



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**

**“ESTUDIO DE VIABILIDAD TÉCNICA PARA CONVERTIR EL  
EDIFICIO 15 A – FIEC EN UN EDIFICIO INTELIGENTE”**

**INFORME DE MATERIA INTEGRADORA**

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERA/O EN ELECTRICIDAD ESPECIALIZACIÓN  
POTENCIA**

**KATHERIN VERÓNICA CAMPOVERDE LALANGUI**

**ROBERTO EFRAÍN CASTILLO MIRANDA**

**GUAYAQUIL – ECUADOR**

**AÑO: 2017**

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero expresar mi gratitud especialmente a Dios, cuyo amor se ha manifestado en mí, en los momentos más difíciles y también en los más gratos. Más de una vez sentí desvanecer, pero sus brazos fueron mi mayor refugio.

Agradezco a mis padres, Lucia y Carlos (+) y a mis hermanos, quienes en conjunto fueron mi motor, mi motivo de lucha. La felicidad de ellos es el complemento de la mía.

En mi paso por ESPOL conocí a 4 personas de calidad; que se han vuelto mis amigos y personas especiales, para ellos mi gratitud y mejores deseos.

Finalmente agradezco a mis profesores por su don de enseñanza.

**Katherin Verónica Campoverde Lalangui**

Agradezco a Dios por darme las fuerzas necesarias para poder culminar mi carrera universitaria.

Agradezco a mis padres, Efraín y Anita y, en especial a mi abuelita Emilia (+) que estuvo siempre conmigo cuando yo más la necesitaba.

Agradezco a mi esposa, Rosita, por todo el amor, paciencia y apoyo incondicional brindado, por estar conmigo en las buenas y en las malas y también por regalarme la dicha de tener una hermosa hija, Mirelly, que se ha convertido en mi motor de empuje y la que inyecta los deseos de superación.

Agradezco a nuestro profesor coordinador de materia integradora, Ph.D. Sífifo Falcones y a nuestro profesor co-evaluador, M.Sc Ángel Recalde, por el conocimiento, tiempo y paciencia brindados.

**Roberto Efraín Castillo Miranda**

## DEDICATORIA

Dedicado de manera especial a la memoria de mi padre Carlos Campoverde, quien fue ejemplo de lucha y perseverancia para mí. Aún en su batalla más difícil, su último gesto tan solo denotaba alegría.

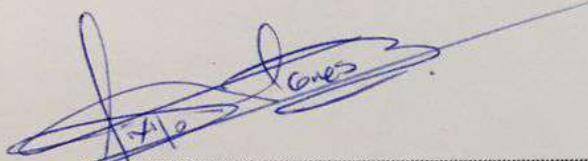
**Katherin Verónica Campoverde Lalangui**

El presente proyecto lo dedico a mi padre, que siempre con sus buenos ejemplos y valiosos consejos supo inculcar en mí buenos hábitos y costumbres. A él le digo que por fin el sueño de ver a su hijo graduado se hizo realidad.

Con un amor inmenso, también dedico este proyecto a mi abuelita Emilia (+), y le digo que su esfuerzo valió la pena. No existe palabra en el mundo que pueda describir el profundo agradecimiento que siento por ella.

**Roberto Efraín Castillo Miranda**

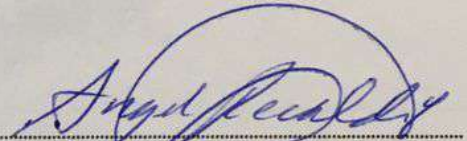
## TRIBUNAL DE EVALUACIÓN



---

**Ph.D. Sífifo Falcones Zambrano**

**PROFESOR EVALUADOR**



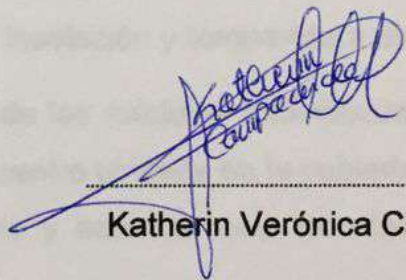
---

**M.Sc. Ángel Recalde Lino**

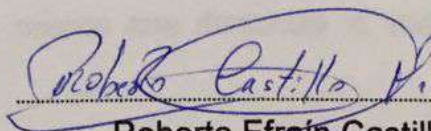
**PROFESOR EVALUADOR**

## DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad y la autoría del contenido de este Trabajo de Titulación, nos corresponde exclusivamente; y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"



Katherin Verónica Campoverde Lalangui



Roberto Efraín Castillo Miranda

## RESUMEN

El presente proyecto realiza la simulación de un sistema eléctrico propuesto que integra funcionalidades de control, monitoreo, medición y gestión automática de carga. Dicho sistema propuesto tiene como finalidad ser implementado en el edificio 15 A perteneciente a la Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación (FIEC).

Con el fin de reducir el consumo de energía eléctrica proveniente de la red eléctrica de distribución dentro del Campus Prosperina, se ha propuesto la incorporación de fuentes de energía renovables utilizando, en este caso, paneles fotovoltaicos que permitirán suplir una demanda aproximada de 100 kW pico. La cantidad de potencia suministrada dependerá del nivel de insolación y temperatura diarios.

Se plantea que la instalación física de los módulos fotovoltaicos, con su respectiva estructura liviana de soporte, se encuentre ubicada en la cubierta del edificio 15 A, ya que existe suficiente área disponible y además, esto no afectaría la estética del mencionado edificio.

Para la simulación del sistema propuesto se ha considerado la incorporación de elementos existentes en el edificio, tales como: equipo electrógeno, UPS's y tableros de distribución, todo esto con la finalidad de reducir costos de implementación.

Para simular el comportamiento del sistema propuesto ante diferentes escenarios, se diseñó una interfaz de control en el software LabVIEW de la empresa National Instruments. Se pudo obtener respuestas del sistema de manera instantánea gracias al simulador de tiempo real OPAL-RT, mismo que dinamiza la interacción entre el software y el operador del sistema.

Los resultados matemáticos obtenidos fueron satisfactorios ya que es evidente la reducción de energía proveniente desde la red principal o desde el sistema electrógeno, respectivamente. Sin embargo, la implementación real del proyecto, económicamente, no es factible debido al elevado costo de los paneles solares y de los inversores con reguladores tipo MPPT. Además, debido al uso no intensivo que se le da al edificio 15 A, en la actualidad la inversión requerida no es justificable.

## ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO .....	ii
DEDICATORIA .....	iii
TRIBUNAL DE EVALUACIÓN .....	iv
DECLARACIÓN EXPRESA.....	v
RESUMEN.....	vi
ÍNDICE GENERAL.....	vii
CAPÍTULO 1 .....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Presentación del problema.....	2
1.2 Objetivo General.....	3
1.3 Objetivos Específicos. ....	3
1.4 Metodología.....	4
1.5 Justificación.....	5
1.6 Alcance.....	6
CAPÍTULO 2.....	7
2. DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE EDIFICIOS INTELIGENTES (SMART BUILDINGS) Y SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A RED. ....	7
2.1 Tablero de Transferencia Automática.....	8
2.2 Energía Solar Fotovoltaica. ....	9
2.2.1 Módulo o Panel Fotovoltaico .....	9
2.2.2 Baterías .....	10
2.2.3 Regulador o Controlador de carga .....	12
2.2.4 Inversor.....	13
2.3 Aplicación de los Sistemas Fotovoltaicos.....	15
2.3.1 Sistemas Individuales de Corriente Continua (CD)	

Para aplicaciones domésticas .....	16
2.3.2 Sistemas Individuales de Corriente Alterna (CA)	
Para Aplicaciones Domésticas .....	17
2.3.3 Sistemas Centralizados Aislados de la Red	
Eléctrica Pública .....	17
2.3.4 Sistemas Centralizados Conectados a la Red	
Eléctrica Pública .....	18
2.3.5 Sistemas Fotovoltaicos Híbridos .....	19
2.4 Niveles de Irradiación en Ecuador.....	20
2.5 Normas para el Control de Calidad en la Fabricación de	
Paneles Fotovoltaicos. ....	22
2.6 Simulación en Tiempo Real.....	24
2.6.1 OPAL-RT Technologies.....	24
2.6.2 Beneficios de la Simulación en Tiempo Real.....	25
CAPÍTULO 3.....	27
3. INFRAESTRUCTURA Y SISTEMA ELÉCTRICO DE LA FIEC. ....	27
3.1 Infraestructura de la FIEC.....	27
3.1.1 Infraestructura del Edificio 15 A.....	27
3.1.2 Infraestructura del Edificio 15 .....	29
3.1.3 Infraestructura del Edificio 16 C.....	29
3.1.4 Infraestructura del Edificio 16 AB .....	30
3.1.5 Infraestructura del Edificio 24 A.....	31
3.2 Sistema Eléctrico de la FIEC.....	32
3.2.1 Transformador de Distribución Tipo Padmounted .....	32
3.2.2 Cuarto Eléctrico de Distribución Principal.....	33
3.2.3 Descripción del Sistema de Respaldo .....	35
3.3 Levantamiento Total de Cargas del Edificio 15 A .....	39
3.4 Área Disponible en la Terraza del Edificio 15 A.....	40
3.5 Dimensionamiento del Sistema Fotovoltaico .....	42



3.6	Simulación del Sistema Eléctrico Propuesto .....	43
3.6.1	Tablero de Paralelismo Automático (TPA) .....	47
3.6.2	Transformador Trifásico Padmounted (600 kVA) .....	49
3.6.3	Sistema Fotovoltaico con Inversor para Conexión a Red.	49
3.6.4	Generador Diésel FG WILSON .....	52
3.6.5	Representación de la Curva Diaria del Sistema de Respaldo del Edificio 15 A .....	54
3.6.6	Representación de los Medidores de Voltaje, Corriente y Potencia Activa Utilizados en el Sistema Eléctrico Propuesto.....	57
3.7	Interfaz de Control Diseñada con el Software LabVIEW .....	58
3.7.1	Panel de Control Principal .....	58
3.7.2	Medidores.....	59
3.7.3	Diagrama Unifilar del Sistema .....	59
3.7.4	Sistema de Vigilancia y Seguridad .....	60
3.7.5	Características de los Elementos del Sistema.....	60
3.7.6	Historial de Eventos.....	61
3.7.7	Impresión de Reportes .....	62
3.8	Protocolo de Comunicación OPC UA .....	62
CAPÍTULO 4.....		63
4.	RESULTADOS.....	63
4.1	Caso 1: Simulación de la Red Principal y el Sistema Fotovoltaico Funcionando Correctamente.....	64
4.2	Caso 2: Simulación del Sistema Electrónico y del Sistema Fotovoltaico Funcionando Correctamente.....	67
4.3	Caso 3: Simulación de la Red Principal Desenergizada y Falla Repentina del Sistema Electrónico mientras se Encontraba Operando con el Sistema Fotovoltaico.....	69
4.4	Costo Estimado del Sistema Fotovoltaico Propuesto.....	71

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES ..... 72  
BIBLIOGRAFÍA ..... 75  
ANEXOS ..... 77

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN.

“El mundo es un motor que gira a base de electricidad”, la energía eléctrica es fundamental para el desarrollo de la sociedad. Su uso trasciende medios, es un recurso indispensable en hogares, oficinas, hospitales, industrias y en los diversos campos laborales, gran parte de la tecnología funcionan con este suministro. Lo cual enfatiza el valor de nuestras fuentes de energía, y el cuidado de su consumo innecesario.

Las infraestructuras han sido modificadas en estas últimas décadas con fin de optimizar el uso de la energía y mejorar su desempeño [1]. Dando apertura al concepto de edificio inteligente.

Los edificios inteligentes, cuentan con sistemas automatizados que permite la independencia del mismo y la optimización de sus recursos energéticos, buscando siempre brindar un ambiente de confort a sus habitantes.

Con más de cinco millones de edificios comerciales solo en los Estados Unidos, cada año se desperdicia, en promedio, el 30 por ciento de la energía total [11].

A fin de garantizar que un edificio esté preparado para el futuro, necesita adoptar una arquitectura de referencia que abarque las partes interesadas, los procesos operativos, el mantenimiento, la tecnología y la sostenibilidad [11].

Las redes eléctricas inteligentes, “*Smart Grids*”, aseguran la eficiencia del servicio eléctrico gracias a que permiten la comunicación entre los diferentes sistemas de generación, transmisión, distribución y consumo. Para ello es necesario el control del gasto de energía que ejercen los usuarios.

Los medidores inteligentes permiten realizar la medición, registro y almacenamiento de la información sobre el consumo de energía, dicha información es enviada hacia un concentrador de datos en tiempo real, para ser evaluados por la empresa que presta el servicio eléctrico. Lo que permite la

interacción de los procesos del servicio eléctrico para resultados óptimos, convirtiendo una red convencional en una red distribuida y bidireccional tal como se muestra en la figura 1.1.



**Figura 1.1: Esquema de funcionamiento de un medidor inteligente [18]**

## 1.1 Presentación del Problema

A pesar de que la FIEC posee profesores y forma profesionales con sólidos conocimientos en las áreas antes mencionadas y, en especial, en materia de domótica e inmótica, no posee ni un solo edificio que permita controlarse de manera autónoma, es decir, no posee un solo que pueda catalogarse como un “edificio inteligente” y que sirva de insignia para la facultad.

Es de conocimiento general que el consumo de energía eléctrica de la facultad se incrementa de forma considerable debido al uso diario de equipos acondicionadores de aire, luminarias de alumbrado general y específico, UPS’s, computadoras y proyectores.

De manera específica, en el edificio 15 A – FIEC existen algunos inconvenientes, tales como:

- Consumo innecesario de energía en alumbrado y aire acondicionado en aulas vacías.

- No existen planillas ni un historial de registro de consumo de energía eléctrica.
- Cuando existe alguna falla exterior o algún mantenimiento en determinados sectores, el alumbrado y los proyectores de las aulas quedan inhabilitados.
- Sólo existe 2 UPS´s de potencia que brindan soporte de energía a las computadoras del área administrativa en caso de “apagones eléctricos”.
- No existe un registro de mantenimiento o detección de fallas en circuitos de acceso electrónicos (cerraduras magnéticas).
- El edificio 15 A – FIEC consume energía eléctrica proveniente de la red eléctrica pública y no cuenta con sistemas alternativos de generación eléctrica.

La FIEC, como facultad que orienta y lidera en temas de energías renovables, ahorro energético, avances tecnológicos y por los inconvenientes mencionados anteriormente, se hace necesario que las autoridades pertinentes tomen en consideración la necesaria transformación tecnológica del edificio en cuestión.

## **1.2 Objetivo General**

Analizar la viabilidad técnica para convertir el Edificio 15A-FIEC en un “Edificio Inteligente”, que cumpla con todas las exigencias normalizadas de seguridad, comodidad y ahorro energético y que, además, sirva de modelo para los demás edificios dentro del campus Espol.

## **1.3 Objetivos Específicos**

- Analizar, en base a un estudio de Calidad de la Energía, si existen problemas con el nivel de cargabilidad del transformador de distribución del Edificio 15A-FIEC, porcentaje de reserva, posibles fluctuaciones de voltaje y de frecuencia, consumo real de energía, factor de potencia y presencia de armónicos en el sistema. Todo esto con el objetivo de

brindar soluciones en caso de que exista problema con alguno de los parámetros antes mencionados.

- Realizar el estudio pertinente para verificar la posibilidad de alimentar determinados circuitos de alumbrado y circuitos de control de acceso electrónicos del Edificio 15A-FIEC con energía proveniente de paneles solares, para disminuir el consumo de energía eléctrica proveniente de la red pública y aumentar el grado de confiabilidad del sistema de seguridad.
- Determinar las características de los equipos y materiales necesarios para la implementación del proyecto propuesto, y evaluar el costo/beneficio, tomando en consideración el ahorro de energía que anualmente traería consigo un proyecto de este tipo.
- Realizar la simulación del sistema propuesto y verificar que controla de manera eficiente la operación de los controles de acceso electrónicos, sistema de cámaras de seguridad, iluminación general, ventilación y el sistema alternativo de generación eléctrica.

#### **1.4 Metodología**

La metodología que utilizaremos para la realización del presente proyecto estará comprendida en 4 etapas:

En la primera etapa se realizará un estudio de calidad de energía en el Edificio 15 A-FIEC. Este estudio permitirá determinar la situación eléctrica actual de dicho edificio.

Para realizar dicho estudio se instalará un equipo analizador de redes eléctricas de marca Fluke serie 435 II. Los parámetros a analizar son los siguientes: voltajes, corrientes, frecuencia, potencia, demanda de energía, factor de potencia y distorsión armónica de voltajes y de corrientes.

Luego, se utilizarán los datos de los parámetros anteriores para determinar las posibles correcciones, en caso de ser necesario.

En la segunda etapa analizaremos las características básicas y necesarias que debe poseer un edificio inteligente, se considerarán las tendencias actuales y

modernas que se estén implementando en todo el mundo, haciendo uso de información pública referida a construcciones de este tipo, normas aplicadas y fabricantes y/o proveedores de productos de automatización en el área de la inmótica.

En la tercera etapa se realizará el diseño y dimensionamiento del sistema eléctrico y electrónico que permitirá la comunicación entre los diferentes equipos y elementos que conformarán la red inteligente (Smart Grid).

Además, se realizará la modelación y simulación en tiempo real del sistema propuesto. La modelación y simulación de la red propuesta se la realizará mediante las opciones de Matlab/Simulink y el compilador RT-LAB y serán comprobadas en el simulador de tiempo real OPAL-RT.

En la cuarta y última etapa, se realizará el presupuesto estimado para la implementación del proyecto.

### **1.5 Justificación**

Los relevantes cambios climáticos de las últimas décadas han sido los principales promotores en concientizar el cuidado del medio ambiente. En la actualidad el ahorro energético es una de las preocupaciones de mayor interés a nivel mundial, motivo por el cual las últimas tendencias tecnológicas buscan ser amigables con el medio ambiente.

Los edificios inteligentes siendo fuentes de innovación tecnológica, tienen como objetivos: optimizar el consumo de energía eléctrica, brindar un ambiente de calidad y seguridad a sus ocupantes.

En este proyecto se busca adaptar las características de un edificio inteligente “Smart Building” al edificio 15 A que parte de la Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación, mediante un monitoreo a través de sensores, cámaras de seguridad y equipos de medición, que permitan llevar un control centralizado de lo que ocurre en dicho edificio.

Basado en un enfoque de disminuir el impacto ambiental del consumo inapropiado de energía eléctrica, ya que muchas de las veces las aulas después de clases quedan con los acondicionares de aire e iluminarias encendidas sin

que nadie se hallase haciendo uso de estos recursos. Además, se propone implementar un sistema de generación fotovoltaica, con la capacidad de suministrar las iluminarias del edificio.

Para ello se diseñará un control con interfaz gráfica que sea amigable con el usuario, de fácil entendimiento, visualización y rápida actuación.

### **1.6 Alcance**

Con el presente proyecto se espera obtener un diseño eléctrico detallado del sistema automatizado de control energético y de eficiencia del edificio 15 A - FIEC, especificación de las características técnicas de los equipos y componentes que conformarán dicho sistema de control y de producción de energía renovable, dimensionamiento y localización del área factible para la ubicación de paneles solares, especificaciones y requerimientos de los protocolos de comunicación. Además, haciendo uso del software LabVIEW, se integrarán las funcionalidades de control, monitoreo, medición y gestión automática de carga para el mencionado edificio.

Por último, se realizará una simulación en tiempo real utilizando el Simulador OPAL-RT, que determinará el comportamiento y respuesta del sistema propuesto.



## CAPÍTULO 2

### 2. DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE EDIFICIOS INTELIGENTES (SMARTS BUILDINGS) Y SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A RED

Un edificio inteligente es la integración de edificación, tecnología y sistemas de alimentación [11]. Estos sistemas involucran aspectos importantes, tales como:

- Monitoreo permanente del estado de los componentes mecánicos y eléctricos (persianas, interruptores, red eléctrica principal, iluminación general o individual, etc.) que conforman el sistema domótico.
- Ahorro del consumo de energía proveniente de la red eléctrica pública y de red no convencional (sistema fotovoltaico, sistema eólico, etc.).
- Sistema íntegro de seguridad y vigilancia interior y exterior.
- Manejo automático y sistema de gestión de carga.

La figura 2.1 muestra la clasificación del sistema de automatización de un edificio inteligente.

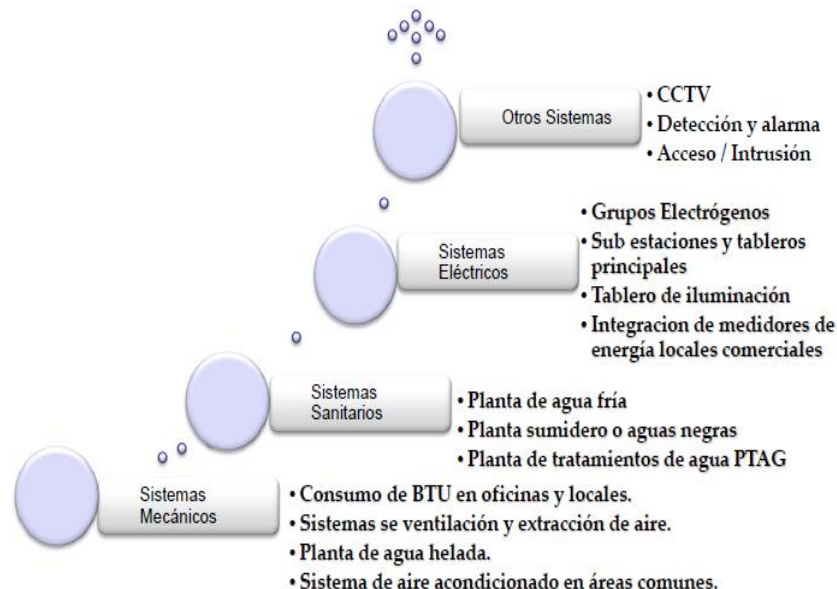


Figura 2.1: Filosofía del sistema de automatización de un edificio inteligente [13]

## 2.1 Tablero de Transferencia Automática:

El tablero de transferencia automática permite conmutar entre la fuente principal, proveniente y el equipo electrógeno de respaldo para poder alimentar de manera ininterrumpida al sistema de respaldo conformado por los UPS tal como se muestra el esquema en la figura 2.2.

El esquema actual de conexión del sistema eléctrico del edificio 15 A se puede ver en el ANEXO 1. La figura 2.3 muestra el tablero de transferencia automática del edificio 15 A.

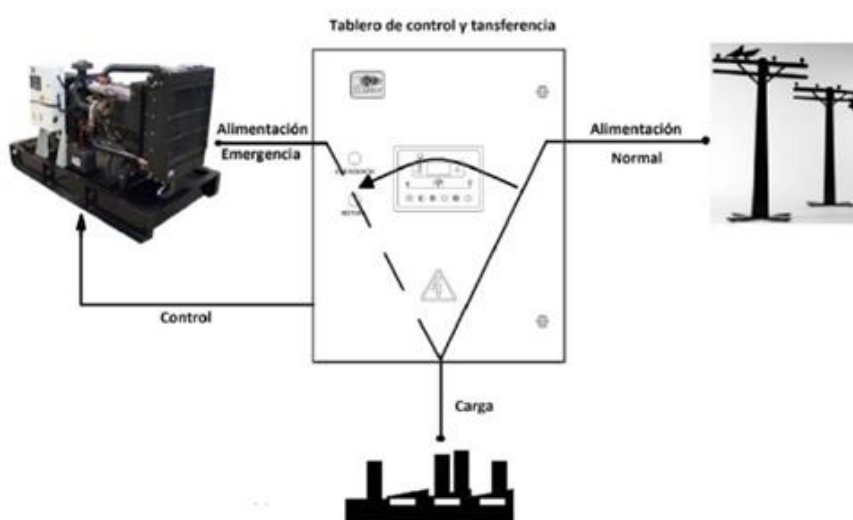


Figura 2.2: Esquema de funcionamiento de un tablero de transferencia automática [15]



Figura 2.3: Tablero de transferencia automática del edificio 15 A

## 2.2 Energía Solar Fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica se define como la captación de la energía proveniente del sol la cual es convertida en energía eléctrica de manera directa. La transformación de esta energía se la realiza utilizando módulos conformados por celdas solares, mejor conocidos como paneles solares [8].

El sistema completo que sirve para la transformación y aprovechamiento de la energía solar fotovoltaica se lo conoce como “sistema fotovoltaico” y está diseñado para cumplir tres funciones importantes que son: transformar, almacenar y controlar de manera eficiente el consumo de energía eléctrica. Para lograr todo esto se utiliza equipos diseñados específicamente, tales como:

- El módulo o panel fotovoltaico
- Regulador o controlador de carga
- Baterías
- Inversor

### 2.2.1 Módulo o Panel Fotovoltaico

Los módulos fotovoltaicos son denominados también paneles solares debido a su diseño a manera de placas rectangulares que se forman al unir un conjunto de celdas fotovoltaicas o solares, se encuentran protegidas por una estructura de vidrio con marco de aluminio. Esta agrupación de celdas fotovoltaicas permite la transformación de la energía solar en energía eléctrica [5].

Una celda fotovoltaica está construida en base a minerales semiconductores, que cuando la luz solar golpea sobre ellos se crea una corriente eléctrica. El tamaño de una celda solar es aproximadamente 10x10 centímetros y es capaz de producir un vatio de potencia en condiciones de irradiación favorable.

El marco de aluminio y vidrio tiene la función principal de soportar y proteger de las inclemencias del tiempo al conjunto de celdas solares. El vidrio es anti reflejante para aprovechar al máximo la captación de energía.

Existe en el mercado una variedad de celdas solares que se diferencian por el tipo de material utilizado para su fabricación, tales como:

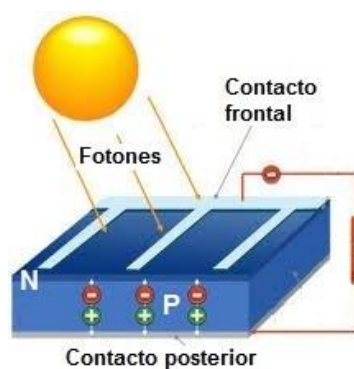
- MÓDULOS DE SILICIO MONOCRISTALINO: Este tipo de módulos están estructurados por cristales de silicio, de manera que toda su red cristalina es homogénea y se caracteriza por la solidificación de los átomos de silicio en tres direcciones espaciales perpendiculares entre sí, y sin imperfecciones [10]. Debido a su buen rendimiento y gran duración los módulos de silicio cristalino son muy utilizados, motivo por el cual su precio se incrementa en comparación con los otros tipos de módulos.
- MÓDULOS DE SILICIO POLICRISTALINO: A diferencia de los módulos de silicio monocristalino, los módulos de silicio policristalino presentan un proceso de cristalización no homogéneo, motivo por el cual su calidad y costo es inferior.
- MÓDULOS DE SILICIO AMORFO: Este tipo de módulos son de eficiencia inferior que los anteriores por lo cual su precio es reducido, además son muy ligeros y delgados. Pueden fabricarse de tipo flexible por lo que pueden adoptar diferentes formas si se lo desea. En este tipo de módulos no existe red cristalina alguna ya que el material es vaciado en moldes en finas capas.

La potencia nominal de salida de cada módulo fotovoltaico viene expresada en Watios-pico (Wp), lo cual indica la potencia máxima que se puede obtener en condiciones óptimas de operación (irradiación y temperatura).

Para la selección del tipo y capacidad del módulo fotovoltaico es necesario conocer las características de la instalación o sistema fotovoltaico que se desee construir, tales como radiación existente en el lugar de instalación y el consumo de energía eléctrica esperado. La figura 2.4 (a) y (b) muestra una celda solar típica y la representación de su composición, respectivamente.



(a)



(b)

Figura 2.4: (a) Celda solar [5]. (b) Composición de una celda solar [7]

### 2.2.2 Baterías

Las baterías comprenden el equipo esencial que permite la acumulación de la energía captada por los paneles fotovoltaicos.

Las baterías utilizadas en sistemas fotovoltaicos están construidas especialmente para trabajar con ciclos de carga / descarga lentos, razón por la cual no es aconsejable adaptar al sistema algún otro tipo de batería que no cumpla con este propósito. Para usos fotovoltaicos es común el uso de baterías de plomo-ácido, aunque es más recomendable el uso de baterías tipo gel, como se muestra en la figura 2.5. Este tipo de baterías están compuestas de un electrolito gelificado (de esto se deriva su nombre) [6].

Debido a la naturaleza de su construcción interna, este tipo de baterías se caracteriza por ser selladas completamente, evitando la posibilidad de derrames de electrolito como es el caso de las baterías comunes que utilizan los vehículos. Además, otra ventaja es que pueden trabajar a altas o bajas temperaturas ya que disponen de placas y rejillas que tienen una buena resistencia a la corrosión debida a las reacciones químicas que se producen en su interior.

La capacidad que tiene una batería para entregar energía se expresa en amperios-hora (Ah). Esta capacidad es inversamente proporcional a la temperatura de operación.

El periodo de utilidad de una batería, es proporcional a los procesos de carga/descarga, es decir, que cuanto menos profundos sean estos ciclos, mayor será la duración de la batería [10].



**Figura 2.5: Batería de gel para aplicaciones fotovoltaicas [10]**

### 2.2.3 Regulador o Controlador de Carga

Es un dispositivo electrónico el cual permite controlar el flujo de corriente que producen los módulos fotovoltaicos hacia el banco de baterías, así como también el flujo de corriente que fluye desde las baterías hacia los diferentes equipos que utilizan la electricidad contenida en ellas. La figura 2.6 muestra la representación básica de un regulador de carga.

El principio de funcionamiento del controlador de carga permite monitorear constantemente el estado de la batería, es decir, si la batería se encuentra descargada, el controlador de carga permite que la corriente proveniente de los paneles fluya hacia la batería y la cargue completamente y, en el

momento que llega a este estado, interrumpe el flujo de corriente proveniente desde los paneles fotovoltaicos con el fin de no sobrecargar y sobrecalentar las baterías para que no se deterioren.

Los equipos controladores de carga pueden mostrarnos información en tiempo real de varios parámetros, tales como: valores instantáneos de voltaje y corrientes CC, nivel de carga de las baterías, alarma por inversión de polaridad, etc.



Figura 2.6: Esquema de funcionalidad de un controlador de carga [17]

#### 2.2.4 Inversor

Los equipos convertidores CC/CA, llamados inversores, son equipos electrónicos que permiten convertir los 12 o 24 voltios de corriente continua almacenados en las baterías, en voltaje de corriente alterna de 110 o 220 voltios como el que se usa en la red eléctrica convencional (figura 2.7 y 2.8). Todo inversor presenta características que son de vital importancia técnica. Estas características permiten al diseñador del sistema fotovoltaico poder elegir el modelo que mejor se ajuste a los requerimientos del diseño propuesto.

Todo inversor debe satisfacer los requisitos de las normas básicas de construcción tales como IEC 61683:1999 y UL458 u otras normas equivalentes aplicables y las normas de señalización y protección adecuada exigidas en la norma NEC-2010.

Las características fundamentales que debe poseer un inversor son las siguientes [NEC,2010]:

- Seguimiento automático del punto de máxima potencia MPPT.
- Salida de voltaje con onda senoidal pura.
- La eficiencia a potencia pico debe ser mayor al 90%.
- Poder operar en condiciones ambientales entre 0°C y 40°C de temperatura y entre 0°C y 85°C de humedad relativa.
- Especificación de la distorsión armónica total THD total < 2%.
- FP>0,96; entre el 25% y el 100% de la potencia nominal.
- Protección contra conexiones de polaridades inversas.
- En operación el ruido debe ser menor a 40 dB.
- Protecciones contra sobretensiones, voltajes y frecuencia fuera de rango
- Poseer interruptor para el encendido y apagado general del inversor.
- Especificación del voltaje nominal de entrada / salida.
- Todos los indicadores luminosos y dispositivos de señalización deben estar identificados para especificar la función que realizan.





Figura 2.7: Inversores de conexión a red marca Sunny [7]



Figura 2.8: Esquema de conexión de un sistema fotovoltaico [8]

### 2.3 Aplicación de los Sistemas Fotovoltaicos

Siempre debemos considerar que en todo sistema fotovoltaico la cantidad de potencia y energía que se puede obtener dependerá de la capacidad de generación, misma que es limitada por la cantidad y calidad de los paneles solares instalados así como de la capacidad de almacenamiento de las baterías instaladas [1].

Según la aplicación en particular que se planee para el Sistema Fotovoltaico, además de la cantidad y calidad de energía producida, a los sistemas fotovoltaicos se los puede clasificar en:

- Sistemas individuales de Corriente Directa (CD) para aplicaciones domésticas
- Sistemas individuales de Corriente Alterna (CA) para aplicaciones domésticas
- Sistemas centralizados aislados de la red eléctrica pública
- Sistemas centralizados conectados a la red eléctrica pública
- Sistemas Híbridos

A continuación, describiremos de forma breve cada uno de los sistemas mencionados anteriormente:

### 2.3.1 SISTEMAS INDIVIDUALES DE CORRIENTE CONTINUA (CD) PARA APLICACIONES DOMÉSTICAS

Los Sistemas Individuales de Corriente Continua (CD) son los más comunes en viviendas de áreas rurales cuyo consumo, por lo general, no es mayor a 100 W. Esto quiere decir que solamente se puede conectar lámparas y equipos que funcionen a 12 voltios de corriente continua por lo cual no se necesita un equipo inversor para utilizar este sistema.

Estos sistemas, por su simplicidad, representan el menor costo de inversión en sistemas fotovoltaicos (ver figura 2.9).

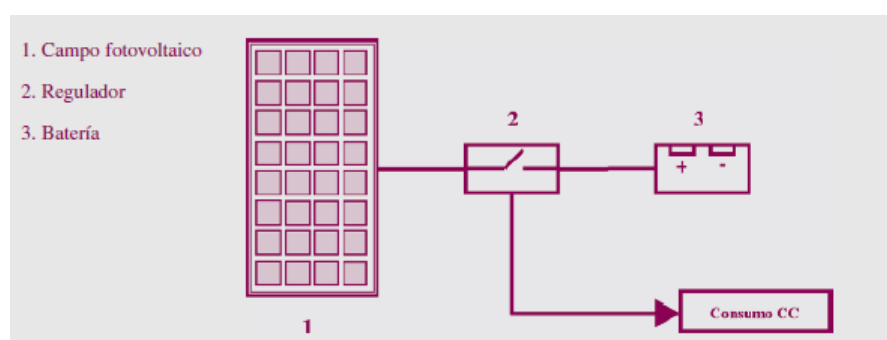


Figura 2.9: Esquema de un sistema fotovoltaico individual de corriente directa [1]

### 2.3.2 Sistemas Individuales de Corriente Alterna (CA) para aplicaciones domésticas

Los Sistemas Individuales de Corriente Alterna (CA) son muy similares a los Sistemas Individuales de Corriente Directa (CD) residencial, la única diferencia es que se necesita un equipo inversor para poder alimentar equipos que funcionen con corriente alterna a 50 o 60 Hz de frecuencia dependiendo la zona o país donde estos sistemas sean instalados.

Vale la pena mencionar que el sistema permite proveer energía tanto a 120 voltios de corriente alterna como 12 voltios de corriente continua, motivo por el cual el costo del sistema se incrementa ligeramente (ver figura 2.10).

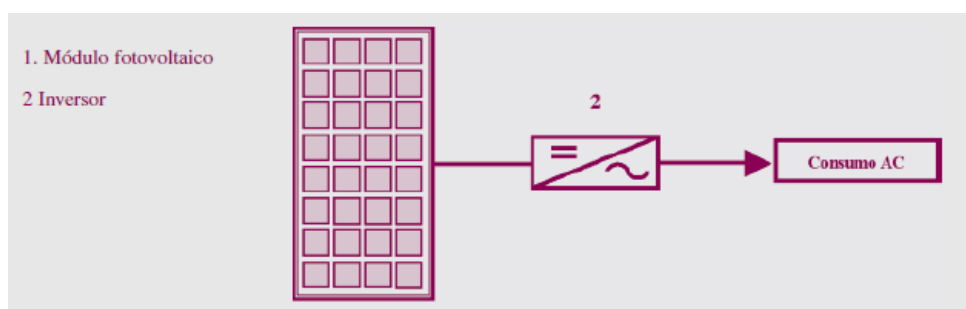
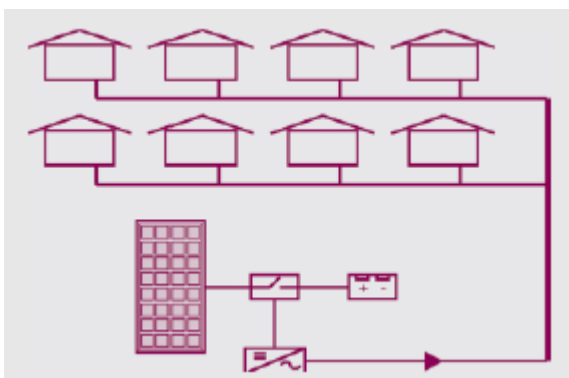


Figura 2.10: Esquema de un sistema fotovoltaico de corriente alterna [1]

### 2.3.3 Sistemas Centralizados Aislados de la Red Eléctrica Pública

Un Sistema Centralizado Aislado de la Red Eléctrica Pública es capaz de producir suficiente energía fotovoltaica para poder satisfacer una comunidad que se encuentre lejos de redes eléctricas de distribución pública.

Los Sistemas Fotovoltaicos Centralizados proveen mayor cantidad de energía que los sistemas fotovoltaicos individuales, optimizando el costo de energía producida [1].



**Figura 2.11: Esquema de una instalación fotovoltaica centralizada y aislada de la red pública [1]**

#### **2.3.4 Sistemas Centralizados Conectados a la Red Eléctrica Pública**

Los Sistemas Centralizados Conectados a la Red Eléctrica Pública proveen energía adicional a comunidades que ya cuentan con un sistema de distribución de energía eléctrica. Este tipo de generación se produce por inversión privada cuyo objetivo es la venta o reducción de la facturación mensual de la comunidad. La reducción de la facturación mensual también se puede ejecutar en instalaciones domésticas, comerciales o industriales que posean un sistema fotovoltaico (ver figura 2.12).

Las centrales solares que poseen instalaciones conectadas a red no poseen baterías ni reguladores ya que todo lo que produzcan lo deben verter a la red y, utilizan únicamente los módulos fotovoltaicos y el equipo inversor adecuado, ya que además deben de cumplir los siguientes requerimientos:

- Deben contar con medidores que registren la energía entregada y consumida.
- Sincronizar la onda de voltaje del inversor con la onda de voltaje de la red pues el inversor se comporta como un generador conectado en paralelo con el generador sincrónico que alimenta la red de manera convencional. Todo esto con el objetivo de evitar transitorios

que perjudiquen a la red y, sobre todo, a los consumidores que se encuentren conectados a ella.

- El inversor debe poseer un sistema de control avanzado que permita interrumpir o reanudar el suministro de energía proveniente de los paneles fotovoltaicos cuando su nivel de producción sea inferior o superior al mínimo voltaje CD requerido.

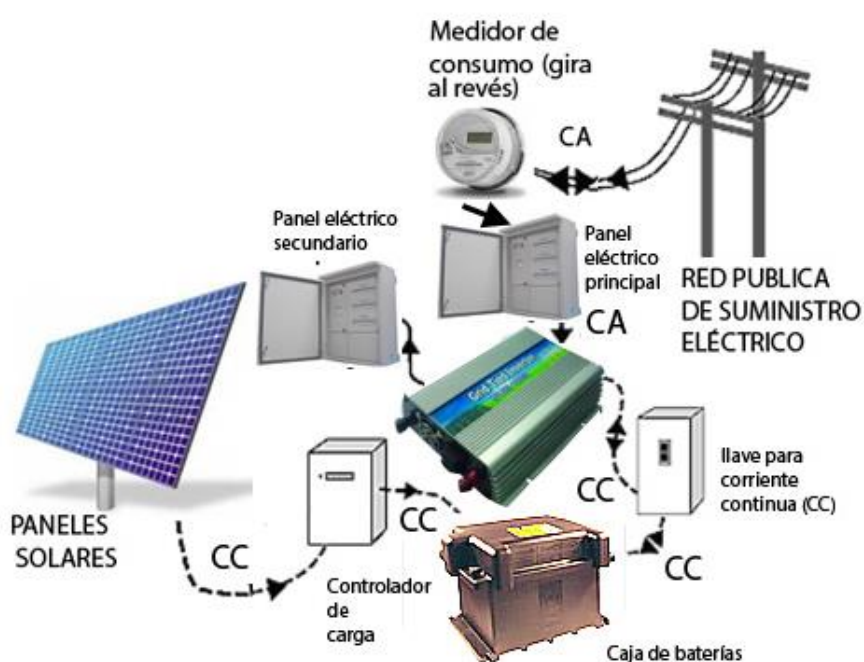


Figura 2.12: Esquema de una instalación fotovoltaica conectada a la red pública [8]

### 2.3.5 Sistemas Fotovoltaicos Híbridos

Los sistemas fotovoltaicos híbridos generalmente se refieren a la combinación de dos o más fuentes de entrada, ya que el sistema fotovoltaico puede estar integrado con generadores diésel, aerogeneradores, biomasa o alguna otra fuente de energía no renovable.

A continuación, se muestra la tabla 1 que describe las características típicas de los sistemas fotovoltaicos descritos [1]:

Tipo de Sistema	Capacidad	Costo estimado (USD)	Usos
Individual CD	50 – 100 W	600 – 2.000	- iluminación interna - radio - televisor pequeño
Individual CA	75 – 750 W	1.030 – 5.000	- iluminación interna y externa - radio - equipos de video - bombas de agua - teléfonos celulares
Centralizado aislado de la red	0,3 – 10 kW	3.560 – 50.000	- iluminación interna y externa - radio - equipos de video - bombas de agua - teléfonos celulares - máquinas y herramientas - equipos de refrigeración
Centralizado conectado a la red	10 kW -1 MW	75.000 – 750.000	- venta de energía a la red comercial

**Tabla 1: Características de los diferentes sistemas fotovoltaicos**

#### 2.4 Niveles de Irradiación en Ecuador

Se define como insolación a la cantidad de energía solar expresada en watts-hora que se proyecta sobre una superficie. La insolación está definida en unidades de Wh/m<sup>2</sup>.

Existe dos tipos de insolación, directa o difusa. La insolación directa se prolonga sobre cualquier superficie con un ángulo definido de incidencia, mientras la insolación difusa es aquella que se obtiene a partir de la difusión de los rayos solares en la atmósfera.

Se conoce como insolación global a la suma de las insolaciones directa y difusa.

En Ecuador el diseño de políticas, estrategias y medidas para incentivar el uso de energías renovables se encuentra a cargo del Consejo Nacional de

Electricidad, CONELEC (actual ARCONEL), mismo que ha elaborado el “Atlas Solar del Ecuador con fines de Generación Eléctrica” (figura 2.14) el cual fue elaborado por la Corporación para la Investigación Energética, CIE [3]. Para elaborar este Atlas el CONELEC se basó en información obtenida por el Laboratorio de Energía Renovable “NREL” de los Estados Unidos. El Atlas representa la cuantificación del potencial solar disponible en todo el territorio nacional; muestra las posibilidades de generación eléctrica, en base a mapas de insolación (isohelias). La figura 2.13 muestra una representación de dirección de los rayos solares.

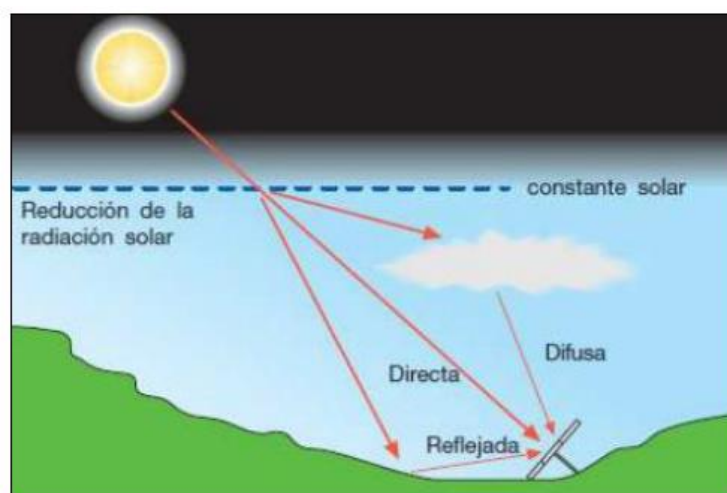


Figura 2.13: Representación de la dirección de los rayos solares [17]

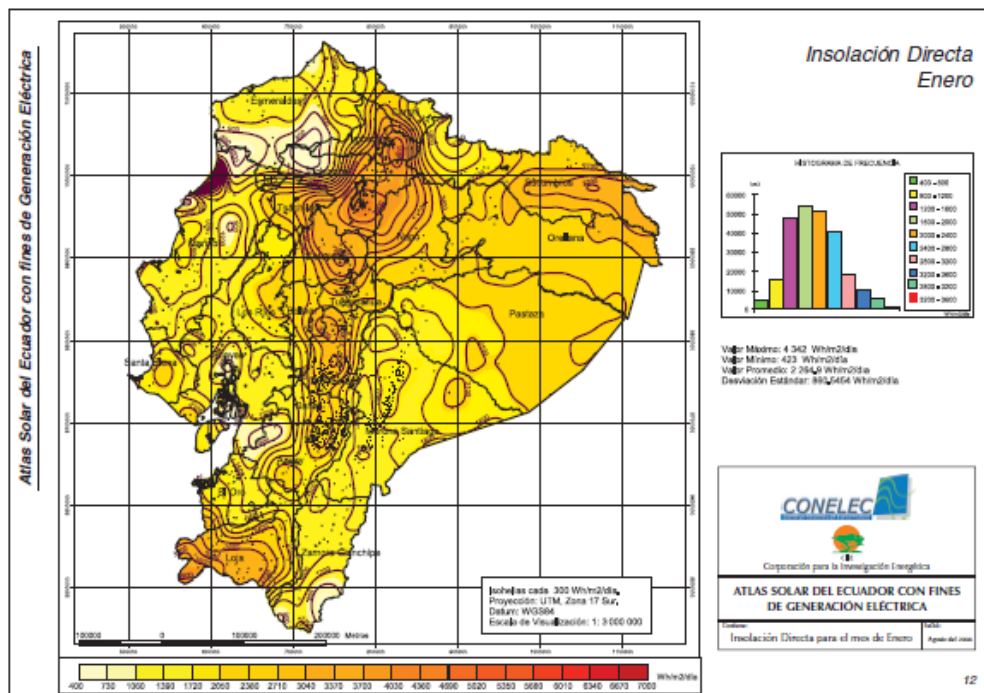


Figura 2.14: Atlas solar del Ecuador [3]

## 2.5 Normas para el Control de Calidad en la Fabricación de Paneles Fotovoltaicos

En Ecuador existen disposiciones establecidas que toman en consideración los requerimientos necesarios para las instalaciones fotovoltaicas. Dichas disposiciones han sido elaboradas por el Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC). Además, existen normas internacionales que regulan los ensayos que se deben realizar en los paneles fotovoltaicos para asegurar que cumplen rigurosamente con los requisitos de eficiencia energética, robustez mecánica, condiciones ambientales, de seguridad y conformidad [4].

Las normas que rigen las instalaciones fotovoltaicas y los ensayos que normalmente se realizan en paneles fotovoltaicos se describen en la tabla 2, que se muestra a continuación:



NORMA	DESCRIPCIÓN
N° CONELEC 001/13	"Participación de los generadores de energía eléctrica producida con recursos energéticos renovables no convencionales".
N° CONELEC 002/13	"Procedimientos de calificación y registro de los proyectos de generación de energías renovables no convencionales menores a 1 MW".
IEC 61215	"Calificación de diseño y aprobación tipo de módulos fotovoltaicos de silicio cristalino para uso terrestre."
IEC 61646	"Calificación de diseño y aprobación tipo de módulos fotovoltaicos de capa delgada para uso terrestre."
IEC 62108	"Calificación de diseño y aprobación tipo de módulos fotovoltaicos de concentración."
IEC 61730-1	"Calificación de seguridad de módulos fotovoltaicos de silicio cristalino para uso terrestre. Requisitos de construcción."
IEC 61730-2	Calificación de seguridad de módulos fotovoltaicos de silicio cristalino para uso terrestre. Requisitos de ensayos
UL 1703	Requisitos de seguridad eléctrica para módulos fotovoltaicos para USA y Canadá
UL 8703	Requisitos de seguridad eléctrica para módulos fotovoltaicos de concentración para USA.
IEC 61701	Ensayo por corrosión de niebla salina
IEC 60904-1	Medida de la característica Intensidad – Tensión
IEC 61345	"Ensayos con ultravioleta"
IEC 61829	Campos fotovoltaicos de silicio cristalino. Medida en campo de la característica IV (Corriente – Tensión)
IEC 62124	"Verificación de diseño de sistemas fotovoltaicos independientes."
IEC 60811	"Características físicas del cableado de uso en intemperie para instalaciones fotovoltaicas."

**Tabla 2: Normas de control de calidad para Sistemas Fotovoltaicos**

## 2.6 Simulación en Tiempo Real

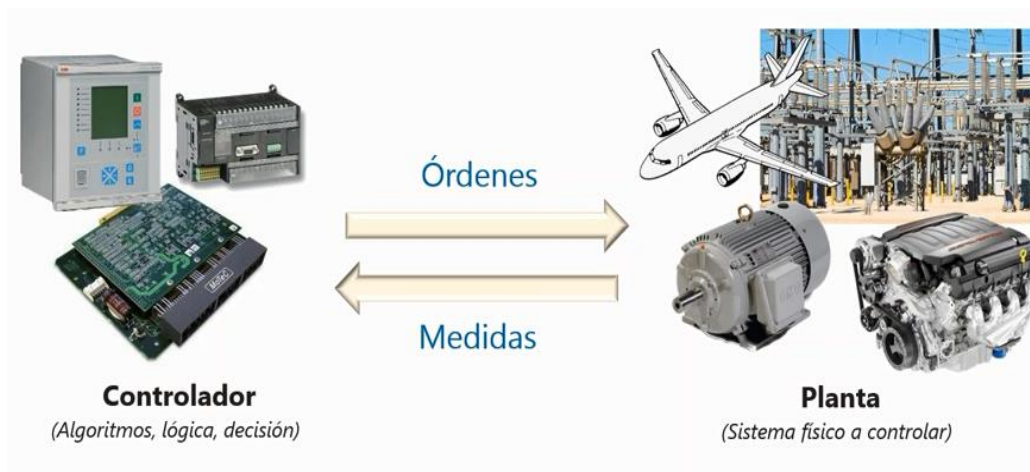
La simulación en Tiempo Real permite interactuar con sistemas simulados o reales dependiendo el alcance y la aplicación del proyecto que se desea ejecutar.

### 2.6.1 OPAL – RT Technologies

OPAL-RT TECHNOLOGIES es una Compañía fundada en 1997 en Montreal, Canadá y ofrece al mercado soluciones confiables, entre ellas:

- Simuladores de tiempo real aplicados a sectores: Energía, Aeronáutica, Automovilismo, Académico, etc.
- Simulación dinámica y acelerada con sistemas reales y componentes físicos.
- Compatibilidad con MATLAB/Simulink, PSS/e, PSIM, etc.
- Mediante la simulación se ahorra en los costos de producción de prototipos y se puede hacer modificaciones de diseño en cualquier momento y detectar fallos con antelación.

La **simulación fuera de línea** (offline) es aquella cuyo tiempo de muestra es diferente al del fenómeno real mientras que la **simulación en tiempo real**, el tiempo de muestra es exacto al del fenómeno real. Este tipo de tecnología combina software y hardware. La figura 2.15 muestra una representación de la interacción entre un controlador y una planta.



**Figura 2.15: Esquema de interacción entre un controlador y una planta en tiempo real [21]**

### 2.6.2 Beneficios de la Simulación en Tiempo Real

A continuación, se mencionan algunos de los beneficios que se obtiene cuando se realizan simulaciones utilizando simuladores de tiempo real:

- Nos permite, basado en un modelo matemático de representación, tener acceso a una red, una planta, un controlador que no está disponible físicamente, costo elevado, también por seguridad, etc.
- Es posible detectar fallos de diseño e implementación antes de invertir dinero en la construcción de un controlador o de un equipo específico.
- Podemos realizar pruebas ante diferentes situaciones posibles.
- Reducción de tiempo, costo y riesgo de operación.

La figura 2.16 muestra una imagen del simulador de tiempo real distribuido por la empresa OPAL-RT.

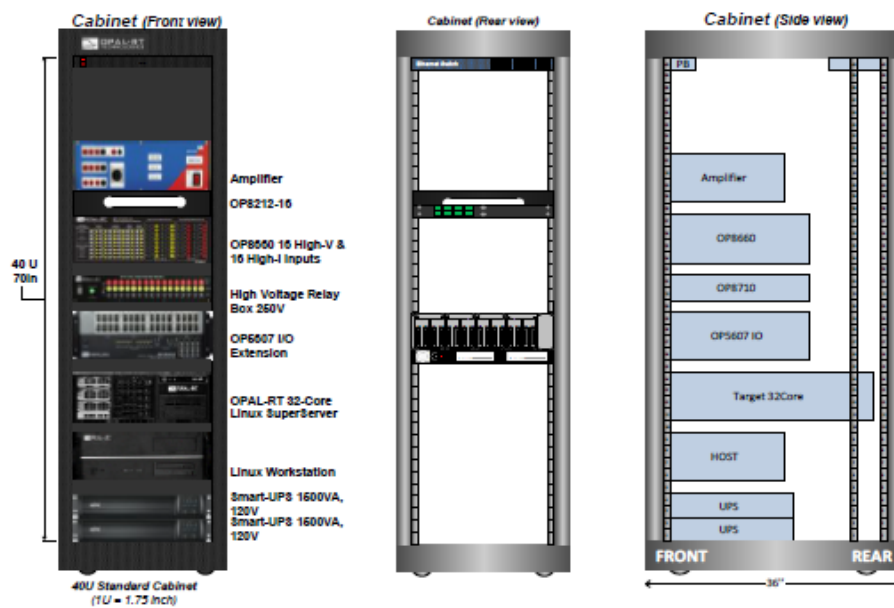


Figura 2.16: Vista frontal y lateral del simulador OPAL-RT [22]

## CAPÍTULO 3

### 3. INFRAESTRUCTURA Y SISTEMA ELÉCTRICO DE LA FIEC.

La Facultad de Ingeniería Eléctrica y Computación (FIEC), perteneciente a la Espol, es una facultad que forma excelentes profesionales en áreas técnicas y tecnológicas, tales como: electricidad, electrónica, telecomunicaciones, telemática y computación. Esta facultad posee la mayor cantidad de estudiantes y la mayor cantidad de área asignada para conjunto de oficinas administrativas, oficinas docentes, oficinas de representación estudiantil, aulas educativas y laboratorios.

#### 3.1 Infraestructura de la FIEC

La FIEC, se encuentra ubicada en el campus Gustavo Galindo y está conformada por 5 edificios que son:

- Edificio 15 A
- Edificio 15
- Edificio 16 C
- Edificio 16 AB
- Edificio 24 A

##### 3.1.1 Infraestructura del Edificio 15 A

El edificio 15 A fue construido con el objetivo de ser la sede administrativa de la facultad. En la figura 3.1 se presenta la entrada principal del edificio ya mencionado. Está formado por 3 pisos en los cuales se encuentran las siguientes áreas:

En el piso bajo se encuentra:

- Archivos Generales
- Auditorio
- Bar
- Bodega
- Oficina del Decano

- Oficina del Subdecano
- Oficinas del Centro de Emprendedores
- Oficinas de Profesores
- Sala del Consejo Directivo
- Salón de Exposiciones y Eventos Múltiples
- Secretaría Académica
- Secretaría Administrativa

En el primer piso alto se encuentran las siguientes áreas:

- Aulas 15A-01, 15A-02, 15A-03, 15A-04 y 15A-05
- Biblioteca
- Oficina de Gestión Estratégica
- Sala de Ayudantes
- Sala de Rack

En el segundo piso alto se encuentran las siguientes áreas:

- Laboratorio de Cisco
- Laboratorio de Digitales Básico
- Laboratorio de Ingeniería de Software / Sistemas Multimedia
- Laboratorio de Microcontroladores
- Laboratorio 1 de Programas Utilitarios
- Laboratorio 2 de Programas Utilitarios
- Laboratorio de Sistemas Digitales
- Laboratorio de Telecomunicaciones
- Sala de Rack



**Figura 3.1: Entrada principal del edificio 15A [9]**

### **3.1.2 Infraestructura del Edificio 15**

El edificio 15 es uno de los primeros edificios de FIEC, en la figura 3.2 se puede observar la entrada principal. Cuenta con áreas de:

- Oficina de la Academia CISCO-ESPOL
- Oficinas de profesores



**Figura 3.2: Acceso principal del edificio 15 [9]**

### **3.1.3 Infraestructura del Edificio 16 C**

El edificio 16 C está ubicado diagonal al edificio 15 A de la facultad, en la figura 3.3 se lo puede apreciar. Cuenta con las siguientes áreas:

- Academia Microsoft
- Departamento de Soporte Técnico
- Oficinas Administrativas de Maestrías
- Laboratorio de Sistemas Distribuidos

- Laboratorios de Computación 1 – 7



**Figura 3.3: Entrada posterior del edificio 16C [9]**

#### **3.1.4 Infraestructura del Edificio 16 AB**

El edificio 16 AB fue renovada, mejorando e implementando nuevos laboratorios, en la figura 3.4 se observa su nueva infraestructura. Cuenta con las siguientes áreas:

- Laboratorio de Automatización Industrial 1
- Laboratorio de Automatización Industrial 2
- Laboratorio de Centro de Visión Robótica
- Laboratorio de Computación de Sistemas de Potencia
- Laboratorio de Controles Industriales
- Laboratorio de Circuitos Impresos
- Laboratorio de Electrónica A
- Laboratorio de Electrónica B
- Laboratorio de Electrónica de Potencia
- Laboratorio de Electrónica Médica
- Laboratorio de Instrumentación Industrial
- Laboratorio de Investigación “Pedro Carló”
- Laboratorio de Maquinaria Eléctrica
- Laboratorio de Mecatrónica
- Laboratorio de Propósitos Generales
- Laboratorio de Radiofrecuencia
- Laboratorio de Realidad Virtual



- Laboratorio de Simulación de Redes
- Laboratorio de Sistemas Complejos
- Laboratorio de Sistemas Embebidos
- Laboratorio de Sistemas de Potencia
- Laboratorio de Sistemas y Señales
- Laboratorio de Sistemas Telemáticos
- Laboratorio de Redes Eléctricas
- Laboratorio de Redes y Sistemas Operativos



**Figura 3.4: Área de laboratorios del edificio 16AB [9]**

### **3.1.5 Infraestructura del Edificio 24 A**

En la figura 3.5 se puede observar el Edificio 24 A, posee las siguientes áreas:

- Aulas de clase
- Laboratorio de Proyectos Eléctricos y Electrónicos
- Oficina de Asociación de Estudiantes de la FIEC
- Oficina de la Rama Estudiantil IEEE
- Sala de Estudios



**Figura 3.5: Plazoleta del edificio 24 A [9]**

### 3.2 Sistema Eléctrico de la FIEC

El edificio 15 A posee una acometida trifásica a nivel de media tensión. Dicha acometida proviene desde el cuarto de celdas eléctricas #2 donde se encuentran los equipos de protección y seccionamiento. Ver la figura 3.6

Para reducir el nivel de tensión y satisfacer la demanda requerida, existe un transformador de distribución tipo Padmounted. El cuarto de celdas eléctricas y el transformador se encuentran ubicados diagonal a la entrada posterior del edificio. Ver figura 3.7

#### 3.2.1 Transformador de Distribución Tipo Padmounted

Las características técnicas del transformador se presentan en la tabla 3:

TIPO DE TRANSFORMADOR	PADMOUNTED 3Ø
FABRICANTE	ECUATRAN S.A (Ambato – Ecuador)
POTENCIA NOMINAL	600 kVA
NORMA DE FABRICACIÓN	IEEE C.57.12
CLASE	ONAN
VOLTAJE NOMINAL PRIMARIO	13.2 kV
VOLTAJE NOMINAL SECUNDARIO	127 / 220 Voltios
CORRIENTE NOMINAL PRIMARIA	26.2 Amperios
CORRIENTE NOMINAL SECUNDARIA	1574.5 Amperios
FRECUENCIA	60 Hz
CONEXIÓN	DY5 (Delta – Estrella)
MATERIAL DEVANADO PRIM/SEC	Al / Cu
IMPEDANCIA	4.2 %
PESO TOTAL	2346 kg
VOLUMEN DE ACEITE	860 litros de aceite mineral

**Tabla 3: Características del transformador de distribución del edificio 15 A**



**Figura 3.6: Cuarto de celdas # 2**



**Figura 3.7: Transformador de distribución del edificio 15A**

### **3.2.2 Cuarto Eléctrico de Distribución Principal**

El cuarto eléctrico de distribución principal se encuentra ubicado en el piso bajo del edificio, al lado del auditorio y alberga el tablero principal de distribución denominado TD – FIEC y en su interior se encuentra la protección principal a nivel de baja tensión de todo el edificio como muestra la figura 3.8. A continuación, en la tabla 4 se detalla la potencia de diseño de cada uno de los paneles y tableros alimentados desde el tablero TD – FIEC:

DESCRIPCIÓN	PROTECCIÓN	POTENCIA ESTIMADA DE DISEÑO (kW)	APLICACIÓN
TD – FIEC	3P-2000 A	654,05	Tablero principal de distribución
PD - FIEC - AL1	3P-100 A	22,63	Alumbrado de uso general piso bajo
TTA	3P-400 A	96	Tomacorrientes UPS piso bajo y piso alto 2, tomacorrientes UPS e iluminación de auditorio
PD - FIEC - TC1	3P-125 A	33,08	TC normales de uso general - piso bajo
PD - FIEC - P2	3P-70 A	18,83	Alumbrado y TC normales piso 1
PD - FIEC - AUDI	3P-50 A	6,07	Alumbrado y TC normales de auditorio
PD - FIEC - P3	3P-70 A	15,99	Alumbrado y TC normales piso 2
PD - FIEC - INF	3P-30 A	8,00	TC para proyectores (infocus) piso 1 y piso 2
PD - FIEC - S	3P-40 A	9,28	Alumbrado y TC normales cuarto de bomba, salón de eventos, cuarto eléctrico
PD - FIEC - BAR	3P-40 A	3,64	Alumbrado y TC normales del bar
TD - FIEC - BOMBA	3P-40 A	5,60	Alimentación de bomba hidráulica
TD - FIEC - ASCENSOR	3P-30 A	11,25	Alimentación de ascensor
TD - FIEC - UPS	3P-300 A	32	Tomacorrientes UPS piso 1 alto
TD - FIEC - A. A	3P-1500 A	391,68	Tomacorrientes A.A piso bajo, piso 1 y piso 2

Tabla 4: Descripción del tablero principal de distribución del edificio 15 A

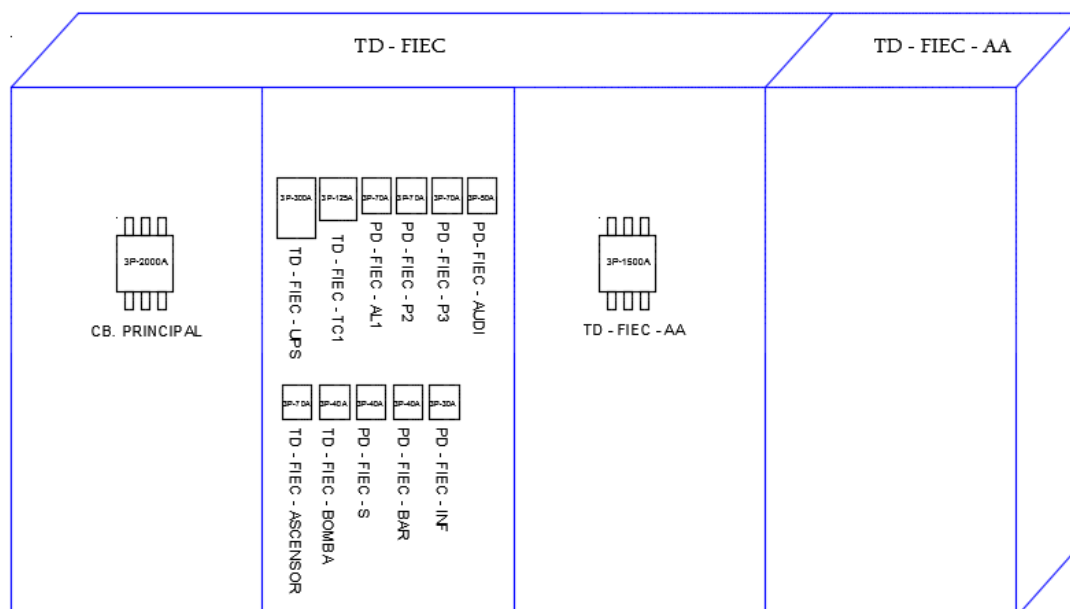


Figura 3.8: Esquema del tablero de distribución TD-FIEC

### 3.2.3 Descripción del Sistema de Respaldo

El sistema de respaldo del edificio 15 A provee la energía necesaria para las cargas críticas del edificio tales como computadoras ubicadas en las oficinas administrativas, laboratorios y oficinas de profesores, sistema de seguridad, equipos de iluminación y sonido del auditorio ya que necesitan una fuente confiable, continua y libre de perturbaciones de voltaje y frecuencia. Este sistema está conformado por tres equipos UPS trifásicos marca General Electric serie LP y un gabinete de baterías, ver las figuras 3.9 y 3.10. Además, existe un generador a diésel que provee energía extra de respaldo solamente a los UPS #1 y UPS #3. En el ANEXO 1 denominado “Sistema Eléctrico Actual del Edificio 15 A” se puede observar el diagrama unifilar que representa la topología de red actual.

#### **GRUPO UPS:**

Las tablas 5 y 6 muestran las características y funciones que cumple cada uno de los equipos UPS:

CARACTERÍSTICAS	EQUIPOS:		
	UPS #1	UPS #2	UPS #3
POTENCIA DE SALIDA	60 kVA	60 kVA	40 kVA
VOLTAJE DE ENTRADA	220 Voltios	220 Voltios	220 Voltios
CORRIENTE DE ENTRADA	72 – 79 Amp.	72 – 79 Amp.	50 – 55 Amp.
VOLTAJE DE SALIDA	220 / 127 Voltios	220 / 127 Voltios	220 / 127 Voltios
CORRIENTE DE SALIDA	83 – 91 Amperios	83 - 91 Amperios	100 Amperios
FRECUENCIA DE SALIDA	60 Hz	60 Hz	60 Hz
BATERÍAS	40 unidades	40 unidades	80 unidades

**Tabla 5: Descripción de los UPS's existentes**

EQUIPO	TABLERO ALIMENTADO	APLICACIÓN
UPS # 1	TD - FIEC - UPS 1	Alimenta cargas críticas del piso bajo
UPS # 2	TD - FIEC - UPS 2	Alimenta cargas críticas del piso alto 1
UPS # 3	TD - FIEC - UPS 3	Alimenta cargas críticas del piso alto 2

**Tabla 6: Función específica de los UPS's existentes**

Vale la pena mencionar que existen opciones adicionales que se pueden implementar en cada uno de los UPS's mencionados anteriormente, entre esas opciones tenemos:

- Cada UPS se puede monitorear y diagnosticar de manera remota vía LAN o Internet.
- Opción de entrada de dos fuentes de corriente alterna (una principal y otra de respaldo).
- Se puede incorporar tarjeta RPA que permite conectar en paralelo hasta 4 unidades de respaldo.
- Se puede agregar gabinete externo de baterías compatibles para aumentar el tiempo de autonomía del UPS.
- La interfaz RS232 permite mayor flexibilidad de comunicación entre el equipo y la PC.
- Interface para utilizar protocolo MODBUS RTU o MODBUS/TCP.



**Figura 3.9:** Cuarto de transferencia automática y del UPS 1 y UPS 2



**Figura 3.10: Gabinete de baterías de respaldo del UPS 1**

**GRUPO ELECTRÓGENO:**

En la siguiente tabla 7 se detalla las características técnicas del generadora diésel instalado a las afueras del edificio 15 A. Ver figura 3.11

MARCA	FG WILSON
MODELO	P88-3
AÑO DE FABRICACIÓN	2014
NÚMERO DE FASES	3Ø
POTENCIA APARENTE NOMINAL DE SALIDA	88 kVA
POTENCIA ACTIVA NOMINAL DE SALIDA	70.4 kW
FACTOR DE POTENCIA	0.8
VOLTAJE NOMINAL DE SALIDA	220/127 Voltios
CORRIENTE NOMINAL DE SALIDA	231 Amperios
FRECUENCIA NOMINAL DE SALIDA	60 Hz
TIPO DE CONEXIÓN DEL GENERADOR	Estrella
CLASE DE AISLAMIENTO	H
% DE SOBRECARGA EN EMERGENCIA	110 % con respecto a la potencia nominal y sólo 1 hora cada 12 horas
VOLTAJE DE EXCITACIÓN DEL ALTERNADOR	37 Voltios
CORRIENTE DE EXCITACIÓN DEL ALTERNADOR	3 Amperios
VOLTAJE DEL CARGADOR DE BATERIA	12 Voltios
CORRIENTE DEL CARGADOR DE BATERIA	65 Amperios
CAPACIDAD DE LA BATERÍA	75 A.H.
PROTECCIÓN DEL TABLERO DE CONTROL	MCCB ABB 3Ø de 400 Amperios
TIPO DE COMBUSTIBLE	Diésel clase A2 o BSEN590
CAPACIDAD DEL DEPÓSITO DE COMBUSTIBLE	180 litros (47.6 galones U.S)
CONSUMO DE COMBUSTIBLE (CARGA 100%)	21 litros / hora
TIEMPO DE AUTONOMÍA (CARGA 100%)	8.5 horas con el depósito lleno

**Tabla 7: Características del equipo electrógeno existente**



**Figura 3.11: Generador a diésel marca FG WILSON**



### 3.3 Levantamiento Total de Cargas del Edificio 15 A

Para poder realizar el levantamiento de cargas del edificio 15 A se procedió a dividir dichas cargas existentes en dos grupos:

- Grupo 1: Cargas de alumbrado general que involucra todas las luminarias existentes en el mencionado edificio y acondicionadores de aire. Para una revisión detallada revisar en el anexo.
- Grupo 2: Cargas de UPS's que, a su vez, alimentan a todas las computadoras del área de profesores, área administrativa y área de laboratorios además de los proyectores ubicados en cada aula del primer piso alto.

Con respecto al conjunto de luminarias perteneciente al grupo 1, en la tabla 8 se muestra un resumen general de las potencias instaladas en cada uno de los pisos. En el ANEXO 3 y en el ANEXO 4 se especifican con mayor detalle las planillas que sirvieron para determinar las cargas de alumbrado y de tomacorrientes del edificio 15 A.

DESCRIPCIÓN	POTENCIA INSTALADA (kW)	PORCENTAJE (%)
POTENCIA INSTALADA EN EL PISO BAJO (kW)	24,088	59,44
POTENCIA INSTALADA EN EL PISO 1 (kW)	8,896	21,95
POTENCIA INSTALADA EN EL PISO 2 (kW)	7,416	18,30
POTENCIA INSTALADA EN SERVICIO GENERAL	0,120	0,31
<b>POTENCIA TOTAL INSTALADA (KW)</b>	<b>40,520</b>	<b>100,00</b>

**Tabla 8: Cargas de alumbrado general del edificio 15 A**

De la tabla 8 podemos observar que la mayor potencia demandada en el sistema de alumbrado se encuentra en el piso bajo, esto sucede porque allí el área construida es mayor comparada con el área del piso 1 y piso 2, respectivamente; por lo tanto, se concentra la mayor cantidad de oficinas que requieren iluminación.

Con respecto al grupo 2, se ha considerado un equivalente de carga (computadoras) expresado como la capacidad nominal de los UPS's existentes, como se muestra en la tabla 9:

DESCRIPCIÓN	POTENCIA INSTALADA (kW)
UPS 1	48
UPS 2	32
UPS 3	48
<b>POTENCIA TOTAL INSTALADA</b>	<b>128</b>

**Tabla 9: Potencia nominal de los UPS's existentes**

Vale la pena recalcar que la capacidad nominal de cada UPS no es utilizada al 100 % debido a los horarios de clases discontinuos.

### **3.4 Área Disponible en la Terraza del Edificio 15 A**

En la figura 3.12 se muestra las diferentes áreas de cubierta en las que se puede instalar los paneles solares, para la capacidad de paneles a instalar se estima un área necesaria de 500m<sup>2</sup>. Como podemos observar en la tabla 10, tenemos el área suficiente para su instalación. Con las áreas A7, A8, A9, A10 y A11 se cubrirá lo esperado.



Figura 3.12: Representación del área disponible en la cubierta del edificio 15 A

ÁREA	ÁREA (m <sup>2</sup> )
A1	186.15
A2	186.15
A3	63.17
A4	70.12
A5	107.87
A6	116.01
A7	130.04
A8	130.19
A9	139.66
A10	139.66
A11	145.54
A12	167.43
A13	42.73
A14	51.02
A15	75.83
A16	131.85
A17	152.57
A18	94.20
A19	152.31
A20	110.04
<b>ÁREA TOTAL:</b>	<b>2392.54</b>

**Tabla 10: áreas disponibles en la cubierta del edificio 15 A**

### 3.5 Dimensionamiento del Sistema Fotovoltaico

El sistema Fotovoltaico propuesto para el presente proyecto fue dimensionado tomando en consideración tres paneles de diferentes marcas y potencia nominal pico. Además de reducir el consumo de energía eléctrica proveniente de la Red Principal o del Sistema Electrónico, también se plantea satisfacer de manera prioritaria la demanda de las cargas conectadas al Sistema de Respaldo que suman un total de 128 kW.

En la tabla 11 se muestra un resumen de los resultados obtenidos en el análisis de dimensionamiento respectivo. Los cálculos matemáticos se detallan en el ANEXO 2.

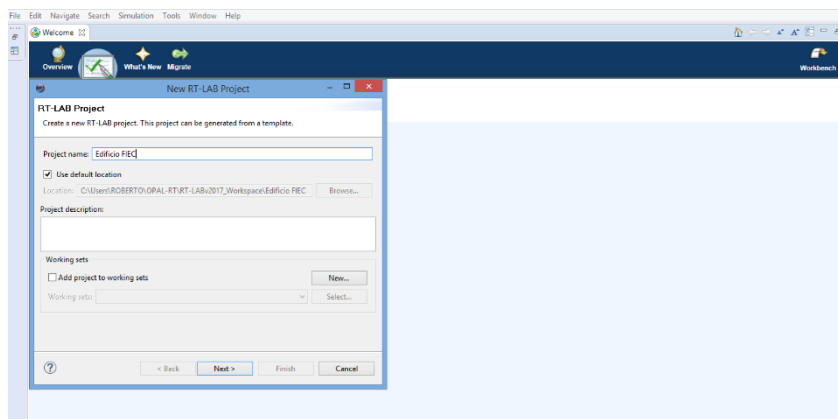
<b>CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO</b>	
Cantidad total de paneles solares	272
Marca de paneles solares	SUNPREME
Potencia pico de los paneles solares	370 W
Número de paneles solares en serie	16
Número de paneles solares en paralelo	17
Demanda máxima para suplir	100 kW
Marca del inversor para conexión a red	SUNNY TRIPower
Cantidad de inversores para conexión a red	5
Potencia máxima de los inversores para conexión a red	20kW

**Tabla 11: Resumen de las características principales del Sistema Fotovoltaico propuesto**

### **3.6 Simulación del Sistema Eléctrico Propuesto**

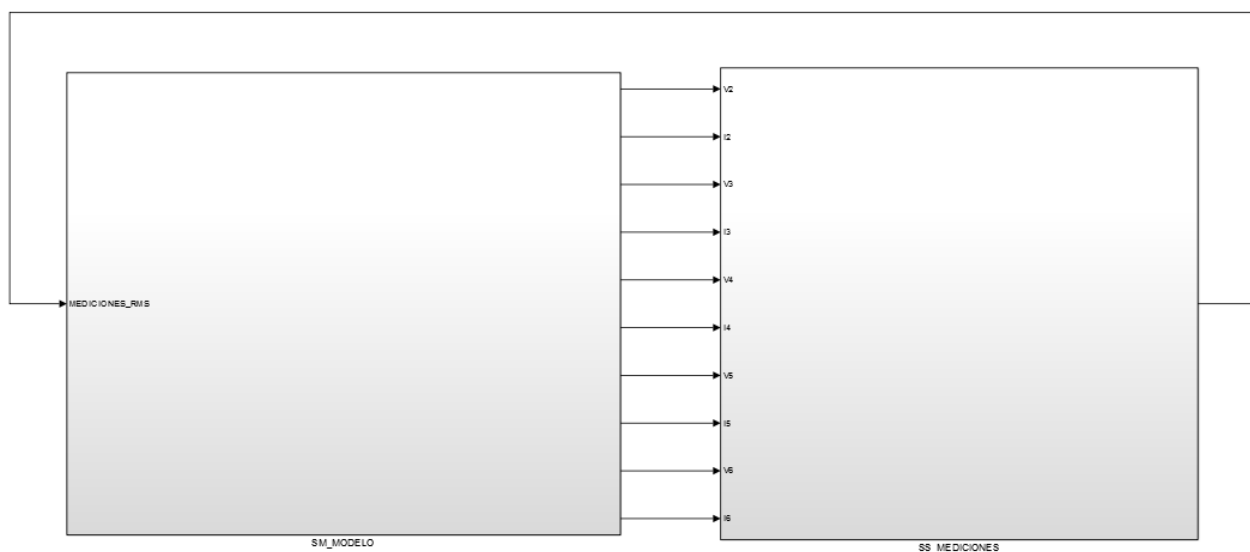
El sistema propuesto fue diseñado en Matlab/Simulink y fue compilado con el software RT-LAB para poder realizar la simulación en el simulador de tiempo real OPAL – RT. La simulación se basó en el diseño propuesto del ANEXO 5.

RT-LAB es el software compilador utilizado por el simulador OPAL-RT para la simulación ejecutada en tiempo real mediante una conexión TCP/IP. La dirección IP configurada por defecto es 200.9.176.234. Una vez que se crea un proyecto nuevo en RT-LAB como se muestra en la figura 3.13, se puede crear un nuevo modelo en Simulink o se puede importar uno existente. Luego, RT-LAB, en base al modelo seleccionado, construye su propio modelo para poder ser cargado y ejecutado en el simulador OPAL-RT.



**Figura 3.13: Ventana principal de RT-LAB compilador de OPAL-RT**

A continuación en la figura 3.14, se muestra el sistema propuesto dividido en 2 subsistema previo a la compilación:



**Figura 3.14: Sistema propuesto conformado por subsistemas**

El subsistema SM\_MODELO (izquierda), representa el modelo principal del sistema propuesto. En él se incluye el modelo de cada uno de los elementos principales que conforman el sistema eléctrico del edificio 15 A – FIEC, tales

como: transformador de distribución, equipo electrógeno de respaldo, UPS's, breaker principal y tablero de paralelismo automático.

El subsistema SS\_MEDICIONES (derecha), representa los bloques que permiten realizar mediciones continuas de voltajes, corrientes y potencias en los elementos que son de vital interés.

En la figura 3.15 se observa la representación del sistema eléctrico propuesto perteneciente al subsistema SM\_MODELO:

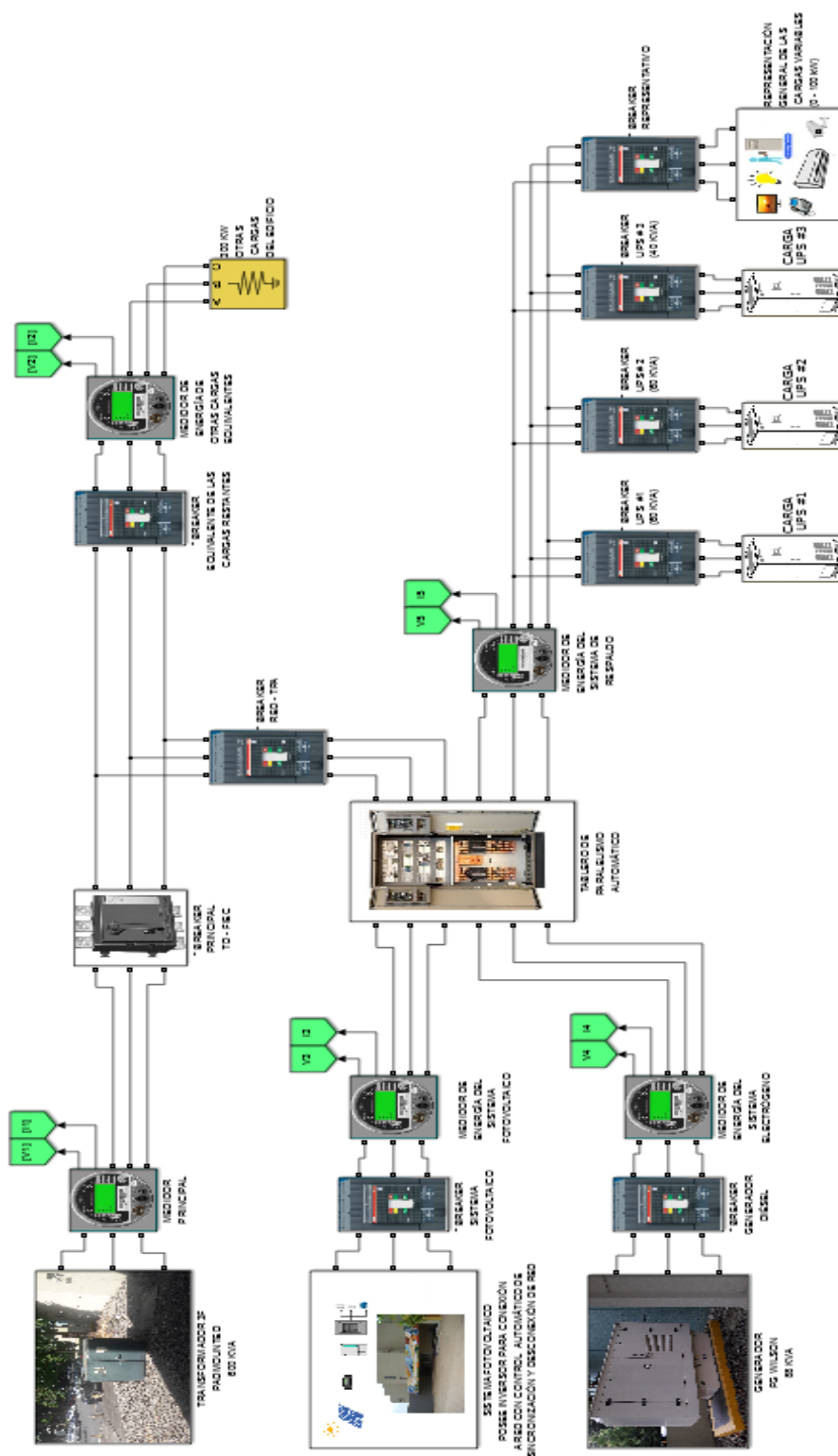


Figura 3.15: Representación del sistema eléctrico propuesto en el subsistema SM\_MODELO



A continuación, se realiza una descripción de cada uno de los bloques que conforman los subsistemas SM\_MODELO y SS\_MEDICIONES:

### **3.6.1 Tablero de Paralelismo Automático (TPA)**

El tablero de paralelismo automático es el elemento principal de control, cuya lógica de operación se basa en el sensado permanente del valor r.m.s. del voltaje de las líneas provenientes desde el transformador de distribución del edificio 15 A. Este sensado permanente permite determinar el estado del sistema para saber si el voltaje y la frecuencia de la red está dentro de sus parámetros, respectivamente.

Cuando el voltaje de la red es normal, el inversor del sistema fotovoltaico se sincroniza con la red principal y entrega potencia activa al sistema conformado por las cargas conformadas por los 4 UPS's de respaldo, acondicionadores de aire e iluminación.

Cuando el voltaje de la red se encuentra fuera de sus parámetros normales, el inversor del sistema fotovoltaico se desconecta de la red principal y espera hasta que el sistema electrógeno se ponga en marcha y se normalice su nivel de tensión y frecuencia; cuando esto ocurre, el inversor del sistema fotovoltaico sincronizará con el generador del sistema electrógeno.

En la siguiente figura 3.16 se puede observar los bloques "RED PRINCIPAL", "SISTEMA FOTOVOLTAICO", "SISTEMA ELECTRÓGENO" que representan los contactores de potencia que controlan el paso de energía hacia la carga. Estos contactores son controlados por señales booleanas (SC10, SC11\_1, SC1\_2, SC13) originadas a partir del bloque comparador de voltaje de la red principal.

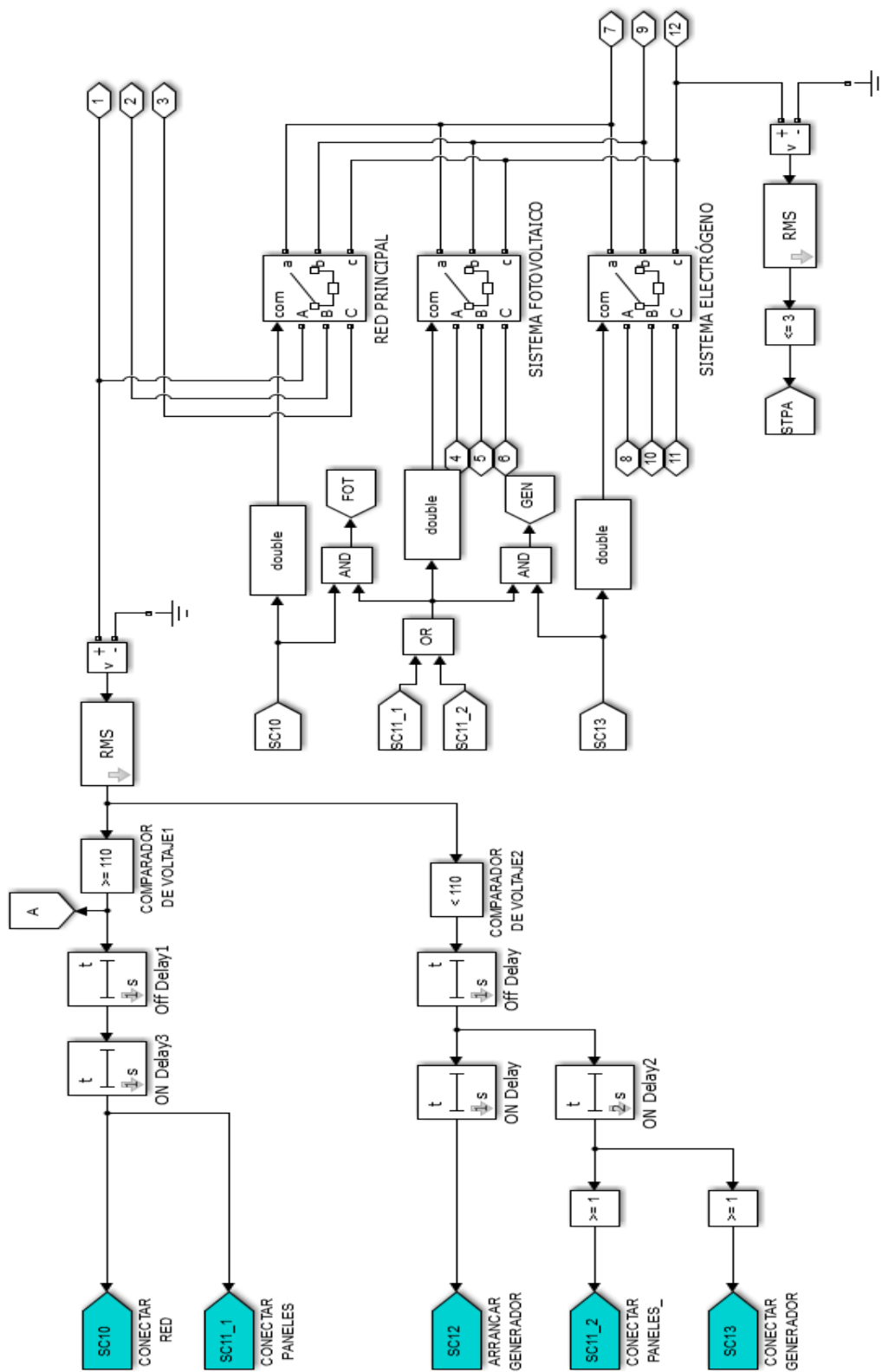


Figura 3.16: Representación del sistema de control del TPA

### 3.6.2 Transformador Trifásico Padmounted (600 kVA)

El transformador de distribución tipo Padmounted fue modelado tomando en consideración la red de media tensión (13.2 kV), misma que proviene del cuarto de celdas # 2.

Para simular la operación del sistema ante conexiones/desconexiones de la red principal de media tensión, se ha incorporado un breaker trifásico comandado por la señal de control "SC1".

En la figura 3.17 se muestran los bloques que conforman la representación del transformador de distribución utilizados para la realización del presente proyecto:

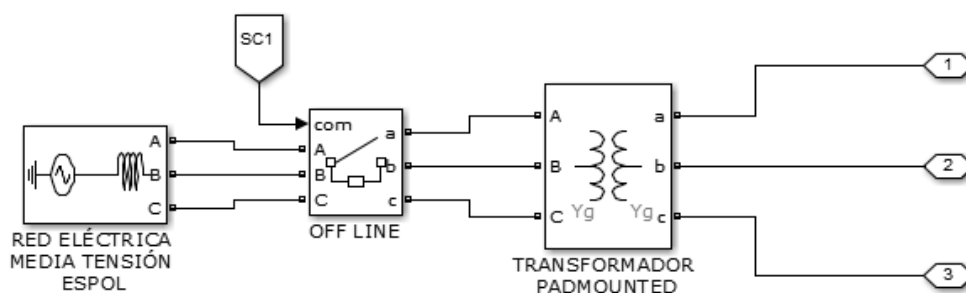


Figura 3.17: Representación del sistema de distribución del edificio 15 A

### 3.6.3 Sistema Fotovoltaico con Inversor para Conexión a Red

El Sistema Fotovoltaico fue diseñado como una fuente controlada de corriente, misma que depende de los niveles de insolación y temperatura instantáneas, respectivamente.

El diseño prevé la utilización de 5 inversores, cada uno con una capacidad nominal de 20 kW para poder satisfacer una demanda pico de 100 kW.

Cada uno de los inversores está exclusivamente destinado para conexión a red, incorporado con reguladores MPPT (Maximun Power Point Tracker) que permiten realizar el seguimiento del punto de potencia máxima, ya que con este tipo de reguladores se puede obtener mayor rendimiento de los paneles solares.

A continuación, en la figura 3.18 se muestra el esquema de representación del Sistema Fotovoltaico propuesto para el edificio 15 A. Dicho esquema posee un subsistema denominado “Subsystem”, mismo que posee la lógica necesaria de control para poder realizar la sincronización con la Red Eléctrica Principal o con el Sistema Electrógeno, dependiendo de cuál de las dos fuentes de energía se encuentre en uso.

El método empleado para la sincronización de fase es PLL (Phase Locked Loop). La figura 3.19 muestra la representación del subsistema “Subsystem”.

A continuación, en la tabla 12 se resume las funciones específicas de cada una de las señales de entrada y salida que se muestran en las figura 3.18 y 3.19:

SEÑAL	ENTRADA / SALIDA	FUNCIÓN
PAN_OUT	SALIDA	Recibe las señales de voltaje y corrientes del sistema fotovoltaico.
SC6	ENTRADA	Esta señal muestra el estado del breaker principal del Sistema Fotovoltaico
SC10	SALIDA	Señal que habilita el paso de energía desde la Red Principal, hacia el sistema de respaldo.
SC13	ENTRADA	Habilita el paso de energía desde el electrógeno.
In1	ENTRADA	Señal de referencia de voltaje de la Red Principal
Out1	SALIDA	Habilita la fuente de corriente que representa al Sistema Fotovoltaico.
Out2	SALIDA	Cumple la misma función de PAN_OUT

**Tabla 12: Descripción de las señales de ENTRADAS y SALIDAS del Sistema Fotovoltaico**

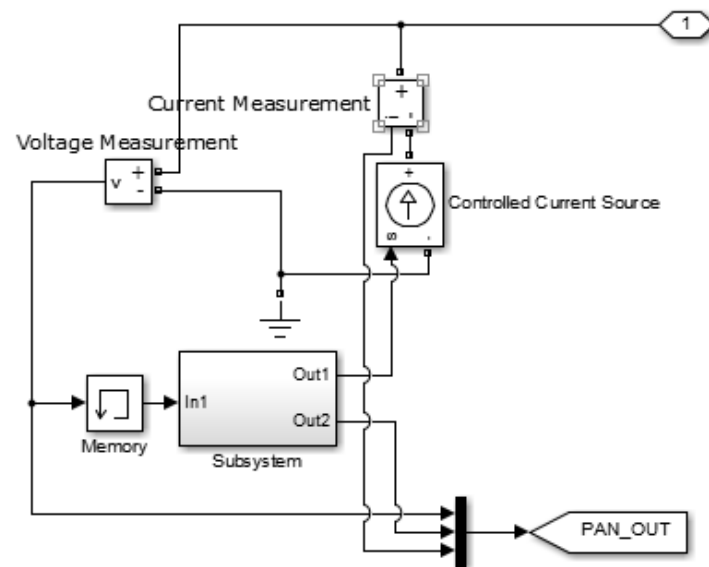


Figura 3.18: Representación del Sistema Fotovoltaico propuesto para el edificio 15 A

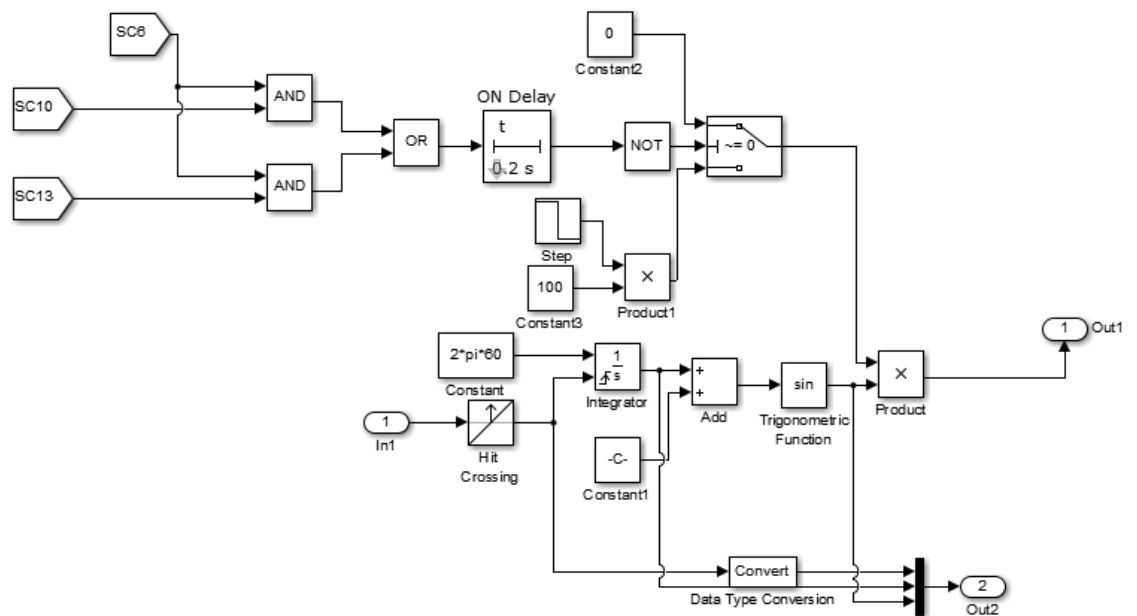


Figura 3.19: Lógica de control del Sistema Fotovoltaico

#### **3.6.4 Generador Diésel FG – WILSON**

El Sistema Electrónico marca FG – WILSON perteneciente al Edificio 15 A tiene una capacidad de 88 kVA que permite alimentar los UPS's del sistema de respaldo del mencionado edificio. Dicho sistema fue modelado utilizando el bloque de "Máquina Síncrona Estándar" de Simulink/Matlab.

En la figura 3.20 se puede observar el esquema de representación del Sistema Fotovoltaico con sus respectivas señales de control, sistema de excitación y bloque de estabilización (carga parásita que permite simular un arranque en vacío).

Las señales de control SC5 y SC13 representan el estado de operación (ON/OFF) del breaker principal ubicado a la salida del conjunto de inversores de red y la orden de arranque proveniente desde el tablero de Paralelismo Automático (TPA), respectivamente.

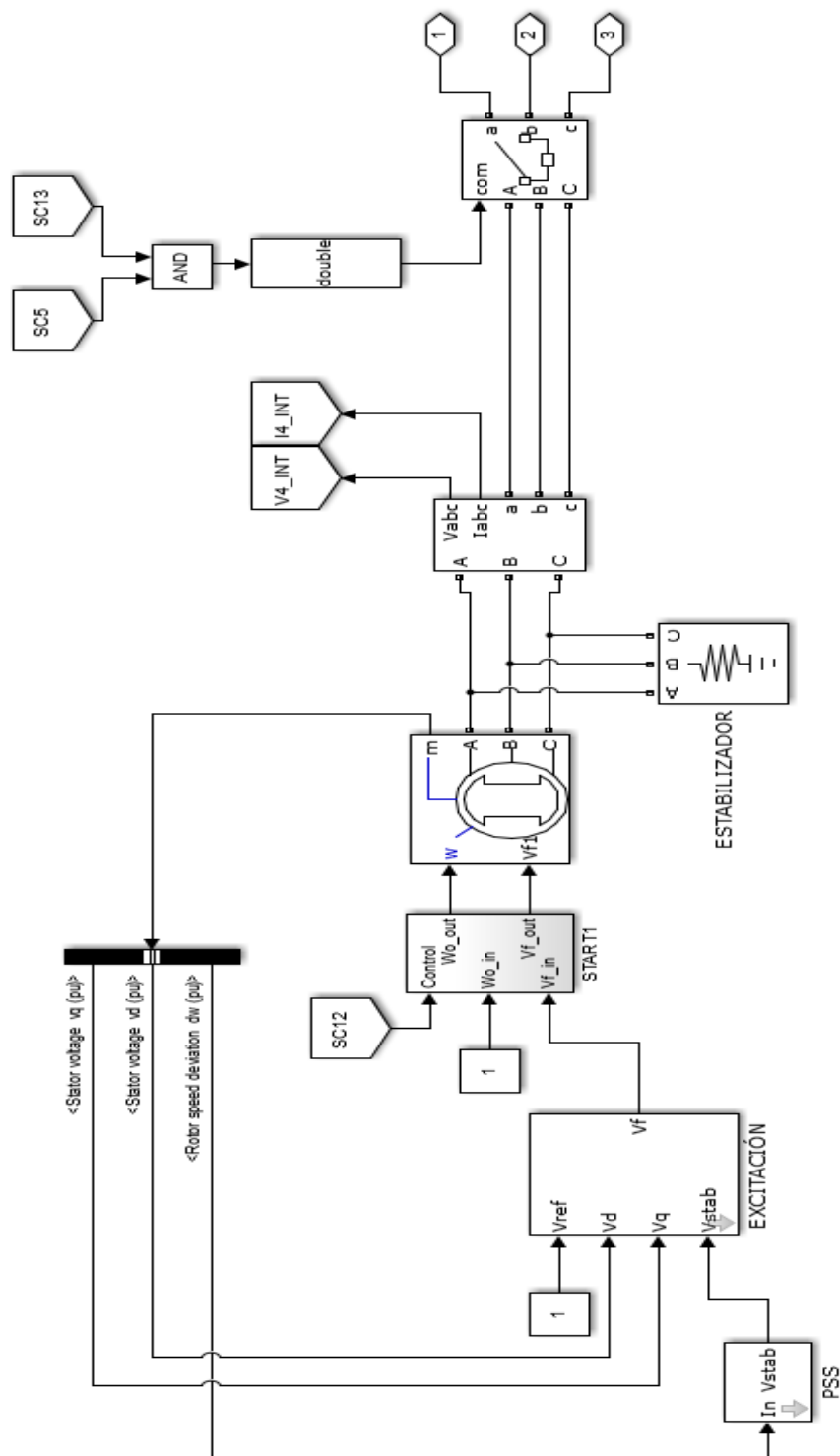


Figura 3.20: Representación del Sistema Electrogénico propuesto para el edificio 15 A

### 3.6.5 Representación de la Curva de Carga Diaria del Sistema de Respaldo del Edificio 15 A

Las cargas alimentadas a través del Sistema de Respaldo del edificio 15 A fueron modeladas como cargas variables desde 0 hasta 100 kW. Esto se debe a que el Sistema Fotovoltaico propuesto sólo puede aportar con una potencia máxima de 100 kW a nivel máximo de insolación.

Para poder realizar la simulación y poder representar la variabilidad de carga, se diseñó el bloque denominado " REPRESENTACIÓN GENERAL DE LAS CARGAS VARIABLES" tal como muestra la figura 3.21:

En la figura 3.22 se observa la representación del sistema de cargas variables utilizadas durante la simulación. Dichas cargas variables son agregadas en pasos discretos de 1, 4, 10, 15, 30 y 40 kW (100 kW en total), respectivamente.

La figura 3.23 muestra la curva de carga diaria estimada, misma que fue utilizada para simulación y obtención de resultados del presente proyecto.

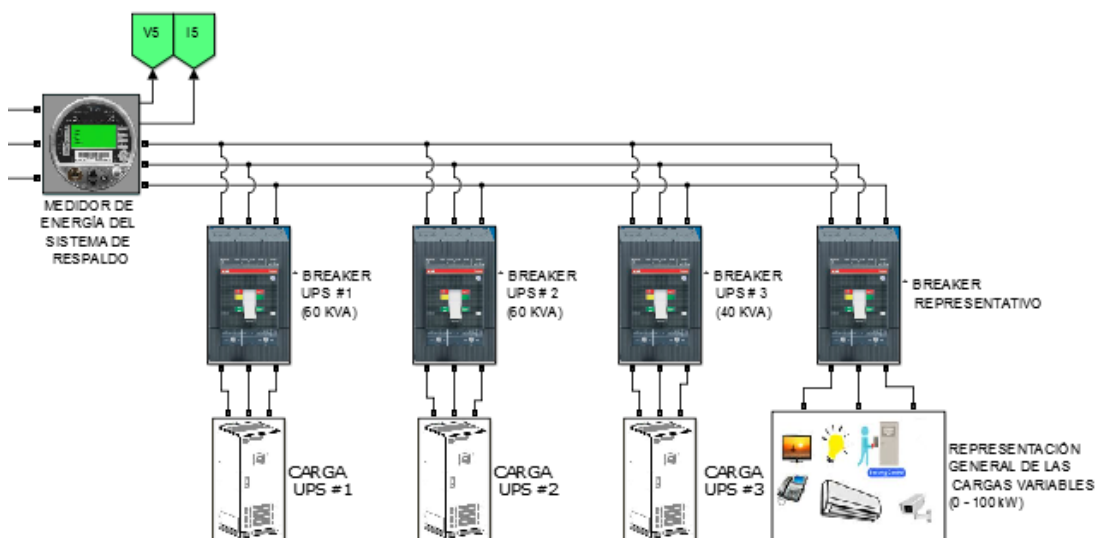


Figura 3.21: Representación de las cargas que conforman el sistema de respaldo del edificio 15 A



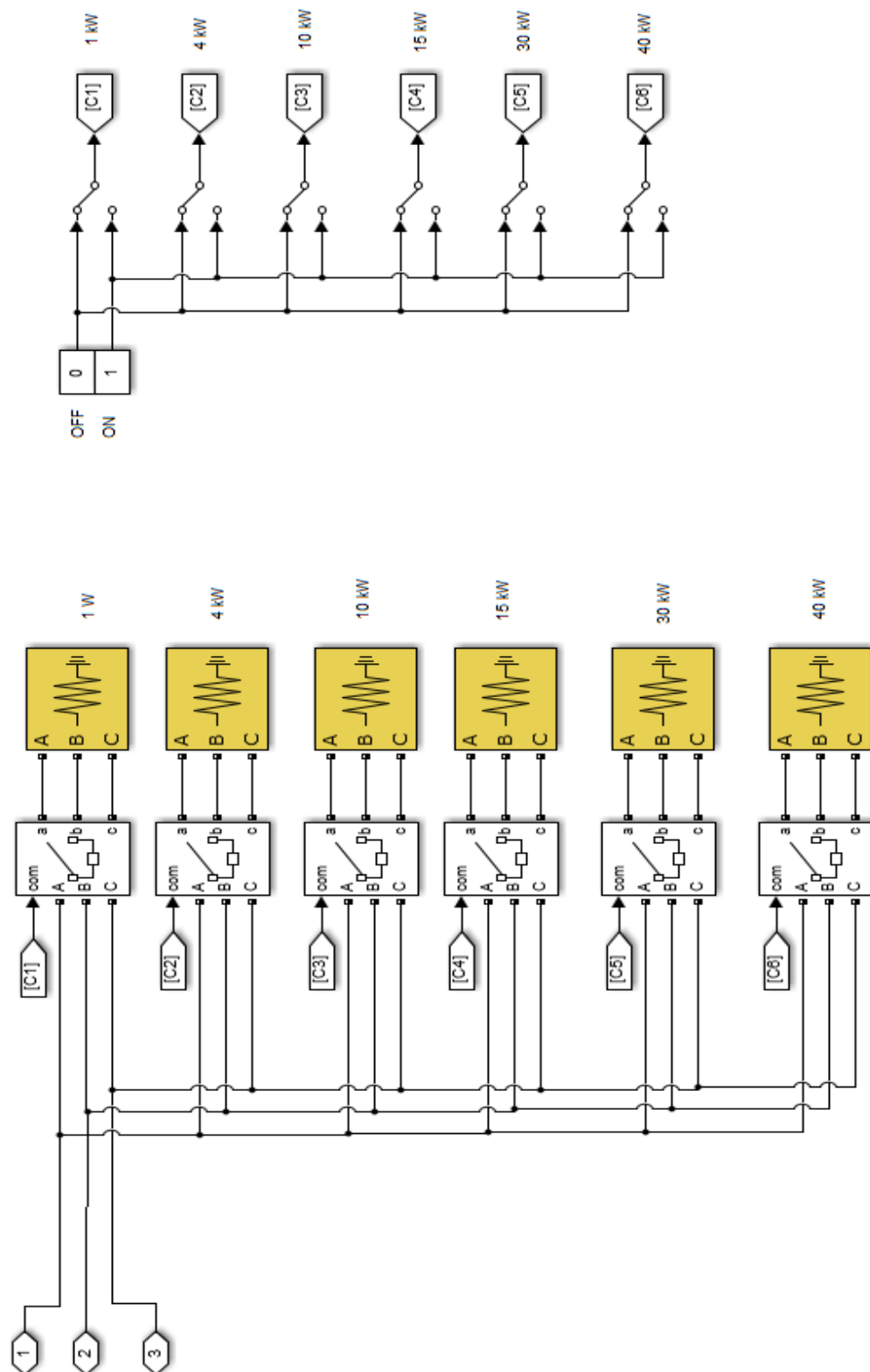


Figura 3.22: Bloques que conforman el subsistema de representación de cargas variables alimentadas por el Sistema de Respaldo del edificio 15 A

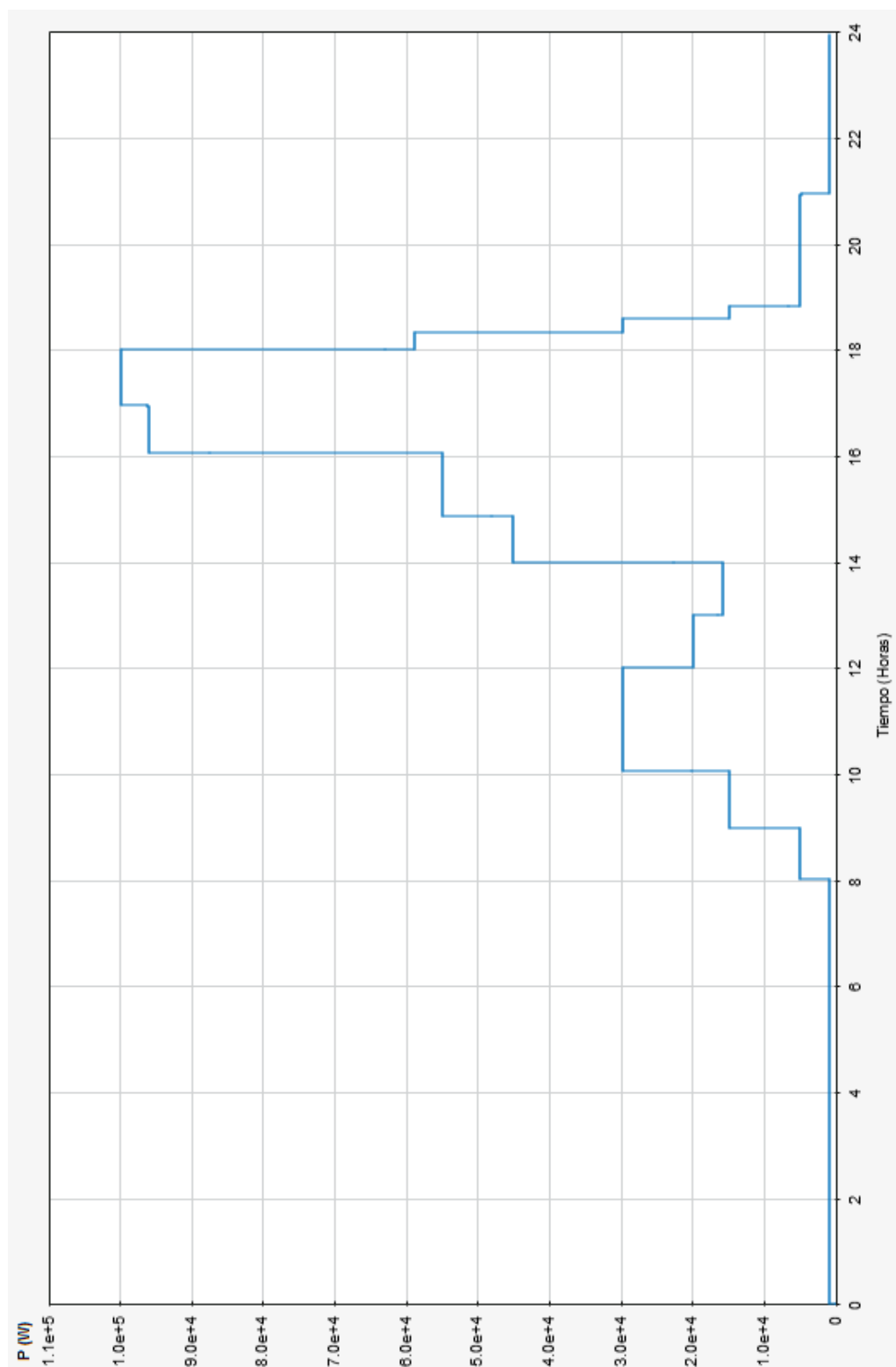
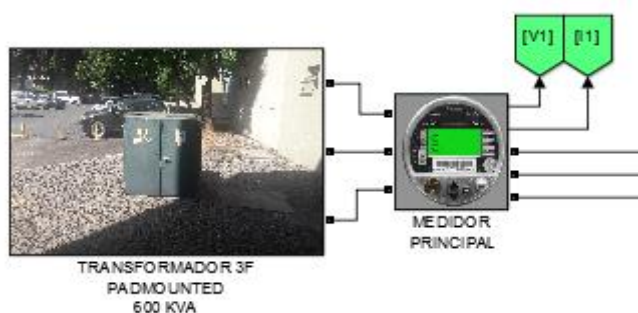


Figura 3.23: Representación de la curva de carga utilizada durante la simulación del sistema eléctrico propuesto

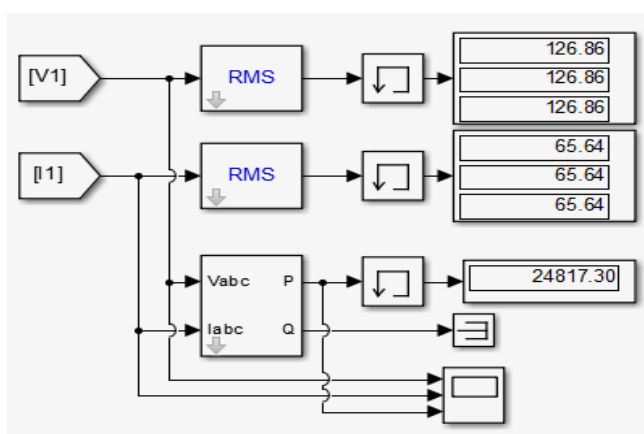
### 3.6.6 Representación de los Medidores de Voltaje, Corriente y Potencia Activa Utilizados en el Sistema Eléctrico Propuesto

El sistema de medición del sistema eléctrico propuesto incorpora señales de voltajes y corrientes trifásicos, obtenidas en los medidores ubicados en el subsistema SM\_MODELO y que son convertidas a través de los bloques “RMS” para poder visualizar sus valores efectivos, respectivamente.

El bloque utilizado para medición de potencia activa muestra el valor de la potencia activa trifásica que es suministrado hacia las cargas que conforman el Sistema Eléctrico de Respaldo del edificio 15 A tal como muestran los displays en la figura 3.24.



(a)



(b)

Figura 3.24: (a) Representación física del medidor principal del edificio 15 A. (b) Representación simplificada del sistema de medición de voltajes, corrientes y potencias activas del sistema eléctrico propuesto

### 3.7 Interfaz de Control Diseñada con el Software LabVIEW

La interfaz de control fue diseñada con el software LabVIEW de la empresa National Instruments, utilizando su módulo Data Communication/OPC UA nos permite interactuar con el sistema real a través de las siguientes opciones:

- Panel de Control Principal
- Medidores
- Diagrama Unifilar del Sistema
- Sistema de Vigilancia y Seguridad
- Características de los Elementos del Sistema
- Historial de Eventos
- Imprimir Reportes

#### 3.7.1 Panel de Control Principal

Esta opción nos permite monitorear el estado operativo de cada uno de los elementos que conforman el sistema; además, permite controlar el sistema ya sea de manera manual o remoto, como se muestra en la figura 3.25.

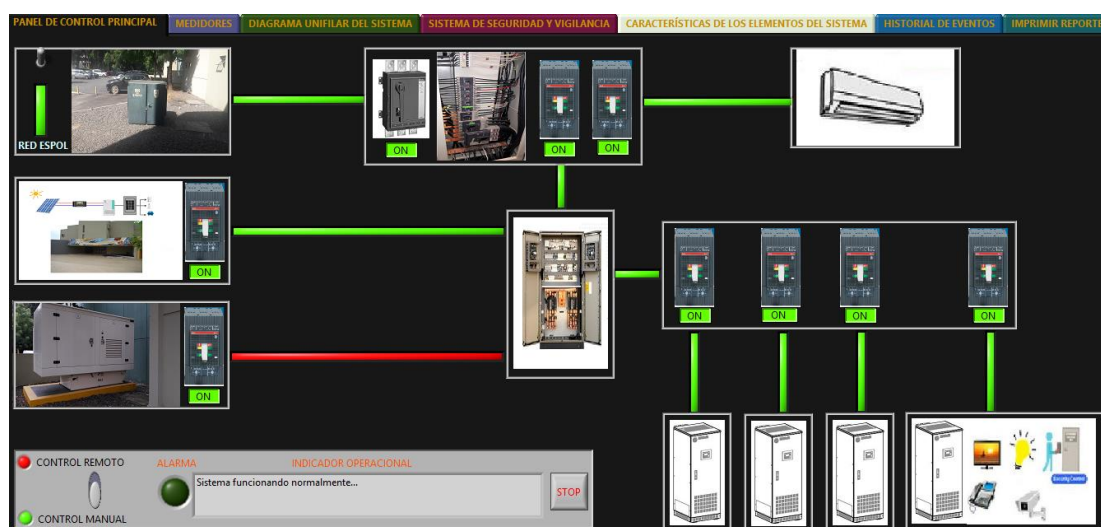


Figura 3.25: Interfaz del panel de control principal

### 3.7.2 Medidores

Esta opción nos permite acceder a las lecturas de medición de voltajes, corrientes y potencias suministradas y consumidas, respectivamente, como se detalla en la figura 3.26.



Figura 3.26: Interfaz de visualización de mediciones

### 3.7.3 Diagrama Unifilar del Sistema

Al hacer click en esta opción se puede ver de forma detallada cada uno de los elementos que conforman el sistema y, la forma cómo se encuentran conectados entre ellos, capacidades nominales, etc. La figura 3.27 muestra la ventana del diagrama unifilar del edificio 15 A.

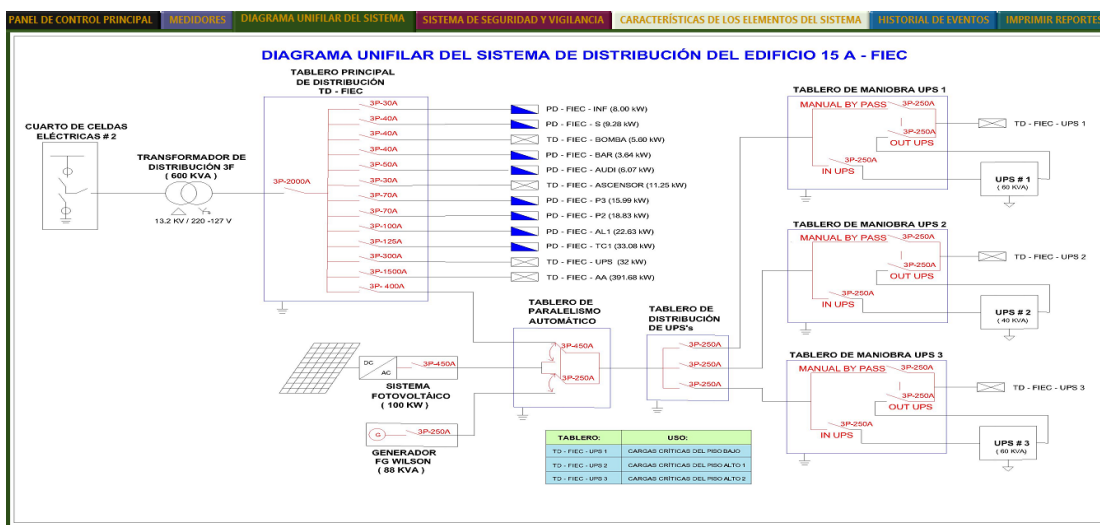


Figura 3.27: Visualización del diagrama unifilar del sistema

### 3.7.4 Sistema de Vigilancia y Seguridad

Esta opción permite acceder de forma inmediata al sistema de vigilancia y seguridad del edificio. Con esta opción podemos ver en tiempo real las imágenes que están siendo captadas por las cámaras del circuito cerrado de televisión (CC TV) así como monitorear la ubicación estratégica y el estado de operación de las mismas (encendidas o apagadas) gracias al led indicador de operación de cada una de ellas. Según se muestra en la figura 3.28, una cámara se encuentra deshabilitada.

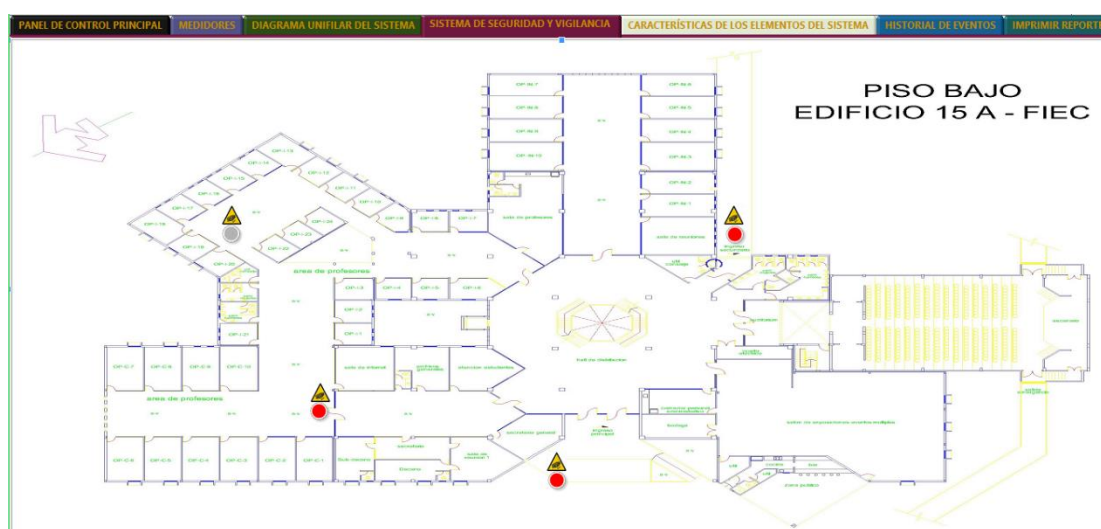


Figura 3.28: Interfaz del sistema de vigilancia y seguridad

### 3.7.5 Características de los Elementos del Sistema

Al elegir esta opción podemos acceder a los catálogos que describen las características técnicas de los elementos del sistema, tal como se muestra en la figura 3.29.

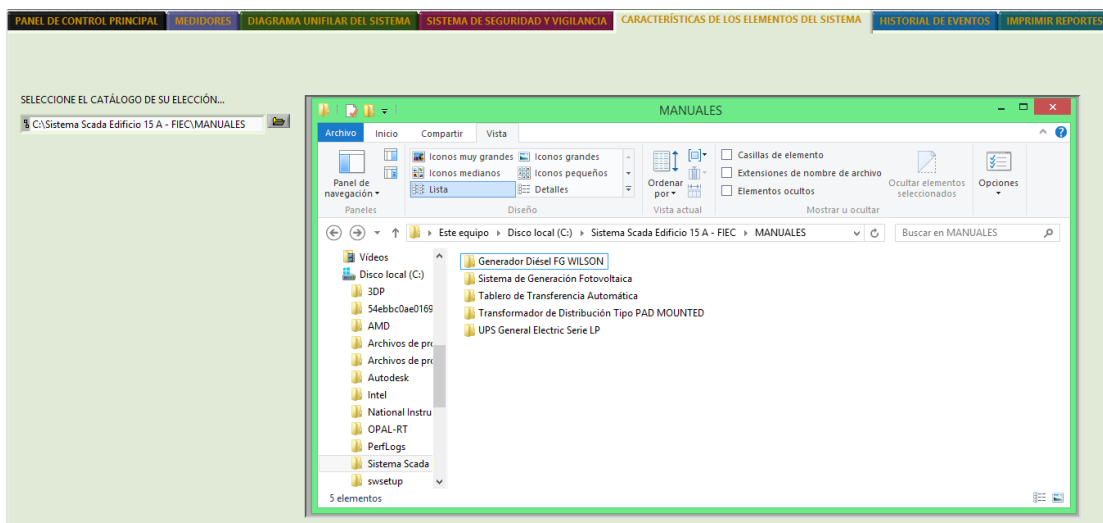


Figura 3.29: Interfaz de las características de los elementos del sistema

### 3.7.6 Historial de Eventos

Esta opción nos permite acceder al historial de eventos producidos en el sistema durante un determinado tiempo; además, podemos chequear la fecha y la hora en que se produjo el evento, como lo muestra en la figura 3.30. Los eventos que es posible registrar se detallan a continuación:

- Conexión/desconexión de la red principal, sistema fotovoltaico y sistema eléctrico.
- Perturbaciones momentáneas o de varios ciclos tales como: depresiones (sags) y dilataciones (swells) de voltaje.

Fecha	Hora	Evento	Duración
12/07/2017	17:34:46	Sistema Fotovoltaico desconectado	15:16:17 horas
17/07/2017	3:18:32	Equipo eléctrico arrancó al 3 intento	8 segundos
13/08/2017	9:23:12	Red principal desenergizada	3:18:24 horas

Figura 3.30: Interfaz de historial de eventos

### 3.7.7 Impresión de Reportes

Esta opción nos permite imprimir reportes de consumo de energía, eventos producidos, etc. Se puede elegir la generación de un reporte en periodos de tiempo diario, semanal o mensual, como lo muestra la figura 3.31.

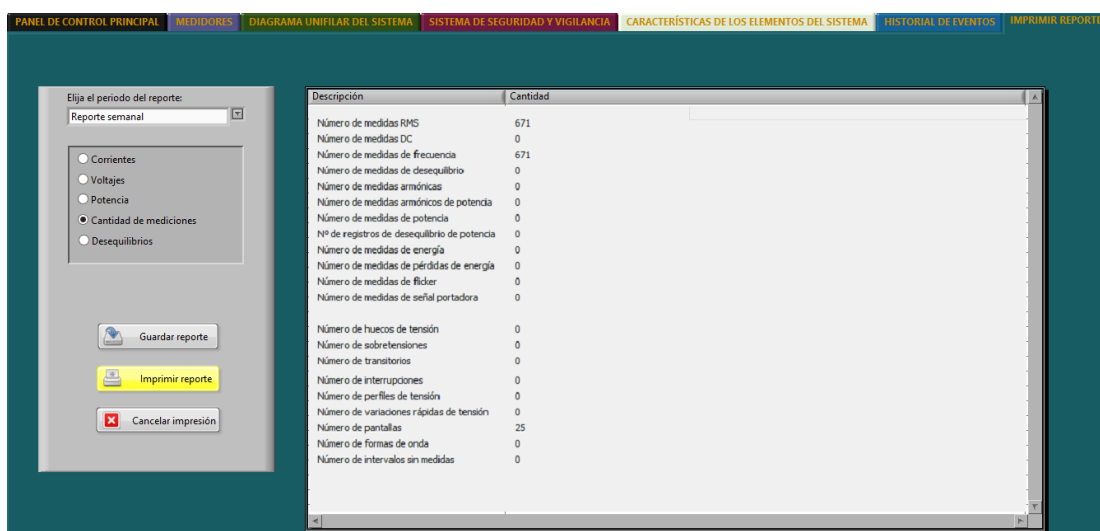


Figura 3.31: Interfaz impresión de reportes

## 3.8 Protocolo de Comunicación OPC UA Server

En este proyecto, el protocolo de comunicación utilizado para transferencia de datos entre el simulador OPAL – RT y el sistema SCADA diseñado en LabVIEW es OPC UA, ya que este es un protocolo de comunicación que integra varias características, entre ellas:

- Permite una programación orientada a objetos.
- Permite controlar equipos embebidos.
- Permite una interacción multiplataforma.

El protocolo OPC UA se basa en una arquitectura cliente/servidor mediante la conexión TCP/IP sobre Ethernet.



## CAPÍTULO 4

### 4. RESULTADOS

Para poder realizar conclusiones válidas en base al modelo propuesto, se simularon tres casos posibles de operación. Dichos casos son los siguientes:

1. Simulación de la Red Principal y del Sistema Fotovoltaico funcionando correctamente.
2. Simulación del Sistema Electrónico y del Sistema Fotovoltaico funcionando correctamente.
3. Simulación de la Red principal desenergizada y falla repentina del Sistema Electrónico mientras se encontraba operando con el Sistema Fotovoltaico.

A continuación, se dará más detalle de los resultados obtenidos en el simulador de tiempo real OPAL-RT mediante el software compilador RT-LAB y la interface diseñada en el software LabVIEW de National Instruments.

Por simplicidad, se ha asumido que las cargas están balanceadas, por lo tanto, se mostrará un solo valor de voltaje línea-neutro y un solo valor de corriente de línea. El valor de potencia mostrado corresponderá a la potencia trifásica registrada en cada uno de los medidores existentes, ver figura 4.1. Además, se ha considerado un valor simplificado de 100 kW que representa al sistema equivalente de cargas (acondicionadores de aire, bomba, etc.)

Con estas simulaciones se espera que el Sistema Fotovoltaico permita reducir la cantidad de potencia suministrada por la Red Principal o por el Sistema Electrónico.



**Figura 4.1: Lecturas de mediciones registradas por el medidor principal y observadas en la interfaz del sistema SCADA**

#### **4.1 Caso 1: Simulación de la Red Principal y el Sistema Fotovoltaico Funcionando Correctamente**

En la tabla 13 se puede observar la aportación de potencia activa que realiza el Sistema Fotovoltaico hacia las otras cargas equivalentes y hacia las cargas que conforman el Sistema de respaldo. Como podemos verificar en la tabla ya mencionada, tenemos un aporte de casi la mitad del consumo del sistema fotovoltaico

No se observa inconveniente alguno. Se resalta (color amarillo) las cargas del sistema equivalentes y del Sistema de Respaldo que se encuentran alimentadas por la Red Principal y el Sistema Fotovoltaico.

CARGAS VARIABLES AGREGADAS	DESCRIPCIÓN DE MEDIDORES				
	Medidor de Energía de la Red Principal	Medidor de Energía del Sistema Fotovoltaico	Medidor de Energía del Sistema Electrogeno	Medidor de Energía de Otras Cargas Equivalentes	Medidor de Energía del Sistema de Respaldo
1 kW	126.68 [V]	126.68 [V]	0	126.68 [V]	126.68 [V]
	131.66 [A]	132.83 [A]	0	261.74 [A]	2.62 [A]
	50.01 [kW]	50.45 [kW]	0	99.47 [kW]	0.99 [kW]
4 kW	126.67 [V]	126.67 [V]	0	126.67 [V]	126.67 [V]
	136.85 [A]	138.07 [A]	0	261.72 [A]	13.08 [A]
	51.98 [kW]	52.44 [kW]	0	99.45 [kW]	4.97 [kW]
10 kW	126.64 [V]	126.64 [V]	0	126.64 [V]	126.64 [V]
	149.81 [A]	151.16 [A]	0	261.65 [A]	39.18 [A]
	56.89 [kW]	57.39 [kW]	0	99.40 [kW]	14.89 [kW]
15 kW	126.59 [V]	126.59 [V]	0	126.59 [V]	126.59 [V]
	169.22 [A]	170.77 [A]	0	261.55 [A]	78.28 [A]
	64.23 [kW]	64.82 [kW]	0	99.33 [kW]	29.73 [kW]
30 kW	126.49 [V]	126.49 [V]	0	126.49 [V]	126.49 [V]
	207.88 [A]	209.81 [A]	0	261.35 [A]	156.14 [A]
	78.85 [kW]	79.58 [kW]	0	99.17 [kW]	59.25 [kW]
40 kW	126.36 [V]	126.36 [V]	0	126.36 [V]	126.36 [V]
	260.48 [A]	262.95 [A]	0	261.07 [A]	262.11 [A]
	98.69 [kW]	99.63 [kW]	0	98.96 [kW]	99.36 [kW]

**Tabla 13: Resultado de mediciones de la simulación del sistema propuesto considerando aportación de energía proveniente de la Red Principal y del Sistema Fotovoltaico**

En la figura 4.2 podemos observar la ventana de Panel de control principal, en la que se muestra de color verde las conexiones indicando el funcionamiento de los paneles solares junto con la red, para suministrar la carga al edificio. Y para el generador se muestra la conexión de color rojo indicando que no está aportando energía al edificio.

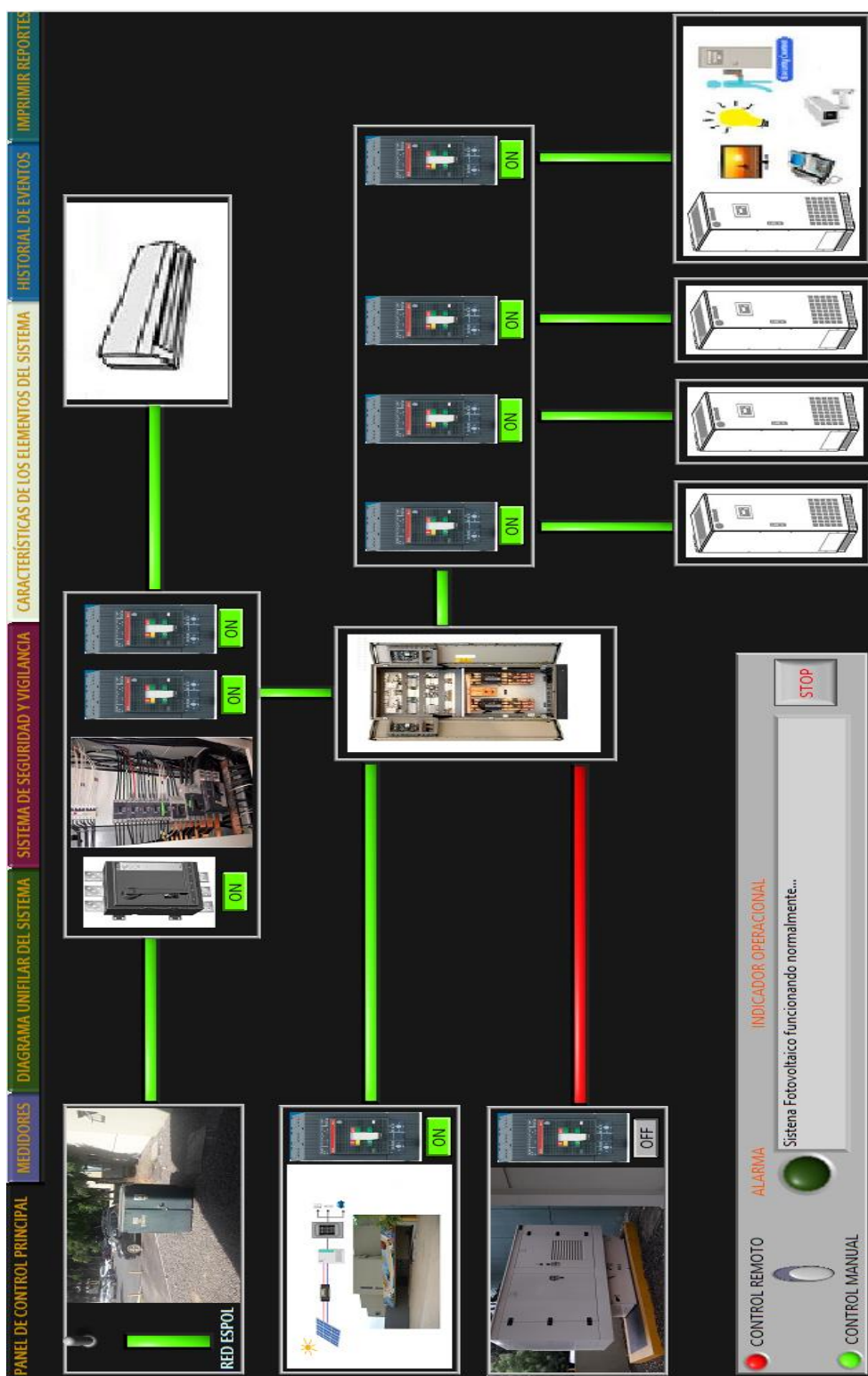


Figura 4.2: Sistema SCADA mostrando la interfaz de visualización del funcionamiento de la Red Principal y del Sistema Fotovoltaico

#### 4.2 Caso 2: Simulación del Sistema Electrónico y del Sistema Fotovoltaico Funcionando Correctamente

En la tabla 14 se observa que el Sistema Electrónico y el Sistema Fotovoltaico sólo suministran potencia activa hacia las cargas del Sistema de Respaldo, esto se produce porque las otras cargas equivalentes (acondicionadores de aire) son numerosas y la capacidad nominal del generador-diésel es de sólo 70.4 kW y el Sistema Fotovoltaico tiene una capacidad que es variable pues depende de los niveles de insolación y temperatura instantáneos, mismos que son variables durante el transcurso del día. Se resalta (color amarillo) el consumo único del Sistema de Respaldo cuando se encuentra en funcionamiento el Sistema Electrónico y el Sistema Fotovoltaico. En la figura 4.3 se muestra el funcionamiento de los paneles y el generador (color verde), cuando la red no entrega energía (color rojo).

CARGAS VARIABLES	DESCRIPCIÓN DE MEDIDORES				
	Medidor de Energía de la Red Principal	Medidor de Energía del Sistema Fotovoltaico	Medidor de Energía del Sistema Electrónico	Medidor de Energía de Otras Cargas Equivalentes	Medidor de Energía del Sistema de Respaldo
1 kW	0	126.98 [V]	126.98 [V]	0	126.98 [V]
	0	1.23 [A]	1.42 [A]	0	2.62 [A]
	0	0.46 [kW]	0.54 [kW]	0	0.99 [kW]
4 kW	0	126.97 [V]	126.97 [V]	0	126.97 [V]
	0	6.51 [A]	6.62 [A]	0	13.11 [A]
	0	2.47 [kW]	2.52 [kW]	0	4.99 [kW]
10 kW	0	126.94 [V]	126.94 [V]	0	126.94 [V]
	0	19.70 [A]	19.63 [A]	0	39.28 [A]
	0	7.49 [kW]	7.47 [kW]	0	14.96 [kW]
15 kW	0	126.89 [V]	126.89 [V]	0	126.89 [V]
	0	39.45 [A]	39.10 [A]	0	78.47 [A]
	0	15.00 [kW]	14.87 [kW]	0	29.87 [kW]
30 kW	0	126.80 [V]	126,80 [V]	0	126.80 [V]
	0	78.78 [A]	77.88 [A]	0	156.52 [A]
	0	29.94 [kW]	29.59 [kW]	0	59.54 [kW]
40 kW	0	126.67 [V]	126.67 [V]	0	126.67 [V]
	0	132.31 [A]	130.66 [A]	0	262.75 [A]
	0	50.23 [kW]	49.61 [kW]	0	99.84 [kW]

Tabla 14: Resultado de mediciones de la simulación del Sistema Electrónico y del Sistema Fotovoltaico funcionando

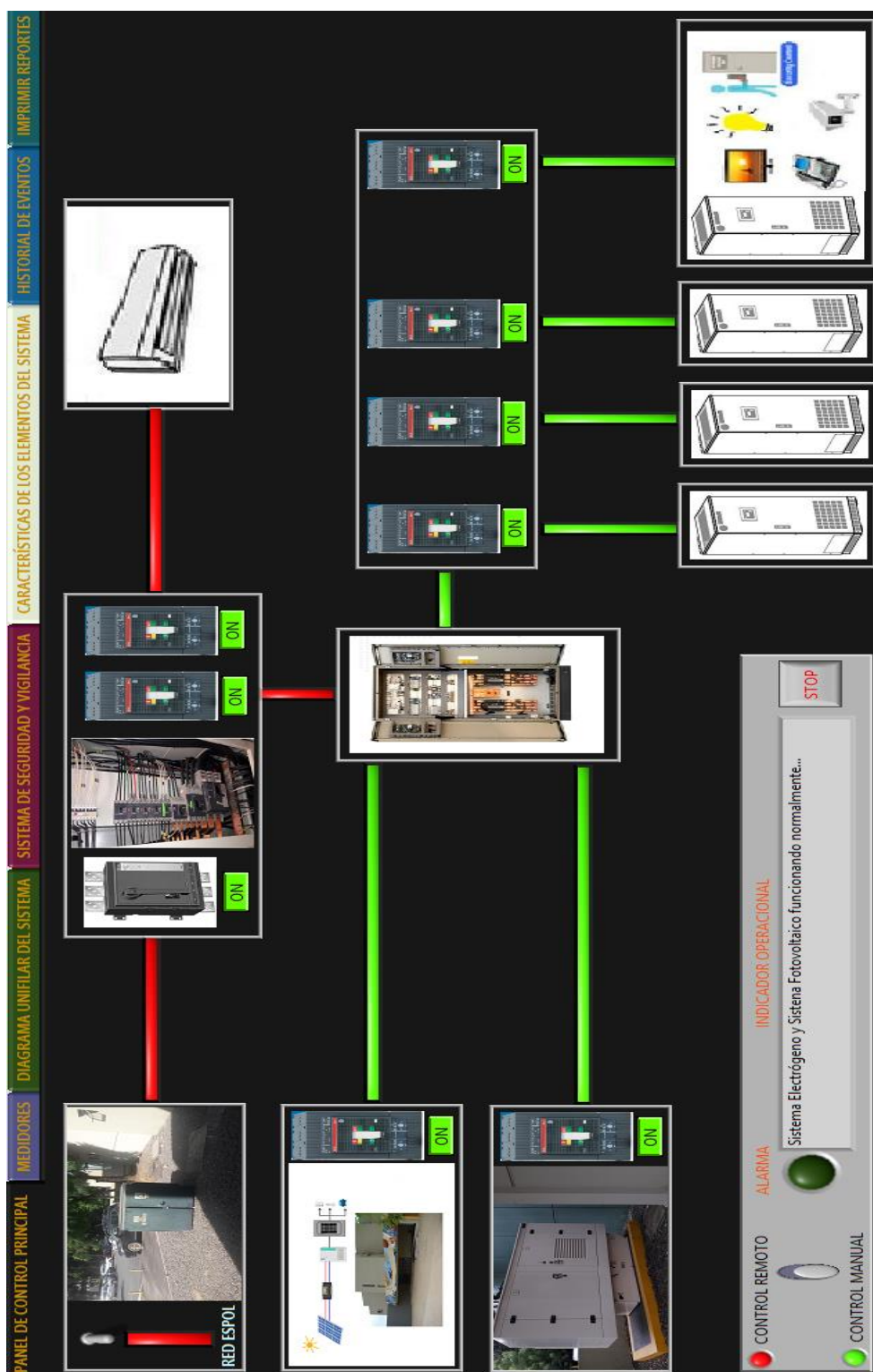


Figura 4.3: Sistema SCADA mostrando la interfaz de visualización del funcionamiento del Sistema Eléctrico y el Sistema Fotovoltaico

### 4.3 Caso 3: Simulación de la Red Principal Desenergizada y Falla Repentina del Sistema Electrónico mientras se Encontraba Operando con el Sistema Fotovoltaico

En la tabla 15 detalla el caso cuando no se encuentra disponible ninguna fuente de energía, es normal que las mediciones sean nulas. Sin embargo, en nuestro caso, el Sistema de respaldo puede continuar suministrando energía a sus cargas respectivas mientras lo permita la autonomía de sus baterías.

El sistema SCADA despliega una señal de alarma cuando no se detecta señal de voltaje de alguna fuente de energía disponible. Ver figura 4.4.

CARGAS VARIABLES	DESCRIPCIÓN DE MEDIDORES				
	Medidor de Energía de la Red Principal	Medidor de Energía del Sistema Fotovoltaico	Medidor de Energía del Sistema Electrónico	Medidor de Energía de Otras Cargas Equivalentes	Medidor de Energía del Sistema de Respaldo
1 kW	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0
4 kW	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0
10 kW	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0
15 kW	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0
30 kW	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0
40 kW	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0

**Tabla 15: Resultado de mediciones cuando la Red principal se encuentra desenergizada y el sistema electrónico falla**

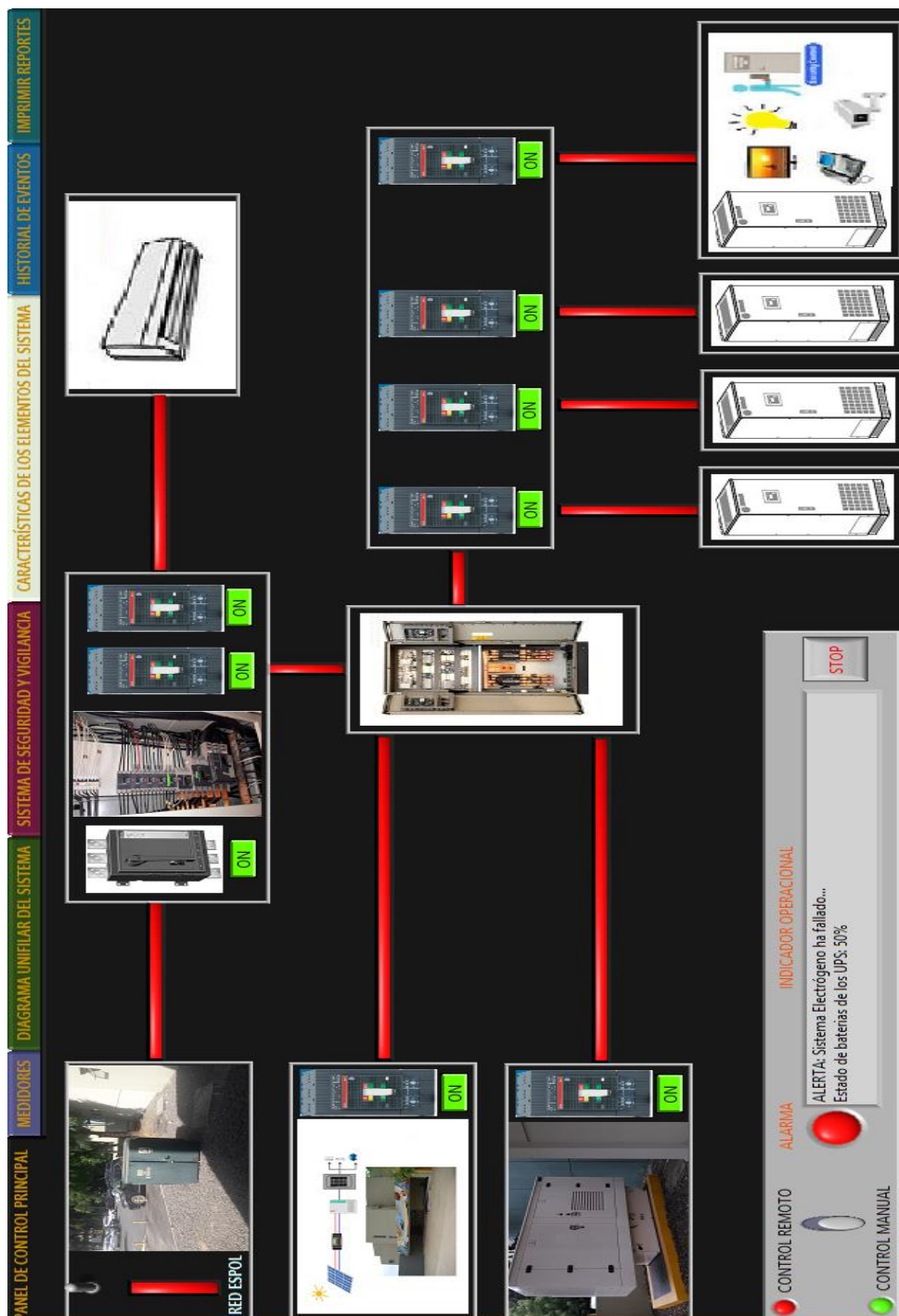


Figura 4.4: Sistema SCADA mostrando la interfaz de visualización del sistema propuesto sin fuentes de energía disponibles



#### 4.4 Costo estimado del Sistema Fotovoltaico Propuesto.

En la tabla 16 se detalla el costo de los equipos que se necesitan para el control y diseño del sistema fotovoltaico. En lo cual apreciamos un costo estimado de \$137,744.

EQUIPOS	COSTO UNITARIO	CANTIDAD	TOTAL USD.
Inversor marca: SUNNY TRIPower 20000TL	2200	5	11,000
Panel solar marca: SUNPREME de 370W	444	272	120,768
Tablero Paralelismo automático (TPA)	2500	1	2,500
Microcontrolador ARDUINO MEGA ADK	70	4	280
Adaptador Wireless ESP8266	20	4	80
Sensor de movimiento Zennio	87	4	348
Tablero Automático para el control de accionamiento de los sensores	2,500	1	2,500
<b>COSTO TOTAL</b>			<b>137,744</b>

**Tabla 16: Costo de los equipos recomendados para el Sistema Fotovoltaico y el Sistema de Control**

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones:

El sistema propuesto fue simulado en tiempo real y no se observaron conflictos al momento de actuar el sistema de control localizado en el Tablero de Paralelismo Automático (TPA.), ya que este control permite la transferencia de energía hacia las cargas desde la red principal y el sistema fotovoltaico ó desde el sistema electrógeno y el sistema fotovoltaico, respectivamente. Además, se consideró el sistema de conexión y desconexión automático del inversor de conexión a red del sistema fotovoltaico que actúa de manera independiente al sistema de control localizado en el TPA.

Para poder realizar de manera oportuna la transferencia de energía proveniente del sistema fotovoltaico, es necesario el monitoreo permanente del estado de la red eléctrica principal ya que en el sistema de control del TPA se necesita configurar un retardo de tiempo (en segundos) antes de encender o apagar el equipo electrógeno de respaldo. En nuestro caso, dicho retardo de tiempo puede ser variable ya que no afecta a las cargas sensibles porque las mismas se encuentran conectadas al sistema de respaldo conformado por los UPS's que tienen una autonomía considerable.

El software LabVIEW permite diseñar una interfaz de control y monitoreo agradable y de fácil manejo para cualquier persona. Sin embargo, es necesario identificar de manera clara y precisa las opciones disponibles que realmente sean necesarias ya que entre más opciones tenga, más tiempo de desarrollo conlleva y, por ende, el costo final de la aplicación se incrementará. Debido al tiempo de muestreo en los softwares RT-LAB y Simulink y al envío de datos vía ethernet, no es factible enviar valores instantáneos al software LabVIEW para mostrarlos en la interfaz SCADA. Por estos motivos, sólo se muestran los valores RMS de las mediciones de voltajes, corrientes y potencias, respectivamente.

El inversor trifásico simulado es para conexión a red, por esta razón, se implementó un sistema de enganche de fase PLL (Phase Locked Loop) que permite realizar la sincronización ya sea con la red principal o con el sistema

electrógeno, dependiendo de la fuente disponible en un determinado momento.

No es recomendable utilizar dispositivos (interruptores, breakers, fusibles) utilizados en corriente alterna en instalaciones de corriente continua.

Para diseñar un sistema fotovoltaico es necesario conocer los hábitos de consumo diario de energía por parte de los beneficiarios, de esta manera se evita un subdimensionamiento (el sistema fotovoltaico no aporta la energía necesaria) o el sobredimensionamiento (el sistema fotovoltaico aporta más de lo necesario) que nos haría encarecer innecesariamente la instalación.

Para simular el funcionamiento del Sistema Electrógeno y el Sistema Fotovoltaico no se consideró la alimentación de las cargas equivalentes ya que se necesitaría hacer una reestructuración total del “tablero general de alimentación de los acondicionadores de aire”, categorizándolos también por prioritarios y no prioritarios. La categorización de este sistema, en la práctica incrementaría los costos del proyecto propuesto.

Como conclusión final, podemos afirmar que el proyecto, económicamente, no es rentable ya que los altos costos de los paneles solares y de los inversores con regulador MPPT encarecen notablemente la instalación del sistema propuesto. Además, debido al uso no intensivo que se le da al edificio 15 A, se concluye que la inversión requerida no se justifica.

#### **Recomendaciones:**

La simulación del inversor trifásico de 4 ramas, utilizando el bloque POWERGUI en SimuLink, es más factible simularlo en modo continuo ya que en modo discreto se distorsionan considerablemente las formas de onda de los voltajes de salida. Por este motivo, es preferible simular el inversor utilizando el bloque de fuente de corriente controlada que se encuentra en la librería de Simulink. La simulación en tiempo continuo del modelo del sistema fotovoltaico no está en el alcance de este proyecto.

Asegurar las maniobras de sincronización (frecuencia, secuencia de rotación de fases, magnitud y ángulo del fasor de voltaje) que realiza el inversor para que no se produzcan transitorios perjudiciales en la red.

Cuando se requiera conectar UPS's en modo RPA (Redundant Parallel Architecture) es imprescindible conectar todas las entradas desde la misma fase e individualmente protegidas por fusibles individuales. Además, todos los conductores de alimentación tener la misma longitud y la misma sección transversal pues los cables con diferentes longitudes calibre pueden originar disparos de los fusibles por el desbalanceo de las corrientes originadas.

Debe ubicarse cerca del grupo electrógeno extintores totalmente cargados e inspeccionados periódicamente de las clases BC y ABC, todo esto con el fin de reducir el riesgo de evolución de incendio.

Recordar que el factor de potencia no lo controla el grupo electrógeno, sino que lo determina la carga del edificio 15 A. La carga considerable del edificio está formada básicamente por equipos acondicionadores de aire.

Se recomienda que los dispositivos sensores de presencia sean de alta gama y destinados exclusivamente al uso en ambientes de oficina y aulas de estudio.

Se recomienda que el tablero de distribución de un Sistema Fotovoltaico con inversor para conexión a red debe estar ubicado lo más cercano posible a la carga que se desea alimentar, de esta manera se garantiza que exista una baja impedancia de acoplamiento y que el Sistema Fotovoltaico cumpla con su objetivo de reducir la energía proveniente desde la red Principal o desde el Sistema Electrónico y que no se desvíe hacia otros sistemas.

Se debe considerar que los bancos de baterías universales conectados a los UPS's que conforman el Sistema de Respaldo ya han cumplido su vida útil, motivo por el cual su tiempo de autonomía se ha reducido considerablemente afectando a las computadoras de las oficinas administrativas y de profesores que necesitan operar de manera continua.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] BUN-CA, "Manual sobre energía renovable, SOLAR FOTOVOLTAICA", 1a edición San José, Costa Rica, septiembre del 2002 [Online]. Disponible en: [www.elsolucionario.org](http://www.elsolucionario.org). [Accedido: 16-jul-2017].
- [2] C. Robles, G. Villa, "Control del punto de máxima potencia de un panel solar fotovoltaico, utilizando lógica difusa", Tesis de Maestría. Magister Scientiarum en Ingeniería de Control y automatización de Procesos, Universidad Dr. Rafael Beloso Chacín, Maracaibo.
- [3] CONELEC, "Atlas solar del Ecuador con fines de Generación eléctrica". Quito, Ecuador, 2008.
- [4] AT4 wireless, "Laboratorios Servicios de Ensayos y Certificación para Módulos Fotovoltaicos". Málaga, España.
- [5] "Célula fotoeléctrica" [Online]. Disponible en: <https://es.wikipedia.org>. [Accedido: 10-ago-2017].
- [6] "Las ventajas de las baterías de gel" [Online]. Disponible en: <https://www.damiasolar.com>. [Accedido: 12-ago-2017].
- [7] "Instalación fotovoltaica para viviendas" [Online]. Disponible en: <http://ingemecanica.com>. [Accedido: 12-ago-2017].
- [8] "Sistema fotovoltaico" [Online]. Disponible en: <http://www.solepanel.org> [Accedido: 12-ago-2017].
- [9] "Infraestructura de la FIEC" [Online]. Disponible en: <http://www.fiec.espo.edu.ec> [Accedido: 07-ago-2017].
- [10] EREN, "Energía solar fotovoltaica: Manual del Proyectista", febrero 2013
- [11] G. Wintrich, "Automatización de edificios inteligentes los primeros pasos son los más importantes". Publicado por: DELL, junio 2014.
- [12] M. Orbe, "Diseño de un edificio inteligente". Tesis de maestría en Telemática, Universidad de Cuenca, octubre 2012.

- [13] “Edificaciones Inteligentes: Un enfoque hacia el IoT” [Online]. Disponible: <http://www.dacas.com>. [Accedido: 20-ago-2017].
- [14] J. A. Maestro, “Domótica e Inmótica”. Universidad Antonio de Nebrija.
- [15] KOSOV, “Tablero de Control y Transferencia” 2015.
- [16] “Energía Solar” [Online]. Disponible en: <https://solar-energia.net/> [Accedido: 25-ago-2017].
- [17] SMA, “Medium power solutions”, 2012.
- [18] D. López Jimeno, “Guía de Redes Inteligentes de energía y comunicación”. Consejería de Economía y Hacienda - Comunidad de Madrid.
- [19] F. Elizalde Canales e I. Rivas Cambero, “Características de medición inteligente en una casa habitación”. Universidad Politécnica de Tulancingo.
- [20] “Nuevas tecnologías: Comienza la introducción de medidores inteligentes” [Online]. Disponible en: <http://www.revistaei.cl/2016/01/26/>. [Accedido: 26-ago-2017].
- [21] “Simulación en tiempo real: Aplicaciones y beneficios para power systems y electrónica de potencia”. [Videoconferencia Online]. [Accedido: 26-mar-2017].
- [22] “OPAL-RT System Description” [Online]. Disponible en: <https://opal-rt.com/> [Accedido: 25-ago-2017].

## **ANEXOS**

ANEXO 1: Sistema Eléctrico Actual del Edificio 15 A

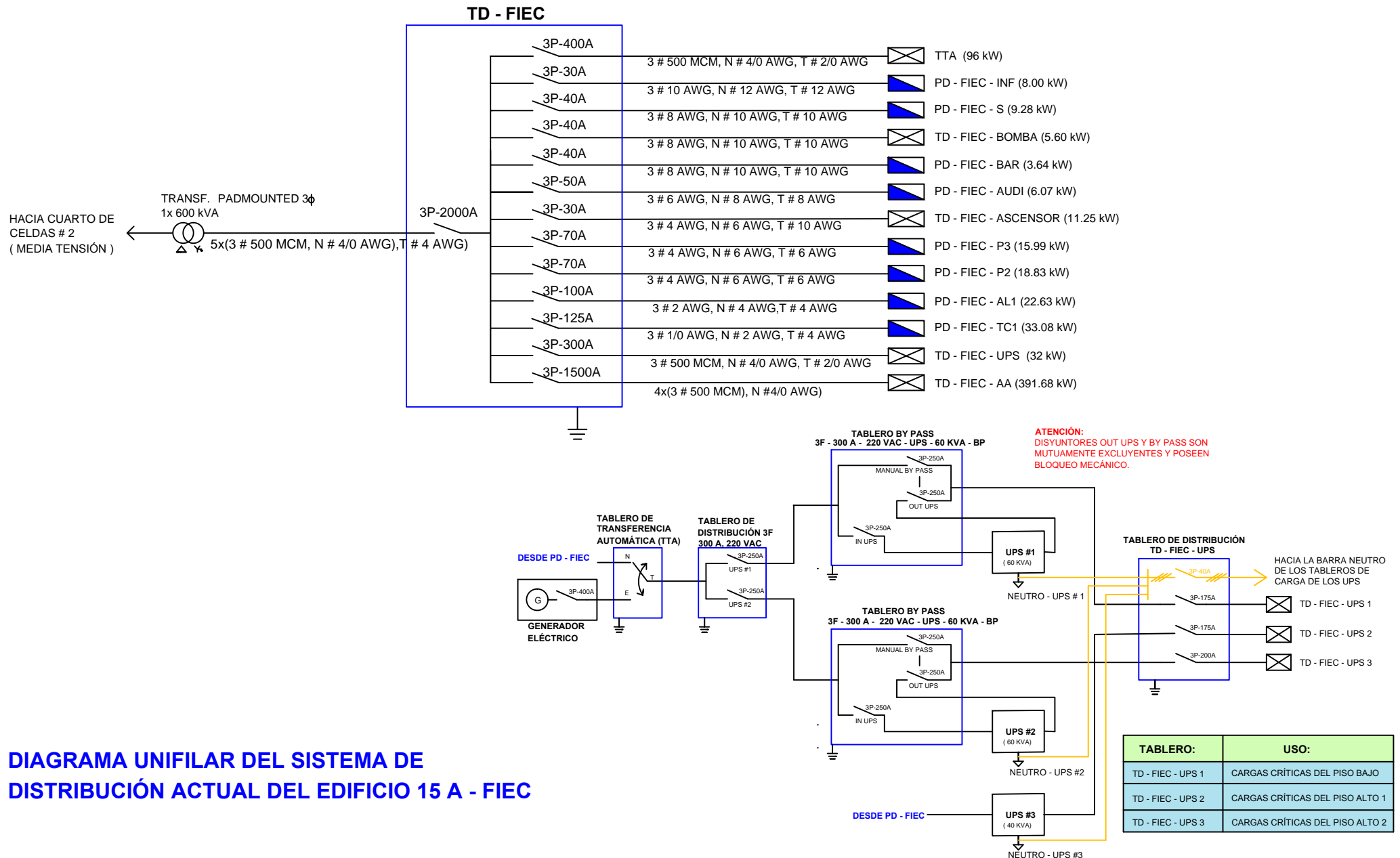
ANEXO2: Dimensionamiento del Sistema Fotovoltaico

ANEXO 3: Cargas de Alumbrado del Edificio 15 A

ANEXO 4: Cargas de Tomacorrientes-UPS del Edificio 15 A

ANEXO 5: Sistema Eléctrico Propuesto para el Edificio 15 A

# ANEXO 1: SISTEMA ELÉCTRICO ACTUAL EDIFICIO 15 A



**DIAGRAMA UNIFILAR DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ACTUAL DEL EDIFICIO 15 A - FIEC**



## ANEXO 2

### DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

Para la obtención del número de paneles nos referenciamos en [X1] quien detalla un análisis de costo para la implementación de generación fotovoltaica en el edificio 15 A. Primero fijamos el tipo de inversor y la capacidad de nuestros paneles. Para brindar una mayor confiabilidad a nuestro sistema se propone la instalación de 5 inversores de 20Kw, los cuales estarán conectados en paralelo. Se aplicará este análisis a 3 diferentes marcas de paneles, para escoger la opción más conveniente. Aplicando la ecuación 2.1 se obtuvo los valores obtenidos en la tabla Anexo 1.

$$\text{Número de paneles} = \frac{\text{Pot. max cc del inversor}}{\text{Capacidad del panel}} \quad (2.1)$$

CÁLCULO DEL NÚMERO DE PANELES			
Cantidad de inversores	Solar World 340W	SunPreme 370W	ET Solar 335W
1 inversor	59 paneles	54 paneles	60 paneles
5 inversores	295 paneles	270 paneles	299 paneles

Nota: Se tendrá 5 inversores de 20(kW) en paralelos.

**Tabla Anexo 1: Calculo del número de paneles según el inversor**

#### 3.5.1 Cálculo del número de Paneles en serie

##### Datos del inversor:

- Rango de Tensión MPP: [320v – 800v]
- Tensión máxima de CC <= 1000v

Para el cálculo del total de paneles en serie aplicamos la ecuación 2.2, asegurando que el sistema fotovoltaico trabaje a valores que se encuentren dentro

del margen de tensión de máxima potencia en el inversor. Los valores obtenidos se muestran en la tabla Anexo 2.

$$\text{Número de paneles en serie} = \frac{V_{\max, \text{ mpp, inv}}}{V_{\text{mpp, panel}}} \quad (2.2)$$

PANELES EN SERIE		
Solar World 340W	SunPreme 370 W	ET Solar 335W
21 paneles	19 paneles	21 paneles

**Tabla Anexo 2: Calculo del número de paneles en serie**

### 3.5.2 Verificación de la caída de tensión por grado centígrado

Para el análisis de este punto se asume la situación más crítica para la generación fotovoltaica, a temperaturas mínimas y baja irradiación. Utilizando los valores presentados en la tabla Anexo 3 y tabla Anexo 4 procedemos a reemplazarlos en la ecuación 2.3 para obtener la temperatura promedio de la celda solar.

Guayaquil	Enero	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
Ta mínima (C)	22	23	20	23	24	22	22	19	20	20	20	23

**Tabla Anexo 3: Temperaturas mínimas mensuales en la ciudad de Guayaquil**

Parámetro	Valores
Irradiación (G)	200 W/m <sup>2</sup>
Temperatura de operación normal de la celda solar (NOCT)	45°
Temperatura en condición estándar (T° STC)	25°
Temperatura mínima de operación (Tmin)	19°

**Tabla Anexo 4: Valores considerados para obtener la temperatura promedio de la celda solar**

$$T_c = T_a + \frac{NOCT - T_{aSTC}}{800} * G \quad (2.3)$$

$$T_c = 24^\circ C$$

$$VOC(T_c) = VOC(STC) + \beta \% 100^\circ C \times VOC(STC) \times (T_c - T_{STC}) \quad (2.4)$$

Aplicando la ecuación 2.4 para los diferentes paneles se obtuvo los resultados siguientes mostrados en la tabla anexo 5:

<b>CÁLCULOS DE LA CAIDA DE TENSIÓN POR GRADO CENTÍGRADO</b>		
<b>Solar World 340W</b>	<b>SunPreme 370 W</b>	<b>ET Solar 335W</b>
<b>47,58</b>	47,48	46,73

**Tabla Anexo 5: Cálculo de tensión por grado centígrado para cada tipo de panel**

Observamos que el que cuenta con una menor caída de voltaje es panel de marca SunPREME. Se multiplica el total de numero de paneles por la caída de voltaje y se obtiene valores que sobrepasa el rango de los inversores.

Tabla 6.

<b>CÁLCULO DE LA CAIDA DE TENSIÓN TOTAL</b>		
<b>Solar World 340W</b>	<b>SunPreme 370 W</b>	<b>ET Solar 335W</b>
1001,75	893,80	985,42

**Tabla Anexo 6: Cálculo de la caída de tensión en total por todos los paneles en serie**

Para disminuir este valor de voltaje, se disminuye 3 paneles en serie para cada panel, con el objetivo de presenciar cual es la marca óptima como se muestra en la tabla anexo 7. Luego se obtiene la nueva caída de tensión

para cada uno de las diferentes marcas de los paneles en serie, ver tabla anexo 8.

<b>PANELES EN SERIE NECESARIOS</b>		
<b>Solar World 340W</b>	<b>SunPreme 370</b>	<b>ET Solar 335W</b>
18	16	18

**Tabla Anexo 7: Número de paneles en serie**

<b>CÁLCULO DE CAIDA DE TENSIÓN TOTAL DE LOS PANELES EN SERIE</b>		
<b>Solar World 340W</b>	<b>SunPreme 370 W</b>	<b>ET Solar 335W</b>
856,50	759,73	841,21

**Tabla Anexo 8: Calculo de la caída de tensión en total por todos los paneles en serie reales**

Se escoge la opción del Panel SunPREME 370W, ya que es la opción mas óptima y registra una menor caída de tensión y no sobrepasa los valores de rango establecidos por el inversor. En la tabla anexo 9 se detalla el juego de paneles en serie y en paralelo a utilizar.

<b>Número de paneles en Serie.</b>	<b>Número de Paneles en Paralelo.</b>	<b>Total de Paneles</b>
16	17	272

**Tabla Anexo 9: Numero de Paneles en total**

Con 272 paneles de marca SunPREME con capacidad 370 W, se espera cubrir una demanda de 100,640 (KW)

### **3.5.3 Costo estimado del Sistema Fotovoltaico Propuesto**

A continuación, en la tabla Anexo 10 se muestra un resumen del costo estimado del Sistema Fotovoltaico propuesto. Vale la pena mencionar, que los costos indicados sólo son referenciales y no involucra valores o costos por obras civiles ni servicios asociados.

EQUIPO	\$ POR UNIDAD	CANTIDAD	\$ POR MONTO
Inversor marca SUNNY TRIPOWER 20000TL	2200	5	11,000
Panel Solar marca SunPREME 370W	444.00	272	120,768
TABLERO DE PARALELISMO AUTOMÁTICO (TPA)	2500	1	2500
<b>TOTAL</b>			<b>134,268</b>

**Tabla Anexo 10: Estimación de costos del Sistema Fotovoltaico Propuesto**

### **3.5.4 Costo Estimado del Sistema de Comunicación y Control**

Dado que se busca cumplir con las recomendaciones establecidas por la Academia Nacional de Ciencias de Washington DC, se describirá el sistema de control de la red eléctrica y de seguridad del edificio 15A. Para esto, se plantea un sistema de comunicación de bajo costo entre el sistema de control contenido en una placa electrónica ARDUINO y el conjunto de sensores de detección por medio de una red WLAN con estándar IEEE 802.11.

Cabe recalcar que el edificio 15 A ya cuenta con los recursos necesarios tales como, cámaras de seguridad, lector de banda magnéticas en tarjetas, lector de huellas digitales, generador a Diesel y sistema de UPS.

➤ **MICROCONTROLADOR ARDUINO MEGA ADK**

A continuación, en la tabla Anexo 11 se muestra las características del microcontrolador Arduino MEGA ADK considerado para la realización del presente proyecto. Se escogió este microprocesador por su sencillez y facilidad de programación.

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 15 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz
USB Host Chip	MAX3421E
Length	101.52 mm
Width	53.3 mm
Weight	36 g

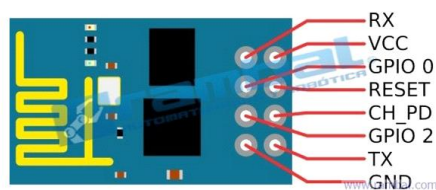
**Tabla Anexo 11: Características técnicas del microcontrolador Arduino mega ADK**

➤ **ADAPTADOR WIRELESS ESP8266**

A continuación, se muestran las características del adaptador Wireless ESP8266:

- 802.11 b/g/ n
- WIFI @ 2.4 GHz, soporta WPA / WPA2.
- Modulo ultra-pequeño. Tamaño 25mm x 15mm x 1mm
- ADC integrado de 10 bit de precisión.

- Protocolo stack TCP/IP integrado.
- Switch TR integrado, balun, LNA, amplificador de potencia y red de adaptación.
- PLL integrado, regulador de tensión y componentes de administración de energía.
- Potencia de salida: 802.11b mode + 19.5dBm
- Soporta diversidad de antenas.
- Corriente de fuga menor que 10uA.
- CPU de 32 bits de baja potencia: puede funcionar como procesador de aplicaciones.
- SDIO 2.0, SPI, UART.
- STBC, 1x1 MIMO, 2x1 MIMO (Múltiple entrada, múltiple salida).
- A-MPDU & agregación A-MSDU & 0.4ms de intervalo de guarda.
- Encendido y transferencia de paquetes < 2ms.
- El consumo de energía en espera es de menos de 1.0mW (DTIM3).
- Rango de temperatura de operación: -40 ~ 100 °C.
- Voltaje de alimentación: 3.3 V (Necesita de 300 a 400 mA de pico).
- Este módulo no tolera 5 V. Cualquier voltaje superior a 3.6 V en sus entradas o en el pin de alimentación puede dañarlo.



**Figura Anexo 1: Diagrama de conexiones del adaptador Wireless ESP8266**

➤ **Sensor de Movimiento Marca Zennio**

A continuación, en la tabla Anexo 12 se detalla las características técnicas del sensor de movimiento recomendado para el presente proyecto pues toma en consideración aspectos de robustez, calidad y eficiencia.

SPECIFICACIONES GENERALES	
Concepto	Descripción
Tipo de dispositivo	Dispositivo de control de funcionamiento eléctrico
Consumo en estado de detección	1mA
Consumo en stand-by	15µA
Alimentación externa	Aportada por el dispositivo externo a través del terminal común
Temperatura de trabajo	0°C a +55°C
Temperatura de almacenamiento	-20°C a +70°C
Humedad relativa (ambiente)	3 a 95% RH (Sin condensación)
Humedad relativa de almacenamiento	3 a 95% RH (Sin condensación)
Grado de contaminación	IP20, ambiente limpio
Montaje	Recomendado en falso techo. Evitar su instalación próxima a puntos de iluminación u otras fuentes de calor
Indicador de operación	Al detectar movimiento, el led debe emitir un destello. Función anulable con el micro-interruptor correspondiente
Índice CTI de la PCB	175 V
Material de la carcasa	PC + ABS FR V0 Libre de halógenos
Peso aproximado	25 g.
Método de conexión	Bloque de terminales (tornillo)
Longitud de cableado máxima	30 metros (especificación entradas Zennio: consultar dispositivos compatibles)
Sección de cable	0,15 mm <sup>2</sup> a 1 mm <sup>2</sup> (Especificación entradas Zennio: consultar dispositivos compatibles)
Número máximo de detectores en paralelo	2 (al menos un sensor de luminosidad debe ser anulado)
Ángulo detección eje X	51°
Ángulo detección eje Y	46°
Rango valores luminosidad	TBD

**Tabla Anexo 12: Especificaciones técnicas del sensor de movimiento marca Zennio**

Debido a que son 4 salones en los que se les ejercerá el control de iluminarias y acondicionadores de aires, se propone un sistema de comunicación para cada curso y de esta manera se evita interrupciones de ruido por parte del sensor debido a las distancias entre estos cursos.

A continuación, se presentará las características de algunos equipos que servirán para la implementación del presente proyecto:



## EQUIPOS CONSIDERADOS PARA EL SISTEMA FOTOVOLTAICO DEL EDIFICIO 15 A

Para el dimensionamiento del Sistema Fotovoltaico se consideraron las características técnicas de varios equipos destinados exclusivamente para el uso en instalaciones fotovoltaicas de mediana potencia. Las imágenes que se mostrarán a continuación fueron tomadas de los catálogos ofrecidos por los fabricantes y que se encuentran disponibles de forma gratuita en la red.

### ➤ INVERSOR MARCA SUNNY TRIPOWER 20000TL

Se ha considerado sugerir inversores marca SUNNY debido a la experiencia que tiene esta empresa en el sector de energía fotovoltaica. Sus productos son de una aceptable calidad. La figura Anexo 2 muestra la forma básica de un inversor de mediana potencia.



Figura Anexo 2: Inversor marca SUNNY de 15 kW [17]

Los paneles SUNPREME, SOLAR WORLD y ET SOLAR presentan excelentes prestaciones de operación, por este motivo se muestra sus características técnicas en las siguientes figuras:

➤ **PANEL SOLAR MARCA SUNPREME (370W)**



**Panel Solar Bifacial e Inteligente de 310W y 370W**

Tecnología Bifacial que genera energía tanto de la cara frontal, como de la cara posterior del módulo, lo que resulta en la obtención de hasta 20% más energía (kWh). Las celdas HCT, empaquetadas en módulos de doble vidrio sin marco, producen mayor energía y no sufren de degradación inducida por la luz (LID) o de degradación inducida por potencial (PID).

**Garantía**

- 10 Años de Garantía de Producto.
- 25 Años de Garantía en el Rendimiento.

**Garantía de Potencia.**

Las obligaciones de garantía de rendimiento en módulo(s) GXB 310 SM, si es producida y comercializada durante el periodo de la póliza (15 de julio, 2014 a diciembre, 2016), y han sido asegurados por Sunpreme con una aseguradora Munich Re Group, o reaseguradas por Munich Reinsurance Sólo Sunpreme o sucesor designado pueden tomar una acción directa contra el asegurador.

	<b>GXB-310-SM</b>	<b>GXB-370-SM*</b>
<b>Características Eléctricas STC</b>	<b>SNSPSOAB001</b>	<b>SNSPSOAB002</b>
Potencia Máxima (Pmax)	310 W	370 W
Eficiencia del Módulo	18.8%	19.1%
Voltaje de Circuito Abierto (Voc/V)	39.5 V	47.5 V
Máxima Corriente (Imp/A)	8.8 A	8.7 A
Máximo Voltaje (Vmp/V)	35.2 V	42.5 V
Corriente de Cortocircuito (Isc/A)	10.0 A	10.0 A

**Características Mecánicas**

Dimensión y Peso	1663x990x6mm / 25.2kg	1982x990x6mm / 27.4kg
Cantidad y Tipo de Celdas	60 / Bifacial Hybrid Cell Technology	72 / Bifacial Hybrid Cell Technology
Carga Máxima	1000 VDC UL	
Conector	MC4 Compatible	
Piezas por Pallet	26 Módulos	28 Módulos

**Figura Anexo 2: Características técnicas paneles solares marca SUNPREME [8]**

➤ **PANEL SOLAR MARCA SOLAR WORLD (340W)**

**Sunmodule®**  
**SWA 340 - 350 XL MONO**



PERFORMANCE UNDER STANDARD TEST CONDITIONS (STC)\*

		SWA 340	SWA 345	SWA 350
Maximum power	$P_{max}$	340 Wp	345 Wp	350 Wp
Open circuit voltage	$V_{oc}$	47.0 V	47.2 V	47.3 V
Maximum power point voltage	$V_{mpp}$	37.1 V	37.5 V	37.8 V
Short circuit current	$I_{sc}$	9.81 A	9.82 A	9.82 A
Maximum power point current	$I_{mpp}$	9.26 A	9.28 A	9.29 A
Module efficiency	$\eta_m$	17.04 %	17.29 %	17.54 %

Measuring tolerance ( $P_{max}$ ) traceable to TUV Rheinland: +/- 2%

\*STC: 1000W/m<sup>2</sup>, 25°C, AM 1.5

PERFORMANCE AT 800 W/m<sup>2</sup>, NOCT, AM 1.5

		SWA 340	SWA 345	SWA 350
Maximum power	$P_{max}$	257.3 Wp	260.4 Wp	262.2 Wp
Open circuit voltage	$V_{oc}$	43.6 V	43.6 V	43.7 V
Maximum power point voltage	$V_{mpp}$	34.4 V	34.7 V	34.9 V
Short circuit current	$I_{sc}$	7.97 A	7.98 A	7.98 A
Maximum power point current	$I_{mpp}$	7.49 A	7.50 A	7.56 A

Minor reduction in efficiency under partial load conditions at 25 °C: at 200 W/m<sup>2</sup>, 97% (+/-3%) of the STC efficiency (1000 W/m<sup>2</sup>) is achieved.

**Figura Anexo 3: Características técnicas paneles solares marca SOLAR WORLD [8]**

➤ **PANEL SOLAR MARCA ET SOLAR (335W)**

ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS					
Tipo de Modelo	ET-M672345WW	ET-M672340WW	ET-M672335WW	ET-M672330WW	ET-M672325WW
	ET-M672345WB	ET-M672340WB	ET-M672335WB	ET-M672330WB	ET-M672325WB
Potencia Máxima	345W	340W	335W	330W	325W
Eficiencia de Módulo	17.78%	17.52%	17.26%	17.01%	16.75%
Tensión de Funcionamiento Óptimo(Vmp)	38.38V	38.17V	37.94V	37.55V	37.11V
Corriente de Funcionamiento Óptimo(Imp)	8.99A	8.91A	8.83A	8.79A	8.76A
Tensión de Circuito Abierto(Voc)	47.13V	46.91V	46.75V	46.64V	46.54V
Corriente de Cortocircuito(Isc)	9.48A	9.41A	9.33A	9.29A	9.11A
Tolerancia de Potencia	0 to +5W				
Temperatura de operación	- 40 ~ + 85°C				
Máxima Tensión del Sistema	DC 1000V				
Temperatura de Célula en operación nominal	44.4±2°C				
Seguridad contra Incendios	Class C				
Amperaje Máximo del Fusible de Serie	20A				

ESPECIFICACIONES MECÁNICAS	
Tipo de Celda	156.75mm x 156.75mm
Cantidad de Celdas	72 Celdas en serie
Peso	25.7 kg (56.66 lbs)
Dimensión	1956×992×40mm (77.01×39.06×1.58 inch)
Carga Máxima	5400 Pascals ( 112 lb/ft <sup>2</sup> )
Caja de Conexiones	Calificación IP67
Conector	MC4 Compatible
Cable	4mm <sup>2</sup>

COEFICIENTE DE TEMPERATURA	
Coef de Temperatura de Isc(TK Isc)	0.05% /°C
Coef de Temperatura de Voc(TK Voc)	-0.30% /°C
Coef de Temperatura de Pmax(TK Pmax)	-0.42% /°C

FORMA DE EMBALAJE	
Contenedor	40' HQ
Piezas por Paleta	26
Piezas por Contenedor	572

**Figura Anexo 4: Características técnicas del panel solar marca ET SOLAR [8]**

➤ **TABLERO DE PARALELISMO AUTOMÁTICO (TPA)**

Es de vital importancia poder elegir un tablero de paralelismo automático que sea de excelentes características técnicas y cumpla con las normas vigentes de seguridad en cuanto al tipo de material de fabricación se refiere. Podemos elegir tableros de paralelismo de marcas conocidas ya en el mercado, tales como ABB, General Electric o Preston (ver figura Anexo 5).

---

**Tableros de Transferencia Automática**



**Gabinete Metálico**

**Luces piloto de emergencia y normal**

**Bases para fusibles y fusibles**

**Relays de 220 voltios**

**Conmutador tres en uno**

**Figura Anexo 5: Vista frontal de un tablero de paralelismo marca Preston [15]**

## ANEXO 3: CARGAS DE ALUMBRADO DEL EDIFICIO 15 A



**PLANILLA PARA LA DETERMINACIÓN DE CARGAS DE ALUMBRADO  
INSTALADAS EN EL EDIFICIO 15A - FIEC**

(PLANTILLA 1)

NIVEL	ÁREA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	POTENCIA NOMINAL /LÁMPARA (W)	POTENCIA TOTAL (W)	CONSUMO PORCENTUAL (%)	
Piso bajo	Archivos generales	Lámpara fluorescente 3x32W	2	96	192	0,473	
	Área común / profesores A	Lámpara redonda /foco ahorrador 2x20W	35	40	1400	3,455	
	Área común / profesores B	Lámpara redonda /foco ahorrador 2x20W	42	40	1680	4,146	
	Área común / profesores C	Lámpara redonda /foco ahorrador 2x20W	17	40	680	1,678	
	Área general	Lámpara redonda /foco ahorrador 2x20W	39	40	1560	3,845	
	Auditorio	Lámpara fluorescente 3x32W	28	96	2688	6,633	
	Bar	Lámpara redonda /foco ahorrador 2x20W	6	40	240	0,592	
	Centro de emprendedores / oficinas	Lámpara fluorescente 3x32W	12	96	1152	2,843	
	Centro de emprendedores / zona de reunión	Lámpara redonda /foco ahorrador 2x20W	8	40	320	0,789	
	Cuarto de bomba	Lámpara redonda /foco ahorrador 2x20W	2	40	80	0,197	
	Cuarto de control / Auditorio	Lámpara fluorescente 2x17W	4	34	136	0,335	
	Cuarto de conserje	Lámpara redonda /foco ahorrador 2x20W	4	40	160	0,394	
	Cuarto eléctrico	Lámpara fluorescente 3x32W	2	96	192	0,473	
	Entrada principal del edificio	Lámpara redonda /foco ahorrador 2x20W	11	40	440	1,085	
	Entrada lateral del edificio	Lámpara redonda /foco ahorrador 2x20W	1	40	40	0,098	
	Ingreso área administrativa	Lámpara redonda /foco ahorrador 2x20W	5	40	200	0,493	
	Oficina - Decano	Lámpara fluorescente 3x32W	3	96	288	0,710	
	Oficinas de profesores (33 EN TOTAL)	Lámpara fluorescente 3x32W	99	96	9504	23,455	
	Oficina - Subdecano	Lámpara fluorescente 3x32W	3	96	288	0,710	
	Sala de consejo directivo	Lámpara fluorescente 3x32W	6	96	576	1,421	
	Salón de exposiciones y eventos múltiples		Lámpara fluorescente 3x32W	3	96	288	0,710
			Reflector 50W	8	50	400	0,987
	Secretaria Administrativa	Lámpara fluorescente 3x3(W)	5	96	480	1,184	
Secretaria Académica	Lámpara fluorescente 3x32W	4	96	384	0,947		
SS-HH Hombres	Lámpara redonda /foco ahorrador 2x20W	11	40	440	1,085		

	SS-HH Mujeres	Lámpara redonda /foco ahorrador 2x20W	7	40	280	0,691
Piso 1	Área común	Lámpara redonda /foco ahorrador 2x20W	34	40	1360	3,356
	Aula 15A - 01	Lámpara fluorescente 3x32W	10	96	960	2,369
	Aula 15A - 02	Lámpara fluorescente 3x32W	10	96	960	2,369
	Aula 15A - 03	Lámpara fluorescente 3x32W	10	96	960	2,369
	Aula 15A - 04	Lámpara fluorescente 3x32W	10	96	960	2,369
	Aula 15A - 05	Lámpara fluorescente 3x32W	10	96	960	2,369
	Biblioteca/Área de estudio	Lámpara fluorescente 3x32W	8	96	768	1,895
	Biblioteca/Área de archivos	Lámpara fluorescente 3x32W	5	96	480	1,184
	Oficina de Gestión Estratégica	Lámpara fluorescente 3x32W	8	96	768	1,895
	Sala de Ayudantes	Lámpara redonda /foco ahorrador 2x20W	2	40	80	0,197
	Sala de Rack	Lámpara redonda /foco ahorrador 2x20W	3	40	120	0,296
	SS-HH Hombres	Lámpara redonda /foco ahorrador 2x20W	7	40	280	0,691
	SS-HH Mujeres	Lámpara redonda /foco ahorrador 2x20W	6	40	240	0,592
Piso 2	Área común	Lámpara redonda /foco ahorrador 2x20W	18	40	720	1,776
	Domo central	Lámpara fluorescente 2x17W	16	34	544	1,342
	Laboratorio de Cisco	Lámpara fluorescente 3x32W	8	96	768	1,895
	Laboratorio de Digitales Básico	Lámpara fluorescente 3x32W	5	96	480	1,184
	Laboratorio de Ingeniería de Software Laboratorio de Sistemas Multimedia	Lámpara fluorescente 3x32W	8	96	768	1,895
	Laboratorio de Microcontroladores	Lámpara fluorescente 3x32W	6	96	576	1,421
	Laboratorio-1 de Programas Utilitarios	Lámpara fluorescente 3x32W	8	96	768	1,895
	Laboratorio-2 de Programas Utilitarios	Lámpara fluorescente 3x32W	8	96	768	1,895
	Laboratorio de Sistemas Digitales	Lámpara fluorescente 3x32W	6	96	576	1,421
	Laboratorio de Telecomunicaciones	Lámpara fluorescente 3x32W	8	96	768	1,895
	Sala de Rack	Lámpara redonda /foco ahorrador 2x20W	4	40	160	0,394
	SS-HH Hombres	Lámpara redonda /foco ahorrador 2x20W	7	40	280	0,691
	SS-HH Mujeres	Lámpara redonda /foco ahorrador 2x20W	6	40	240	0,592
Servicio General	Ascensor	Foco ahorrador 1x20W	6	20	120	0,296

DESCRIPCIÓN	POTENCIA INSTALADA (kW)	PORCENTAJE (%)
POTENCIA INSTALADA EN EL PISO BAJO (kW)	24,088	59,44
POTENCIA INSTALADA EN EL PISO 1 (kW)	8,896	21,95
POTENCIA INSTALADA EN EL PISO 2 (kW)	7,416	18,30
POTENCIA INSTALADA EN SERVICIO GENERAL	0,120	0,31
<b>POTENCIA TOTAL INSTALADA (KW)</b>	<b>40,520</b>	<b>100,00</b>

NOTA:

- El consumo porcentual de cada área es calculado con respecto a la potencia total instalada.
- Todas las lámparas son de tipo empotrable en el tumbado de yeso del edificio



# ANEXO 4: CARGAS DE TOMACORRIENTES-UPS EDIFICIO 15 A



**PLANILLA PARA LA DETERMINACIÓN DE CARGAS DE TOMACORRIENTES UPS  
INSTALADAS EN EL EDIFICIO 15A - FIEC**

(PLANILLA 4)

TIPO	PANEL	CIRCUITO	AMPERAJE (AMP.)	POLOS	CONDUCTOR (AWG)	FASE	# PUNTOS	DESCRIPCIÓN INDIVIDUAL	UBICACIÓN-TC UPS
<b>TIPO:</b> 12 / 24 1Ø General Electric  <b>VOLTAJE:</b> 120/240 Vac	PD-FIEC-UPS-1A	UPS1-1	20	1	12	A	5	TC UPS OP-IN-1, OP-IN-2	PISO BAJO
		UPS1-2	20	1	12	B	4	TC UPS OP-IN-3, OP-IN-4	
		UPS1-3	20	1	12	A	4	TC UPS OP-IN-5, OP-IN-6	
		UPS1-4	20	1	12	B	4	TC UPS OP-IN-7, OP-IN-8	
		UPS1-5	20	1	12	A	4	TC UPS OP-IN-9, OP-IN-10	
		UPS1-6	20	1	12	B	3	TC UPS OP 1-7, OP 1-8, OP 1-9	
		UPS1-7	20	1	12	A	3	TC UPS OP 1-10, OP 1-11, OP 1-12	
		UPS1-8	20	1	12	B	4	TC UPS OP 1-13, OP 1-14, OP 1-15, , OP 1-16	
		UPS1-9	20	1	12	A	4	TC UPS OP 1-17, OP 1-18, OP 1-19, , OP 1-20	
		UPS1-10	20	1	12	B	3	TC UPS OP 1-1, OP 1-2, OP 1-3	
		UPS1-11	20	1	12	A	3	TC UPS OP 1-4, OP 1-5, OP 1-6	
		UPS1-12	20	1	12	B	3	TC UPS OP 1-22, OP 1-23, OP 1-24	
	PD-FIEC-UPS-1B	UPS1-13	20	1	12	A	5	TC UPS SUBDECANO, OP-C-1, OP-C-2	PISO BAJO
		UPS1-14	20	1	12	B	4	TC UPS OP-C-3, OP-C-4	
		UPS1-15	20	1	12	A	4	TC UPS OP-C-5, OP-C-6	
		UPS1-16	20	1	12	B	4	TC UPS OP-C-7, OP-C-8	
		UPS1-17	20	1	12	A	5	TC UPS OP-C-9, OP-C-10, OP-1-21	
		UPS1-18	20	1	12	B	4	TC UPS DECANO, SECRETARÍA, SALA REUNIÓN 1	
		UPS1-19	20	1	12	A	4	TC UPS SECRETARÍA GENERAL	
		UPS1-20	20	1	12	B	5	TC UPS SALA INTERNET, ATENCIÓN ESTUDIANTES	
		UPS1-21	20	1	12	A	4	TC UPS SALA INTERNET	
		UPS1-22	20	1	12	B	4	TC UPS SALÓN EXPOSICIONES	
		UPS1-23	20	1	12	A	3	TC UPS SALÓN EXPOSICIONES	
		UPS1-24	20	1	12	B	1	TC UPS RACK 1, RACK 2, RACK 3, RACK 4	
		UPS1-25	20	1	12	A	1	TC UPS RACK 5, RACK 6, RACK 7	

TIPO	PANEL	CIRCUITO	AMPERAJE (AMP.)	POLOS	CONDUCTOR (AWG)	FASE	# PUNTOS	DESCRIPCIÓN INDIVIDUAL	UBICACIÓN-TC UPS
<b>TIPO:</b> 12 / 24 1Ø General Electric  <b>VOLTAJE:</b> 120/240 Vac	PD-FIEC-UPS-2	UPS2-1	20	1	12	A	6	TC UPS SALA DE AYUDANTES, BIBLIOTECA	PISO 1
		UPS2-2	20	1	12	B	4	TC UPS SALA DE AYUDANTES, BIBLIOTECA	
		UPS2-3	20	1	12	A	5	TC UPS SALA DE AYUDANTES	
		UPS2-4	20	1	12	B	6	TC UPS SALA DE AYUDANTES	
		UPS2-5	20	1	12	A	6	TC UPS SALA DE AYUDANTES	
		UPS2-6	20	1	12	B	3	TC UPS AULA 1, AULA 2, AULA 3	
		UPS2-7	20	1	12	A	2	TC UPS AULA 4, AULA 5	
		UPS2-8	20	1	12	B	2	TC UPS CUARTO DE SONIDO, PROYECCIÓN	
		UPS2-9	20	1	12	A	4	TC UPS AUDITORIO	PISO BAJO
		UPS2-10	20	1	12	B	1	TC UPS RACK	PISO 1

TIPO	PANEL	CIRCUITO	AMPERAJE (AMP.)	POLOS	CONDUCTOR (AWG)	FASE	# PUNTOS	DESCRIPCIÓN INDIVIDUAL	UBICACIÓN TC UPS
<b>TIPO:</b> 6 / 12 1Ø General Electric  <b>VOLTAJE:</b> 120/240 Vac	PD-FIEC-LAB1	LAB1-1	20	1	12	A	3	TC. COMPUTADORAS (6 MÁQUINAS)	PISO 2
		LAB1-2	20	1	12	B	2	TC. COMPUTADORAS (6 MÁQUINAS)	
		LAB1-3	20	1	12	A	2	TC. COMPUTADORAS (6 MÁQUINAS)	
		LAB1-4	20	1	12	B	2	TC. COMPUTADORAS (6 MÁQUINAS)	
		LAB1-5	20	1	12	A	2	TC. COMPUTADORAS (6 MÁQUINAS)	
		LAB1-6	20	1	12	B	2	TC. COMPUTADORAS (6 MÁQUINAS)	
		LAB1-7	20	1	12	A	2	TC. COMPUTADORAS (6 MÁQUINAS)	
<b>TIPO:</b> 6 / 12 1Ø General Electric  <b>VOLTAJE:</b> 120/240 Vac	PD-FIEC-LAB2	LAB2-1	20	1	12	A	3	TC. COMPUTADORAS (6 MÁQUINAS)	PISO 2
		LAB2-2	20	1	12	B	2	TC. COMPUTADORAS (6 MÁQUINAS)	
		LAB2-3	20	1	12	A	2	TC. COMPUTADORAS (6 MÁQUINAS)	
		LAB2-4	20	1	12	B	2	TC. COMPUTADORAS (6 MÁQUINAS)	
		LAB2-5	20	1	12	A	2	TC. COMPUTADORAS (6 MÁQUINAS)	
		LAB2-6	20	1	12	B	2	TC. COMPUTADORAS (6 MÁQUINAS)	
		LAB2-7	20	1	12	A	2	TC. COMPUTADORAS (6 MÁQUINAS)	
<b>TIPO:</b> 6 / 12 1Ø General Electric  <b>VOLTAJE:</b> 120/240 Vac	PD-FIEC-LAB MM	LAB MM-1	20	1	12	A	3	TC. COMPUTADORAS (7 MÁQUINAS)	PISO 2
		LAB MM-2	20	1	12	B	2	TC. COMPUTADORAS (6 MÁQUINAS)	
		LAB MM-3	20	1	12	A	2	TC. COMPUTADORAS (6 MÁQUINAS)	
		LAB MM-4	20	1	12	B	2	TC. COMPUTADORAS (6 MÁQUINAS)	
		LAB MM-5	20	1	12	A	2	TC. COMPUTADORAS (6 MÁQUINAS)	
		LAB MM-6	20	1	12	B	2	TC. COMPUTADORAS (6 MÁQUINAS)	
		LAB MM-7	20	1	12	A	2	TC. COMPUTADORAS (6 MÁQUINAS)	

TIPO	PANEL	CIRCUITO	AMPERAJE (AMP.)	POLOS	CONDUCTOR (AWG)	FASE	# PUNTOS	DESCRIPCIÓN INDIVIDUAL	UBICACIÓN TC UPS
<b>TIPO:</b> 6 / 12 1Ø General Electric  <b>VOLTAJE:</b> 120/240 Vac	PD-FIEC-LAB MS	LAB MS-1	20	1	12	A	2	TC. COMPUTADORAS (5 MÁQUINAS)	PISO 2
		LAB MS-2	20	1	12	B	2	TC. COMPUTADORAS (6 MÁQUINAS)	
		LAB MS-3	20	1	12	A	2	TC. COMPUTADORAS (6 MÁQUINAS)	
		LAB MS-4	20	1	12	B	2	TC. COMPUTADORAS (6 MÁQUINAS)	
		LAB MS-5	20	1	12	A	2	TC. COMPUTADORAS (6 MÁQUINAS)	
		LAB MS-6	20	1	12	B	2	TC. COMPUTADORAS (6 MÁQUINAS)	
		LAB MS-7	20	1	12	A	2	TC. COMPUTADORAS (6 MÁQUINAS)	
		LAB MS-8	20	1	12	B	1	TOMACORRIENTE RACK	
		LAB MS-9	20	1	12	A	1	TOMACORRIENTE RACK	
		LAB MS-10	20	1	12	B	1	TOMACORRIENTE RACK	
<b>TIPO:</b> 6 / 12 1Ø General Electric  <b>VOLTAJE:</b> 120/240 Vac	PD-FIEC-LAB DS	LAB DS-1	20	1	12	A	2	TC. COMPUTADORAS (5 MÁQUINAS)	PISO 2
		LAB DS-2	20	1	12	B	2	TC. COMPUTADORAS (6 MÁQUINAS)	
		LAB DS-3	20	1	12	A	2	TC. COMPUTADORAS (6 MÁQUINAS)	
		LAB DS-4	20	1	12	B	2	TC. COMPUTADORAS (6 MÁQUINAS)	
		LAB DS-5	20	1	12	A	2	TC. COMPUTADORAS (6 MÁQUINAS)	
		LAB DS-6	20	1	12	B	2	TC. COMPUTADORAS (6 MÁQUINAS)	
		LAB DS-7	20	1	12	A	2	TC. COMPUTADORAS (6 MÁQUINAS)	
<b>TIPO:</b> 6 / 12 1Ø General Electric  <b>VOLTAJE:</b> 120/240 Vac	PD-FIEC-LAB MP	LAB MP-1	20	1	12	A	5	TC. COMPUTADORAS	PISO 2
		LAB MP-2	20	1	12	B	5	TC. COMPUTADORAS	
		LAB MP-3	20	1	12	A	5	TC. COMPUTADORAS	
		LAB MP-4	20	1	12	B	5	TC. COMPUTADORAS	

TIPO	PANEL	CIRCUITO	AMPERAJE (AMP.)	POLOS	CONDUCTOR (AWG)	FASE	# PUNTOS	DESCRIPCIÓN INDIVIDUAL	UBICACIÓN TC UPS
<b>TIPO:</b> 6 / 12 1Ø General Electric  <b>VOLTAJE:</b> 120/240 Vac	PD-FIEC-LAB MC	LAB MC-1	20	1	12	A	6	TC. COMPUTADORAS	PISO 2
		LAB MC-2	20	1	12	B	6	TC. COMPUTADORAS	
		LAB MC-3	20	1	12	A	5	TC. COMPUTADORAS	
		LAB MC-4	20	1	12	B	5	TC. COMPUTADORAS	
<b>TIPO:</b> 6 / 12 1Ø General Electric  <b>VOLTAJE:</b> 120/240 Vac	PD-FIEC-LAB SD	LAB SD-1	20	1	12	A	4	TC. COMPUTADORAS (6 MÁQUINAS)	PISO 2
		LAB SD-2	20	1	12	B	3	TC. COMPUTADORAS (6 MÁQUINAS)	
		LAB SD-3	20	1	12	A	3	TC. COMPUTADORAS (6 MÁQUINAS)	
		LAB SD-4	20	1	12	B	3	TC. COMPUTADORAS (5 MÁQUINAS)	
<b>TIPO:</b> 6 / 12 1Ø General Electric  <b>VOLTAJE:</b> 120/240 Vac	PD-FIEC-LAB SITC	LAB SITC-1	20	1	12	A	3	TC. COMPUTADORAS (6 MÁQUINAS)	PISO 2
		LAB SITC-2	20	1	12	B	3	TC. COMPUTADORAS (6 MÁQUINAS)	
		LAB SITC-3	20	1	12	A	3	TC. COMPUTADORAS (5 MÁQUINAS)	
		LAB SITC-4	20	1	12	B	2	TC. COMPUTADORAS (4 MÁQUINAS)	
<b>TIPO:</b> 6 / 12 1Ø General Electric  <b>VOLTAJE:</b> 120/240 Vac	PD-FIEC-LAB STC	LAB STC-1	20	1	12	A	5	TC. COMPUTADORAS	PISO 2
		LAB STC-2	20	1	12	B	5	TC. COMPUTADORAS	
		LAB STC-3	20	1	12	A	6	TC. COMPUTADORAS	
		LAB STC-4	20	1	12	B	6	TC. COMPUTADORAS	

# ANEXO 5: SISTEMA ELÉCTRICO PROPUESTO PARA EL EDIFICIO 15 A

## DIAGRAMA UNIFILAR DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DEL EDIFICIO 15 A - FIEC

