



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**

“DISEÑO DE LA GESTIÓN DE CARGA DE UN CONDOMINIO  
CON GENERACIÓN DISTRIBUIDA UTILIZANDO SIMULACIÓN  
EN TIEMPO REAL”

**INFORME DE MATERIA INTEGRADORA**

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN ELECTRICIDAD ESPECIALIZACIÓN  
POTENCIA**

NILO DAVID DICADO CIRINO

EDWIN OSWALDO ESTÉVEZ MACÍAS

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2017

## AGRADECIMIENTOS

Mis más profundos y sentidos agradecimientos a mi familia, quienes supieron impulsarme durante los años de estudio, mi madre quien estuvo siempre preocupada de mí y sé que está orgullosa en la persona en la cual me he convertido, mi padre quien me supo quitar ciertas dudas de la carrera y me ha aconsejado de tal forma que me ayudo a enfrentar retos que se han presentado a lo largo de mi vida; a mi hermano mayor, aquel que me guió en la carrera y a mi hermana quien me muestra siempre sus gestos afectivos. También doy un grato agradecimiento a mis queridos amigos de toda la carrera, algunos de ellos desde el pre universitario y otros que fui ganando en mis últimos semestres. Para culminar agradezco a mis profesores, los cuales supieron depositar sus vastos conocimientos en mí.

Edwin Oswaldo Estévez Macías

Mis más grandes agradecimientos a Dios por haberme permitido llegar hasta esta meta dotándome de fuerzas, capacidad e inteligencia para llevar a cabo mis estudios, a toda mi familia por el apoyo y consejos brindado cada día, padre, madre y hermanas quienes nunca me dejaron desmayar e impulsaron a seguir adelante; a mis jefes del lugar de trabajo quienes supieron entender cada parte de este proceso y apoyaron cuando más lo necesitaba, al gobierno de la Revolución Ciudadana por permitir mediante leyes que los estudios universitarios se transformen en un derecho y que se pueda acceder por medio del esfuerzo de cada ciudadano, a mis profesores quienes con sus enseñanzas me impulsaron a tener mejores conocimientos y finalmente a mis amigos y compañeros de estudios a los cuales puedo apreciar de gran manera.

Nilo David Dicado Cirino

## DEDICATORIA

Al creador de todas las cosas, el que nos ha dado la fortaleza para continuar cuando hemos estado a punto de caer; por ello, con toda la humildad que mi corazón puede emanar, dedicamos primeramente el trabajo a Dios. De igual forma, dedicamos este trabajo a nuestros padres” Elizabeth y Gustavo” además de “Rosa y Nilo”, que han sabido formarnos con buenos propósitos, hábitos y valores, lo cual nos ha ayudado a salir adelante en los momentos más difíciles. A nuestras familias en general, porque nos han brindado su apoyo incondicional y por compartir buenos y malos momentos. Por último a mis amigos y compañeros de materia integradora, que gracias a su apoyo y conocimiento hicieron de esta experiencia una de las que siempre recordaremos.

Edwin Oswaldo Estévez Macías

Nilo David Dicado Cirino

## TRIBUNAL DE EVALUACIÓN

.....  
**Ph. D. Sífifo Falcones Zambrano**

PROFESOR EVALUADOR

.....  
**Ing. Héctor Antonio Plaza Vélez**

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"

.....  
Nilo David David Dicado Cirino

.....  
Edwin Oswaldo Estévez Macías

## RESUMEN

En el siguiente documento se establece una solución para un condominio de 3 plantas en el momento que surja una falla y se quede sin energía proveniente de la red pública, esta solución se la realiza mediante un operador que monitorea los eventos cada determinado tiempo y toma decisiones de transferencia y alimentación de energía mediante el uso de equipos inteligentes como lo son paneles fotovoltaicos, banco de baterías y generador a diésel que serán los encargados de proveer de energía de manera distribuida en el momento que el condominio quede aislado de la red pública, y así evitar que se quede sin energía eléctrica hasta que resuelva el problema la empresa pública. Para la correcta aplicación de generación distribuida se hace el estudio de perfil de carga en cada planta del condominio separando las cargas en cargas esenciales, cargas semi esenciales y cargas no esenciales, las cuales están conectadas a una barra con su respectivo seccionamiento para cuando surja la falla conectar y desconectar las cargas que se van a habilitar, con todos los estudios realizados sobre el perfil de cargas se procede a realizar la simulación en el programa Matlab y su herramienta Simulink para observar el funcionamiento normal del condominio y de esta manera surgen dos escenarios los cuales son el día y la noche, estos son tomados en cuenta por el motivo que en el día funcionarán los 3 equipos inteligentes mencionados anteriormente conectando y proveyendo de energía a las cargas esenciales y semi esenciales pero en la noche solo funcionaran el banco de baterías cargados durante el día por los paneles fotovoltaicos y el generador a diesel, haciendo que en la noche solo se conecten y funcionen las cargas esenciales; estos eventos también son simulados e ingresados al programa Matlab-Simulink observando el funcionamiento y para evitar que surjan inconvenientes al momento de estar aislados, el operador recibirá una señal cuando una planta del condominio este excediendo los límites de uso de energía, de esta manera el operador procederá a enviar un aviso luminoso a dicha planta y en caso de ser reincidente se procederá a quitar las conexiones de cargas esenciales o semi esenciales por medio de sus seccionamientos y así evitar fallas sobrecargas en los equipos.

## ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS .....	ii
DEDICATORIA .....	iii
TRIBUNAL DE EVALUACIÓN .....	iv
DECLARACIÓN EXPRESA .....	v
RESUMEN .....	vi
ÍNDICE GENERAL.....	vii
CAPÍTULO 1 .....	1
1. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Justificación .....	1
1.3 Alcance.....	2
1.4 Objetivos.....	4
1.4.1 Objetivo General.....	4
1.4.2 Objetivos Específicos.....	4
CAPÍTULO 2.....	6
2. PARÁMETROS Y CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS DE LA RED INTELIGENTE. ....	6
2.1 Redes inteligentes .....	6
2.2 Generación distribuida.....	6
2.3 Gestión de carga .....	7
2.4 Introducción del software RT LAB .....	7
2.5 Subsistemas de interface y configuración.....	8
2.6 Bloques de comunicación de Opal RT.....	8
2.7 Introducción a LabVIEW .....	8
2.8 Paneles fotovoltaicos.....	9
2.9 Parámetros de paneles fotovoltaicos.....	10
2.10 Cantidad de paneles fotovoltaicos .....	11

2.11	Parámetros del convertidor.....	12
2.12	Parámetros de las baterías.....	13
2.13	Generador síncrono.....	14
2.13.1	Características del control regulador de voltaje del generador.....	15
2.13.2	Partes del control carga frecuencia del generador.....	15
2.14	Parámetros del generador.....	16
2.15	Consumo diario normal de un consumidor.....	17
2.16	Gestión de cargas.....	17
2.17	Potencia de cargas esenciales.....	18
2.18	Diagrama interno de seccionamientos para cada piso del condominio.....	19
2.19	Diagrama de estados del sistema.....	20
2.20	Funcionamiento de alimentación.....	21
2.21	Funcionamiento propio de la carga.....	21
CAPÍTULO 3.....		22
3.	MODELAMIENTO EN SIMULINK.....	22
3.1	Modelo para un generador a Diésel.....	22
3.1.1	Regulador automático de voltaje AVR.....	24
3.1.2	Regulador Carga Frecuencia AGC.....	25
3.2	Modelo del panel solar.....	26
3.2.1	Modelamiento de las curvas del panel solar y consumidor.....	26
3.2.2	Modelo básico y completo del Panel Solar.....	28
3.3	Modelamiento para las baterías.....	30
3.4	Descripción del modelamiento y control del sistema.....	31
3.4.1	Control de secuencia.....	31
3.4.2	Control de carga.....	32
3.4.3	Modelamiento de la red pública.....	33
3.4.4	Bloques de interface.....	34
3.5	Consola de interface.....	35

3.6 Comunicación con Opal RT .....	36
3.7 Comunicación de LabVIEW con OPAL-RT .....	37
3.7.1 Programación de archivos de comunicación .....	38
3.8 Diseño SCADA en estado sin falla del sistema .....	39
3.9 Diseño SCADA en estado con falla del sistema para el día .....	39
3.10 Diseño SCADA en estado con falla del sistema para la noche.....	39
CAPÍTULO 4 .....	43
4. RESULTADO DE LAS SIMULACIONES. ....	43
4.1 Sistema en estado normal .....	43
4.2 Sistema en estado post-falla.....	43
4.2.1 Respuesta del panel solar .....	44
4.2.2 Respuesta del generador a diésel .....	45
4.2.3 Curvas del panel fotovoltaico y consumidor.....	47
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	48
BIBLIOGRAFÍA .....	49
ANEXOS .....	51

# CAPÍTULO 1

## 1. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.

Un sistema de redes eléctricas está diseñado con la finalidad de proveer de energía a un determinado lugar de modo que ofrezca y garantice el consumo para el beneficio de los usuarios; a medida que transcurren los años los modelos de sistemas van mejorando y optimizando sus funciones ya que existen diferentes eventos que podrían hacer que el sistema colapse en determinado momento, para estos casos se diseñaron medidas de emergencia para no dejar de contar con energía eléctrica como son el uso de generadores de grandes y bajas capacidades según lo requiera el caso, el uso de baterías y en la actualidad se está contando con el uso de redes inteligentes las cuales cuentan con tecnología que permite el uso óptimo de energía y reduce las pérdidas y caídas del sistemas.

### 1.1 Antecedentes

Debido a los disturbios de energía y fallas eléctricas que pueden ocasionar la pérdida o caída del suministro eléctrico otorgado a los usuarios por la empresa eléctrica pública, así como también a los rápidos cambios en la demanda eléctrica, como es el caso de la demanda pico y la baja demanda, generando malestar en muchas zonas de distribución, específicamente en la residencial, se motiva a plantear una solución de la cual se beneficien los consumidores en el momento que se presenten determinadas contingencias garantizando así la continuidad del servicio.

### 1.2 Justificación

Dados los costos económicos y personales provocados por los problemas de corte de energía o falla del sistema, se plantea una metodología para disminuir los costos y optimizar el funcionamiento del sistema mediante el uso de redes

inteligentes que permitan el monitoreo, el funcionamiento y la distribución de energía del sistema en el momento que un condominio quede sin energía proveniente de la red pública, ya que así obtendrá beneficios en su funcionamiento y los usuarios podrán gozar de energía para sus responsabilidades aún en el momento en que no le esté abasteciendo de energía eléctrica la red pública.

### 1.3 Alcance

Para este estudio se realizará la propuesta para un condominio de 3 pisos con dimensiones aproximadas para su estudio de 15 m de frente, 8 m ancho y 15 m de altura como se muestra en la Figura.1.1.



**Figura 1.1: Condominio propuesto para la implementación de Smart Grid.**

El sistema de control y monitoreo se dará por medio de una alimentación de generador, panel fotovoltaicos y banco de baterías, mediante el cual el operador podrá tomar decisiones al momento de que el condominio quede aislado o sin energía eléctrica proveniente de la red pública, en el instante que surja el apagón se encenderán automáticamente el generador y en el debido caso los paneles solares para que ayuden a suplir la demanda y también el banco de baterías, de esta manera se podrá permitir al operador habilitar internamente la energía y distribuirla en cada piso del condominio de manera que haya una distribución equitativa y con un límite para cada departamento.

El límite será dado por contrato para cada departamento, los cuales contarán con conexión interna de 3 breakers los cuales serán controlados por el centro de mando, con la finalidad de que el usuario del departamento no exceda los límites de uso de energía en el momento que se encuentre aislado el condominio y pueda desconectarlos cuando sea necesario, es decir, en el momento del apagón solo serán habilitadas por el operador las luces básicas para el alumbrado de la casa y de 3 a 4 tomacorrientes, de ser el caso que el usuario este excediendo el límite requerido para cada departamento esa señal llegara al centro de mando y se activará una emergencia o señal al departamento indicando que, si no baja los niveles de consumo, desconectando carga, se le cortará la energía completamente a su departamento y al momento que se restablezca la energía se procederá de manera automática a apagar el generador, desconectar los paneles fotovoltaicos y baterías y se procederá a realizar la transferencia de energía.

En general el sistema contará con 3 etapas. La primera etapa consistirá con el sistema on-line, es decir conectado al suministro eléctrico donde los generadores no entraran en acción, pero se analizará el comportamiento de los paneles fotovoltaicos y las baterías con las cargas secundarias para establecer el consumo de energía requerido de manera completa por el condominio. La segunda etapa tratará con el sistema off-line, es decir ante la pérdida del suministro eléctrico donde se hará un análisis simulado de la etapa transiente que se presenta en el mismo para observar, analizar y ejercer acciones sobre el comportamiento en esta etapa. La tercera etapa será ante la reconexión a la red principal, se verificarán los efectos y riesgos que existen en las fallas que se podrían presentar en la transferencia de la micro red al sistema principal y realizar la correcta reconexión a las cargas secundarias.

Debido a la variación de carga en cada departamento del condominio se diferenciarán las cargas por medio de seccionamientos de barras mediante una clasificación según lista de prioridad y en el caso necesario serán desconectadas sin considerar que tan útiles sean las cargas conectadas en ese instante, también se modelarán generadores, paneles fotovoltaicos y baterías con un modelo de carga dependiendo la hora que se dé la falla, las baterías solo abastecerán de energía por el lapso de 2 horas ya que así lo da su capacidad, luego de esos solo

funcionaran el generador a diésel y los paneles fotovoltaicos en caso de ser de día, hasta esperar que regrese la energía de la red pública.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo General**

- Diseñar un modelo que garantice la inmediata restauración del servicio eléctrico ante una eventual caída del mismo provocado por alguna contingencia.
- Modelar un control que seccione cargas principales y secundarias residenciales, así como también habilitar generación aislada renovable y por combustión.
- Monitorear la micro red para así reducir los picos de demanda obteniendo menos pérdidas para los consumidores.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- Realizar el levantamiento de un condominio con su respectivo perfil de carga diario.
- Determinar la potencia requerida por el edificio al momento de quedar aislado, así como las cargas esenciales y no esenciales tanto para el día como para la noche.
- Dimensionar paneles fotovoltaicos, banco de baterías y generador a diésel para la demanda requerida por las cargas esenciales.
- Analizar tres etapas de estudio que nos permitan brindarle confiabilidad y seguridad a la red tanto en demanda máxima como en demanda mínima.
- Modelar tanto los equipos de alimentación de energía de la red aislada, así como el sistema completo de la red principal.
- Simular el control y seccionamiento automatizado de las cargas internas residenciales para así realizar el respectivo monitoreo que permita reducir el incremento excesivo de la demanda.

- Simular la proporción de generación aislada por medio de paneles solares y generadores de combustión a la micro red en el momento de una contingencia en el suministro de energía.
- Realizar la transferencia de energía de manera segura, confiable y secuenciada con los elementos de alimentación del sistema.
- Proveer de energía limpia y necesaria al edificio durante el tiempo que dure el apagón para minimizar las incomodidades por dicho evento.

## **CAPÍTULO 2**

### **2. PARÁMETROS Y CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS DE LA RED INTELIGENTE.**

En esta sección estableceremos definiciones, conceptos y parámetros para los cuales realizaremos las simulaciones, dimensionando los equipos que se utilizarán, perfiles de carga y en base a que fundamentos será guiado el proyecto para realizar dichas simulaciones, el consumo de cada departamento y las cargas necesarias a conectar cuando este aislado.

#### **2.1 Redes inteligentes**

Las redes inteligentes o Smart Grids son la implementación de tecnología a las redes diseñadas anteriormente por medio de las cuales se crea un sistema eficiente que, por medio de instrumentos tecnológicos como sensores y paneles fotovoltaicos, entre otros, pueda hacer que el sistema mejore de manera confiable para satisfacer las necesidades del usuario y también ayudar a prevenir posibles daños en los equipos por medio del monitoreo interno de sus componentes [1].

#### **2.2 Generación distribuida**

La generación distribuida consiste en la generación de energía eléctrica por medio de pequeñas fuentes de energía en lugares lo más próximos posibles a las cargas, de manera que se pueda satisfacer la carga requerida a dicho lugar, y tiene la capacidad de reducir pérdidas en el sistema, la energía proporcionada no revierte flujos hacia la red que la transporta y por lo general tienen potencias que no sobrepasan los 10 KW de potencia instalada [6].

## 2.3 Gestión de carga

La gestión de la carga eléctrica son las acciones llevadas a cabo para cambiar el perfil de carga con el objetivo de conseguir una carga pico del sistema total reducidos. El objetivo es que la carga del sistema total sea lo más uniforme posible.

Si un cliente puede reducir la demanda coincidiendo con la demanda pico del sistema y reduce el requerimiento de la capacidad de la red, entonces el cliente reduce las cargas totales de la electricidad ahorrando costo al suministrador, distribuidor y productor [18].

## 2.4 Introducción del software RT LAB

RT-LAB es un producto que pertenece a Opal RT el cual es un software que permite realizar simulaciones en tiempo real, es compatible con Matlab- Simulink por medio de su librería en la que con la aplicación de bloques se prepara la comunicación para posterior realizar la conexión.

Para la correcta compilación y función de los bloques desde Matlab-Simulink aplicaremos de manera general los pasos que se observan en la figura 2.1 [10].

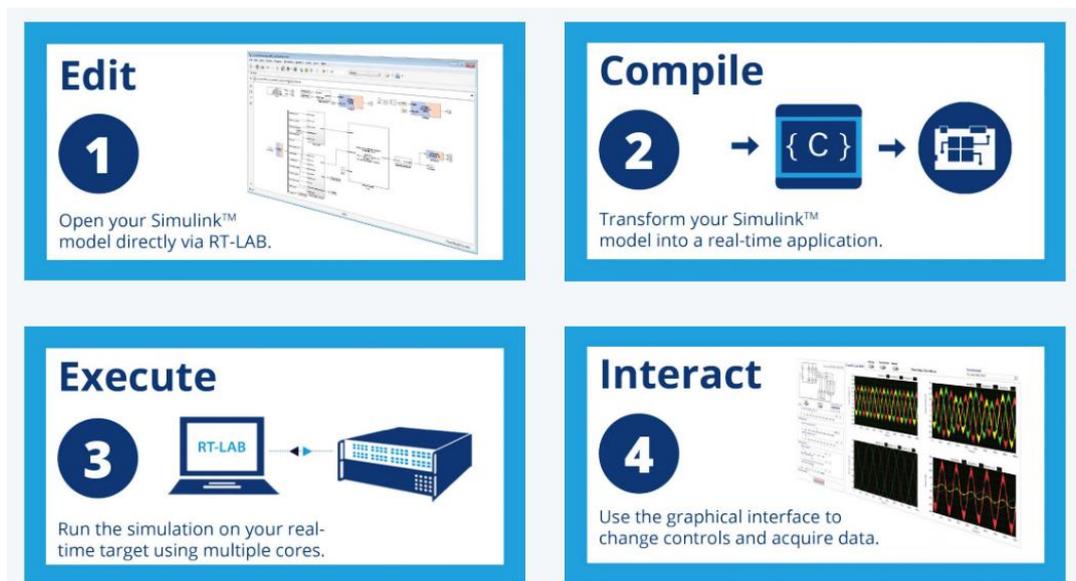


Figura 2.1: Pasos generales para la simulación en tiempo real.

## 2.5 Subsistemas de interface y configuración

Para que la comunicación entre Simulink y Opal RT sea exitosa se requiere usar la configuración de subsistemas que está dada de la siguiente manera:

### **Subsistema de interface SC:**

Es nombrado como SC\_nombre; permite interacción con los subsistemas de cómputo y contiene bloques de interface como (scopes, displays, switches y constants), en este subsistema no se deben colocar modelos físicos [10].

### **Subsistemas de cómputo SM:**

Existe solamente un subsistema llamado SM\_nombre, es el subsistema principal, si no se requieren núcleos adicionales solo es usado este subsistema para el modelo [10].

### **Subsistemas de cómputo SS:**

Cada subsistema adicional de cómputo es nombrado como: SS\_nombre [10]; en los proyectos actuales solo se utilizan los subsistemas SM para el modelo y SC para la interface.

## 2.6 Bloques de comunicación de Opal RT

Para la comunicación desde MATLAB al Opal RT se deberá incluir en el sistema simulado los bloques “in” y “out” a las entradas y salidas del sistema respectivamente, que serán encontrados en la librería de RT-LAB desde simulink; así como también realizar la respectiva configuración de programación para el enlace total del mismo.

## 2.7 Introducción a LabVIEW

LabVIEW es un software de interfaz gráfica utilizado para el control, monitoreo y medición aplicado a sistemas diseñados, Por medio del cual se realizará un sistema SCADA utilizando la librería con todos los componentes necesarios.

Se usará esta interfaz gráfica para diseñar un modelo de control y monitoreo que incluyan el abastecimiento de la red pública, transformadores, switches, barras, generador a diésel, paneles fotovoltaicos, banco de baterías y cargas para 3 departamentos, clasificadas en esenciales, semi esenciales y no esenciales; este diseño permitirá monitorear el sistema cuando ocurra la falla y el escenario que corresponda de día o de noche [12].

## 2.8 Paneles fotovoltaicos

Un panel fotovoltaico es el conjunto de fotocélulas protegidas generalmente por material vidrio cristalino como muestra la figura 2.2, estas células permiten transformar la radiación solar en energía eléctrica a baja tensión, los agrupamientos de estas células proporcionan una tensión nominal muy alta y también corriente continua por esta razón existen otros elementos conectados a los paneles fotovoltaicos para transformar dicha energía en alterna [3].



**Figura 2.2: Panel fotovoltaico.**

## 2.9 Parámetros de paneles fotovoltaicos

Con el levantamiento realizado y los datos obtenidos, se dimensionará paneles fotovoltaicos de policristalino, de tal manera que deberán cumplir con los requerimientos, diseños y configuración de una residencia normal como se observa en la figura 2.3, con la ayuda de otros componentes como el generador a diésel que supla la demanda en el estado actual para obtener la diferencia con el estudio que se va a implementar al condominio.

Se recomiendan usar paneles policristalino. Un domicilio de una sola familia puede poseer un panel fotovoltaico valorado hasta \$2000, a este se le puede sumar otros equipos como baterías, cargadores e inversores que existen de onda modificada y de onda pura [2,19].

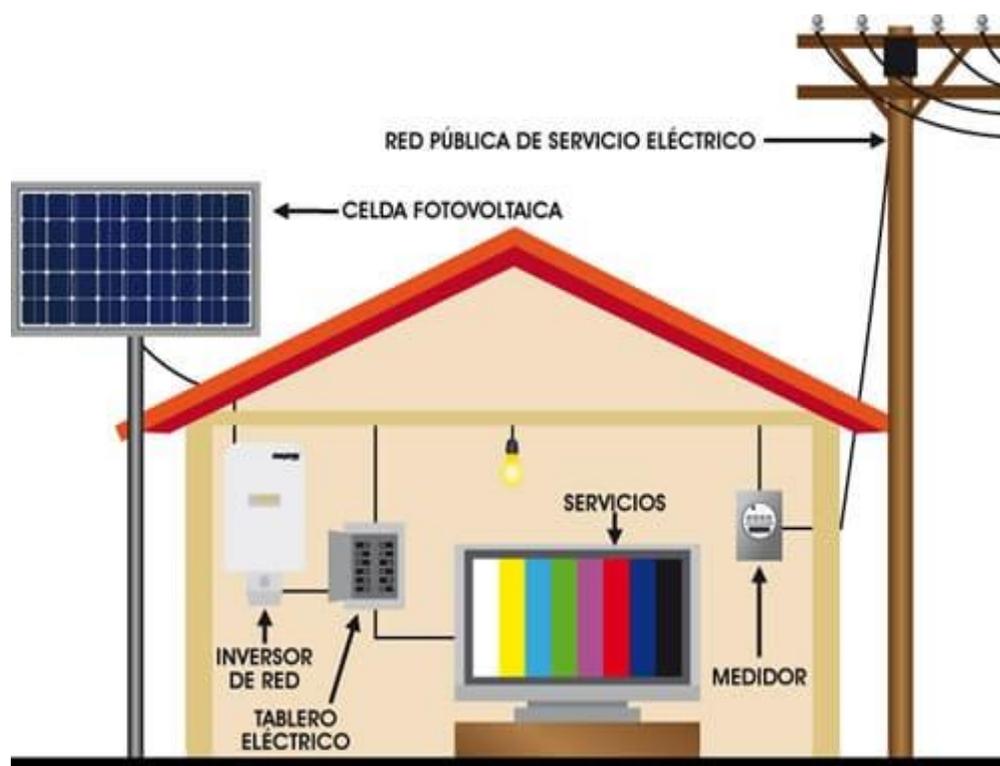


Figura 2.3: Configuración de domicilio con panel fotovoltaico.

Uno de los detalles importantes es verificar que los paneles solares que se adquieran tengan el certificado CE y cumplan por el proceso de la Normativa EN 61000-6-1:2007/61000-6-3:2007 así como la normativa de seguridad TÜV [3] con las configuraciones según muestra la Tabla 1.

CARACTERÍSTICAS	
Material	Policristalino
Potencia	300Wp
V max	45 v
I max	8.93 A
Diodos	si
Medidas	1956x992x40 mm
Precio	\$390

**Tabla 1: Características del panel fotovoltaico.**

### 2.10 Cantidad de paneles fotovoltaicos

Para el cálculo de paneles que se necesitaran en el condominio se debe tomar en cuenta el perfil de carga de cada departamento o piso , con los valores obtenidos para cargas esenciales y semiesenciales luego de eso se proceden a utilizar las ecuaciones correspondientes.

$$P_{xi} = N_a * P_a * H \quad (2.1)$$

Donde:

$P_{xi}$ = potencia consumida por un artefacto

$N_a$ = cantidad

$P_a$ = potencia del artefacto

$H$ = horas que funciona

Luego se hace la sumatoria de todas las potencias de las cargas esenciales conectadas:

$$PT = \sum_{i=1}^n Pxi \quad (2.2)$$

Con el valor de la potencia total de las cargas esenciales en un departamento y el factor de pérdida que normalmente se utilizará de 1.3, se calcula el número de paneles que requiere.

$$NP = \frac{PT * Fp}{CP * Wp} \quad (2.3)$$

Donde:

NP= número de paneles

PT= potencia total de cargas esenciales

Fp= Factor de pérdida

Cp= capacidad del panel

Wp= watts pico del panel

## 2.11 Parámetros del convertidor

El convertidor que se empleara debe ser un 25-30 % más capacidad que los aparatos de las cargas esenciales y ya que para el escenario de día es ayudado con generadores y banco de baterías se tomará como base la carga del piso con mayor demanda. [18]

$$P_{conv} = (P * 0.3) + P_{ce} \quad (2.4)$$

dónde:

$P_{conv}$  = Potencia del convertidor

P = Potencia de mayor pico

Pce= Potencia de cargas esenciales

De forma general los convertidores vienen de capacidades de 4Kw a 5 kW que son los más recomendados a usarse.

## 2.12 Parámetros de las baterías.

Para conocer el precio de una batería solar, es importante elegir primero el voltaje adecuado para ésta, se utilizará una batería como se observa en la Figura 2.4 con capacidad de 12 V si la potencia a alimentar es menor a 1500 W [4].

Dado que la potencia que se necesitará que suministre es aproximadamente 2,5 KW se elegirá un banco de 4 baterías para el desempeño de la misma, así como también para la confiabilidad del sistema de baterías; para tal evento se seleccionará la batería con las características que se observa en la Tabla 2.



Figura 2.4: Batería Ultracell de ciclo profundo.

CARACTERÍSTICAS	
Marca	Ultracell
Tipo	ciclo profundo
Ciclos	2400
Vdc	12
Ah	150
Peso	44 Kg

Tabla 2: Características de batería Ultracell.

### 2.13 Generador síncrono

El generador síncrono funciona de manera electromecánica y transforma la energía mecánica que es producida por la quema de combustibles en lo que conocemos como energía eléctrica; dicha transmisión es producida por el acoplamiento mecánico, que permite que se realice una transferencia de torque mecánico utilizando ambas máquinas que se encuentran conectadas, como lo indica la Figura 2.5. En este grupo se hallan varios tipos de control, un control regula el voltaje generado y el otro permite mantener la frecuencia en los límites requeridos [5].

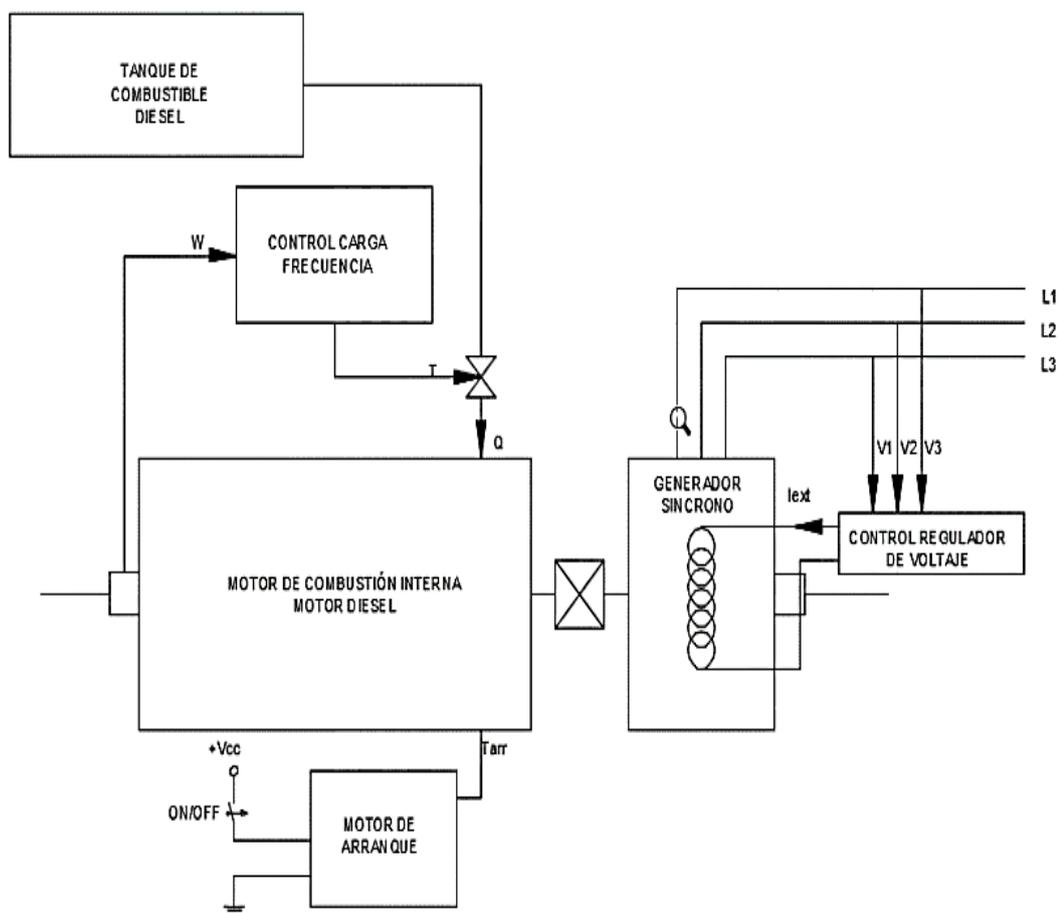


Figura 2.5: Diagrama del generador de diésel.

### **2.13.1 Características del control regulador de voltaje del generador**

El control regulador de voltaje es el que mantiene el voltaje que ha sido generado en el rango de los límites que son aceptados. En esta sección se describe con detalles dicho control. Este control cuenta con tipos de excitación los cuales son DC y AC, los cuales cuentan con modelos que están normalizados con IEEE del inglés Institute of Electrical and Electronics Engineers [11].

El funcionamiento tiene como meta poder inyectar voltaje de corriente continua en el devanado del generador, por este motivo las empresas que lo fabrican los hacen con un generador más pequeño de corriente continua en el eje que se encuentra la máquina y de esta manera hacer favorable el giro de la máquina [5].

### **2.13.2 Partes del control carga frecuencia del generador**

El control carga frecuencia, está constituido por cuatro partes:

Control de gobernador de velocidad: Es el que está encargado de detectar la frecuencia y sus variaciones con la cantidad ajustada y el tomado en los bornes de grupo electrógeno.

Control de válvulas: Es el actuador, el cual está encargado de controlar la velocidad de un elemento mecánico.

Control de velocidad: Es el que se encarga del grupo eléctrico, electrónico y mecánico, el cual gestiona la relación entre control gobernador de velocidad y control de válvulas.

Control cambiador de velocidad: Es el dispositivo que se encarga de regular la velocidad cuando funciona el turbo generador [6].

### 2.14 Parámetros del generador

En el estudio de alimentación de un condominio con generación aislada es necesario obtener un generador económico a diésel que pueda ser utilizado en una residencia como se muestra en la Figura 2.6 y con la capacidad que se requiera para las cargas necesarias, en la Tabla 3 se pueden observar las características que se requiere de un generador para este estudio.



**Figura 2.6: Generador a diésel de 7 Kva.**

CARACTERÍSTICAS	
Capacidad	7Kw
Combustible	Diésel
Motor	12HP
Voltios	110/220V
Arranque	Eléctrico
DC	Carga Batería
Precio	\$1.950

**Tabla 3: Características de generador.**

### 2.15 Consumo diario normal de un consumidor.

En el estudio de carga se observará mediante una curva de perfiles que posee un consumidor doméstico en todo el día [6], verificando el comportamiento de su demanda [17] como se puede observar en la figura 2.7.

Se obtendrán los parámetros de los equipos de alimentación y luego se procederá para este estudio a repartir dichos equipos con valores aproximados del generador 7 KW, Paneles 4 KW, Baterías 2.5 KW.

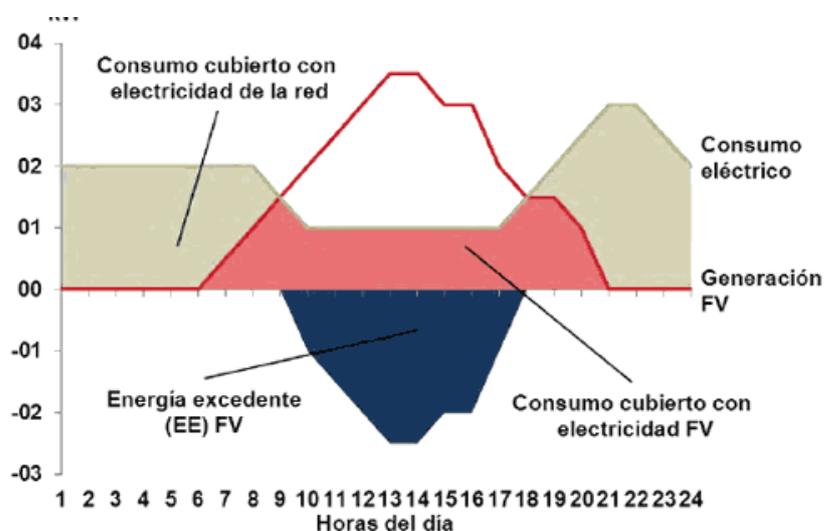


Figura 2.7: Consumo eléctrico y generación de un usuario en un día.

### 2.16 Gestión de cargas.

En este estudio se realizará la gestión de carga para aliviar la demanda requerida a los equipos de alimentación ya que su potencia será menor a la que se requiere cuando está conectado a la red principal, por eso se ha propuesto clasificar a las cargas e acuerdo a su importancia.

#### Cargas esenciales

Se llamará cargas esenciales a aquellas que mediante el listado de orden de prioridad adjunto, se consideren que son necesarias e indispensables cuando el edificio este aislado funcionando solo con el generador, panel fotovoltaico y banco de baterías.

### **Cargas semi esenciales**

Se llamará cargas semi esenciales a aquellas que su grado de necesidad al consumidor sea medio, que complementarán a las cargas esenciales y que serán las que seccionen cuando el escenario sea la noche.

### **Cargas no esenciales**

Se llamará cargas no esenciales a aquellas que mediante el listado de orden de prioridad, se consideren que no son muy necesarias y pueden quedar fuera de línea cuando el condominio esté aislado funcionando solo con el generador, panel fotovoltaico y banco de baterías.

El listado de prioridad de las cargas esenciales y no esenciales cambia dependiendo el escenario si es de día o si es de noche, ya que en la noche los paneles fotovoltaicos no funcionarán.

#### **2.17 Potencia de cargas esenciales.**

Para el escenario de día, mediante la clasificación realizada se podrá seccionar las cargas no esenciales, obteniendo valores aproximados de potencia a alimentar para cada piso del condominio según muestra la tabla 4.

	<i>PISO 1</i>	<i>PISO2</i>	<i>PISO3</i>
<b>CARGAS (KW)</b>	3,80	3,64	3,63
		<b>TOTAL</b>	<b>11,08</b>

**Tabla 4: Potencia de cargas esenciales para el día.**

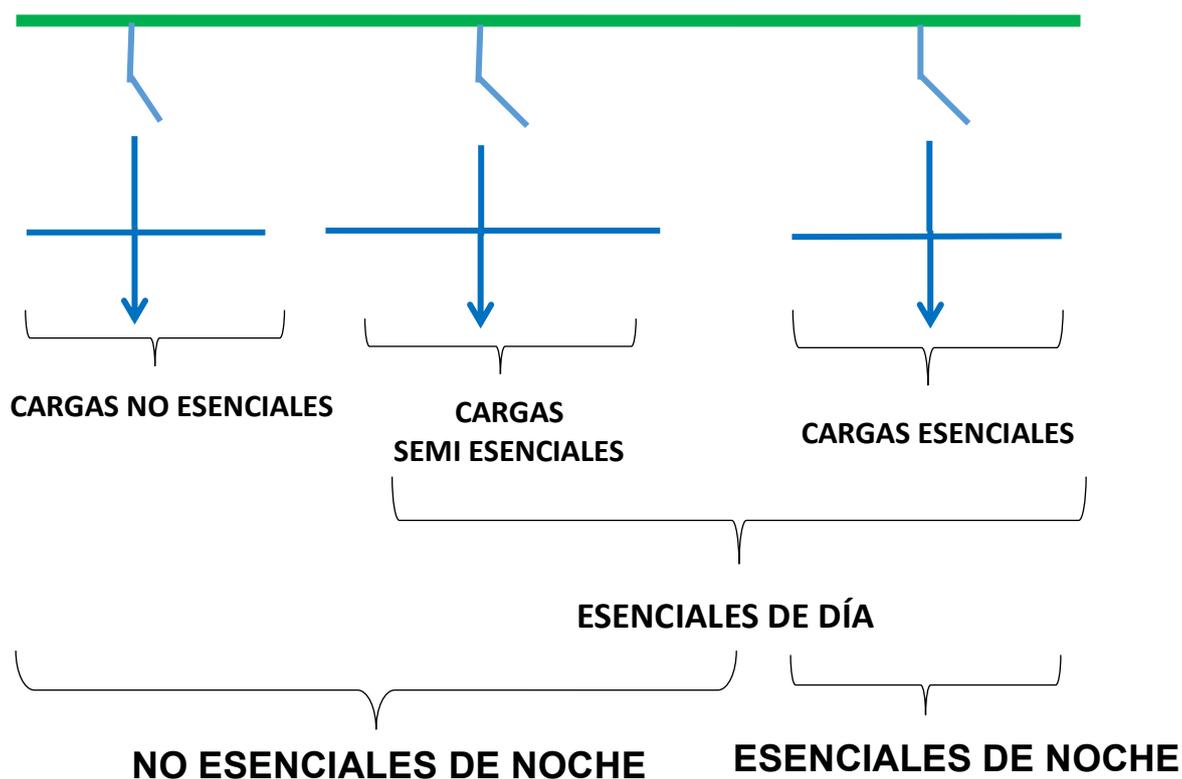
Para el escenario de noche, se podrá seccionar las cargas semi esenciales y no esenciales, de esta manera se obtienen valores aproximados de potencias a alimentar para cada piso del condominio según muestra la tabla 5.

	<b>PISO 1</b>	<b>PISO2</b>	<b>PISO3</b>
<b>CARGAS (KW)</b>	2,56	2,33	2,31
		<b>TOTAL</b>	<b>7,21</b>

**Tabla 5: Potencia de cargas esenciales para la noche.**

### 2.18 Diagrama interno de seccionamientos para cada piso del condominio.

Para el presente proyecto se requiere realizar la implementación de un diagrama el cual seccione las cargas clasificadas anteriormente para el correcto funcionamiento de la gestión de carga, según muestra la figura 2.8: para que de esta manera dicha implementación permitirá quitar o poner carga según sea el escenario que se encuentre.



**Figura 2.8: Diagrama de conexiones para cargas en cada piso de un condominio.**

### 2.19 Diagrama de estados del sistema.

En la figura 2.9 se podrá observar el diagrama de estados o funcionamiento del sistema paso a paso, con las decisiones que tomará en cada estado que se encuentre al momento de entrar en accionamiento.

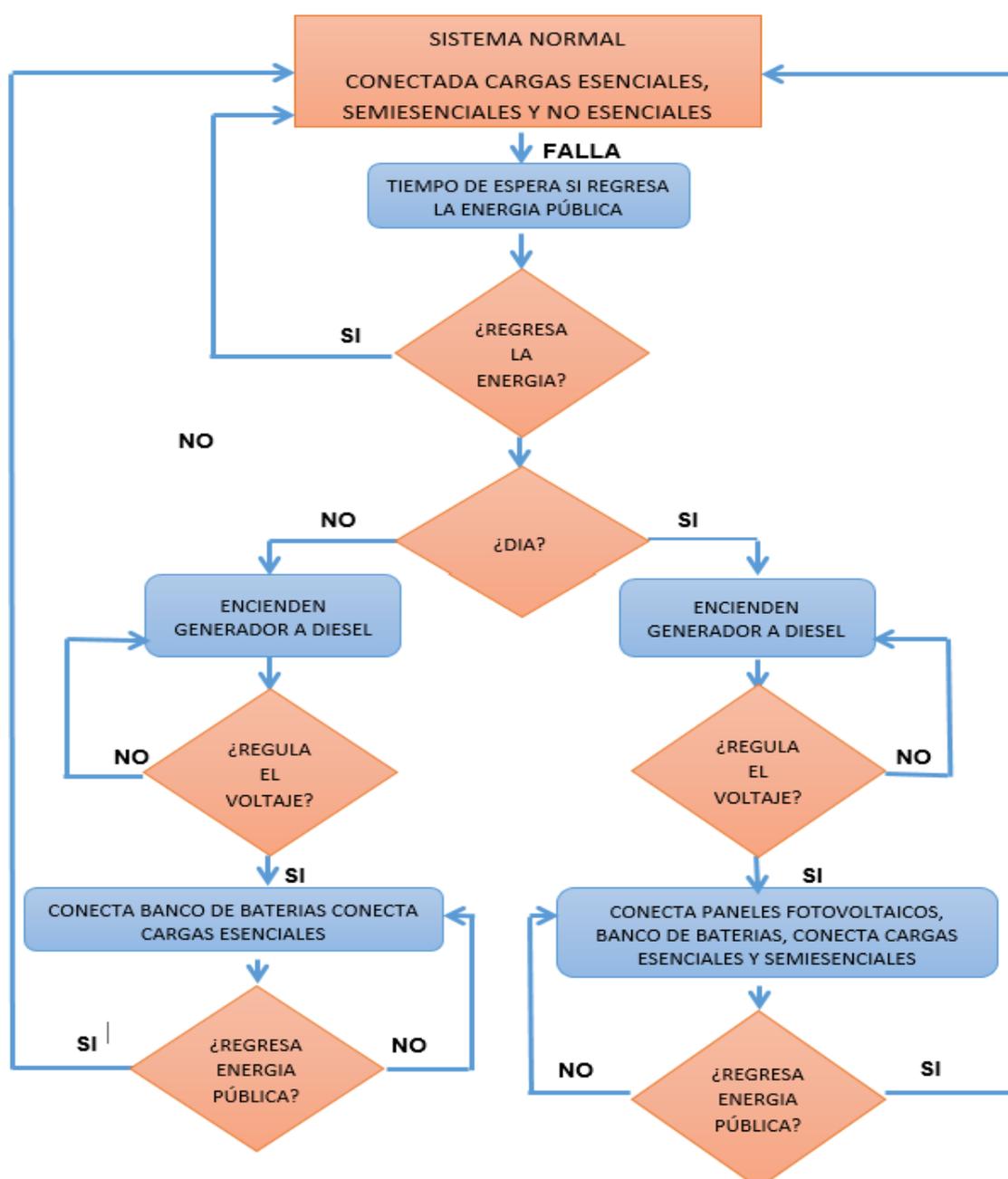


Figura 2.9: Diagrama de estados del sistema.

## **2.20 Funcionamiento de alimentación.**

Para la alimentación del condominio en este proyecto se contará con condiciones que aseguren el buen funcionamiento.

### **En condición de estar conectado a la red pública**

Paneles fotovoltaicos y baterías operan, pero dependiendo de si hay sol, la presencia del sol se tomará en cuenta en horarios de 06:00 AM a 18:00 PM.

### **En condiciones de falla en la red principal**

Se conecta la transferencia automática del generador, este es utilizado como barra de oscilación, los paneles fotovoltaicos y las baterías se conectan al sistema después de un retardo de tiempo.

Funcionamiento de carga: Si está conectado a la red principal se energiza toda la red del sistema o sea cargas esenciales, semi esenciales y no esenciales. En el caso de que suceda una falla y empiece a operar el generador, junto con paneles y baterías existen 2 condiciones:

Condición día: Se energiza cargas esenciales y semi esenciales

Condición noche: Se energiza esenciales.

## **2.21 Funcionamiento propio de la carga.**

Se rige por una curva de demanda promedio para un consumidor; se la implementa mediante un controlador que activa o desactiva los breakers que conectan las cargas en paralelo; cada piso está desglosado con cargas esenciales, semi esenciales y no esenciales, todas siguen la misma tendencia de la curva. Como carga base se utiliza la menor corriente, por lo tanto, la mayor resistencia de carga.

## CAPÍTULO 3

### 3. MODELAMIENTO EN SIMULINK.

Para el presente proyecto se modelará mediante el software Simulink cada componente del sistema con su respectiva configuración.

#### 3.1 Modelo para un generador a Diésel

Para efectuar el modelamiento del generador a diésel se usa el siguiente esquema de la Figura 3.1:



**Figura 3.1: Lazo de control del generador.**

Función de transferencia correspondiente al controlador:

$$H_c = k \frac{(1+T_3s)}{(1+T_1s+T_1T_2s^2)} \quad (3.1)$$

Donde  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$  respectivamente corresponden a las constantes de tiempo del controlador y  $k$  es la ganancia, siendo los valores de las mismas:

$$T_1 = 0.01 ; T_2 = 0.02; T_3 = 0.2 ; k = 20$$

Los presentados son valores típicos de una máquina de 1800 rpm:

Para el actuador la función de transferencia es:

$$H_a = \frac{(1+T_4s)}{[s(1+T_5s)(1+T_6s)]} \quad (3.2)$$

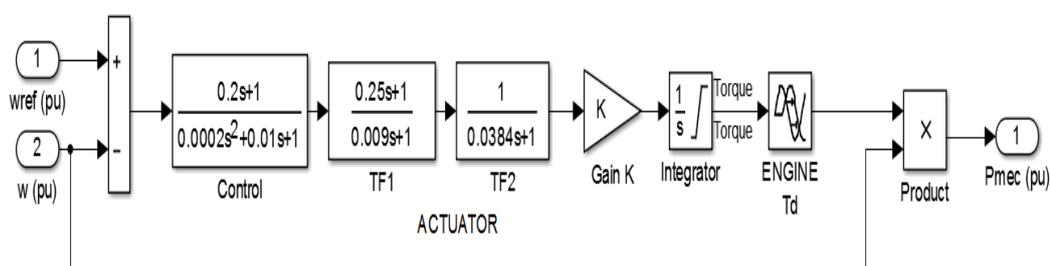
Donde  $T_4$ ,  $T_5$ ,  $T_6$  respectivamente corresponden a las constantes de tiempo del controlador, siendo los valores de las mismas.

$$T_4 = 0.25 ; T_5 = 0.009; T_6 = 0.0384$$

La función de transferencia del motor es:

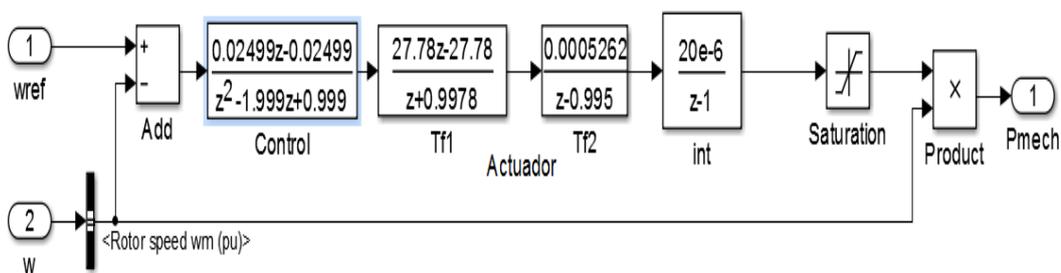
$$H_m = T_d \quad (3.4)$$

El modelo del motor debido a la propia inercia de la máquina suele presentar un retardo de tiempo. Pero para este caso se considera que no existe retardo. Luego, describimos el modelo en el dominio de  $s$  (Laplace). El sistema de control del generador a diesel se muestra en la Figura 3.2:



**Figura 3.2: Control en el dominio de Laplace.**

Para poder ingresar estos subsistemas al simulador se necesitara que los parámetros estén en modo discreto, de esta manera transformamos la función del dominio  $s$  al dominios  $z$ , tal como se muestra en la Figura 3.3. Así se agrega toda la red de estudio al simulador para luego mostrar el comportamiento de la misma ante eventuales estados de contingencia. La interfaz de comunicación será por medio de Matlab – Simulink – RT LAB [16].



**Figura 3.3: Sistema de control con dominio de Z.**

### 3.1.1 Regulador automático de voltaje AVR.

Para lograr el diseño de esta sección se trabaja con modelos que se encuentran normalizados por IEEE como muestra la Figura 3.5, para este caso se usa el AC4A como se observa en la Figura 3.4 que trata sobre una máquina síncrona de excitación controlada con rectificadores. Esto se lo toma así debido a las características del generador presentado [7].

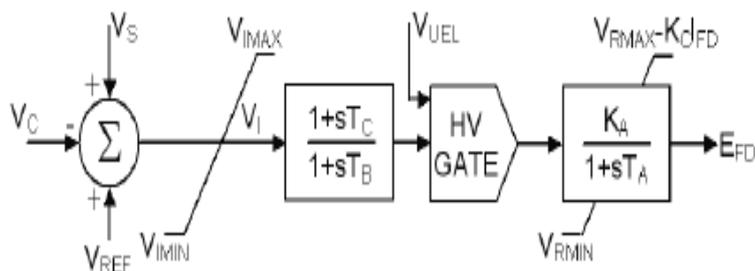


Figura 3.4: Modelo de excitación AC4A.

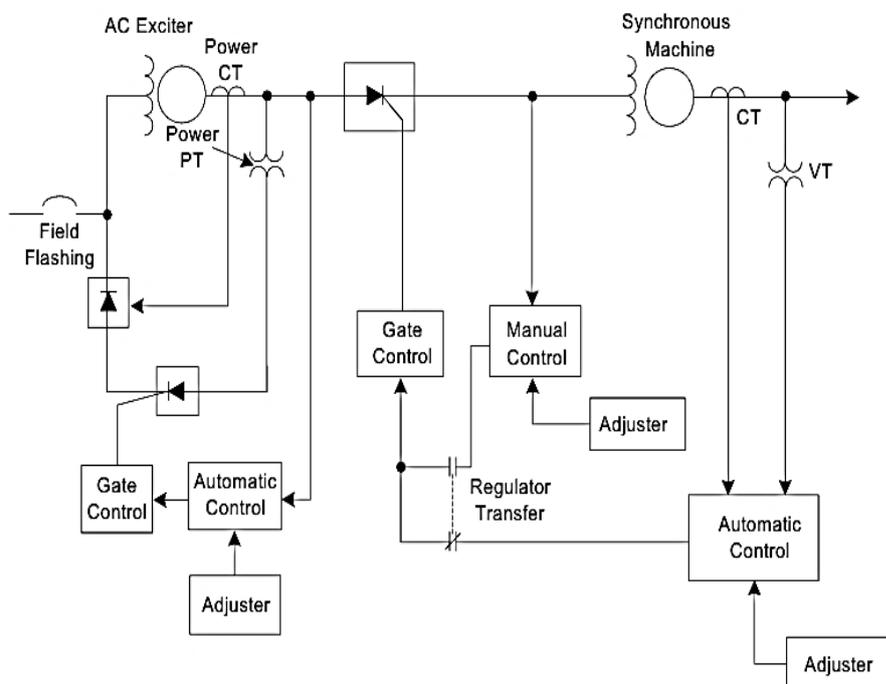


Figura 3.5: Modelo A8 normalizado por IEEE equivalente al AC4A.

### 3.1.2 Regulador Carga Frecuencia AGC

En esta sección se presenta un modelo que contiene dos tipos de control que son AVR como se muestra en la Figura 3.6 y AGC/AVR como se muestra en la Figura 3.7..

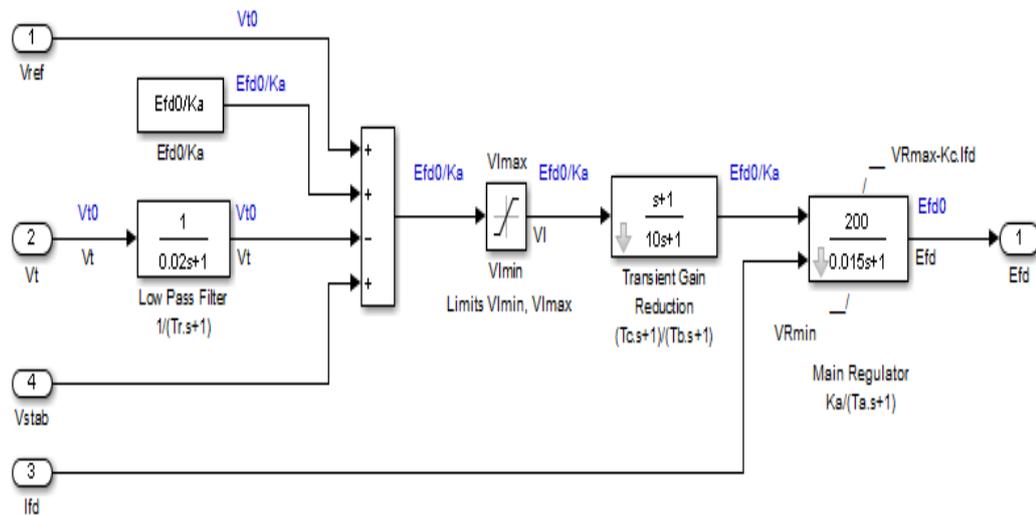


Figura. 3.6: Control de AVR tipo AC4A del regulador de carga.

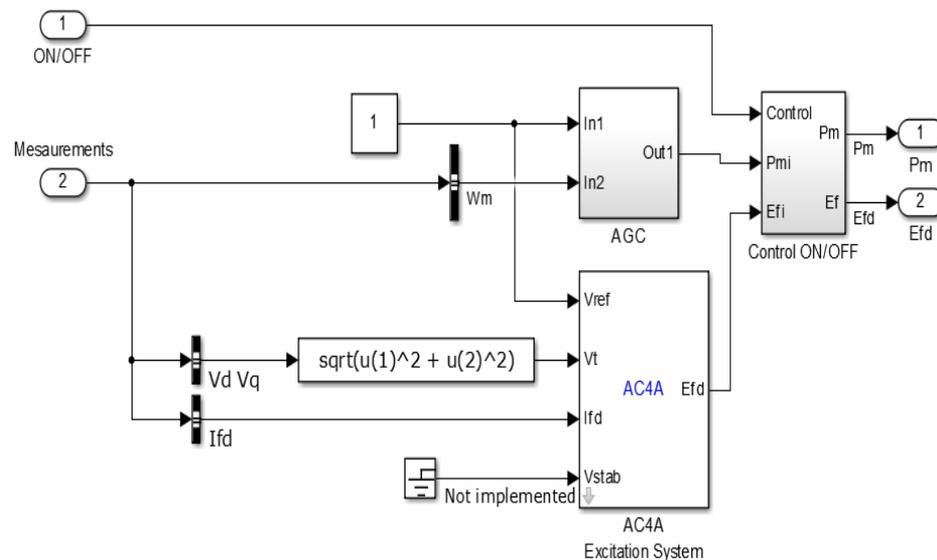
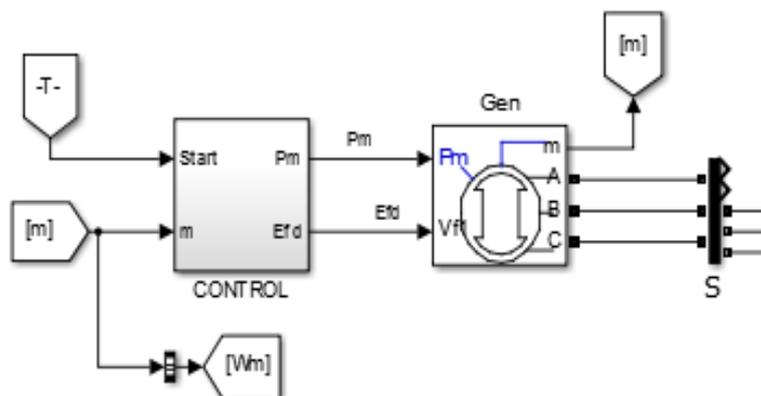


Figura. 3.7: Modelo de control AGC/AVR del regulador de carga.

Finalmente el modelo del generador queda compuesto como se muestra en la Figura 3.8.



**Figura 3.8: Modelo final de un generador a diésel de 20 KVA.**

Como se observa en Matlab se crea un modelo continuo del generador a Diésel aplicado en Simulink, el mismo que contiene diferentes estructuras para las respectivas funciones que debe cumplir en cada parte de la red. Así se lo ha modelado y editado según las condiciones que presenta nuestro proyecto.

## 3.2 Modelo del panel solar

Antes de proceder a modelar el panel solar, primero se necesita las respectivas curvas de demanda tanto del panel como del consumidor. A continuación se detalla cómo se obtienen las mismas:

### 3.2.1 Modelamiento de las curvas del panel solar y consumidor

Para obtener estas curvas se basa en la ejecución de un código como se muestra en la figura 3.9, que en una sección del mismo dispone de la formación de las curvas, por medio de proporciones de carga para el caso

de la curva del consumidor y para la curva del panel fotovoltaico se toma en cuenta principalmente cuando ocurre el accionamiento, de esta manera con ayuda de la herramienta Lookup Table se procede a elaborarlas y también los bloques de programación como se observa en la figura 3.10 [7].

```

22 %Curvas
23 - C=[0.42;0.57;0.51;0.43;0.36;0.37;0.53;0.36;0.34;0.39;0.51; ...
24     0.22;0.24;0.25;0.22;0.21;0.22;0.96;0.95;0.87;0.18;0.33;0.22;0.21];
25 - CPV=[0;0;0;0;0;0;1;1;1;1;1;1;1;1;1;1;1;1;1;0;0;0;0;0];

```

Figura 3.9: Código para la generación de curvas del consumidor y panel solar.

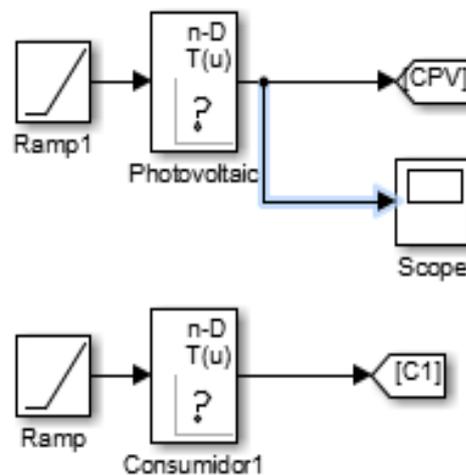


Figura 3.10: Bloque para determinación de curvas.

De esta manera se podrá ingresar en el control de los paneles solares la condición de carga que deben cumplir los mismos para suplir la demanda del consumidor como se observa en figura 3.11.

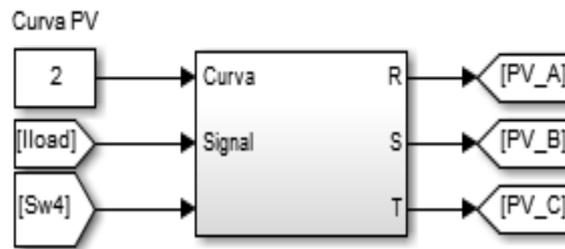


Figura 3.11: Control de Paneles Solares.

### 3.2.2 Modelo básico y completo del Panel Solar

Para el modelo básico del panel solar primero se procedió a realizarlo mediante una fuente de corriente controlada para una sola fase como muestra la figura 3.12 y de esta manera analizar y verificar que nos otorgue una respuesta adecuada.

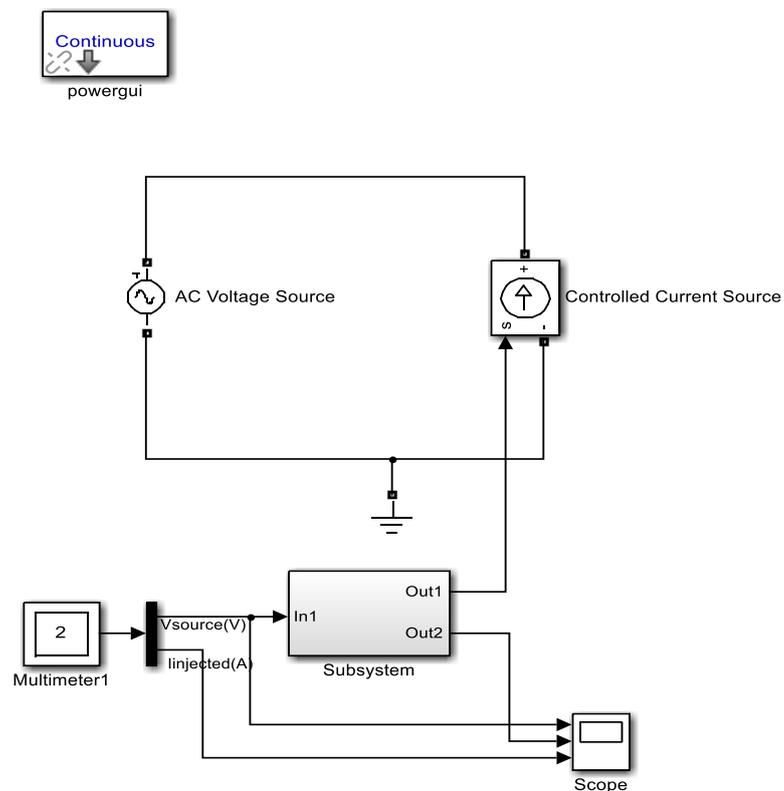


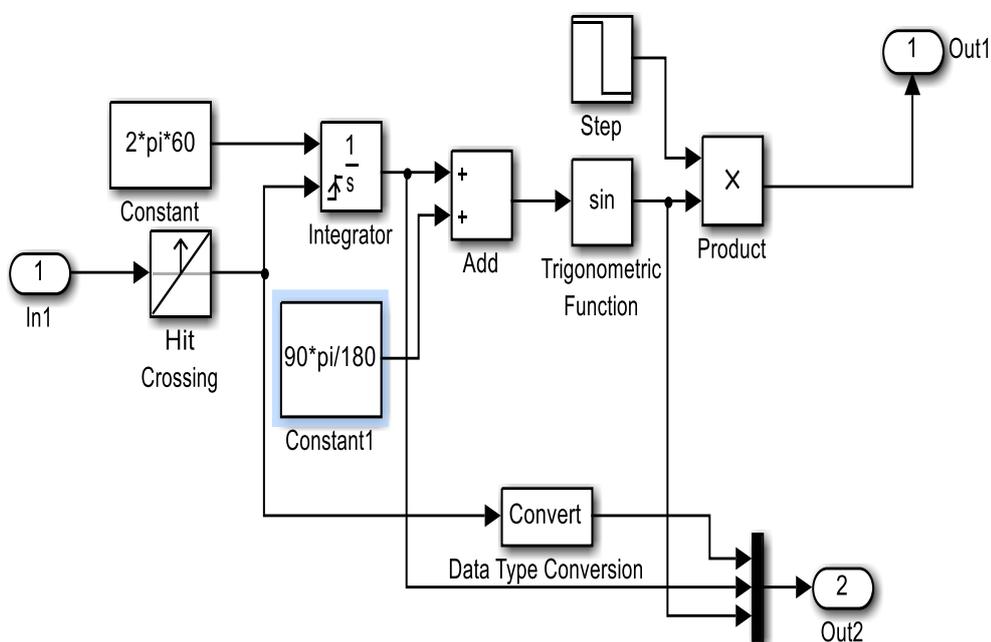
Figura 3.12: Modelo básico del panel solar.

El panel solar teóricamente se lo podrá modelar como una fuente de corriente controlada, en la cual se presenta también una fuente de voltaje AC que se usará para ver gráficamente el desfase del voltaje con la corriente inyectada como se muestra en la figura 3.13.

Por medio de este subsistema se realiza el control de la fuente de corriente. La señal de entrada es la de voltaje AC y se le aplica un bloque que pueda detectar el cruce por cero de una onda completa de la señal de voltaje, para que al pasar por el integrador este la convierta en pulsos crecientes de amplitud  $2\pi$ .

A estos pulsos se les puede hacer un desfase en este caso  $90^\circ$ , para luego al aplicarle la función trigonométrica seno, me dé como resultado una señal sinusoidal de amplitud 1 desfasada  $90^\circ$ .

Con el bloque Step se controlará el tiempo de paso y la amplitud de la señal de la corriente inyectada.



**Figura 3.13: Control del panel para una sola fase.**

Para el modelo completo se toma en cuanto a la aplicación del modelo básico, pero ahora para cada una de las 3 fases colocado en un subsistema como se observa en la figura 3.14.

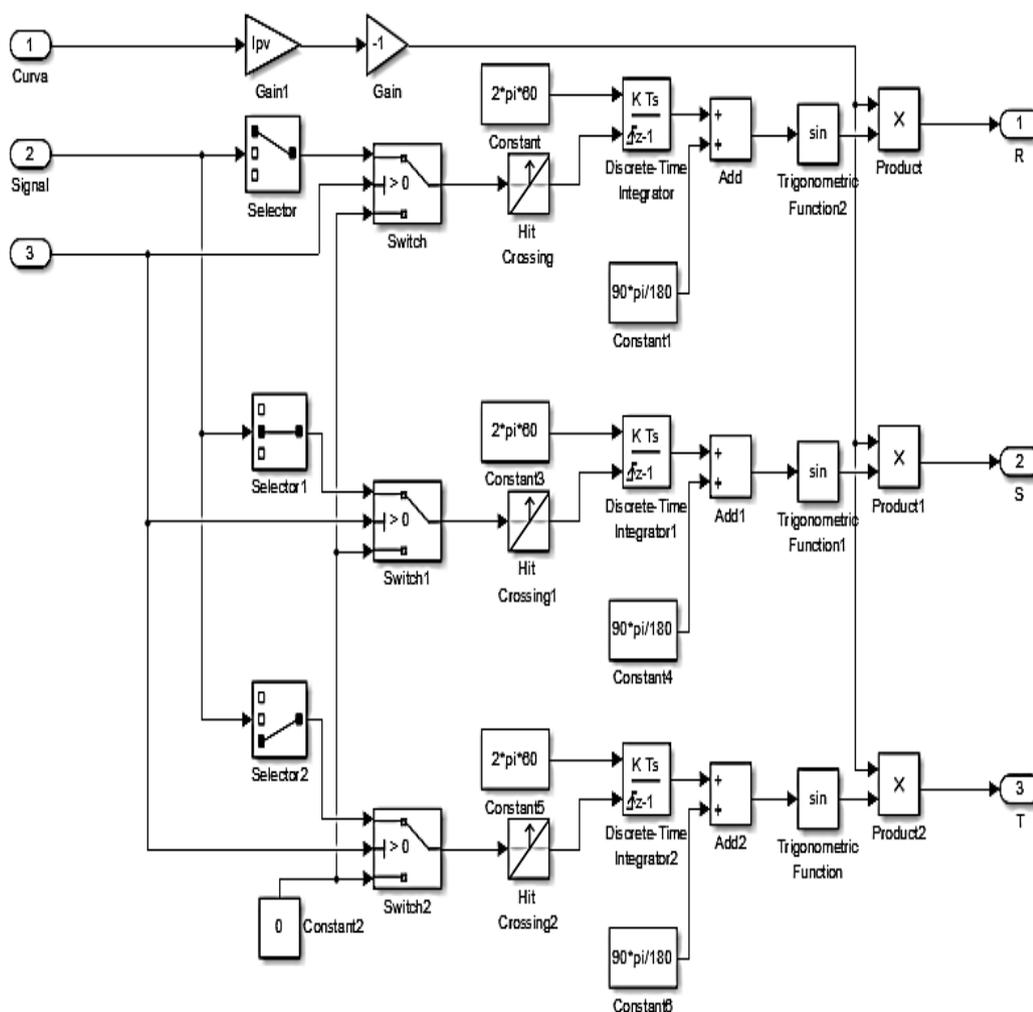
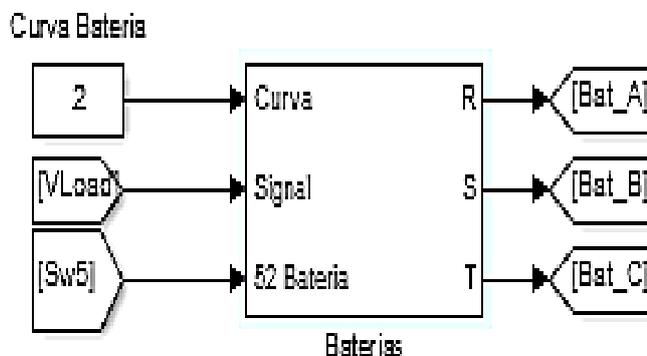


Figura 3.14: Modelo completo del panel solar para las 3 fases.

### 3.3 Modelamiento para las baterías

Para el modelamiento de las baterías se partió de un modelo similar al de los paneles solares con la diferencia de que esta vez no se trataba de una corriente controlada sino de un voltaje DC que posteriormente es regulado y controlado con

la acción de un regulador del voltaje contenido en el subsistema del modelo como muestra la figura 3.15.



**Figura 3.15: Control de baterías.**

Se observa que, debido a las características del control de las baterías, se toma como referencia para el mismo una señal de voltaje del sistema, y como en el caso del panel solar se dispone de la entrada de la curva de carga del consumidor que debe ser suplido un porcentaje por las baterías [8].

### 3.4 Descripción del modelamiento y control del sistema

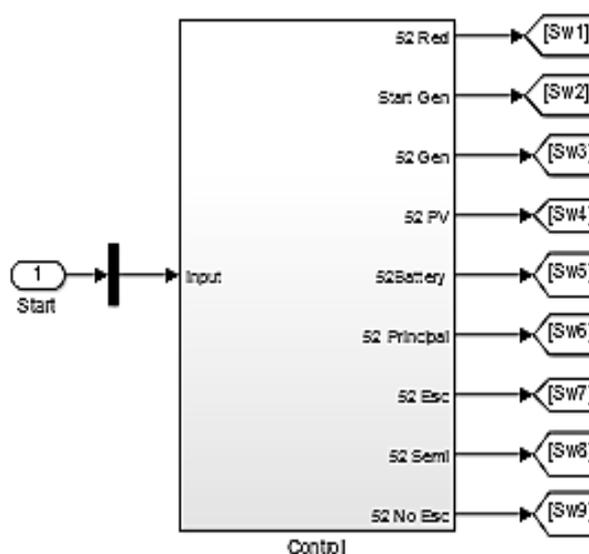
Para el sistema del presente proyecto se modelarán varios controles que se requieren para el correcto funcionamiento y coordinación.

#### 3.4.1 Control de secuencia

Entre las partes más importantes de la red, tenemos el control de secuencia que regula los tiempos de actuación de cada etapa de la micro red, el mismo que trae incluido un contador para los estados de la red y del generador a diésel como muestra la figura 3.16.

En esta etapa es importante recalcar que toda la secuencia de la red depende solamente de un factor de entrada que es la señal que emite si existe falla o no, y dependiendo del caso se aplican los escenarios de actuación para el análisis del sistema en cada evento.

Para el modelamiento de toda la secuencia del sistema se utiliza un control digital debido a los diferentes casos y escenario, el mismo que se encuentra en los anexos [9,14].



**Figura 3.16 Control de secuencia de la red.**

### 3.4.2 Control de carga

El control de carga se efectúa mediante la separación de la carga en esencial, semi esencial y no esencial esto es para que en la etapa de contingencia se produzca la desconexión de las cargas no esenciales, y la reconexión de las cargas más importantes por medio de los interruptores a través de la señal enviada a los mismos como se observa en la figura 3.17.

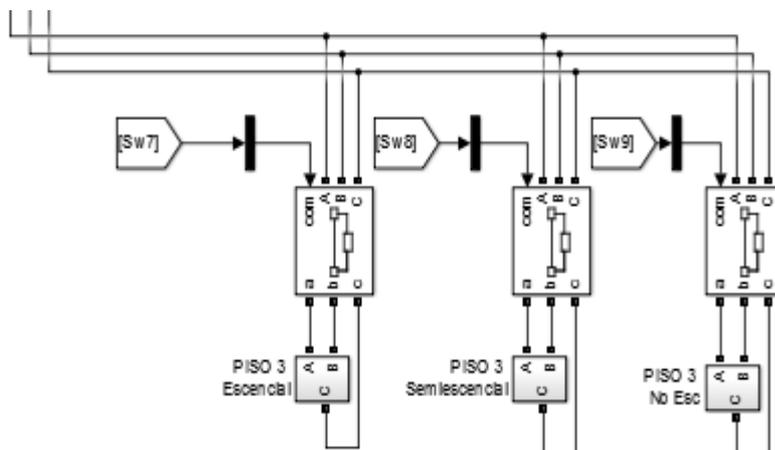


Figura 3.17: Control de carga de la red.

### 3.4.3 Modelamiento de la red pública

La red inicialmente será alimentada por una fuente equivalente que también contará con su respectivo transformador de distribución de 13.8 KV / 220 V como muestra la figura 3.18. Adicionalmente en esta etapa de la red será donde se dispondrá de una falla fase a tierra en la fase A. De esta manera al presentarse la contingencia se producirá la apertura del interruptor desconectando la red principal [15].

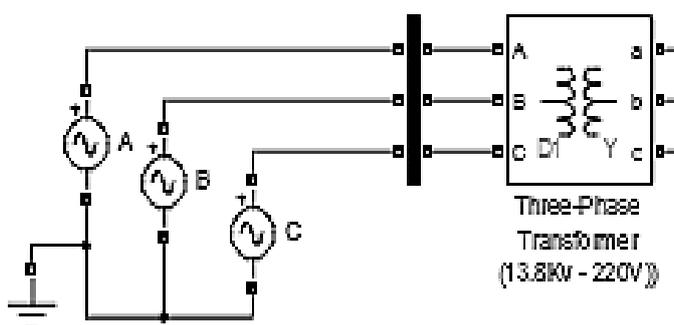


Figura 3.18: Red pública equivalente.

### 3.4.4 Bloques de interface

La aplicación de bloques de interface se usa para separar el sistema en subsistema de cómputo (SM) y subsistema de interface (SC) para que la comunicación sea exitosa entre el modelo y mostradores de señales como muestra la figura 3.19.

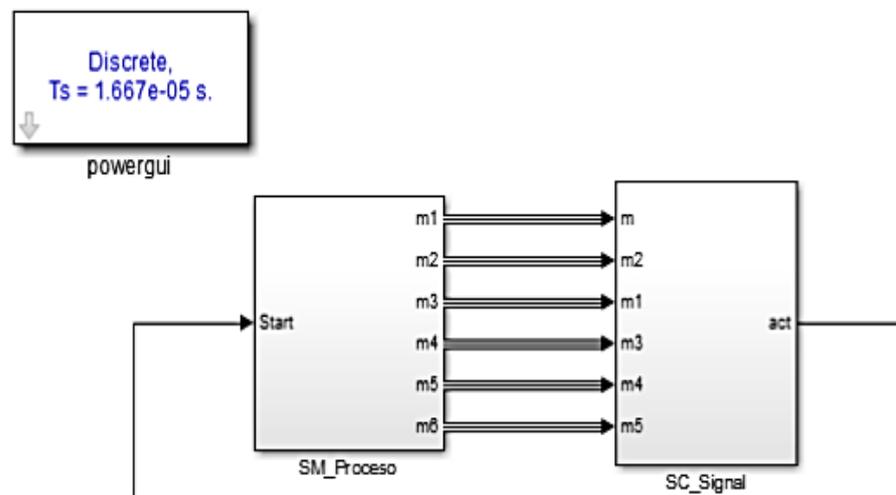


Fig. 3.19: Bloques de subsistemas SM y SC.

Para realizar la comunicación requerimos usar desde la librería de RT-LAB los bloques OpComm en el bloque de modelo y de interface desde Simulink como se observa en la figura 3.20.

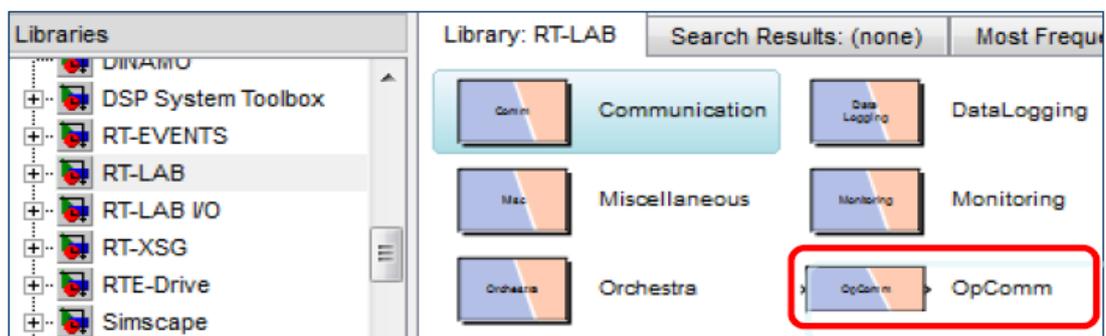
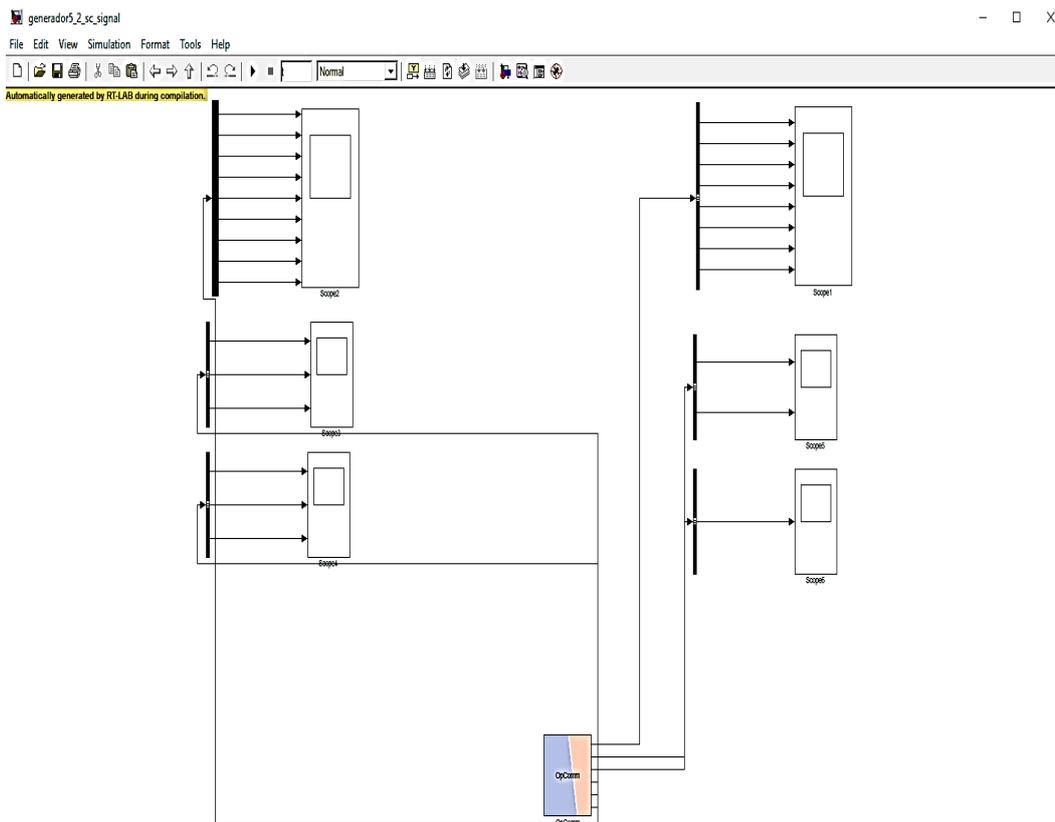


Figura 3.20: Librería de RT-LAB.

### 3.5 Consola de interface

Con el uso de los bloques de la librería de RT-LAB se podrá realizar la verificación del funcionamiento del sistema previo a la compilación con el simulador de tiempo real, esto se obtendrá mediante una consola como se observa en la figura 3.21 creada al momento de enviar a correr el archivo simulado.



**Figura 3.21: consola de interfaz con bloques Op-comm.**

Esta consola será la confirmación de que el programa simulado funciona de manera eficiente y deberá presentar las salidas que se haya tenido anteriormente por medio de bloques de medición y con el bloque de comunicación Op-comm, de esta forma se podrá visualizar todas las curvas requeridas desde su programación.



### 3.7 Comunicación de LabVIEW con OPAL-RT

Para la comunicación entre Labview y OPAL-RT se deben aplicar los bloques de enlace en la ventana de programación de LabVIEW, los cuales se conectarán en serie o cascada como se muestra en la figura 3.23, etiquetando las entradas con “DataWritten” y las salidas de las señales con “DataRead”; dichas etiquetas deberán estar exactamente con el mismo número que se le dio a la señal requerida en simulink, y estarán conectadas con los bloques OPC los cuales son los que envían la señal al OPAL, teniendo en cuenta la configuración que se les da a los mismos y los bloques de formatos generales de enlace, a los bloques de OPC se les conectará el tipo de señal que se desea mostrar en el simulador de tiempo real, como son señales numéricas o curvas, adicional a esos existen bloques para observar el fondo de las curvas de color blanco llamados BG Color.

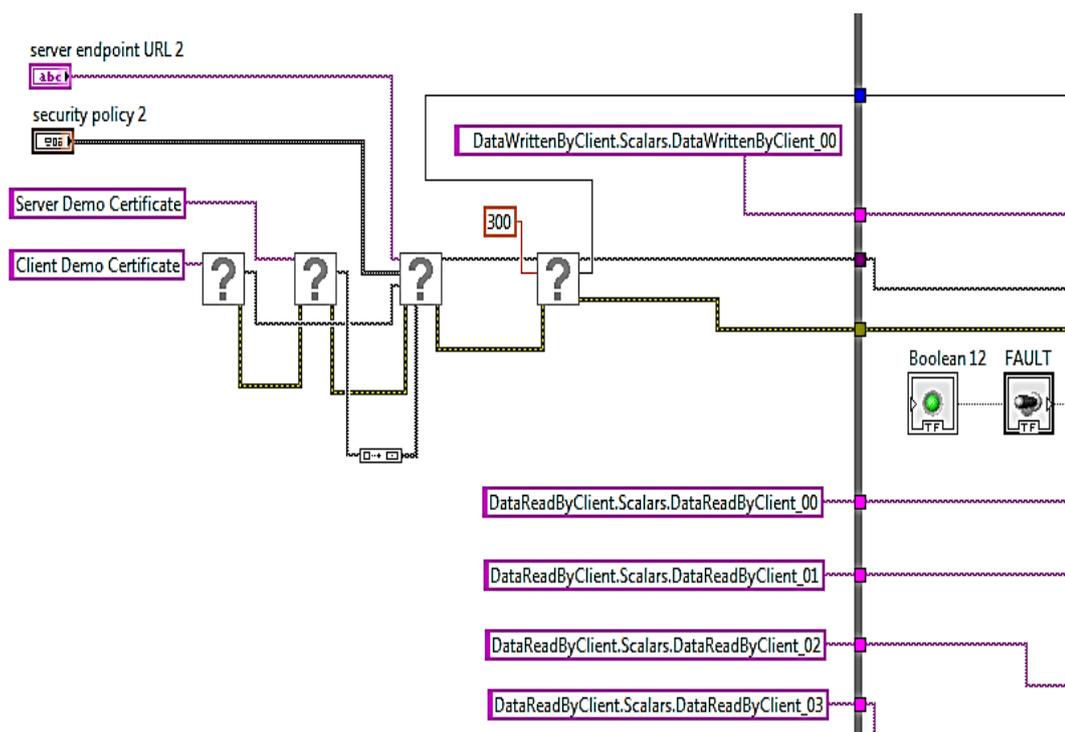


Figura 3.23: Bloques y etiquetas de comunicación.

### 3.7.1 Programación de archivos de comunicación

Luego se configurará la ventana de programación de LabVIEW con todos los bloques conectados y necesarios; se procederá a la coordinación de los archivos de comunicación por medio de los archivos “connections” y “OPC\_UA\_Server\_cfg”, los cuales deben estar exactamente con el mismo nombre que se les dio a las etiquetas en la ventana de programación como se observa en la figura 3.24, así como el registro de las entradas y salidas del sistema con sus respectivos números de etiquetas antes ya mencionados.

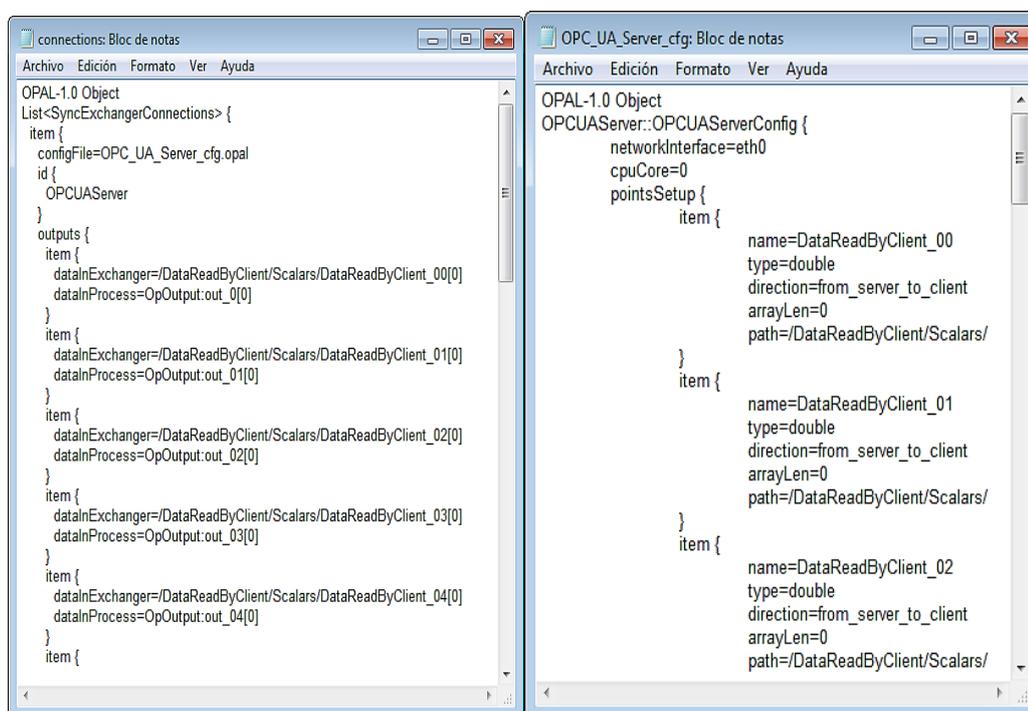


Figura 3.24: Archivos de comunicación.

Estableciendo la comunicación por medio de los archivos correctamente configurados se podrá enviar a correr el sistema aplicando las entradas de falla y verificando los valores mostrados en cada componente de la micro red.

### **3.8 Diseño SCADA en estado sin falla del sistema**

Mediante el proceso de comunicación se realiza también la prueba de cada uno de los estados de contingencia de la micro red mientras el sistema simula en tiempo real, para lo cual se encuentra el estado normal que comprende cuando está alimentando el sistema la red pública, haciendo que funcionen los paneles fotovoltaicos y alimentando las cargas esenciales, semi esenciales y no esenciales, los funcionamientos de dichos componentes se pueden observar en la figura 3.25 mediante las luces led encendidas en relación a los componentes que se hayan activos en el actual estado, y los valores numéricos que marcan en cada uno [13].

### **3.9 Diseño SCADA en estado con falla del sistema para el día**

Para el evento de día, en el instante que ocurra una falla el sistema reaccionará de tal manera que se desconectará de la red, se encenderá el generador, paneles fotovoltaicos y banco de baterías y solo alimentará las cargas esenciales y semi esenciales, denotando su funcionamiento mediante luces led en el sistema SCADA como se observa en la figura 3.26.

### **3.10 Diseño SCADA en estado con falla del sistema para la noche**

En el instante en que es de noche y ocurra una falla del control del sistema, se desconectará la red pública y se activará el generador a diésel y el banco de baterías, de esta manera por ser de noche no podrán funcionar los paneles fotovoltaicos y solo se alimentarán las cargas esenciales; su estado de funcionamiento se hará visible por medio de los valores que se muestran junto a cada componente marcando un valor y luces led cuando están encendidos como muestra la figura 3.27.

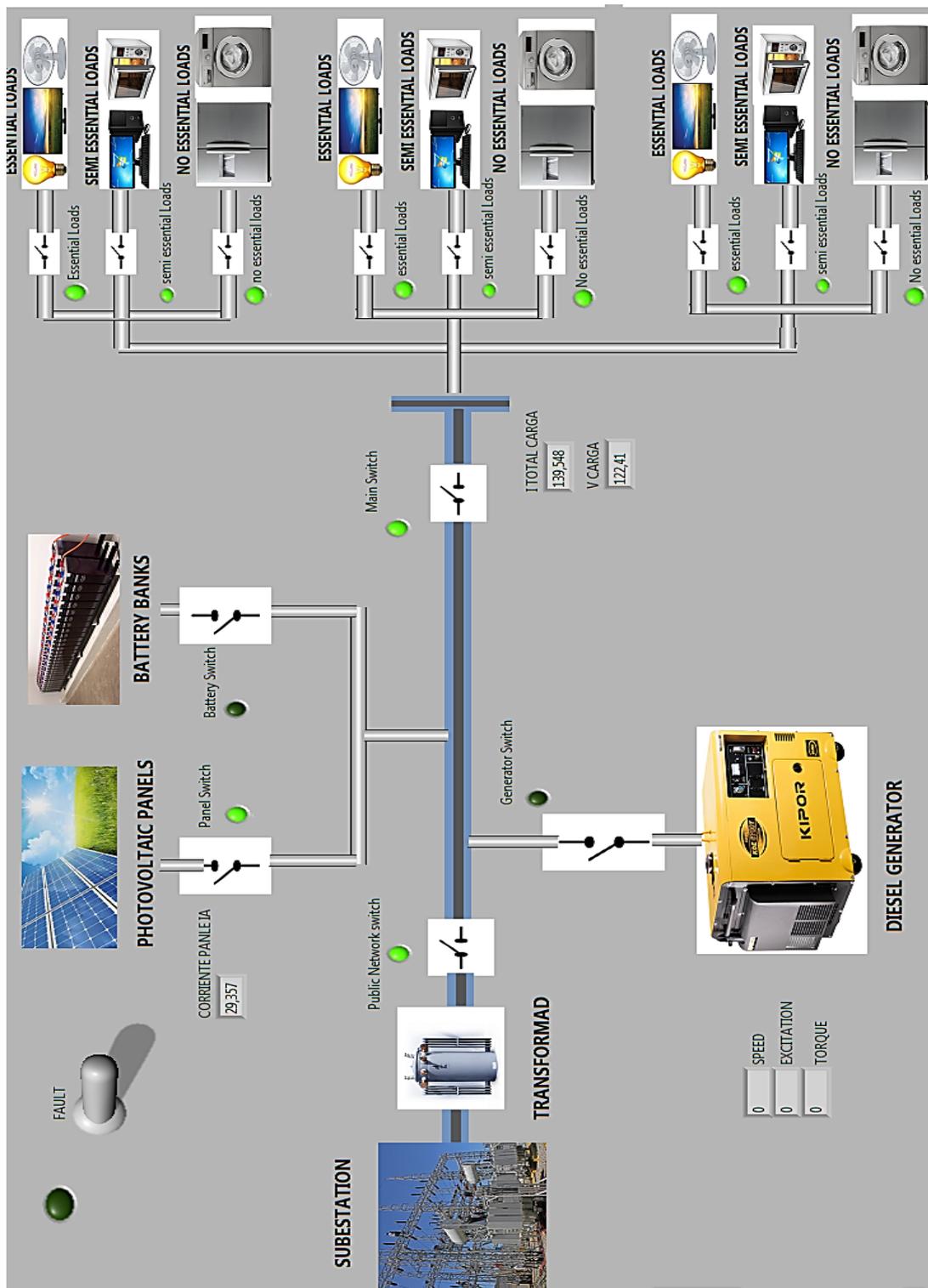


Figura 3.25: Caso 1. Componentes activos en el estado sin falla.



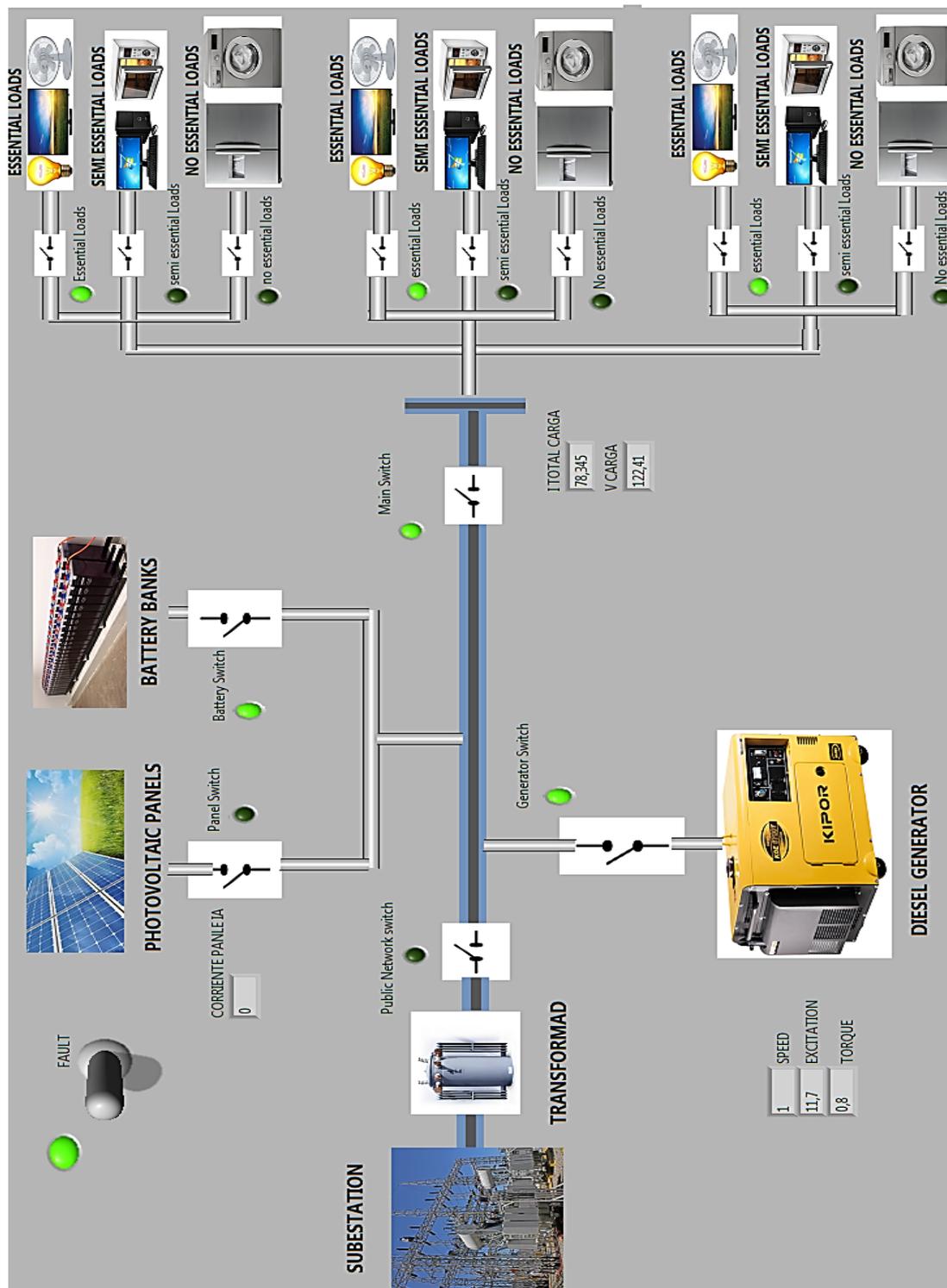


Figura 3.27: Caso 3. Componentes activos para el estado de falla en la noche.

## CAPÍTULO 4

### 4. RESULTADO DE LAS SIMULACIONES.

#### 4.1 Sistema en estado normal

Para el estado normal tenemos que el sistema se encuentra alimentado solamente por la red pública que viene directamente del alimentador de la respectiva subestación más cercana.

Para este escenario, la generación distribuida se encuentra fuera de línea, es decir tanto el generador a diésel como los paneles solares y las baterías están apagadas y está en acción la carga total del edificio.

En esta etapa analizamos la corriente total consumida por el sistema para este escenario que se muestra en la figura 4.1 la cual es de 139,548 amperios con un voltaje estabilizado de 122,41 voltios.

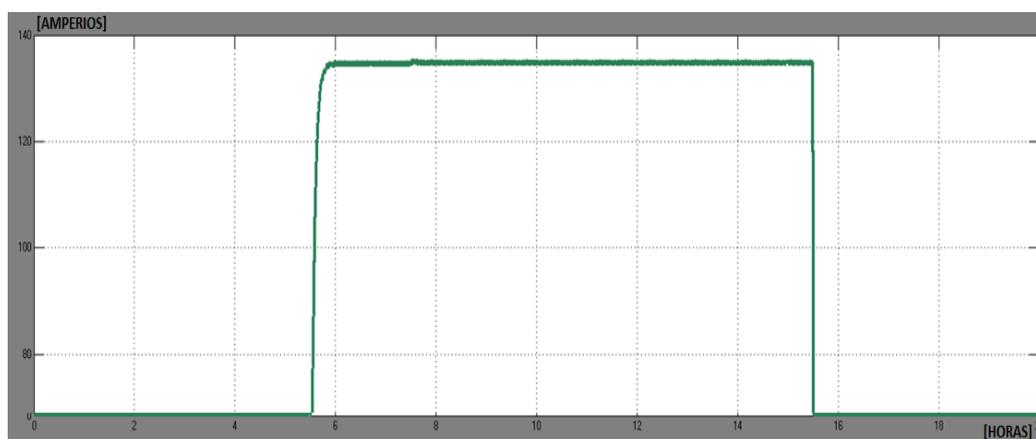
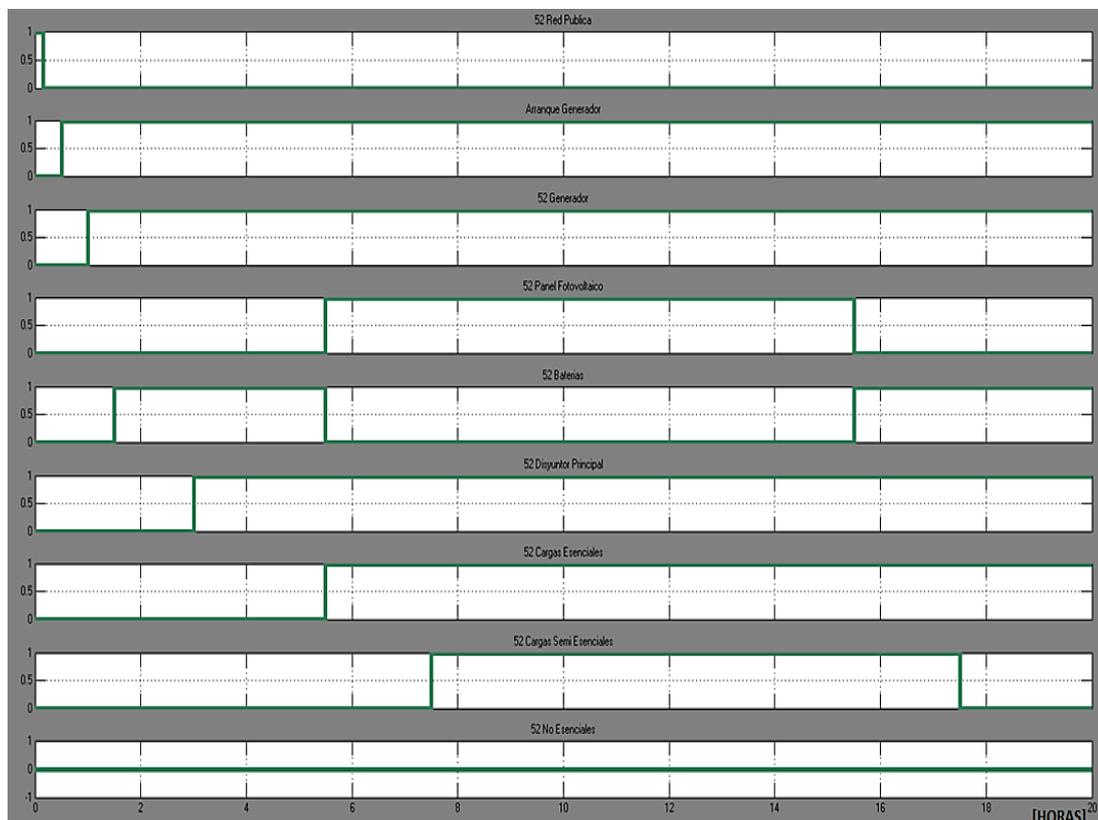


Figura 4.1: Corriente RMS total del sistema en estado normal en amperios.

#### 4.2 Sistema en estado post-falla

En el momento que la red presenta una contingencia se produce automáticamente la desconexión de la red pública y entra el accionamiento de toda la alimentación del sistema modo isla por medio de la generación distribuida.

La figura 4.2 muestra la secuencia de los accionamientos de cada una de las partes de la micro red actuando en modo isla.



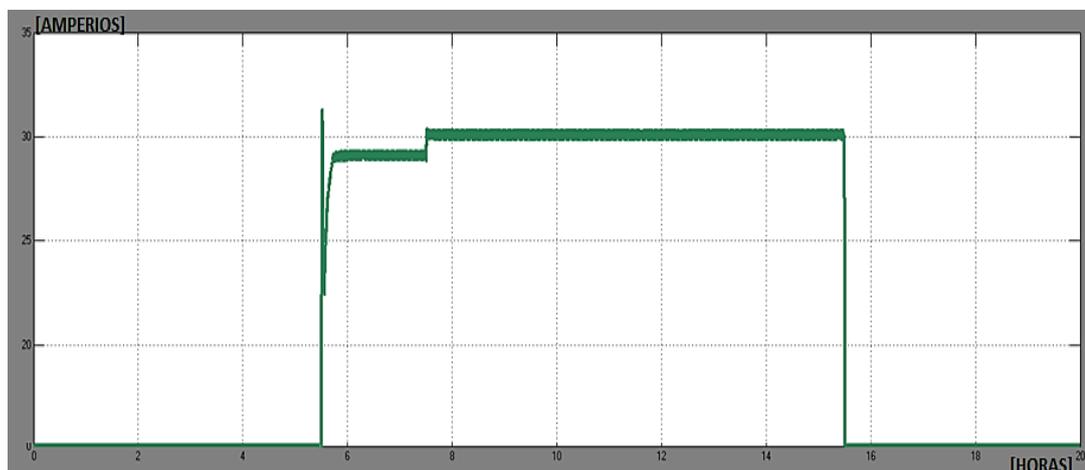
**Figura 4.2: Secuencia de control del sistema.**

Como se observa, hay un pequeño tiempo de espera luego de arrancar el generador hasta el momento de conectarlo a la red, esto es con el fin de garantizar estabilidad ya que el generador a diésel es el regulador del sistema.

#### 4.2.1 Respuesta del panel solar

El Panel solar entra en acción en el sistema luego de que el generador a diésel estabiliza el voltaje, ya que debido a que los paneles solares son modelados como una fuente de corriente controlada, provocan un transiente al momento de interactuar con las otras fuentes de alimentación.

En la figura 4.3 se evidencia ese pequeño transiente en la gráfica de corriente de los paneles solares al momento de su conexión al sistema y vemos que alcanza a suministrar una corriente de 29,357 amperios.

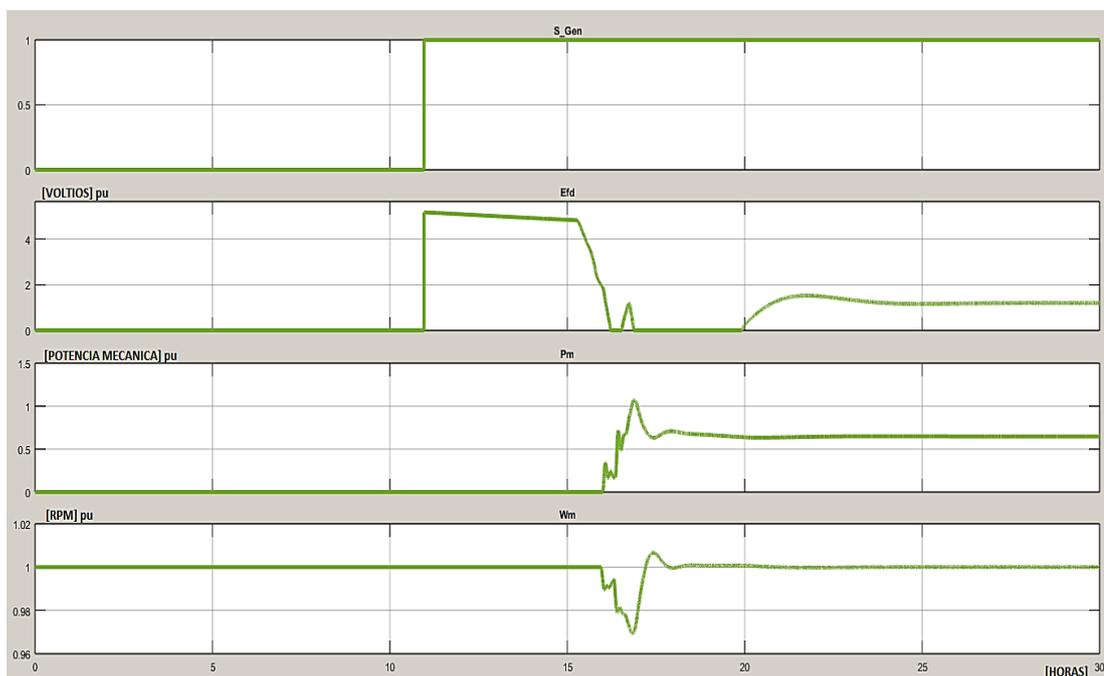


**Figura 4.3: Gráfica de corriente de los paneles solares.**

#### 4.2.2 Respuesta del generador a diésel

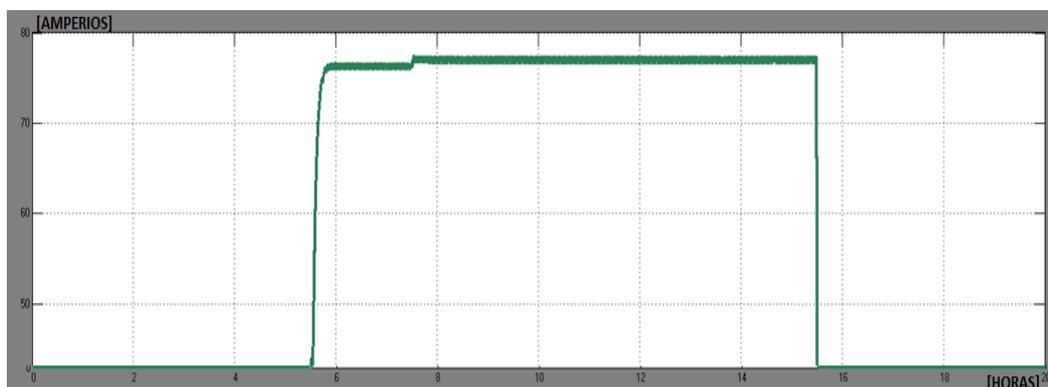
Ya que el generador a diésel es el encargado de regular el flujo de potencia en la micro red, se analiza su respuesta al interactuar con otras fuentes de alimentación como lo son los paneles solares.

En la figura 4.4 se puede observar el efecto que se produce al momento de conectar los paneles cuando el generador a diésel ya está operando, provocando un pequeño disturbio que después es regulado por los respectivos controladores del generador AVR (voltaje) y AGC (frecuencia).



**Figura 4.4: Curvas del generador en presencia de paneles fotovoltaicos.**

Luego ya podemos analizar la corriente que la generación distribuida completa está entregando a la carga seccionada en el momento de la contingencia, como podemos ver en la figura 4.5. Así podemos observar que para el caso del día que será la mayor demanda al estar en modo isla las cargas esenciales y semi esenciales absorben una corriente de 78,345 amperios con un voltaje de 122,41 voltios.



**Figura 4.5: Corriente total suministrada a la carga en estado de contingencia.**

### 4.2.3 Curvas del panel fotovoltaico y consumidor

Por medio de la ejecución de un código con las proporciones de carga se generó las curvas del panel fotovoltaico cuando el mismo se encuentra accionado, así como también la curva de carga de un consumidor modelada para un día, como se muestra en la figura 4.6.

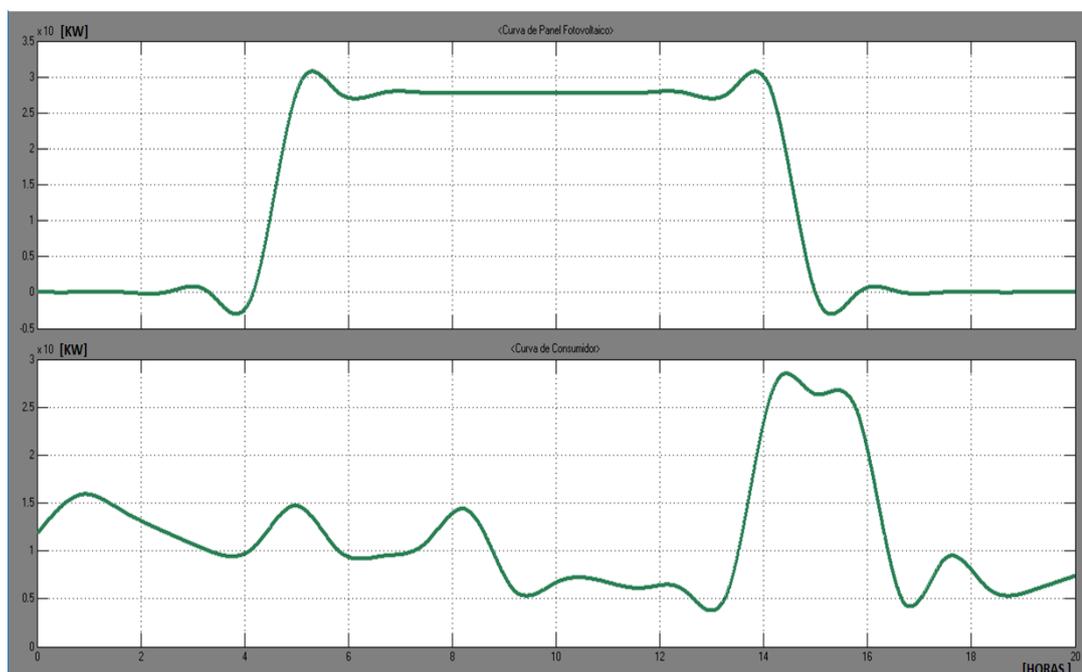


Figura 4.6: Curva de carga del panel solar y consumidor respectivamente.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se seleccionó cada equipo de alimentación por medio de un estudio de carga, determinando la potencia total instalada para así decidir la potencia que será suministrada al momento de la contingencia.

Se dividió la carga en esenciales, semi esenciales, no esenciales y se modeló un control de seccionamiento que identifique el tipo de carga a seccionar para el evento de día o noche.

Se logró garantizar el restablecimiento de energía ante una falla en el sistema en el tiempo adecuado, mediante aplicación del control de secuencia reduciendo las pérdidas ocasionadas a los consumidores.

Se efectuó el monitoreo y la verificación de respuesta de la red, mediante el diseño tipo SCADA de una interfaz gráfica, elaborada en LabVIEW, que establece comunicación en tiempo real con el simulador OPAL.

Se realizó la correcta verificación del consumo de los artefactos necesarios en un condominio, para considerar la potencia necesaria a generar en el momento de la falla.

Se debe verificar mediante la simulación off-line que el control automático del sistema simulado garantice la correcta conexión y desconexión de los seccionadores.

Es necesario hacer el correcto dimensionamiento en Matlab-Simulink de los equipos de energía renovable a utilizar, para que la potencia a entregar sea la adecuada.

Considerar que la discretización es para cada uno de los elementos de la red que se ha modelado, además revisar la comunicación entre la computadora principal y el simulador en tiempo real Opal.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] "Grid- Connected System," 1999.
- [2] A. Arancibia Y S. Kai, Use Of Panels And Generators: Technical University, Chile.
- [3] Z. Ordoñez, «Diseño De Red Con Alimentacion De Paneles Solares,» Universidad Politécnica Salesiana, Quito , 2008.
- [4] Sitio-Solar, Vol.1, Philips, December 2010. .
- [5] IEEE Power Engineering Society, IEEE Recommended Practice For Excitation System Models For Power System Stability Studies, Vol. 2005, No. April. 2006.
- [6] Empresa Eléctrica Pública De Guayaquil, Perfil De Cargas, Cuartos De Transformadores Y Sistemas De Medición Para El Suministro De Electricidad, Guayaquil: Natsim, 2014.
- [7] E. Development, P. Generation, E. Society, And Pes, Ieee Standard Definitions For Excitation Systems For Synchronous Machines, Vol. 2014, No. April. 2013.
- [8] Simulation, Modeling And Analysis. Averill Law Y David Kelton.
- [9] Aefiec, "Problemas Resueltos - Sistemas Digitales I," Vol. Rev. Ing César Martín.
- [10] National Instruments, "Ni Single-Board Rio Embedded Control And Acquisition", 29 De Julio De 2010, [Online] Disponible: [Http://Zone.Ni.Com/Devzone/Cda/Tut/P/Id/7441](http://Zone.Ni.Com/Devzone/Cda/Tut/P/Id/7441) [Accesado: Junio 5, 2011].
- [11] Instituto Politécnico Nacional, "Simulación En Tiempo Real De Una Medición", Edgar Morales García, Diciembre 2016.
- [12] Hans-Petter Halvorsen, Introduction To Labview, University College Of Southeast Norway, 2016.
- [13] Boletín Iie, «Aplicación De Tecnologías De Medición Avanzada (Ami) Como Instrumento Para Reducción De Pérdidas,» J. Gómez, R. Castán, J. Montero, J. Meneses, J. García, 2015.
- [14] M. M. Mano, Diseño Digital.

- [15] A. J. Wood, Copyrighted Materials "Power Generation, Operation, And Control". 2da Ed. U.S.A., 1994.
- [16] E. D. Generator And D. E. Controls, "Emergency Diesel Generator Diesel Engine Controls And Governing 8.0," Pp. 1–38.
- [17] J. Modrano, «Memoria De Cálculos De Carga,» Proyectos, Argentina.
- [18] Agencia De Regulación Y Control De Electricidad, «Estadística Anual Y Multianual Del Sector Eléctrico,» 2016.
- [19] J. M. Salmerón Ozores, Diseño De La Instalación Eléctrica, Madrid : Universidad Carlos Iii De Madrid, 2012.
- [20] S. Ugalde, «Cálculo De Parametros De Generacion,» Ets Electricidad.

## ANEXOS

### ANEXO A: ARTEFACTOS USADOS EN EL CONDOMINIO

Artefacto	Piso 1	Piso 2	Piso 3
Bomba de agua	1	0	0
aire acondicionado	2	2	2
cocina de inducción	1	1	1
lavadora	1	1	1
computadora	2	2	2
plancha	1	1	1
refrigeradora	1	1	1
televisor	3	3	4
focos	12	10	12
modem	1	1	1
secadora de cabello	1	1	1
aspiradora	1	1	1
cafetera	1	1	1
licuadora	1	1	1
DVD	1	0	1
exprimidor de jugo	1	0	1
cargadores de celular	3	2	6
antena decodificadora	1	1	2
ventiladores	1	1	1
microondas	0	1	1

## ANEXO B: PERFIL DE CARGA DEL CONDOMINIO PISO 1

Piso1		
	Artefacto	consumo(watts)
1	bomba de agua	400
2	aires acondicionados	5900
1	cocina de inducción	6000
1	lavadora	1000
2	computadoras	500
1	plancha	2000
1	refrigeradora	500
3	tv's	300
12	focos	480
1	modem	6
1	secadora de cabello	400
1	aspiradora	1200
1	cafetera	900
1	licuadora	300
1	DVD	25
1	exprimidor de jugo	75
3	cargadores de celular	24
1	antena de decodificador	8
1	ventiladores	90
<b>TOTAL</b>		<b>20108</b>

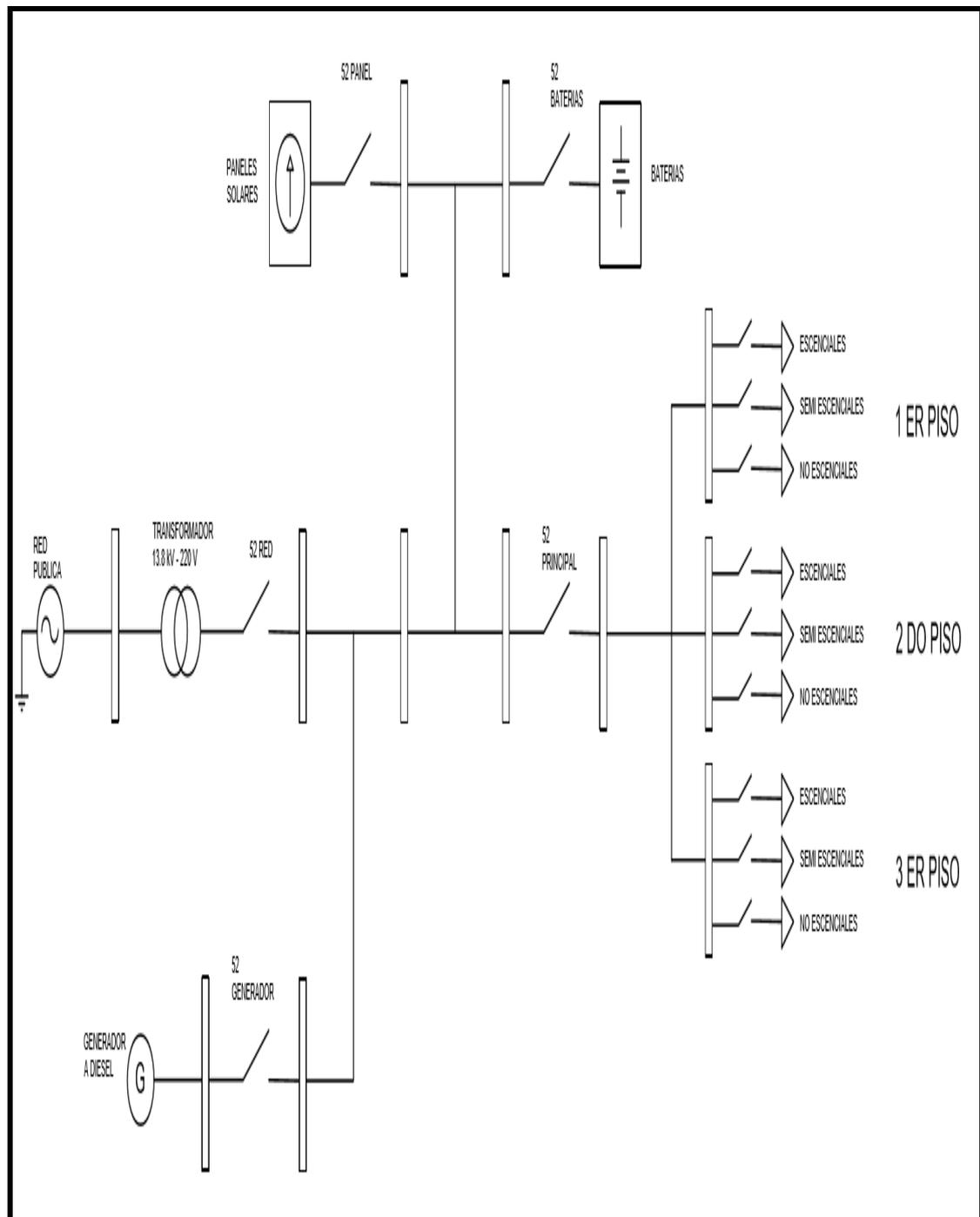
**ANEXO B: PERFIL DE CARGA DEL CONDOMINIO PISO 2**

<b>Piso 2</b>		
	<b>Artefacto</b>	<b>consumo(watts)</b>
2	aires acondicionados	5900
1	cocina de inducción	6000
1	lavadora	1000
2	computadoras	500
1	plancha	2000
1	refrigeradora	500
3	tv's	300
10	focos	400
1	modem	6
1	aspiradora	1200
1	cafetera	900
1	microondas	800
1	licuadora	300
2	cargadores de celular	16
1	antena de decodificador	8
1	ventilador	90
<b>TOTAL</b>		<b>19920</b>

**ANEXO B: PERFIL DE CARGA DEL CONDOMINIO PISO 3**

<b>Piso 3</b>		
	<b>Artefacto</b>	<b>consumo(watts)</b>
2	aires acondicionados	5900
1	cocina de inducción	6000
1	lavadora	1000
2	computadoras	500
1	plancha	2000
1	refrigeradora	500
4	tv's	400
12	focos	480
1	modem	6
1	secadora de cabello	400
1	aspiradora	1200
1	cafetera	900
1	microondas	800
1	licuadora	300
1	DVD	25
1	exprimidor de jugo	75
6	cargadores de celular	48
2	antena de decodificador	16
1	ventilador	90
<b>TOTAL</b>		<b>20640</b>

## ANEXO C: DIAGRAMA UNIFILAR



**ANEXO D: CANTIDAD DE PANELES NECESARIOS SEGÚN CONSUMO POR CADA PISO**

PISO 1				
CARGAS ESENCIALES				
Cant	Artefacto	consumo(watts)	Horas	Consumo diario (wh)
8	focos	320	4	1280
1	modem	6	24	144
1	ventilador	90	1	90
TOTAL		416		1514

X FPERDIDA	CAP. PANEL	Wp
	/	/
1514 X1.3	3.4	300
1968,2	578,8823529	1,929607843
		2 PANELES

PISO 2				
CARGAS ESENCIALES				
Cant	Artefacto	consumo(watts)	HORAS	Consumo diario (wh)
10	focos	400	4	1600
1	modem	6	24	144
1	ventilador	90	2	180
TOTAL		496		1924

X FPERDIDA	CAP. PANEL	Wp
	/	/
1514 X1.3	3.4	300
2501,2	735,6470588	2,452156863
		3 PANELES

<b>PISO 3</b>				
<b>CARGAS ESENCIALES</b>				
<b>Cant</b>	<b>Artefacto</b>	<b>consumo(watts)</b>	<b>Horas</b>	<b>Consumo diario (wh)</b>
8	focos	320	6	1920
1	modem	6	24	144
1	ventilador	90	2	180
<b>TOTAL</b>		<b>416</b>		<b>2244</b>

<b>X FPERDIDA</b>	<b>CAP. PANEL</b>	<b>Wp</b>
	/	/
1514 X1.3	3.4	300
2917,2	858	2,86
		3 PANELES

## ANEXO E: LISTADO CARGAS CONSIDERADAS ESENCIALES PARA EL DÍA

<b>PISO 1</b>		
<b>CANT</b>	<b>ARTEFACTO</b>	<b>POTENCIA(W)</b>
4	focos	160
1	aire acondicionado	2950
1	tv's	100
2	computadoras	500
1	modem	6
1	ventilador	90
TOTAL		3806

<b>PISO 2</b>		
<b>CANT</b>	<b>ARTEFACTO</b>	<b>POTENCIA(W)</b>
5	focos	200
1	aires acondicionados	2950
1	exprimidor de jugo	75
3	tv's	300
1	modem	6
1	ventilador	90
TOTAL		3621

<b>PISO3</b>		
<b>CANT</b>	<b>ARTEFACTO</b>	<b>POTENCIA (W)</b>
6	focos	240
1	aires acondicionados	2950
1	tv's	100
1	computadora	250
1	modem	6
1	ventilador	90
TOTAL		3636

<b>TOTAL CARGA DEL CONDOMINIO</b>	<b>11063 W</b>
-----------------------------------	----------------

## ANEXO F: LISTADO DE CARGAS ESENCIALES PARA LA NOCHE

<b>Piso 1</b>		
<b>CANT</b>	<b>ARTEFACTO</b>	<b>POTENCIA(W)</b>
12	focos	480
1	microondas	800
1	refrigeradora	500
1	tv	100
2	computadoras	500
2	ventilador	180
1	modem	6
TOTAL		2566

<b>Piso 2</b>		
<b>CANT</b>	<b>ARTEFACTO</b>	<b>POTENCIA(W)</b>
10	focos	400
1	microondas	800
1	refrigeradora	500
1	computadora	250
2	tv	200
2	ventilador	180
1	modem	6
TOTAL		2336

<b>Piso3</b>		
<b>CANT</b>	<b>ARTEFACTO</b>	<b>POTENCIA(W)</b>
12	focos	480
1	microondas	800
1	refrigeradora	500
1	tv	100
1	computadora	250
2	ventilador	180
1	modem	6
TOTAL		2316

<b>TOTAL CARGA DEL CONDOMINIO</b>	<b>7218</b>
-----------------------------------	-------------

### ANEXO J: CODIGO DE PROGRAMACION PARA LOS CASOS DE ANALISIS

```

%Desscripcion:      Pelallin - Estevez
%
%      Codigo Necesario Para Simulacion, carga de programas
clear
clc
f=60; %frecuencia
T=1/f; %Periodo
tds=T/1000;%60kHz
%Tiempos
t=60; %Tiempo simulacion 1440 minutos=24 horas
slope=24/t; %Pendiente de simulacion
tsec=[ 1 (1+2*T)]; %Parametros Internos de Falla
t_amanece=6; % 6am
t_anochece=18; % 18pm
% Delays
Delay_52_Red=0.3; %Retraso de tiempo en desconectar el 52 de Red
Delay_Gen=1; %Retraso de tiempo en encender el Generador
Delay_52_Gen=2; %Retraso ede tiempo en conectar el Generador a
Carga
Delay_PV=1; % Retraso de tiempo en conectar el PV a la
red, luego de verificar que exista red o gen y exista sol.
Delay_Battery=1; % Retraso de tiempo en conectar el Baterias a la
red, luego de verificar que exista red o gen.
Delay_Principal=2; %Retardo de tiempo en cerrar el 52 principal
Delay_Cons=1; %Retardo de tiempo en ingresar cada
consumidor.
%Curvas
C=[0.42;0.57;0.51;0.43;0.36;0.37;0.53;0.36;0.34;0.39;0.51; ...
0.22;0.24;0.25;0.22;0.21;0.22;0.96;0.95;0.87;0.18;0.33;0.22;0.21];
CPV=[0;0;0;0;0;0;1;1;1;1;1;1;1;1;1;1;1;1;0;0;0;0;0;0];
%Parametros BASE
VoltajeBase_LL=208; VoltajeBase_LN=120;
P1_Esc=2566; P2_Esc=2336; P3_Esc=2316;
P1_Semi=1240; P2_Semi=1285; P3_Semi=1320;
P1_NE=16302; P2_NE=16299; P3_NE=17004;
Ptotal=P1_Esc+P2_Esc+P3_Esc+...
P1_Semi+P2_Semi+P3_Semi+...
P1_NE+P2_NE+ P3_NE;
PV=0.1*Ptotal; % Panel fotovoltaico toma el 50% de la potencia
total de los 3 pisos
%Corrientes
I_C=C./(sqrt(3)*VoltajeBase_LL);
I_CPV=CPV./(sqrt(3)*VoltajeBase_LL);
I_C_min=min(I_C);I_C_max=max(I_C);
%Curvas de Corrientes
Ip1_Esc=I_C.*P1_Esc; Ip1_Semi=I_C.*P1_Semi; Ip1_NE=I_C.*P1_NE;
Ip2_Esc=I_C.*P2_Esc; Ip2_Semi=I_C.*P2_Semi; Ip2_NE=I_C.*P2_NE;
Ip3_Esc=I_C.*P3_Esc; Ip3_Semi=I_C.*P3_Semi; Ip3_NE=I_C.*P3_NE;
%Valores de Corrientes Maximias
Ipv=PV/(1.73*VoltajeBase_LL);
%Resistencias

```

```

R1_Esc=VoltajeBase_LN./Ip1_Esc; R1_Semi=VoltajeBase_LN./Ip1_Semi;
R1_NE=VoltajeBase_LN./Ip1_NE;
R2_Esc=VoltajeBase_LN./Ip2_Esc; R2_Semi=VoltajeBase_LN./Ip2_Semi;
R2_NE=VoltajeBase_LN./Ip2_NE;
R3_Esc=VoltajeBase_LN./Ip3_Esc; R3_Semi=VoltajeBase_LN./Ip3_Semi;
R3_NE=VoltajeBase_LN./Ip3_NE;
% Resistencias Maximas
R1_Esc_max=max(R1_Esc); R1_Semi_max=max(R1_Semi);
R1_NE_max=max(R1_NE);
R2_Esc_max=max(R2_Esc); R2_Semi_max=max(R2_Semi);
R2_NE_max=max(R2_NE);
R3_Esc_max=max(R3_Esc); R3_Semi_max=max(R3_Semi);
R3_NE_max=max(R3_NE);
%Resistencias Paralelas
R1_Esc_par=(R1_Esc.*R1_Esc_max)./(R1_Esc_max-R1_Esc);
R1_Semi_par=(R1_Semi.*R1_Semi_max)./(R1_Semi_max-R1_Semi);
R1_NE_par=(R1_NE.*R1_NE_max)./(R1_NE_max-R1_NE);

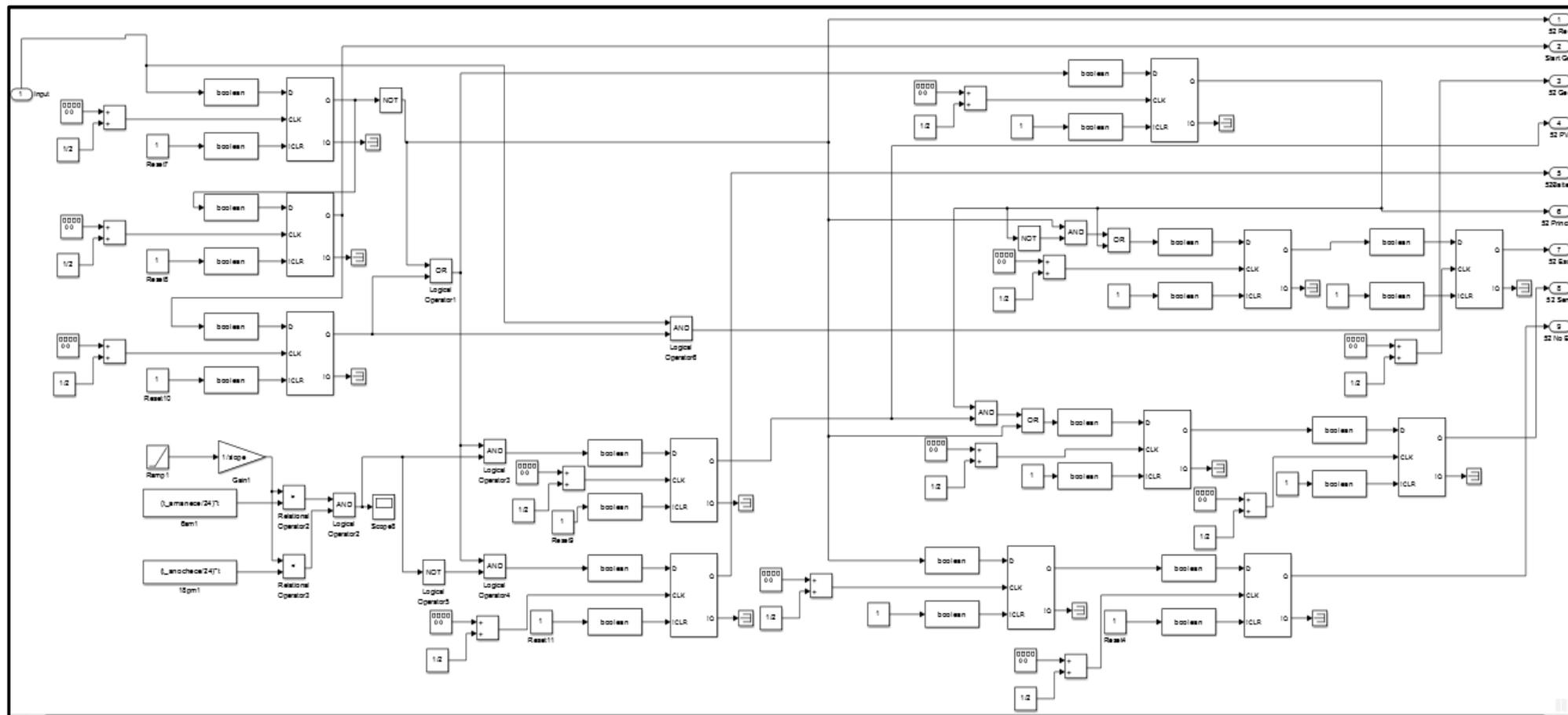
R2_Esc_par=(R2_Esc.*R2_Esc_max)./(R2_Esc_max-R2_Esc);
R2_Semi_par=(R2_Semi.*R2_Semi_max)./(R2_Semi_max-R2_Semi);
R2_NE_par=(R2_NE.*R2_NE_max)./(R2_NE_max-R2_NE);

R3_Esc_par=(R3_Esc.*R3_Esc_max)./(R3_Esc_max-R3_Esc);
R3_Semi_par=(R3_Semi.*R3_Semi_max)./(R3_Semi_max-R3_Semi);
R3_NE_par=(R3_NE.*R3_NE_max)./(R3_NE_max-R3_NE);

%Diesel Engine Governor
%Control
Control=tf([0.2 1],[0.0002 0.01 1]);
K=20; Pm0=0;Td=0.024;
Tf1=tf([0.25 1],[0.009 1]);
Tf2=tf(1,[0.0384 1]);
Tf3=tf(K,[1 0]);
temp=series(Control,Tf1);
temp=series(temp,Tf2);
Actuador=series(temp,Tf3);
%Discretizacion
Actuador_Discrete=c2d(Actuador,tds);
num_D=deal(Actuador_Discrete.num{:});
den_D=deal(Actuador_Discrete.den{:});
%Simulink
%Generador1 %Discretizado sin conectar PV y Battery
%Generador2 %Igual que Generador1 pero con bloques de RT LAB OPAL

```

## ANEXO K: CONTROL DIGITAL UTILIZADO PARA LA SECUENCIA DE LA RED



ANEXO L: SISTEMA COMPLETO MODELADO EN SIMULINK

