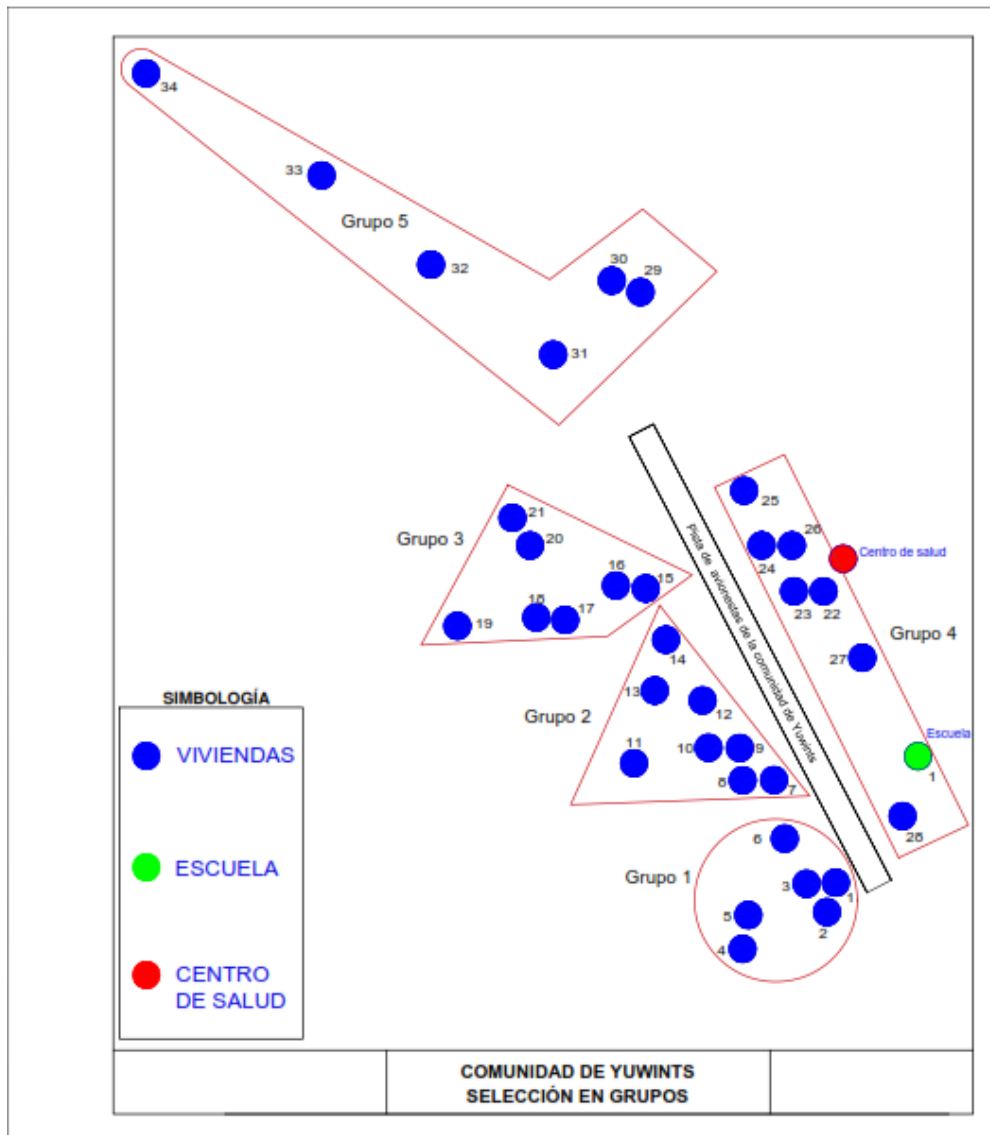


Figura 4.2: Distribución de los grupos seleccionados para la aplicación del programa de optimización.

Para abordar el problema de la agrupación, se realiza el programa para cada grupo mediante un menú en el que se selecciona el grupo de viviendas a ser optimizado. La figura 4.3 muestra el diagrama de flujo del programa realizado.

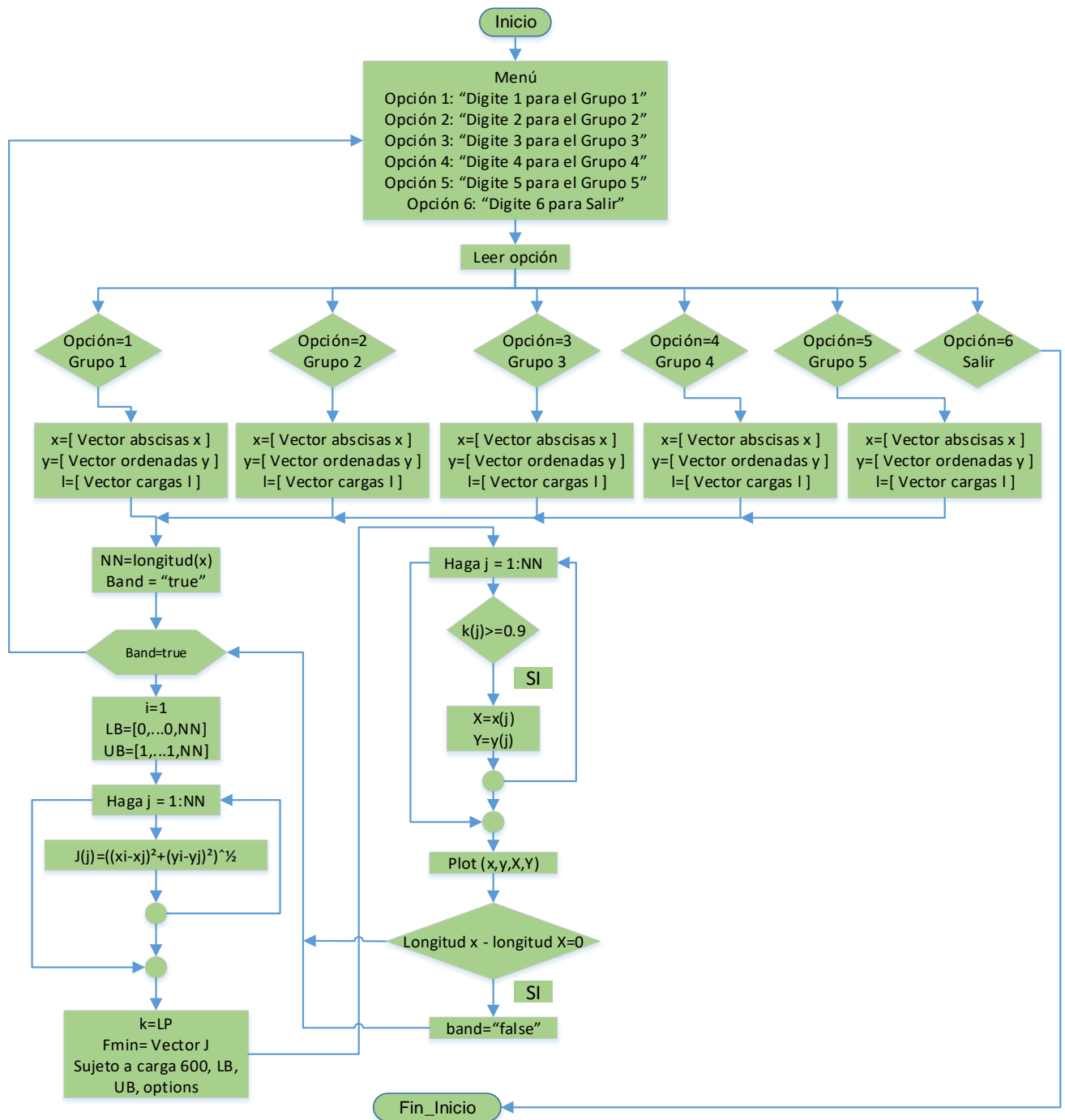


Figura 4.3: Flujograma del programa realizado en MATLAB para la optimización.

Al seleccionar en el menú del programa a un grupo, el programa realiza una selección de las viviendas que se encuentran dentro de las restricciones establecidas en el programa y las agrupa, la figura 4.4 muestra la primera iteración del programa realizado para el grupo 2 que se ha escogido en el menú del programa principal, los círculos de color azul

representan la ubicación de las viviendas y los círculos azules con una x roja representan a la agrupación seleccionada.

El total de imágenes de las iteraciones restantes con las agrupaciones seleccionadas, se encuentran en el anexo 3, al igual que en el anexo 4 se encuentra el código del programa realizado en MATLAB.

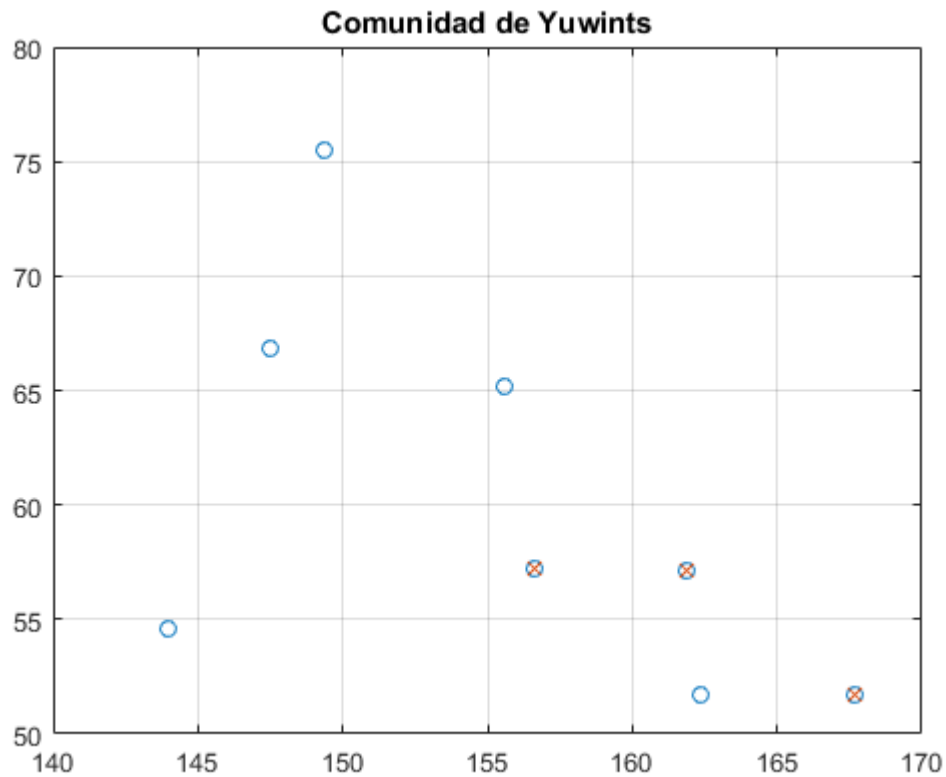


Figura 4.4: Primera iteración del programa realizado para el grupo 2 en MATLAB, donde se agrupan tres viviendas.

Al aplicar el programa de optimización para todos los grupos se obtiene la siguiente selección en subgrupos como que se muestra en la figura 4.5.

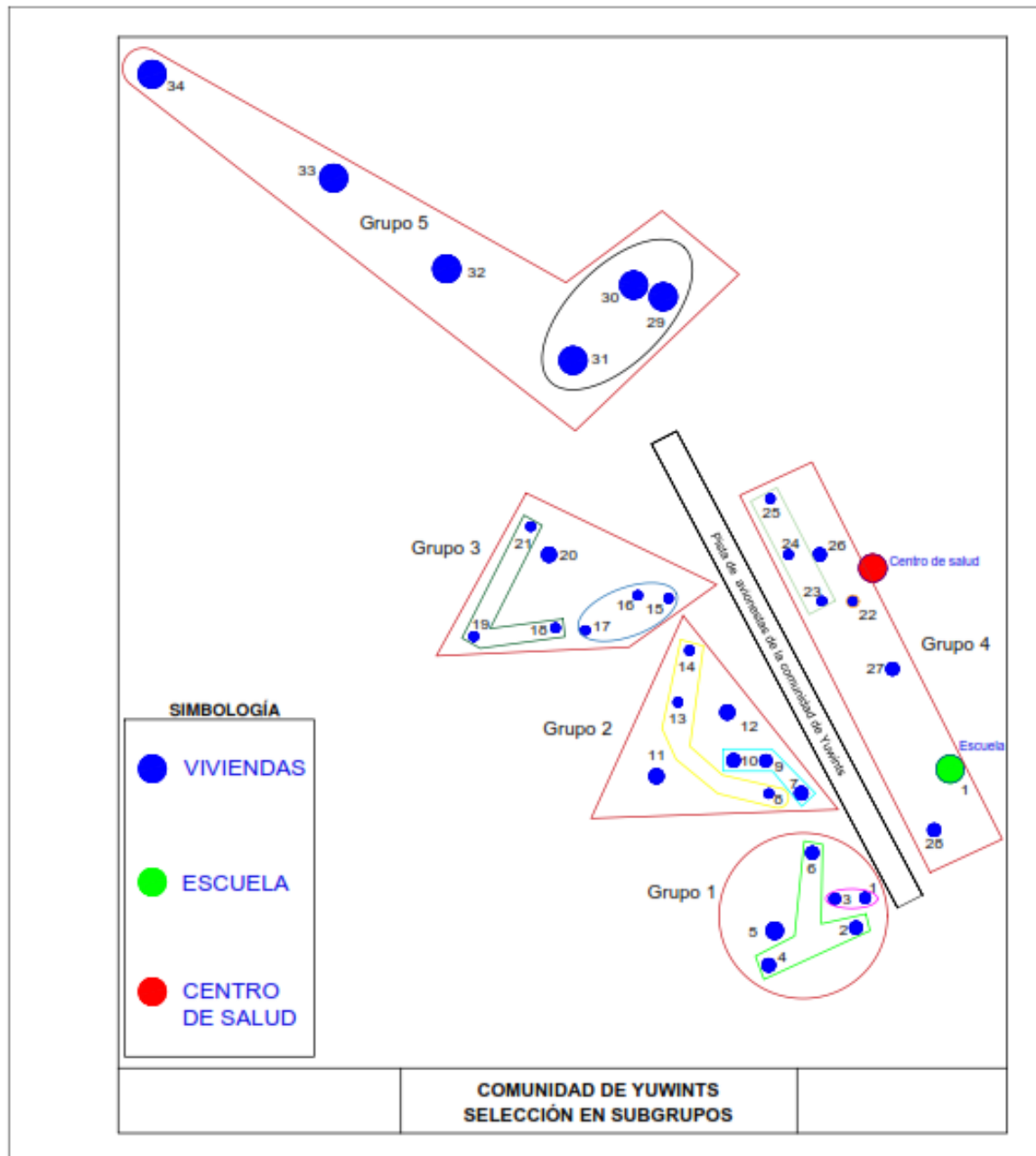


Figura 4.5: Distribución de los subgrupos seleccionados mediante la aplicación del programa de optimización en todos los grupos.

La aplicación del programa para cada grupo nos da el resultado de las viviendas con similitudes, que se encuentran dentro de las restricciones establecidas en la programación.

Cuando ya se tienen las viviendas seleccionadas mediante la optimización, se realiza la ubicación del lugar donde se emplazarán los equipos de generación solar mediante un sistema de seguimiento, el lugar de emplazamiento se encuentra con la ubicación del centro de masa de las viviendas agrupadas de los subgrupos, con lo que se garantiza una adecuada distribución de energía hacia las viviendas, la figura 4.6 muestra los lugares seleccionados para los sistemas de seguimiento.

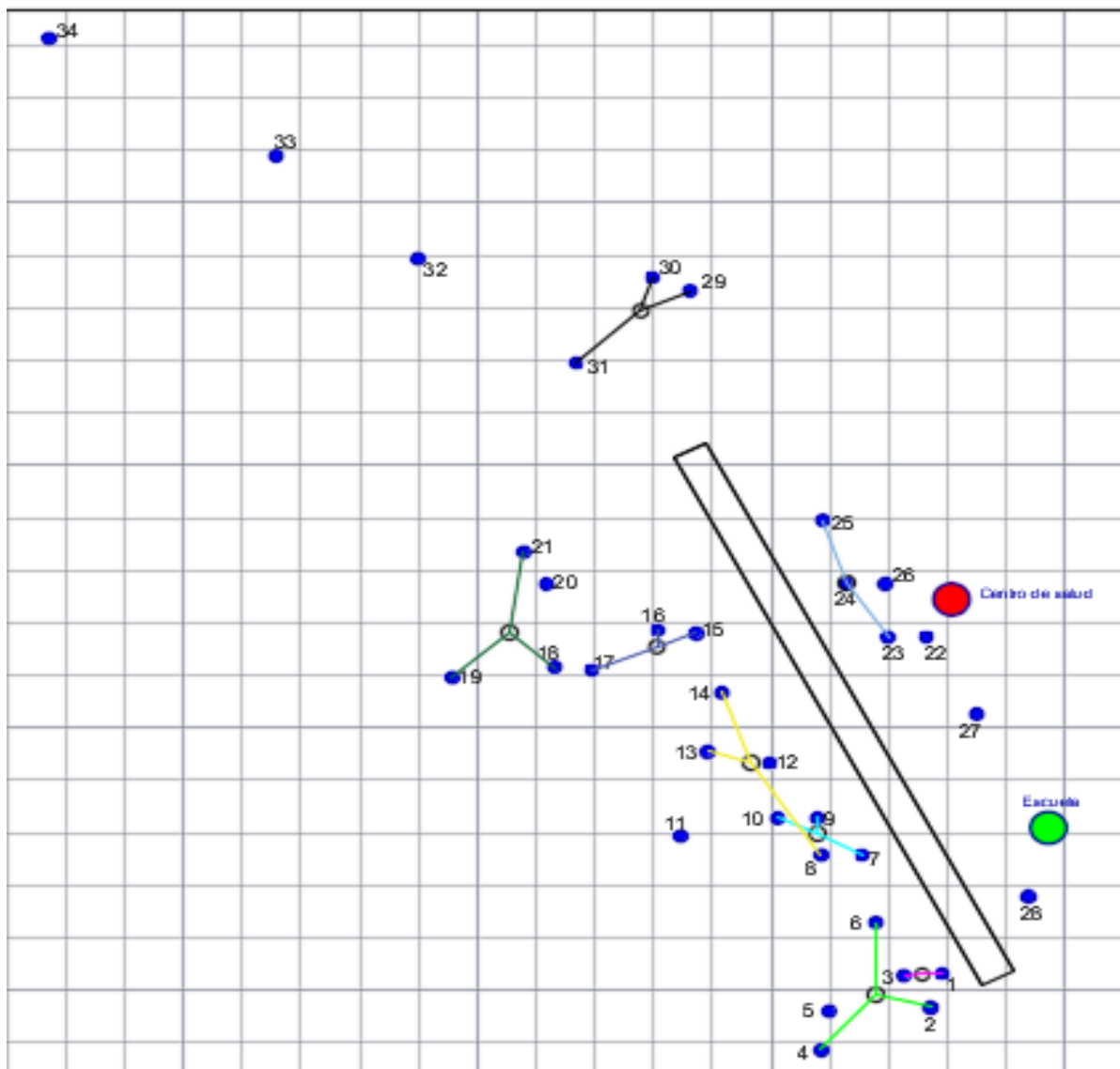


Figura 4.6: Ubicación de los sitios para los distintos sistemas de seguimiento, en base a las agrupaciones del programa de optimización.

La tabla 4.1 muestra las distintas agrupaciones de los grupos en subgrupos de las viviendas con su demanda de energía para los sistemas de seguimiento donde se observa que el sistema de mayor demanda de energía es el de la segunda iteración del grupo 4 con 576 Wh/día.

Tabla 4.1: Agrupaciones y su demanda de energía de la comunidad de Yuwints.

Agrupaciones de las viviendas mediante la optimización				
N° de Grupo	N° de iteración	Viviendas seleccionadas	N° de vivienda seleccionada	Energía Wh/día
Grupo 1	1	2	1, 3	474,7
	2	3	2, 4, 6	535,1
Grupo 2	1	3	7, 9, 10	481,2
	2	3	8, 13, 14	524,1
	3	2	11, 12	263,15
Grupo 3	1	3	15, 16, 17	494,95
	2	3	18, 19, 21	549,75
Grupo 4	1	1	22	280,4
	2	3	23, 24, 25	576
Grupo 5	1	3	29, 30, 31	500,15

4.2. Análisis de los sistemas de seguimiento en el software CENSOL 5.0

Para el análisis de los sistemas de seguimiento solar para la comunidad de Yuwints caso de estudio y para tener un criterio en la selección del sistema más adecuado para la comunidad se realiza un análisis comparativo con el software CENSOL 5.0 de los seguidores de dos ejes, un eje (horizontal, vertical e inclinado) en comparación con una instalación sin seguimiento.

El software CENSOL 5.0 posee una base de datos de radiación para las ciudades y localidades de diferentes países del mundo, para el análisis de los sistemas de seguimiento se hizo uso de los datos de radiación solar que posee el software, en base a la selección de la localidad (la latitud) que el software ofrece y a la selección del tipo de seguimiento a comparar respecto a una instalación fija. Una limitación del software es que no permite el ingreso de datos de radiación de manera externa y no se puede realizar el análisis de la nubosidad del lugar en estudio ya que esta afecta a la captación solar de los paneles fotovoltaicos y es muy común en la comunidad de estudio.

4.2.1. Estudio en el software CENSOL 5.0 de una instalación sin seguimiento

Las instalaciones sin seguimiento se encuentran adosadas, ya sean a nivel del piso en losas o en estructuras de soporte. Se recomienda que en estructuras fijas la inclinación debe estar entre los 10° a 15° en el caso que se encuentran en los trópicos. Para las

instalaciones con latitud superior a 0° el panel solar debe estar orientado hacia el sur y para los que se encuentran por debajo de 0° su orientación debe ser hacia el norte [20].

En la tabla 4.2 se muestra el ángulo recomendado para sistemas sin seguimiento según la latitud del lugar.

Tabla 4.2: Ángulo de inclinación recomendado para instalaciones fijas [20].

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 20°

El Ecuador posee la mayor parte de su territorio a una latitud de 0° hasta -3° , la comunidad de Yuwints se encuentra a una latitud de -2.1° , es por ello por lo que se ha escogido la inclinación de 15° para el análisis comparativo en la captación solar de un sistema fijo vs los de seguimiento.

En la figura 4.7 se muestra una representación de un panel fijo con la inclinación escogida para la latitud del lugar.

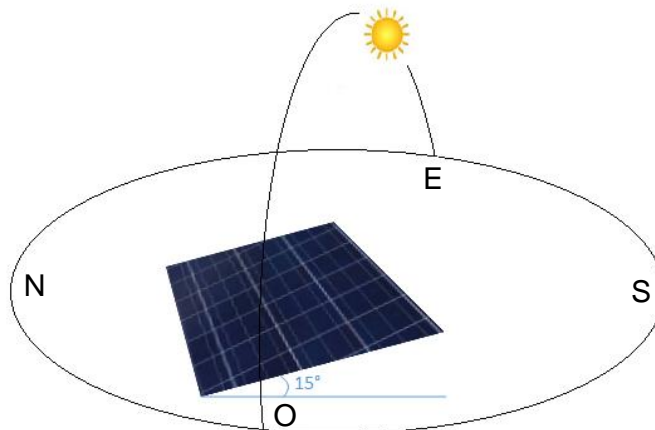


Figura 4.7: Instalación del panel solar sin seguimiento, para la latitud del lugar.

El estudio de esta instalación con la inclinación escogida y la latitud de la comunidad en el software CENSOL 5.0 da como resultado una captación anual media del 98%.

4.2.2. Estudio en el software CENSOL 5.0 con seguimiento en un eje horizontal

Las instalaciones de este tipo adquieren su dinamismo al girar en un eje lo que permite el seguimiento del sol desde el amanecer hasta la puesta, la limpieza del panel se realiza por las precipitaciones de lugar y al dinamismo del seguidor.

La figura 4.8 muestra una representación del seguidor en eje horizontal, la captación anual media de energía del seguidor de eje horizontal con respecto a una instalación fija para la latitud en estudio se encuentra en el orden del 124% según los resultados de CENSOL 5.0

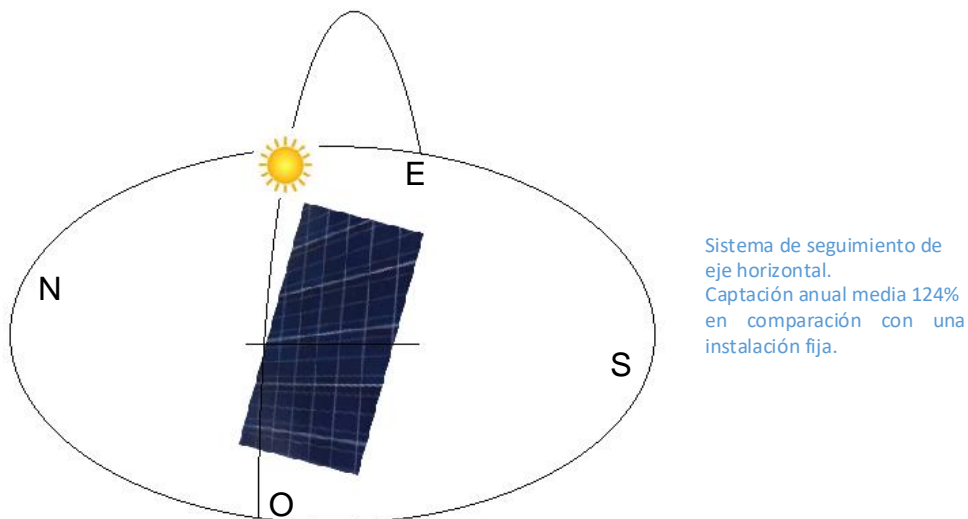


Figura 4.8: Sistema de seguimiento solar de eje horizontal, para la latitud del lugar.

4.2.3. Estudio en el software CENSOL 5.0 con seguimiento en eje vertical

Para este tipo de seguidor se debe instalar el módulo con las recomendaciones del ángulo de una instalación fija. El seguimiento del sol se realiza con la rotación en su punto de instalación y con el ángulo escogido, el ajuste de posicionamiento es horario y de acuerdo con la época del año, la figura 4.9 muestra una representación de esta instalación.

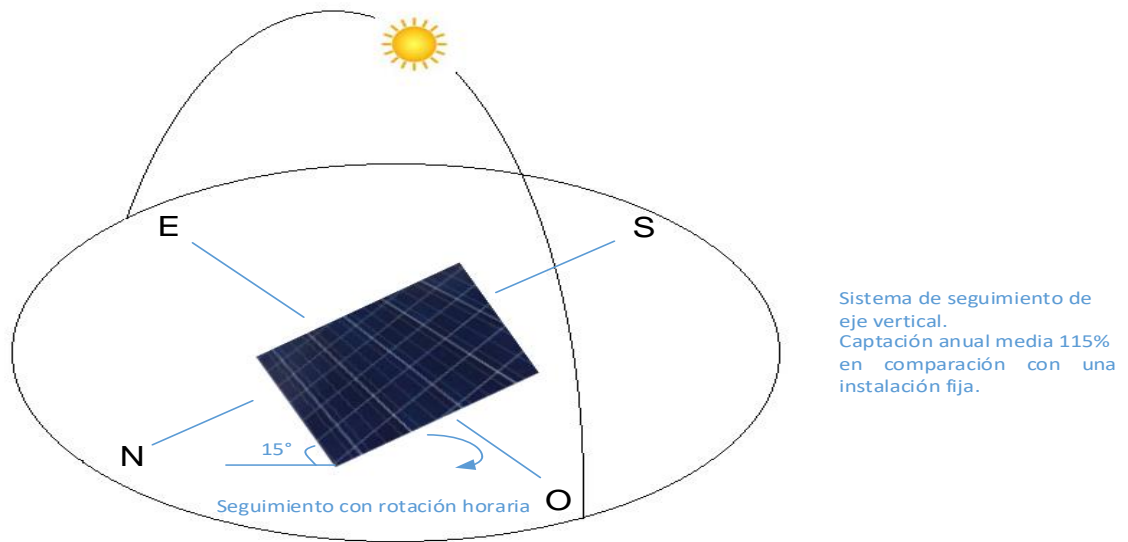


Figura 4.9: Sistema de seguidor solar de eje vertical, para la latitud del lugar.

La captación anual media de energía del seguidor en eje vertical, en comparación con una instalación fija para la latitud en estudio es del 115% según los resultados de CENSOL 5.0

4.2.4. Estudio en el software CENSOL 5.0 con seguimiento en un eje inclinado

El aprovechamiento en la captación anual media de energía de este tipo de instalación es del orden del 122% en comparación con una instalación fija para la comunidad de Yuwints. El seguimiento del sol, el sistema la realiza con una inclinación de 15° del panel y con el posicionamiento del panel en relación con la hora desde el este al oeste. La figura 4.10 muestra una representación del sistema de seguimiento de eje inclinado.

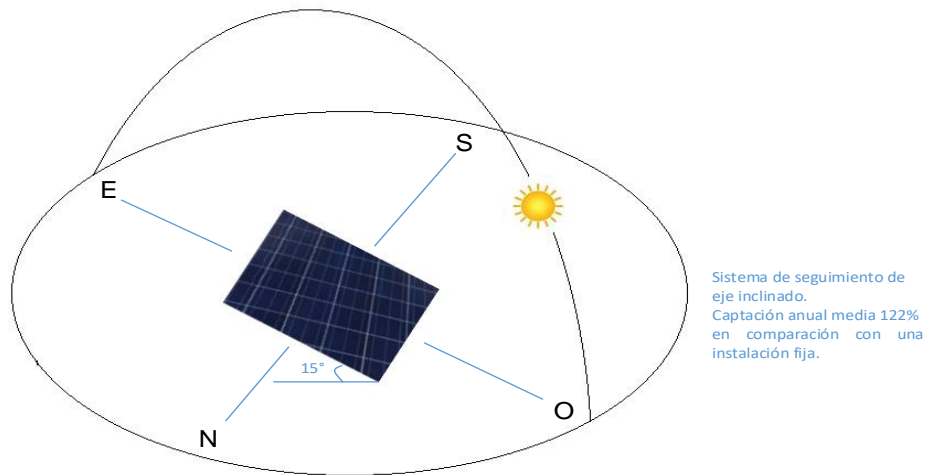


Figura 4.10: Sistema de seguidor solar en un eje inclinado, para la latitud del lugar.

4.2.5. Estudio en el software CENSOL 5.0 con seguimiento en dos ejes

El seguidor de dos ejes es el sistema que muestra una captación anual media de mayor magnitud en comparación con los anteriores sistemas de seguimiento y un sistema solar de instalación fija, los resultados del análisis en el software Censol 5.0 muestra una captación del 128% de esta instalación. La figura 4.11 muestra una representación de un sistema de seguimiento solar de dos ejes.

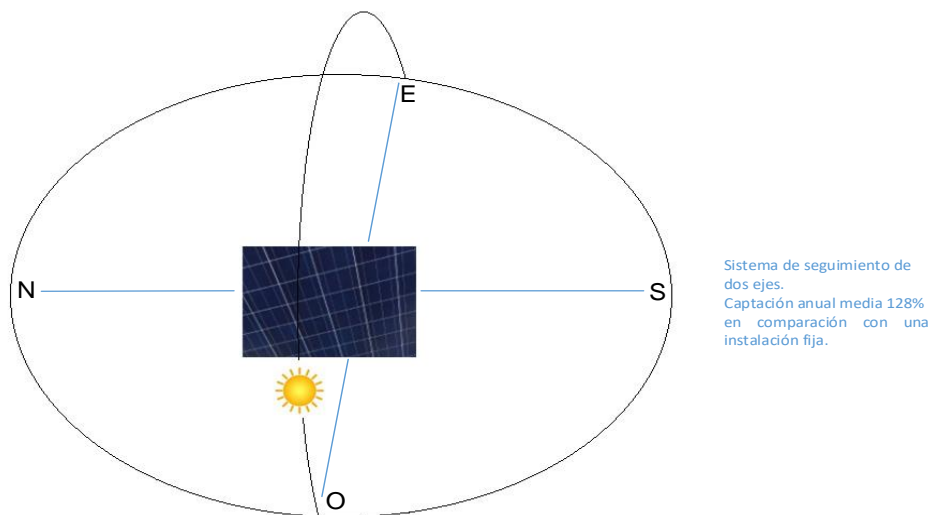


Figura 4.11: Sistema de seguidor solar de dos ejes, para la latitud del lugar.

El resultado de los sistemas solares analizados en el software CENSOL 5.0, se muestra en la tabla 4.3 para una mejor percepción de los resultados.

Tabla 4.3: Resultados de los sistemas de seguimiento con el software CENSOL 5.0

Sistema Fotovoltáico	Latitud	Inclinación del panel	Captación anual media
Instalación Fija	-2°	15°	98%
Seguidor eje horizontal	-2°	No aplica	124%
Seguidor eje vertical	-2°	15°	115%
Seguidor eje inclinado	-2°	15°	122%
Seguidor de dos ejes	-2°	No aplica	128%

Los resultados expuestos en la tabla 4.3 muestra que los sistemas con mayor captación solar anual media es el seguidor solar de dos ejes con el seguidor de eje horizontal con rendimientos del orden de 128% y 124% respectivamente, en el anexo 5 se muestra las imágenes de los resultados de los sistemas de seguimiento del software CENSOL 5.0.

Con estos resultados se observa la diferencia en la captación anual media de energía de un sistema de dos ejes con el sistema de eje horizontal para la latitud en estudio es del 4%, representando una diferencia no significativa. La comparación es representativa de un sistema de eje horizontal con una instalación fija ya obtiene una captación solar anual media adicional del 26% para la comunidad en estudio, por lo que esta diferencia es aceptable para la implementación de sistemas híbridos con sistemas de seguimiento de eje horizontal que es la hipótesis de este estudio.

La selección entre el sistema de eje horizontal y el de dos ejes, rige en la simplicidad de un sistema con respecto al otro y al rendimiento energético de una instalación con la otra. Un sistema de dos ejes requiere mayor control y demanda mayor consumo de energía para el posicionamiento solar en comparación con el de eje horizontal que es más simple el control y su demanda de energía, por estas razones y al rendimiento energético de una instalación y la otra, se selecciona al sistema de eje horizontal para la comunidad en estudio.

4.3. Dimensionamiento del sistema de eje horizontal para la comunidad de Yuwints

Para el dimensionamiento de los equipos de la instalación solar se ha tomado las siguientes consideraciones [20].

La energía necesaria para cada sistema, con los datos de la encuesta y a la agrupación realizada en el programa de optimización es de 576 Wh/día semejante a 580 Wh/día con lo que se tiene una demanda de corriente continua de $E_{cc} = 242$ Wh/día y de energía en corriente alterna $E_{ca} = 338$ Wh/día.

Por lo que la energía media diaria consumida se calcula con la siguiente ecuación:

$$Ed = \left(\frac{E_{cc}}{\eta_{reg}} + \frac{E_{ca}}{\eta_{reg} * \eta_{inv}} \right) * 1.2 \quad [\text{Wh}] \quad (\text{ecuación 4.1})$$

Donde:

E_d = Energía media diaria consumida en [Wh].

E_{cc} = Energía consumida diaria por las cargas en corriente continua en [Wh].

E_{ca} = Energía consumida diaria por las cargas en corriente alterna en [Wh].

η_{reg} = Eficiencia del regulador, para nuestro sistema es de 0.98

η_{inv} = Eficiencia del inversor, se considera de 0.93

El valor de 1.2 es un factor de seguridad adicional para compensar las pérdidas de todo el sistema.

Reemplazando la ecuación 4.1 se tiene:

$$Ed = \left(\frac{242}{0.98} + \frac{338}{0.98 * 0.93} \right) * 1.2$$

El valor de la energía media diaria es de:

$$Ed = 741.356 \quad [\text{Wh}]$$

La carga de consumo diario viene dada por la siguiente relación:

$$Cd = \frac{E_d}{V_{tr}} \quad [\text{Ah}] \quad (\text{ecuación 4.2})$$

C_d = Es la carga de consumo diaria.

V_{tr} = Es el voltaje de trabajo en corriente continua y ésta es de 12 Vcc.

Por lo que la carga de consumo diaria es de:

$$Cd = 61.77 \quad [\text{Ah}] \quad (\text{ecuación 4.3})$$

La potencia total consumida por el sistema viene dada por la siguiente ecuación:

$$P = \Sigma(P_{cd} + P_{ca}) * F_{\text{útil}} \quad [\text{W}] \quad (\text{ecuación 4.4})$$

P_{cd} = Potencia del sistema en corriente continua.

P_{ca} = Potencia del sistema en corriente alterna.

$F_{\text{útil}} = 1$ es el factor de utilización de la demanda.

La potencia para nuestro sistema es de 580 [W] considerando una demanda de energía horaria.

La hora solar pico se calcula con la siguiente ecuación.

$$HPS = \frac{I_{\alpha}}{3600} \quad [\text{hrs}] \quad (\text{ecuación 4.5})$$

I_{α} = Radiación solar promedio de la zona en estudio.

El valor para la zona de estudio es de 9038.706 [kJ/m²] para el mes de menor radiación captada.

$$HPS = \frac{9038.706}{3600}$$

$$HPS = 2.51 \text{ [hrs]}$$

Para el cálculo del panel fotovoltaico se consideran los siguientes parámetros:

V_m = Voltaje del módulo.

V_{pp} = Voltaje pico-pico del módulo.

P_{pp} = Potencia pico-pico.

I_{pm} = Corriente pico del módulo.

Los valores de estos parámetros vienen especificadas en las hojas técnicas de los fabricantes del panel fotovoltaico, en el anexo 6 se muestra la hoja técnica del panel fotovoltaico así como el resto de componentes del sistema.

Para el dimensionamiento de la batería se consideran los siguientes parámetros [22].

$$Cb = \frac{C_d * A}{V_{tr} * 0.7} \quad [\text{Ah}] \quad (\text{ecuación 4.6})$$

Donde:

C_b = Capacidad del banco de baterías.

A = Días de autonomía de la instalación.

El valor de 0.7 es la profundidad de descarga del banco de baterías.

Reemplazando estos valores se obtiene:

$$Cb = \frac{741.356 * 3}{12 * 0.7}$$

$$Cb = 264.77 \text{ [Ah]}$$

El número de paneles en serie se determina por:

$$Ns = \frac{V_{tr}}{V_m} \quad (\text{ecuación 4.7})$$

$$N_s = \frac{12}{12} = 1$$

Para el cálculo del número de paneles en paralelo se determina por la relación:

$$N_p = \frac{C_d}{I_{pm} * HSP} \quad (\text{ecuación 4.8})$$

$$N_p = \frac{61.77}{10 * 2.51} = 2.46 \approx 3$$

La capacidad del regulador se determina por el 1.25 % de la máxima corriente de generación.

$$I_r = 1.25 * 12.3 = 15.38 \text{ A}$$

La potencia del inversor tendrá que abastecer a las cargas de las viviendas más un 25% de la carga total del sistema, la capacidad del inversor se calcula con la siguiente ecuación:

$$P_{inv} = \frac{F_S * P}{\eta_{inv}} \quad [W] \quad (\text{ecuación 4.9})$$

Reemplazando se obtiene:

$$P_{inv} = \frac{1 * 580}{0.93} = 623.656 \text{ W}$$

4.4. Cálculo de la caída de tensión de los sistemas de seguimiento de la comunidad

Para garantizar una adecuada distribución de energía de los diferentes sistemas fotovoltaicos con seguimiento de eje horizontal hacia los usuarios, se realiza el cálculo de la caída de tensión de los conductores de energía eléctrica, desde el centro de generación hasta los usuarios.

En la tabla 4.4 se muestra los límites permitidos de la caída de tensión para las instalaciones fotovoltaicas aisladas de la Centrosur.

Tabla 4.4: Límite de la caída de tensión para instalaciones fotovoltaicas [22].

Caída de tensión	%ΔV
Generador - Regulador	< 3%
Batería - Regulador	< 1%
Inversor - Cargas	< 5%
Batería - Inversor	< 1%

Para el cálculo de la caída de tensión se hizo uso de la siguiente ecuación:

$$\%dV = \frac{2PL}{S\gamma V} \quad (\text{ecuación 4.10})$$

Donde:

$\%dV$ = caída de tensión máxima admisible en voltios.

S = sección calculada según el criterio de la caída de tensión máxima admisible en [mm²].

V = tensión de servicio de la línea.

γ = conductividad del conductor en [m/Ωmm²].

P = potencia activa para la línea prevista en vatios.

L = longitud de la línea en [m].

La conductividad a 20°C para el cobre es de 56 y para el aluminio de 35 [m/Ωmm²] respectivamente.

Con estos valores se procede al cálculo de la caída de tensión de las instalaciones donde la tabla 4.5 muestra los valores de las caídas de tensión de los sistemas de seguimiento solar de eje horizontal para la comunidad de Yuwints en el oriente ecuatoriano.

Tabla 4.5: Caída de tensión para los sistemas de seguimiento.

Caída de Tensión							
SISTEMA 1	# FASES	I fase (A)	Cond. Alimentación	Voltaje (Vcc / Vca)	SECCIÓN mm2	LONGITUD m	% dV
VIVIENDA # 1	1F2C	5,24	1x6(6)	12/120	13,31	16,12	0,33
VIVIENDA # 3	1F2C	5,24	1x6(6)	12/120	13,31	16,10	0,33
Caída de Tensión							
SISTEMA 2	# FASES	I fase (A)	Cond. Alimentación	Voltaje (Vcc / Vca)	SECCIÓN mm2	LONGITUD m	% dV
VIVIENDA # 2	1F2C	5,24	1x6(6)	12/120	13,31	48,21	0,98
VIVIENDA # 4	1F2C	5,24	1x6(6)	12/120	13,31	70,75	1,43
VIVIENDA # 6	1F2C	5,24	1x6(6)	12/120	13,31	68,16	1,38
Caída de Tensión							
SISTEMA 3	# FASES	I fase (A)	Cond. Alimentación	Voltaje (Vcc / Vca)	SECCIÓN mm2	LONGITUD m	% dV
VIVIENDA # 7	1F2C	5,24	1x6(6)	12/120	13,31	42,48	0,86
VIVIENDA # 9	1F2C	5,24	1x6(6)	12/120	13,31	15,00	0,30
VIVIENDA # 10	1F2C	5,24	1x6(6)	12/120	13,31	37,61	0,76
Caída de Tensión							
SISTEMA 4	# FASES	I fase (A)	Cond. Alimentación	Voltaje (Vcc / Vca)	SECCIÓN mm2	LONGITUD m	% dV
VIVIENDA # 8	1F2C	5,24	1x6(6)	12/120	13,31	105,98	2,14
VIVIENDA # 13	1F2C	5,24	1x6(6)	12/120	13,31	39,21	0,79
VIVIENDA # 14	1F2C	5,24	1x6(6)	12/120	13,31	71,58	1,45
Caída de Tensión							
SISTEMA 5	# FASES	I fase (A)	Cond. Alimentación	Voltaje (Vcc / Vca)	SECCIÓN mm2	LONGITUD m	% dV
VIVIENDA # 15	1F2C	5,24	1x6(6)	12/120	13,31	34,97	0,71
VIVIENDA # 16	1F2C	5,24	1x6(6)	12/120	13,31	15,00	0,30
VIVIENDA # 17	1F2C	5,24	1x6(6)	12/120	13,31	60,39	1,22
Caída de Tensión							
SISTEMA 6	# FASES	I fase (A)	Cond. Alimentación	Voltaje (Vcc / Vca)	SECCIÓN mm2	LONGITUD m	% dV
VIVIENDA # 18	1F2C	5,24	1x6(6)	12/120	13,31	50,94	1,03
VIVIENDA # 19	1F2C	5,24	1x6(6)	12/120	13,31	64,70	1,31
VIVIENDA # 21	1F2C	5,24	1x6(6)	12/120	13,31	77,20	1,56
Caída de Tensión							
SISTEMA 7	# FASES	I fase (A)	Cond. Alimentación	Voltaje (Vcc / Vca)	SECCIÓN mm2	LONGITUD m	% dV
VIVIENDA # 23	1F2C	5,24	1x6(6)	12/120	13,31	61,81	1,25
VIVIENDA # 24	1F2C	5,24	1x6(6)	12/120	13,31	2,00	0,04
VIVIENDA # 25	1F2C	5,24	1x6(6)	12/120	13,31	63,31	1,28
Caída de Tensión							
SISTEMA 8	# FASES	I fase (A)	Cond. Alimentación	Voltaje (Vcc / Vca)	SECCIÓN mm2	LONGITUD m	% dV
VIVIENDA # 29	1F2C	5,24	1x6(6)	12/120	13,31	45,06	0,91
VIVIENDA # 30	1F2C	5,24	1x6(6)	12/120	13,31	32,74	0,66
VIVIENDA # 31	1F2C	5,24	1x6(6)	12/120	13,31	74,48	1,51

En el anexo 7 se muestra la característica del conductor seleccionado al igual que el diseño de las instalaciones.

4.5. Simulación en Homer caso de estudio

Los equipos considerados para el dimensionamiento del sistema en Homer son:

- Carga en AC
- Panel FV
- Convertidor
- Batería

La figura 4.12 muestra estos componentes seleccionados en el esquemático de Homer.

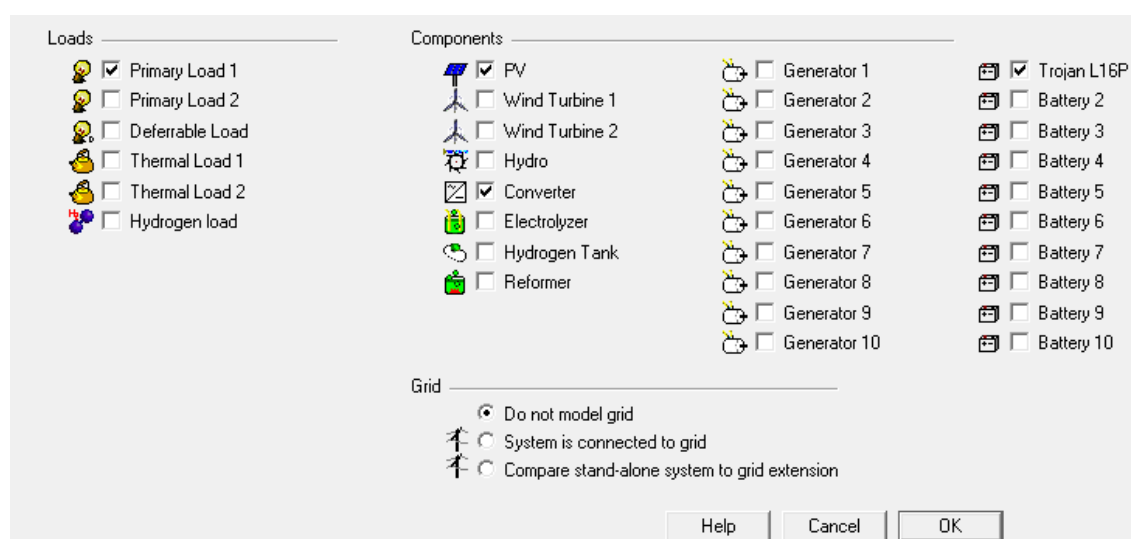


Figura 4.12: Selección de los equipos en el esquemático de Homer.

4.5.1. Valor de la carga en Homer

La carga primaria en AC es la capacidad instalada de la agrupación con mayor demanda de energía, es decir es la demanda de las viviendas con la que se dimensiona el sistema fotovoltaico de seguimiento de eje horizontal. La figura 4.13 muestra el comportamiento de la carga ingresada en el software que muestra un pico de energía desde las 12h00 hasta las 13h00 en un nivel de 156 W pico.



Figura 4.13: Carga total del sistema ingresada en Homer.

La carga total considerada para el dimensionamiento del sistema es en AC ya que la energía eléctrica generada es transmitida desde los sistemas de seguimiento de eje horizontal o punto de generación hasta los usuarios en AC.

4.5.2. Recurso energético solar mensual

Los datos ingresados de radiación mensual de todos los meses del año en el Homer se observan en la figura 4.14, en el anexo 8 se indica el mapa solar en el Ecuador y los valores del recurso solar por mes.

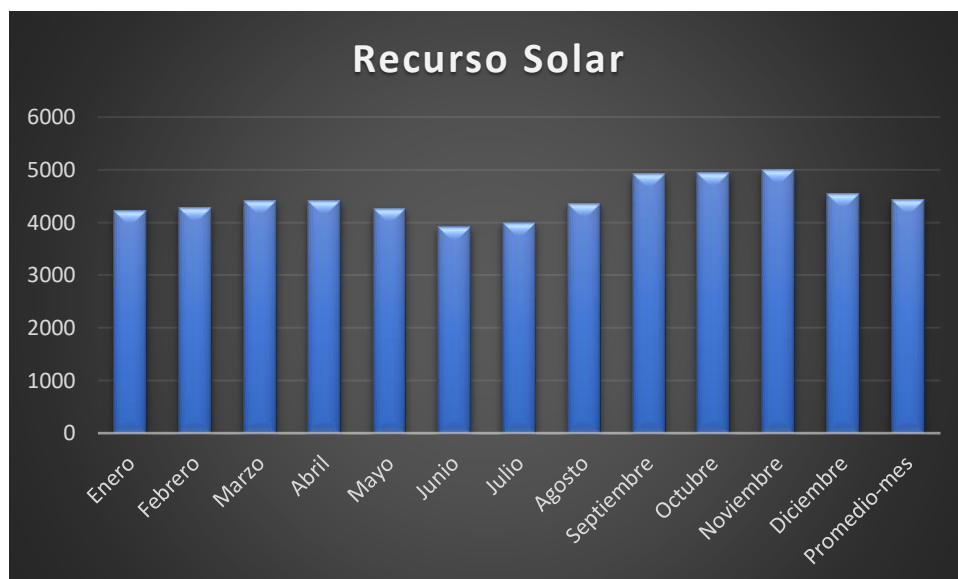


Figura 4.14: Datos radiación mensual ingresados en el Homer.

4.5.3. Paneles fotovoltaicos

La característica del panel escogido para la simulación se muestra en anexo 6 en el software de Homer se ingresa el valor en kW del tamaño del panel FV, el precio total del sistema de seguimiento, los costos de operación y mantenimiento. En el software también se indica el sistema de seguimiento con el que el Homer realizará el análisis, para este estudio se seleccionó el sistema de eje horizontal con ajuste continuo.

A más de los datos anteriores, se puede analizar en este esquemático el tipo de sistema de seguimiento, los costos de la estructura, cableado, control MPPT, inclinación de los paneles y su vida útil.

4.5.4. Convertidor

El convertidor es el encargado de transformar la energía generada por el panel FV de DC a CA para cubrir con la demanda en AC de las viviendas, en el Homer los datos que se ingresan son la potencia del convertidor, el precio, tiempo de vida. La tabla 4.6 muestra los valores ingresados en el esquemático del Homer para la selección del convertidor.

Tabla 4.6: Datos del convertidor para la simulación en Homer.

Tamaño kW	Capital (\$)	Reemplazo (\$)	O&M (\$/yr)	Tamaño a considerar en kW
0,8	278	278	0	0,8
Tiempo de vida en años		5		1,6
Eficiencia		0,93		2,4
				3,2
				4

4.5.5. Baterías

Las baterías cumplen un rol muy importante en un sistema FV, en el software Homer se ingresa los costos de la batería, el tamaño a considerar, la vida de las baterías por año y el número de baterías por arreglo. La tabla 4.7 muestra los datos ingresados en el esquemático del Homer.

Tabla 4.7: Datos de la batería ingresados en Homer.

Cantidad	Capital (\$)	Reemplazo (\$)	O&M (\$/yr)	Tamaño a considerar baterías
0,8	440	440	0	8
Baterías por string		1		16
				24
				32
				40
				48

Finalmente, con todos estos datos ingresados en el software de Homer se procede a realizar el análisis de sensibilidad, la figura 4.15 muestra la configuración del sistema.

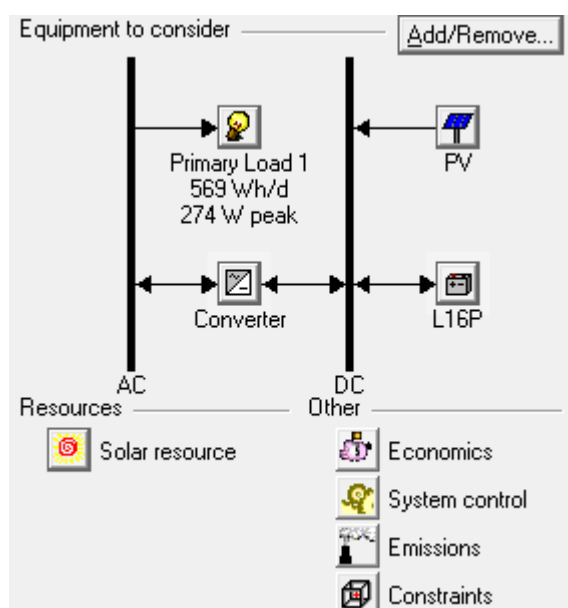


Figura 4.15: Sistema híbrido aislado con sistema de seguimiento solar de eje horizontal.

4.5.6. Simulación de los datos del sistema

El proceso de simulación es el paso donde el software realiza el análisis de las diferentes combinaciones en base a los datos de entrada, para dar la solución de las combinaciones más económicas, la tabla 4.8 muestra los resultados de las distintas configuraciones escogidas por el sistema.

Tabla 4.8: Resultados de la optimización realizado en Homer con seguimiento de eje horizontal.

Resultados de la optimización en Homer Energy con sistema de seguimiento de eje horizontal							
#	PV KW	Trojan L16P	Converter KW	Capital Inicial	Costo de operación (\$/año)	Total NPC	COE (\$/KWh)
1	0,15	8	0,8	\$ 4,509	241	7,584	\$ 2,857
2	0,3	8	0,8	\$ 5,220	248	8,392	\$ 3,161
3	0,15	8	1,6	\$ 4,787	285	8,428	\$ 3,174
4	0,45	8	0,8	\$ 5,931	256	9,201	\$ 3,466
5	0,3	8	1,6	\$ 5,498	292	9,236	\$ 3,479
6	0,15	8	2,4	\$ 5,065	329	9,271	\$ 3,492
7	0,6	8	0,8	\$ 6,642	263	10,009	\$ 3,770
8	0,45	8	1,6	\$ 6,209	300	10,044	\$ 3,783
9	0,3	8	2,4	\$ 5,776	337	10,08	\$ 3,797
10	0,15	8	3,2	5,343	373	10,115	\$ 3,810

En la tabla 4.8 se observa los equipos sugeridos para la instalación fotovoltaica con el valor más económico en comparación con las restantes combinaciones. Los valores de los equipos fueron consultados en la web y se encuentran en el anexo 9.

Para poder tener un resultado de si un sistema de seguimiento de eje horizontal genera más energía que un sistema fijo se realizó la comparación en Homer de los dos sistemas con iguales característica para los dos sistemas con la aplicación del caso de estudio. La tabla 4.9 muestra el resultado de la simulación para una instalación fija.

Tabla 4.9: Resultados de la optimización realizado en Homer para una instalación fija.

Resultados de la optimización en Homer Energy de un sistema fijo							
#	PV KW	Trojan L16P	Converter KW	Capital Inicial	Costo de operación (\$/año)	Total NPC	COE (\$/KWh)
1	0,15	8	0,8	\$ 4,509	241	7,584	\$ 2,857
2	0,3	8	0,8	\$ 5,220	248	8,392	\$ 3,161
3	0,15	8	1,6	\$ 4,787	285	8,428	\$ 3,174
4	0,45	8	0,8	\$ 5,931	256	9,201	\$ 3,466
5	0,3	8	1,6	\$ 5,498	292	9,236	\$ 3,479
6	0,15	8	2,4	\$ 5,065	329	9,271	\$ 3,492
7	0,6	8	0,8	\$ 6,642	263	10,009	\$ 3,770
8	0,45	8	1,6	\$ 6,209	300	10,044	\$ 3,783
9	0,3	8	2,4	\$ 5,776	337	10,08	\$ 3,797
10	0,15	8	3,2	5,343	373	10,115	\$ 3,810

Comparando la tabla 4.8 y 4.9 se observa que no existe variación alguna en el dimensionamiento del sistema como en los gastos de operación y mantenimiento.

Al comparar los dos sistemas en la producción de energía fotovoltaica se observa que el sistema de seguimiento de eje horizontal tiene una producción mayor de energía en comparación con el sistema de instalación fija. La tabla 4.10 muestra la producción fotovoltaica del sistema de eje horizontal vs la instalación fija.

Tabla 4.10: Resultados de la generación fotovoltaica del sistema de eje horizontal y el sistema fotovoltaico de instalación fija.

Sistema Fotovoltaico con seguimiento de eje horizontal			Sistema Fotovoltaico de instalación fija		
Producción FV	Tot. Producción Eléctrica	Carga primaria servida en AC	Producción FV	Tot. Producción Eléctrica	Carga primaria servida en AC
kWh/año	kWh/año	kWh/año	kWh/año	kWh/año	kWh/año
399	399	208	357	357	208
797	797	208	714	714	208
399	399	208	357	357	208
1,196	1,196	208	1,071	1,071	208
797	797	208	714	714	208
399	399	208	357	357	208
1,594	1,594	208	1,428	1,428	208
1,196	1,196	208	1,071	1,071	208
797	797	208	714	714	208
399	399	208	357	357	208

Finalmente, la tabla 4.11 muestra la ganancia del sistema de eje horizontal en porcentaje.

Tabla 4.11: Generación adicional de energía del sistema de seguimiento de eje horizontal en comparación a una instalación fija.

Con seguimiento eje horizontal	Sin seguimiento	Producción de energía adicional
Producción FV kWh/año	Producción FV kWh/año	%
399	357	10,53
797	714	10,41
399	357	10,53
1,196	1,071	10,45
797	714	10,41
399	357	10,53
1,594	1,428	10,41
1,196	1,071	10,45
797	714	10,41
399	357	10,53

5. Capítulo 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES PARA TRABAJOS FUTUROS

5.1. Conclusiones

El resultado presentado a lo largo de este trabajo investigativo sirve de soporte para aplicaciones futuras del uso de sistemas de seguimiento de eje horizontal para comunidades aisladas, ya que muestra la ganancia de energía que este sistema ofrece en comparación con los sistemas fotovoltaicos de instalaciones fijas, indicando la aplicabilidad que ofrecen estos sistemas en la formación de nano redes.

A pesar de las limitaciones del software CENSOL 5.0 que no permite ingresar datos de la presencia de nubosidad, humedad, de la comunidad en estudio, se pudo calcular la ganancia energética que se consigue al analizar un sistema de seguimiento en comparación a una fija. De la comparación se concluye que el sistema de seguimiento que presenta una mayor captación anual media es el de seguimiento de dos ejes, seguida del sistema de seguimiento de un eje horizontal, con una diferencia en la captación de energía anual media de apenas el 4%. Esta diferencia no muy distante, es producto de la ubicación del Ecuador y de la latitud del lugar de la comunidad en estudio.

Del resultado del análisis comparativo realizado en el software Homer Energy del dimensionamiento de una instalación fija y una con seguimiento de eje horizontal se observó que es la misma, ya que los equipos: inversor, regulador, baterías, paneles fotovoltaicos presentan la misma capacidad tanto para un sistema como para el otro. También se mostró la ganancia de energía que presenta la instalación de eje horizontal vs la fija con lo que se concluye que los seguidores de eje horizontal son sistemas que mejoran la captación de energía siendo de gran utilidad para aumentar la eficiencia de las instalaciones solares fotovoltaicas.

Con lo que se concluye que los sistemas híbridos FV con seguimiento solar de eje horizontal son soluciones técnicas de gran ayuda para mejorar la captación solar y cubrir la demanda de energía de las comunidades aisladas del oriente ecuatoriano, lo que permite que este tipo de sistema mejore la calidad de vida de los habitantes, al permitirles tener acceso a la radio, televisión, computador, la iluminación con lo que se consigue que los estudiantes puedan hacer sus tareas con iluminación artificial y en algunas comunidades tener acceso al internet.

5.2. Recomendaciones

Ciertamente las integraciones de las energías renovables a las comunidades aisladas de las redes públicas de distribución de energía eléctrica contribuyen a mejorar la calidad de vida de los pobladores, por lo que es importante tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Realizar un dimensionamiento adecuado de los sistemas, ya que el subdimensionamiento o sobre-dimensionarlo lleva consigo a tener problemas energéticos y económicos.
- La elección y análisis de los equipos que van a trabajar en las comunidades aisladas son de vital importancia, ya que en el oriente ecuatoriano se tiene un clima con presencia de humedad y calor, por lo que se debe tener en cuenta todos estos aspectos al momento de seleccionar los equipos para el lugar donde van a servir y que estos cuenten con las protecciones necesarias para las condiciones climáticas, garantizando el correcto funcionamiento y durabilidad de los equipos.
- La creación de un comité comunitario que se encargue del mantenimiento de los equipos cumple un rol fundamental para garantizar una vida larga de los equipos con la correcta producción de energía.
- Se recomienda dar el aviso respectivo de la presencia de una falla ó mal funcionamiento de los sistemas FV al técnico y no intentar arreglar por su cuenta el sistema, ya que puede ser averiado más ó sufrir daño alguno principalmente por el ácido de la batería.
- Se recomienda hacer un estudio de la captación solar de los sistemas de seguimiento con todas variables existentes por ejemplo la nubosidad del lugar, obtener mediciones de radiación solar del sitio de estudio con el propósito de dimensionar los equipos con datos reales lo que permite tener ahorros significativos en la instalación.

5.3. Trabajos futuros

El actual trabajo de investigación permite una continuación posterior del análisis de la captación solar mediante sistemas de seguimiento solar para el Ecuador así como para la comunidad de estudio, donde diferentes variables climatológicas y fenómenos eléctricos no han sido considerados en el desarrollo de este trabajo, por lo que pueden ser analizados en trabajos futuros.

El estudio de una minirred con fuentes renovables de energía para la comunidad de Yuwints, donde se integre un sistema de seguimiento solar y una hídrica mejoraría no sólo la generación eléctrica sino la calidad de vida de los habitantes, por lo que se ve la necesidad de realizar estudios con estas combinaciones ya que muchas de las comunidades en el oriente ecuatoriano poseen tanto recursos solares como hídricos que en conjunto ayudarían a cubrir con la demanda de energía eléctrica para el beneficio de los moradores de las comunidades.

La radiación solar que posee el Ecuador, lo convierte en un país con gran potencial de generación eléctrica mediante generación fotovoltaica. Los paneles fotovoltaicos de inclinación óptima no son las instalaciones más adecuadas en cuanto al aprovechamiento energético como se demostró en este trabajo, por lo que se recomienda hacer un estudio de la viabilidad de los sistemas de seguimiento para la generación de electricidad en parques solares.

Bibliografía

- [1] C. F. Eduardo, “ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA, COMPETITIVIDAD Y EVALUACIÓN ECONÓMICA, COMPARATIVA Y MODELOS,” Universidad Nacional de Educación a Distancia, 2009.
- [2] “RENEWABLE POWER GENERATION COSTS IN 2014,” no. January, 2015.
- [3] A. S. Tan David, *Handbook for Solar Photovoltaic (PV) Systems*. Singapore: 2016, 2016.
- [4] MEER, “PLAN MAESTRO DE ELECTRIFICACION,” p. 440, 2016.
- [5] E. A. Vintimilla, “Plan Maestro de Electrificación 2012-2021,” p. 448, 2012.
- [6] M. A. Abella, “Master en Energías Renovables y Mercado Energético Energía Solar Fotovoltaica Escuela de Organización Industrial Sistemas Fotovoltaicos.”
- [7] W. Zghal, G. Kantchev, and H. Kchaou, “Determination of the exploitable solar energy for electricity generation using the photovoltaic systems,” pp. 43–48, 2012.
- [8] M. A. G. João Tavares, Ed., *Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos*. Rio de Janeiro: 2014, 2014.
- [9] M. R. Rashel and T. Gonc, “Sensitivity analysis of parameters of a photovoltaic cell under different conditions,” 2016.
- [10] T. Halder, “Charge Controller of Solar Photo-Voltaic Panel Fed (SPV) Battery,” pp. 4–7.
- [11] V. Graham, “Batteries and Solar Power : Guidance for domestic and small commercial consumers,” 2016.
- [12] E. Superior, “Impacto de la Generación Eólica y Solar en el Sistema Eléctrico de Baja California Norte,” 2010.
- [13] M. R. Patel, *Wind and Solar Power Systems, Desing, Analysis, and Operation*. 2006.
- [14] M. Solar, “1 EJE HORIZONTAL,” 07/15, 2015. [Online]. Available: <http://mecasolar.com/products/>. [Accessed: 19-Apr-2017].
- [15] J. Beltrán Adán, “Prototipo fotovoltaico con seguimiento del Sol para procesos electroquímicos,” Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico, 2007.
- [16] P. E. B. Guartazaca, “EVALUACION DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CON HIDROSEGUIDORES,” Universidad de Cuenca, 2014.
- [17] L. E. U. Flores, “PROCEDIMIENTO PARA LA ELECTRIFICACIÓN EN ZONAS AISLADAS: CASO CANTÓN TAISHA, MORONA SANTIAGO,” Universidad de Cuenca, 2015.
- [18] Manzano Luis, “Política Pública,” 2015.
- [19] Gransolar, “Parques Solares Salinas y Tren Salinas,” 2015. [Online]. Available: http://d9no22y7yqre8.cloudfront.net/assets/uploads/projects/downloads/Caso de Exito Yingli_ Salinas Ecuador_LR.pdf. [Accessed: 14-Feb-2017].

- [20] J. S. W. Mogrovejo, "Análisis de factibilidad técnica económica en la implementación de energía fotovoltaica y termo solar para generación de electricidad y calentamiento de agua mediante paneles solares fijos y con un seguidor de sol de construcción casera, para una vivienda," Universidad de Cuenca, 2011.
- [21] T. GAD, "DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL," 2014.
- [22] L. Gerardo and M. Zhumi, "DIAGNÓSTICO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CORRESPONDIENTES A LA PRIMERA ETAPA DEL PROYECTO YANTSA II ETSARI," Universidad de Cuenca, 2012.
- [23] Silvio P. Quituisaca, "MODELO DE GESTIÓN SOSTENIBLE DE PROYECTOS DE ELECTRIFICACIÓN RURAL AISLADA MEDIANTE ENERGÍAS RENOVABLES – APLICACIÓN AL CASO CENTROSUR," Universidad de Cuenca, 2015.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Anexos

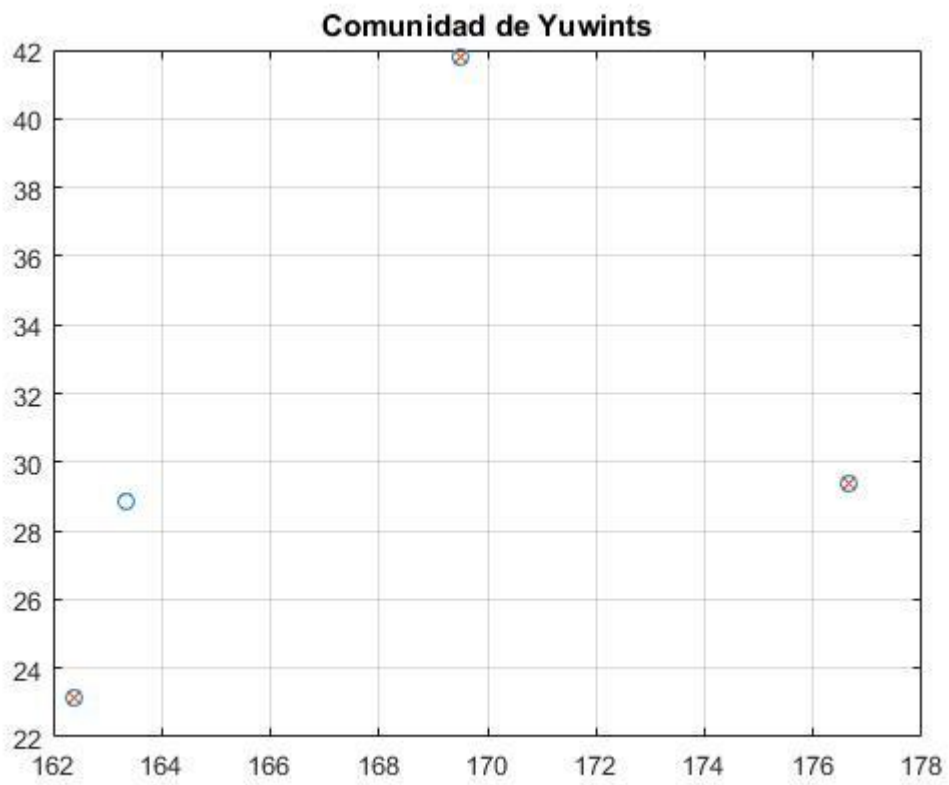
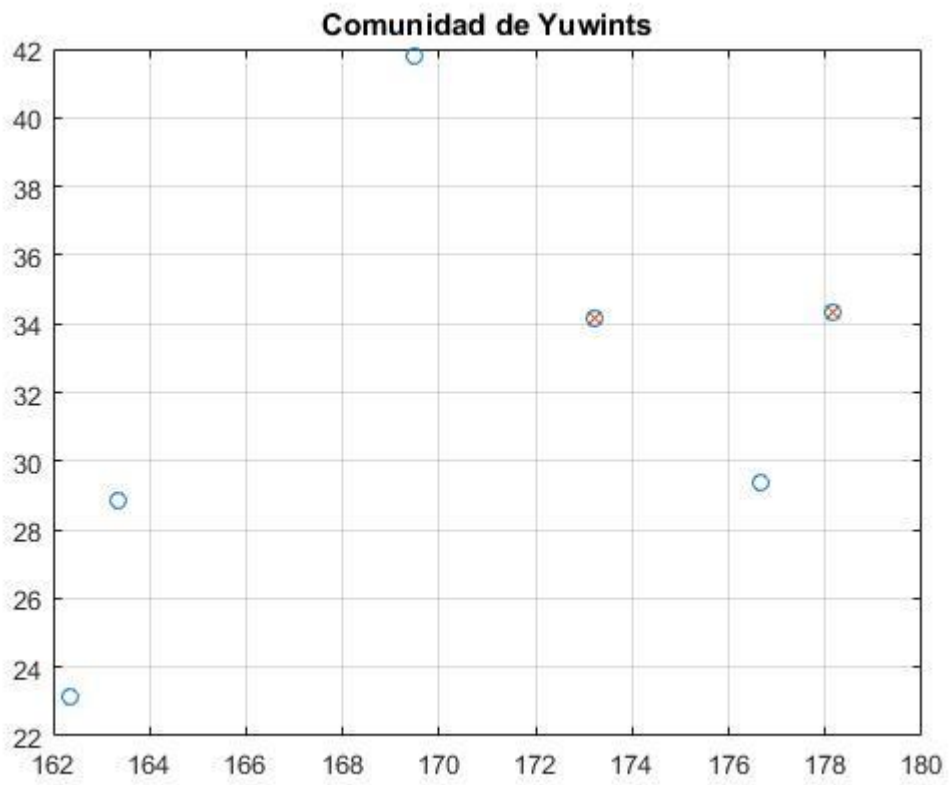
Anexo 1

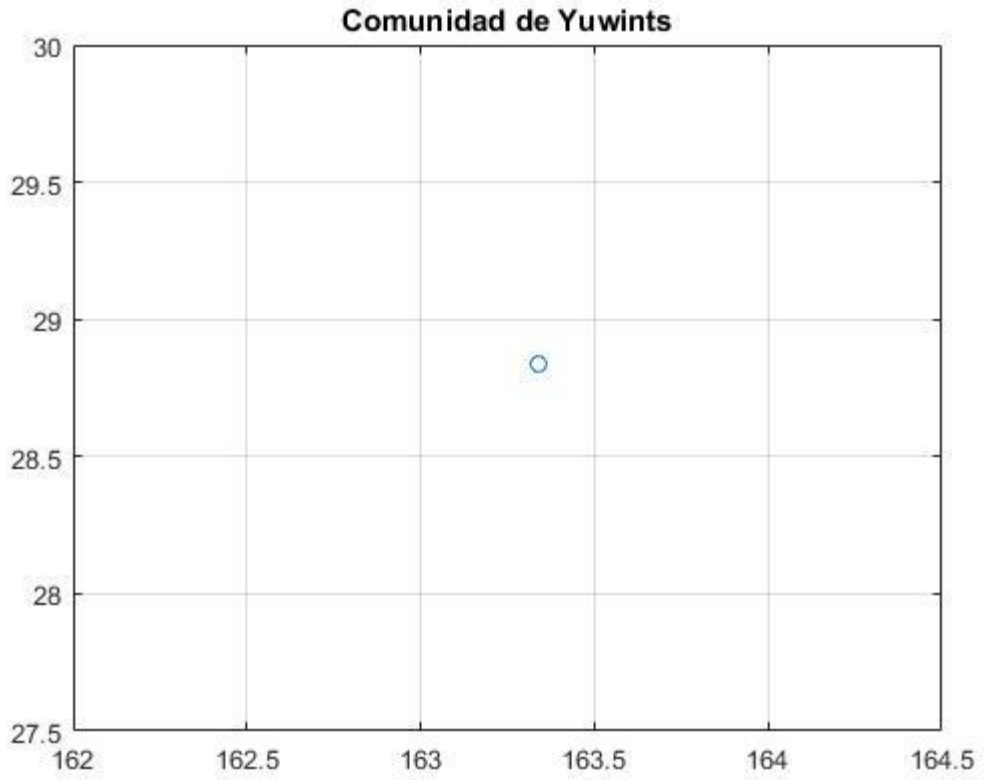
MODELO DE ENCUESTA							
USOS DE ENERGÍA DE SISTEMAS FOTOVOLTÁICOS DE LA REGIÓN AMAZÓNICA - ÁREA DE CONCESIÓN CENTROSUR							
Encuesta N°: _____							
Comunidad: _____		Fecha: _____					
Nombre del Usuario: _____		Código: _____					
P1) N° de integrantes en la vivienda: _____							
P2) ¿Cuánto es el pago mensual de uso del sistema? _____							
P3) ¿Qué tipo de energía utiliza para la cocción de alimentos?							
a) Leña:	<input type="text"/>						
b) Gas:	<input type="text"/>						
c) Otro tipo de energía especifique: _____							
P4)							
Iluminación							
Luz	foco N°	Mañana		Tarde		Noche	
		Desde	Hasta	Desde	Hasta	Desde	Hasta
Fluorescente	1						
Compacta 12V	2						
en DC 11W	3						
P5)							
Artefactos - Usos							
Artefactos	Potencia	Mañana		Tarde		Noche	
Radio							
TV							
DVD							
Computador							
Otros							
P6) ¿Tiene previsto adquirir más equipos eléctricos especifique?							
a) Iluminación N° de focos: _____							
b) Artefactos ¿Cuáles? _____							
Observaciones: _____							

Anexo 2

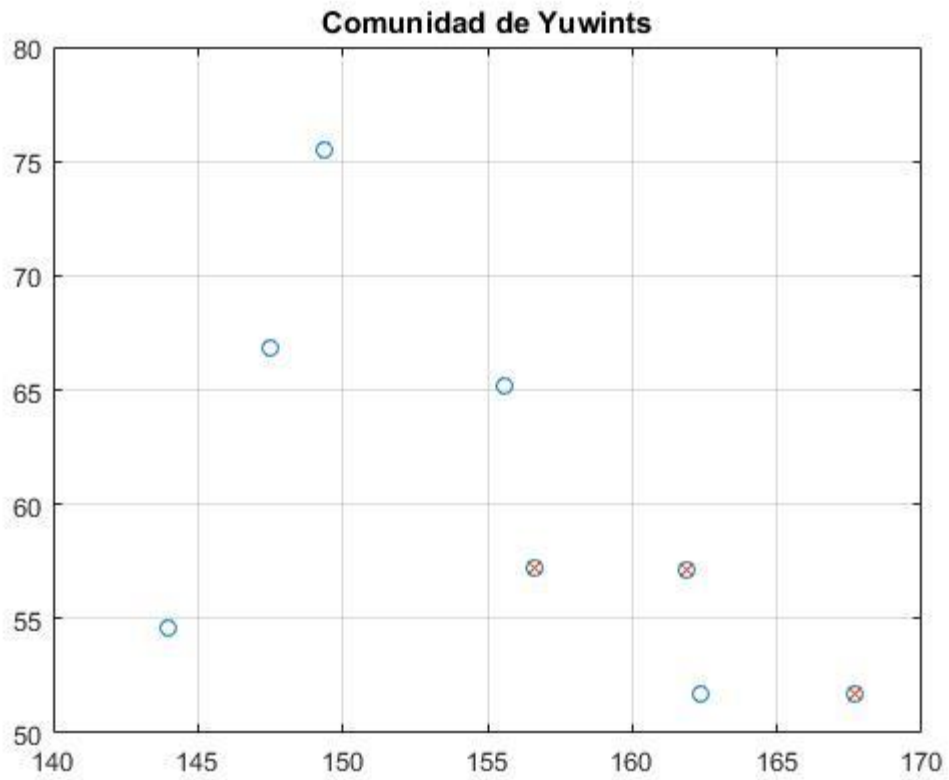
Coordenadas de las viviendas de la comunidad de Yuwints			
# de Vivienda	X	Y	Carga en [Wh/día]
1	178,15	34,33	302,05
2	176,66	29,35	144,15
3	173,20	34,14	172,65
4	162,37	23,11	252,55
5	163,34	28,84	89,15
6	169,49	41,80	138,4
7	167,68	51,71	96
8	162,38	51,67	44
9	161,89	57,14	255,65
10	156,60	57,18	129,55
11	143,97	54,56	153,65
12	155,61	65,18	109,5
13	147,49	66,88	254,2
14	149,39	75,49	225,9
15	145,98	84,16	80,8
16	140,91	84,66	120,9
17	132,32	78,83	293,25
18	127,44	79,24	155,3
19	114,07	77,81	149,6
20	126,38	91,44	65,4
21	123,39	96,12	244,85
22	176,09	83,68	280,4
23	171,08	83,70	89,35
24	165,60	91,47	362,9
25	162,63	100,74	123,75
26	170,71	91,45	23,65
27	182,64	72,42	70,95
28	189,45	45,60	271,2
29	145,08	134,37	192,1
30	140,23	136,31	133,5
31	130,31	123,78	174,55
32	109,60	139,01	159,95
33	91,09	154,12	170
34	61,34	171,40	170,45

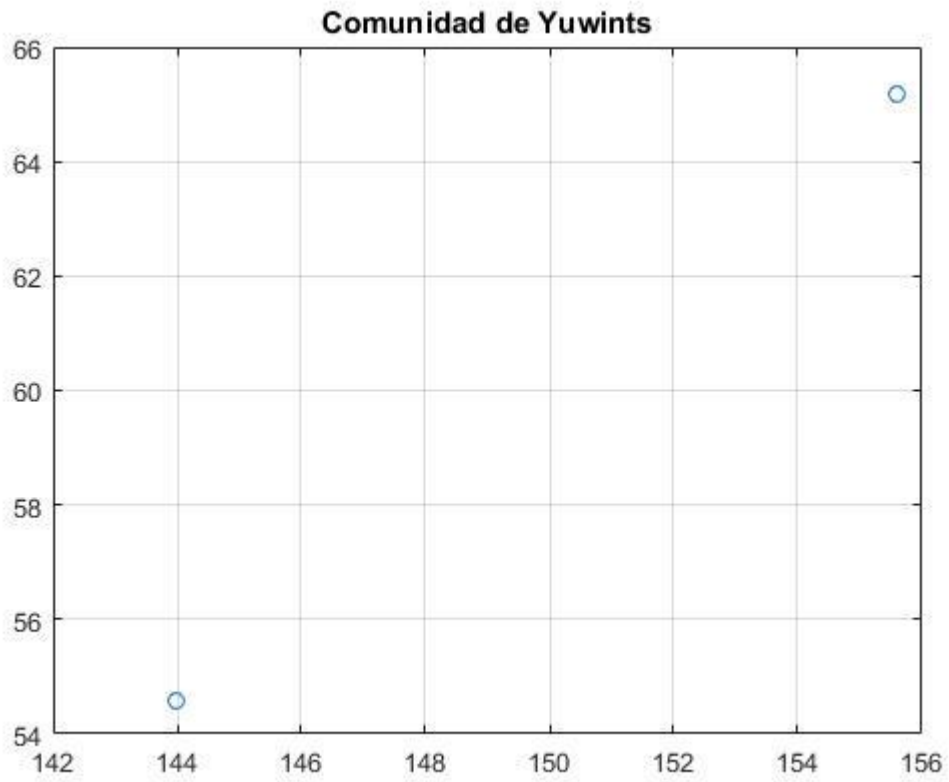
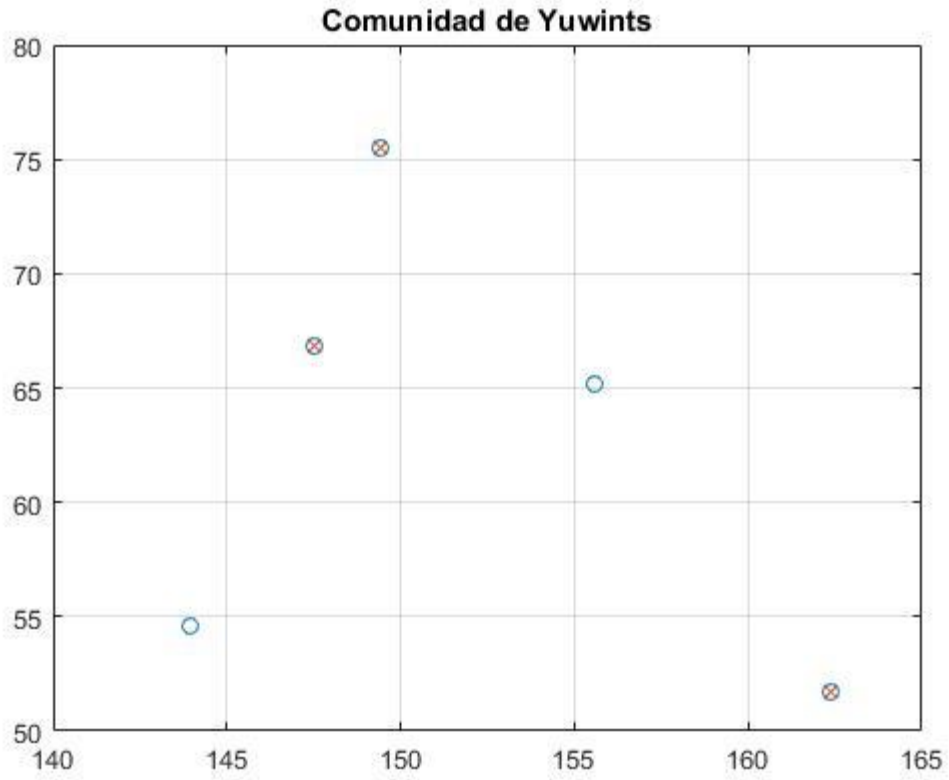
Anexo 3
Caso 1



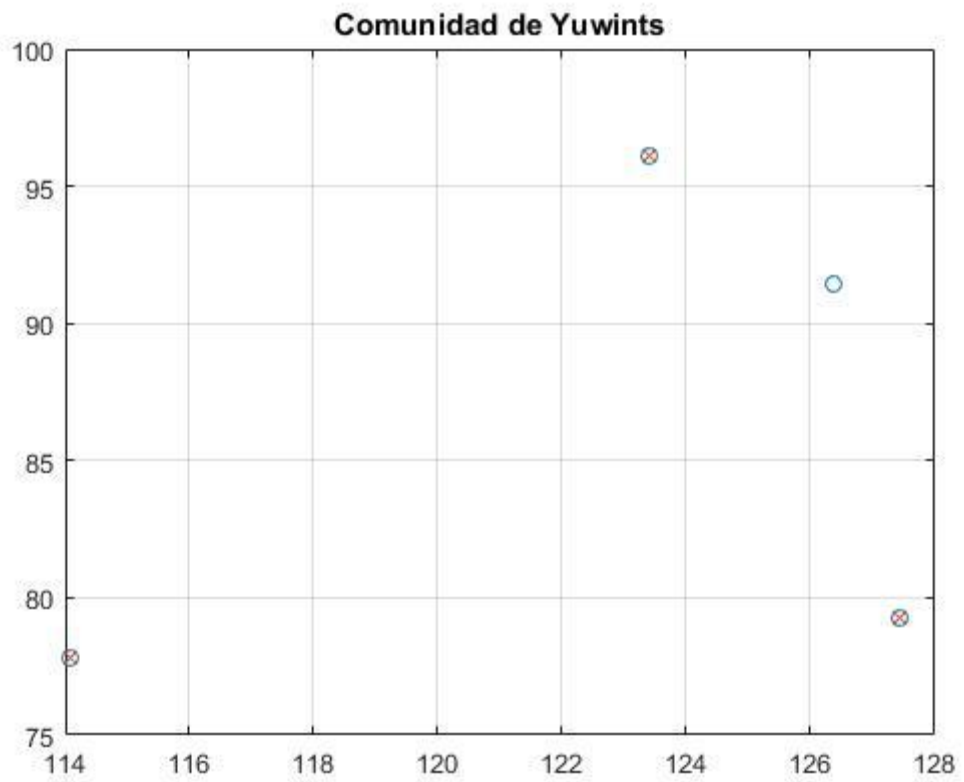
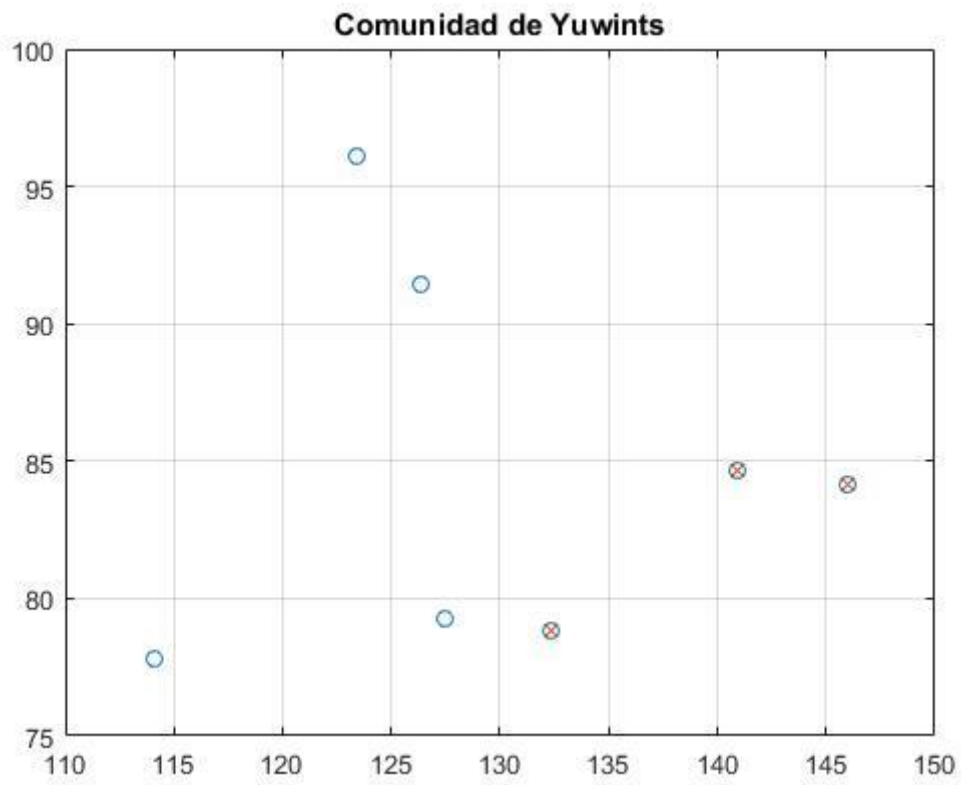


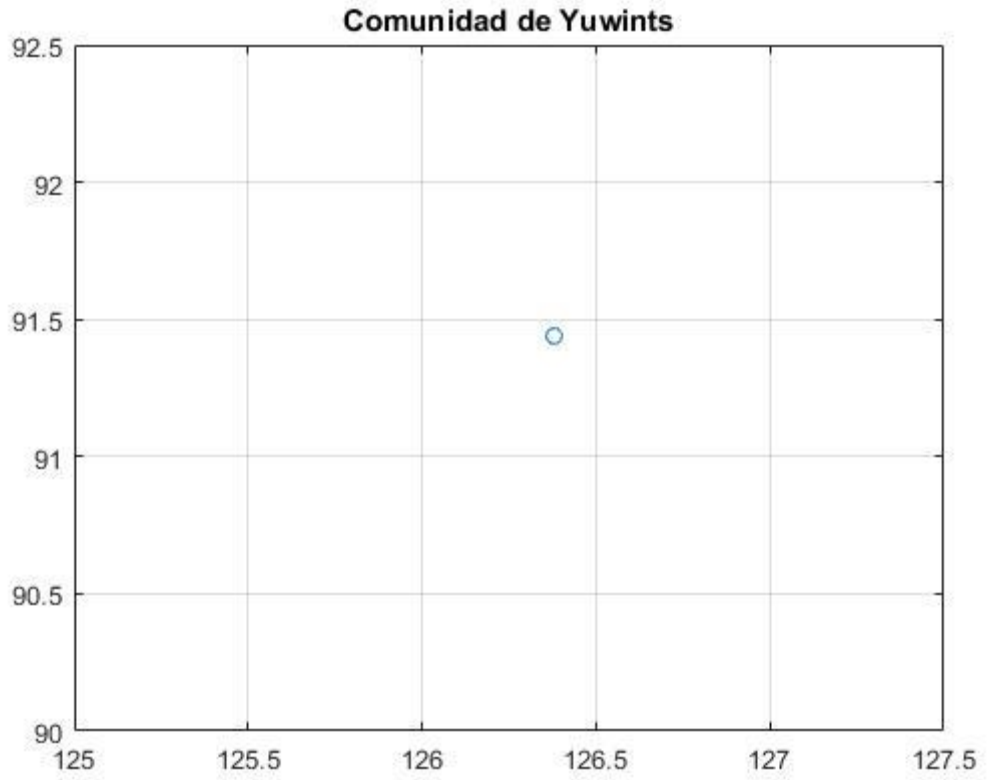
Caso 2



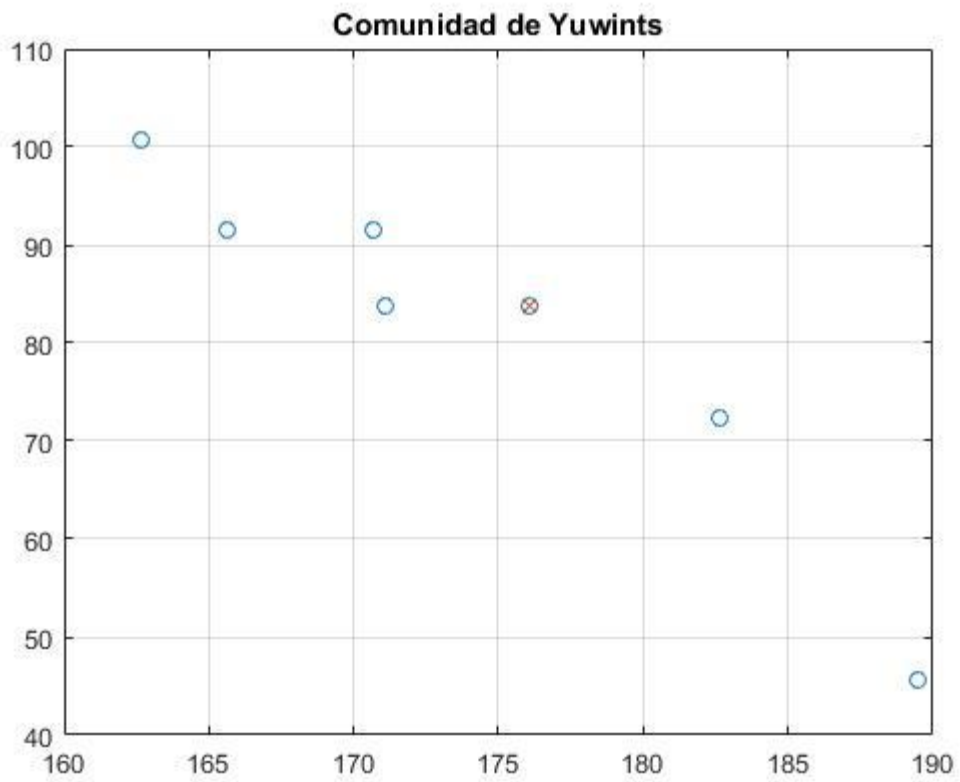


Caso 3

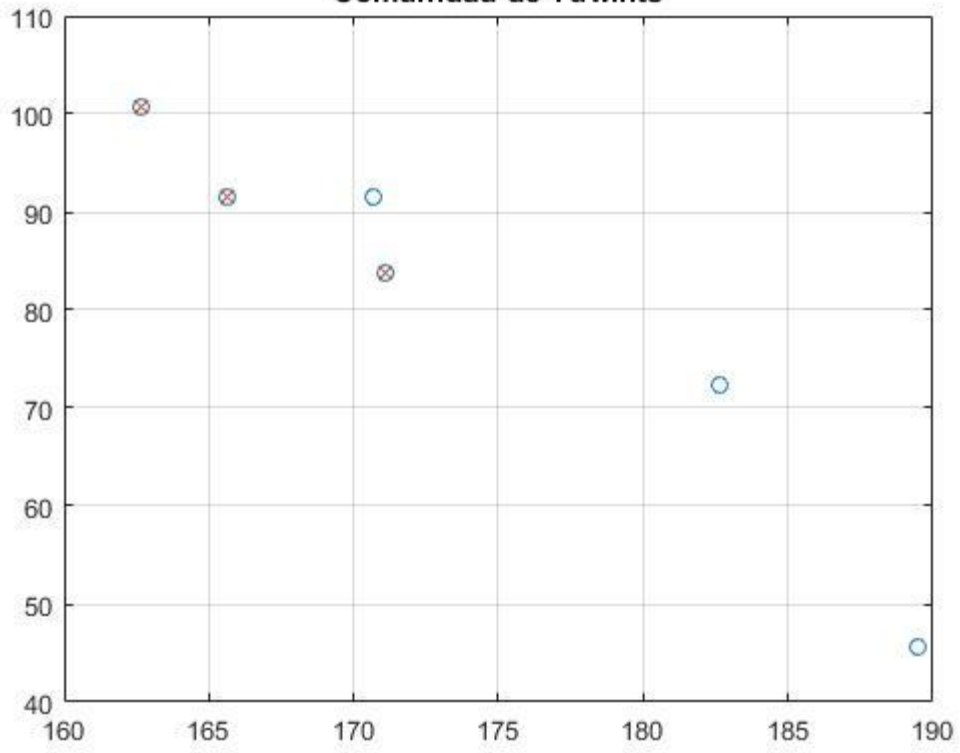




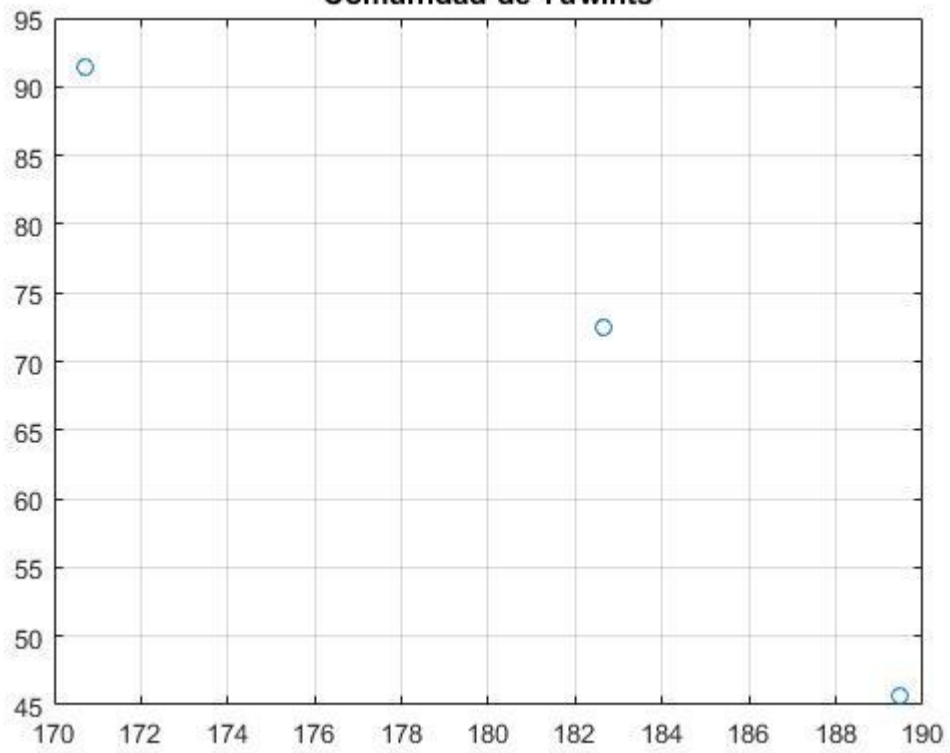
Caso 4



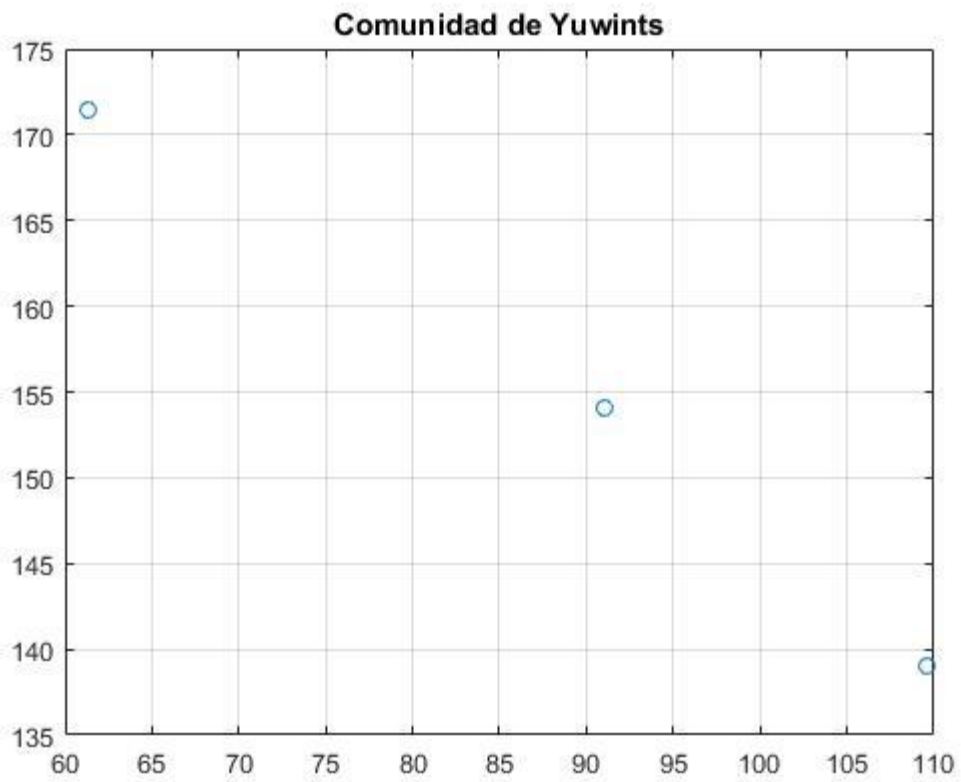
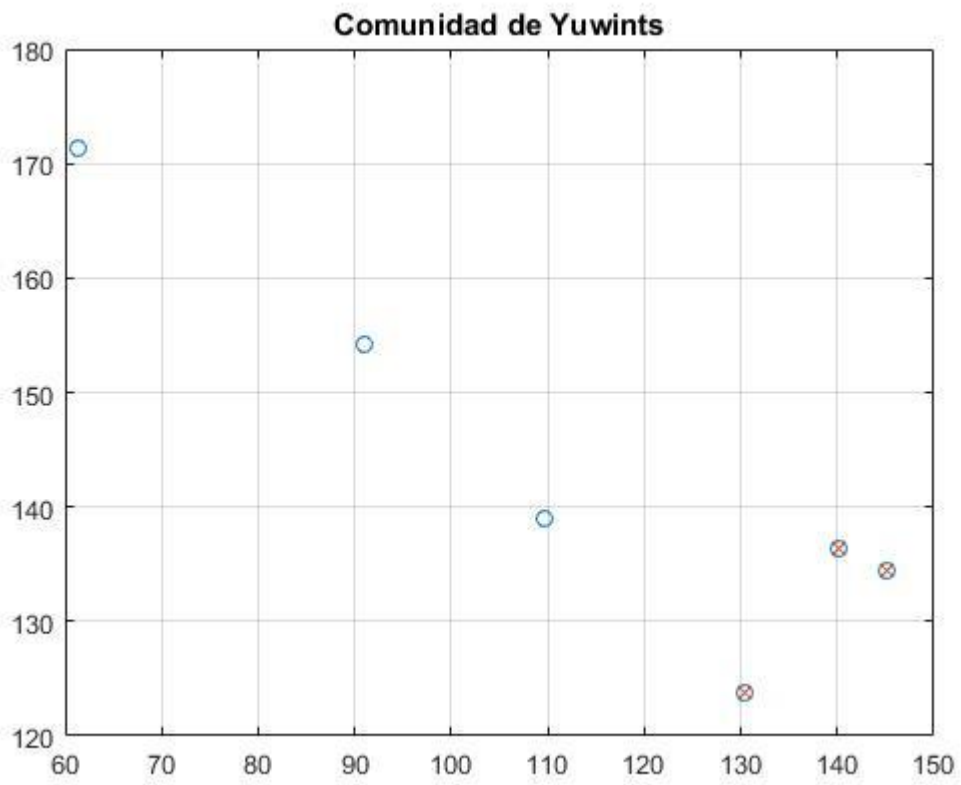
Comunidad de Yuwints



Comunidad de Yuwints



Caso 5



Anexo 4

Programa realizado en Matlab (optimización)

Programa principal

```
clear all;
bandera=false;
while true;
    clc;
    disp('          MENU');
    disp(' ');
    disp('Digite 1 para el Grupo 1');
    disp('Digite 2 para el Grupo 2');
    disp('Digite 3 para el Grupo 3');
    disp('Digite 4 para el Grupo 4');
    disp('Digite 5 para el Grupo 5');
    disp('Digite 6 para Salir');
    disp(' ');
    op=input(' Ingrese la opción ');
    switch op
        case 1
            %GRUPO 1
            %-----o-----o-----o-----
            x = [ 178.15    176.66  173.20  162.37  163.34  169.49];
            y = [34.33  29.35  34.14  23.11  28.84  41.80];
            l = [302.05 144.15  172.65  252.55  89.15  138.4];
            %-----o-----o-----o-----
            NN=length(x);
            ww=1;
            band=true;
            while band==true
                long=length(x);
                [a,b,c,k,N,X,Y,L] = grouping (x,y,l);
                x=a;
                y=b;
                l=c;
                if (long-N)==0
                    band=false;
                end
                display(ww)
            end
            case 2
                %GRUPO 2
                %-----o-----o-----o-----
                x = [ 167.68    162.38  161.89  156.60  143.97  155.61  147.49  149.39];
                y = [51.71  51.67  57.14  57.18  54.56  65.18  66.88  75.49];
                l = [96 44  255.65  129.55  153.65  109.5  254.2  225.9];
                %-----o-----o-----o-----
                NN=length(x);
                ww=2;
                band=true;
                while band==true
                    long=length(x);
                    [a,b,c,k,N,X,Y,L] = grouping (x,y,l);
                    x=a;
                    y=b;
                    l=c;
                    if (long-N)==0
                        band=false;
                    end
                    end
                    ww=ww+length(X);
```

```

        display(ww)
    end
    case 3
%GRUPO 3
%-----o-----o-----o-----
x = [145.98 140.91 132.32 127.44 114.07 126.38 123.39];
y = [84.16 84.66 78.83 79.24 77.81 91.44 96.12];
l = [80.8 120.9 293.25 155.3 149.6 65.4 244.85];
%-----o-----o-----o-----
        NN=length(x);
        band=true;
        ww=1;
    while band==true
        long=length(x);
        [a,b,c,k,N,X,Y,L] = grouping (x,y,l);
        x=a;
        y=b;
        l=c;
        ww=ww+length(X);
        if (long-N)==0
            band=false;
        end
        display(ww)
    end
    case 4
%GRUPO 4
%-----o-----o-----o-----
x = [176.09 171.08 165.60 162.63 170.71 182.64 189.45];
y = [83.68 83.70 91.47 100.74 91.45 72.42 45.60];
l = [280.4 89.35 362.9 123.75 23.65 70.95 271.2];
%-----o-----o-----o-----
        NN=length(x);
        ww=2;
        band=true;
    while band==true
        long=length(x);
        [a,b,c,k,N,X,Y,L] = grouping (x,y,l);
        x=a;
        y=b;
        l=c;
        if (long-N)==0
            band=false;
        end
        ww=ww+length(X);
        display(ww)
    end
    case 5
%GRUPO 5
%-----o-----o-----o-----
x = [145.08 140.23 130.31 109.60 91.09 61.34];
y = [134.37 136.31 123.78 139.01 154.12 171.4];
l = [192.1 133.5 174.55 159.95 170 170.45];
%-----o-----o-----o-----
        NN=length(x);
        ww=2;
        band=true;
    while band==true
        long=length(x);
        [a,b,c,k,N,X,Y,L] = grouping (x,y,l);
        x=a;
        y=b;

```

```

        l=c;
        if (long-N)==0
            band=false;
        end
        ww=ww+length(X);
        display(ww)
    end
    case 6
        break;
    otherwise
        repetir=input('Opción mal ingresada, enter para continuar');
    end
end
end

```

Subprograma función

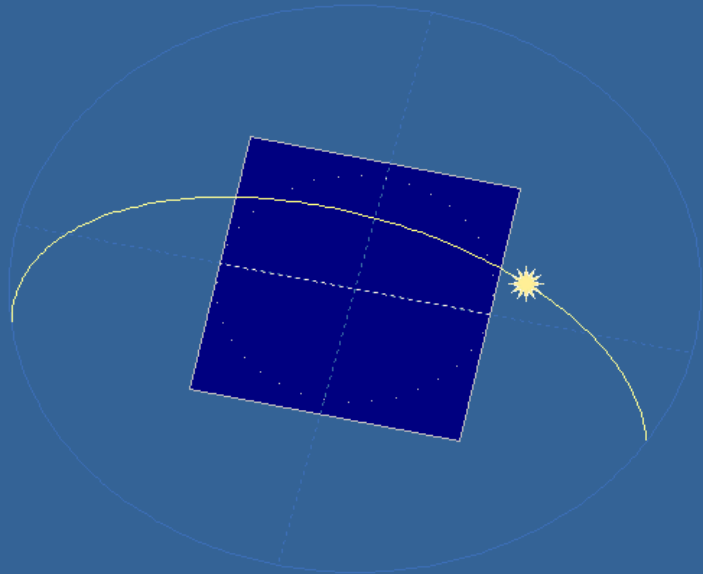
```

function [a,b,c,k,N,X,Y,L] = grouping(x,y,l)
    i = 1;
    N = length(x);
    LB = zeros(N, 1);
    UB = ones(N, 1);
    options = optimoptions('intlinprog','Display','off');
    for j = 1 : N;
        J(j) = sqrt((x(i) - x(j))^2 + (y(i) - y(j))^2);
    end
    k = intlinprog(J, N, [], [], 1, 600, LB, UB, options);
    index = find(k >=0.9);
    X = x(index);
    Y = y(index);
    h=figure
    plot(x, y, 'o', X, Y, 'x')
    title('Comunidad de Yuwints')
    grid on
    saveas(h,sprintf('FIG%d.png',N));
    [tf,loc]=ismember(x,X);
    indx=[1:length(x)];
    indx=indx(tf);
    indx=indx(loc(tf));
    L=l(indx);
    display(X);
    display(Y);
    display(L);
    x(ismember(x,X))=[];
    y(ismember(y,Y))=[];
    l(ismember(l,L))=[];
    N = length(x);
    a=x;
    b=y;
    c=l;
end

```

Anexo 5

Incidencia: 38°
Rotación:



Gráficos

Rotación en eje X: 55°
00° 90°

Rotación en eje Y: -050°
-180° +180°

Factor de escala
Mín. Máx.

Latitud: -02°
-90° +90°

Día del año: 19/05
01/01 31/12

Hora solar: 14:36
07:00 17:00

Tipo de seguimiento

- Sin seguimiento ■
- En un eje horizontal ■
- En un eje vertical ■
- En un eje inclinado ■
- En dos ejes

Inclinación del panel: 15°
00° 90°

Azimut del eje: +000°
-180° +180°

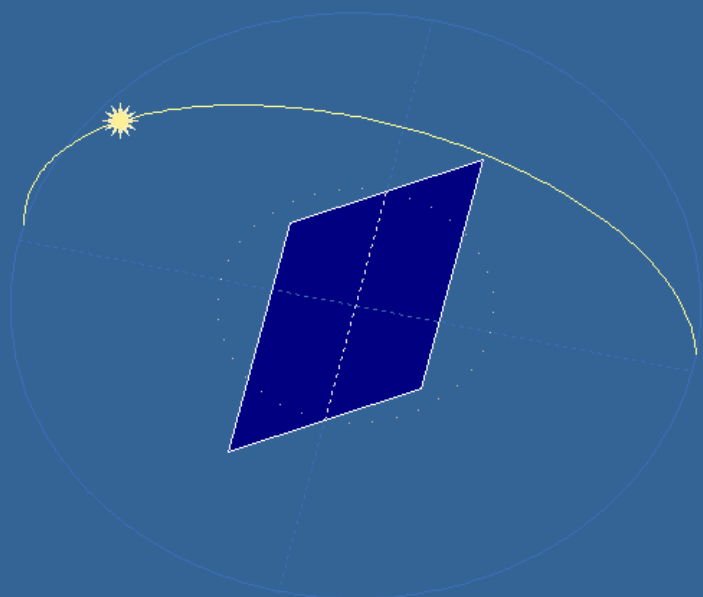
Captación anual media
(respecto a la máxima sin seguimiento)

0.98 Calcular

Menú

© CENSOLAR, 1998 - 2004

Incidencia: 02°
Rotación: -45°



Gráficos

Rotación en eje X: 58°
00° 90°

Rotación en eje Y: -050°
-180° +180°

Factor de escala
Mín. Máx.

Latitud: -02°
-90° +90°

Día del año: 30/09
01/01 31/12

Hora solar: 09:00
07:00 17:00

Tipo de seguimiento

- Sin seguimiento ■
- En un eje horizontal ■
- En un eje vertical ■
- En un eje inclinado ■
- En dos ejes

Inclinación del panel:
00° 90°

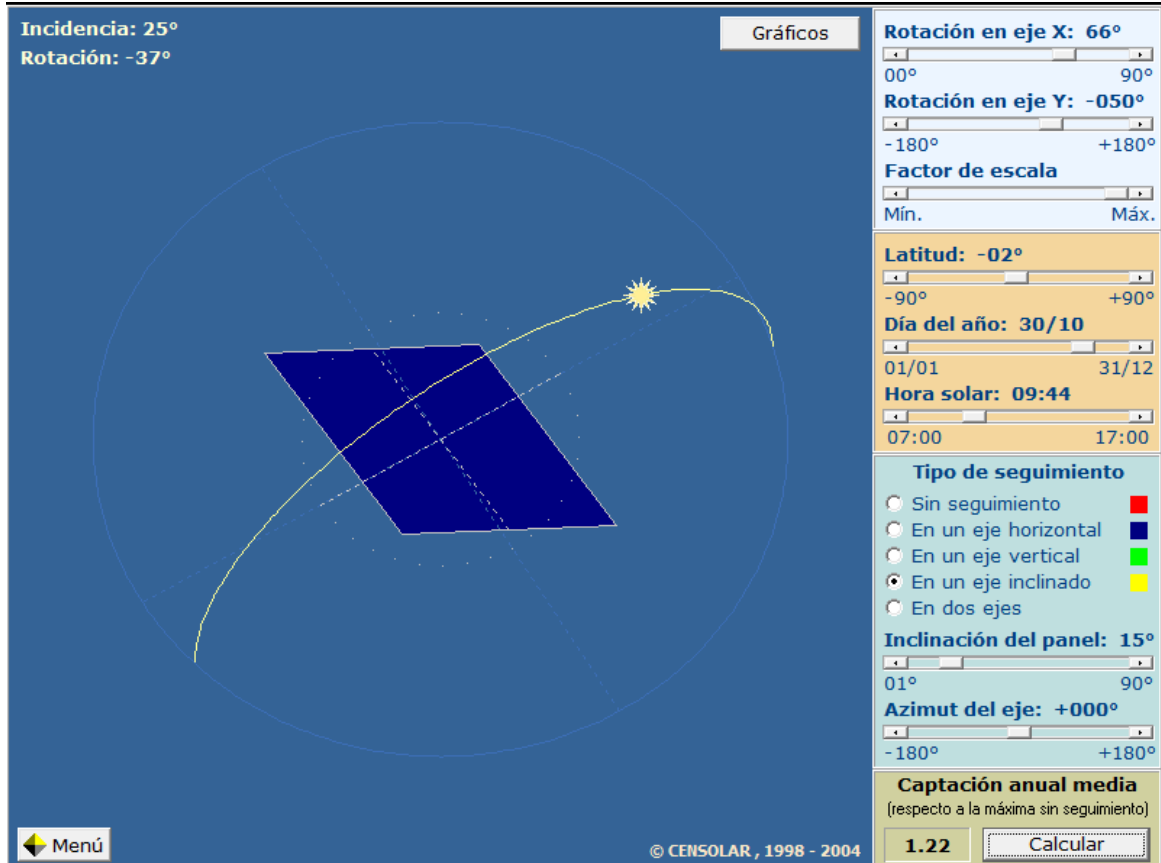
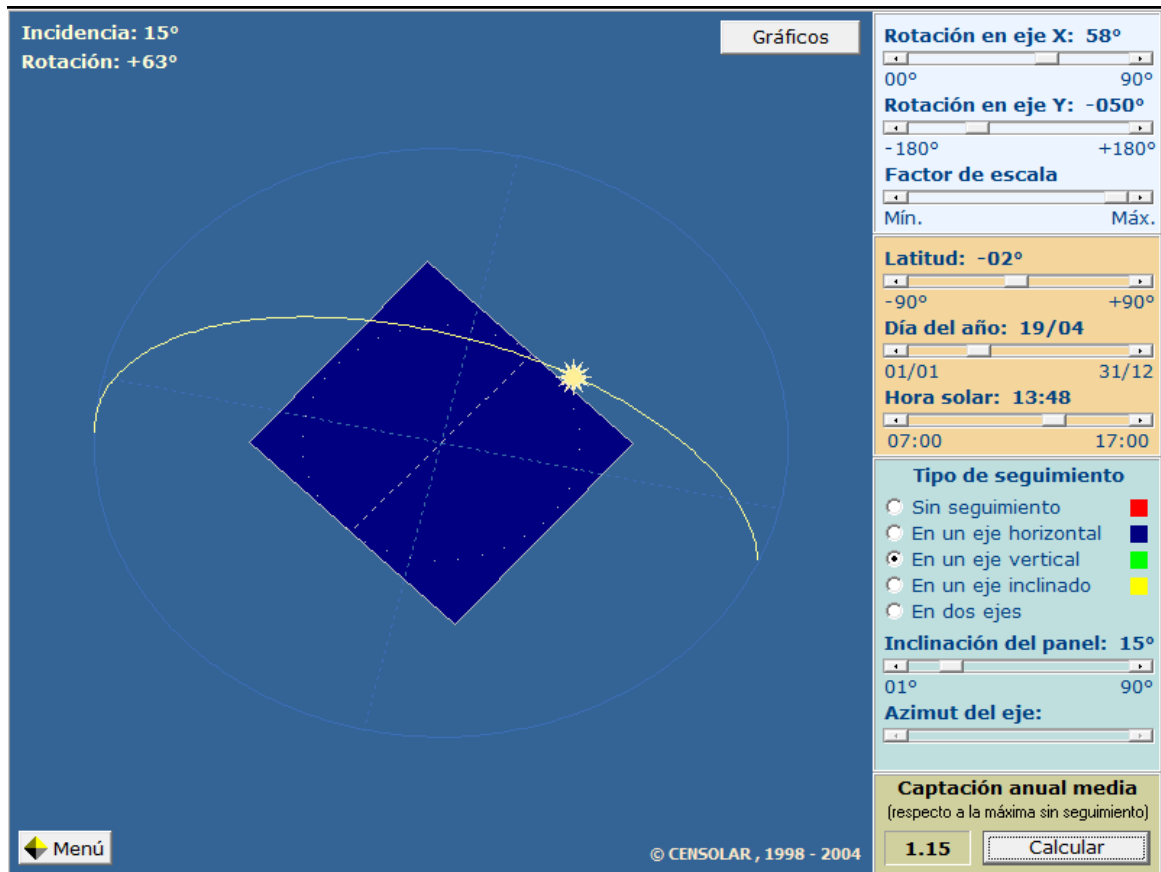
Azimut del eje: +000°
-90° +90°

Captación anual media
(respecto a la máxima sin seguimiento)

1.24 Calcular

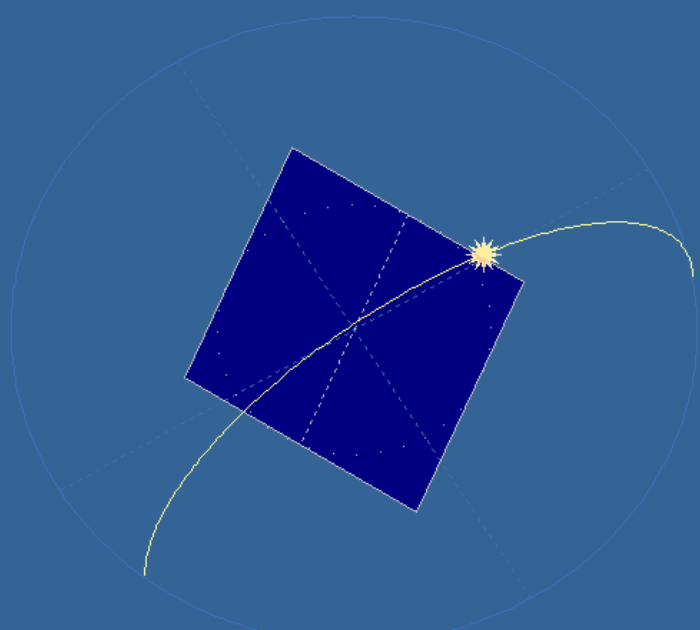
Menú

© CENSOLAR, 1998 - 2004



Incidencia: 0°
Rotación: -144° en azimut , +24° en altura

Gráficos



Rotación en eje X: 66°
 00° 90°
Rotación en eje Y: -050°
 -180° +180°
Factor de escala
 Mín. Máx.

Latitud: -02°
 -90° +90°
Día del año: 29/11
 01/01 31/12
Hora solar: 11:00
 07:00 17:00

Tipo de seguimiento
 Sin seguimiento ■
 En un eje horizontal ■
 En un eje vertical ■
 En un eje inclinado ■
 En dos ejes

Inclinación del panel:

Azimut del eje:

Captación anual media
 (respecto a la máxima sin seguimiento)
1.28

Menú © CENSOLAR , 1998 - 2004

Anexo 6

CARACTERÍSTICAS DEL GENERADOR FOTOVOLTAICO

Descripción	Especificación básica requerida - obligatorio	Ofertado describir
Potencia Nominal:	150 Wp	
Tolerancia de potencia:	± 5%	
Tensión Nominal:	12 VDC	
Corriente total a máxima potencia del sistema:	Entre 8 A y 10 A	
Tensión a máxima potencia Vmax:	Entre 17 V y 19 V	
Corriente total de corto circuito Isc:	Entre 8 A y 11 A	
Tensión a circuito abierto Voc:	Entre 20 V y 24 V	
Eficiencia Nominal:	≥ 12%	
Número de paneles del generador:	≤ 2	
Número de células totales por sistema de generación:	≤ 72	
Tipo de Célula:	Silicio monocristalino y con capa anti-reflectante	
Encapsulado del panel o paneles:	EVA (acetato de etileno-vinilo) con encapsulante, en un conjunto formado por un vidrio templado anti-reflectante de alta transmisividad, en su cara frontal, y un polímero plástico (TEDLAR) en la cara posterior, que proporcione resistencia a los agentes ambientales y aislamiento eléctrico.	
Marco del panel:	Marco de aluminio anodizado o acero inoxidable con agujeros para la fijación del módulo al bastidor de soporte y conector de tornillo para conexión de puesta a tierra.	
Sistema de conexión:	Cables conectores de salida de la caja con bornes para conductor mínimo de 6mm ² de sección o caja de derivación que cumpla con grado de estanqueidad IP65.	
Protecciones Eléctricas:	Diodos de protección (diodos de by-pass)	
Etiquetado:	Indeleble indicando al menos potencia, tensión, corriente, número de serie, marca, fabricante y logotipo de la empresa contratante.	
Temperatura ambiente de trabajo:	Entre -10°C a 45°C	
Humedad Relativa:	Mayor a 85%	
Garantía del producto:	5 años desde la fecha de entrega, contra cualquier defecto en materiales o fabricación que impidan su normal funcionamiento en condiciones correctas de utilización, instalación y mantenimiento.	
Garantía de vida útil:	La potencia del módulo superará el 90% de la inicial por un período no menor a 10 años, y superará el 80% por un período no menor a 20 años, en condiciones de test estandarizadas (STC).	
Documentación técnica requerida:	Certificado de garantía del producto, certificado de garantía de vida útil y especificaciones técnicas.	
Normativa y certificaciones a cumplir:	Certificados de cumplimiento de las Normas IEC 61215; además IEC 61730 o UL 1703; o equivalentes. Certificados por un laboratorio independiente con acreditación internacional.	

CARACTERÍSTICAS DEL REGULADOR

Descripción	Especificación básica requerida - obligatorio	Ofertado describir
Diseño:	Diseñado para regulación de batería tipo AGM.	
Grado de estanqueidad:	Mínimo IP22	
Tensión nominal:	12 VDC	
Corriente de entrada de módulo:	20 A	
Corriente máxima de consumo:	20 A	
Autoconsumo:	≤ 16 mA	
Control de temperatura:	Sistema de compensación de temperatura	
Algoritmo de Carga:	Carga de baterías por modulación de ancho de pulsos (PWM). Tipo de regulador serie controlado por microprocesador con relé de estado sólido.	
Regulación:	Basado en el estado de carga (SOC) de batería.	
Desconexión :	Desconexión por baja tensión de batería y reconexión automática del consumidor.	
Ajustes:	Ajustes preestablecidos en fábrica, con posibilidad de reajuste en sitio.	
Protección electrónica contra:	Sobrecarga	
	Descarga excesiva de batería	
	Polaridad inversa de módulo solar, la carga y la batería	
	Cortocircuito en el módulo solar	
	Cortocircuito de la carga	
	Sobretensión y sobrecarga	
	Sobretensión	
	Circuito abierto de batería	
	Corriente inversa	
Compatibilidad electromagnética:	Inexistencia de emisiones electromagnéticas que perturben el funcionamiento de otros aparatos eléctricos como radios, TV, lámparas.	
Indicadores:	Estado de carga de baterías	
	Alarma	
Accesorios:	Compensación de temperatura	
Bornes de conexión:	De fácil conexión para conductor de sección mínima de 9mm ² . Polaridad identificada, conector de tornillo, inoxidable.	
Sistema de puesta a tierra:	Toma a tierra	
Montaje:	Pared vertical	
Tipo y características de la carcasa:	De material inoxidable. Indicar dimensiones.	
Etiquetado:	Indeleble indicando por lo menos tensión nominal, corriente, marca, número de serie y polaridad de los terminales.	
Temperatura ambiente de trabajo:	Entre -10°C a 45°C	
Humedad Relativa:	Mayor a 85%	
Garantía del producto:	Mínimo de 2 años	
Garantía de vida útil:	≥ 10 años	
Documentación técnica requerida:	Certificado de garantía del producto, certificado de garantía de vida útil y especificaciones técnicas.	
Normativa y certificaciones a cumplir:	Certificados de cumplimiento de las Normas EN 61000-4-2; EN 61000-4-5; o equivalentes. Certificados por un laboratorio independiente con acreditación internacional.	
Equipamiento y función opcional:	Almacenamiento y registro de datos, puerto para conexión con PC o sistema de comunicación Regulador-PC, software compatible con Windows XP o superior.	Opcional:

CARACTERÍSTICA DE LA BATERÍA

Descripción	Especificación básica requerida - obligatorio	Ofertado describir
Tipo:	Batería de electrolito absorbido (AGM) sellada, apta para acumulación de energía generada en sistemas fotovoltaicos.	
Tensión nominal:	12 VDC	
Capacidad:	Mínimo de 150 Ah en C ₁₀	
Ciclos:	Mínimo 600 ciclos con una profundidad de descarga del 50%, con una capacidad remanente de la batería del 80%.	
Profundidad de descarga admisible:	Deberán permitir, sin sufrir daños, profundidades de descarga de hasta el 80%.	
Autodescarga:	No debe exceder el 3% de la capacidad nominal por mes	
Electrolito:	Ácido absorbido	
Sello:	Libres de mantenimiento.	
Terminales:	Provista con bornes de tipo L o similar y con sus respectivos tornillos, arandelas y tuercas ya incorporados al borne, de material inoxidable.	
Fecha de fabricación:	No mayor a 75 días, respecto a la fecha de entrega del suministro.	
Etiquetado:	Indeleble indicando por lo menos: capacidad, tensión, número de serie, polaridad de los bornes, fecha de fabricación, fabricante, marca y logotipo de la empresa contratante.	
Rango de temperatura ambiente de trabajo:	Entre -10°C a 45°C	
Garantía del producto:	Mínimo de 2 años	
Garantía de vida útil:	Mínima de 5 años.	
Documentación técnica requerida:	Certificado de garantía del producto Certificado de garantía de vida útil y Especificaciones técnicas.	
Normativa y certificaciones a cumplir:	Certificados de cumplimiento de la Norma IEC 60896-21 o equivalente. Certificado por un laboratorio independiente con acreditación internacional.	

Fuente: Dirección de Planificación de la Centrosur Noviembre de 2012.

Anexo 7

CONDUCTORES MULTIPLEX DE ALUMINIO A.S.C. 600 V. 75 °C

DESCRIPCION

Los cables tipo MULTIPLEX A.S.C. ó A.A.C. están contruidos por varios conductores (1, 2 o 3 aislados y 1 desnudo A.S.C. ó A.A.C.) trenzados entre sí; los conductores propiamente dichos están contruidos con hilos aleación de aluminio 1350 cableados concéntricamente tanto el (los) aislado(s) como el neutro mensajero desnudo; los aislados están cubiertos con una capa uniforme de material termoplástico Polietileno negro (PECarbon Black) resistente a la humedad, calor e intemperie (sol, viento, etc.); posteriormente los conductores son trenzados entre sí de acuerdo a su tipo: Duplex (un conductor aislado y un desnudo), Triplex (dos conductores aislados y un desnudo) o Cuadruplex (tres conductores aislados y un desnudo). Se sumi nistran en color negro (con protección U.V.) o en otros colores (a solicitud de los clientes).

Su forma de embalaje son carretes en longitudes de acuerdo a las necesidades del cliente.



USOS Y APLICACIONES

Los conductores de aluminio tipo MULTIPLEX A.S.C. ó A.A.C. son utilizados para acometidas eléctricas soportadas por un neutro mensajero desnudo desde la red pública secundaria que pasa por el sector hasta el medidor o tablero de medidores, en circuitos de alumbrado público, como red secundaria tipo cerrada, para evitar pérdidas “negras”, etc.

Este tipo de conductor puede ser usado en lugares secos y húmedos, su temperatura máxima de operación es 75 °C y la tensión de servicio es de 300V. para fase-neutro y de 600 V. para fase-fase.

PRESENTACION

Colores disponibles:

Para todos los calibres: Negro (a requerimiento, otros colores están disponibles)

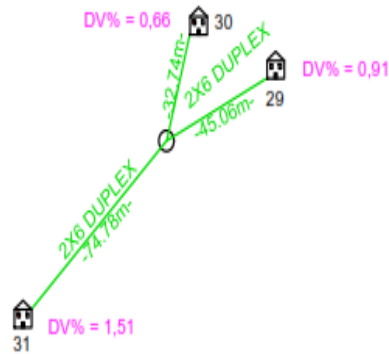
Formas de embalaje:

A: Rollo de 100 m.

Z: Longitud a requerimiento del cliente

Calibre AWG ó MCM	Sección mm ²	FORMACION No. de Hilos por diámetro en mm.	ESPEJOR AISLAMIENTO mm	DIAMETRO EXTERIOR mm	PESO TOTAL Kg/Km	Cap. de Corr. Para un cable al aire libre Amp.	TIPO CABLE	Altern. de embal.
2 x 6	13.31	7 x 1,55	1.14	11.58	102.20	70	Duplex	A,Z
2 x 4	21.15	7 x 1,96	1.14	14.04	152.70	90	Duplex	A,Z
2 x 2	33.62	7 x 2,47	1.14	17.10	236.20	125	Duplex	A,Z
2 x 1/0	53.49	7 x 3,12	1.52	21.76	378.90	170	Duplex	A,Z
2 x 2/0	67.43	7 x 3,50	1.52	24.04	481.20	200	Duplex	A,Z






ESTUDIO DE SISTEMAS HÍBRIDOS CON SEGUIMIENTO SOLAR PARA LA COMUNIDAD DE YUWINTS EN EL ORIENTE ECUATORIANO



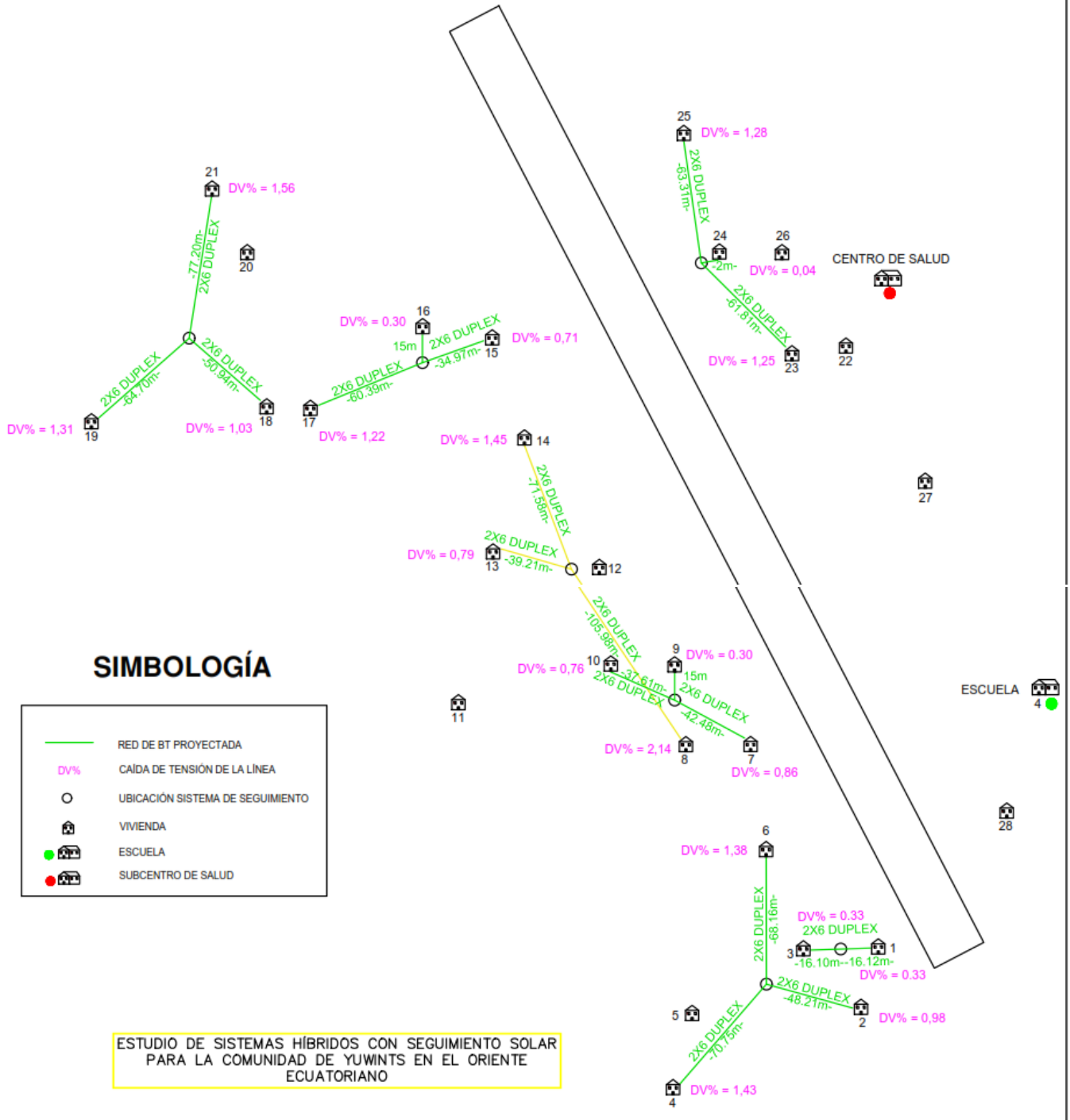
SIMBOLOGÍA

	RED DE BT PROYECTADA
DV%	CAÍDA DE TENSIÓN DE LA LÍNEA
	UBICACIÓN SISTEMA DE SEGUIMIENTO
	VIVIENDA
	ESCUELA
	SUBCENTRO DE SALUD

SIMBOLOGÍA

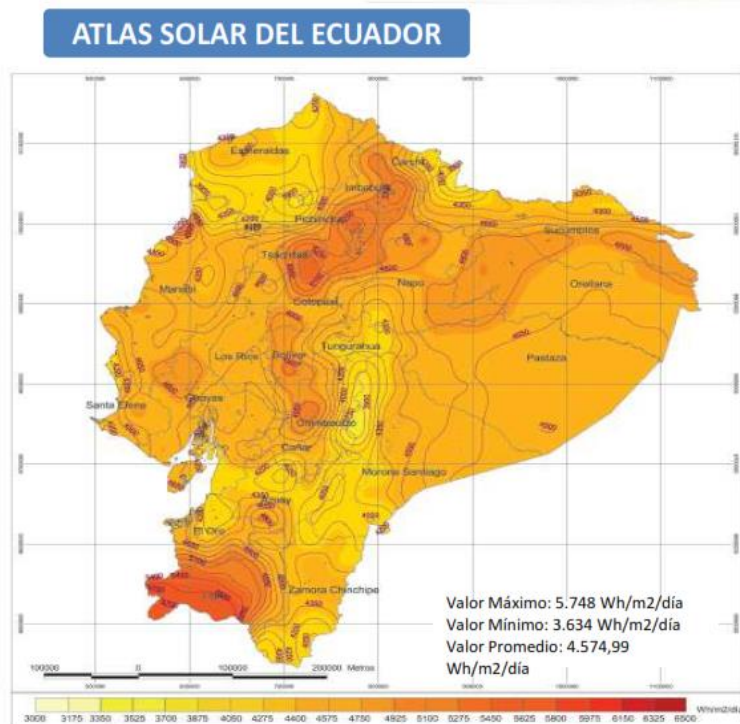
	RED DE BT PROYECTADA
DV%	CAÍDA DE TENSIÓN DE LA LÍNEA
	UBICACIÓN SISTEMA DE SEGUIMIENTO
	VIVIENDA
	ESCUELA
	SUBCENTRO DE SALUD

ESTUDIO DE SISTEMAS HÍBRIDOS CON SEGUIMIENTO SOLAR
PARA LA COMUNIDAD DE YUWINTS EN EL ORIENTE
ECUATORIANO



Anexo 8

Radiación solar en el Ecuador



Fuente: Atlas Solar del Ecuador con fines de Generación Eléctrica. Agosto 2008

<http://www.energia.gob.ec>

RECURSO SOLAR

Insolación Media Global del Ecuador:

4 575 Wh/m²/día

Niveles de insolación \geq a 4.000 Wh/m²/día, son considerados tecno-económicamente aprovechables.

Recurso solar en el Ecuador	
Meses	Radiación solar diaria (kWh/m ² /día)
Enero	4220
Febrero	4270
Marzo	4420
Abril	4411
Mayo	4266
Junio	3920
Julio	4000
Agosto	4357
Septiembre	4917
Octubre	4929
Noviembre	4998
Diciembre	4545
Promedio-mes	4438

Fuente: Consejo Nacional de Electricidad - CONELEC, "Atlas solar con fines de Generación Eléctrica," 2008.

Anexo 9


Componentes del sistema y sus costos.

Baterías precio Ecuador

Fuente: <http://www.proviento.com.ec/baterias.html>

<p>Batería sbb GEL 150Ah / 12VDC</p>		<p>12 VDC 150Ah @ C10h</p>	<p>Una excelente batería sellada GEL de CICLO PROFUNDO para sistemas fotovoltaicos grandes!</p> <p>Vida de diseño Float: 10 ... 12 años Ciclos: 2400 ciclos a 30% DOD Dimensiones: 486 x 171 x 241 mm Peso: 47kg</p>			<p>1</p>	<p>440,- USD</p>
--	---	--------------------------------	--	--	---	----------	------------------

Fuente: <http://www.solostocks.com/venta-productos/antenas/otras-antenas/seguidor-solar-de-1-eje-etatrack-active-400-4m2-lorenz-14032249>



Seguidor solar de 1 eje Etatrack Active 400 (4m2) LORENIZ

• Tiempo de entrega: 2 días

611,70 € /unidad



Ver precios con IVA

IVA no incluido

PIDE INFORMACIÓN GRATIS

[♥ Añadir a favoritos](#)

Fuente: <http://www.proviento.com.ec/panelesolares.html>

<p>Monocristalino 150Wp / 12V 200,- USD</p>		<p>22.6V</p>	<p>18.01V</p>	<p>8.88A</p>	<p>8.42A</p>	<p>Mono 36 cel/ Si</p>	<p>1482x676x35</p>	
---	---	--------------	---------------	--------------	--------------	----------------------------	--------------------	---

Fuente: http://www.solaricashop.com/off-grid-inverters/studer.html?gclid=EAlaIqobChMlxu7q5_yT1QIVDTaBCh298wB4EAAYASAAEgKI6_D_BwE



Studer Sinus-Inverter AJ275-12
€242.00

Esta página foi intencionalmente deixada em branco