

**IMPLEMENTACIÓN Y ANÁLISIS DE UN SISTEMA ENERGÉTICO
FOTOVOLTAICO INTERCONECTADO A RED DE 20 kW CON SOPORTE DE
ALMACENAMIENTO**

LUIS FELIPE CASTRILLÓN LARGO

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA ELECTRICA
PEREIRA
2018**

**IMPLEMENTACIÓN Y ANÁLISIS DE UN SISTEMA ENERGÉTICO
FOTOVOLTAICO INTERCONECTADO A RED DE 20 KW CON SOPORTE DE
ALMACENAMIENTO**

LUIS FELIPE CASTRILLÓN LARGO

**Proyecto de grado
Para optar el título de
Ingeniero en electricidad**

**Director:
Ing. Edgar Salazar Marín
Docente Programa de Tecnología Mecánica**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA ELECTRICA
PEREIRA
2018**

TABLA DE CONTENIDO

1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	8
2. JUSTIFICACIÓN.....	9
3. OBJETIVOS	10
3.1. OBJETIVO GENERAL	10
3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	10
4. MARCO REFERENCIAL	11
4.1. ANTECEDENTES.....	11
4.2. MARCO CONCEPTUAL	11
4.3. MARCO TEÓRICO	15
4.3.1. CAPÍTULO 1. Establecer una metodología de diseño de sistemas fotovoltaicos on Grid en el contexto regional, con base en el sistema implementado del Vivero-UTP.	15
4.3.2. CAPÍTULO 2. Efectuar la puesta a punto del sistema de 20 kW efectuando un análisis de diagnóstico del mismo para identificar los niveles de carga que puede generar.	21
4.3.2.1 IDENTIFICACIÓN DE PUNTOS DE CONEXIÓN Y NIVELES DE OPERACIÓN.....	25
4.3.2.2 VERIFICACIÓN DE PUNTOS DE CONEXIÓN, ELEMENTOS DE DESCONEXIÓN Y PROTECCIÓN DEL SISTEMA.....	26
4.3.2.3 VERIFICACIÓN DE ESTADO DE LOS ACUMULADORES.....	26
4.3.2.4 PROCESO DE INSTALACIÓN Y PUESTA A PUNTO.....	28
4.3.3. CAPÍTULO 3. Protocolos y manuales de funcionamiento del sistema con la completa caracterización del mismo.	38
4.3.3.1 PROTOCOLOS DE PRIORIDAD Y SEGURIDAD.....	45
4.3.4. CAPÍTULO 4 :Análisis de perfiles de potencia y energía efectuando comparaciones de comportamientos (curvas potencia vs tiempo) a partir de curvas de radiación, potencia de paneles, flujo de baterías, carga (off Grid) y potencia entregada a red.	47
4.3.5. CAPÍTULO 5: Análisis de balance energético en el tiempo con base en las curvas de demanda y oferta generada por el sistema.....	51
5. PLATAFORMA DE TELE-GESTIÓN PARA EL SISTEMA FOTOVOLTAICO IMPLEMENTADO.....	55
5.1 programación y configuración.....	56
5.2. Operación del sistema.....	57

5.3. Jerarquía de enclavamientos.....	59
5.4 Jerarquía de enclavamiento – aurora.....	59
5.5. Jerarquía de enclavamiento – infini.....	59
6. CONCLUSIONES.....	61
7. BIBLIOGRAFIA.....	62

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1 Diagrama general sistema ON-GRID o GRID	15
Figura 1.1. Diagrama general de conexión en sitio	16
Figura 2.1. Sistema solar implementado	22
Figura 2.2 Diagrama unifilar sistema fotovoltaico	23
Figura 2.3 emplazamiento sistema fotovoltaico	24
Figura 2.4. Banco de acumuladores.	29
Figura 2.5. Protecciones DC banco de acumuladores.	29
Figura 2.6. Tablero de corte y protección entradas MPPT.	30
Figura 2.7. Protección de conexión a RED equipo GEINFINI solar	30
Figura 2.8. Tablero de carga aislada (UPS) equipo GEINFINI solar.	31
Figura 2.9. Conectores AC de carga y red equipo GEINFINI solar.	31
Figura 2.10. Conectores MC4 para cada entrada MPPT equipo INFINI	32
Figura 2.11. Conexión entrada de acumuladores GEINFINI SOLAR	32
Figura 2.12. Transformadores de aislamiento 12 kVA 440 V/208 V trifásico	33
Figura 2.13. Visualización de correcta operación del sistema	33
Figura 2.14. Prueba de sostenida de carga con acumuladores	34
Figura 2.15. Tablero de corte y protección entradas MPPT	35
Figura 2.16. Protección de conexión a RED equipo AURORA	36
Figura 2.17. Conexión para cada entrada MPPT equipo AURORA	36
Figura 2.18. Conexión AC de red equipo AURORA	37
Figura 2.19. Tablero de transferencia de energía solar fotovoltaica a la RED	37
Figura 2.20. Totalizador de punto de transferencia.	38
Figura 2.21. Conexión de la RED UTP con el sistema solar fotovoltaico	38
Figura 2. Conexión equipo ON-GRID ABB	40
Figura 3. Conexión equipo Híbrido GELA	40
Figura 4.2. Potencia MPPT 1 Aurora	46
Figura 4.3. Potencia MPPT 2 Aurora.	47
Figura 4.4 energía generada por día en el año 2016	47
Figura 4.5. Potencia MPPT 1 InfiniSolar.	48
Figura 4.6. Potencia MPPT 2 InfiniSolar.	48
Figura 5.1 Diagrama de entrada y salida de energía	51
Figura 5.2 Análisis de energía del año 2016	51
Figura 5.3 Diagrama de entrada y salida de energía	52
Figura 6.1. Esquema general del sistema fotovoltaico tele gestionable	54

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1.1. Características de entrega de energía de un sistema ON-GRID	16
Tabla 1.2. Cuadro comparativo de operación del sistema	20
Tabla 1.3. Cuadro comparativo de operación del sistema con ajuste a la operatividad.	20
Tabla 1.4. Resumen de cálculos caso 1.	20
Tabla 1.5. Resumen de cálculos caso 2.	21
Tabla 2.2. Convenciones generales de redes trifásicas AC.	25
Tabla 2.3. Convenciones generales para redes DC.	26
Tabla 2.1. Rutina de operación INFINI.	44
Tabla 3.2. Rutina de operación AURORA.	45
Tabla 6.1. Parámetros eléctricos, banderas y variables del sistema.	58
Tabla 6.2. Jerarquía de enclavamiento – AURORA.	59
Tabla 6.3. Jerarquía de enclavamiento – INFINI.	59

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por permitirme elaborar este proyecto y al ingeniero Edgar Salazar que estuvo en el transcurso de mi formación profesional, dejando en mí las bases pertinentes para mi proyección profesional.

De manera formal le agradezco a Andrés Felipe Gómez Gómez (Ex docente programa de Tecnología Eléctrica) y gran amigo, quien participo de forma activa en el proceso de construcción del proyecto.

RESUMEN

Hoy en día la generación de energía con combustibles fósiles es la principal fuente de contaminación en el mundo, por lo tanto, la generación de energía limpia y de calidad es uno de los temas más importantes para la investigación. La ubicación geográfica de Colombia lo hace un país con buenos recursos para generar energía solar, que es una alternativa para generar energía limpia. La explotación de estos recursos ayudaría a disminuir los picos de demanda que se le exigen a la compañía suministradora (EEP).

Un sistema fotovoltaico conectado a red condiciona la tensión de salida de un banco de celdas, a fin de que inyecte una corriente sinusoidal a la línea a través de un proceso de conversión de la energía; como fuente de cogeneración con la red. En el sistema instalado en la Universidad Tecnológica de Pereira se puede evidenciar una manera limpia de generar energía a partir de la radiación solar y así mismo almacenarla en banco de baterías.

En el primer capítulo se aborda una metodología para el diseño de sistemas fotovoltaicos on Grid en el contexto regional, con base en el sistema implementado del Vivero-UTP. En el capítulo 2 se realiza la puesta a punto del sistema de 20 kW efectuando un análisis de diagnóstico del mismo para identificar los niveles de carga que puede generar. En el capítulo 3 se definen los protocolos y manuales de funcionamiento del sistema con la completa caracterización del mismo. En el capítulo 4 se realizan los análisis de perfiles de potencia y energía efectuando comparaciones de comportamientos (curvas potencia vs tiempo) a partir de curvas de radiación, potencia de paneles, flujo de baterías, carga (off Grid) y potencia entregada a red. El capítulo 5 se establece un análisis de balance energético en el tiempo con base en las curvas de demanda y oferta generada por el sistema.

1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En la actualidad los graves problemas ambientales a los que nos enfrentamos cotidianamente causados por el uso masivo de combustibles tales como el petróleo, gas natural, carbón etc.

Es por este motivo la preocupación de buscar nuevas alternativas de energía, confiables y limpias que no atenten en contra de nuestro bienestar. La naturaleza nos ofrece varias opciones que no podemos dejar pasar y tenemos que aprovechar como la energía solar, eólica, mareomotriz, biomasa, geotérmica entre otras.

Desafortunadamente estos tipos de energía no han sido desarrollados adecuadamente en nuestro país debido a falta de apoyo gubernamental y al escaso conocimiento que se tiene de ellas.

La producción de energía se ha vuelto un problema por el alto coste de producción y que la población va aumentando cada día más, además estamos acabando con nuestros recursos naturales, por eso necesitamos aplicar fuentes de energías renovables para el cuidado de nuestro medio ambiente.

El motivo de este trabajo de grado es realizar el análisis de balance energético del sistema híbrido (interconectado a red con soporte) instalado en el Vivero-UTP, y así demostrar que los sistemas fotovoltaicos si funcionan.

2. JUSTIFICACIÓN

El sol es una fuente de energía gratuita, natural e inagotable. Podríamos decir que siempre va a estar ahí. Y que siempre ha estado dando energía, directa o indirectamente, a todos los seres vivos de este planeta. Así ha sido desde que el mundo es mundo, desde que vivíamos en tribus. Y así sigue siendo. Lo único que ha cambiado es el desarrollo tecnológico que ha logrado el ser humano. Un desarrollo tecnológico que permite que el Sol sea la única fuente de energía que se necesita para alimentar a los paneles solares.

Por otra parte, para la construcción de esos paneles solares el material que es indispensable (de momento, hasta que se pueda usar otro más eficiente o más barato) es el silicio, un elemento abundante y no tóxico. En otras palabras, se van a poder fabricar placas solares durante muchos años, ya que sus componentes no van a escasear.

Hay más razones para considerar la energía solar como una de las mejores opciones para producir energía, como, por ejemplo, que no emite ni ruido, ni gases nocivos o contaminantes. Otro tipo de combustibles, aunque renovables, pueden contaminar el aire, el agua, en fin, el medio ambiente. Otros métodos de obtener energía renovable pueden causar lluvia ácida o pueden emitir dióxido de carbono (CO₂). La energía solar solo utiliza el Sol como combustible y, por tanto, no contamina y contribuye a reducir el calentamiento global.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

- Realizar el análisis de balance energético del sistema híbrido (interconectado a red con soporte) instalado en el Vivero-UTP.

3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Establecer una metodología de diseño de sistemas fotovoltaicos on Grid en el contexto regional, con base en el sistema implementado del Vivero-UTP.
- Efectuar la puesta a punto del sistema de 20 kW efectuando un análisis de diagnóstico del mismo para identificar los niveles de carga que puede generar.
- Definir los protocolos y manuales de funcionamiento del sistema con la completa caracterización del mismo.
- Realizar los análisis de perfiles de potencia y energía efectuando comparaciones de comportamientos (curvas potencia vs tiempo) a partir de curvas de radiación, potencia de paneles, flujo de baterías, carga (off Grid) y potencia entregada a red.
- Establecer análisis de balance energético en el tiempo con base en las curvas de demanda y oferta generada por el sistema.

4. MARCO REFERENCIAL

4.1. ANTECEDENTES

- En la referencia [1] se presenta un proyecto de grado en donde se muestra el uso de las energías renovables y el gran beneficio a nuestro planeta.
- En la referencia [2] se presenta un proyecto de grado donde se habla de los beneficios y de cómo integrar a la red un sistema fotovoltaico.
- En la referencia [3] se desarrolla y se explica el funcionamiento de los tipos de integración de sistemas fotovoltaicos a la red eléctrica.
- En la referencia [4] es un blog donde se explica las partes de un sistema fotovoltaico y sus diferentes usos.
- En la referencia [5] es una página web donde se explica el funcionamiento de los sistemas híbridos.

4.2. MARCO CONCEPTUAL

Instalación On-Grid: "Cuando hablamos de una instalación On – Grid o conectada a la red, nos referimos a aquella que está conectada directamente con nuestra red eléctrica local. ¿Qué quiere decir esto? durante las horas de luz del día el usuario consume la energía solar producida por su propia instalación, mientras que cuando no hay luz o ésta no es suficiente, el sistema no produce electricidad debido a que no hay un componente que almacene la energía (una batería)" [6].

Instalación OFF-Grid: "Un sistema fotovoltaico independiente se refiere a un sistema, que no está conectado a la red de suministro eléctrico. La electricidad que consume proviene exclusivamente de la energía generada a través de generadores fotovoltaicos. Estos tipos de sistemas almacenan el excedente de energía en baterías." [7].

Sistema híbrido: "Un sistema fotovoltaico solar híbrido es una combinación de la tecnología de la energía solar y la Red Eléctrica de forma de poder integrar de la mejor forma ambas fuentes de Energía. Si la energía producida a través de generadores fotovoltaicos es suficiente para el consumo de los hogares, el inversor se utiliza la energía fotovoltaica y la carga de los excedentes a la batería.

Del mismo modo, si el consumo es superior a la energía fotovoltaica, el inversor tomara la energía que le falta de la red pública. En ausencia de sol, el inversor, según el consumo de energía, usará la energía exclusivamente a partir de baterías o podrá tomar energía de la red pública” [8].

Paneles fotovoltaicos: “Una placa o panel fotovoltaico es un conjunto de celdas fotovoltaicas interconectadas. Estas placas se utilizan como componente en sistemas de energía solar fotovoltaica para producir electricidad para aplicaciones domésticas o comerciales.” [9].

Acumuladores o baterías: “El acumulador es un dispositivo capaz de transformar energía potencial química en energía eléctrica. Se compone esencialmente de dos electrodos sumergidos en un electrolito donde se producen las reacciones químicas debidas a la carga y la descarga. [10].

Inversor: “La función de un inversor es cambiar una tensión de entrada DC (corriente continua) a una tensión simétrica de salida AC (corriente alterna), con la magnitud y frecuencia deseada por el usuario o el diseñador. [11].

Balance energético: “tiene que ver con la conservación de la energía, la energía generada sea igual a la energía consumida involucrando las pérdidas del sistema. [12].

Irradiación: “Variable de medición que establece la potencia por unidad de área ($\frac{W}{m^2}$), esta relación define la interacción de las partículas presentes en la luz llamadas fotones, las cuales son partículas cargadas eléctricamente al igual que los electrones presentes en la corriente eléctrica.” [13].

Radiación: “Por medio de esta variable de análisis se relaciona la energía disponible por unidad de área ($\frac{Wh}{m^2}$), esta relación se analiza por medio de los flancos de irradiación presentes en un periodo de tiempo, lo cual deduce la energía solar disponible diariamente en una ciudad, departamento, región o país.” [14].

Temperatura: “Esta variable normalmente por análisis en sistema internacional de unidades se toma en grados centígrados (°C), esta variable es de vital importancia en el diseño y dimensionamiento de sistemas solares fotovoltaicos ya que los componentes de captación solar (Módulos Solares Fotovoltaicos) son construidos con bases semiconductoras (silicio o galio) los cuales son muy susceptibles a los gradientes térmicos. ” [15].

Horas Pico Solares (HPS): “Por medio de las HPS se puede analizar la relación de potencia - energía de los sistemas solares fotovoltaicos, en relación con las variables ambientales que la relacionan. Las HPS son analizadas a partir de las

cantidad de horas sol equivalentes durante un día, en la cuales los niveles de irradiación son en promedio de $1000\left(\frac{W}{m^2}\right)$, este análisis es directamente proporcional a la radiación promedio establecida en el lugar de análisis. ” [16].

Eficiencia del inversor (ηI): “Los inversores como convertidores de corriente directa a corriente alterna (DC-AC) tiene presente una pérdida en el proceso. Esta pérdida se puede establecer por medio de la relación de la potencia de salida con respecto a la potencia de entrada, ya que por ley de la conservación de la energía esta debería ser igual, pero por causas de operación de los dispositivos el efecto Joule y de magnetización son muy complicados de controlar. ” [17].

Eficiencia del regulador (ηR): “Los reguladores de tensión son elementos de protección de carga a los acumuladores, estos como convertidores de corriente directa a corriente directa (DC - DC) se tiene en cuenta la misma relación de pérdidas que en cualquier dispositivo eléctrico o mecánico, en donde su eficiencia varia con respecto al tipo de dispositivo (MPPT – Máximum Point Power Track o PWM – Phase Wire Modulation). Los sistemas de alta eficiencia son los MPPT y son utilizados para uso de altas potencias, lo que quiere decir que los sistemas PWM son de menor eficiencia y son utilizados en sistemas de baja potencia. ” [18].

Profundidad de descarga (PD): “almacenamiento del sistema, estas varían según el tipo. Los dispositivos de almacenamiento más utilizados para sistemas solares fotovoltaicos son los llamados DISPOSITIVOS DE CICLO PROFUNDO que permiten manejar descargas máximas hasta de un 80%. ” [19].

Corrientes de corto circuito (I_{sc}): “Esta es una característica de máxima corriente para los módulos fotovoltaicos, y que normalmente se recomienda ser utilizada para establecer los arreglos, y además Realizar la escogencia de los dispositivos de regulación necesarios para el soporte del mismo. ” [20].

Corrientes a plena carga (I_m): “Estos niveles de corriente son menores que los niveles de corto circuito, y están presentes en los momentos en los que el modulo está entregando la totalidad o fracción de su potencia nominal.” [21].

Tensión a circuito abierto (VOC): “Esta característica está presente en los módulos solares fotovoltaicos en los momentos en los que el sistema no tiene carga, estos niveles de tensión son los niveles máximos que podría verse en bornes de los módulos, este se debe tener en cuenta al momento de establecer los niveles máximos de operación en tensión de los sistemas de regulación. ” [22].

Tensión a Plena Carga (V_m): “Esta característica está presente en los módulos solares fotovoltaicos en los momentos en los que el sistema tiene carga, estos niveles de tensión son los niveles promedio máximos que podría verse en bornes

de los módulos, este se debe tener en cuenta al momento de establecer los niveles óptimos de operación en tensión de los sistemas de regulación. ” [23].

Carga (*Load*): “Esta es una característica que permite establecer el tipo de sistema a instalar, estos se dividen en carga doméstica, comercial e industrial, con las cuales se puede comenzar a determinar las características operativas del sistema en función de potencias máximas instantáneas. El análisis de la carga según su tipo, establecer los niveles de variación de potencia en el tiempo los cuales permiten diseñar el sistema solar fotovoltaico. ” [24].

Energía (ϵ): “Es la variable más importante de diseño para sistemas solares fotovoltaicos, puesto que es la característica de proyección de cada uno de sus componentes. Por medio del análisis energético de la carga se establecen los niveles de autonomía, potencia pico instalada en el sistema solar y los niveles de ahorro a proyectar.” [25].

4.3. MARCO TEÓRICO

4.3.1. CAPÍTULO 1. Metodología de diseño de sistemas fotovoltaicos on Grid en el contexto regional, con base en el sistema implementado del Vivero-UTP.

Los sistemas solares fotovoltaicos ON-GRID o Grid Tie, son sistemas de sincronización directa con una red existente (red de suministro de energía a la carga), normalmente administrada por una empresa prestadora de servicios públicos eléctricos. Los sistemas Grid Tie permiten la disminución directa del consumo presente en la carga, además permitiendo la entrega de excedentes de energía a la red de suministro, este efecto hace de que para estos sistemas se deban implementar sistemas de regulación de potencia para evitar los excedentes o la instalación de medidores bidireccionales, los cuales permiten la contabilidad de la energía entrante como consumo y la saliente como excedentes.

En la Figura 1.1 se puede notar la configuración general de un sistema solar fotovoltaico ON-GRID o Grid Tie.

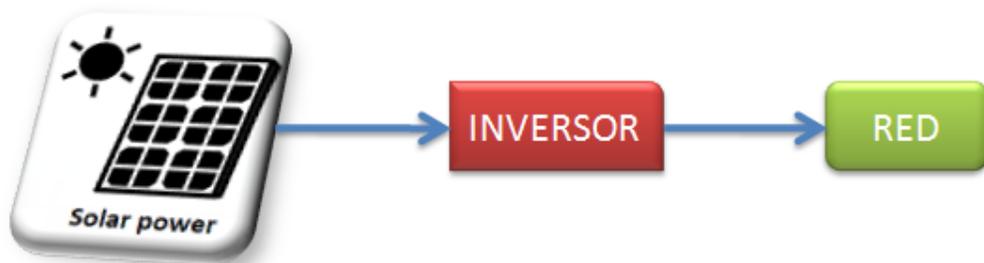


Figura 1.1 Diagrama general sistema ON-GRID o GRID TIE

Estos sistemas presentan transferencia de energía directa, lo que quiere decir que la energía producida por la etapa fotovoltaica se transfiere con pérdidas mínimas a la Red. En la instalación de sistemas conectados a red, de inyección a red u ON-GRID, se deben tener en cuenta que la conexión se debe realizar al lado del consumo teniendo en cuenta el diagrama mostrado en la Figura 1.2.

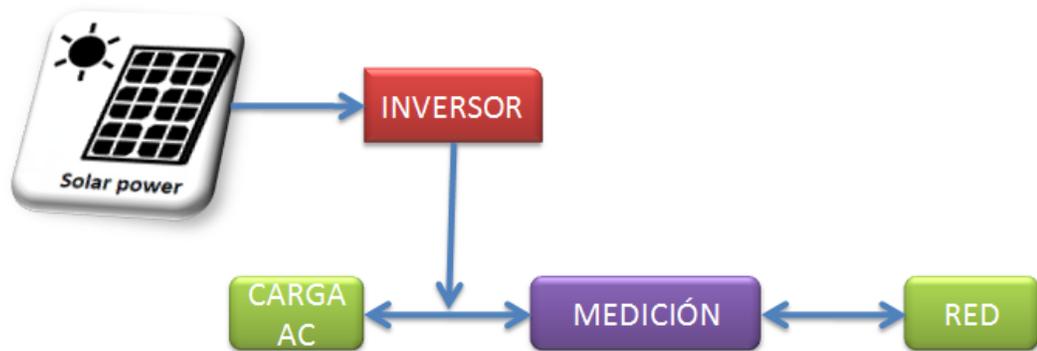


Figura 1.4. Diagrama general de conexión en sitio

En la Figura 1.2 se puede notar el flujo de potencia respectivo al sistema, en donde la energía inyectada por el sistema solar fotovoltaico se dirige hacia el punto de mayor consumo; En los sistemas solares fotovoltaicos ON-GRID se tienen las siguientes consideraciones con respecto a las características energéticas, teniendo en cuenta que la demanda hace referencia a la energía consumida por la Carga AC y la Energía entregada hace referencia a la producida por el sistema solar fotovoltaico se dice que:

CARACTERÍSTICA ENERGÉTICA	ESTADO
Demanda > Entregada	La energía producida por el sistema FV es totalmente consumida por la Carga AC, pero presenta consumo de la RED.
Demanda < Entregada	La energía producida por el sistema FV presenta excedentes, los cuales pueden ser entregados a la RED
Demanda = Entregada	La energía producida por el sistema FV es consumida en su totalidad por la carga AC, si presenta excedentes ni consumo de la RED

Tabla 1.3. Características de entrega de energía de un sistema ON-GRID

Para el cálculo de los sistemas solares fotovoltaicos ON-GRID o Grid Tie, se tiene en cuentas los conceptos de análisis de la energía crítica de consumo, en donde se puede tener un ahorro parcial o total, en relación a las condiciones planteadas. A continuación, se plantean dos casos para describir más claramente la metodología de cálculo de sistemas on Grid.

EJEMPLO: Se tiene una vivienda convencional con carga plena de $3,2 \text{ kW}$ y una energía al mes consumida de $115 \frac{\text{kWh}}{\text{mes}}$, se quiere diseñar dos sistemas solares fotovoltaicos que permitan:

- **Caso 1:** El ahorro total de sistema
- **Caso 2:** El ahorro del 50% del consumo normal de la vivienda.

En los sistemas ON-GRID la carga plena instalada no interesa, puesto que la potencia del inversor utilizado en los sistemas ON-GRID va directamente relacionado con la potencia pico del sistemas solar fotovoltaico

DESARROLLO CASO 1

Por las características propias del sistema y el requerimiento planteado se planteara la utilización de un sistema solar fotovoltaico ON-GRID.

- Para la ciudad de Pereira las HPS = 4,1

Para iniciar se toma en cuenta las siguientes ecuaciones:

$$\text{Consumo}_{\text{día}} = \frac{\text{Consumo}_{\text{mes}}}{\# \text{ días}} \quad (1)$$

Por estándar los días relativos a un mes se toma con un valor 30, lo que nos da como solución:

$$\text{Consumo}_{\text{día}} = \frac{115 \frac{\text{kWh}}{\text{mes}}}{30 \text{ días}}$$

$$\text{Consumo}_{\text{día}} = 3,83 \frac{\text{kWh}}{\text{día}}$$

Por medio de este valor y teniendo en cuenta que en los sistemas ON-GRID las pérdidas en el inversor son despreciables, se establece que la energía necesaria en el sistemas solar fotovoltaico es aproximadamente igual al consumo día.

$$\text{Consumo}_{\text{día}} \approx \varepsilon_{FV} \quad (2)$$

ε_{FV} Energía fotovoltaica necesaria

$$P_{FV} = \frac{\varepsilon_{FV}}{HPS} \quad (3)$$

P_{FV} Potencia pico en el sistema solar fotovoltaico

$$\# Total \text{ m\u00edn }_{Modulos} = \frac{P_{FV}}{P_{Modulo}} \quad (4)$$

P_{Modulo} Potencia pico de un m\u00f3dulo solar fotovoltaico

$$\#_{Modulos \text{ serie}} = \frac{V_{\max Reg}}{V_{OC}} \quad (5)$$

$$\#_{Paralelos} = \frac{\# Total_{Modulos}}{\#_{Modulos \text{ Serie}}} \quad (6)$$

$$\varepsilon_{\text{d\u00eda}} = Consumo_{\text{d\u00eda}} \frac{\%Ahorro}{100} \quad (7)$$

Hallando la potencia pico del sistema solar fotovoltaico utilizando la ecuaci\u00f3n 3 y teniendo en cuenta que las HPS=4,1, tenemos que:

$$P_{FV} = 0.935 \text{ kW} = 935W$$

Comercialmente se podr\u00e1n encontrar inversores que soporten esta potencia pico, donde el m\u00e1s aproximado tienen una capacidad instalada de 1 kW, donde la red el\u00e9ctrica a instalar es monof\u00e1sica y sus niveles de tensi\u00f3n son los convencionales para Colombia (120 V_{AC} – 60 Hz). Teniendo en cuenta las caracter\u00edsticas de funcionamiento se notan en la hoja de datos del equipo las siguientes caracter\u00edsticas operativas.

- Tensi\u00f3n AC de salida: 120 V_{AC}
- Rango de tensi\u00f3n FV DC de entrada: 100 V_{DC} – 170 V_{DC}
- Rango de tensi\u00f3n FV DC Max. MPPT: 110 V_{DC} – 150 V_{DC}
- Potencia m\u00e1xima FV: 1,3 kW
- Numero de MPPT (IN): 1
- Corriente Max. Entrada por MPPT: 20 A_{DC}

Dentro de las características de los inversores ON-GRID se tienen las anteriormente nombradas, en donde la Tensión FV DC Max. MPPT hace referencia al rango de tensiones en las que el inversor presenta su máxima eficiencia.

Para el cálculo del número mínimo de módulos totales se tiene en cuenta la ecuación 4, y teniendo en cuenta el modulo solar fotovoltaico de 255 W, tenemos que:

$$\# \text{Total } \mathit{mín}_{\text{Módulos}} = 3,66 \cong 4$$

El inversor presenta una única entrada MPPT, la cual se debe tener en cuenta para el arreglo que se debe realizar, en este caso del módulo solar fotovoltaico debemos tener en cuenta:

- Los módulos solares fotovoltaicos a utilizar son de 255 W_p (W_p - Vatios pico) y una $V_{OC} = 31,5 V_{DC}$, $V_{max} = 29,5 V_{DC}$, $I_{SC} = 8,6 A_{DC}$ e $I_{SC} = 8 A_{DC}$

De esta manera se busca que:

- El arreglo de módulos serie encontrados en tensión a plena carga este en un valor de máximo MPPT
- El arreglo de módulos en serie la tensión a circuito abierto no supere el rango máximo de operación en tensión DC del inversor
- La corriente total del arreglo FV no supere la corriente máxima de operación del MPPT.

Teniendo en cuenta las consideraciones y tomando como referencia las ecuaciones 5 y 6, podemos deducir que:

Para los módulos en serie se busca que el nivel de tensión de operación máximo no supere los 170 V_{DC} y que la tensión a plena carga este entre los rango de máximo MPPT, considerando que el número mínimo de módulos requeridos es 4 y que la cargabilidad del equipo es hasta 1,3 kW

$$\# \text{Módulos serie} = 4$$

$$\# \text{Paralelos} = 1$$

Revisando la operatividad se tiene que:

Condiciones FV	Condiciones Nominales	Operatividad
$V_{OC\ Sistema} = 126 V_{DC}$	$V_{Max\ Inv} = 170 V_{DC}$	Optima
$V_{Max\ Sistema} = 118 V_{DC}$	$V_{Max\ MPPT} = 110 V_{DC}$ $- 150 V_{DC}$	Justa
$P_{Max\ Sistema} = 1020 W$	$P_{Max\ Inv} = 1300 W$	Optima

Tabla 1.2. Cuadro comparativo de operación del sistema

Aunque el sistema está en un rango de operación de máximo MPPT, se encuentra unos niveles de tensión muy justos con respecto al rango mínimo, por esta razón se agrega un módulo más con el fin de ajustarlo a la cargabilidad máxima del inversor, donde:

$$\begin{aligned} \#_{\text{Módulos serie}} &= 5 \\ \#_{\text{Paralelos}} &= 1 \end{aligned}$$

Entonces:

Condiciones FV	Condiciones Nominales	Operatividad
$V_{OC\ Sistema} = 157,5 V_{DC}$	$V_{Max\ Inv} = 170 V_{DC}$	Optima
$V_{Max\ Sistema} = 147,5 V_{DC}$	$V_{Max\ MPPT} = 110 V_{DC}$ $- 150 V_{DC}$	Optima
$P_{Max\ Sistema} = 1275 W$	$P_{Max\ Inv} = 1300 W$	Optima

Tabla 1.3. Cuadro comparativo de operación del sistema con ajuste a la operatividad

Cantidad	Equipo
5	Módulo Solar fotovoltaico 255 W
1	Inversor ON-GRID 1000 W/120 V

Tabla 1.4. Resumen de cálculos caso 1

DESARROLLO DEL CASO 2

Por medio de la compensación de energía planteada por la ecuación 7 y teniendo en cuenta que se tiene como base el consumo día de la carga, tenemos que:

$$\text{Consumo}_{\text{día}} = 1,92 \frac{kWh}{\text{día}}$$

Donde:

$$P_{FV} = 0.47 kW = 470 W$$

Comercialmente se encuentra un inversor ON-GRID de 600 W. Por medio de sus características y utilizando la metodología anterior se tiene que el sistema tiene como características lo siguiente:

Cantidad	Equipo
3	Módulo Solar fotovoltaico 255 W
1	Inversor ON-GRID 600 W/120 V

Tabla 1.5. Resumen de cálculos caso 2

NOTA: En los sistemas ON-GRID, GRID TIE o de Inyección a RED se deben tener en cuenta las pérdidas de tensión, corriente y potencia con respecto a la temperatura, pero en Colombia gracias a su clima tropical, en el cual sus temperaturas no llegan a los niveles críticos altos y bajos, no es necesario realizar corrección por temperatura.

4.3.2. CAPÍTULO 2. Puesta a punto del sistema de 20 kW efectuando un análisis de diagnóstico del mismo para identificar los niveles de carga que puede generar.

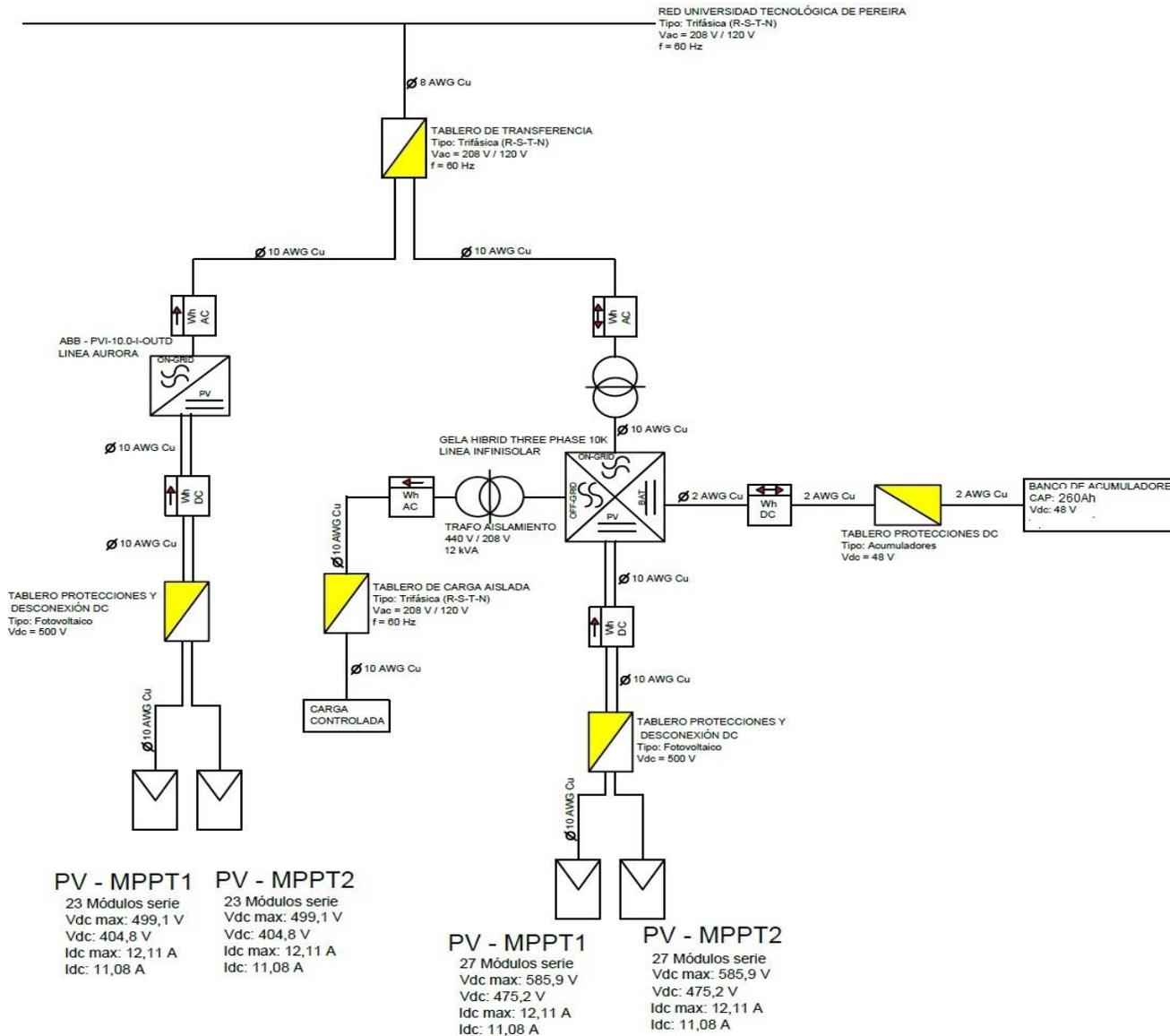
En este capítulo se encontrarán los procedimientos efectuados con el fin de garantizar el correcto funcionamiento del sistema solar fotovoltaico instalado en el vivero de la UTP, que cuenta con 104 paneles de 195 Wp, 1 inversor a red de 10 kW y un inversor híbrido de 10 kW con banco de almacenamiento de 12,5 kWh (4 baterías de 12 Vdc y 260 Ah) (Figura 2.1).



Figura 2.1. Sistema fotovoltaico implementado

Se realiza la discriminación de acumuladores en buen estado y se realiza la separación de los que no estaban prestando un servicio confiable y estable, se verifican los niveles de tensión DC en cada una de las etapas de potencia del sistema, la correcta conexión de cada uno de los equipos, al igual que la puesta en funcionamiento del equipo GEInfiniSolar, corroborando su correcto funcionamiento después de su llegada de un proceso de mantenimiento.

En el proceso de ajuste se realiza la verificación de protecciones en cada una de las etapas y el correcto funcionamiento de las mismas, del mismo modo se verifica el estado de conexión y desconexión manual y automática establecida por medio de contactos secos (Contactores) los cuales reciben señal de actuación a través de la RTU respectiva a cada dispositivo. En la figura 2.2 y 2.3 se pueden observar los componentes que hacen parte del sistema fotovoltaico implementado y el emplazamiento en el sitio de instalación



CONVENCIONES	
	TABLERO DE PROTECCIONES, DESCONEXIÓN Y ACTUACIÓN
	INVERSOR ON-GRID TRIFÁSICO (CONVERSOR DC/AC)
	INVERSOR HÍBRIDO TRIFÁSICO (CONVERSOR DC/AC, AC/AC, AC/DC, DC/DC)
	TRANSFORMADOR DE AISLAMIENTO TRIFÁSICO
	MEDIDOR DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS UNIDIRECCIONAL AC
	MEDIDOR DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS BIDIRECCIONAL AC
	MEDIDOR DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS BIDIRECCIONAL DC
	MEDIDOR DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS UNIDIRECCIONAL DC
	ARRREGLO DE MÓDULOS SOLARES FOTOVOLTAICOS

Figura 2.2 diagrama unifilar sistema fotovoltaico



DESCRIPCIÓN			
T1	TABLERO PROTECCIONES DC Tipo: Acumuladores Vdc = 48 V	T3	TABLERO DE TRANSFERENCIA Tipo: Trifásica (R-S-T-N) Vac = 208 V / 120 V f = 60 Hz
T2	RED UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA Tipo: Trifásica (R-S-T-N) Vac = 208 V / 120 V f = 60 Hz	T4	TABLERO PROTECCIONES Y DESCONEXIÓN DC Tipo: Fotovoltaico Vdc = 500 V
RTU1	UNIDAD DE TRANSMISIÓN REMOTA Tipo: Esclavo	T5	TABLERO PROTECCIONES Y DESCONEXIÓN DC Tipo: Fotovoltaico Vdc = 500 V
RTU2	UNIDAD DE TRANSMISIÓN REMOTA Tipo: Esclavo	EQUIPO1	ABB - PVI-10.0-I-OUT LINEA AURORA
RTU3	UNIDAD DE TRANSMISIÓN REMOTA Tipo: Maestro	EQUIPO2	GELA HIBRID THREE PHASE 10K LINEA INFINISOLAR

Figura 2.3 emplazamiento sistema fotovoltaico.

4.3.2.1 IDENTIFICACIÓN DE PUNTOS DE CONEXIÓN Y NIVELES DE OPERACIÓN

Se describe a continuación la verificación requerida del sistema en su puesta a punto. Se identifica la correcta sujeción de los conectores y las conexiones respectivas a cada uno de los dispositivos, determinando de esta manera las características de óptimo funcionamiento de los mismos.

LECTURA DE NIVELES DE TENSIÓN

Por medio de este análisis se establecen los correctos factores de operación de cada uno de los elementos basados en los niveles operativos de las entradas DC y las entradas y salidas AC respectivas a cada equipo.

Por medio de las lecturas tomadas se verifican los siguientes parámetros:

Entradas y Salidas AC del sistema

Para las entradas y salidas en AC de los equipos de inversión se tiene en cuenta que la red a utilizar es de tipo trifásico donde la convención general para sistemas trifásicos según su color, tipo y nomenclatura se muestra en la Tabla 2.1:

TIPO	COLOR	NOMENCLATURA
Línea	Amarillo	A o R o L1
Línea	Azul	B o S o L2
Línea	Rojo	C o T o L3
Neutro	Blanco	N
Tierra	Verde	GND o G

Tabla 2.4. Convenciones generales de redes trifásicas AC

- La lectura en la RED AC permite corroborar la funcionalidad de la misma, en donde los niveles de tensión nominales de operación corresponden a $208 V_{LL}/110 V_{LN}$, donde la tensión línea a línea es medida en las configuraciones RS, RT y ST (L1-L2, L1-L3 y L2-L3) y las tensiones línea neutro son identificadas por cada fase con la siguientes configuraciones RN, SN y TN (L1-N, L2-N y L3-N)
- En las etapas relacionadas con el equipo híbrido se debe tener en cuenta que se utiliza un transformador de aislamiento para cada entrada AC, ya que la salida de tensión corresponde a $440V_{LL}/220 V_{LN}$. El tipo de transformador utilizado en esta etapa de transformación tiene una potencia de 12 kW y tiene una adecuación de reducción de tensión, adecuándolo a los niveles establecidos $208 V_{LL}/110 V_{LN}$, donde la frecuencia de operación de a 60 Hz.

- Se toma la medida de entrada y salida de los transformadores, para garantizar que los niveles de tensión son los permitidos y adecuados para el sistema, donde por medio de TAP fijos presentes en la salida del transformador se permite la escogencia de los niveles requeridos.

Entradas y Salidas DC del sistema

Para las entradas y salidas DC se tiene la identificación de líneas con polaridades positivas y negativas, las cuales se identifican de la siguiente manera:

TIPO	COLOR	NOMENCLATURA
Positivo	Rojo	+, B+, PV+
Negativo o Masa	Blanco	-, B-, PV-
Tierra	Verde	GND o G

Tabla 2.5. Convenciones generales para redes DC

- Se toma lectura de los niveles de tensión en los arreglos fotovoltaicos, en donde se verifica que los niveles sean los permitidos y adecuados para el correcto funcionamiento de los equipos
- Se verifica los niveles de tensión de los acumuladores, y que además cumplan con los rangos de operación del sistema.
- Cada equipo presente en el sistema solar fotovoltaico híbrido de 20 kW tele operable contiene dos entradas fotovoltaicas o MPPT independientes las cuales permiten trabajar dos condiciones de tensión independientes sin que se afecten entre sí.
- En el equipo híbrido se realizan las configuraciones relacionadas a los niveles de regulación de carga para los acumuladores, en donde se establecen los rangos máximos, mínimos y de flotación para el sistema de carga de los acumuladores.

4.3.2.2 VERIFICACIÓN DE PUNTOS DE CONEXIÓN, ELEMENTOS DE DESCONEXIÓN Y PROTECCIÓN DEL SISTEMA

Puntos de Conexión del sistema

Por medio de la sujeción de conductores, conectores y demás elementos de conexión eléctrico, se nota la confiabilidad de las conexiones eléctricas, en donde se verifica que no se encuentren puntos calientes o puntos de conexión flojos, en mal estado, sulfatados, con mal contacto, y todo tipo de situaciones que pueden generar una inadecuada operación del sistema.

- Los puntos de conexión de los módulos presentan niveles de alta tensión en DC, en las entradas MPPT del equipo, lo que hace que los

cortes, switcheo o demás procesos bajo carga deban garantizar un buen contacto en los bornes de cada etapa del sistema.

- Los puntos de conexión AC son de tipo trifásico, lo que hace que el sistema presente inestabilidades o desbalances en sus líneas, por ello la cargabilidad de las líneas se debe establecer de manera equitativa para cada etapa.
- Las conexiones sujetas a sujeción deben estar soportada con una buen contacto, en donde el conductor este sujeto a la bornera con un buen par te apriete y además un contacto adecuado del conductor con la bornera.
- Los conectores MC4 deben ser ponchados de tal manera que permitan obtener una buena sujeción al conector bimetálico, esto para garantizar el correcto funcionamiento del conector y evitar malas conexiones.

Puntos de desconexión bajo carga del sistema

Los puntos de desconexión bajo carga son de vital utilización, con el fin de poder aislar de forma permanente o transitoria una etapa del sistema de forma manual o automática. Los puntos de desconexión bajo carga son puntos físico ubicados en las diferentes etapas de potencia del sistema, donde, esto dispositivos son los encargados de aislar o generar conexión física a la etapa en la que está ubicada.

- En los dispositivos de desconexión bajo carga se debe verificar sus capacidades de corte (Corriente máxima y tensiona máxima), ya que este puede estar sometido a picos de corriente o arcos eléctricos formados en la desconexión.
- Las etapas de potencia más susceptibles a desconexión son las etapas DC presentes en el sistema.
- Tener en cuenta en cada momento de la desconexión los protocolos relacionados al mismo proceso, los cuales son establecidos por el fabricante con el fin de evitar fallas repentinas en el equipo.

2.1.1 Protecciones del sistema

Se deben tener en cuenta para los diferentes tipos de conexiones las siguientes características:

- Tipo de protección (DC o AC)
- Característica de la protección (para cortocircuito o sobretensiones)
- Capacidad de corte (Corriente o tensión)
- Condiciones nominales (Corriente y tensión)
- Tiempos de respuesta a la falla (delay)

Para el caso de las protecciones contra cortocircuito se pueden utilizar protecciones magnéticas, termomagneticos y fusibles, para el caso de

protecciones contra sobretensiones se recomiendan DPS según la característica de la red (AC o DC).

4.3.2.3 VERIFICACIÓN DE ESTADO DE LOS ACUMULADORES

Para el proceso de verificación de los niveles de operatividad de los acumuladores se realiza la verificación de las siguientes variables:

- Se verifican los niveles de tensión en bornes de los acumuladores en estado de vacío.
- Se verifican los niveles de tensión bajo carga (la carga utilizada en una carga DC de 6 V, 12 W – esto permite establecer la continuidad de entrega y sostenibilidad de energía por parte de los acumuladores).

Por medio de las características anteriores se realiza la escogencia de los acumuladores si el sistema es existente, esto con el fin de garantizar la funcionalidad y continuidad en los niveles de tensión en el banco de acumuladores.

4.3.2.4 PROCESO DE INSTALACIÓN Y PUESTA A PUNTO

A continuación, se describen los pasos requeridos para poner en correcto funcionamiento el sistema.

INVERSOR HÍBRIDO GEINFINI SOLAR 10 KW



Por medio de la verificación de los parámetros necesarios para corroborar el correcto funcionamiento del equipo inversor INFINISOLAR se accede a las etapas de potencia del equipo en donde se verifica lo siguiente:

- Se verifica el estado del banco de acumuladores revisando niveles de tensión necesarios para la correcta operación del acumulador. En esta etapa se realizó la escogencia de los acumuladores de mejor operación, con el fin de garantizar estabilidad en la fuente y asegurar que el equipo opte por buen funcionamiento.



Figura 2.4. Banco de acumuladores.

- Se revisa el corte físico de los acumuladores por medio de la protección respectiva, cada par de bancos está protegido con BREAKER magnético DC de respuesta lenta con capacidad nominal de corte 80 A, al igual que se tienen dos totalizadores magnéticos DC de 250 A.



Figura 2.5. Protecciones DC banco de acumuladores.

- Se realiza la verificación de correcto seccionamiento del sistema de entrada solar al equipo, de tal manera que el corte bajo carga se pueda realizar de forma independiente por cada MPPT, además verificando que la protección

contra cortocircuito y la protección contra sobretensiones (DPS DC) estén en buenas condiciones de operación.



Figura 2.6. Tablero de corte y protección entradas MPPT.

- Se verifica el correcto aislamiento de la RED eléctrica por medio de una protección termo-magnética AC con capacidad nominal de corte 60 A de tres polos.



Figura 2.7. Protección de conexión a RED equipo GEINFINI solar

- Se establece una carga trifásica, la cual en este caso está comprendida por tres cargas independientes monofásicas conectadas en configuración DELTA y la cual permite garantizar una carga trifásica en el sistema.

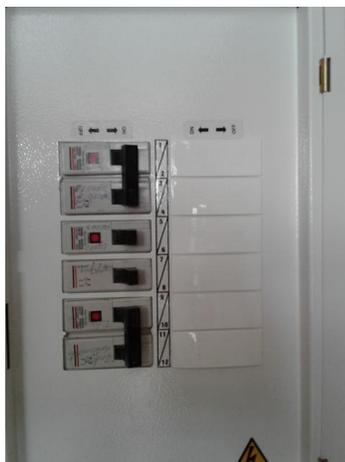


Figura 2.8. Tablero de carga aislada (UPS) equipo GEINFINI solar.

- Al verificar las capacidades de aislamiento de las protecciones, de los desconectores y demás sistemas de aislamiento del sistema se verifica la correcta sujeción de los conectores, observándose que los conductores presenten continuidad y una correcta sujeción al terminal, para garantizar la lectura de las señales en el equipo.



Figura 2.9. Conectores AC de carga y red equipo GEINFINI solar.



Figura 2.10. Conectores MC4 para cada entrada MPPT equipo GEINFINI SOLAR



Figura 2.11. Conexión entrada de acumuladores GEINFINI SOLAR



Figura 2.12. Transformadores de aislamiento 12 kVA 440 V/208 V trifásico

- Se realiza el inicio respectivo teniendo en cuenta el protocolo de seguridad de encendido y se verifica que el equipo está en correcto funcionamiento. El equipo GEINFINI SOLAR muestra en su Display un primer contacto de verificación, sin embargo antes de dar inicio al sistema se aconseja tomar medidas respectivas de tensión en las diferentes etapas, y corroborar que sean las adecuadas para la operatividad del sistema.

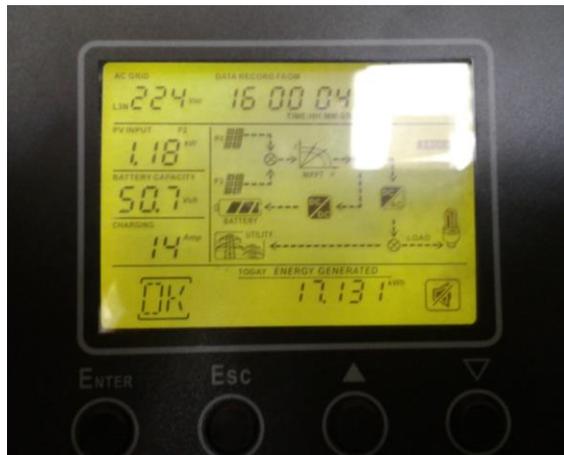


Figura 2.13. Visualización de correcta operación del sistema

- Después de la correcta inicialización del equipo se realiza la prueba de sostenida de carga de los acumuladores, en donde la única fuente de suministro de energía es el banco.



Figura 2.14. Prueba de sostenida de carga con acumuladores

Por medio de esta prueba se puede verificar el estado de funcionamiento de los acumuladores, al igual si existe una inconsistencia de descarga (Se descarga de forma rápida), se puede tomar medida en cada uno de los bancos respectivo y corroborar si es todo el arreglo o uno de ellos.

En las pruebas realizadas se verifico que uno de los arreglos que conforman el banco estaba en cortocircuito, lo que causaba una autoconsumo en todo el banco, se separó del mismo y se obtuvieron 4 arreglos con funcionamiento continuo y buen índice de respaldo.

INVERSOR ON-GRID ABB AURORA



- Se realiza la verificación de correcto seccionamiento del sistema de entrada solar al equipo, de tal manera que el corte bajo carga se pueda realizar de forma independiente por cada MPPT, además verificando que la protección contra cortocircuito y la protección contra sobretensiones (DPS DC) estén en buenas condiciones de operación.



Figura 2.15. Tablero de corte y protección entradas MPPT

- Se verifica el correcto aislamiento de la RED eléctrica por medio de una protección termo-magnética AC con capacidad nominal de corte 60 A de tres polos.



Figura 2.16. Protección de conexión a RED equipo AURORA

- Al verificar las capacidades de aislamiento de las protecciones, de los desconectores y demás sistemas de aislamiento del sistema se verifica la correcta sujeción de los conectores, observándose que los conductores presenten continuidad y una correcta sujeción al terminal, para garantizar la lectura de las señales en el equipo.



Figura 2.17. Conexión para cada entrada MPPT equipo AURORA



Figura 2.18. Conexión AC de red equipo AURORA

CONEXIÓN DE TRANSFERENCIA GENERAL

Por medio del tablero mostrado en la Figura 16 se realiza la instalación de las protecciones individuales de los equipos de inyección de energía y además el dispositivo de corte general de los mismos.



Figura 2.19. Tablero de transferencia de energía solar fotovoltaica a la RED

Por medio de un totalizador tripolar con capacidad de corte nominal de 125 A, se verifica el corte físico de la red a los dos sistemas de inyección, con el cual permite aislar los dos sistemas de forma paralela, brindando una protección contra cortocircuito de forma total.



Figura 2.20. Totalizador de punto de transferencia.

Por último se verifica la conexión al barraje de alimentación cercano que está dentro del dominio de la red eléctrica de la Universidad Tecnológica de Pereira y con el cual se realizara una transferencia de energía en forma directa o inyectada al sistema eléctrico dicho.



Figura 2.21. Conexión de la RED UTP con el sistema solar fotovoltaico.

4.3.3. CAPÍTULO 3. Protocolos y manuales de funcionamiento del sistema con la completa caracterización del mismo.

Los protocolos de instalación para sistemas solares fotovoltaicos se basan en la condiciones de operación de sistema como red de acople, como de los equipos a acoplar a la red. Para el caso del sistema solar de la Universidad Tecnológica de Pereira tenemos los siguientes protocolos generales:

- Se verifica la condición constructiva de la red, en donde se determina si las condiciones son de red monofásica (1ϕ) o trifásica (3ϕ)
- Después de conocer las condiciones constructiva se verifican los niveles de tensión de trabajo con respecto a cada línea y con respecto a neutro.
- Para el caso de los sistemas híbridos se determina la carga OFF-GRID teniendo en cuenta que no se debe superar el 90% de la cargabilidad del equipo, esto para garantizar la correcta operación del sistema y que además tenga un rango de protección contra sobrecargas.

Para el sistema en particular tenemos que:

Sistema ON-GRID ABB 10 kW

Por sus características operativas presenta conexión directa a la red, donde se debe tener en cuenta que en sistemas trifásicos debe tenerse en cuenta la secuencia de operación del sistema y los cuales deben coincidir con la secuencia del equipo. En la instalación se debe tener en cuenta que las fases R, S y T se deben caracterizar en la red y hacerlas coincidir con los puntos de conexión por fase R,S y T del equipo, para garantizar que el equipo se pueda sincronizar de forma correcta con la red. Para la conexión del sistema fotovoltaico se tiene en cuenta que el equipo contiene dos entradas de regulación MPPT, que permiten tener dos topologías en arreglo de módulos independientes, en donde los arreglos se deben diseñar y posteriormente instalar de tal manera que estén en los rangos de operación de tensión especificado por el fabricante, teniendo en cuenta además no superar los niveles de corriente máximas por cada MPPT sugeridos por el fabricante del equipo.

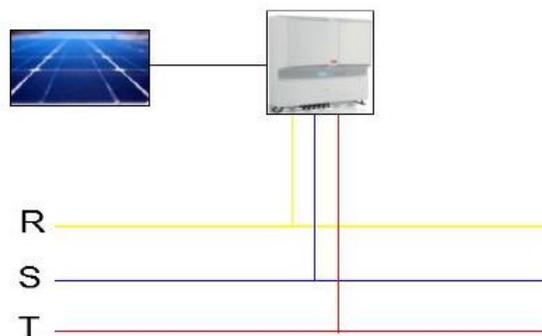


Figura 3.1. Conexión equipo ON-GRID ABB

Sistema Híbrido 10 kW

Por medio de la comparación de parámetros de operación del sistema y la red, se puede notar que las condiciones deben ser adecuadas, para esto se debe realizar la adecuación de niveles de tensión por medio de transformadores de aislamiento, esto garantizará la protección galvánica necesaria para el equipo y además se pondrá en funcionamiento el sistema. El sistema solar híbrido presenta dos salidas AC, lo que obliga que ambas salidas deben ser acopladas. Se debe tener en cuenta que los transformadores deben garantizar como mínimo la potencia máxima del equipo, pero no se puede superar el 20% de seguridad, ya que las pérdidas por magnetización (las cuales están presentes cuando el transformador está en vacío), son demasiado altas. Para la conexión del sistema fotovoltaico se tiene en cuenta que el equipo contiene dos entradas de regulación MPPT, que permiten tener dos topologías en arreglo de módulos independientes, en donde los arreglos se deben diseñar y posteriormente instalar de tal manera que estén en los rangos de operación de tensión especificado por el fabricante, teniendo en cuenta además no superar los niveles de corriente máximas por cada MPPT sugeridos por el fabricante del equipo.

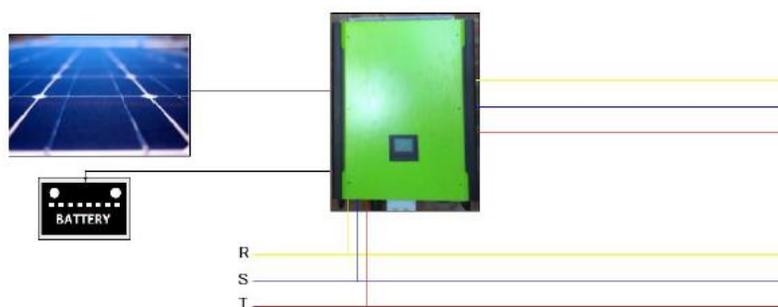


Figura 3.2. Conexión equipo Híbrido GELA

PROTOCOLOS DE INICIACIÓN, CRITERIOS DE CONEXIÓN Y DESCONEXIÓN

Cada equipo electrónico tiene inmerso dentro de su topología electrónica un orden lógico de operación, esto se presenta con fines de garantizar que la estabilidad en los sistemas de muestreo, generación y transferencia de potencia tengan las garantías mínimas de seguridad al iniciar y al operar en estado permanente. Los protocolos de iniciación se centran en los órdenes lógicos con los cuales por medio de una fuente estable, se permita que los dispositivos de memoria y actuación inicialicen y de esta manera generar un diagnóstico operativo del mismo. Las tecnologías presentes en los sistemas solares fotovoltaicos permiten que el fabricante realice las condiciones de operación dependiendo del diseño y la implementación de tarjetas y secuencias lógicas dentro del equipo. Por medio de las características de los equipos de operación del sistema solar fotovoltaico de la Universidad Tecnológica de Pereira, presentamos los siguientes protocolos y criterios para la correcta manipulación y operación de los equipos.

Sistema ON-GRID ABB 10 kW

Los sistemas ON-GRID en su mayoría no presentan mayores problemas de iniciación, pero si se debe tener en cuenta que:

- a. El equipo debe ser habilitado en primera instancia por una fuente estable, la cual en el caso de los sistemas de inyección se refiere a la red con la cual se sincronizara, esto con el fin de que el sistema inicialice y estabilice
- b. Después de inicializado el equipo, se podrán conectar los arreglos fotovoltaicos, de tal manera que los sistemas de máxima transferencia de potencia están en operación y la labor de control MPPT se realice sin inconvenientes.
- c. Estos sistemas en caso de ausencia de red eléctrica tendrán una desconexión parcial, esto debido a las posibles acciones de mantenimiento que se podrían desarrollar en la red y además por la independencia que se tiene entre la red y el equipo.

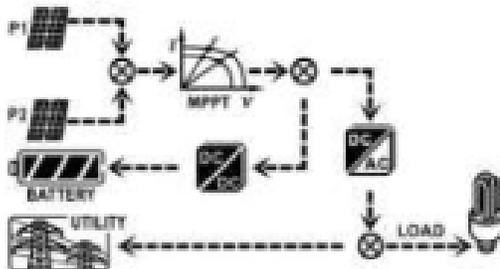
NOTA: Estos equipos permiten realizar una conexión de fuentes sin importar el orden, la tecnología ABB tiene un sistema de enclavamiento que evita la inicialización del equipo si no está conectada y habilitada la red eléctrica.

Sistema Híbrido 10 kW

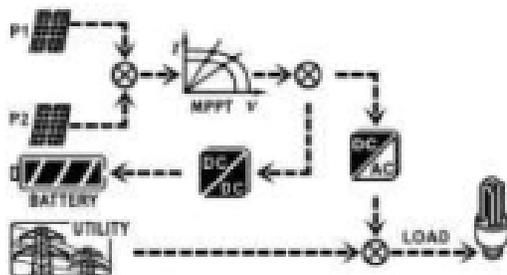
Los sistemas híbridos por sus cualidades electrónicas y de control, presentan protocolos de seguridad y encendido, esto también es por el hecho de que sus etapas de transferencia de potencia son más susceptibles, además enmarcando que los sistemas híbridos permiten combinar un sistema OFF-GRID con respaldo y un sistema ON-GRID. Los sistemas híbridos tienen el siguiente protocolo de inicialización basado en la estabilidad de inicio de los protocolos de control y de transferencia de potencia:

- a. El equipo debe ser habilitado en primera instancia por una fuente estable, la cual en el caso de los sistemas híbridos se refiere al banco de acumuladores (baterías) lo que permite que el sistema habilite todas sus acciones de control y operación.
- b. Después de inicializado el equipo y de verificar que no existe ningún problema de conexión se procede a realizar la conexión del sistema solar, en donde se verificara si el sistema presenta algún erro y además la correcta identificación de los mismo en el módulo de control.
- c. Se procederá a realizar la conexión de la red eléctrica, lo que habilita la transferencia de energía a la misma y en caso tal de necesitarlo el sistema tomara energía.
- d. Los casos de operación del sistema son los siguientes y además se toman las siguientes visualizaciones según su configuración.

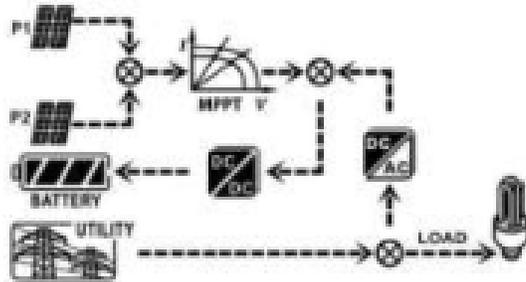
NOTA: En caso de inicializar el equipo en ausencia de acumuladores, se debe habilitar en primera instancia la red eléctrica, si se va a ingresar los acumuladores después de este proceso, se deberá realizar la desconexión de todas las fuentes y realizar el **protocolo madre del sistema (ver tablas 3.1 y 3.2).**



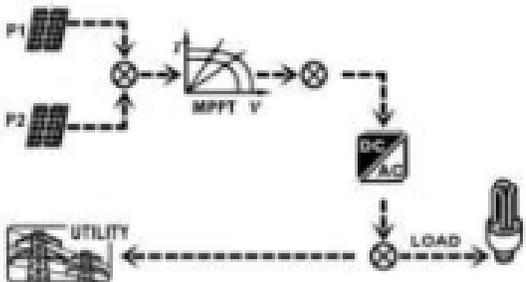
1. El sistema de generación fotovoltaica está en su máxima expresión, la carga (LOAD) y los acumuladores (BATTERY), no superan los niveles de energía entregada, lo que permite que los excedentes sean entregados a la red (UTILITY)



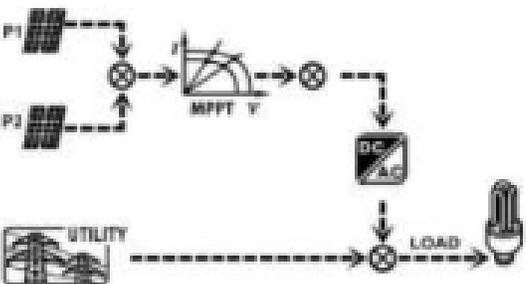
2. el sistema de generación fotovoltaica presenta buen rango de generación pero la carga y los acumuladores representan más de la energía entregada, en este caso el equipo comporta la red como una fuente de respaldo hacia la carga. (OFF-GRID con respaldo)



3. la energía fotovoltaica no supe la necesidad completa, lo que permite que el equipo soporte la carga y los acumuladores por medio de la red eléctrica (OFF-GRID con respaldo)

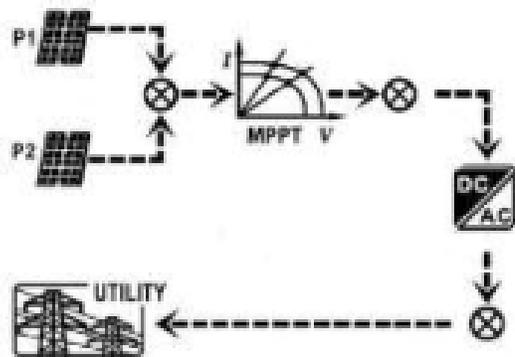


4. Se tiene ausencia de acumuladores, este caso solo es permisible bajo condiciones de funcionamiento continuo sin ellos, en donde el sistema está abasteciendo la carga y entregara los excedentes a la red.



5. Se tiene ausencia de acumuladores, este caso solo es permisible bajo condiciones de funcionamiento continuo sin ellos, en donde el sistema está abasteciendo la carga pero no es suficiente la carga entregada, el equipo permite suplir la necesidad tomando de la red. (OFF-GRID con respaldo)

Configuración ON-GRID (Grid Tie)



6. El sistema realiza entrega total de la energía generada a la red eléctrica durante el proceso de generación fotovoltaica

NOTA: Los sistemas híbridos pueden realizar maniobras con respecto a la ausencia de cualquier fuente existente en el sistema, generando gestión energética por medio de transferencias no mayores a diez milisegundos (10 ms), garantizando la continuidad del servicio a la carga. La carga (LOAD) hace referencia a la carga aislada a conectar al equipo.

4.3.3.1 PROTOCOLOS DE PRIORIDAD Y SEGURIDAD

Por medio de los protocolos de prioridad se establecen los enclavamientos redundantes o no de protección, esto con el fin de garantizar las condiciones mínimas de seguridad y continuidad en el sistema. La representación objetiva de las prioridades de denotara en las siguientes tablas:

RUTINA DE OPERACIÓN EQUIPO INFINI				
Prioridad				Tipo de Maniobra
1	2	3	4	
Acumuladores	Panel	RED	Carga	Inicialización
Acumuladores	NC	NC	NC	Mantenimiento
Acumuladores	NC	NC	NC	Control
1	Prioridad Máxima			
2	Prioridad Intermedia			
3	Prioridad Intermedia			
4	Prioridad Intermedia			
NC	No Influye			

Tabla 3.1. Rutina de operación INFINI

RUTINA DE OPERACIÓN EQUIPO AURORA		
Prioridad		Tipo de Maniobra
1	2	
RED	Panel	Inicialización
NC	NC	Mantenimiento
NC	NC	Control
1	Prioridad Máxima	
2	Prioridad Intermedia	
NC	No Influye	

Tabla 3.2. Rutina de operación AURORA

Por medio de los parámetros denotados inmersos en los protocolos de iniciación, se puede confirmar la seguridad y continuidad operativa del sistema, evitando conflictos en las etapas de actuación de los equipos denotados. Por medio de la medición de los parámetros de influencia en cada una de la etapas de conversión y generación de energía se puede determinar los componentes de seguridad y protección en los equipos, estos son basados en las condiciones máximas operativas de los equipos y los arreglos diseñados, ya que estos se basan en las tensiones y corrientes por cada MPPT en el caso del arreglo PV, y las corrientes de descarga y carga en el caso de la estabilidad de los acumuladores.

4.3.4. CAPÍTULO 4: análisis de perfiles de potencia y energía efectuando comparaciones de comportamientos (curvas potencia vs tiempo) a partir de curvas de radiación, potencia de paneles, flujo de baterías, carga (off Grid) y potencia entregada a red.

Para el análisis de la potencia de cada MPPT se seleccionaron los datos del día 4 de octubre de 2016. Los cuales muestran los siguientes resultados.

Para el inversor AURORA se tiene que:

MPPT 1

El MPPT 1 muestra una potencia de 4316 W tal como se muestra en la figura 4.2, siendo este valor el máximo durante el día.

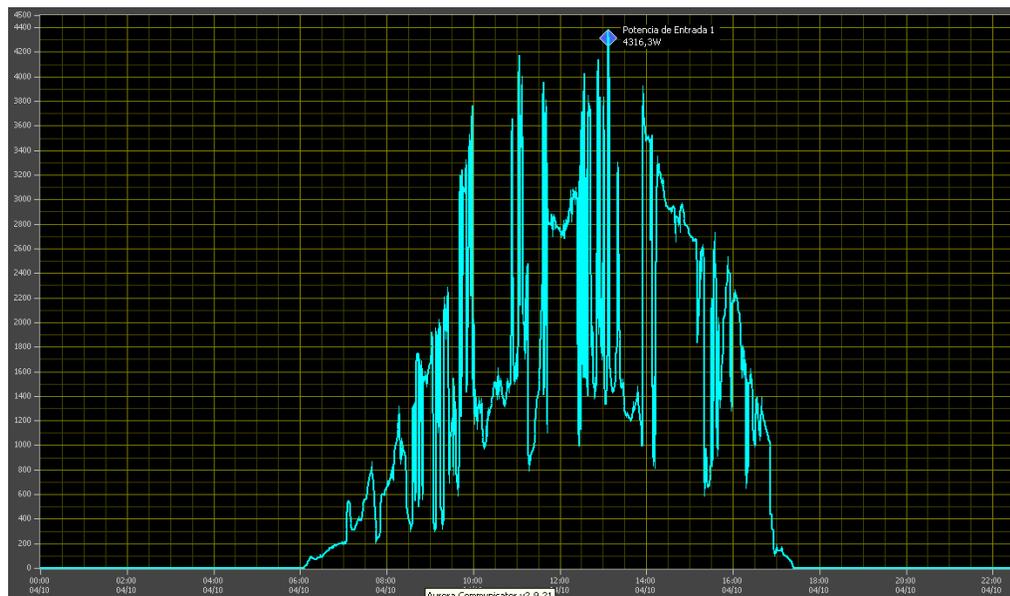


Figura 4.2. Potencia MPPT 1 Aurora

MPPT 2

El MPPT 2 muestra una potencia de 4322 W tal como se muestra en la figura 4.3, siendo este valor el máximo durante el día.



Figura 4.3. Potencia MPPT 2 Aurora.

Concluyendo el inversor Aurora pudo producir una potencia aproximada de 8638 W en un instante de tiempo durante el día 4 de octubre de 2016.

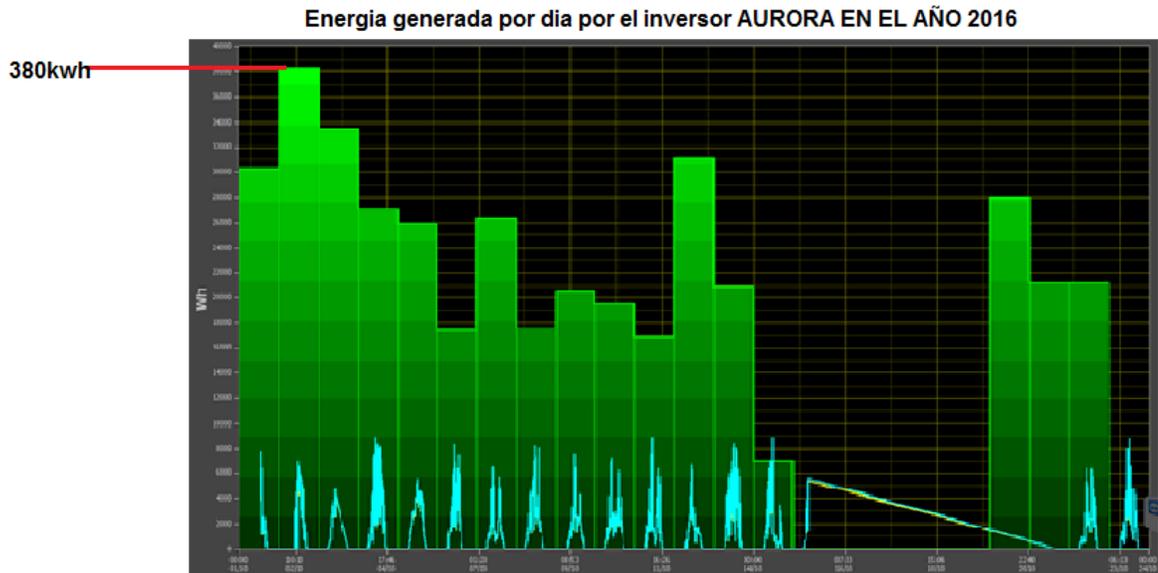


Figura 4.4 energía generada por día en el año 2016.

Para el inversor InfiniSolar se tiene que:

- **MPPT 1**

El MPPT 1 muestra una potencia aproximada a los 5 kW tal como se muestra en la figura 4.5, siendo este valor el máximo durante el día y de capacidad del sistema.

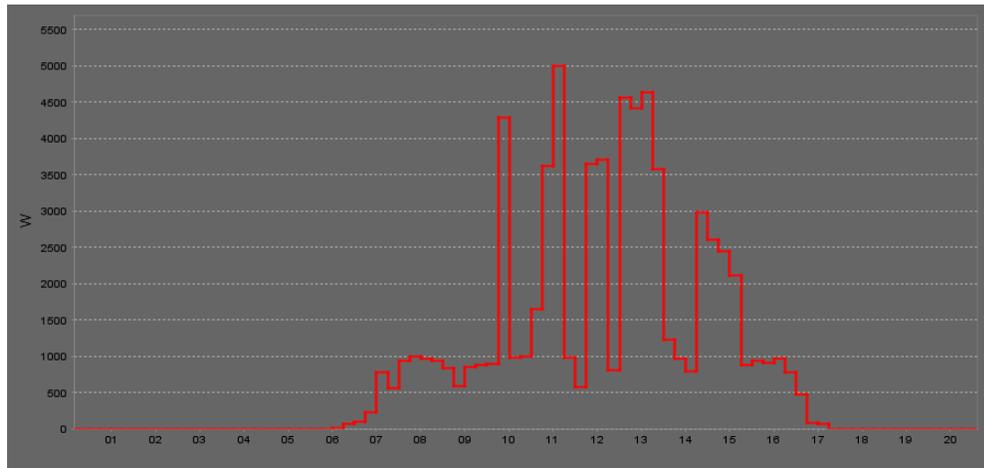


Figura 4.5. Potencia MPPT 1 InfiniSolar.

- **MPPT 2**

El MPPT 2 muestra una potencia aproximada de 4.6 kW tal como se muestra en la figura 4.6, siendo este valor el máximo durante el día.

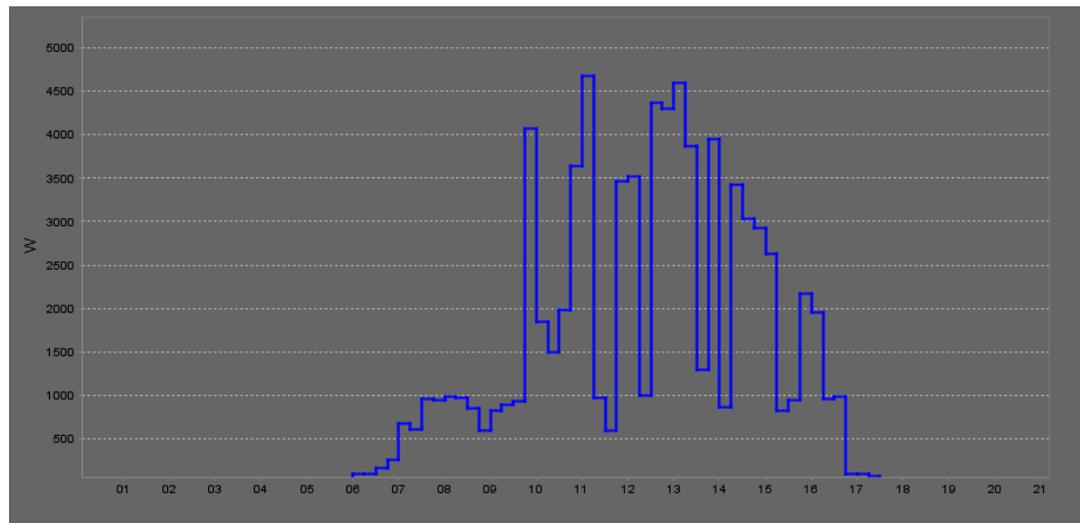


Figura 4.6. Potencia MPPT 2 InfiniSolar.

Concluyendo el inversor Infini pudo producir una potencia aproximada de 9.6 kW en un instante de tiempo durante el día 4 de octubre de 2016.

Si tenemos en cuenta la potencia entregada por los dos inversores ese día se generó y se entregó a la red eléctrica 18.238 kW.

Las siguientes figuras presentan la energía generada durante el año 2018 (este año el sistema ha estado en mantenimiento y proceso de implementación de una plataforma de tele-gestión que ha causado discontinuidad en la producción energética).

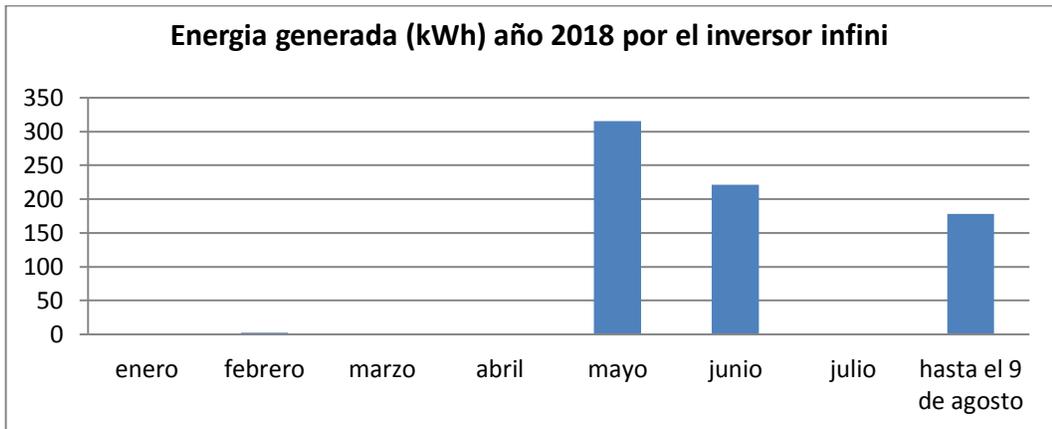


Figura 4.7 Energía generada por Inversor Infini año 2018

La figura 4.8 muestra la potencia de cada componente del sistema

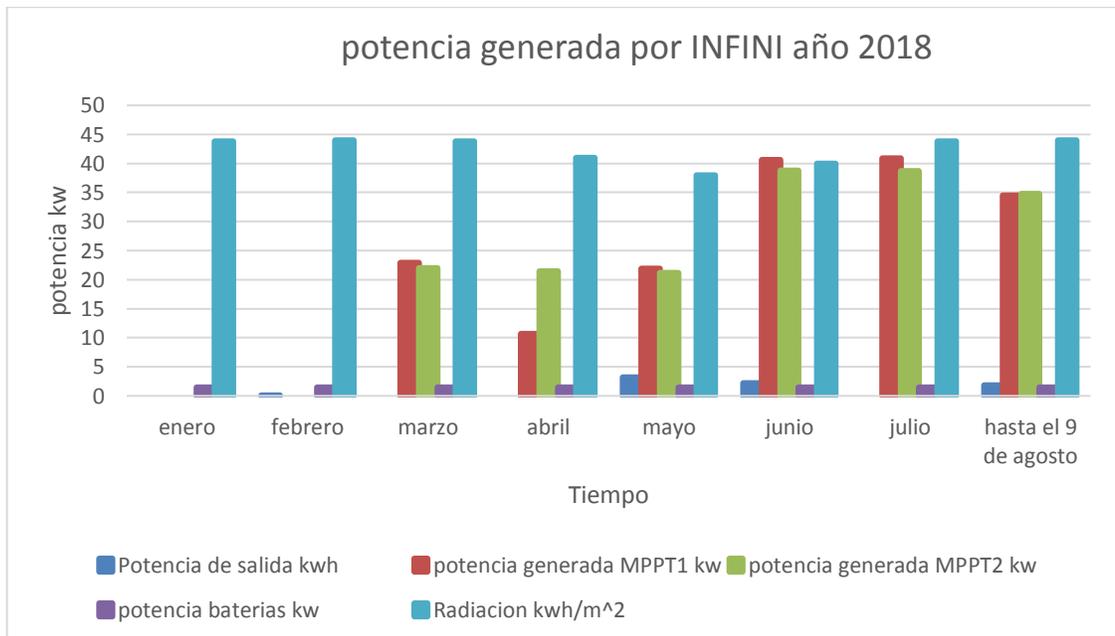


Figura 4.8 Potencia generada por cada componente del sistema y potencia por radiación

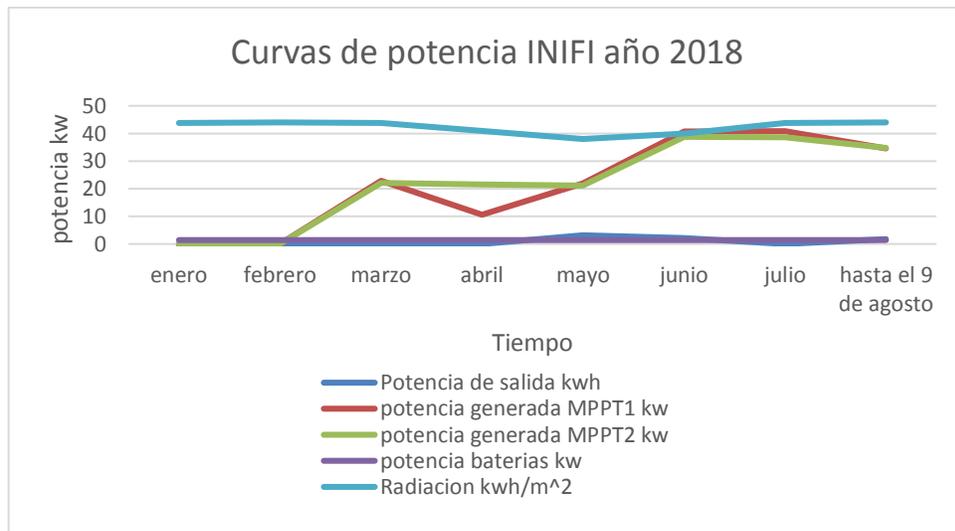


Figura 4.9 Tendencia de producción de potencias por cada componente

4.3.5. CAPÍTULO 5: análisis de balance energético en el tiempo con base en las curvas de demanda y oferta generada por el sistema.

La tabla 5.1 presenta la demanda de energía Wh (carga) y generación del sistema en un día con buena radiación.

Energía (Wh) 13 de octubre de 2016					Sistema solar		EEP
InfiniSolar	Aurora	Consumo de carga	Entrega a la red EEP	Consumo de la EEP	Energía generada	Generado menos consumido	entregado a la red menos consumido
41217	31076	27630	64577	29567	72293	44663	35010

Tabla 5.1 Análisis de energía generada y consumida (Wh)

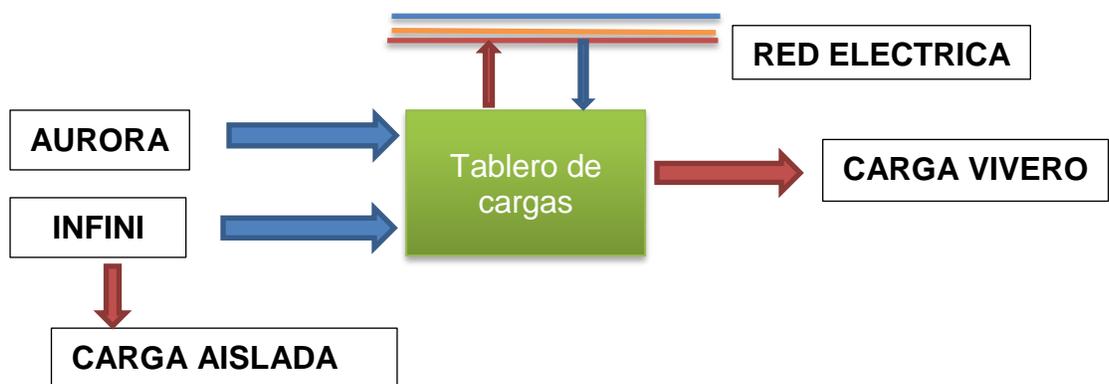


Figura 5.1 Diagrama de entrada y salida de energía

La empresa de Energía de Pereira EEP ha montado un medidor bidireccional en el tablero principal de cargas (donde están conectados los inversores) para establecer la energía que entra y sale.

En la figura 5.1 se puede observar un diagrama de bloques donde se muestran las entradas (color azul) y la salida (color rojo) de la energía suministrada por el sistema fotovoltaico y el consumo de las cargas instaladas, también se puede observar el consumo y la entrega de energía de la red eléctrica.

Para ver una forma más detallada de los consumos y la generación se pueden ver en la figura 5.2.

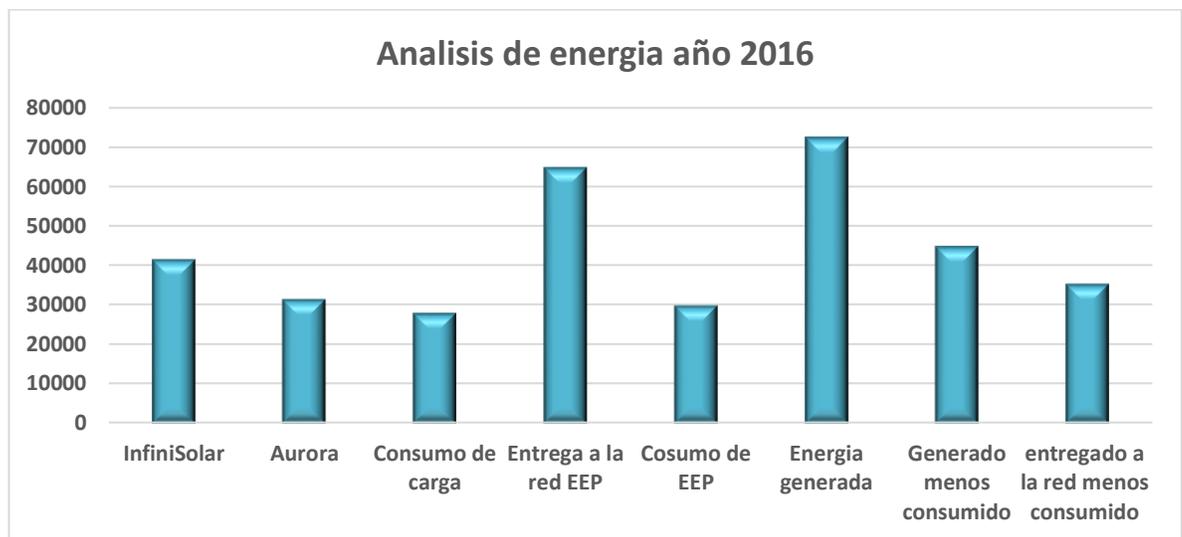


Figura 5.2 Análisis de energía del año 2016

Teniendo en cuenta los datos de la tabla 5.1 y reemplazándolos en la figura 5.1 obtenemos la siguiente figura con la cual se busca establecer el consumo la carga del vivero en ese día.

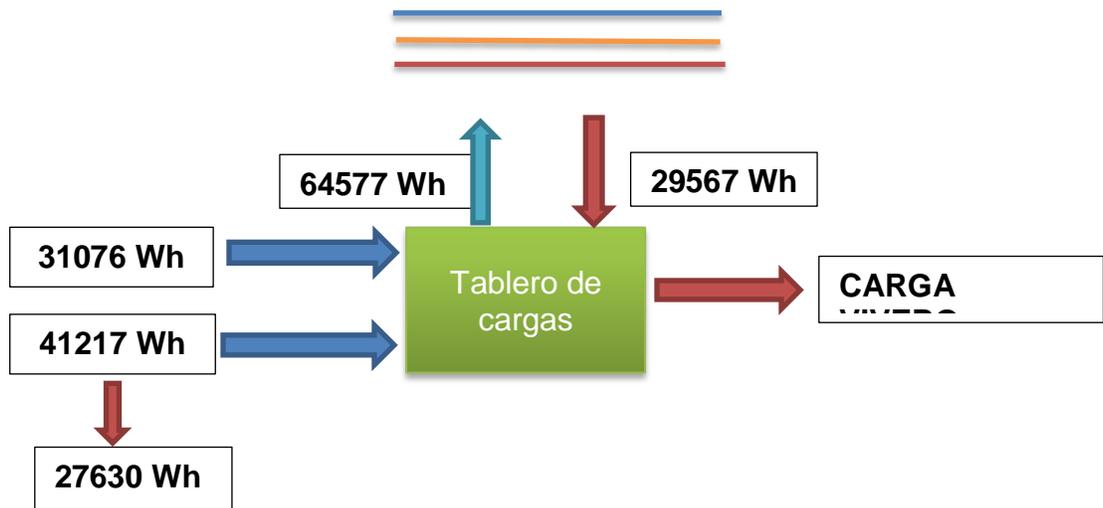


Figura 5.3 Diagrama de entrada y salida de energía

Con la figura 5.3 se realiza el balance de energía obteniendo la siguiente ecuación

$$\begin{aligned}
 41217 + 31076 + 29567 &= 27630 + 64577 + \text{carga vivero} \\
 101860 &= 92207 + \text{carga vivero} \\
 \text{carga vivero} &= 9653\text{wh}
 \end{aligned}$$

En los últimos años la Universidad Tecnológica de Pereira ha migrado de tecnología de iluminación con bombillas y tubos fluorescentes o lámparas de descarga, hacia la tecnología LED, pero aun no es suficiente ya que los bloques antiguos aún no han emigrado a la tecnología led. La medida de estos datos sirve para tener una base para el nuevo sistema fotovoltaico que se implementará en la Universidad Tecnológica de Pereira el cual constará con una potencia instalada de 603 kWp. El sistema a utilizar es On Grid (inyección directa a red). Esta configuración será empleada para no utilizar un sistema de acumuladores y lograr una generación de energía 100% limpia, sin la producción de residuos peligrosos.

En la gráfica demanda vs oferta se puede observar que la mayor generación por parte del sistema fotovoltaico fue el año 2016 esto se debe a que los equipos estaban en funcionamiento pleno sin presentar algún tipo de falla, para suplir toda la demanda de la universidad es necesario instalar un sistema de mayor generación fotovoltaica y hacer un buen uso de la energía eléctrica. Ya que la demanda es más grande que la generación, no se puede establecer un balance energético además existen las pérdidas de energía en los equipos de los sistemas.

El uso de equipos eficientes permite un consumo menor de energía, por lo tanto, el usuario debe exigir la especificación de consumo de energía de los equipos que vaya a adquirir y decidirse por los más eficientes.

Con el uso responsable de la electricidad contribuimos a preservar el ambiente y reducimos la contaminación. Además, un ahorro de recursos económicos en el

hogar y en los establecimientos comerciales, preserva el control de la curva de carga o demanda que las empresas requieren para abastecer a sus clientes

5. PLATAFORMA DE TELE-GESTIÓN PARA EL SISTEMA FOTOVOLTAICO IMPLEMENTADO

El proyecto sistema fotovoltaico tele gestionable integra una serie de dispositivos electrónicos que en conjunto permiten realizar medición, acondicionamiento, procesamiento y reporte de variables eléctricas propias del sistema hacia diferentes plataformas con fines de monitoreo y gestión, así como la ejecución de rutinas de operación pre establecidas que garantizan su adecuado funcionamiento bajo condiciones eléctricas seguras. Conociendo la arquitectura del sistema implementado descrito en el documento, implementación de un prototipo funcional de un sistema fotovoltaico tele gestionable, se define entonces la funcionalidad que en conjunto ofrecen estos dispositivos. En primer lugar, recordamos que el sistema general cuenta con dos subsistemas con diferentes topologías de generación de energía, de las cuales una de ellas permite tomar energía proveniente de un arreglo de paneles solares y de un banco de baterías y por medio de un inversor transformar esta energía para ser entregada a una carga AC y a la red eléctrica pública. Mientras que el otro subsistema solo toma energía de un arreglo de paneles y entrega esta energía ya transformada a la red eléctrica pública.

El primer sistema hace uso del inversor Infini Solar, el cual se conoce como inversor híbrido ya que permite suministrar energía a una carga aislada de la red eléctrica pública "Off Grid" y a su vez entregar energía a la red pública "On Grid". El segundo subsistema hace uso del inversor Aurora ABB, el cual solo ofrece la topología Off Grid. Estos subsistemas de generación de energía son controlados por las RTU A y B de tipo esclavos y una RTU maestro que centraliza la información obtenida por cada esclavo y es enviada a los diferentes administradores como la plataforma web, un sistema SCADA y una pantalla táctil de uso local. Así las cosas, cada administrador tiene la facultad de generar ordenes de enclavamiento sobre el sistema, las cuales son validadas por cada RTU antes de ser ejecutadas a manera de que la ejecución de dicha orden no comprometa la integridad del sistema. En la figura 6.1 se puede apreciar en detalle topología general del sistema anteriormente descrito. [26]

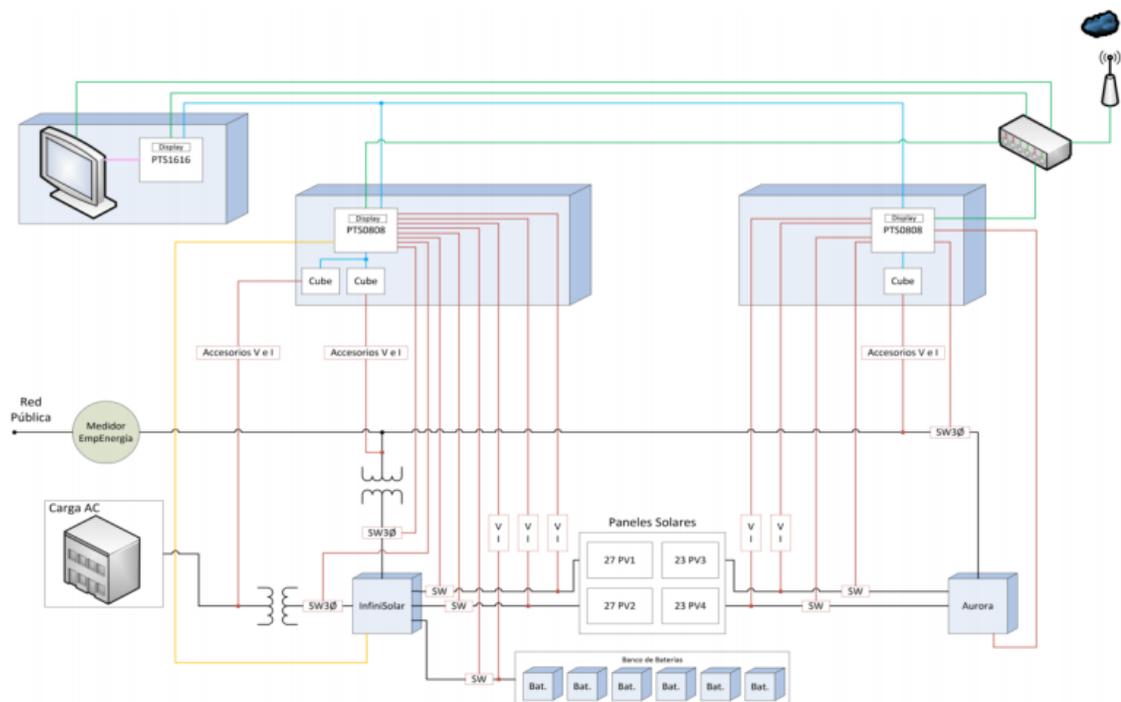


Figura 6.1. Esquema general del sistema fotovoltaico tele gestionable

5.1 programación y configuración

RTU ESCLAVO

Cada RTU esclavo cuenta con rutinas de inicialización autónomas que aseguran el adecuado funcionamiento del sistema en general. Cada subsistema cuenta con una jerarquía de enclavamiento que se encarga de realizar las conexiones de forma ordenada priorizando las que son estrictamente necesarias para la operación del sistema. Cada esclavo cuenta con un Display que presenta mensajes informativos con las lecturas de los parámetros eléctricos y el estado de funcionamiento del sistema.

RTU MAESTRO

Estos dispositivos se encargan de centralizar la información proveniente de cada esclavo, reportar esta información a los administradores como la plataforma web, la pantalla táctil y el sistema SCADA, gestionan las órdenes de enclavamiento de cada esclavo provenientes de un administrador, y reportan nuevamente el estado de ejecución de dichas órdenes.

5.2. operación del sistema

Una vez que se energiza el sistema, la RTU maestro reporta a la plataforma web las direcciones IP y el ID de cada esclavo, de tal forma que esta pueda reconocer a los esclavos y una vez que se comunique con ellos, les conceda el permiso para iniciar su funcionamiento. Una vez que se ha concedido el permiso a cada esclavo, se ejecuta la rutina de inicialización de cada subsistema, en la cual se interconectan todos los dispositivos asociados a este y de forma periódica se reportan las lecturas y estados de operación desde cada esclavo hacia la RTU maestro. En adelante cada esclavo se encarga de controlar los enclavamientos conforme a la jerarquía definida, monitorea el estado de las variables eléctricas comparando estos valores con los parámetros máximos y mínimos operativos del sistema y ejecutando las órdenes provenientes del maestro y de cada administrador.

PARAMETROS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

Para su funcionamiento el sistema hace uso de los siguientes parámetros:

PARAMETROS MAXIMOS Y MIMNIMOS

Se consideran como los valores eléctricos extremos, los cuales no debería alcanzar el sistema en su funcionamiento normal ya que, de no contar con protecciones eléctricas adecuadas, se podrían comprometer la integridad del sistema.

PARAMETROS MAXIMOS Y MINIMOS OPERATIVOS

Estos valores permiten parametrizar el sistema de tal forma que este opere por debajo de su capacidad máxima con el fin de prevenir sobrecargas que puedan afectar los dispositivos. Estos parámetros se cargan desde la plataforma web sobre cada esclavo durante la rutina de inicialización.

VARIABLES DE PROGRAMA Y BANDERAS

Permiten asociar el estado de un parámetro o un estado de conexión o de error a una variable numérica fácilmente interpretable por el usuario o los administradores. En la tabla 1 se enlistan cada uno de estos parámetros del sistema fotovoltaico, los cuales son configurados bajo dos condiciones. Inicialmente el sistema adopta los parámetros por defecto hasta recibir nuevos parámetros de la plataforma, los cuales se deben cargar durante la inicialización de cada esclavo desde la plataforma web. Una vez que se inicialice cada esclavo, estos estarán en capacidad de reportar de forma continua cada 1 segundo los parámetros eléctricos propios de cada subsistema a la plataforma web, toda vez que esta genere la orden de inicio de envío continuo (Función Scope).

PARAMETROS ELECTRICOS			
ITEM	PARAMETRO	RANGO	VALOR INICIAL
1	VOLTAJE BATERIAS MAXIMO	44 Vdc - 53 Vdc	53
2	VOLTAJE BATERIAS MINIMO		44
3	CORRIENTE BATERIAS MAXIMO	0 - 300 Adc	100 A
4	VOLTAJE RED MAXIMO	0 - 250 Vac (Fase-Fase)	130 Vac
5	CORRIENTE RED MAXIMO	0 - 50 Aac	60 A
6	CORRIENTE MÁXIMA ARREGLO DE PANELES 1	0 - 60 Adc	18 A
7	CORRIENTE MÁXIMA ARREGLO DE PANELES 2		18 A
8	VOLTAJE MÁXIMO ARREGLO DE PANELES 1	0 - 500 Vdc	550 Vdc
9	VOLTAJE MÁXIMO ARREGLO DE PANELES 2		550 Vdc
10	VOLTAJE BATERIAS MAXIMO OP	ajustable	Ajustable
11	VOLTAJE BATERIAS MINIMO OP	ajustable	Ajustable
12	CORRIENTE BATERIAS MAXIMO OP	ajustable	Ajustable
13	VOLTAJE RED MAXIMO OP	ajustable	Ajustable
14	CORRIENTE RED MAXIMO OP	ajustable	Ajustable
15	CORRIENTE ARREGLO DE PANELES 1 MAXIMO OP	ajustable	Ajustable
16	CORRIENTE ARREGLO DE PANELES 2 MAXIMO OP	ajustable	Ajustable
17	VOLTAJE ARREGLO DE PANELES 1 MAXIMO OP	ajustable	Ajustable
18	VOLTAJE ARREGLO DE PANELES 2 MAXIMO OP	ajustable	Ajustable

VARIABLES DE PROGRAMA Y BANDERAS			
1	TIEMPO DE ENVIO MAXIMO	1 - 10 seg	10 seg
2	TIEMPO DE ENVIO MAXIMO OP	ajustable	Ajustable
3	ESTADO DE COMUNICACIÓN CON EL MAESTRO	Comunicación Inv. n - Master	Variable
4	PROTECCION POR SOBREVOLTAJE INV N	Sobrevoltaje Infini	Variable
5	PROTECCION POR SOBRECORRIENTE INV N	Sobrecorriente Infini	Variable
6	ESTADO DE COMUNICACIÓN CON PANTALLA TACTIL	Conexión de Pantalla Táctil HMI	Variable
7	ESTADO DE COMUNICACIÓN CON SISTEMA SCADA	Conexión con SCADA	Variable
8	ESTADO DE COMUNICACIÓN CON LA PLATAFORMA WEB	Conexión con Plataforma	Variable
9	BANDERA DE CONEXIÓN DE BATERIAS	0-DC, 1-RTU, 2-HMI, 3-SCADA, 4-PLATF	Variable
10	BANDERA DE CONEXIÓN DE PANELES	0-DC, 1-RTU, 2-HMI, 3-SCADA, 4-PLATF	Variable
11	BANDERA DE CONEXIÓN DE RED	0-DC, 1-RTU, 2-HMI, 3-SCADA, 4-PLATF	Variable
12	BANDERA DE CONEXIÓN DE CARGA	0-DC, 1-RTU, 2-HMI, 3-SCADA, 4-PLATF	Variable
13	BANDERA DE CONEXIÓN DE CONTACTOR AUXILIAR	0-DC, 1-RTU, 2-HMI, 3-SCADA, 4-PLATF	Variable
14	ESTADO DE MANTENIMIENTO	0-DC, 1-ACT, 2-INACT	Variable

Tabla 6.1. Parámetros eléctricos, banderas y variables del sistema

5.3. jerarquía de enclavamientos

Con base en los parámetros anteriormente descritos y en la jerarquía de enclavamientos relacionada en la tabla 6.2 y 6.3, se ejecutan los enclavamientos por medio de las órdenes generadas desde la plataforma web o de cualquier otro administrador.

5.4 jerarquía de enclavamiento - aurora

Este inversor solo cuenta con 2 actuadores a controlar los cuales son, la conexión a la red eléctrica pública y la conexión de los paneles solares. Adicionalmente controla un contactor auxiliar de propósito general.

RUTINA DE OPERACIÓN EQUIPO AURORA		
Prioridad		MODO DE OPERACION
1	2	
RED	Panel	Inicialización
NC	NC	Mantenimiento
NC	NC	Control
1	Prioridad Máxima	
2	Prioridad Intermedia	
NC	No Influye	

Tabla 6.2. Jerarquía de enclavamiento – AURORA

5.5. jerarquía de enclavamiento – infini

Este inversor solo cuenta con 4 actuadores a controlar los cuales son, en el orden jerárquico de enclavamiento, la conexión de las baterías, la conexión de los paneles solares, la conexión de la red eléctrica pública y la conexión de la carga. Adicionalmente controla un contactor auxiliar de propósito general.

RUTINA DE OPERACIÓN EQUIPO INFINI				
Prioridad				Tipo de Maniobra
1	2	3	4	
Acumuladores	Panel	RED	Carga	Inicialización
Acumuladores	NC	NC	NC	Mantenimiento
Acumuladores	NC	NC	NC	Control
1	Prioridad Máxima			
2	Prioridad Intermedia			
3	Prioridad Intermedia			
4	Prioridad Intermedia			
NC	No Influye			

Tabla 6.3. Jerarquía de enclavamiento – INFINI

MODOS DE OPERACION

El sistema cuenta con 3 modos de operación que permiten ejecutar la totalidad de rutinas propias del normal funcionamiento del sistema. El primer modo es la inicialización, y se realiza tanto para las RTU Maestro como para las RTU Esclavo, de tal forma que en este modo cada dispositivo realiza su presentación con la plataforma web y esta, una vez que realiza la validación de sus parámetros de operación, concede la validación para iniciar su funcionamiento.

6.CONCLUSIONES

Se ha resaltado que hay bastante recurso disponible y que la tecnología fotovoltaica es una de las energías renovables más factibles para la generación de electricidad dentro del entorno urbano. El despliegue exitoso de paneles fotovoltaicos en fachadas o techos de edificios reducirá en gran medida la necesidad de terrenos adicionales para la generación de electricidad de las estaciones de nueva generación.

El Gobierno se ha comprometido a ampliar su programa de apoyo a las energías renovables, incluida la investigación, el desarrollo, la demostración y la difusión. El principal obstáculo actual que impide la fabricación a gran escala en Colombia es el mercado actual o la falta de él. La comprensión y el potencial de la energía fotovoltaica están mejorando, pero se requiere más investigación y desarrollo para capturar reducciones de costos. Es importante que se establezcan alianzas sólidas entre la industria y el gobierno.

En el trabajo realizado se puede observar las dos maneras de implementar sistemas fotovoltaicos y del cuidado que se deben tener al momento de dar su inicialización y de los componentes que lo conforman. Por eso que siempre que se va a realizar mantenimiento en los inversores es imprescindible leer el manual de funcionamiento para así evitar daños internos en los equipos.

En cuanto al análisis de balance energético Se puedo establecer que la generación total de los inversores es de 72293 Wh en los cuales 64577 Wh fueron entregados a la red eléctrica y solamente en ese día se consumieron 29567 Wh de la red eléctrica, estableciendo un ahorro diario (1050.3 kWh/mes) la radiación total en el sitio de ubicación del sistema entrega un total de energía 78000 Wh. Esto, a partir de los 100 paneles instalados de 195Wp (2*27 para inifini y 2*23 para aurora) esto indica una eficiencia de generación de los paneles del 92.6%. Las pérdidas se deben entre varios factores, polvo acumulado sobre los paneles, ubicación no perfecta en la inclinación hacia el sur y fugas eléctricas por temperatura, sin embargo, para estos sistemas se considera una eficiencia elevada.

Este tipo de proyectos son necesarios en la Universidad tecnológica de Pereira con el fin de incrementar los indicadores que la han hecho merecedora de reconocimientos en las mediciones Green metric de eficiencia ambiental. La investigación en la UTP debe enfocar sus esfuerzos a generar tecnologías de impacto ambiental que permitan además adecuar espacios de aprendizaje y de investigación en este campo promisorio de las energías renovables.

7.BIBLIOGRAFIA

1. **ACEVEDO GRACES, FABIO DE JESUS.** *DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA CON CAPACIDAD PARA 3 KILOVATIOS* [UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA] BOGOTA, 2016.
2. **OMRAN WALID.** *Performance Analysis of Grid-Connected Photovoltaic Systems* [UNIVERSITY OF WATERLOO] Canada 2010
- 3,6 y 7. **Word Reference.** *Sistemas autonomos* .[En línea]
<http://www.riovalle.cl/sistemas-fotovoltaicos-autonomos/>
- 4 y 8. **Word Reference.** *Sistemas hibridos* .[En línea]
[http://www.energiasinteligentes.com/noticias/9/sistemas-hibridos-principio-de-funcionamiento-y-preguntas-frecuentes,](http://www.energiasinteligentes.com/noticias/9/sistemas-hibridos-principio-de-funcionamiento-y-preguntas-frecuentes)
5. y 9 **Word Reference.** *Paneles fotovoltaicos* .[En línea]
<https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/panel-fotovoltaico>
10. **Word Reference.** *Baterias* .[En línea]
https://es.wikipedia.org/wiki/Bater%C3%ADa_el%C3%A9ctrica
11. **Word Reference.** *inversores electricos* .[En línea]
<https://autosolar.es/inversores>
12. **Word Reference.** *Balace energetico* .[En línea]
<https://nergiza.com/diagrama-de-sankey-y-balance-energetico/>
- 13 al 25 **GOMEZ GOMEZ , ANDRES FELIPE.** *METODOLOGÍA PARA EL DIMENSIONAMIENTO E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS ON-GRID Y OFF-GRID* [UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA] PEREIRA, 2017.
- 26 **FORERO LAGUNA JAIME ALBERTO.** *MANUAL TECNICO Y DEOPERACION DEL PROTOTIPO FUNCIONAL DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO TELEGESTIONABLE PARA EL LABORATORIO DEL CIDT* [UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA] PEREIRA, 2017.