

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE  
TRANSFERENCIA DE ENERGÍA Y MONITOREO REMOTO A  
TRAVÉS DE UN SERVIDOR WEB CON TRES FUENTES, UN  
SISTEMA FOTOVOLTAICO CON BANCO DE BATERÍAS, UN  
GENERADOR A DIÉSEL Y LA RED ELÉCTRICA COMERCIAL EN  
LA FINCA “LAS ACACIAS”**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO  
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN  
ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN**

**PABLO MANUEL LANDETA ALVARADO**

**pablo.landeta@epn.edu.ec**

**DIRECTOR: DR. -ING. PAUL MARCELO POZO PALMA**

**marcelo.pozo@epn.edu.ec**

**D.M. Quito, Enero 2022**

## CERTIFICACIONES

Yo, Pablo Manuel Landeta Alvarado declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.



---

**PABLO MANUEL LANDETA ALVARADO**

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por Pablo Manuel Landeta Alvarado, bajo mi supervisión.

**PAUL  
MARCELO  
POZO PALMA**

Firmado digitalmente por PAUL  
MARCELO POZO PALMA  
Nombre de reconocimiento (DN):  
cn=PAUL MARCELO POZO PALMA,  
serialNumber=231120121334,  
ou=ENTIDAD DE CERTIFICACION DE  
INFORMACION, o=SECURITY DATA S.A. 2,  
c=EC  
Fecha: 2022.04.05 07:21:27 -05'00'

---

**DR. ING. PAUL MARCELO POZO PALMA**

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA**

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

Pablo Manuel Landeta Alvarado

Dr. –Ing. Paul Marcelo Pozo Palma

## DEDICATORIA

Primero quiero comenzar dedicando este trabajo a Dios, quien que ha sido fiel conmigo durante el inicio de esta carrera y de mi vida para conmigo y mi familia. También deseo dedicar este trabajo a mi familia y en especial a mis padres y hermanos quien siempre han estado conmigo apoyándome tanto en las buenas y en las malas, llegando a entender una frase de mi padre la cual enuncia que la felicidad no es cuando se llega a la meta, sino el camino que nos lleva a ella y también quiero dedicar este trabajo a mis amigos con quienes he recibido cátedra durante estos años en las aulas de la universidad, deseo dedicar este trabajo también a todas las personas que han perdido familiares y amigos por este abominable virus con el cual me encuentro contagiado mientras redacto el presente texto y finalmente pero no menos importante quiero dedicar este esfuerzo de titulación a Benito, mi amigo canino fiel que me acompañó durante 13 años de vida y estuvo acompañándome dormido junto a mí en tantas madrugadas de deberes y estudio.

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar y más importante quiero agradecer a Dios, por su gran misericordia y gracia porque siempre ha sido mi luz, guía y amparo desde que inicié esta carrera, incluso en momentos como al inicio de esta carrera cuando deseaba tirar la toalla, siempre estuvo ahí a mi lado dándome sabiduría y fuerzas.

Deseo agradecer a mis padres y hermanos, por quienes gracias a su esfuerzo, amor y dedicación hacia mi soy lo que soy, sin ellos no hubiese llegado hasta el fin de esta hermosa carrera porque ellos fueron las personas que siempre estuvieron ahí levantándome y motivándome cada vez que me caía, enseñándome que no se trata de velocidad sino de resistencia.

Deseo agradecer a mi familia, abuelito, tía abuelita, tíos y primos por su amor y apoyo siempre durante mi carrera, gracias por ese respaldo siempre tan fuerte hacia mí.

Deseo agradecer a mis amigos tanto dentro como fuera de la universidad por siempre haberme apoyado y haberme enseñado muchas cosas no solamente para el plano académico sino para la vida.

Deseo agradecer a mi compañero de tesis José por ser de mis mejores amigos y por siempre haber sido apoyo y una amistad verdadera, además deseo agradecer a su hermosa familia por todo el apoyo y facilidades prestadas para la elaboración del actual proyecto.

Deseo agradecer a la Escuela Politécnica Nacional y a quienes fueron mis maestros por haber impartido más que una cátedra técnica, haber dado lecciones de vida de como forjar el carácter aun cuando las situaciones no son favorables, ser perseverante, también deseo extender mi agradecimiento al personal administrativo de la facultad como la secretaria Doña Wilmita por siempre haber sido ayuda en cualquier trámite.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES .....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....	II
DEDICATORIA .....	III
AGRADECIMIENTO .....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	V
RESUMEN.....	VIII
ABSTRACT .....	IX
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	2
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
1.3 ALCANCE .....	3
1.4 MARCO TEÓRICO .....	3
DEFINICIONES .....	3
1.4.1 FUNCIONAMIENTO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	5
1.4.2 BANCO DE BATERÍAS .....	11
1.4.3 GENERADOR A DIÉSEL.....	13
1.4.4 RED ELÉCTRICA.....	13
1.4.5 USO CONJUNTO DE FUENTES DE ALIMENTACIÓN PARA ENERGIZAR UNA CARGA .....	14
1.4.6 TRANSFERENCIA AUTOMÁTICA .....	14
2. METODOLOGÍA.....	15
2.1 EQUIPOS PRESENTES EN EL SITIO .....	16
2.1.1 PANELES SOLARES (AIMS POWER PV230POLY).....	16
2.1.2 REGULADOR (MIDNITE CLASSIC 150).....	17
2.1.3 INVERSOR (AMPINVT FT48V-6000W).....	19
2.1.4 BATERÍAS (NARADA MPG12V155FC).....	20
2.1.5 GENERADOR (CSC POWER CP12).....	22
2.2 EQUIPOS A INSTALAR.....	22
2.2.1 PLC (SIEMENS 27-1200 CPU 1214 DC/DC/RELÉ) Y MÓDULOS DE EXPANSIÓN DE ENTRADAS ANALÓGICAS (SIEMENS SM 1231) Y SALIDAS DIGITALES (SIEMENS SM 1222 RLY).....	23
2.2.2 RELÉS DE FASE (SVR1000 AD220) .....	25
2.2.3 MULTIPLEXORES (CD74HC4067) .....	27
2.3 DIAGRAMA DE ENTRADAS Y SALIDAS DEL PLC .....	28
2.4 ESQUEMA ELÉCTRICO Y DE INSTRUMENTACIÓN.....	29
2.5 DISEÑO DE DIVISORES DE VOLTAJE PARA PANELES Y BATERÍAS .....	30

3.	RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	33
3.1	RESULTADOS .....	33
3.1.1	CONEXIONADO REALIZADO.....	33
3.1.2	FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA CONSIDERANDO QUE LAS TRES FUENTES ESTÁN DISPONIBLES PARA SUMINISTRAR ENERGÍA.....	37
3.1.3	FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA CONSIDERANDO QUE LA FUENTE PRINCIPAL NO SE ENCUENTRA DISPONIBLE PARA SUMINISTRAR ENERGÍA.....	38
3.1.4	FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA CONSIDERANDO QUE LA FUENTE PRINCIPAL Y DE RESPALDO NO SE ENCUENTRAN DISPONIBLES PARA SUMINISTRAR ENERGÍA .....	40
3.1.5	MEDICIONES DE VOLTAJE PRESENTES EN DISTINTOS ELEMENTOS DENTRO DE LA PARTE DE INSTRUMENTACIÓN DEL SISTEMA CONSIDERANDO UNA OPERACIÓN NORMAL CON FUENTE PRINCIPAL SUMINISTRANDO ENERGÍA.....	43
3.1.6	FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA CONSIDERANDO UNA SELECCIÓN DE FUENTE Y MONITOREO DE FORMA REMOTA.....	50
3.2	CONCLUSIONES.....	56
3.3	RECOMENDACIONES.....	56
4.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	57
5.	ANEXOS.....	60
	ANEXO I. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS QUE SE ENCONTRABAN PRESENTES EN EL SITIO DE FORMA DETALLADA.....	60
	PANELES SOLARES (AIMS POWER PV230POLY) .....	60
	REGULADOR (MIDNITE CLASSIC 150) .....	61
	INVERSOR (AMPINVT FT48V-6000W).....	62
	BATERÍAS (NARADA MPG12V155FC).....	63
	GENERADOR (CSC POWER CP12).....	63
	CONTACTORES (SCHNEIDER ELECTRIC LC1D80).....	64
	CARGADOR DE BATERÍA DEL GENERADOR (LOVATO ELECTRIC 31 BCE 0312) .....	65
	BREAKERS DE CAJA MOLDEADA (SCHNEIDER ELECTRIC EZC100N 60A) .....	66
	BREAKERS PARA PANELES (MIDNITE SOLAR PV COMBINER: MNPV12-250)...	67
	BREAKERS PARA BATERÍAS (SCHNEIDER ELECTRIC DOMAE 12480).....	68
	BREAKER PARA ENTRADA AC DEL INVERSOR (SQUARE D QOVS C50).....	68
	BREAKERS PARA CARGAS (SCHNEIDER ELECTRIC QOVS C20) .....	69
	SUPRESOR DE TRANSIENTES DC (MIDNITE SOLAR MNSPD300) .....	70
	SUPRESOR DE TRANSIENTES AC (L.&A. LAY M40 110M3G).....	70
	ANEXO II. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS QUE SE INSTALARON EN EL SITIO DE FORMA DETALLADA.....	71

PLC (SIEMENS 27-1200 CPU 1214 DC/DC/RELÉ) Y MÓDULOS DE EXPANSIÓN DE ENTRADAS ANALÓGICAS (SIEMENS SM 1231) Y SALIDAS DIGITALES (SIEMENS SM 1222 RLY) .....	71
RELÉS DE CONMUTACIÓN (CAMSCO MK2P-I).....	72
RELÉS DE FASE (SVR1000 AD220) .....	73
INVERSOR PARA ALIMENTAR PLC (POWER INVERTER UKG) .....	74
REGULADOR PARA ALIMENTAR LOS MULTIPLEXORES (DZS ELEC 5864305383) .....	75
MULTIPLEXORES (CD74HC4067) .....	75
PARARRAYOS (INGESCO PDC 3.1).....	76
ANEXO III. ANÁLISIS DE COSTOS DE LOS EQUIPOS INSTALADOS EN EL PROYECTO .....	77
ANEXO IV. EVIDENCIAS DEL PROCESO DE ARMADO Y CONEXIÓN DEL TABLERO ELÉCTRICO DE CONTROL Y SUS CONEXIONES .....	78
ANEXO V. VIDEO DE COMPROBACIÓN DE LA TRANSFERENCIA AUTOMÁTICA ENTRE LAS FUENTES DE ALIMENTACIÓN DE LA PROPIEDAD Y MONITOREO REMOTO .....	80



## RESUMEN

El presente documento tiene un enfoque en los alcances 1, 5 y 6 del proyecto total. En este documento se muestra el diseño e implementación de un sistema automático en el cual se realiza la conmutación de las fuentes de alimentación presentes en la finca “Las Acacias” localizada en la parroquia de San Juanito de Pintag. Las fuentes mencionadas son un sistema fotovoltaico formado por treinta paneles solares, un banco compuesto por doce baterías, la red eléctrica comercial y un generador a diésel. Se hace uso de sensores de voltaje para comprobar un valor adecuado de tensión en una fase de cada una de las fuentes que se desee conmutar para que a través de la orden del controlador lógico programable se envíe a energizar la bobina del contactor correspondiente con el fin de poder realizar una transferencia automática entre las fuentes. Para el generador se comprueba adicionalmente si se tiene un nivel óptimo de combustible diésel en el tanque, a través de un sensor de nivel integrado dentro del generador, mismo que dispone de una señal digital de salida para informar al PLC si se encuentra disponible para suministrar energía. En cuanto a seguridad se colocaron breakers y supresores de transientes para evitar el daño de equipos por condiciones eléctricas adversas como sobrecorrientes o sobrevoltajes.

**PALABRAS CLAVE:** paneles solares, sistema solar, PLC, generador, baterías.

## **ABSTRACT**

This document focuses on scopes 1, 5 and 6 of the total project. This document shows the design and implementation of an automatic system in which power sources switching is made at the ownership "Las Acacias", which is located in the community called San Juanito de Pintag. The mentioned sources are a photovoltaic system formed by thirty solar panels and a bank of twelve batteries, the commercial electrical system and a diesel generator. Voltage sensors are used to check an adequate voltage value in one phase of each of the sources to be switched so that through the command of the programmable logic controller the coil of the corresponding contactor is sent to energize in order to be able to carry out an automatic transfer between the sources. For the generator, it is additionally checked if there is an optimal level of diesel fuel in the tank, through an integrated level sensor inside the generator, which has a digital output signal to inform the PLC if it is available to supply energy. In terms of safety, transient breakers and suppressors were installed to avoid damage to equipment due to adverse electrical conditions such as overcurrents or overvoltages.

**KEYWORDS:** solar panels, photovoltaic system, generator, PLC, batteries.

# 1. INTRODUCCIÓN

El sistema de suministro energético presente en la propiedad se compone por tres fuentes. Un sistema fotovoltaico formado por treinta paneles de 30V separados en dos grupos de quince paneles, en cada grupo se ubican cinco subgrupos conectados en paralelo entre sí y cada subgrupo se forma de tres paneles conectados en serie. Cada grupo genera 90V, los cuales van a un regulador el cual baja la tensión a 48V, un valor de voltaje adecuado para cargar continuamente el banco de baterías, formado por tres grupos conectados en paralelo entre sí, cada grupo se forma por cuatro baterías de 12V conectadas en serie. Los reguladores se conectan en paralelo y su salida de 48V ingresa al inversor, el cual genera dos fases a un voltaje de línea de 220V y una frecuencia de 60Hz. El sitio tiene acceso a dos fases de la red eléctrica comercial. La tercera fuente es un generador a diésel, el cual genera dos fases al voltaje y frecuencia antes señalada. Para realizar la conmutación de fuentes se utilizan sensores de voltaje conocidos como relés de fase, los cuales se configuran para detectar si el voltaje en una fase de las fuentes está en un rango adecuado, detección que se puede verificar en sus salidas de tipo relé, las cuales se usan como entradas digitales en el PLC para saber qué fuente se puede utilizar para energizar la propiedad. En el caso del generador se comprueba también que el combustible diésel en el tanque sea el suficiente para que el mismo pueda funcionar adecuadamente, dicha comprobación se la realiza a través de un interruptor de nivel interno propio del generador. Mediante las salidas digitales del controlador lógico programable se pueden realizar varias acciones como mandar a arrancar al generador y energizar las bobinas de los contactores para alimentar la carga de la finca con una fuente a la vez. La fuente por defecto es el sistema solar con el banco de baterías, el primer respaldo es la red eléctrica comercial y la fuente como segundo respaldo que se usa en caso de que fallen las dos anteriores es el generador. Dentro del diseño de entradas y salidas para el controlador considerando la lógica del programa se dispone de 42 entradas analógicas hacia 3 multiplexores de 16 entradas. De manera que se utiliza un módulo de entradas analógicas debido a que el PLC del proyecto solo dispone de 2 de estas y un módulo de salidas digitales debido a que, aunque sobran 4 salidas digitales en el PLC, estas tienen una referencia distinta a la necesaria, ya que las bobinas de los contactores funcionan a 220V de corriente alterna y las entradas de selección de los multiplexores trabajan a 5V de corriente continua. Se colocaron supresores de transientes para evitar daños por condiciones eléctricas adversas como sobrevoltaje y breakers para evitar daños por sobrecorrientes, la ubicación de los mismos se observa en los planos del sistema.

## 1.1 OBJETIVO GENERAL

Establecer el objetivo general del componente. El objetivo general del componente asignado resume la idea principal y la finalidad del componente.

Diseñar e implementar un sistema automático de transferencia de energía y monitoreo remoto a través de un servidor web con tres fuentes, un sistema fotovoltaico con banco de baterías, un generador a diésel y la red eléctrica comercial en la finca "Las Acacias".

## 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Establecer al menos tres objetivos específicos. Los objetivos específicos detallan los procesos necesarios para la completa realización del componente; sirven como una guía de la manera en la que será abordado el componente asignado.

### 1. OE1

Realizar una revisión bibliográfica acerca de sistemas eléctricos alternativos de energía, en especial fuentes de energía solar fotovoltaica, generador a diésel, baterías de respaldo de energía y monitoreo remoto.

### 2. OE2

Diseñar los planos unifilares y de instrumentación, así como el dimensionamiento del sistema de protección eléctrica, incluyendo el sistema de puesta a tierra con pararrayos.

### 3. OE3

Implementar un sistema de control automático con un PLC, sensores y actuadores, con el fin de lograr la conmutación automática de las fuentes de alimentación disponibles.

### 4. OE4

Probar el funcionamiento del sistema de control automático previamente implementado con todos sus equipos de forma individual y colectiva a través de pruebas de operación normal y ante perturbaciones o fallas con el fin de observar la operatividad del sistema de control y del sistema de monitoreo remoto.

### 1.3 ALCANCE

Se realizará una revisión bibliográfica de sistemas alternativos de energía eléctrica, en especial, los que dispone en la finca, como es el caso de los paneles fotovoltaicos con banco de baterías, generador a diésel y la red eléctrica comercial, con el fin de seleccionar la alternativa más adecuada para el presente proyecto.

Se elaborarán el diagrama de instrumentación (P&ID por sus siglas en inglés) del circuito de potencia y sus respectivos componentes, tomando como nomenclatura a la norma ISA 5.1 – 2009.

Se diseñará un sistema de puesta a tierra y pararrayos, pensando en la protección tanto del personal de la finca, como de los equipos eléctricos presentes en la misma.

Se elaborará el programa de control del controlador lógico programable, acompañado de su respectivo proceso de simulación, tomando en cuenta los posibles escenarios que se puedan presentar en el sistema.

Se implementarán todas las conexiones eléctricas de potencia, instrumentación y comunicación dentro del sistema para el funcionamiento de las fuentes y de los equipos de control y monitoreo.

Se comprobará el funcionamiento individual y en conjunto de los equipos a instalar a través de pruebas como la correcta adquisición y tratamiento de las variables del proceso en el PLC, tanto en condiciones normales, como ante perturbaciones

### 1.4 MARCO TEÓRICO

Dentro de este espacio se mostrarán definiciones relacionadas con cada uno de los elementos medulares que componen el presente proyecto, entendiendo el funcionamiento y comportamiento de cada uno por separado, para posterior a ello describirlos en su funcionamiento y comportamiento en conjunto a manera de sistema, brindando una explicación de fenómenos físicos presentes en la generación energética del actual proyecto como es el caso del sistema fotovoltaico.

#### DEFINICIONES

**Contactador:** Tipo de interruptor de potencia cuya finalidad es abrir o cerrar un circuito eléctrico a través de la energización o desenergización de su bobina. Es de suma importancia que se dimensione de manera adecuada la corriente que va a pasar este elemento al momento de seleccionarlo, dado que suele ser el encargado de permitir el paso de la corriente a la carga. Sólo hay de contactos normalmente abiertos [1].

**Sistema fotovoltaico:** Los paneles solares están formados por células fotovoltaicas, las cuales captan fotones de la luz solar y producen energía eléctrica. Un panel fotovoltaico puede verse como una fuente de corriente continua de bajo voltaje, razón por la cual se suelen colocar grupos de los mismos conectados en serie y paralelo según la aplicación. Dado que los paneles no generan la misma energía durante todo el día, es muy común encontrar bancos de baterías formando el sistema solar. Cuando los paneles no generan la energía necesaria, las baterías son las encargadas de suplir la misma, por lo cual es necesario que estas estén cargadas. Un elemento indispensable en un sistema solar es un regulador, el cual se encarga de cambiar el nivel de voltaje generado por los paneles a un nivel normalizado capaz de cargar las baterías y al mismo tiempo ser la entrada al inversor. El inversor es el equipo que transforma la corriente continua en corriente alterna para poder suministrar energía a las cargas que en su mayoría son de tipo AC [2].

**Regulador de voltaje:** También conocido como convertidor DC-DC, utilizado para aumentar o reducir el voltaje a un nivel específico según la aplicación, comúnmente estandarizado. En sistemas solares se realizan estrategias de control para obtener o seguir el punto de máxima potencia y así, tener la mayor eficiencia de los paneles solares. En aplicaciones fotovoltaicas es muy común encontrar a los reguladores de voltaje con el nombre de MPPT (Seguidor del Punto de Máxima Potencia). Las estrategias de control que utilizan estos equipos se basan en que los paneles solares tienen curvas características como es la de voltaje vs corriente, tomando en cuenta un factor clave como la irradiancia y son estas variables justamente las que se miden para ajustar el ciclo de trabajo de los tiristores y así lograr la máxima potencia [3].

**Inversor:** Convertidor DC-AC utilizado en sistemas solares para transformar la corriente continua generada por los paneles en corriente alterna para alimentar a las cargas AC. Existen varias topologías como son la centralizada, en cadena, cadena múltiple, entre otras; su selección depende de la aplicación. Hoy en día se encuentran inversores de grandes potencias, capaces de generar más de una fase y con entrada de corriente alterna de respaldo [4].

**PLC:** Controlador lógico programable utilizado en la industria para automatizar procesos a través de condiciones establecidas según estados en sus entradas para accionar sus salidas. Existen de gran variedad y se seleccionan según requerimientos de entradas y salidas digitales o analógicas, tipos de comunicación que soporta, etc. El objetivo principal de usarlos es reducir la acción humana y así reducir costos y tiempo y aumentar la producción [5].

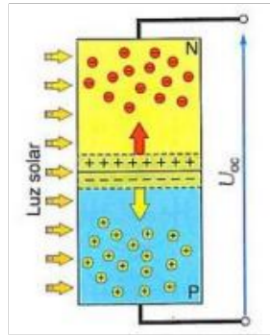
### 1.4.1 FUNCIONAMIENTO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO

Para entender de forma adecuada cómo funciona un sistema fotovoltaico es indispensable entender de donde proviene de esta fuente de energía y es ahí donde el astro mayor de nuestro sistema solar, toma gran relevancia porque es en el sol donde se genera la radiación solar a través de reacciones de fusión nuclear que se generan en su núcleo.

**Radiación solar:** Es la energía generada en el sol, la cual se transmite en forma de radiación electromagnética, misma que llega a la atmósfera de la Tierra a través de un conjunto de radiaciones o también conocido como el espectro electromagnético con diversas amplitudes de longitud de onda que se comprenden desde  $0.15 \mu\text{m}$  a  $4 \mu\text{m}$ , dentro de este espectro se contempla como espectro de luz visible a los espectros electromagnéticos contemplados entre  $0.4\mu\text{m}$  a  $0.78 \mu\text{m}$ , mientras que los espectros con una longitud de onda menor a  $0.4\mu\text{m}$  entran en el campo de radiación ultravioleta o UV y los espectros con una longitud de onda mayor a  $0.78\mu\text{m}$  entran en el campo de radiación infrarroja o IR.

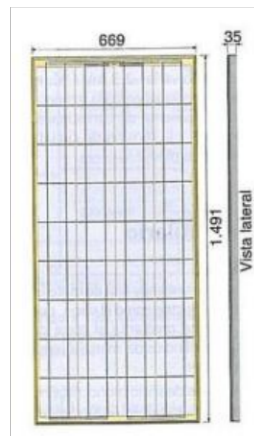
**Irradiancia e Irradiación:** Al definir que la radiación solar es una radiación electromagnética, la cual a su vez es una forma de energía, dicha energía proyectada por un intervalo de tiempo sobre una superficie da como resultado el concepto de irradiancia, la cual es la radiación o potencia que incide por unidad de superficie, por lo que esta magnitud se mide en  $[W/m^2]$  [6].

**Célula solar:** Es la unión de un semiconductor dopado con impurezas trivalentes o tipo P con impurezas pentavalentes o tipo N, cada tipo de impureza depende del número de electrones presentes en la capa de valencia en los átomos que la conforman. Al tener una atracción entre cargas positivas y negativas, los electrones libres de la región N se difunden hacia la región P, por lo que existe una recombinación con los huecos (cargas positivas) en esta región P. Por lo que da como resultado iones positivos en la región N y iones negativos en la región P formando una red cristalina entre ambos por lo que dicha red no permite una libre circulación de los iones y por ende no pueden recombinarse, dando como resultado una barrera de potencial en la mitad de la unión, estableciendo así un campo eléctrico y teniendo a los extremos P y N de esta célula solar, los puntos para generar el conexionado con un circuito eléctrico tal y como se muestra en la siguiente figura [6].



**Figura 1.1.** Representación de una célula solar considerando sus regiones [7].

**Módulo fotovoltaico:** Es la agrupación entre 36 y 96 células solares conectadas en serie, aunque también en esta conexión se puede añadir una conexión en paralelo con otro grupo de células conectadas en serie [7].

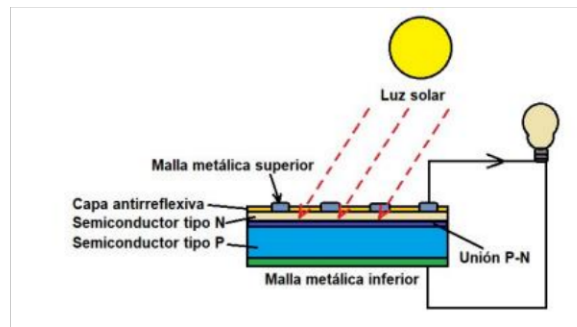


**Figura 1.2.** Vista frontal y lateral de un módulo fotovoltaico [7].

**Efecto fotoeléctrico:** Surge a partir de la incidencia de fotones presentes en una onda electromagnética como lo es el caso de la luz solar sobre los electrones que se encuentran presentes en el material que conforma la superficie de los paneles solares, misma superficie que es una célula formada por una o varias láminas de material semiconductor, que en su gran mayoría estas son fabricadas de silicio con la cubierta de un vidrio transparente que permita el paso de la radiación solar, reduciendo al máximo las pérdidas que se puedan generar, por lo que como resultado de dicha incidencia, se genera desplazamiento de estos electrones dentro del material de los paneles solares, dando como resultado el efecto fotoeléctrico y con él, una generación de corriente eléctrica, al considerar que existe un movimiento libre de electrones o cargas negativas y huecos o cargas positivas por el material, como fruto de esa incidencia por parte de la luz solar, teniendo así una conversión de energía lumínica hacia energía eléctrica [7].



**Efecto fotovoltaico:** Se trata de una diferencia de potencial entre dos puntos presentes en una superficie que está siendo expuesta a la luz solar y tiene una relación directa con el efecto fotoeléctrico, considerando que surge un campo eléctrico como resultado de la separación de electrones con los huecos, cada uno de estos con carga opuesta, por lo que se tiene como efecto una generación eléctrica a partir del material fotovoltaico que brinda características de material semiconductor.



**Figura 1.3** Composición de una célula solar simple [7].

#### 1.4.1.1 CIRCUITO ELÉCTRICO EQUIVALENTE DE UNA CÉLULA SOLAR

Tal como existen varias capas que componen la estructura constructiva de una célula solar, existe un circuito eléctrico equivalente para poder entender el funcionamiento eléctrico de la misma, dentro de este circuito equivalente y partiendo de la explicación del efecto fotoeléctrico como fenómeno físico necesario para la generación de energía eléctrica, se representa una fuente de corriente  $I_{PH}$ , misma corriente que ha sido fotogenerada a un determinado valor de radiación solar, el diodo de unión PN en paralelo a la fuente de corriente, la resistencia de shunt  $R_{SH}$ , la cual representa las pérdidas por las corrientes de fuga, la resistencia serie  $R_S$ , misma que representa la caída de voltaje presente a la salida de la célula solar, finalmente se tiene el voltaje y corriente presentes a la salida de la célula solar representados por  $V_{CELL}$  e  $I_{CELL}$ , los cuales serán los parámetros eléctricos que recibirá la carga representada por  $R_L$ .

Considerando el circuito eléctrico presente, la capacidad de generación energética de una celda fotovoltaica dependerá significativamente de la incidencia de radiación solar sobre el panel y también de la temperatura, es por ello que, para buscar un funcionamiento óptimo de un sistema fotovoltaico, se recomienda y procura realizar la instalación del mismo en un lugar donde la presencia de sombra sobre las celdas fotovoltaicas sea la mínima [8].

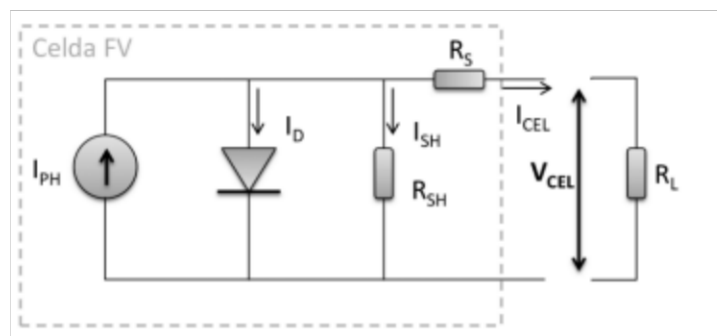


Figura 1.4. Construcción de una célula solar [8].

### 1.4.1.2 CURVAS CARACTERÍSTICAS EN UN MÓDULO FOTOVOLTAICO

Tomando en consideración los parámetros antes mencionados se pueden definir curvas características entre la intensidad y el voltaje de los módulos fotovoltaicos (curva I-V) y entre la potencia y el voltaje de dichos módulos (curva P-V). En la operación de un sistema fotovoltaico siempre se busca operar en el punto donde el producto entre la tensión e intensidad presentes en un panel solar sea la mayor o también conocido como el punto de máxima potencia, razón por la cual se diseñan algoritmos de control para seguir el punto de máxima potencia a través de las curvas que se muestran a continuación [7].

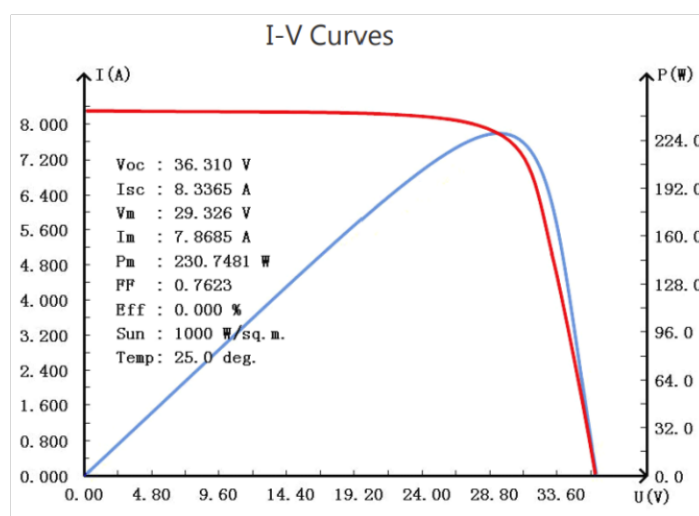


Figura 1.5. Curvas I-V y V-P características de los paneles solares del proyecto [12].

Como se puede observar en la figura de arriba, el punto de potencia máxima se obtiene en el punto de mayor valor de potencia presente en la intersección entre la gráfica de voltaje y corriente en la curva I-V y la gráfica de potencia y voltaje en la curva P-V, razón por la cual a dicha potencia también la conocen como potencia pico.

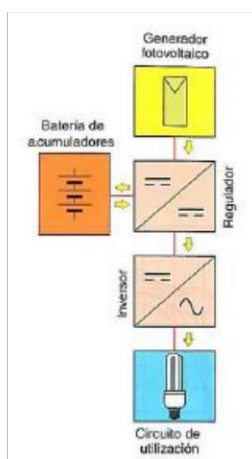
### 1.4.1.3 ETAPAS EXISTENTES EN LA GENERACIÓN ENERGÉTICA A PARTIR DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO

**1. Generación:** Representa el lugar de la generación energética presente en los paneles solares gracias a la acción del efecto fotoeléctrico, dónde se produce una determinada potencia a un voltaje y corriente continua determinados dependiendo el valor de radiación solar y temperatura que incida sobre las celdas fotovoltaicas.

**2. Acumulación y Respaldo:** Considerando que no todo el tiempo en el día, semana, mes y año existirá un valor adecuado de radiación solar y temperatura para una generación energética óptima, cobra sentido la participación de una etapa de acumulación por parte de baterías, mismas que serán cargadas por parte de los paneles solares cuando estos se encuentren generando y estas baterías entrarán en participación como generadores al sistema cuando el nivel de voltaje de generación provisto por estos paneles, se encuentre en niveles muy bajos.

**3. Regulación:** Etapa de conversión de un nivel de voltaje de corriente continua a otro nivel de corriente continua, por lo cual en esta etapa entra en acción el conversor DC/DC como elemento del sistema para llevar el nivel de voltaje DC a un nivel óptimo para la entrada del inversor, mismo que es el actor de la siguiente etapa.

**4. Inversión:** Etapa final de conversión donde a partir de un nivel de voltaje de corriente continua se convierte a una o más fases de voltaje de corriente alterna gracias a la acción de un inversor, mismo que suministrará energía a la carga un voltaje AC a una amplitud y frecuencia determinados [7].



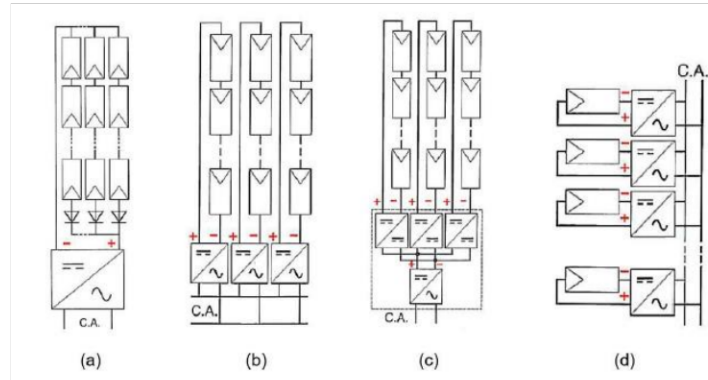
**Figura 1.6.** Etapas existentes en la generación energética a partir de energía solar [7].

#### 1.4.1.4 CONFIGURACIONES DE CIRCUITOS CON PANELES FOTOVOLTAICOS

Considerando que se pueden instalar los módulos fotovoltaicos en serie o paralelo, se tendrán diferentes valores de voltaje y corriente, valores que condicionarán la posición del inversor, la cual dará como resultado cuatro topologías de circuitos, cada una de ellas con sus respectivas características.

- a) **Inversor central:** Hace posible la generación de altas potencias con un óptimo rendimiento, teniendo una instalación central con menor número de protecciones a comparación de otras y dando como resultado de aquello, un menor precio de instalación, sin embargo, la fiabilidad de esta configuración es muy baja, ya que si existe un daño en el inversor central, la generación de energía se podría ver comprometida por lo que aunque su instalación resulta sencilla, los riesgos ante adversidades que se puedan presentar en esta configuración son altos.
- b) **Inversor de cadena:** En esta configuración se tiene un grupo de módulos fotovoltaicos en serie, conectados a un inversor que por lo general suelen estar en el rango de hasta 10kW, cuando se recurre a esta configuración se suelen conectar varios grupos de serie de paneles en paralelo con su respectivo inversor, hasta lograr la potencia de generación deseada, dentro de esta forma de colocación del inversor en cada serie de paneles, se tiene una mayor confianza en la generación energética, debido a que ante un fallo de algún inversor, no se ve comprometida a una escala tan grande como en el caso del inversor central.
- c) **Inversor multicadena:** Esta configuración es similar al inversor con cadena, con la modificación que en cada fila de paneles se tiene un convertidor DC/DC integrado con un control de seguimiento del punto de máxima potencia para cada fila, sin embargo, en esta configuración se tiene también un cierto grado de similitud con la configuración de inversor central debido a que dispone de una única etapa inversora posterior a los reguladores, por lo que esta aplicación resulta óptima en el caso de que cada fila de paneles tenga condiciones de operación y trabajo singulares.
- d) **Inversor integrado en el módulo:** En esta configuración se tiene la instalación de los inversores conectados directamente a cada panel por lo que suelen ser usados en sistemas fotovoltaicos de potencias bajas, tomando en cuenta rangos entre 50W y 500W, al tener la etapa de conversión de corriente continua a alterna en el mismo módulo, todo el cableado de la instalación se tiene en corriente alterna, se tiene en esta configuración un rendimiento menor al inversor en cadena, sin embargo, en

esta topología se tiene la ventaja de poder adaptar un inversor propio para cada módulo, considerando las características eléctricas y técnicas de cada uno, por lo que potencia el rendimiento del sistema pero se convierte en un detrimento en el caso de que exista una avería en el inversor y que dicho inversor solo pueda cambiarse en conjunto con el módulo [7].



**Figura 1.7.** Configuración de paneles solares en función de la colocación del inversor [7].

## 1.4.2 BANCO DE BATERÍAS

Las baterías eléctricas o también conocidos como acumuladores eléctricos, son dispositivos capaces de convertir la energía eléctrica en energía química y almacenar dicha energía a través de procesos electroquímicos para posteriormente volver a convertir cuando se necesite dicha energía química en energía eléctrica nuevamente, por lo que este ciclo se puede repetir un determinado número de veces. Las baterías son fuentes de electricidad que suministran un voltaje determinado en corriente continua, dependiendo de las especificaciones del fabricante, así como también del tipo de baterías y la aplicación que se quería efectuar con cada una de ellas.

### 1.4.2.1 TIPOS DE BATERÍAS

Las baterías se dividen en dos clases dependiendo de la capacidad de recarga de las mismas.

- a) **Irreversibles o Primarias:** Son aquellas cuales no se pueden recargar, por lo que no se pueden volver a utilizar una vez que toda la energía en forma de carga eléctrica presente en la batería haya sido suministrada hacia la carga, razón por la cual se convierten baterías desechables. Dentro de este tipo de baterías podemos encontrar que en su gran mayoría son hechas de elementos como carbono de zinc (pila seca), alcalinas como las que son hechas con manganeso, mercurio donde

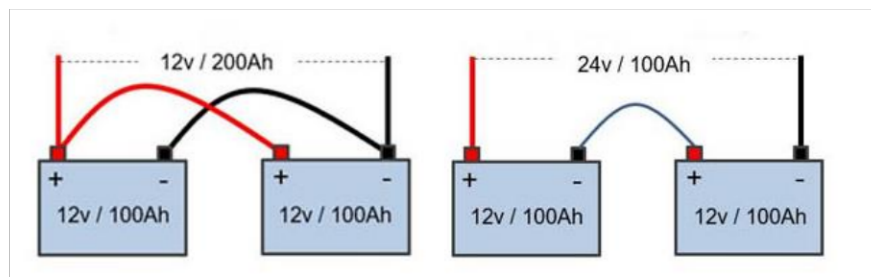
destacan las fabricadas con zinc-óxido de mercurio, magnesio, plata zinc, entre otras.

- b) **Reversibles o Secundarias:** Son aquellas que, si pueden ser recargadas, razón por la cual, si pueden volver a ser utilizadas a través del trabajo de diversos ciclos de carga y descarga a través del paso de una corriente eléctrica por estas, mismos ciclos que tienen un determinado número de repeticiones dependiendo de las características constructivas de cada fabricante, donde tenemos algunos tipos de baterías como las que son libres de mantenimiento, selladas y no selladas, húmedas y las que son cargadas en seco [9].

#### 1.4.2.2 TIPOS DE CONEXIÓN DE BATERÍAS

Cuando se tienen dos o más baterías y se las quiere conectar entre sí, existen varios tipos de conexión que dependen de los niveles de voltaje y corriente que se desee suministrar.

- a) **Conexión en Serie:** Este tipo de conexión se lo realiza cuando se desea suministrar un voltaje total, el cual es equivalente a la suma de los voltajes de cada una de las baterías por lo que se tiene que la misma corriente que está siendo suministrada a la carga pasa por cada una de las baterías.
- b) **Conexión en Paralelo:** Este tipo de conexión se lo realiza cuando se desea suministrar la suma de las corrientes de cada una de las fuentes hacia la carga, tomando en consideración que para conectar las baterías en paralelo cada una de ellas debe suministrar el mismo nivel de voltaje, sin embargo, esta conexión no se aconseja mucho debido a que el desgaste que sufren las baterías es significativo.
- c) **Conexión Mixta:** Este tipo de conexión se lo realiza cuando se desea suministrar un valor de voltaje y corriente determinado al conectar en serie y paralelo un determinado grupo de baterías, considerando los niveles de voltaje de cada de una de ellas [9].



**Figura 1.8.** Ejemplo de conexión baterías en serie y paralelo [9].

### 1.4.3 GENERADOR A DIÉSEL

Es un dispositivo que convierte el combustible diésel en electricidad, mismo que se compone de dos elementos por separado pero que trabajan de forma conjunta para generar energía eléctrica, los dos elementos antes mencionados son un motor a diésel y un generador electromagnético.

- a) **Motor a diésel:** Dispositivo capaz de desarrollar movimiento gracias a la acción de la combustión interna efectuada por el rocío de diésel por parte de los inyectores en las cámaras de combustión, lo cual genera una explosión expansiva que mueve el pistón y permite el giro del cigüeñal como consecuencia, el cual transmitirá el movimiento generado hacia el segundo elemento denominado como generador electromagnético.
- b) **Generador electromagnético:** El rotor del generador comienza a girar por la transferencia de movimiento recibida por la acción del cigüeñal y como resultado de dicha rotación del rotor dentro de la cámara donde se encuentran los electromagnetos, los cuales más la acción del campo provisto por parte de una batería hacia dicho rotor, generan un voltaje de corriente alterna en el estator, con lo que se puede inferir que este elemento convierte la energía mecánica a la entrada energía eléctrica a su salida.

La utilización de generadores a diésel propone algunas ventajas considerando que el diésel es relativamente estable en su composición química por lo que puede ser almacenado por largos periodos de tiempo sin verse afectado, en términos de costo y volatilidad resulta mucho más beneficioso que la gasolina al ser menos volátil y tener un menor costo que la misma, como contraparte este tipo de generadores presentan algunas ventajas como el gran ruido que generan al funcionar y también la emisión de gases al ambiente que presenta su funcionamiento [10].

### 1.4.4 RED ELÉCTRICA

La red eléctrica es el sistema interconectado de electricidad que permite suministrar energía desde los generadores en los centros de generación, pasando por la etapa de transmisión hacia los consumidores a través de la distribución y subdistribución de dicho suministro energético, el cual llega a una propiedad a través de un conductor eléctrico denominado acometida con dos o tres fases, este suministro energético se representa por un voltaje en corriente alterna a través de onda sinusoidal a una amplitud y frecuencia definida dependiendo el lugar del mundo en cuestión, en el caso de Ecuador y para la

ciudad de Quito y sus alrededores se tiene un voltaje de fase pico RMS de 120 V y una frecuencia de 60 Hz. El número de fases en la acometida con el que se desee realizar una instalación eléctrica en una propiedad depende del tipo de carga a energizar dependiendo de la aplicación, ya que de forma residencial la empresa eléctrica suele realizar instalaciones bifásicas.

#### **1.4.5 USO CONJUNTO DE FUENTES DE ALIMENTACIÓN PARA ENERGIZAR UNA CARGA**

Dentro del uso de varias fuentes de alimentación para el suministro energético de una misma carga, se puede optar por diversas formas de conexión de dichas fuentes con la carga, como por ejemplo conectando las fuentes en paralelo al estar sincronizadas en amplitud, frecuencia y fase en sus ondas de voltaje o también se las puede conectar a través de una conmutación manual utilizando un selector de varias posiciones con el cual se puede elegir la fuente con la cual se desea suministrar energía, sin embargo este proceso se lo puede automatizar y es ahí dónde surge el concepto de transferencia automática.

#### **1.4.6 TRANSFERENCIA AUTOMÁTICA**

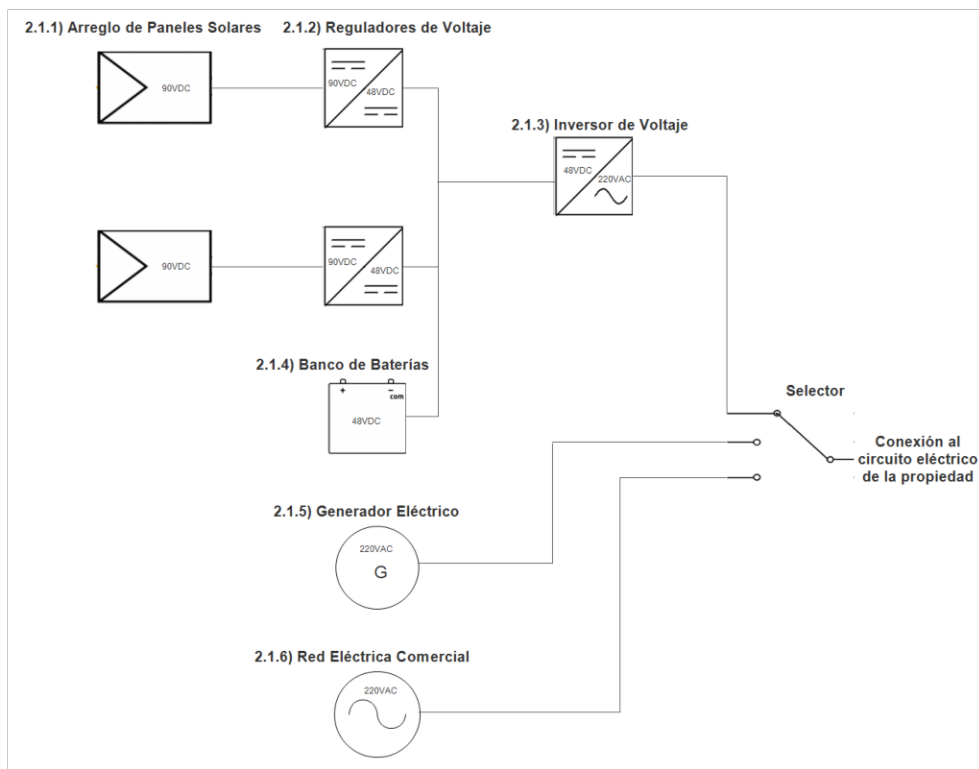
En energía eléctrica, la transferencia se refiere a la alimentación de una carga desde dos o más fuentes. La transferencia automática se refiere al cambio de una fuente a otra sin acción manual, sino a través de la medición de sensores para que el controlador analice la acción adecuada a través de las condiciones especificadas. Los actuadores utilizados en la transferencia automática suelen ser interruptores de potencia, cuyo principio de funcionamiento es análogo al de un relé, es decir, sirve para cerrar un circuito al energizar su bobina correspondiente. Si se necesita que ambas fuentes alimenten la carga simultáneamente, obligatoriamente ambas fuentes deben cumplir condiciones eléctricas de funcionar en paralelo, mismas que son el tener el mismo valor de voltaje, fase y frecuencia, caso contrario se arriesga a que se genere un corto circuito. La transferencia automática adquiere una gran importancia en aplicaciones como la alimentación de equipos de comunicación donde una falla de energía de corta duración puede representar en pérdida de datos. En la transferencia automática se vuelve necesario un sistema de monitoreo para tener conocimiento del estado de las variables de interés del sistema sobre el que se realiza la transferencia automática. Cuando se trabaja con dos fuentes comúnmente la principal suele ser la red eléctrica comercial y la de respaldo un generador eléctrico, sin embargo, se pueden tener más fuentes y en una



gran variedad como las de energías renovables que en este último tiempo han cobrado gran fuerza como es el caso de los sistemas de generación fotovoltaicos o eólicos [11].

## 2. METODOLOGÍA

El diseño del sistema de control parte del conocimiento de las características técnicas de los equipos que se localizaban presentes en la finca, donde muchos de ellos se encontraban sin ningún uso, razón por la cual resulta de gran importancia conocer el diagrama eléctrico que se encontraba presente en el sitio en un inicio, destacando las características técnicas de los mencionados equipos, así como el interconexión presente entre estos.



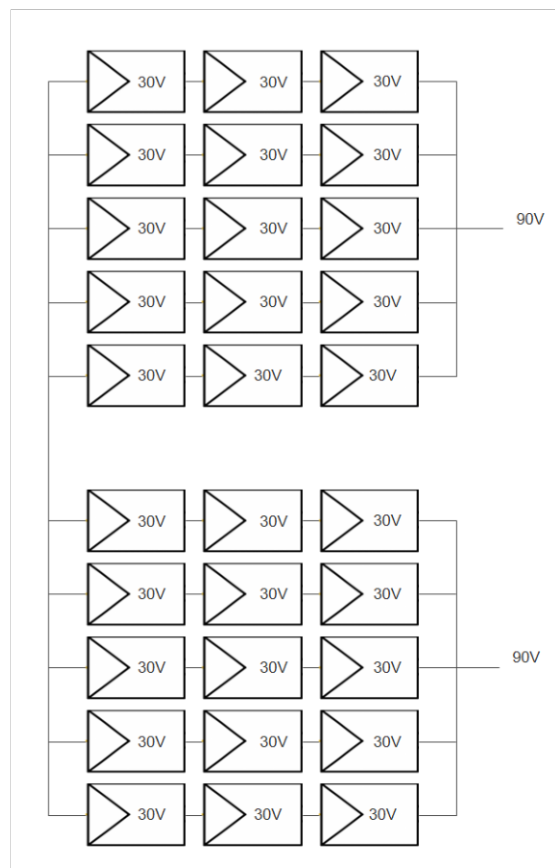
**Figura 2.1.** Diagrama unifilar del circuito eléctrico inicial de suministro energético del sitio.

Como se puede observar la conmutación entre las fuentes de energía en la propiedad se lo realizaba de forma manual a través del selector, acción que la realizaban los trabajadores de la finca teniendo que ingresar de forma obligatoria al tablero eléctrico principal de la finca para realizarlo, razón por lo que surge la gran importancia de automatizar dicha transferencia de fuentes de forma local y remota bajo el criterio de conocer si determinada fuente de energía se encuentra o no en capacidad de suministrar energía hacia la finca.

## 2.1 EQUIPOS PRESENTES EN EL SITIO

### 2.1.1 PANELES SOLARES (AIMS POWER PV230POLY)

Dispositivos utilizados para captar energía solar y generar corriente continua a través del efecto fotoeléctrico. En conjunto con los reguladores, las baterías y el inversor forman otra fuente de energía en el sitio, se dispone de dos arreglos de paneles solares con 15 paneles en cada arreglo, donde cada panel suministra 30V como voltaje nominal y están conectados en un arreglo de cinco ramas de paneles en paralelo, donde en cada rama se encuentra una serie de 3 paneles, tal y como se observa en la figura a continuación, con lo que se tiene una salida a un bus DC de 90V, mismo que se conecta a la entrada del regulador de voltaje.



**Figura 2.2.** Arreglo de paneles presentes en el sitio.

En el sistema de control del actual proyecto, el sistema solar compuesto por los paneles solares, el regulador y el inversor, representa la fuente de energía principal para la propiedad y están localizados en una parte de la finca despejada de cualquier obstáculo que interfiera sobre la incidencia de la radiación solar sobre su superficie.

**Tabla 2.1.** Parámetros y características de los paneles solares

Parámetro	Valor
Potencia Pico Máxima [W]	230
Corriente de Máxima Potencia [A]	7.58
Voltaje de Máxima Potencia [V]	30.36

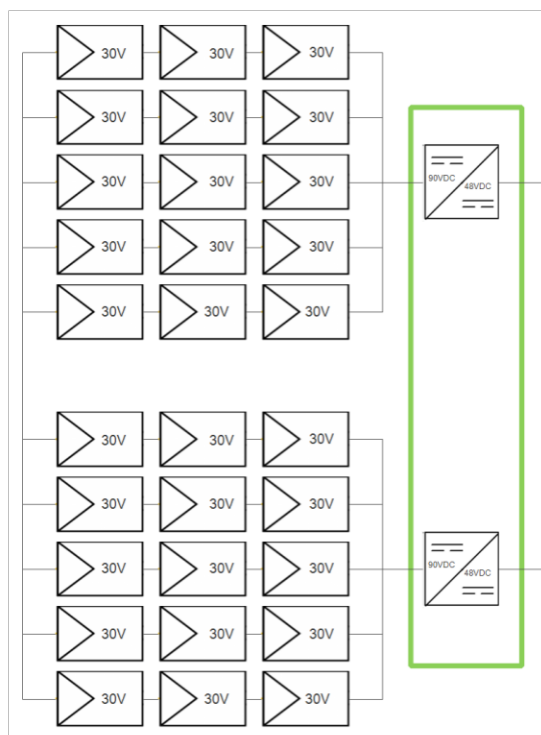


**Figura 2.3.** Paneles solares de la finca.

[12]

### **2.1.2 REGULADOR (MIDNITE CLASSIC 150)**

Regulador utilizado para bajar el voltaje generado de cada grupo de paneles solares, el cual es un poco menor a 100V en un día con una alta incidencia de radiación solar, tomando en cuenta este valor de voltaje de entrada resulta un valor adecuado los 150V máximos de entrada que permiten estos dispositivos, para cargar el banco de baterías a un voltaje ligeramente superior a los 48V y tener un bus DC que sirve de alimentación al inversor. Se utilizan 2 reguladores porque existen 2 grupos de paneles.



**Figura 2.4.** Ubicación de los reguladores en el sistema fotovoltaico.

**Tabla 2.2.** Parámetros y características del regulador

Parámetro	Valor		
Precio [\$]	600 a 700		
Corriente nominal de carga [A]	96 a 12V	94 a 24V	83 a 48V
Voltaje de trabajo [V]	12	24	48
Voltaje de entrada máximo [V]	150		
Potencia máxima de entrada [W]	1500 a 12V	2900 a 24V	5250 a 48V

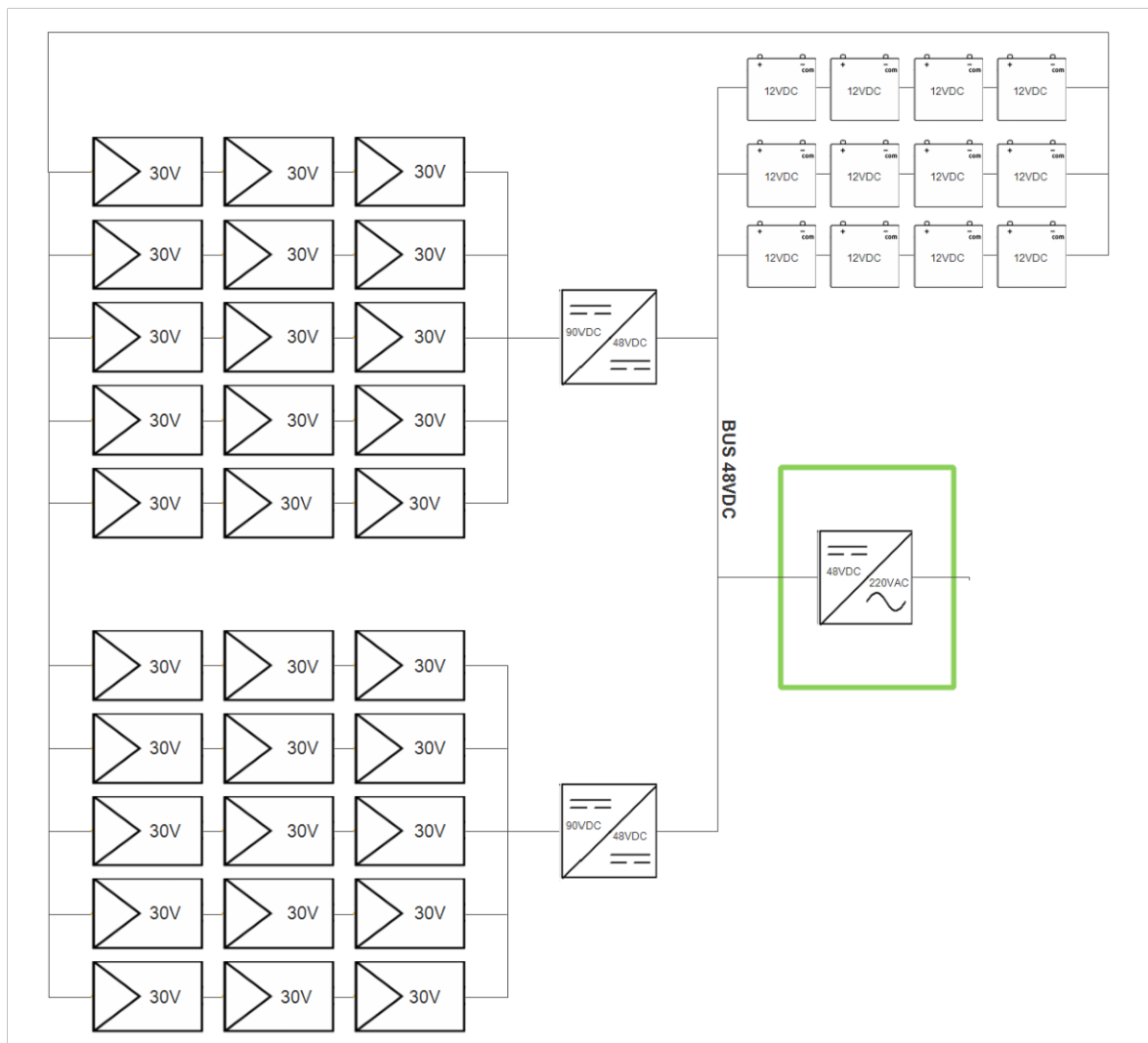


**Figura 2.5.** Reguladores presentes en el sitio.

[13]

### 2.1.3 INVERSOR (AMPINVT FT48V-6000W)

Dispositivo encargado de transformar la corriente continua en alterna y poder alimentar a la carga. El dispositivo es muy útil ya que dará redundancia al sistema debido a que tiene alimentación DC y AC y realiza el cambio automático. Capaz de generar una o dos fases de corriente alterna, en el caso del actual proyecto se tiene a la entrada de este inversor un voltaje de bus DC de 48V presente entre la salida de los reguladores y las baterías y a la salida de este inversor se tiene un voltaje bifásico de 220VAC a una frecuencia de 60Hz. Considerando las diversas configuraciones de paneles solares en función de la colocación del inversor mencionadas en el marco teórico, se tiene en la instalación eléctrica una configuración de paneles solares del tipo central, debido a que se tiene solamente un inversor principal para el sistema en general con la diferencia de que en cada arreglo de paneles se dispone de un regulador o convertidor de voltaje DC antes del inversor, con la intención de conectar la salida del regulador hacia el bus DC antes mencionado.



**Figura 2.6.** Ubicación del inversor en el sistema fotovoltaico.

**Tabla 2.3.** Parámetros y características del inversor

Parámetro	Valor
Potencia nominal [W]	6000
Potencia Pico [W]	18000
Voltaje de entrada [VAC]	85-135
Frecuencia de entrada [Hz]	60
Voltaje de salida [VAC]	120+-5% & 240+-5% (Modo batería)

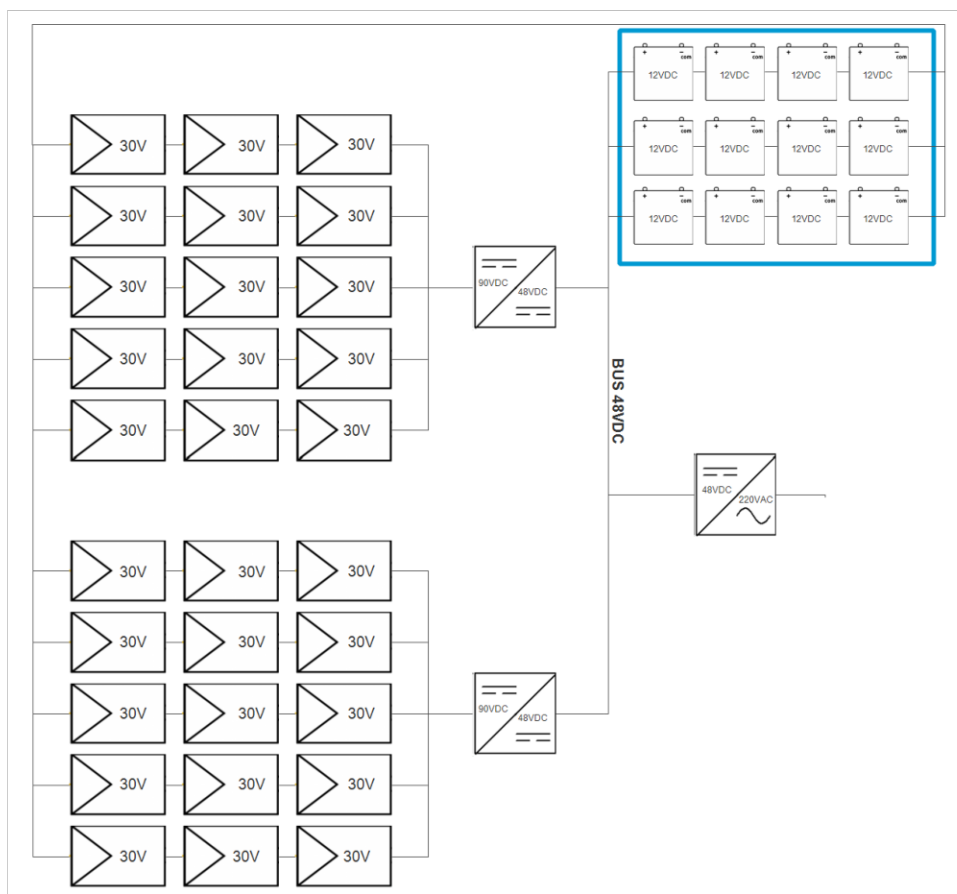


**Figura 2.7.** Inversor presente en el sitio.

[14]

#### **2.1.4 BATERÍAS (NARADA MPG12V155FC)**

Dispositivos que permiten tener un respaldo de corriente continua cuando los paneles no generan energía suficiente en ausencia del sol. Mientras los paneles generan CC, las baterías están cargándose continuamente. En la instalación eléctrica del predio las mismas están distribuidas en tres ramas en paralelo, donde cada rama dispone de 4 baterías en serie de 12V, por lo cual se conectan en serie 4 baterías y se tiene un bus DC de 48V.



**Figura 2.8.** Ubicación del inversor en el sistema fotovoltaico.

**Tabla 2.4.** Parámetros y características de las baterías

Parámetro	Valor
Capacidad de Voltaje [V]	12
Capacidad de Carga [Ah]	155
Fluctuación de Voltaje [V]	2



**Figura 2.9.** Baterías presentes en el sitio.

[15]

### 2.1.5 GENERADOR (CSC POWER CP12)

Fuente de respaldo que puede generar 2 fases y funciona con diésel. Se automatizó este equipo mediante un interruptor de nivel propio del tanque del generador para verificar que el combustible sea el necesario para su funcionamiento. El PLC actuará sobre la bobina del arranque y se le enviarán los valores de voltaje y corriente generados para comprobar su correcta operación.

**Tabla 2.5.** Parámetros y características del generador

Parámetro	Valor
Velocidad nominal[rpm]	1800
Frecuencia nominal[Hz]	60
Voltaje nominal[V]	120/240
Potencia nominal[KW]	9
Corriente nominal[A]	37.5



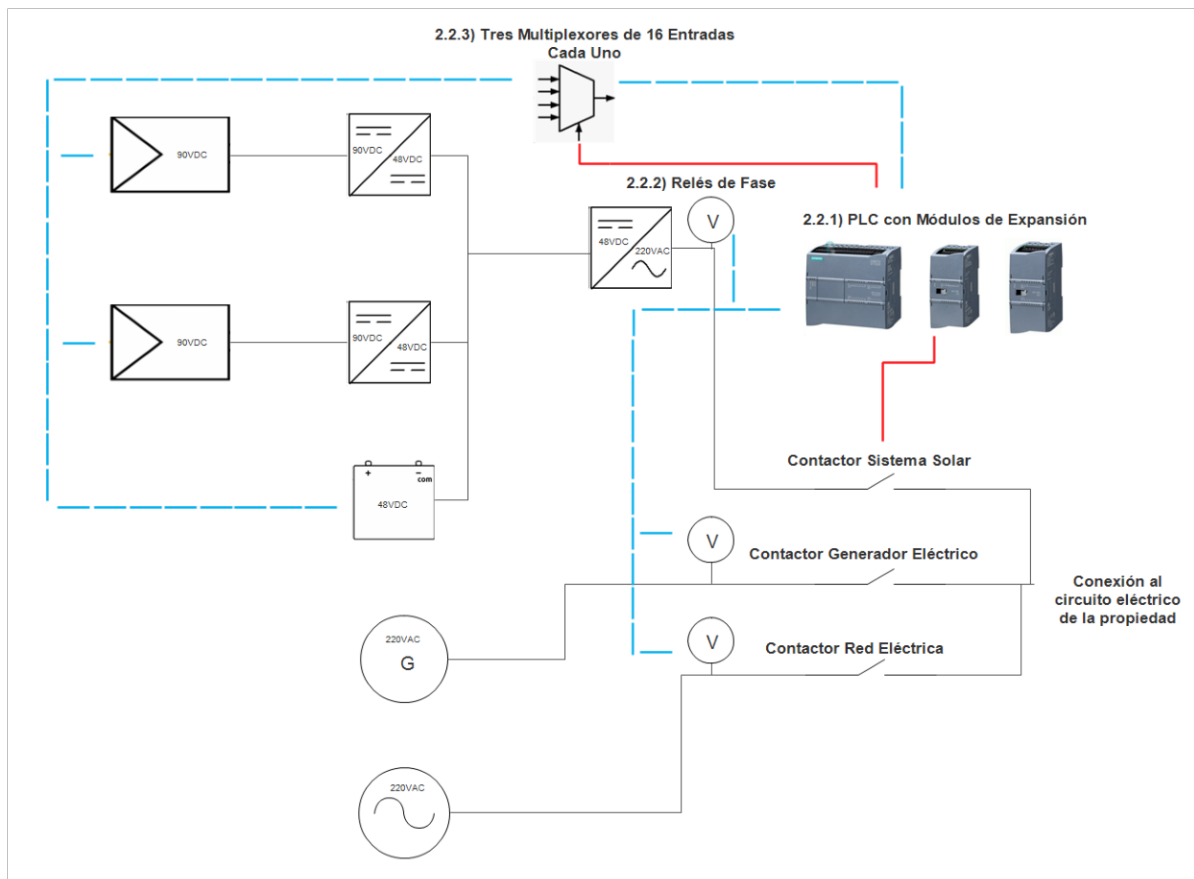
**Figura 2.10.** Generador presente en el sitio sin uso.

En los Anexos se encuentra información más detallada de todos los equipos que se encontraban previamente instalados en el sitio.

## 2.2 EQUIPOS A INSTALAR

La parte del diseño fue seleccionar los equipos a implementar, con un enfoque cualitativo de los equipos e instrumentos a instalar debido a que se ha considerado las mejores opciones en el mercado según sus características, precio y compatibilidad entre los mismos, teniendo como meta llegar al objetivo de control que es la transferencia automática de las fuentes de energía.





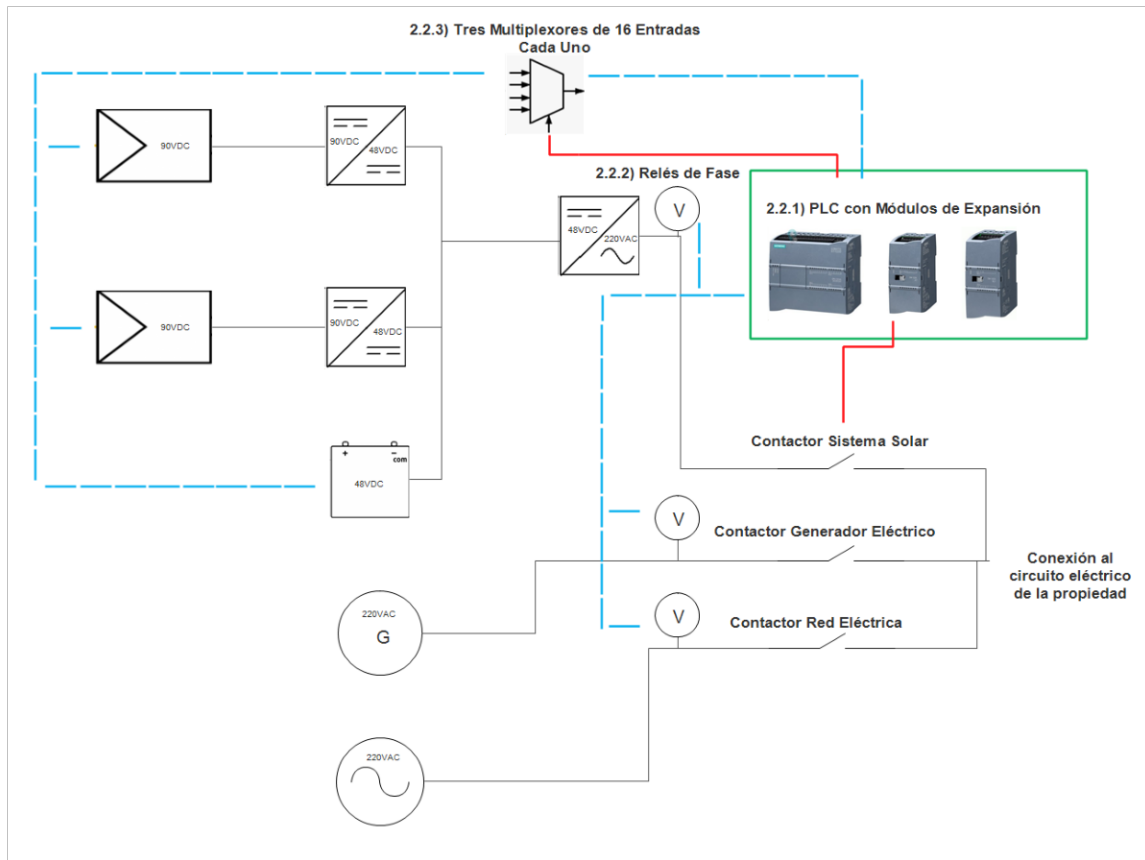
**Figura 2.11.** Diagrama unifilar del circuito eléctrico final de suministro energético del sitio con el sistema de control implementado.

Como se puede observar en la figura existen diversos elementos presentes en el diagrama de control donde destaca en su parte medular el controlador conformado con sus módulos de expansión de entradas y salidas, donde se tienen como entradas las señales provenientes de los multiplexores las cuales provienen de los circuitos divisores de voltaje y también las señales de los relés de fase, por otra parte de salidas se tienen las señales para el control de los multiplexores y también las señales hacia los relés de conmutación que permitirán energizar las bobinas de los contactores de las fuentes de alimentación.

### **2.2.1 PLC (SIEMENS 27-1200 CPU 1214 DC/DC/RELÉ) Y MÓDULOS DE EXPANSIÓN DE ENTRADAS ANALÓGICAS (SIEMENS SM 1231) Y SALIDAS DIGITALES (SIEMENS SM 1222 RLY)**

Controlador con prestaciones que aumentan la robustez del sistema, adecuado para la aplicación actual del proyecto considerando el número de entradas y salidas disponibles con los niveles de operación de las mismas, razón por la cual se hace uso de los módulos de expansión de entradas analógicas y salidas digitales tomando en cuenta el objetivo de

control que se tiene a cumplir, además se escogió este modelo también porque permite el uso del servidor web para lograr el monitoreo tanto de forma local como remota.



**Figura 2.12.** Ubicación del controlador con sus módulos en el diagrama eléctrico de control en el sitio.

**Tabla 2.6.** Parámetros y características del PLC y los módulos de expansión de entradas y salidas

<b>PLC Siemens S7-1200 CPU 1214C DC/DC/Relé Parámetro</b>	<b>Valor</b>
Entradas Digitales	14 de 24 VDC
Salidas Digitales	10 de 5 a 30 VDC o de 5 a 250 VAC
Entradas Analógicas	2 de 0 a 10 VDC
Puerto	Ethernet para comunicación con reguladores
Alimentación	20.4 a 28.8 VDC
<b>Módulo de entradas analógicas SM 1231 Parámetro</b>	<b>Valor</b>
Entradas analógicas	4 de +-10V, +-5V, +-2.5V
Alimentación	24 VDC

Módulo de salidas digitales SM 1222 RLY Parámetro	Valor
Tipo de salida	Relé
Número de salidas	8
Alimentación[VDC]	24

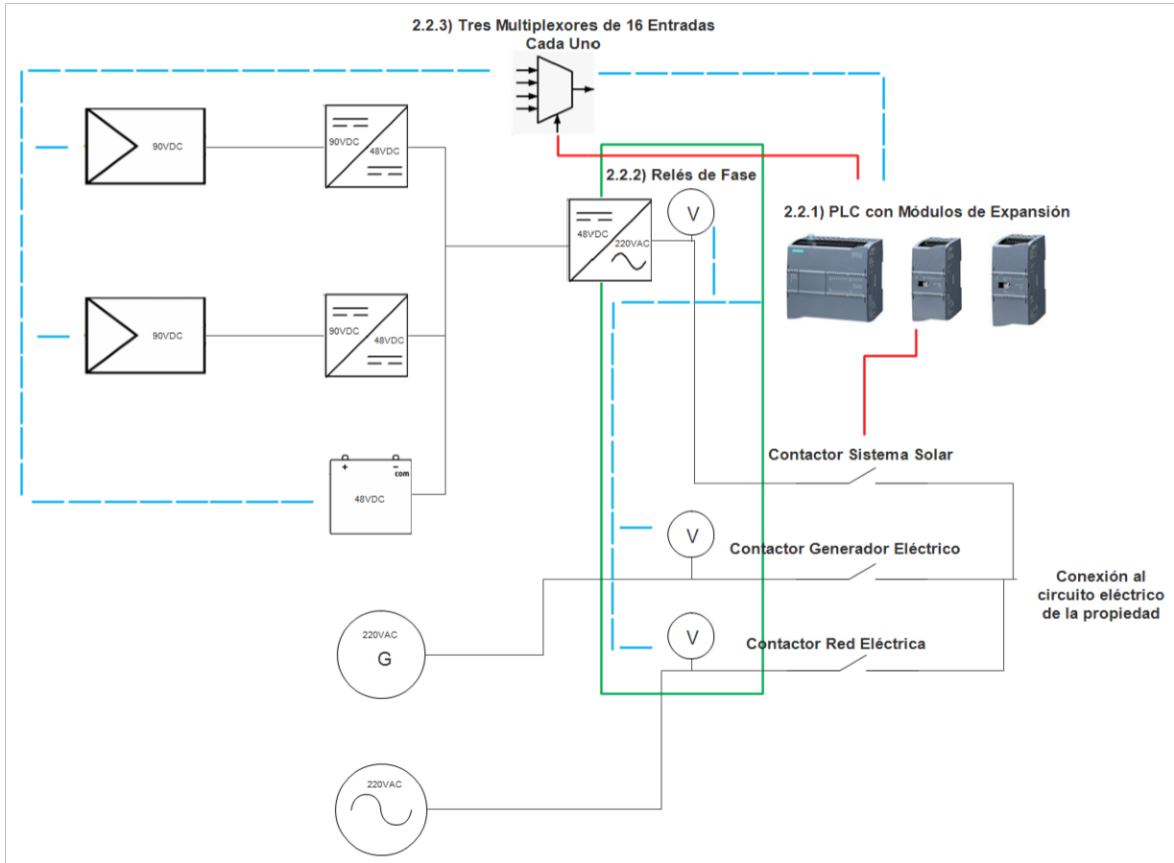


**Figura 2.13.** PLC con módulos de expansión de entradas y salidas.

[16]

### 2.2.2 RELÉS DE FASE (SVR1000 AD220)

Sensores para detectar el voltaje en una fase de cada una de las fuentes de alimentación disponibles en el sitio para dar a conocer al PLC mediante un contacto si la variable de voltaje en cada una de las fuentes está en un rango adecuado para que se pueda mandar a activar el contactor de la fuente respectiva y de esta forma dicha fuente pueda suministrar energía hacia la propiedad.



**Figura 2.14.** Ubicación de los relés de fase con sus módulos en el diagrama eléctrico de control en el sitio.

**Tabla 2.9.** Parámetros y características de los relés de fase

Parámetro	Valor
Monitoreo	Una fase
Voltaje nominal[V]	AC/DC 110 a 240 a 50/60Hz
Función de protección	Sobretensión y subtensión
Contactos	1 NO y 1 NC
Capacidad del contacto	6A 250VAC/30VDC



**Figura 2.15.** Relé de fase.

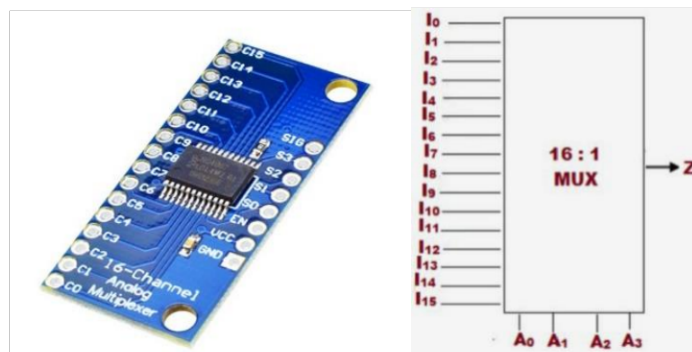
[17]

### 2.2.3 MULTIPLEXORES (CD74HC4067)

Adecuados por el nivel de operación cercano a 5V y considerando la gran cantidad de señales a medir, se convierten demasitados útiles para realizar el monitoreo de todos los paneles y baterías continuamente y no sólo con alarmas a través de tres multiplexores, donde los dos primeros reciben las señales de los circuitos divisores de voltaje de los paneles y el último multiplexor recibe las señales de los circuitos divisores de voltaje de las baterías. Cada una de las señales que van desde las salidas de los multiplexores hacia las entradas del controlador y sus módulos, son controladas por la señal de salida del controlador en codificación BCD (número decimal expresado en 4 dígitos binarios) hacia los multiplexores para seleccionar cuál de las señales de las 16 entradas de los multiplexores será ingresada hacia el sistema de control para ser medida.

**Tabla 2.13.** Parámetros y características de los multiplexores

Parámetro	Valor
Tipo de entradas a multiplexar	Analógicas
Número de entradas a multiplexar	16
Entradas digitales de control	4
Alimentación[VDC]	-0.5 a 7
Voltaje de entrada y salida[VDC]	0 a VCC
Precio[\$]	5



**Figura 2.16.** Multiplexores.

[18]

En los Anexos se encuentra información más detallada de todos los equipos que se instalaron en el sitio.

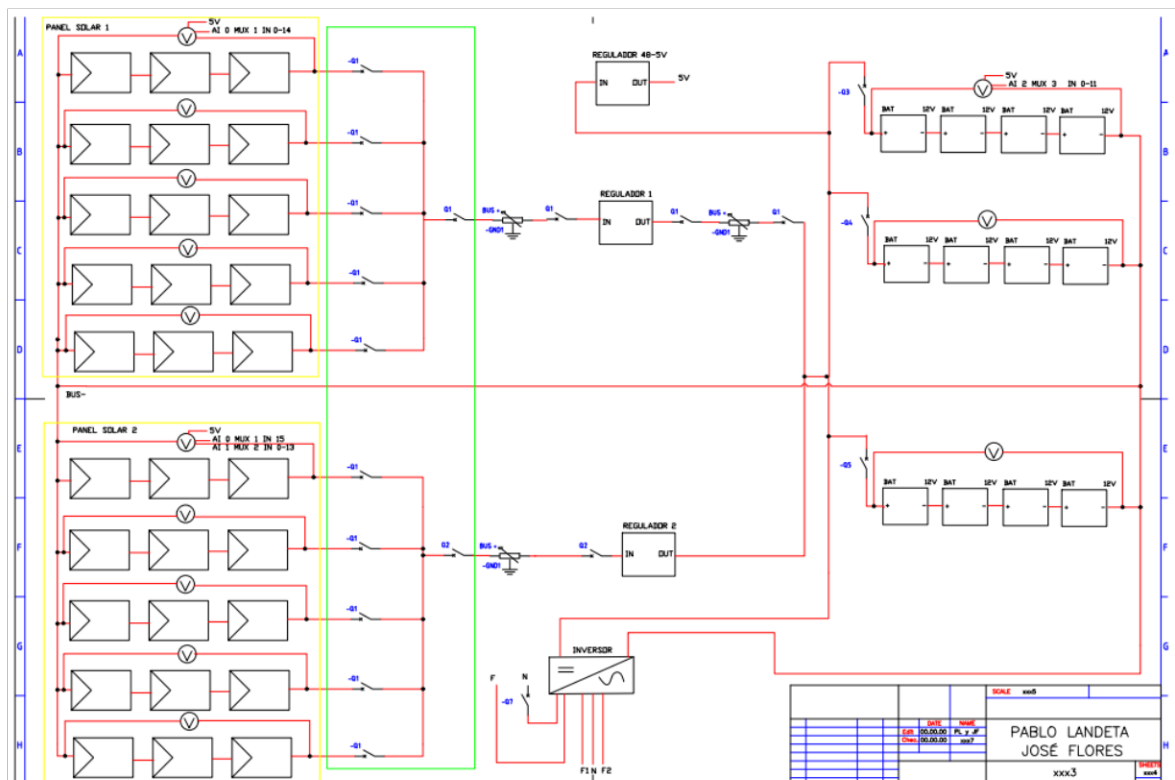


bobinas de los relés y así se acciona cada contactor que cierra con las fases correspondientes. La salida para accionar el arranque del generador funciona con otra referencia (Batería de 12V propia del generador) y por ello se coloca en la salida DO 4 y no en la DO 3, ya que hasta la última mencionada se mantiene la referencia de 24V. Esta última salida se conecta al contacto de arranque del generador que permite la alimentación del motor DC al cual se acopla el eje del generador. Con el módulo de ampliación de salidas digitales se realiza el control de los multiplexores.

Finalmente, en este esquema también se indica la conexión física de comunicación mediante cable Ethernet entre el router y el PLC para permitir el monitoreo remoto.

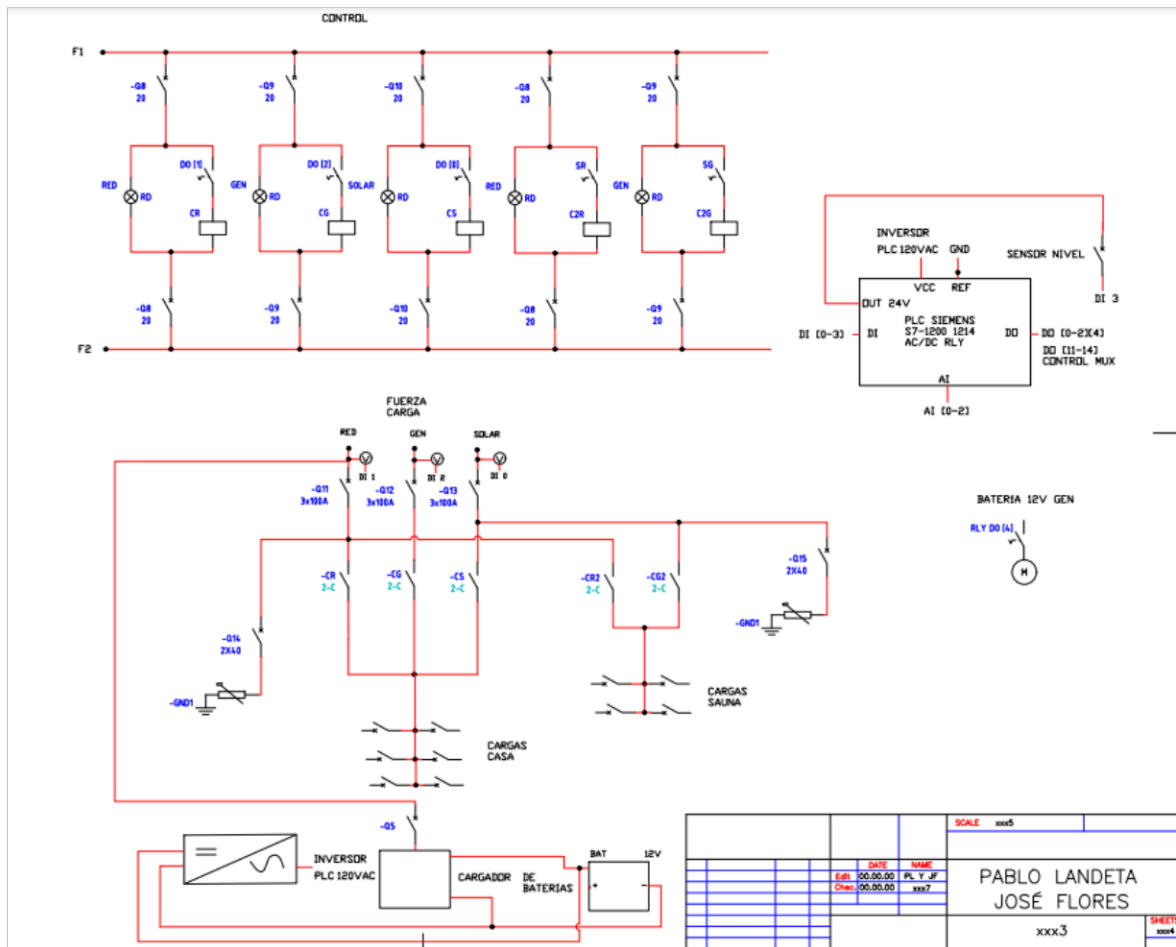
## 2.4 ESQUEMA ELÉCTRICO Y DE INSTRUMENTACIÓN

Una vez conocida la distribución de pines del controlador se propone la conexión de los equipos dentro del sistema de control en el diagrama eléctrico del sistema fotovoltaico existente en la finca, tomando en cuenta todos los elementos presentes en dicho sistema de control, mismo que se conecta al sistema fotovoltaico de la propiedad con el fin de medir las señales de voltaje de los paneles solares y de las baterías, conociendo de esta forma si el sistema solar se encuentra o no disponible para suministrar energía como la fuente principal que esta representa.



**Figura 2.18.** Conexión eléctrica de los instrumentos de medición en los paneles y baterías en el sistema fotovoltaico.

También se realizó el diagrama unifilar de potencia de la residencia con el respectivo conexionado de control, donde se puede observar y entender de mejor forma como el sistema de control permite la transferencia automática entre las fuentes dentro del circuito eléctrico principal. el cual se ve reflejado de forma física en el tablero eléctrico principal y de distribución del sitio.



**Figura 2.19.** Esquema eléctrico de distribución y de conexión hacia el controlador.

## 2.5 DISEÑO DE DIVISORES DE VOLTAJE PARA PANELES Y BATERÍAS

Dado que se utilizan divisores de voltaje para sensor esta variable en los paneles y baterías, se procede a realizar el diseño de los mismos.

Dado que se utilizarán multiplexores, se bajarán los valores de voltaje de cada batería para ingresarlos al integrado mediante divisores de tensión. Como se referencia a tierra, se debe



bajar los voltajes de 12V, 24V, 36V y 48V, debido a la configuración en serie de las 4 baterías por grupo a niveles menores a 5V.

Divisor de voltaje para baterías de 12V

$$V_o = \frac{V_i * R_2}{R_1 + R_2}, V_o = 3.24V, V_i = 12V, R_2 = 1K\Omega; R_1 = 2.7K\Omega \quad (2.1)$$

Divisor de voltaje para baterías de 24V

$$V_o = \frac{V_i * R_2}{R_1 + R_2}, V_o = 3.63V, V_i = 24V, R_2 = 1K\Omega; R_1 = 5.6K\Omega \quad (2.2)$$

Divisor de voltaje para baterías de 36V

$$V_o = \frac{V_i * R_2}{R_1 + R_2}, V_o = 3.27V, V_i = 36V, R_2 = 1K\Omega; R_1 = 10K\Omega \quad (2.3)$$

Divisor de voltaje para baterías de 48V

$$V_o = \frac{V_i * R_2}{R_1 + R_2}, V_o = 3V, V_i = 48V, R_2 = 1K\Omega; R_1 = 15K\Omega \quad (2.4)$$

Tomando en cuenta el mismo circuito y consideraciones, se acondicionan los grupos de paneles, los cuales se conectan 3 en serie generando 90V (30V cada uno).

Divisor de voltaje para paneles de 30V

$$V_o = \frac{V_i * R_2}{R_1 + R_2}, V_o = 3.26V, V_i = 30V, R_2 = 1K\Omega; R_1 = 8.2K\Omega \quad (2.5)$$

Divisor de voltaje para paneles de 60V

$$V_o = \frac{V_i * R_2}{R_1 + R_2}, V_o = 3.15V, V_i = 60V, R_2 = 1K\Omega; R_1 = 18K\Omega \quad (2.6)$$

Divisor de voltaje para paneles de 90V

$$V_o = \frac{V_i * R_2}{R_1 + R_2}, V_o = 3.21V, V_i = 90V, R_2 = 1K\Omega; R_1 = 27K\Omega \quad (2.7)$$

Para el acondicionamiento de las baterías se tienen grupos de resistencias en serie de 3.7K $\Omega$ , 6.6K $\Omega$ , 11K $\Omega$  y 16K $\Omega$  y se procede a utilizar una alimentación diferente a la solar cuando el voltaje en las baterías alcanza los 18V, 30V, 42V y 54V, por lo tanto, se obtiene la corriente y potencia máxima.

Corriente de salida del divisor de voltaje para baterías de 12V

$$I = \frac{V_{m\acute{a}x}}{R_1 + R_2} = \frac{18V}{3.7K\Omega} = 4.86mA \quad (2.8)$$

Potencia del divisor de voltaje para baterías de 12V

$$P = I^2(R_1 + R_2) = (4.86mA)^2(3.7K\Omega) = 0.0873W \quad (2.9)$$

Corriente de salida del divisor de voltaje para baterías de 24V

$$I = \frac{V_{m\acute{a}x}}{R_1 + R_2} = \frac{30V}{6.6K\Omega} = 4.54mA \quad (2.10)$$

Potencia del divisor de voltaje para baterías de 24V

$$P = I^2(R_1 + R_2) = (4.54mA)^2(6.6K\Omega) = 0.136W \quad (2.11)$$

Corriente de salida del divisor de voltaje para baterías de 36V

$$I = \frac{V_{m\acute{a}x}}{R_1+R_2} = \frac{42V}{11K\Omega} = 3.81mA \quad (2.12)$$

Potencia del divisor de voltaje para baterías de 36V

$$P = I^2(R_1 + R_2) = (3.81mA)^2(11K\Omega) = 0.1596W \quad (2.13)$$

Corriente de salida del divisor de voltaje para baterías de 48V

$$I = \frac{V_{m\acute{a}x}}{R_1+R_2} = \frac{54V}{16K\Omega} = 3.37mA \quad (2.14)$$

Potencia del divisor de voltaje para baterías de 48V

$$P = I^2(R_1 + R_2) = (3.37mA)^2(16K\Omega) = 0.1817W \quad (2.15)$$

Por lo tanto, basta colocar resistencias de cuarto de vatio.

Para los paneles se tienen grupos de resistencias en serie de 9.2K $\Omega$ , 19K $\Omega$  y 28K $\Omega$  y se conmuta de fuente a una diferente a la solar si el voltaje de los mismos supera los 36V, 66V o 96V.

Corriente de salida del divisor de voltaje para paneles de 30V

$$I = \frac{V_{m\acute{a}x}}{R_1+R_2} = \frac{36V}{9.2K\Omega} = 3.91mA \quad (2.16)$$

Potencia del divisor de voltaje para paneles de 30V

$$P = I^2(R_1 + R_2) = (3.91mA)^2(9.2K\Omega) = 0.1406W \quad (2.17)$$

Corriente de salida del divisor de voltaje para paneles de 60V

$$I = \frac{V_{m\acute{a}x}}{R_1+R_2} = \frac{66V}{19K\Omega} = 3.47mA \quad (2.18)$$

Potencia del divisor de voltaje para paneles de 60V

$$P = I^2(R_1 + R_2) = (3.47mA)^2(19K\Omega) = 0.2287W \quad (2.19)$$

Corriente de salida del divisor de voltaje para paneles de 90V

$$I = \frac{V_{m\acute{a}x}}{R_1+R_2} = \frac{96V}{28K\Omega} = 3.42mA \quad (2.20)$$

Potencia del divisor de voltaje para paneles de 90V

$$P = I^2(R_1 + R_2) = (3.42mA)^2(28K\Omega) = 0.3274W \quad (2.21)$$

Por lo tanto, basta colocar resistencias de medio vatio.

### 3. RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 3.1 RESULTADOS

##### 3.1.1 CONEXIONADO REALIZADO

Dentro de los alcances planteados se mencionó implementar todas las conexiones eléctricas de potencia, instrumentación y comunicación dentro del sistema para el funcionamiento de las fuentes y de los equipos de control y monitoreo, misma evidencia que se la puede evidenciar a continuación.

En la figura a continuación se puede evidenciar en el tablero eléctrico del sitio en la parte superior la parte de potencia, misma que ya se encontraba instalada previamente en el lugar y en la parte inferior la parte de control que fue instalada, en cada una de ellas se realizó el respectivo conexionado para cumplir con los objetivos del proyecto.



**Figura 3.1.** Conexionado del tablero eléctrico del sitio.

En la parte superior se tiene la parte de potencia que ya se encontraba previamente instalada en el tablero, se puede evidenciar diversos elementos para la conmutación manual entre las tres fuentes de energía que previamente se realizaba, como los breakers de caja moldeada, contactores y los respectivos breakers, dónde se realizó el respectivo conexionado.



**Figura 3.2.** Conexionado realizado en la parte de potencia del tablero.

En la parte inferior se instaló la parte de control del tablero, donde se puede evidenciar diversos elementos para efectuar el monitoreo y control, como el PLC con sus respectivos módulos de expansión, elementos parte de la instrumentación como las cuatro placas de divisores de voltaje para la medición de las baterías y de los paneles solares, tres multiplexores para seleccionar la medición que leerá el PLC, tres relés para realizar la conmutación entre las fuentes, así como también tres relés de fase para sensor el rango de voltaje en el cual se encuentra cada una de las fuentes.



**Figura 3.3.** Conexión realizado en la parte de control del tablero.

También se realizó el respectivo conexionado para el módulo del generador, con el fin de que pueda ser arrancado por el PLC y también brindar un contacto informando al PLC si el nivel de diésel en el tanque de combustible se encuentra en niveles adecuados para poder ser considerado como una fuente de respaldo.



**Figura 3.4.** Conexión en el módulo de control del generador.

Se realizó las respectivas conexiones eléctricas en el tablero eléctrico donde se encuentran los dos reguladores (convertidores DC-DC) y el inversor, dónde se tomaron los 90 VDC que

se encuentran a la entrada de los reguladores con el fin de ser sensado por el PLC a través del divisor de voltaje.



**Figura 3.5.** Conexión en el tablero de conversión de energía.

En el banco de baterías se realizó las respectivas conexiones con el fin de conocer el voltaje que está entregando cada una de estas, tomando en consideración que cada entrega 12V y se encuentran en tres grupos de cuatro baterías en serie, entregando por cada grupo un voltaje de 48 V.



**Figura 3.6.** Conexión en el banco de baterías.

Con el fin de conocer el voltaje que está entregando cada panel o módulo fotovoltaico, se realizó el conexionado necesario para poder llevar esta lectura de voltaje hacia el PLC,

conociendo que cada panel puede entregar hasta 30V y que son 30 de ellos separados en dos arreglos de 15 paneles, en donde en cada arreglo se tiene cinco grupos de 3 paneles en serie, con lo que se tiene un voltaje máximo de salida por cada arreglo de 90V.



**Figura 3.7.** Conexión en los paneles solares.

### **3.1.2 FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA CONSIDERANDO QUE LAS TRES FUENTES ESTÁN DISPONIBLES PARA SUMINISTRAR ENERGÍA**

En condiciones de operación normales en el sistema cuando se tiene disponible a cualquiera de las tres fuentes de alimentación para poder energizar a la propiedad, se dispone que siempre la fuente principal sea el sistema fotovoltaico, con lo que se puede observar que se tienen los tres breakers de las tres fuentes levantados.



**Figura 3.8.** Breakers de las tres fuentes en condiciones normales.

Tomando en consideración condiciones normales de operación con la fuente principal, se puede evidenciar como el sistema de control implementado activa a la bobina del contactor perteneciente al sistema fotovoltaico (tercer contactor de izquierda a derecha), con lo que se tiene como resultado que la propiedad está siendo energizada por su fuente principal.



**Figura 3.9.** Contactor del sistema fotovoltaico activado.

### **3.1.3 FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA CONSIDERANDO QUE LA FUENTE PRINCIPAL NO SE ENCUENTRA DISPONIBLE PARA SUMINISTRAR ENERGÍA**

Cuando el sistema detecta que su fuente principal que es el sistema fotovoltaico conformado principalmente por sus paneles solares, se encuentra inhabilitada o con un rango de voltaje fuera del rango programado para poder ser considerado como fuente de alimentación disponible, entra como fuente de respaldo o secundaria la red eléctrica, para poder realizar dicha prueba se baja el breaker del sistema fotovoltaico con lo que el sistema de control debe actuar ante dicho acontecimiento realizando la conmutación automática hacia la fuente de respaldo.





**Figura 3.10.** Breaker de los paneles solares deshabilitado simulando falla.

Cuando el sistema de control detecta que la fuente principal no se encuentra disponible, este sistema realiza la conmutación automática activando la bobina del contactor de la red eléctrica, la cual es la fuente de respaldo cuando la principal falla.



**Figura 3.11.** Contactor de red activado.

Se puede evidenciar también que fuente está siendo utilizada y el voltaje que está suministrando cada una de ellas en los relés de fase, los cuales muestran en una pantalla el valor del voltaje RMS presente en cada una de ellas, como en el caso de la prueba que se está efectuando donde el sistema está siendo energizado por la red eléctrica.



**Figura 3.12.** Valores de voltaje presentes en los relés de fase.

### 3.1.4 FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA CONSIDERANDO QUE LA FUENTE PRINCIPAL Y DE RESPALDO NO SE ENCUENTRAN DISPONIBLES PARA SUMINISTRAR ENERGÍA

Cuando el sistema detecta que su fuente principal que es el sistema fotovoltaico y su fuente secundaria o de respaldo que es la red eléctrica pública, se encuentran inhabilitadas o con un rango de voltaje fuera del rango programado para poder ser consideradas como fuentes de alimentación disponibles, entra como fuente de segundo respaldo o última instancia el generador eléctrico, para poder realizar dicha prueba se bajan los breakers del sistema fotovoltaico y de la red eléctrica con lo que el sistema de control debe actuar ante dicho acontecimiento dando la orden de encender el generador eléctrico.



**Figura 3.13.** Breaker de los paneles solares y red eléctrica deshabilitados simulando falla.

Cuando el sistema de control detecta que la fuente principal y secundaria no se encuentran disponibles, este sistema manda la orden de encender el generador eléctrico de forma automática, previamente conociendo un adecuado nivel de combustible diésel presente en el tanque de combustible del generador, misma información que recibe el PLC a través de un contacto proveniente del módulo de control del generador eléctrico. Se puede comprobar de forma visual la presencia un nivel de combustible adecuado para poder usar el generador a través de la entrada digital número 3 del PLC.



**Figura 3.14.** Comprobación de un nivel adecuado de diésel del tanque del generador en la entrada digital 3 del PLC.

Una vez que el generador ha arrancado y el relé de fase correspondiente al generador verifica un nivel adecuado de voltaje, el sistema de control activa la bobina del contactor perteneciente al generador, tal como se muestra a continuación.



**Figura 3.15.** Comprobación de un nivel adecuado de voltaje proveniente del generador.

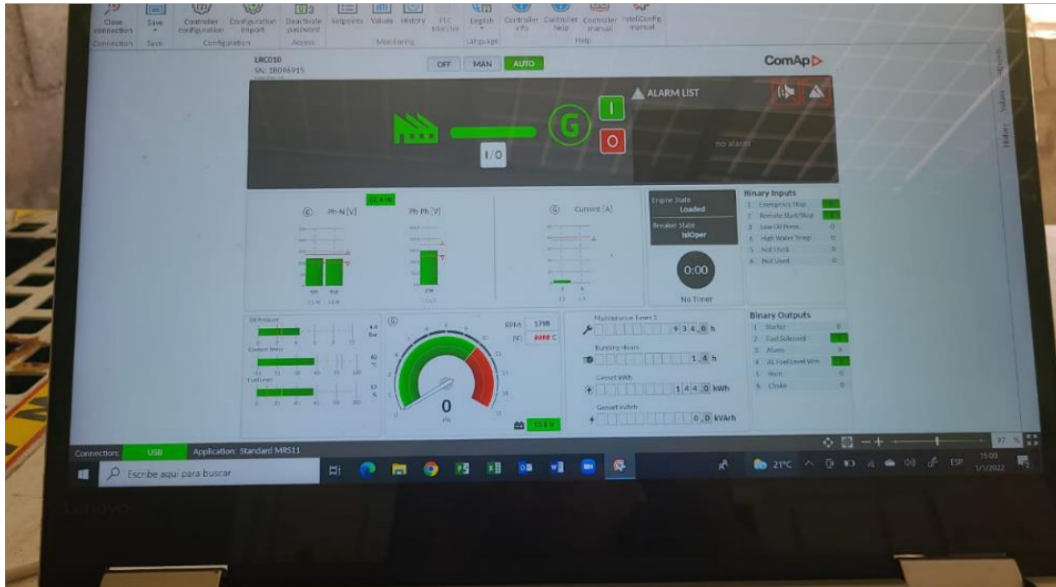


**Figura 3.16.** Contactor de generador eléctrico activado.

En el caso de que la fuente secundaria (red eléctrica) vuelva a estar disponible, el sistema realiza la conmutación automática nuevamente hacia esta, sin embargo, el generador eléctrico entra en modo refrigeración, información que se puede visualizar en el programa del módulo de control del generador y también en la pantalla de este módulo que se encuentra en el generador.



**Figura 3.17.** Pantalla del módulo de control del generador en modo automático.



**Figura 3.18.** Visualización del programa del módulo de control del generador en la PC.

### **3.1.5 MEDICIONES DE VOLTAJE PRESENTES EN DISTINTOS ELEMENTOS DENTRO DE LA PARTE DE INSTRUMENTACIÓN DEL SISTEMA CONSIDERANDO UNA OPERACIÓN NORMAL CON FUENTE PRINCIPAL SUMINISTRANDO ENERGÍA.**

Para realizar estas pruebas se tiene que mencionar que según el programa de control se procede a sensar de forma periódica cada cierto tiempo previamente configurado, el voltaje presente en cada uno de los paneles y baterías del sistema por lo que cada medición dependerá del dígito decimal entre 0 y 15 codificado en 4 bits, que está siendo enviado por las cuatro salidas digitales provenientes del módulo de expansión de salidas digitales hacia los multiplexores, los cuales reciben el mismo número decimal codificado en BCD, mientras que con las salidas digitales propias del PLC se controla la transferencia automática a través de los relés de conmutación de fuentes. Se realizaron tres pruebas considerando que existen tres multiplexores por lo que en cada prueba se realiza las mediciones para cada multiplexor con el mismo dígito codificado en BCD a la salida del sistema de control.

#### **3.1.5.1 PRUEBA 1. DÍGITO 0 EN BCD PROVENIENTE DEL CONTROLADOR HACIA EL MULTIPLEXOR 1 PARA LA MEDICIÓN DEL PANEL 1 DE 30 V**

Primero se comienza medir desde el primer panel, por lo que se envía el dígito 0 en BCD hacia todos los multiplexores por lo que las cuatro salidas digitales del módulo de expansión

de salidas digitales se ponen a cero lógico cada una de ellas, tal como se muestra a continuación.



**Figura 3.19.** Salida en dígito 0 en BCD hacia los multiplexores.

Se comienza a medir el voltaje en el panel 1 de 30V, medición que llegará a la placa donde se encuentran los circuitos divisores de voltaje con el objetivo de reducir dicho voltaje a rangos de voltaje adecuados para ser ingresado por las entradas analógicas del PLC y su módulo de expansión de entradas analógicas.

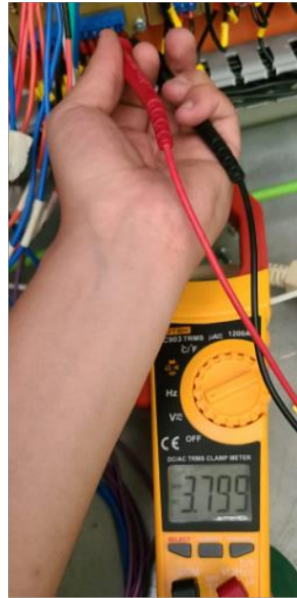


**Figura 3.20.** Voltaje a la entrada del divisor de voltaje en la prueba 1.

Como el objetivo del divisor de voltaje es reducir el nivel de voltaje de medición a niveles adecuados para ser adquiridos en las entradas analógicas del sistema de control, se tiene a la salida de este divisor de voltaje, un voltaje mucho menor al de su entrada, resultado

que se puede comprobar según la ecuación (2.5), para el divisor de voltaje de los paneles de 30V.

$$V_o = \frac{V_i * R_2}{R_1 + R_2}, V_i = 34.98V, R_2 = 1K\Omega; R_1 = 8.2K\Omega, V_o = 3.80V \quad (3.1)$$



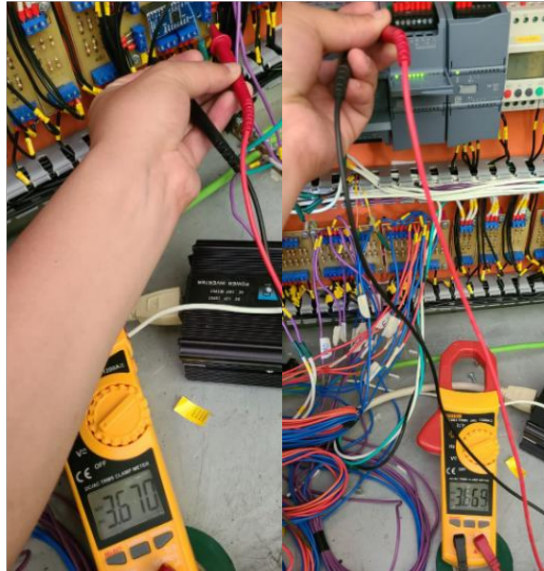
**Figura 3.21.** Voltaje a la salida del divisor de voltaje en la prueba 1.

El mismo voltaje a la salida del divisor de voltaje se aprecia a la entrada del multiplexor 1, debido a que dicha salida del divisor de voltaje se conecta a la entrada 0 del multiplexor antes mencionado, en el cual se basa la actual prueba.



**Figura 3.22.** Voltaje a la entrada 0 del multiplexor 1 en la prueba 1.

Se observa que se tiene el mismo voltaje a la salida del multiplexor 1 y posterior se tiene la conexión de esta salida del multiplexor hacia una de las entradas analógicas del sistema de control, cada una de ellas con una ligera caída de voltaje.



**Figura 3.23.** Voltaje a la salida del multiplexor 1 y a la entrada analógica del controlador en la prueba 1.

### **3.1.5.2 PRUEBA 2. DÍGITO 0 EN BCD PROVENIENTE DEL CONTROLADOR HACIA EL MULTIPLEXOR 2 PARA LA MEDICIÓN DEL PANEL 17 DE 60 V**

El conexionado para la medición del voltaje del panel 17 de 60V se conecta a la placa donde se encuentran los circuitos divisores de voltaje con el objetivo de reducir dicho voltaje a rangos de voltaje adecuados para ser ingresado por las entradas analógicas del PLC y su módulo de expansión de entradas analógicas.





**Figura 3.24.** Voltaje a la entrada del divisor de voltaje en la prueba 2.

Se tiene a la salida de este divisor de voltaje, un voltaje mucho menor al de su entrada, resultado que se puede comprobar según la ecuación (2.6), para el divisor de voltaje de los paneles de 60V.

$$V_o = \frac{V_i * R_2}{R_1 + R_2}, V_i = 63.6V, R_2 = 1K\Omega; R_1 = 18K\Omega, V_o = 3.34V \quad (3.2)$$



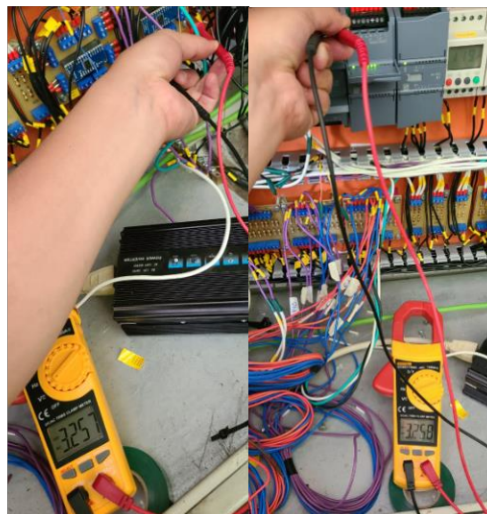
**Figura 3.25.** Voltaje a la salida del divisor de voltaje en la prueba 2.

El mismo voltaje a la salida del divisor de voltaje se aprecia a la entrada del multiplexor 2, debido a que dicha salida del divisor de voltaje se conecta a la entrada 0 del multiplexor antes mencionado, en el cual se basa la actual prueba.



**Figura 3.26.** Voltaje a la entrada 0 del multiplexor 2 en la prueba 2.

Se observa que se tiene el mismo voltaje a la salida del multiplexor 2 y posterior se tiene la conexión de esta salida del multiplexor hacia una de las entradas analógicas del sistema de control, cada una de ellas con una ligera caída de voltaje.



**Figura 3.27.** Voltaje a la salida del multiplexor 2 Voltaje a la entrada analógica del controlador en la prueba 2.

### 3.1.5.3 Prueba 3. Dígito 0 en BCD proveniente del controlador hacia el multiplexor 3 para la medición de la batería 1 de 12V

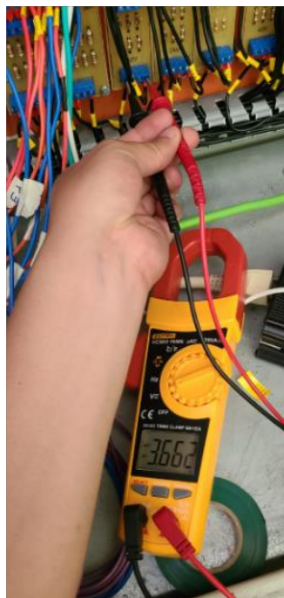
El conexionado para la medición del voltaje de la batería 1 de 12V se conecta a la placa donde se encuentran los circuitos divisores de voltaje con el objetivo de reducir dicho voltaje a rangos de voltaje adecuados para ser ingresado por las entradas analógicas del PLC y su módulo de expansión de entradas analógicas.



**Figura 3.28.** Voltaje a los terminales de la batería 1 de 12 V y a la entrada del divisor de voltaje en la prueba 3.

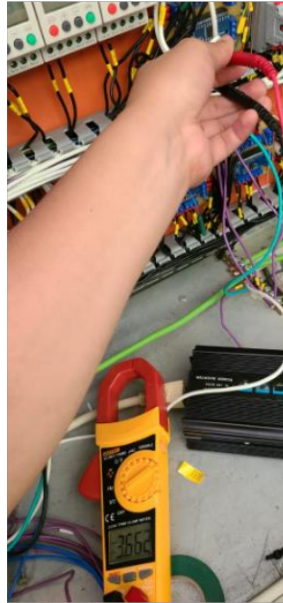
Se tiene a la salida de este divisor de voltaje, un voltaje mucho menor al de su entrada, resultado que se puede comprobar según la ecuación (2.1), para el divisor de voltaje de las baterías de 12V.

$$V_o = \frac{V_i * R_2}{R_1 + R_2}, V_i = 13.54V, R_2 = 1K\Omega; R_1 = 2.7K\Omega, V_o = 3.66V \quad (3.3)$$



**Figura 3.29.** Voltaje a la salida del divisor de voltaje en la prueba 3.

El mismo voltaje a la salida del divisor de voltaje se aprecia a la entrada del multiplexor 3, debido a que dicha salida del divisor de voltaje se conecta a la entrada 0 del multiplexor antes mencionado, en el cual se basa la actual prueba.



**Figura 3.30.** Voltaje a la entrada 0 del multiplexor 3 en la prueba 3.

Se observa que se tiene el mismo voltaje a la salida del multiplexor 3 y posterior se tiene la conexión de esta salida del multiplexor hacia una de las entradas analógicas del sistema de control, cada una de ellas con una ligera caída de voltaje.

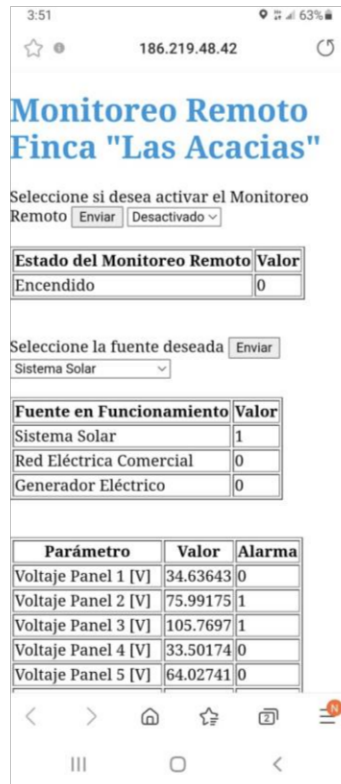


**Figura 3.31.** Voltaje a la salida del multiplexor 3 en la prueba.

### **3.1.6 FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA CONSIDERANDO UNA SELECCIÓN DE FUENTE Y MONITOREO DE FORMA REMOTA**

Dentro de los objetivos del proyecto se planteó realizar un monitoreo remoto del estado de las fuentes de alimentación en función de las mediciones de voltaje en cada una de ellas, por lo que se puede observar el funcionamiento del sistema de forma automática y la

visualización del servidor web a través de la página web desplegada en un teléfono con conexión internet, tal y como se muestra a continuación.



**Figura 3.32.** Visualización de la página web donde se visualiza el monitoreo remoto.

Como se puede observar se dispone de la página web, misma que puede ser abierta desde cualquier dispositivo electrónico con capacidad de conectarse a internet, en la cual se puede observar la activación del monitoreo remoto, su estado, la fuente que se encuentra suministrando energía en ese momento, tomando en cuenta que 1 es activado y 0 desactivado y finalmente también se tiene en la página web los valores de voltaje de los paneles solares y de las baterías, considerando en aquel listado si dichos valores se encuentran o no dentro de un rango adecuado, debido a que si determinado valor se encuentra fuera del rango, se activa con 1 la sección de alarma del respectivo valor.

Primeramente, como se puede observar en la figura de arriba, el sistema arranca con el monitoreo remoto apagado y suministrando energía la fuente principal de energía.



**Figura 3.33.** Sistema solar suministrando energía a la finca.

Posterior a ello, se procede a activar el monitoreo remoto y realizar el cambio de fuente de forma remota desde los paneles solares hacia la red eléctrica comercial, tal y como se muestra a continuación.

3:52 62%

186.219.48.42

## Monitoreo Remoto Finca "Las Acacias"

Seleccione si desea activar el Monitoreo Remoto  Activado

Estado del Monitoreo Remoto	Valor
Encendido	1

Seleccione la fuente deseada

Red Eléctrica Comercial

Fuente en Funcionamiento	Valor
Sistema Solar	0
Red Eléctrica Comercial	1
Generador Eléctrico	0

Parámetro	Valor	Alarma
Voltaje Panel 1 [V]	34.63643	0
Voltaje Panel 2 [V]	75.99175	0
Voltaje Panel 3 [V]	105.7697	0
Voltaje Panel 4 [V]	33.50174	0
Voltaje Panel 5 [V]	64.02741	0

**Figura 3.34.** Red eléctrica comercial activada desde la página web con monitoreo remoto activo.



**Figura 3.35.** Red eléctrica suministrando energía a la finca al ser activada remotamente.

Después se procede a realizar el cambio de fuente hacia el generador eléctrico, revisando previamente si el nivel de combustible diésel en el tanque del generador se encuentra en un nivel adecuado para arrancar al generador.

3:53 186.219.48.42

### Monitoreo Remoto Finca "Las Acacias"

Seleccione si desea activar el Monitoreo Remoto

Estado del Monitoreo Remoto	Valor
Encendido	1

Seleccione la fuente deseada

Generador Eléctrico

Fuente en Funcionamiento	Valor
Sistema Solar	0
Red Eléctrica Comercial	0
Generador Eléctrico	1

Parámetro	Valor	Alarma
Voltaje Panel 1 [V]	34.63643	0
Voltaje Panel 2 [V]	75.99175	0
Voltaje Panel 3 [V]	105.7697	0
Voltaje Panel 4 [V]	33.50174	0
Voltaje Panel 5 [V]	64.02741	0

3:55 61%

Parámetro	Valor	Alarma
Voltaje Panel 22 [V]	0	1
Voltaje Panel 23 [V]	56.70175	0
Voltaje Panel 24 [V]	0	1
Voltaje Panel 25 [V]	0	1
Voltaje Panel 26 [V]	0	1
Voltaje Panel 27 [V]	0	1
Voltaje Panel 28 [V]	0	1
Voltaje Panel 29 [V]	0	1
Voltaje Panel 30 [V]	0	1

Parámetro	Valor	Alarma
Voltaje Batería 1 [V]	10.48922	0
Voltaje Batería 2 [V]	18.64605	0
Voltaje Batería 3 [V]	31.03299	0
Voltaje Batería 4 [V]	45.02893	0
Voltaje Batería 5 [V]	10.40893	0
Voltaje Batería 6 [V]	18.2832	0
Voltaje Batería 7 [V]	31.48655	0
Voltaje Batería 8 [V]	0	1
Voltaje Batería 9 [V]	0	1
Voltaje Batería 10 [V]	0	1
Voltaje Batería 11 [V]	0	1
Voltaje Batería 12 [V]	0	1

Parámetro	Valor
Nivel Óptimo de Combustible en el Tanque del Generador	1

**Figura 3.36.** Visualización de activación y capacidad del generador para suministrar energía.



**Figura 3.37.** Generador eléctrico suministrando energía a la finca al ser activado remotamente.

También se puede observar el monitoreo remoto de los valores de voltaje en los paneles solares y en las baterías dentro de la página web por lo que se puede realizar las comparaciones del valor de voltaje presente en el servidor web y el valor de voltaje real al medirlo con un multímetro. Se realizaron las mediciones de voltaje en el panel 23 y en la batería 7, al enviar el número 6 en binario BCD hacia los multiplexores.



**Figura 3.38.** Dígito 6 enviado en codificación binaria BCD hacia los multiplexores.



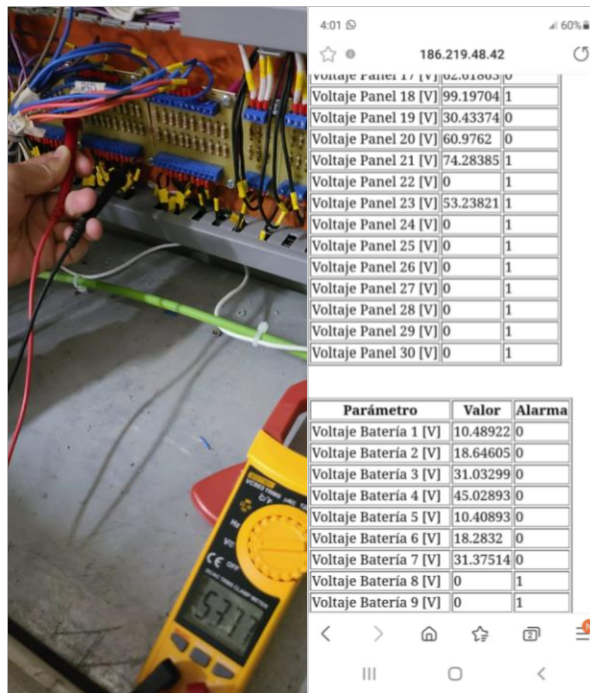


Figura 3.39. Medición local y remota del voltaje en el panel 23.

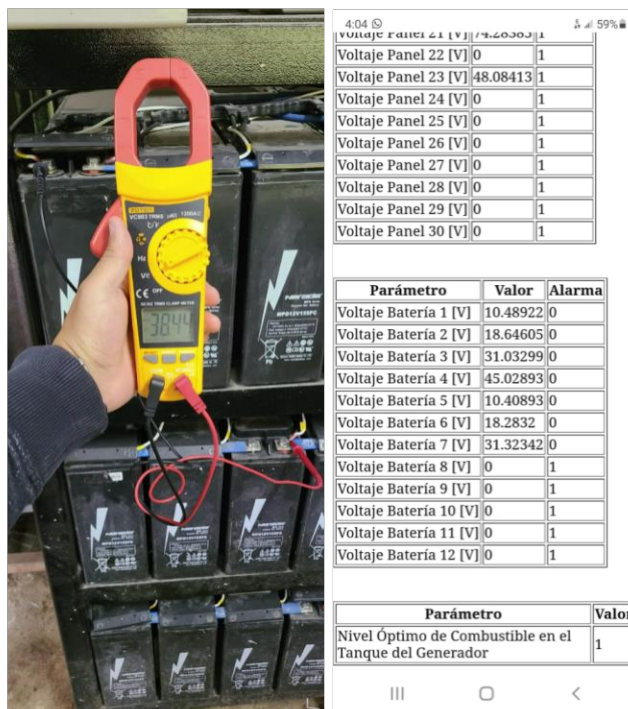


Figura 3.40. Medición local y remota del voltaje en la batería 7.

## **3.2 CONCLUSIONES**

Se evidenció la importancia de realizar un diagrama eléctrico con los equipos eléctricos del lugar conociendo las características técnicas de cada uno fue primordial para comprender de forma adecuada el funcionamiento del circuito eléctrico presente en el sitio con el fin de automatizar la transferencia de las fuentes de alimentación.

La elaboración del diagrama de conexión de los instrumentos de medición para efectuar la automatización fue clave como preámbulo para el diseño del diagrama de entradas y salidas para seleccionar el controlador y los módulos de expansión de entradas y salidas a utilizar.

Fue necesario la introducción de un inversor pequeño de forma independiente a partir de una batería muy aparte del banco de baterías del sistema fotovoltaico con el fin de energizar al controlador y sus módulos, considerando que el controlador es la parte medular para la transferencia automática de las fuentes.

Las mediciones de voltaje tanto en paneles como en baterías, así como también en sus respectivos divisores de voltaje varían según la hora del día debido a que su carga presente en los paneles y en las baterías, las cuales se cargan durante el día y suministran energía durante la noche.

Se comprobó que el sistema realiza de forma automática la transferencia entre las fuentes de alimentación de forma correcta, considerando inclusive el peor de las condiciones cuando la fuente principal y la de respaldo fallan.

## **3.3 RECOMENDACIONES**

Cuando se va a trabajar con diversas placas dentro de un tablero eléctrico grande, resulta adecuado la realización de un pequeño tablero eléctrico dentro de este, siempre y cuando exista el espacio adecuado, debido a que permite realizar de una forma más adecuada y estética el cableado.

Es importante conectar tanto los equipos de potencia como los de control a sus respectivas referencias de tierra, con el fin de evitar posibles riesgos tanto para el personal como para el equipo ante fenómenos eléctricos adversos.

Al momento de realizar placas electrónicas que se van a colocar en tableros eléctricos pequeños es importante en que exista una adecuada distancia entre el tornillo de sujeción hacia el tablero y la pista de tierra.

## 4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] J. J. Bernal Llamuca, «IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPOSITIVO AUTOMÁTICO PARA CONTROLAR LA MOLIENDA DE CEBADA EN EL CANTÓN PUNTALES DE LA CIUDAD DE TULCÁN PARA DISMINUIR TIEMPOS DE PRODUCCIÓN,» UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, Ambato, 2010.
- [2] L. G. Fernández García y A. Cervantes Torres, «Proyecto de diseño e implementación de un sistema fotovoltaico de interconexión a la red eléctrica en la Universidad Tecnológica de Altamira,» Universidad Tecnológica de Altamira, Altamira, 2017.
- [3] Y. A. Zúñiga Ventura, «Control del Punto de Máxima Potencia en Paneles Solares bajo Variaciones de Radiación y Temperatura,» INSTITUTO POTOSINO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA, A.C., San Luis Potosí, 2014.
- [4] A. A. Quezada Novoa, «DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE INVERSOR FOTOVOLTAICO DE BAJO COSTO,» UNIVERSIDAD DE CHILE, Santiago de Chile, 2012.
- [5] Ó. L. Garcés Coca y Á. A. Shagñay Pucha, «IMPLEMENTACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE ALMACENAMIENTO DE PROBETAS DE DISTINTOS MATERIALES Y TAMAÑOS CONTROLADOS POR PLC Y PANTALLA TÁCTIL PARA EL LABORATORIO DE CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS INDUSTRIALES DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA ESPOCH,» ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO, Riobamba, 2014.
- [6] W. Villegas, «ESTUDIO PARA EL SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA EL "MERCADO DE SAN ROQUE",» EPN, Quito, 2021.
- [7] A. Castejón y G. Santamaría, «Instalaciones solares fotovoltaicas,» Editex S.A., Madrid, 2010.
- [8] A. Vera, J. C. Delgado y S. Sepúlveda, «Validación del modelo matemático de un panel solar empleando la herramienta Simulink de Matlab,» Rev.investig.desarro.innov, 2017.
- [9] J. D. P. Narváez, «DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL CARGADOR DE UN BANCO DE BATERÍAS DE 96 VDC E INDUCTANCIA DEL CONVERTOR DC-DC ELEVADOR DE 96 VDC A 311 VDC A SER UTILIZADOS EN UN VEHÍCULO ELÉCTRICO,» EPN, Quito, 2011.
- [10] T. C. E. Gompertz, «ESPECIFICACIÓN Y SELECCIÓN DE GENERADORES PARA USO INDUSTRIAL: EMERGENCIA, AUTOGENERACIÓN Y COGENERACIÓN,» EPN, Quito, 1995.
- [11] E. R. Quintuña Caiza y W. R. Villacís Galarza, «DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN TABLERO DE TRANSFERENCIA AUTOMÁTICA DE GENERADORES DE EMERGENCIA Y MONITOREO CON SISTEMA SCADA,» ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO, Riobamba, 2012.
- [12] A. POWER, «AIMS POWER,» [En línea]. Available: <https://www.aimscorp.net/Solar-Panels/>. [Último acceso: 30 Diciembre 2021].
- [13] CED GREENTECH, «CED GREENTECH,» [En línea]. Available: <https://www.cedgreentech.com/product/midnite-solar-classic-150-mppt-charge->

controller#:~:text=The%20Classic%20150%20MPPT%20Charge,to%2072%20volt%20battery%20systems.. [Último acceso: 18 Noviembre 2020].

- [14] amazon, «amazon,» [En línea]. Available: <https://www.amazon.com/-/es/sinusoidal-cargador-corriente-convertidor-frecuencia/dp/B07TYX2LFL>. [Último acceso: 30 Diciembre 2021].
- [15] Narada, «Narada,» [En línea]. Available: <https://en.naradapower.com/index.php/products/info/27?ctype=47>.. [Último acceso: 30 Diciembre 2021].
- [16] masvoltaje, «masvoltaje,» [En línea]. Available: <https://masvoltaje.com/simatic-s7-1200/1199-simatic-s7-1200-cpu-1214c-cpu-compacta-dc-dc-rele-6940408101319.html>.. [Último acceso: 30 Diciembre 2021].
- [17] A. FTVOGUE, «SVR1000 (AD200),» [En línea]. Available: <https://www.amazon.com/-/es/Dispositivo-SVR1000-monitorizaci%C3%B3n-protecci%C3%B3n-sobrevoltaje/dp/B07XYVRBP9>. [Último acceso: 31 Diciembre 2021].
- [18] T. Instruments, «Texas Instruments,» [En línea]. Available: [https://www.ti.com/lit/ds/symlink/cd74hc4067.pdf?ts=1618576024703&ref\\_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F](https://www.ti.com/lit/ds/symlink/cd74hc4067.pdf?ts=1618576024703&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F).. [Último acceso: 31 Diciembre 2021].
- [19] S. Electric, «Schneider Electric,» [En línea]. Available: <https://www.se.com/ww/en/product/LC1D80P7/tesys-d-contactor---3p%283-no%29---ac-3--%3C%3D-440-v-80-a---230-v-ac-50-60-hz-coil/>.. [Último acceso: 30 Diciembre 2021].
- [20] E. Lovato, «Lovato Electric,» [En línea]. Available: <https://www.lovatoelectric.com/31BCE1024/31BCE1024/snp>.. [Último acceso: 31 Diciembre 2021].
- [21] E. Schneider, «Schneider Breakers,» [En línea]. Available: <https://www.se.com/ww/en/product/EZC100N3060/circuit-breaker-easypact-ezc100n---tmd---60-a---3-poles-3d/>.. [Último acceso: 31 Diciembre 2021].
- [22] M. Solar, «Midnite Solar,» [En línea]. Available: [https://www.midnitesolar.com/productPhoto.php?product\\_ID=145&productCatName=Combiners&productCat\\_ID=9&sortOrder=8&act=p](https://www.midnitesolar.com/productPhoto.php?product_ID=145&productCatName=Combiners&productCat_ID=9&sortOrder=8&act=p).. [Último acceso: 31 Diciembre 2021].
- [23] D. S. Electric, «Domae Schneider Electric,» [En línea]. Available: <https://www.se.com/es/es/product/12480/domae-4%2C5ka%2C1p%2C10a/>.. [Último acceso: 31 Diciembre 2021].
- [24] ebay, «ebay,» [En línea]. Available: Available: <https://www.ebay.es/itm/Schneider-Square-D-QOvs-QOE-RCBOs-6a-10a-16a-20a-32a-40a-50a-Amp-Type-B-C-30mA-/193351100197>.. [Último acceso: 31 Diciembre 2021].

- [25] B. S. Electric, «Breakers Schneider Electric,» [En línea]. Available: <https://www.se.com/uk/en/product/QO120VSC10/qovs---miniature-circuit-breaker---1p---c-curve---20a---10ka/>.. [Último acceso: 31 Diciembre 2021].
- [26] M. S. MNSPD300DC, «Midnite Solar MNSPD300DC,» [En línea]. Available: [https://www.midnitesolar.com/documents.php?productCat\\_ID=23&productCatName=Surge%20Protection%20Devices&model=MNSPD-300-AC&product\\_ID=601&act=info..](https://www.midnitesolar.com/documents.php?productCat_ID=23&productCatName=Surge%20Protection%20Devices&model=MNSPD-300-AC&product_ID=601&act=info..) [Último acceso: 31 Diciembre 2021].
- [27] Alibaba, «Alibaba,» [En línea]. Available: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/tuv-certificated-40ka-3-phase-surge-protection-device-60724513177.html..> [Último acceso: 31 Diciembre 2021].
- [28] Camsco, «Camsco,» [En línea]. Available: [https://www.camsco.com.tw/upload\\_files/catalog/relay/p232.pdf](https://www.camsco.com.tw/upload_files/catalog/relay/p232.pdf). [Último acceso: 31 Diciembre 2021].
- [29] U. P. Inverter, «Alibaba,» [En línea]. Available: [https://www.alibaba.com/product-detail/Inverter-1000w-12v-Power-1000w-SHENPU\\_1600352716067.html?spm=a2700.7735675.normal\\_offer.d\\_image.7c857ed0wqCtTk&s=p](https://www.alibaba.com/product-detail/Inverter-1000w-12v-Power-1000w-SHENPU_1600352716067.html?spm=a2700.7735675.normal_offer.d_image.7c857ed0wqCtTk&s=p). [Último acceso: 31 Diciembre 2021].
- [30] D. ELEC. [En línea]. Available: [https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-560523098-dzs-elec-dcdc-5-un-modulo-regulador-paso-a-paso-regulador-de-\\_JM](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-560523098-dzs-elec-dcdc-5-un-modulo-regulador-paso-a-paso-regulador-de-_JM). [Último acceso: 31 Diciembre 2021].
- [31] Ingesco, «Ingesco,» [En línea]. Available: <https://www.ingesco.com/es/productos/pararrayos-ingesco-pdc-31..> [Último acceso: 31 Diciembre 2021].

## 5. ANEXOS

### ANEXO I. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS QUE SE ENCONTRABAN PRESENTES EN EL SITIO DE FORMA DETALLADA.

#### PANELES SOLARES (AIMS POWER PV230POLY)

Tabla 5.1. Parámetros y características de los paneles solares

Parámetro	Valor
Potencia Pico Máxima [W]	230
Tolerancia de Producción [%]	0/+3
Corriente de Máxima Potencia [A]	7.58
Voltaje de Máxima Potencia [V]	30.36
Corriente de Cortocircuito [A]	8.11
Voltaje de Circuito Abierto [V]	36.42
Amperaje máximo a 120V [A]	45.8
Eficiencia de Celda [%]	15.75
Eficiencia del Módulo [%]	14.17
Tolerancia de Vatiage [% W]	+/- 3%
Temperatura Normal de Funcionamiento de Celda (NOCT)	47°C +/- 2°C
Peso [Kg]	16.6
Dimensiones [mm]	1640*990*40
Voltaje Máximo de Sistema [VDC]	600
Resistencia de Viento [Pa]	2400
Precio [\$]	300

Dispositivos utilizados para captar energía solar y generar corriente continua. En conjunto con los reguladores, las baterías y el inversor forman otra fuente de energía.



Figura 5.1. Paneles solares.

## REGULADOR (MIDNITE CLASSIC 150)

**Tabla 5.2.** Parámetros y características del regulador

Parámetro	Valor		
Precio [\$]	600 a 700		
Corriente nominal de carga [A]	96 a 12V	94 a 24V	83 a 48V
Voltaje de trabajo [V]	12	24	48
Voltaje de entrada máximo [V]	150		
Potencia máxima de entrada [W]	1500 a 12V	2900 a 24V	5250 a 48V
Tensión de trabajo MPPT [V]	2-150		
Tensiones de carga configurable [V]	10-80		
Consumo en standby [W]	<4		

Características
2 relés auxiliares
Salida Ethernet
ModBus de arquitectura abierta
WiFi
Detector de fallo de arco para reducir peligro de fuego (SEGURIDAD)
DC-GFP integrado para evitar molestias con fusibles (SEGURIDAD)
Puerto USB
Memoria de 32Mb
Posibilidad de conexión en paralelo

Regulador utilizado para bajar el voltaje generado de cada grupo de paneles solares, el cual es un poco menor a 100V, un valor adecuado a los 150V máximos de entrada que permiten estos dispositivos, para cargar el banco de baterías a un voltaje ligeramente superior a los 48V y tener un bus DC que sirve de alimentación al inversor. Se utilizan 2 porque existen 2 grupos de paneles.



**Figura 5.2.** Regulador.

[13]

## INVERSOR (AMPINVT FT48V-6000W)

**Tabla 5.3.** Parámetros y características del inversor

Parámetro	Valor
Potencia nominal [W]	6000
Potencia Pico [W]	18000
Voltaje de entrada [VAC]	85-135
Frecuencia de entrada [Hz]	60
Voltaje de salida [VAC]	120+-5% & 240+-5% (Modo batería)
Frecuencia de salida [Hz]	+0.5Hz (Modo batería)
Forma de salida	Sinusoidal pura
Eficiencia	>90%
Tipo de batería	Opcional
Voltaje nominal de la batería [VDC]	24/48/96
Corriente de carga máxima AC [A]	0-35(Opcional) (15 máximo a 96V)
Protecciones	Sobrecorriente, cortocircuito, voltaje muy alto y muy bajo de la batería y voltaje muy alto y muy bajo
Modo de conversión	Interactiva en línea
Capacidad de sobrecarga	110-120% de la salida se mantiene por 30s, luego la salida pasa a bypass y más de 160% se mantiene por 300ms.
Interfaz de comunicación	RS-485
Temperatura de operación [°C]	-20 a 75
Humedad de operación [%]	10 a 90
Precio [\$]	1000 a 1100

Dispositivo encargado de transformar la corriente continua en alterna y poder alimentar a la carga. El dispositivo es muy útil ya que dará redundancia al sistema ya que tiene alimentación DC y AC y realiza el cambio automático. Capaz de generar una o dos fases de corriente alterna.



**Figura 5.3.** Inversor.

[14]



## BATERÍAS (NARADA MPG12V155FC)

Tabla 5.4. Parámetros y características de las baterías

Parámetro	Valor
Capacidad de Voltaje [V]	12
Capacidad de Carga [Ah]	155
Fluctuación de Voltaje [V]	2
Voltios por Celda [V]	25
Temperatura [°C]	25
Torque Terminal [N.m]	8
Precio [\$]	250

Dispositivos que permiten tener un respaldo de corriente continua cuando los paneles no generan energía suficiente en ausencia del sol. Mientras los paneles generan CC, las baterías están cargándose continuamente. Las mismas son de 12V, por lo cual se conectan en serie 4 y se tiene un bus DC de 48V.



Figura 5.4. Baterías.

[15]

## GENERADOR (CSC POWER CP12)

Tabla 5.5. Parámetros y características del generador

Parámetro	Valor
Velocidad nominal[rpm]	1800
Frecuencia nominal[Hz]	60
Voltaje nominal[V]	120/240
Potencia nominal[KW]	9
Corriente nominal[A]	37.5
Factor de potencia nominal	1
Tipo	Silencioso
Combustible	Diésel

Precio[\$]	7000 a 8000
------------	-------------

Fuente de respaldo que puede generar 2 fases y funciona con diésel. Se automatizará este equipo mediante un interruptor de nivel en el tanque para verificar que el combustible sea el necesario para su funcionamiento. El PLC actuará sobre la bobina del arranque y se le enviarán los valores de voltaje y corriente generados para comprobar su correcta operación.



**Figura 5.5.** Generador.

## CONTACTORES (SCHNEIDER ELECTRIC LC1D80)

**Tabla 5.6.** Parámetros y características de los contactores

Parámetro	Valor
Aplicación	Control de motor/Carga resistiva
Categorías de utilización	AC-4 AC-3 AC-1
Composición de los contactos del polo de potencia	3 NO
Voltaje operativo nominal[V]	Circuito de alimentación: 300VDC de 25 a 400Hz Circuito de alimentación: 690VAC
Corriente nominal de operación [A]	125 (a <60°C) a 440VAC AC-1 para circuito de potencia 80 (<60°C) a 440V AC-3 para circuito de potencia
Potencia del motor [kW]	22 a 220...230 VAC 50/60 Hz (AC-3) 37 a 380...400 VAC 50/60 Hz (AC-3) 45 a 415...440 VAC 50/60 Hz (AC-3) 55 a 500 VAC 50/60 Hz (AC-3) 45 a 660...690 VAC 50/60 Hz (AC-3) 45 a 1000 VAC 50/60 Hz (AC-3) 15 a 400 VAC 50/60 Hz (AC-4)
Tipo del circuito de control	AC a 50/60Hz
Voltaje del circuito de control [V]	400 VAC 50/60Hz
Composición de los contactos auxiliares	1 NO + 1 NC

Durabilidad[Mciclos]	0.8 a 125A AC-1 a 440V 1.5 a 80A AC-3 a 440V
Tiempo de operación[ms]	20-35 cerrando 6-20 abriendo
Durabilidad mecánica [Mciclos]	4
Precio [\$]	100 a 200

Dispositivos para conmutar circuitos de potencia. El control de la apertura y cierre se lo realiza mediante la alimentación de 2 fases a una bobina, voltaje que puede proporcionar las 3 fuentes. Son adecuados ya que tienen un voltaje nominal de operación de 690VAC y una corriente nominal de 125A. Al automatizar el sistema se controlará la conmutación de estos dispositivos mediante señales del PLC para conectar o desconectar las bobinas de control.



Figura 5.6. Contactores.

[19]

### CARGADOR DE BATERÍA DEL GENERADOR (LOVATO ELECTRIC 31 BCE 0312)

Tabla 5.7. Parámetros y características del cargador de baterías

Parámetro	Valor
Corriente nominal de salida [A]	3
Tensión nominal de salida DC [V]	12
Tensión de alimentación [V]	220 a 240 VAC (+-10%) 50/60Hz (+-5%)
Corriente de carga	Regulable 30 a 100% de la corriente nominal
Fusible de salida [A]	6.3
Potencia máxima absorbida [VA]	117
Potencia máxima disipada [W]	24
Salida de alarma	Estática negativa, transistor NPN
Precio [\$]	300

Dispositivo utilizado para cargar continuamente la batería de 12V correspondiente a la entrada del inversor que alimenta al inversor del PLC. Tiene entrada de 220VAC capaz de ser suministrada por la red.



**Figura 5.7.** Cargador de la batería del generador.

[20]

### **BREAKERS DE CAJA MOLDEADA (SCHNEIDER ELECTRIC EZC100N 60A)**

**Tabla 5.8.** Parámetros y características del breaker de caja moldeada

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
Tipo de operación	AC DC
Frecuencia de operación[Hz]	50/60
Corriente nominal[A]	100 a 40°C
Voltaje nominal de operación[V]	550 VAC 50/60Hz según IEC 60947-2 250 VDC según IEC 60947-2
Capacidad [kA Icu]	10 a 440 VAC 50/60 Hz según IEC 60947-2 15 a 400...415 VAC 50/60 Hz según IEC 60947-2 18 a 380 VAC 50/60 Hz según IEC 60947-2 25 a 110...130 VAC 50/60 Hz según IEC 60947-2 25 a 220...240 VAC 50/60 Hz según IEC 60947-2 5 a 125 VDC 1P según IEC 60947-2 5 a 250 VDC 2P según IEC 60947-2 5 a 550 VAC 50/60 Hz según IEC 60947-2
Tipos de protección	Sobrecarga Cortocircuito
Tecnología	Termo-magnética
Precio [\$]	50 a 100

Dispositivo de protección contra sobrecarga y cortocircuito para la entrada a los contactores. Tiene un voltaje nominal de operación de 550VAC y una corriente nominal de 100A.



**Figura 5.8.** Breakers de caja moldeada.

[21]

**BREAKERS PARA PANELES (MIDNITE SOLAR PV COMBINER: MNPV12-250)**

**Tabla 5.9.** Parámetros y características de los breakers para paneles

Parámetro	Valor
Voltaje máximo DC [V]	300
Número máximo de circuitos de entrada	6
Corriente máxima de protección ante sobrecarga en la entrada [A]	50
Rango de cable AWG a la entrada	14 a 6
Número máximo de circuitos a la salida	2
Corriente máxima continua a la salida[A]	168
Rango de cable AWG a la salida	14 a 2/0
Precio [\$]	200

Dispositivos de protección contra sobrecorrientes para los grupos de paneles. Capaz de soportar un voltaje de 300VDC y una corriente de 50A.



**Figura 5.9.** Breakers para paneles.

[22]

**BREAKERS PARA BATERÍAS (SCHNEIDER ELECTRIC DOMAE 12480)**

**Tabla 5.10.** Parámetros y características de los breakers para baterías

Parámetro	Valor
Polos	1
Corriente nominal[A]	10
Tecnología de disparo	Termo-magnética
Capacidad de interrupción[A]	4500
Voltaje nominal[VAC]	230 a 50/60Hz
Prtoección	IP20 IP40
Temperatura de operación[°C]	-25 a 60
Precio[\$]	10

Dispositivos de seguridad capaces de interrumpir el circuito si la corriente sobrepasa los 4500A.



**Figura 5.10.** Breakers para baterías.

[23]

**BREAKER PARA ENTRADA AC DEL INVERSOR (SQUARE D QOVS C50)**

**Tabla 5.11.** Parámetros y características de los breakers para entrada AC del inversor

Parámetro	Valor
Polos	2
Corriente nominal[A]	50
Capacidad de interrupción[A]	6000
Voltaje nominal[VAC]	230/240 a 50/60Hz
Tecnología de disparo	Termo-magnética
Protección	IP20
Temperatura de operación[°C]	-15 a 60
Precio[\$]	10

Dispositivo de protección contra sobrecorrientes con capacidad de 6000A. Adecuado para la entrada al inversor al tener un voltaje nominal de 230/240VAC que puede ser proporcionado por la red eléctrica.



**Figura 5.11.** Breaker para entrada AC.

[24]

### **BREAKERS PARA CARGAS (SCHNEIDER ELECTRIC QOVS C20)**

**Tabla 5.12.** Parámetros y características de los breakers para cargas

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
Polos	1
Corriente nominal[A]	20
Capacidad de interrupción[A]	6000
Voltaje nominal[VAC]	240 a 50/60Hz
Tecnología de disparo	Termo-magnética
Protección	IP20
Temperatura de operación[°C]	-5 a 60
Precio[\$]	10

Capacidad de 6000A para proteger los circuitos de carga contra corrientes altas. Con un voltaje nominal de 240V son adecuados para permitir conectar las cargas de la instalación.



**Figura 5.12.** Breakers para cargas.

[25]

## SUPRESOR DE TRANSIENTES DC (MIDNITE SOLAR MNSPD300)

**Tabla 5.13.** Parámetros y características del supresor de transientes DC

Parámetro	Valor
Voltaje nominal [VDC]	0 a 300
Tensión máxima de servicio [V]	470
Tasa de protección de voltaje línea a tierra [V]	1200
Ubicaciones sugeridas	Combinadores fotovoltaicos fuera de la red. Entradas de controladores de carga de hasta 300VDC.
Tipo	UL1449 4ta Ed. Tipo 1
Diagnóstico del LED azul	Indica voltaje presente entre L1+L2(PV+ PV-)
Protección térmica	Fusible interno
Tiempo de respuesta [ms]	<1
Tasa de corriente de transientes por fase [kA]	80
Tasa de corriente de cortocircuito [kA]	10
Frecuencia de operación [Hz]	0 a 500
Precio [\$]	100 a 200

Dispositivo de protección contra picos de voltaje de hasta 300V en el bus DC y en la entrada de los reguladores.



**Figura 5.13.** Supresor de transientes DC.

[26]

## SUPRESOR DE TRANSIENTES AC (L.&A. LAY M40 110M3G)

**Tabla 5.14.** Parámetros y características del supresor de transientes AC

Parámetro	Valor
Voltaje máximo de operación continua [V]	380 entre L1-N, L2-N, L3-N 255 entre N-PE
Carga de descarga nominal (8/20us) [kA]	20
Carga de descarga máxima (8/20us) [kA]	40



Nivel de voltaje de protección (8/20us) [V]	<=1800
Tiempo de respuesta [ns]	25
Temperatura de operación [°C]	-40 a 85
Protección	IP20
Fusible secundario [A]	125
Precio[\$]	20-30

Equipo de protección contra picos de voltaje de hasta 380V en la entrada a los contactores de red y de generación solar.



Figura 5.14. Supresor de transientes AC.

[27]

## ANEXO II. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS QUE SE INSTALARON EN EL SITIO DE FORMA DETALLADA.

### PLC (SIEMENS 27-1200 CPU 1214 DC/DC/RELÉ) Y MÓDULOS DE EXPANSIÓN DE ENTRADAS ANALÓGICAS (SIEMENS SM 1231) Y SALIDAS DIGITALES (SIEMENS SM 1222 RLY)

Tabla 5.15. Parámetros y características del PLC y los módulos de expansión de entradas y salidas

PLC Siemens S7-1200 CPU 1214C DC/DC/Relé Parámetro	Valor
Entradas Digitales	14 de 24 VDC
Salidas Digitales	10 de 5 a 30 VDC o de 5 a 250 VAC
Entradas Analógicas	2 de 0 a 10 VDC
Puerto	Ethernet para comunicación con reguladores
Alimentación	20.4 a 28.8 VDC
Protección	IP20
Servidor	Web
Precio [\$]	400 a 500

Homologación	CSA, UL y FM
Aislamiento	Galvánico
Diferencia de Potencial	Admisible
Inmunidad a Perturbaciones	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Por descargas de electricidad estática <ul style="list-style-type: none"> <li>• Conducidas</li> </ul> </li> <li>• Por tensiones de choque</li> <li>• Inducidas mediante campos de alta frecuencia</li> </ul>
<b>Módulo de entradas analógicas SM 1231</b> <b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
Entradas analógicas	4 de +-10V, +-5V, +-2.5V
Alimentación	24 VDC
Precio [\$]	200 a 300
<b>Módulo de salidas digitales SM 1222</b> <b>RLY</b> <b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
Tipo de salida	Relé
Número de salidas	8
Alimentación[VDC]	24
Rangos permisibles[VDC]	5 a 30
Precio[\$]	150

Controlador con prestaciones que aumentan la robustez del sistema, adecuado para la aplicación por el número de entradas y salidas disponibles y niveles de operación de las mismas con el uso de los módulos de expansión. Se escogió este modelo también porque permite el uso del servidor web para monitoreo remoto.



**Figura 5.15.** PLC con módulos de expansión de entradas y salidas.

[16]

## RELÉS DE CONMUTACIÓN (CAMSCO MK2P-I)

**Tabla 5.16.** Parámetros y características de los relés

Parámetro	Valor
-----------	-------

Voltaje máximo en AC del interruptor[V]	220 a 5A
Voltaje máximo en DC del interruptor[V]	28 a 10A
Voltaje para activar la bobina[VDC]	24
Resistencia del contacto[mΩ]	≤50
Tensión de dieléctrico[VAC]	1500 a 50 – 60 Hz
Precio[\$]	15

Misma funcionalidad que los contactores, cierran o abren un circuito según el voltaje que se aplique a su bobina. En este caso son necesarios debido a que la bobina de los contactores funciona a 220VAC y las salidas del PLC deben tener un punto común (no existe un punto en común entre las fases que generan las fuentes), el voltaje de alimentación serán los 24VDC del PLC, con los cuales funciona la bobina del relé.



**Figura 5.16.** Relé.

[28]

### RELÉS DE FASE (SVR1000 AD220)

**Tabla 5.17.** Parámetros y características de los relés de fase

Parámetro	Valor
Monitoreo	Una fase
Voltaje nominal[V]	AC/DC 110 a 240 a 50/60Hz
Función de protección	Sobretensión y subtensión
Contactos	1 NO y 1 NC
Capacidad del contacto	6A 250VAC/30VDC
Pantalla	LCD
Precio[\$]	35

Sensores para detectar el voltaje en una fase de cada fuente para dar a conocer al PLC mediante un contacto si la variable está en un rango adecuado para que se pueda mandar a activar el contactor de la fuente respectiva.



**Figura 5.17.** Relé de fase.

[17]

### INVERSOR PARA ALIMENTAR PLC (POWER INVERTER UKG)

**Tabla 5.18.** Parámetros y características del sensor de corriente

Parámetro	Valor
Tipo	Inversor
Voltaje de entrada	12 VDC
Voltaje de salida	110 VAC
Frecuencia	60 Hz
Precio[\$]	37.50

Permite energizar al PLC en todo momento desde una batería DC externa al convertir el voltaje de 12 V de corriente continua proveniente de la batería en 110 V de corriente alterna a 60 Hz con el fin de energizar al controlador de la transferencia automática en todo momento independientemente de las fuentes de alimentación que estén funcionando o no.



**Figura 5.18.** Inversor para el PLC.

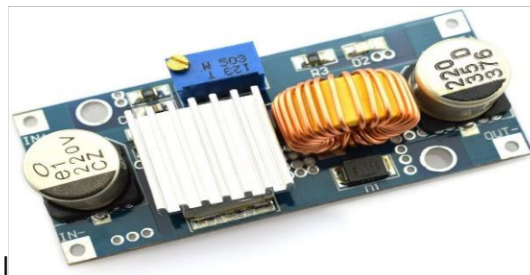
[29]

## REGULADOR PARA ALIMENTAR LOS MULTIPLEXORES (DZS ELEC 5864305383)

**Tabla 5.19.** Parámetros y características del regulador para alimentar los multiplexores

Parámetro	Valor
Voltaje de entrada[V]	5 a 32
Salida[V]	0.8 a 30
Corriente máxima de entrada[A]	5
Potencia máxima de salida[W]	75
Temperatura de trabajo[°C]	-40 a 85
Eficiencia[%]	95
Precio[\$]	5

Necesario para reducir el voltaje a 5V y así poder alimentar los multiplexores.



**Figura 5.19.** Regulador para alimentar los multiplexores.

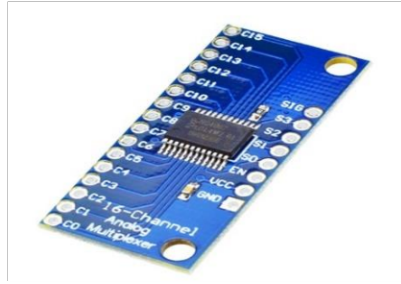
[30]

## MULTIPLEXORES (CD74HC4067)

**Tabla 5.20.** Parámetros y características de los multiplexores

Parámetro	Valor
Tipo de entradas a multiplexar	Analógicas
Número de entradas a multiplexar	16
Entradas digitales de control	4
Alimentación[VDC]	-0.5 a 7
Voltaje de entrada y salida[VDC]	0 a VCC
Precio[\$]	5

Adecuados por el nivel de operación cercano a 5V y útil para realizar el monitoreo de todos los paneles y baterías continuamente al permitir tener 16 entradas analógicas por cada puerto respectivo del PLC.



**Figura 5.20.** Multiplexores.

[18]

### PARARRAYOS (INGESCO PDC 3.1)

**Tabla 5.21.** Parámetros y características del pararrayos

<b>Características</b>
100% eficacia en descarga.
Nivel de protección clasificado de muy alto.
No ofrece resistencia al paso de la descarga.
Garantía de máxima durabilidad.
Conserva todas sus propiedades técnicas iniciales después de cada descarga.
No es fungible.
No necesita alimentación externa.
Garantía de funcionamiento en cualquier condición atmosférica.
Alta resistencia a la temperatura (125°C).
Alta resistencia a la intemperie y atmósferas corrosivas.
Sin mantenimiento.
Precio [\$]: 1000

Equipo de protección contra rayos. La principal justificación del uso del modelo es que ya ha sido adquirido, pero cuenta con características ideales para el sistema como la garantía de funcionamiento en cualquier condición atmosférica, la no necesidad de mantenimiento o la eficacia del 100% en descarga.



**Figura 5.21.** Pararrayos.

[31]

## ANEXO III. ANÁLISIS DE COSTOS DE LOS EQUIPOS INSTALADOS EN EL PROYECTO

A continuación, se presenta un listado con los costos y cantidad de cada uno de los equipos y elementos instalados por separado para lograr los objetivos de control y el sumatorio del costo total.

**Tabla 5.22.** Detalle de los costos de los equipos y elementos instalados.

Equipo	Modelo	Precio c/u	Cantidad	Precio total
Pararrayos	INGESCO PDC 3,1	1000	1	1000
PLC	SIEMENS S7-1200 CPU DC/DC/RELÉ+Módulos	950	1	950
Inversor para alimentar PLC	POWER INVERTER UKG	37.5	1	37.5
Relé de fase	SVR1000 AD220	35	3	105
Relé de conmutación	CAMSCO MK2P-I	15	3	45
Regulador de 5V	DZS ELEC 5864305383	5	1	5
Multiplexores	CD74HC4067	5	4	20
Servicio de Internet+IP pública	Ultralink	45	1	45
Rollo de 100m cable potencia	6AWG	175	2	350
Rollo 100m cable control	20AWG	19	7	133
37m cable puesta a tierra	2/0AWG	444	1	444
Varillas puesta a tierra	-	12	5	60
Cable Ethernet 100m	-	120	1	120
Manguera	-	5	1	5
<b>Subtotal</b>				3319.5
<b>Reserva</b>				663.9
<b>Total</b>				3983.4
<b>Total estimado</b>				29193.4

## ANEXO IV. EVIDENCIAS DEL PROCESO DE ARMADO Y CONEXIÓN DEL TABLERO ELÉCTRICO DE CONTROL Y SUS CONEXIONES

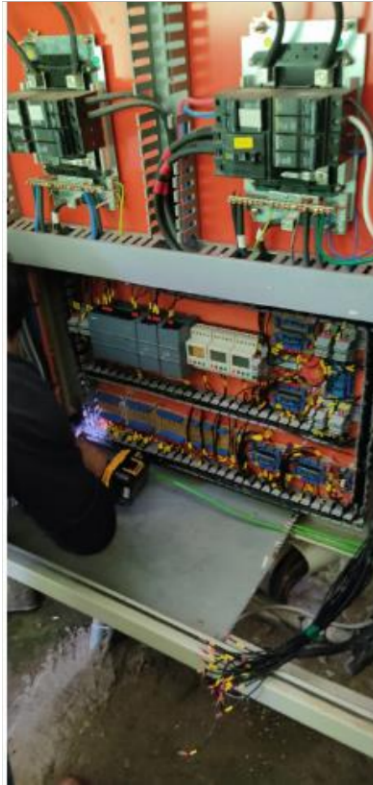


**Figura 5.22.** Colocación del controlador y sus módulos de expansión, los relés de fase, las placas de divisoras de voltaje y los multiplexores en el tablero eléctrico.



**Figura 5.23.** Colocación de las borneras de control en el Riel Din.





**Figura 5.24.** Instalación del tablero de control dentro del tablero eléctrico grande donde se encuentra el tablero eléctrico de potencia.



**Figura 5.25.** Mediciones previas de voltaje en los paneles para identificar la polaridad de sus terminales en cada uno de ellos para su posterior conexión.



**Figura 5.26.** Conexión del cableado proveniente de las baterías y con los cables de color azul y rojo provenientes de los paneles solares que faltaban conectar a las dos primeras placas divisoras de voltaje.

## **ANEXO V. VIDEO DE COMPROBACIÓN DE LA TRANSFERENCIA AUTOMÁTICA ENTRE LAS FUENTES DE ALIMENTACIÓN DE LA PROPIEDAD Y MONITOREO REMOTO**

<https://www.youtube.com/watch?v=wMCFNqsN2pl>