



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**

*Comunidad al servicio del Pueblo*

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍAS,  
INDUSTRIAS Y CONSTRUCCIÓN  
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**SIMULACIÓN DE UN SISTEMA EXPERIMENTAL  
FOTOVOLTAICO CONECTADO A LA RED MEDIANTE EL  
USO DE OPAL-RT**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN  
DEL TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO**

**AUTORES:**

**FAUSTO VINICIO CHUNZHO NIVELÓ**

**IVAN PATRICIO ATANCURI GORDILLO**

**DIRECTOR:**

**ING. JAVIER BERNARDO CABRERA MEJÍA MSc.**

**MATRIZ CUENCA**

**2018**

## DECLARACIÓN

Yo, Fausto Vinicio Chunzho Niveló con cedula de identidad N° 0106011984, declaro que el trabajo "SIMULACIÓN DE UN SISTEMA EXPERIMENTAL FOTOVOLTAICO CONECTADO A LA RED MEDIANTE EL USO DE OPAL-RT" es de mi responsabilidad y autoría, eximo a la Universidad Católica de Cuenca y a sus representantes de posibles acciones legales.

La Universidad Católica de Cuenca queda facultada para ejercer sus derechos correspondientes a este trabajo según lo establece la Ley de Propiedad Intelectual por su reglamento y norma institucional vigente.



---

**Fausto Vinicio Chunzho Niveló**

**CI: 0106011984**

## DECLARACIÓN

Yo, Iván Patricio Atancuri Gordillo con cedula de identidad N°0104309588, declaro que el trabajo "SIMULACIÓN DE UN SISTEMA EXPERIMENTAL FOTOVOLTAICO CONECTADO A LA RED MEDIANTE EL USO DE OPAL-RT" es de mi responsabilidad y autoría, eximo a la Universidad Católica de Cuenca y a sus representantes de posibles acciones legales.

La Universidad Católica de Cuenca queda facultada para ejercer sus derechos correspondientes a este trabajo según lo establece la Ley de Propiedad Intelectual por su reglamento y norma institucional vigente.

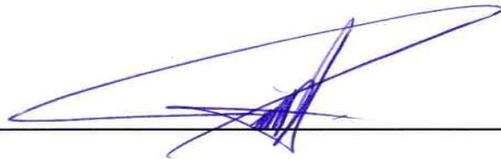


**Iván Patricio Atancuri Gordillo**

**CI: 0104309588**

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo de titulación fue desarrollado por Fausto Vinicio Chunzho Niveló e Iván Patricio Atancuri Gordillo bajo mi supervisión.

A handwritten signature in blue ink, consisting of several overlapping loops and strokes, positioned above a horizontal line.

**Ing. Javier Bernardo Cabrera Mejía MSc.**

**DIRECTOR**

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por regalarme la vida, sabiduría y perseverancia en este duro camino universitario, a mi director de Tesis Ing. Javier Bernardo Cabrera Mejía MSc por su apoyo durante clases y sobre todo durante el desarrollo del trabajo de titulación y a la Universidad Católica de Cuenca y a todo el personal docente y administrativo de la carrera de Ingeniería Eléctrica por brindar una excelente formación académica.

**Fausto Vinicio Chunzho Niveló**

Mis más sinceros agradecimientos a mi familia Atancuri Gordillo, especialmente a mi madre Blanca Lía por apoyarme en todos estos años, siendo el pilar fundamental de mis estudios, a mis hermanos que siempre han estado presentes en los momentos que los he necesitado. A mis tíos Wilson y Mirian por ayudarme en el trabajo brindado.

Al director de Tesis Ing. Javier Bernardo Cabrera Mejía MSc., por la confianza entregada durante la realización de proyecto.

**Iván Patricio Atancuri Gordillo**

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo investigativo lo dedico principalmente a Dios, por ser el inspirador y darme fuerzas para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados. A mis padres, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy. Ha sido el orgullo y el privilegio de ser su hijo, son los mejores padres.

A mis hermanos por estar siempre presentes, acompañándome y por el apoyo moral, que me brindaron a lo largo de esta etapa de mi vida.

A todas las personas que me han apoyado y han hecho que el trabajo se realice con éxito en especial a aquellos que nos abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos.

**Fausto Vinicio Chunzho Niveló**

El presente proyecto va dedicado a Dios y mi familia, especialmente a mis padres Luis y Blanca ya que siempre me han brindado su apoyo incondicional.

A mi esposa Carolina Elizabeth, por apoyarme y brindarme sus palabras de aliento que han sido muy importantes en mi vida, a mi hija Victoria Alejandra que es el motivo por el cual lucho cada día para verla sonreír.

**Iván Patricio Atancuri Gordillo**

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>DECLARACIÓN</b> .....	2
<b>DECLARACIÓN</b> .....	3
<b>CERTIFICACIÓN</b> .....	4
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	5
<b>DEDICATORIA</b> .....	6
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	11
<b>LISTA DE TABLAS</b> .....	14
<b>LISTA DE ANEXOS</b> .....	15
<b>RESUMEN</b> .....	16
<b>ABSTRACT</b> .....	17
<b>INTRODUCCION</b> .....	18
<b>CAPITULO 1. MARCO TEORICO</b> .....	19
1.1 Fuentes de energías renovables. ....	19
1.2 Energía Solar .....	19
1.2.1 Energía solar pasiva .....	19
1.2.2 Energía solar Activa térmica .....	19
1.2.3 Energía solar fotovoltaica.....	20
1.2.4 Potencia solar en el ecuador .....	24
1.3 Componentes en el sistema de generación solar fotovoltaico .....	25
1.3.1 Paneles solares .....	25
1.3.2 Regulador de carga.....	26
1.3.3 Baterías .....	27
1.3.4 Inversor.....	28
1.4 CURVAS DE DEMANDA RESIDENCIAL, COMERCIAL, INDUSTRIAL .....	29

1.4.1	Curva demanda residencial CENTROSUR .....	30
1.4.2	Curva panel solar .....	31
1.4.3	Comparación de curva característica de panel solar y residencial .....	32
1.4.4	Factor de potencia .....	33
1.4.5	Triangulo de potencia.....	35
1.5	RT-Lab.....	36
1.5.1	Configuración del servidor OPC UA .....	36
CAPITULO 2. SELECCIÓN DE LA RED CARACTERISTICA.....		38
2.1	Microgrid .....	38
2.2	Sistema Fotovoltaico .....	38
2.2.1	Paneles fotovoltaicos .....	39
2.2.2	Convertidor DC-DC .....	40
2.2.3	Convertidor DC-AC .....	40
2.2.4	Lazo de seguimiento de fase (PLL).....	41
2.3	Transferencia de energía .....	42
2.3.1	Factor de Potencia .....	43
2.4	Simulación en tiempo real .....	43
2.5	Sistemas SCADA en Microgrid.....	46
2.6	Protocolos de comunicación en Microgrid .....	47
2.7	OPC UA .....	47
2.8	Análisis Estadístico .....	47
CAPITULO 3. SIMULACION EN TIEMPO REAL .....		49
3.1	Descripción del modelo .....	49
3.2	Dimensionamiento de la micro red .....	49
3.3	Modelado de la micro red en Matlab-Simulink.....	55
3.3.1	Red de distribución equivalente modelada en Matlab-Simulink .....	56
3.3.2	Clientes.....	60

3.3.3	Potencias activas y reactivas de los clientes .....	64
3.4	Introducción de la curva característica del panel solar a la red de bajo voltaje en Simulink.....	69
3.5	Configuraciones en Matlab-Simulink .....	71
3.6	Modelado del panel fotovoltaico .....	74
3.7	RT LAB .....	75
3.8	Configuración del servidor.....	77
3.9	Configuración de la aplicación.....	79
3.9.1	Propiedades de archivo.....	79
3.9.2	Configuración de subsistema .....	80
3.9.3	Propiedades de diagnostico .....	81
3.9.4	Propiedades de hardware .....	81
3.9.5	Propiedades de herramientas de simulación.....	82
3.9.6	Información general .....	82
CAPITULO 4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	83
4.1	Simulaciones del Modelo Panel Fotovoltaico .....	83
4.2	Simulación de red de bajo voltaje acoplado un panel fotovoltaico .....	85
4.3	Red de bajo voltaje con generación distribuida .....	89
4.3.1	Generación distribuida con el 10% de paneles solares acoplados a la red de bajo voltaje .....	90
4.3.2	Generación distribuida con el 25% de paneles solares acoplados a la red de bajo voltaje .....	93
4.3.3	Generación distribuida con el 50% de paneles solares acoplados a la red de bajo voltaje .....	96
4.3.4	Generación distribuida con el 70% de paneles solares acoplados a la red de bajo voltaje .....	98
4.4	Efectos generados por el acople de paneles fotovoltaicos. ....	101
	CONCLUSIONES .....	104

RECOMENDACIONES .....	106
BIBLIOGRAFÍA .....	107
ANEXOS .....	109

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Célula Solar.....	20
Figura 2. Células de silicio mono cristalino.....	21
Figura 3. Células de silicio poli cristalino.....	22
Figura 4. Células bifaciales.....	23
Figura 5. Células de silicio amorfo.....	23
Figura 6. Insolación global promedio del ecuador.....	24
Figura 7. Sistema de generación fotovoltaico.....	25
Figura 8. Panel fotovoltaico y sus componentes.....	26
Figura 9 Batería de Pb-acido.....	27
Figura 10. Evolución decenal de clientes por grupo de consumo.....	29
Figura 11 Demanda máxima de potencia y energía mensual 2012.....	29
Figura 12 Curva de demanda diaria nacional.....	30
Figura 13 Demanda residencial Centro Sur.....	30
Figura 14 Curva Característica de un panel FV.....	31
Figura 15 Curvas de generación fv y curva residencial.....	32
Figura 16 Curvas de generación fotovoltaica <i>EA1</i> , curva de demanda no consumida por la distribuidora <i>EA2</i> .....	33
Figura 17. Triangulo de potencias.....	35
Figura 18 Plataforma de tiempo real RT-LAB.....	36
Figura 19 Estructura básica de un Sistema fotovoltaico aislado.....	38
Figura 20 Panel solar fotovoltaico mono cristalino.....	39
Figura 21 Panel solar fotovoltaico poli cristalino laboratorio UCACUE.....	40
Figura 22 Diagrama de convertidor CD-CA.....	41
Figura 23 Diagrama de bloques de un PLL en tiempo continuo.....	42
Figura 24 Tipos de Simulación en tiempo Real, se muestra el cálculo corto de un tiempo fijo denominado simulación acelerada.....	44
Figura 25. Se muestra el tiempo de simulación más largo que son denominadas simulación fuera de línea.....	44
Figura 26. Muestra el principio cronológico de la simulación de tiempo real.....	44
Figura 27. Simuladores de tiempo real.....	46
Figura 28 Número de transformadores existentes de la empresa eléctrica CENTROSUR que es igual a 18707.....	49

Figura 29 Estadísticas de los transformadores existentes en el Azuay por medio de la empresa eléctrica CENTOSUR.....	50
Figura 30 Transformadores de 30kVA existentes en la empresa eléctrica CENTROSUR. .....	50
Figura 31. Ubicación del transformador 4180.....	51
Figura 32. Red de distribución en bajo voltaje.....	54
Figura 33. Red de distribución en bajo voltaje.....	55
Figura 34. Red simulada en matlab simulink.....	56
Figura 35. Red de bajo voltaje con las cargas y conductores.....	56
Figura 36 Transformador V. línea-línea de 22kv/220V (60Hz).....	57
Figura 37. Parámetros del transformador Simulink.....	57
Figura 38. Líneas de distribución en el sistema.....	58
Figura 39. Parámetros del conductor del sistema.....	59
Figura 40. Grupo de clientes conectados al poste 266017.....	60
Figura 41. Usuario 295196-2F3C conectados al transformador 8140.....	63
Figura 42. Parámetros del usuario.....	63
Figura 43. Potencia activa usuario 3026986.....	65
Figura 44. Potencia reactiva usuario 3026986.....	65
Figura 45. Potencia activa usuario 295428.....	67
Figura 46. Potencia Reactiva usuario 295428.....	67
Figura 47. Curvas externas de las potencias activas y reactivas de un usuario.....	68
Figura 48. Parámetros del bloque de las potencias de un usuario.....	68
Figura 49. Curva de potencia del panel solar.....	71
Figura 50. Bloque en el cual existen diferentes del circuito Continuous, Discrete y Phasor. .....	71
Figura 51. Configuración de frecuencia.....	72
Figura 52. Intervalo de tiempo.....	73
Figura 53. Tiempo de lectura de datos.....	73
Figura 54. Panel fotovoltaico implementado en un usuario 4875779.....	74
Figura 55. INTERFAZ DE RT-LAB de la Universidad Católica de Cuenca.....	75
Figura 56. Diagnóstico de la plataforma OPAL-RT de la Universidad Católica de Cuenca. .....	75
Figura 57. Versión instalada en el simulador OPAL-RT de la Universidad Católica de Cuenca.....	76

Figura 58. Licencia del simulador RT-LAB. ....	76
Figura 59. Creación de un nuevo proyecto RT-LAB. ....	77
Figura 60. Carpeta del nuevo proyecto de RT-LAB. ....	78
Figura 61. Parámetros existentes en la nueva carpeta de simulación de RT-LAB.....	78
Figura 62. Visión y parámetros de la simulación en conjunto. ....	79
Figura 63. Modelo del OPAL RT.....	79
Figura 64. Propiedades de archivo de la simulación ingresada a RT-LAB.....	80
Figura 65. Configuración de subsistema ingresado en RT-LAB.....	80
Figura 66. Propiedades de diagnóstico de la simulación en RT-LAB.....	81
Figura 67. Propiedades de hardware.....	81
Figura 68. Propiedades de herramientas de simulación. ....	82
Figura 69. Información general de la simulación introducida en RT-LAB.....	82
Figura 70. Resultados en potencia activa total [W] del transformador 4180.....	83
Figura 71. Resultados en potencia reactiva total [var] del transformador 4180.....	84
Figura 72. Potencia activa del usuario 875779 y potencia activa del panel fotovoltaico. .....	86
Figura 73. Potencia activa acoplado un panel solar.....	86
Figura 74. Comportamiento energético del panel solar ante la demanda de todo el transformador. ....	87
Figura 75. Potencia reactiva total de la red. ....	88
Figura 76. Generación distribuida con el 10% de paneles fotovoltaicos. ....	90
Figura 77. Potencia activa total luego del acople 10% de paneles fotovoltaicos.....	91
Figura 78. Potencia reactiva total con el 10% los paneles fotovoltaicos. ....	92
Figura 79. Clientes del poste 266017 con generación distribuida. ....	94
Figura 80. Clientes del poste 51948 con generación distribuida.....	94
Figura 81. Potencia activa total con el 25% de paneles fotovoltaicos. ....	95
Figura 82. Potencia Activa con el 50% de paneles solares acoplados.....	97
Figura 83. Potencia activa con el 70% de paneles fotovoltaicos.....	99

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Clientes residenciales Fotovoltaicos (RF) Activos, instalados por CENTROSUR. .....	48
Tabla 2. Calculo consumo eléctrico de una casa tipo en la ciudad de Cuenca, de una familia de clase media. ....	51
Tabla 3. Clientes existentes del transformador número 4180. ....	61
Tabla 4. Potencias activas y reactivas del usuario 3026986. ....	64
Tabla 5. Potencias activas y reactivas del usuario 295428. ....	66
Tabla 6. Características del panel fotovoltaico del laboratorio de simulación. ....	69
Tabla 7. Datos extraídos del panel fotovoltaico. ....	70
Tabla 8. Datos de potencia activa y reactiva durante 24 horas. ....	84
Tabla 9. Valores de potencia con el panel solar fotovoltaico. ....	89
Tabla 10. Valores de potencia con la implementación del 10% de paneles fotovoltaicos en los clientes existentes. ....	93
Tabla 11. Valores de potencia con la implementación del 25% de paneles fotovoltaicos. .....	96
Tabla 12. Valores de potencia con la implementación del 50% de paneles fotovoltaicos. .....	98
Tabla 13. Valores de potencia con la implementación del 70% de paneles fotovoltaicos en la red pública. ....	100

## LISTA DE ANEXOS

<b>Anexo A. Tabla de todos los clientes perteneciente al transformador 4180 con el promedio de potencia activa y reactiva .....</b>	<b>109</b>
<b>Anexo B. Norma IEC 61000-3-2: 2018. ....</b>	<b>111</b>
<b>Anexo C. Valores límites de THD .....</b>	<b>112</b>
<b>Anexo D. Diagrama de la simulación y red simulada .....</b>	<b>113</b>

## RESUMEN

Debido a la necesidad de contar con datos en tiempo real, de cómo la generación distribuida influye a la red de distribución de bajo voltaje; se ha visto la necesidad de realizar un estudio investigativo que nos permita mediante simulación, interconectar generación de paneles solares de 230 W a una sección de la red de distribución de la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur; los datos obtenidos se simularán a través del software Matlab-Simulink y RT-LAB.

En el laboratorio de Simulación en Tiempo Real perteneciente a la Universidad Católica de Cuenca localizada en el Sector de Ricaurte, Cantón Cuenca, y a cargo del Grupo de Investigación en Redes Eléctricas Inteligentes, se realiza el monitoreo para la extracción de datos de generación mediante paneles solares, para luego ser acoplada en la simulación de la red pública de distribución, con la ayuda del software y hardware OPAL-RT, se simula la red de distribución con datos reales en un tiempo de 24 horas del día, y se determinara los efectos que presenta la generación distribuida en diferentes escalas.

Con la data de simulación completada se realiza un análisis para determinar el efecto que presenta la generación distribuida sobre la red eléctrica de bajo voltaje.

El presente trabajo de titulación se divide en cuatro capítulos; el primero se revisa la introducción correspondiente a fuentes de energía renovables, luego en un segundo capítulo se especifican las características eléctricas de la red de distribución, en un tercero se realiza la simulación en tiempo real mediante el RT-LAB, para que, al capítulo cuarto se analicen los resultados de la simulación, y logrando al final llegar a las conclusiones y recomendaciones respectivas.

**Palabras clave:** SIMULACION EN TIEMPO REAL, SISTEMA FOTOVOLTAICO, RED DE DISTRIBUCIÓN, MATLAB, OPAL-RT.

## ABSTRACT

Due to the need to have real-time data, and how distributed generation influences low-voltage distribution network; we have seen the necessity to conduct a research which allows us to simulate, interconnect 230 W solar panels to a section of a distribution network of the Regional Centro Sur Electric Company; the data will be simulated through Matlab-Simulink and RT-LAB software.

In the Real Time Simulation Laboratory belonging to the Catholic University of Cuenca located in the Ricaurte Sector, Canton Cuenca, and by the Research Group on Smart Grids, monitoring and extracting data generation by solar panels, then to be engaged in the simulation of a public distribution network, with the help of OPAL-RT software and hardware, the distribution network is simulated with 24 hours real data, and the effects of distributed generation on different scales will be established.

With the simulation data completed, an analysis is carried out to establish the effect of distributed generation on a low voltage electricity network.

The design of the chapters described in this research work is divided into four; the first one reviews the outline related to renewable energy sources, then in the second chapter the electrical characteristics of the distribution network are detailed, and in the third chapter, real-time simulation is carried out using the RT-LAB, so that, in the fourth chapter the simulation results are evaluated, and finally reaching the corresponding conclusions and recommendations.

**Keywords:** REAL-TIME SIMULATION, PHOTOVOLTAIC SYSTEM, DISTRIBUTION NETWORK, MATLAB, OPAL-RT.

## INTRODUCCION

La tecnología cada día está avanzando en todos los ámbitos y en todos los campos, en los sistemas eléctricos no es la excepción debido que en la actualidad se pretende contar con redes inteligentes (Smart Grid). Este trabajo de titulación tiene el objetivo general de adquirir datos de una red de bajo voltaje tipo para implementar en la simulación con generación distribuida a través de un panel solar de 230 W.

La simulación de la red de distribución de bajo voltaje se la realizara con la ayuda de OPAL-RT y Matlab-Simulink, de este modo se permitirá la simulación y la obtención de datos en tiempo real, así se podrá crear un histórico de las magnitudes simuladas, el cual será guardado para la utilización de estadísticas en esta investigación.

La generación distribuida mediante el panel solar pertenece al grupo de las energías de fuente renovable, limpia y amigable con el medio ambiente, al estar conectada a la red es un tipo nueva de tecnología por ello se realiza el análisis mediante simulaciones para garantizar que en la red de distribución de bajo voltaje no se presenten perturbaciones.

La Universidad Católica de Cuenca, cuenta con un laboratorio experimental pionero a nivel nacional donde se pretende obtener los datos de simulación y realizar el análisis de resultados presentados, permitiéndonos visualizar resultados como si realmente la generación distribuida en las zonas residenciales estuviera conectada dentro de la simulación.

## **CAPITULO 1. MARCO TEORICO**

### **1.1 Fuentes de energías renovables.**

La energía renovable es aquella cuya fuente es regenerada o restablecida en forma natural y cuyo centro de desarrollo es inagotable. El consumo energético en el mundo crece cada día por la población y los dispositivos eléctricos van en aumento por lo tanto hay que optar por energías renovables, ya sea el sol, el viento, el agua para la generación de energía eléctrica. (Enriquez Harper, El ABC de las energías renovables en los sistemas electricos, 2013).

### **1.2 Energía Solar**

La energía solar es una fuente inagotable de energía renovable, se puede aprovechar por su radiación electromagnética solar, se puede obtener la energía mediante captadores de células fotovoltaicas, heliostatos o colectores térmicos que se convierte en energía térmica o eléctrica. Existen dos tipos de tecnologías en las cuales se puede aprovechar esta energía que son:

- Energía solar pasiva.
- Energía solar Activa, se subdivide en fotovoltaica y térmica.

#### **1.2.1 Energía solar pasiva**

Esta energía, está caracterizada por el aprovechamiento solar directo sin la necesidad de sistemas mecánicos y sin ninguna ayuda de energía externa, de esta manera se crean ductos arquitectónicos ya sean en la cubierta para poder aprovechar el calor para su calefacción, de la misma manera se puede realizar una abertura en la cubierta para aprovechar el alumbrado de interiores en viviendas. (Pelaez Samaniego & Espinosa Abab, 2015).

#### **1.2.2 Energía solar Activa térmica**

La energía, está constituida por el aprovechamiento de la concentración del calor solar, pudiendo transformar en energía eléctrica; en calefacción para viviendas, cocción de alimentos, producción de agua caliente para uso doméstico, producción de energía mecánica para que pueda ser concentrada en energía eléctrica. (Pelaez Samaniego & Espinosa Abab, 2015).

La captación se realiza mediante los colectores, cuya clasificación es:

- De baja temperatura: menores a 100°C, se utiliza para calefacción y calentamiento de piscinas, agua caliente sanitaria, ciertos procesos industriales, etc.
- De media temperatura: entre 100° a 250°C sirven para procesos industriales, generación de flujos térmicos, extracción de sal del agua de mar y refrigeración mediante energía solar.
- De alta temperatura: superiores a 500°C sirven para la generación de energía eléctrica con el uso de plato parabólico, de canal parabólico y sistema de torre central.

### 1.2.3 Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica, consiste en la transformación de la energía solar en energía eléctrica por medio de paneles solares, dicho panel está conformado por varios módulos fotovoltaicos constituidas por células fotovoltaicas o células solares.

#### 1.2.3.1 Célula solar

En la célula solar es en donde ocurre la conversión fotovoltaica en la cual no hay la necesidad de ciclos térmicos, cambios químicos o mecánicos que impliquen partes móviles.

Cuando un fotón alcanza una célula solar, se puede absorber, reflejar o transmitirse pasando su energía a un electrón del material, causando el movimiento del electrón hasta que llegue a un punto de contacto, obteniendo como resultado la generación por la luz de una corriente eléctrica. (Pelaez Samaniego & Espinosa Abab, 2015).

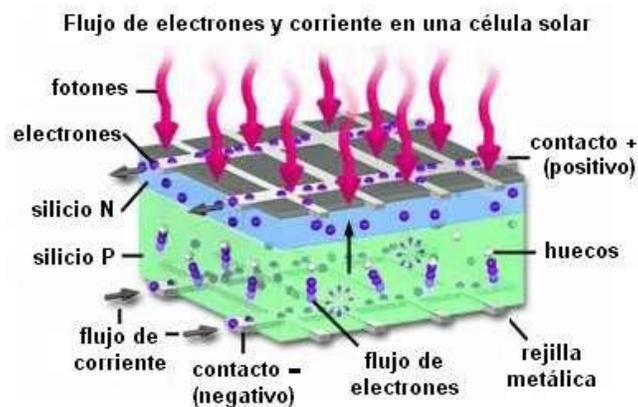


Figura 1 Célula Solar.

(Pelaez Samaniego & Espinosa Abab, 2015).

### **1.2.3.2 Tipos de células Fotovoltaicas**

Existen varios tipos de células fotovoltaicas dependiendo de su composición y fabricación entre las que se pueden destacar son:

#### **1.2.3.2.1 Células de silicio mono cristalino**

Es un diodo de unión P-N que es muy sensible a la iluminación generando corriente eléctrica, su rendimiento puede llegar al 15% aproximadamente. El silicio es el segundo material que existe en abundancia en el planeta, este material no se encuentra en estado puro, al instante de fundir y hacerle crecer para obtener la forma de mono cristal, es costoso lo cual no es conveniente para la generación de energía eléctrica, el panel de silicio mono cristalino se puede observar en la figura 2. (Pelaez Samaniego & Espinosa Abab, 2015).



Figura 2. Células de silicio mono cristalino.  
(Pelaez Samaniego & Espinosa Abab, 2015).

### **1.2.3.2.2 Células de silicio poli cristalino**

Se les llama poli cristalinas ya que su fabricación es elaborada en múltiples capas, las células poli cristalinas bordean un rendimiento entre 7 y 8 %, pueden ser creadas en forma cuadrática reduciendo espacios entre células como se puede observar la figura 3. (Pelaez Samaniego & Espinosa Abab, 2015)

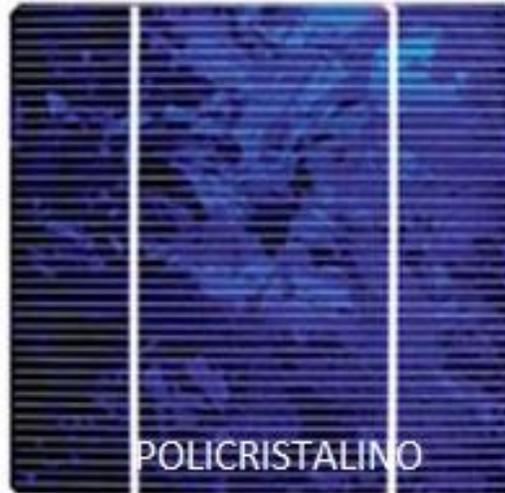


Figura 3. Células de silicio poli cristalino.  
(Pelaez Samaniego & Espinosa Abab, 2015)

### **1.2.3.2.3 Células de arseniuro de galio – AsGa**

Es la célula más adecuada para la fabricación de paneles ya que su rendimiento abarca entre 27 y 28 %, el problema radica que es un material difícil de encontrar, por esta razón su costo es muy elevado. Este material tiene un gran coeficiente de absorción, trabaja en temperaturas altas y tiene pocas pérdidas comparado con el silicio mono cristalino, es una ventaja en el sistema de concentración. (Pelaez Samaniego & Espinosa Abab, 2015)

### **1.2.3.2.4 Células bifaciales**

Esta célula fotovoltaica consiste en la fabricación de un panel doble en la cual pueda absorber los rayos ultravioletas del sol que son reflejados en el suelo como se muestra en la figura 4, creando una doble unión (normalmente  $N^+ - P - P^+$ ), su rendimiento está bordeando el 30 %, así como su rendimiento es mejor que las

células anteriores su costo es más elevado ya que necesita de tratamientos diferentes a los demás. (Pelaez Samaniego & Espinosa Abab, 2015)

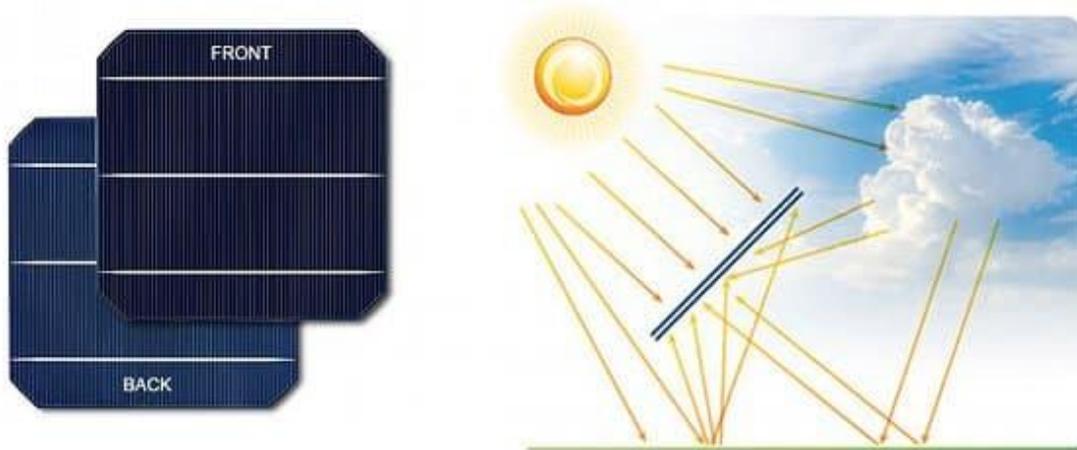


Figura 4. Células bifaciales.

(Dazne, 2012)

#### **1.2.3.2.4 Células de silicio amorfo**

La ventaja de utilizar células fotovoltaicas de silicio amorfo es el grosor; puede llegar a ser 50 veces más fino del silicio mono cristalino, el silicio tiene un alto coeficiente de absorción, permite la utilización del material en pequeños espesores, su rendimiento bordea entre el 5 y el 6 % de su rendimiento, de esta forma su costo no es elevado, la célula de silicio amorfo se puede observar en la figura 5. (Pelaez Samaniego & Espinosa Abab, 2015).

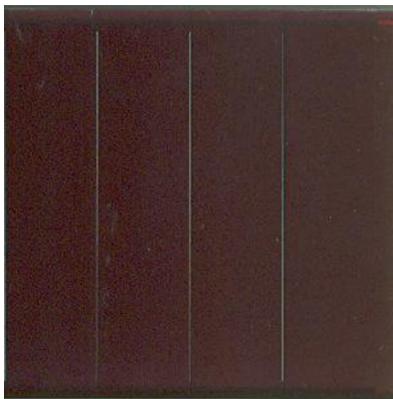


Figura 5. Células de silicio amorfo.

(Pelaez Samaniego & Espinosa Abab, 2015).

### 1.2.4 Potencia solar en el ecuador

La ubicación de nuestro país tiene una ventaja para aprovechar este recurso durante todo el año con un nivel de radiación promedio de  $4574,99 \frac{Wh}{m^2} / dia$ , según el atlas solar del ecuador-CONELEC; como se observa en la figura 6, este privilegio es favorable, ya que se puede incrementar la capacidad fotovoltaica ya sea en centrales de generación, sistemas conectados a la red o aislados. (CONELEC, Atlas solar del Ecuador, 2008).

Según el atlas solar del ecuador las zonas en las cuales llega mayor radiación sobre los  $5000 \frac{Wh}{m^2} / dia$  es en la ciudad de Loja; la parte sur del Azuay; el centro del país y de pichincha.

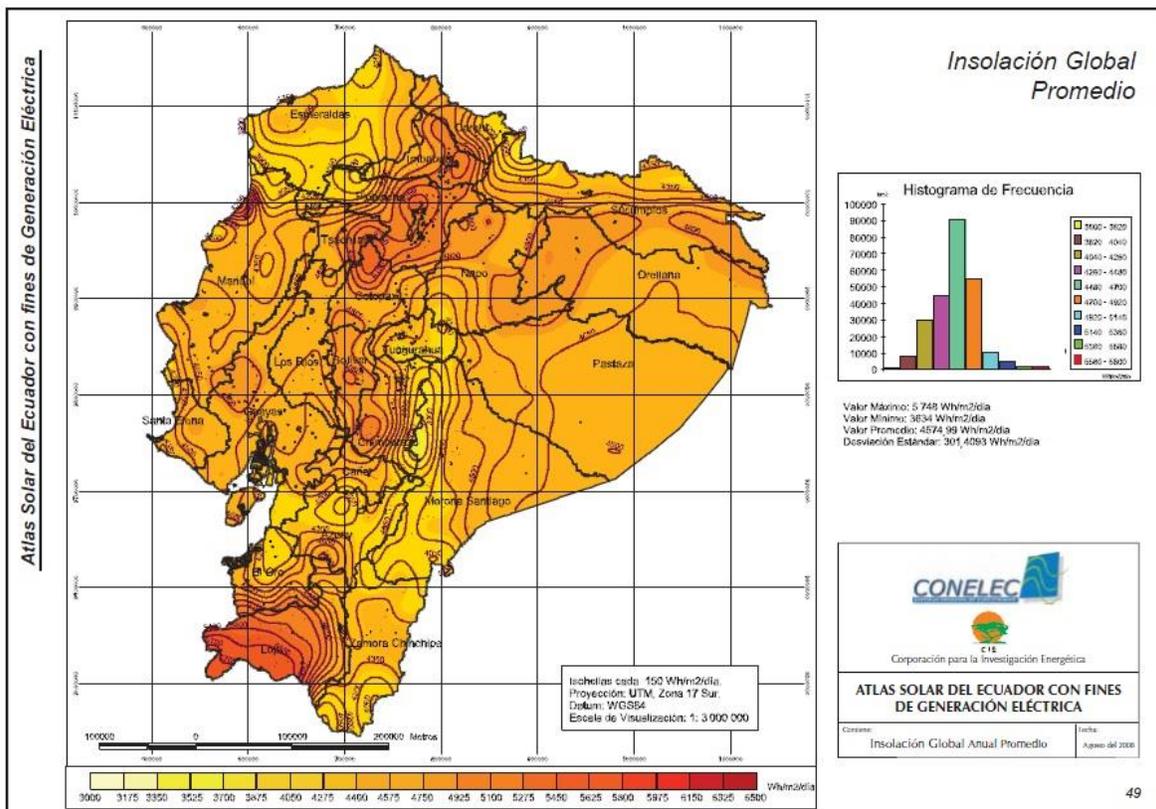


Figura 6. Insolación global promedio del ecuador.  
(CONELEC, Atlas solar del Ecuador, 2008).

### 1.3 Componentes en el sistema de generación solar fotovoltaico

Para poder generar energía eléctrica es primordial el panel solar pero no es único componente para poder cumplir con la generación mencionada, para este proceso se requiere de:

- Panel solar
- Regulador de carga
- Baterías
- Inversor

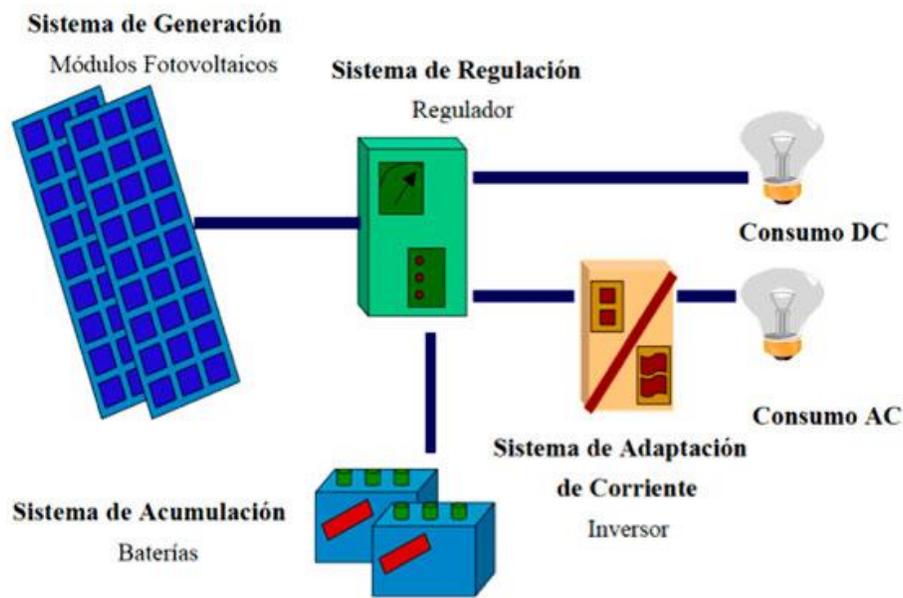


Figura 7. Sistema de generación fotovoltaico.  
(Pelaez Samaniego & Espinosa Abab, 2015).

#### 1.3.1 Paneles solares

El panel solar está formado por celdas fotovoltaicas, por un cristal transparente superior y un cerramiento inferior, sus conexiones eléctricas y en cerramiento inferior como se puede observar en la figura 8. Por lo expuesto existen dos tipos de paneles solares, mono cristalinos y policristalinos, los cuales producen corriente continua en un voltaje de 12V, dependiendo el tipo de conexionado (serie o paralelo) se puede incrementar el nivel de voltaje o aumentar la corriente. La ubicación de los paneles

estará estratégicamente colocada tratando de aprovechar al máximo la radiación solar. Existen diferentes tipos de módulos capaces de seguir el sol aprovechando al máximo la radiación total en el día. (Enriquez Harper, El ABC de las energías renovables en los sistemas eléctricos, 2013).

El panel dispone de otros componentes que ayudan a su protección a causa de agentes externos según (Pelaez Samaniego & Espinosa Abab, 2015):

- Cubierta exterior de vidrio que permite al máximo el paso de la radiación solar.
- Encapsulate
- Lamina de protección posterior
- Marco metálico
- Cableado y bordes de conexión
- Diodo de protección

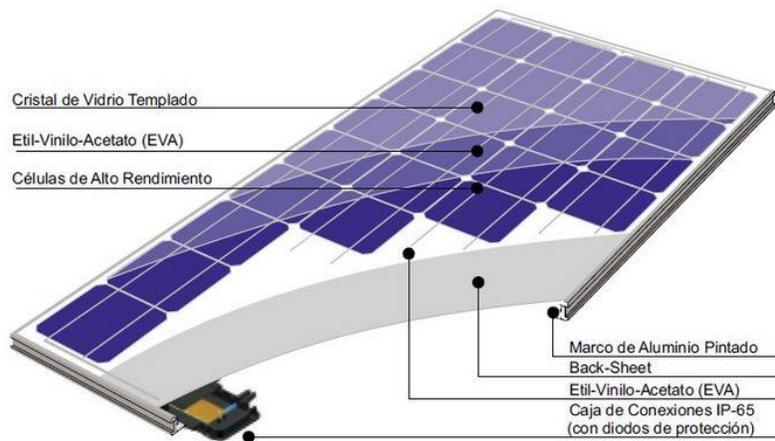


Figura 8. Panel fotovoltaico y sus componentes.  
(Pelaez Samaniego & Espinosa Abab, 2015).

### 1.3.2 Regulador de carga

Es el equipo encargado de evitar sobrecarga, que limita el voltaje para los valores adecuados de las baterías, trabaja con una fuente de energía variable. El circuito de regulador sabe cuándo debe actuar a limitar el voltaje y corriente proporcionado por el panel fotovoltaico, una vez que ya se haya completado la carga, el regulador

interrumpe el paso de corriente de esta manera evita que el calentamiento de los acumuladores y la pérdida de electrolitos. Cuando el voltaje del acumulador desciende el regulador vuelve a permitir el paso de la corriente del panel. (Pelaez Samaniego & Espinosa Abab, 2015)

### 1.3.3 Baterías

Como se muestra en la figura 9 la batería o acumulador es un dispositivo electroquímico en forma de enlaces químicos, está constituido por uno o varios vasos interconectados. Un vaso está conformado por una lámina de plomo ( $Pb$ ), y una lámina de dióxido de plomo ( $PbO_2$ ), sumergido en un electrolito que es la resultante de la mezcla de ácido sulfúrico.

Esquema de la celda de la batería de plomo/ácido sulfúrico



Figura 9 Batería de Pb-ácido.

(Pelaez Samaniego & Espinosa Abab, 2015).

#### 1.3.3.1 Tipos de baterías para aplicaciones fotovoltaicas

No toda batería puede ser utilizada en el sistema solar fotovoltaico doméstico, los sistemas solares fotovoltaicos utilizan baterías de plomo – ácido, en la actualidad existen varios tipos de baterías como:

### **Baterías Pb-acido**

Esta batería es la más comercializada, está conformada de plomo y ácido concentrado, requiere un mayor mantenimiento para poder observar el nivel de electrolito que debe ser nivelado con agua destilada y su vida útil es limitada.

### **Baterías Pb-acido libres de mantenimiento (SLI)**

Son parecidas a las baterías Pb-acido convencionales, con la diferencia que no necesita que le agreguen agua destilada ya que dispone de una malla de condensación para el vapor de agua que produce al momento de carga y descarga. Están constituidas con aleaciones de plomo y calcio en las rejillas.

### **Baterías tubulares**

El funcionamiento es similar a las baterías de convencionales Pb-acido, con la diferencia que estas los electrodos se reducen a hojas metálicas que son enrolladas y formadas un cilindro.

### **Baterías con electrolito tipo GEL**

Las baterías que son de Pb-acido, son parcialmente o totalmente recombinados, la caja de la batería puede ser hermética. Dicha solución es utilizada en las baterías de electrolito gelatinoso o tipo gel, el grado de recombinación depende de la actividad química en el electrolito estas baterías pueden tener un valor superior a las Pb-acido hasta un 20%.

#### **1.3.4 Inversor**

Los paneles generan corriente continua y son almacenadas en baterías en corriente continua, para ser utilizada en diferentes dispositivos. Los inversores CC/CA están constituidos por transistores y tiristores que hace convertir la corriente continua en una onda cuadrática; esta puede ser utilizada luego de haber pasado por un transformador que eleve su voltaje. (Pelaez Samaniego & Espinosa Abab, 2015)

#### 1.4 CURVAS DE DEMANDA RESIDENCIAL, COMERCIAL, INDUSTRIAL

La demanda eléctrica está constituida por la cantidad de potencia y el horario de consumo, el grupo de consumo al que pertenece (residencial, comercial, industrial y alumbrado público), cada uno de los grupos mencionados tienen un grupo de clientes que evoluciona periódicamente como se muestra en la figura 10.

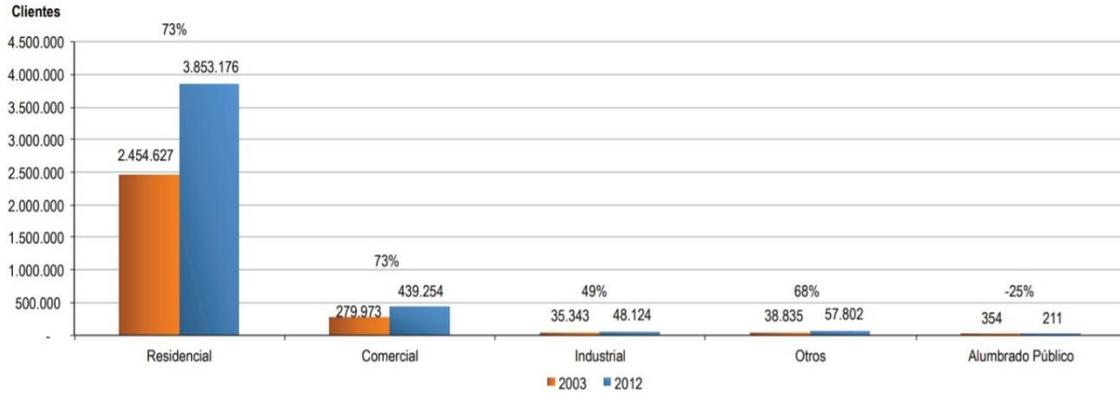


Figura 10. Evolución decenal de clientes por grupo de consumo.

(CONELEC, Guerrero, & Rodriguez, PLAN MAESTRO DE ELECTRIFICACION, 2018).

El crecimiento anual de clientes durante enero 2008-diciembre 2012 fue de 3.78% en potencia y 4.23% en energía siendo estos promedios anuales.

En el 2012 registra una demanda máxima a nivel de bornes de generación con 3.207 MW, mientras que la potencia mínima se registró en enero con 2.937 MW. La demanda máxima de energía se produjo en mayo con 1.715 GWh, mientras que la demanda mínima de energía se registró en febrero con 1.502 GWh. Como se puede observar en la figura 11.

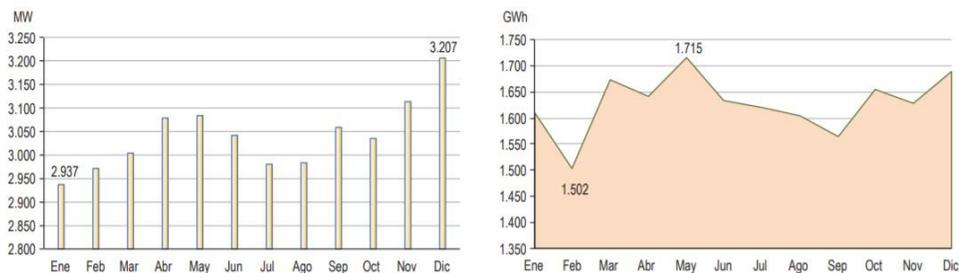


Figura 11 Demanda máxima de potencia y energía mensual 2012.

(CONELEC, Guerrero, & Rodriguez, PLAN MAESTRO DE ELECTRIFICACION, 2018).

### 1.4.1 Curva demanda residencial CENTROSUR

El comportamiento de una curva de demanda diaria residencial está tomada en cuenta por el consumo diario de clientes de la red de bajo voltaje, obteniendo un pico como se puede observar en la figura 12, desde las 19:00 hasta las 22:00, la demanda media bordea entre las 06:00 a 17:00 y 23:00 a 24:00, la demanda mínima entre 01:00 hasta 05:00. En la misma figura se observa tres curvas en diferentes días; tomamos en cuenta la curva de demanda de un día lunes ordinario laborable, para un día semi-laborable sábado y un día festivo domingo, estas potencias están expresadas por unidad (p.u.) de la máxima del día laborable.

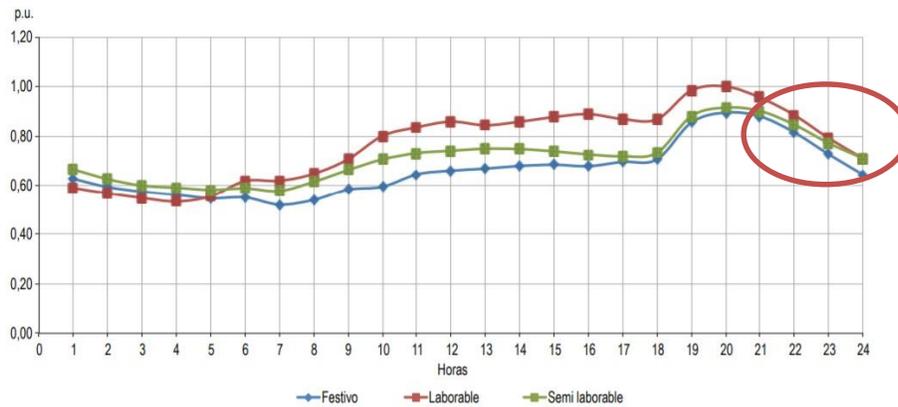


Figura 12 Curva de demanda diaria nacional.

(CONELEC, Guerrero, & Rodriguez, PLAN MAESTRO DE ELECTRIFICACION, 2018).

El consumo de las tres curvas se logra observar que tienen un parecido y su pico de consumo empieza desde las 19:00 hasta las 22:00. En la figura 13 se observa en consumo residencial, comercial e industrial por parte de la empresa eléctrica CENTROSUR C.A.

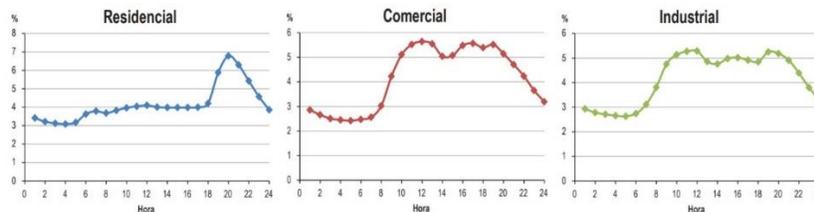


Figura 13 Demanda residencial Centro Sur.

(CONELEC, Guerrero, & Rodriguez, PLAN MAESTRO DE ELECTRIFICACION, 2018).

## 1.4.2 Curva panel solar

### Curva de carga

Todas las celdas fotovoltaicas al momento de generar corriente solamente lo hace corriente continua y su curva I-V, genera intensidad de corriente para un gran rango de voltajes. Cuando llega a cierto valor su corriente empieza a disminuir a cero (figura 14).

La máxima corriente que puede producir un panel fotovoltaico es la corriente de cortocircuito ( $I_{sc}$ ), esto sucede cuando el voltaje en los terminales es cero. El máximo voltaje que llega un panel es conocido como Voltaje de circuito abierto ( $V_{oc}$ ).

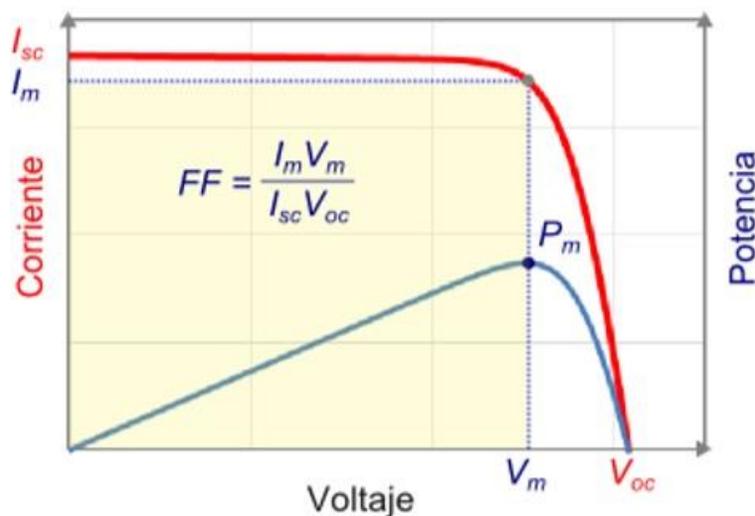


Figura 14 Curva Característica de un panel FV.

(Millaray, 2016).

La curva característica fotovoltaica corriente-voltaje existe un punto conocido como punto máximo de potencia (*MPP conocido por sus siglas en ingles*), en la cual se logra obtener la máxima potencia posible, sus coordenadas están designadas como ( $I_m$ ) y ( $V_m$ ), de tal amnera  $P_{mpp} = I_m V_m$ . En este punto es en donde se genera la máxima eficiencia de un panel, de esta manera se sugiere trabajar en este punto dado; generando la mayor cantidad de energía en cada

instante. El factor de forma típico oscila entre 0,7 y 0,85 cuyos valores se obtienen de la siguiente formula:

$$FF = \frac{P_{mpp}}{I_{sc} \cdot V_{oc}} = \frac{I_m \cdot V_m}{I_{sc} \cdot V_{oc}} \quad (1)$$

### 1.4.3 Comparación de curva característica de panel solar y residencial

Las curvas de generación fotovoltaica es pronunciada desde las 7h00 hasta las 18h00 aproximadamente con el mayor pico que es al medio día, la curva de demanda residencial tiene un pico máximo entre las 19h00 hasta las 22h00, la ocurrencia de demanda no coinciden en sus picos máximos a lo largo del día como se puede observar en la figura 15, por lo tanto existen excedentes de energía que se inyectan a la red.

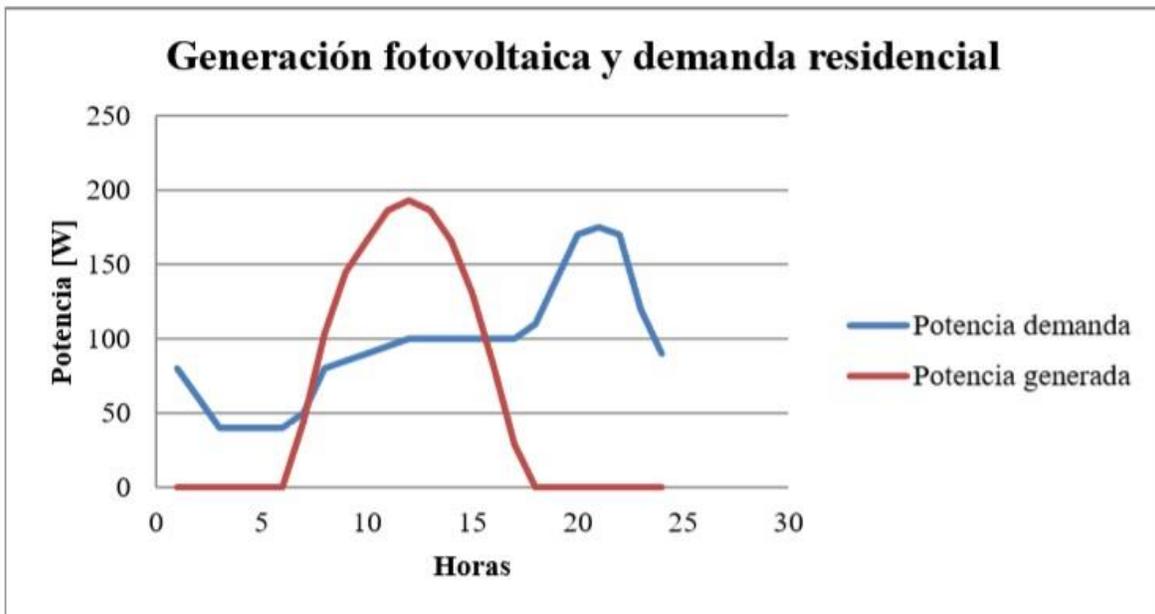


Figura 15 Curvas de generación fv y curva residencial.  
(Millaray, 2016).

En la figura 16 se puede observar el área de cada curva con sus diferencias de potencia generada a lo largo del día tomando en cuenta que  $E_{A1}$  es la energía generada inyectada a la red y  $E_{A2}$  es la energía que el usuario no consumirá de la red de distribución.

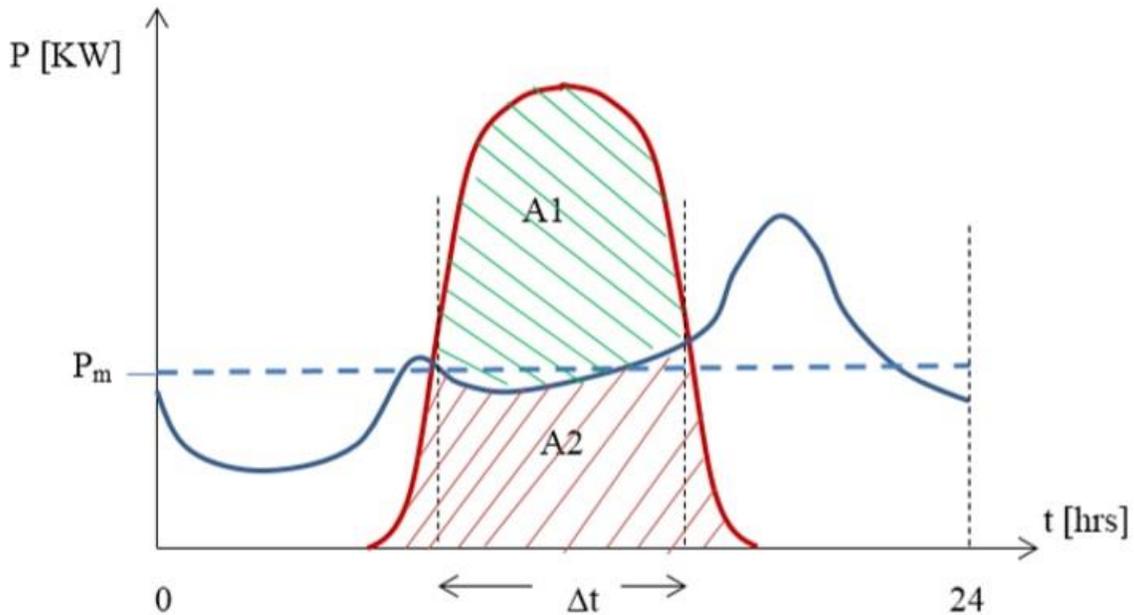


Figura 16 Curvas de generación fotovoltaica  $E_{A1}$ , curva de demanda no consumida por la distribuidora  $E_{A2}$ .  
(Millaray, 2016).

#### 1.4.4 Factor de potencia

El factor de potencia es el indicador que determina el aprovechamiento de la energía eléctrica, este factor de potencia puede tener un valor entre 0 y 1. En la empresa eléctrica CENTROSUR C.A., el factor de potencia utilizado es de 0.95, factor considerado por la mayoría de empresas distribuidoras de energía eléctrica, el 95% de la energía es utilizada por los clientes y el 5% restante es desaprovechado. En cocinas a inducción y duchas eléctricas el factor de potencia es considerado 1.

Potencia activa (P), o más conocida como potencia real, puede ser transformada solamente en potencia mecánica o potencia calorífica. La potencia

activa o real es la energía que consume los aparatos eléctricos en el hogar, su unidad de medida es el vatio (Wildi), su fórmula es la siguiente:

$$P = V * I * \cos\varphi \quad (2)$$

Donde:

P= Potencia activa (W)

V=Voltaje (v)

I=Corriente (A)

$\varphi$  = Angulo de desfase entre el voltaje y la corriente

Es la potencia útil o efectiva que al momento de su transformación de la energía eléctrica es aprovechada como trabajo.

$$P = V.I.\cos\theta \quad (3)$$

De donde:

P= potencia de consumo eléctrico, expresada en watt (W)

I= Intensidad, ampere (A)

$\cos\theta$ = valor del factor de potencia o coeficiente de "fi"

Potencia reactiva (Q) es la potencia generada en los campos magnéticos de un motor o balastos, necesaria para el funcionamiento de los equipos a inducción sin el consumo de una potencia activa.

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} \quad (4)$$

De donde:

Q= valor de carga reactiva (VAR)

S= valor de potencia aparente(VA)

P= Valor de potencia activa ( $W$ )

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (5)$$

De donde

S=potencia aparente

P= Valor de potencia activa ( $W$ )

Q= valor de carga reactiva ( $VAR$ )

#### 1.4.5 Triangulo de potencia

El triángulo de potencia es la representación del valor del ángulo  $\cos \theta$ , que se forma al representar gráficamente la potencia activa y la potencia aparente como se muestra la figura 17.

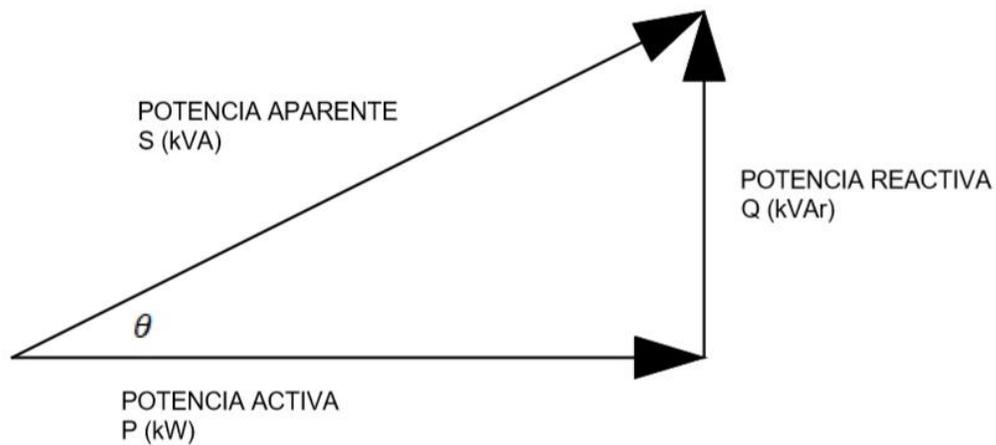


Figura 17. Triangulo de potencias.

(AUTOR, 2018)

## El ángulo $\theta$

El ángulo de inclinación del triángulo de potencia nos indica las señales de voltaje y de corriente que están en fase, esto depende del tipo de carga de esta manera se puede decir que el factor de potencia ( $F.P = \cos \theta$ ) puede ser:

- Igual a 1 (carga resistiva), en fase el voltaje y la corriente.
- Retrasado (carga inductiva), la corriente se retrasa con respecto al voltaje.
- Adelantado (carga capacitiva), la corriente se adelanta con respecto al voltaje.

### 1.5 RT-Lab

RT-lab es un software para la simulación en tiempo real se muestra la página de inicio en la figura 18, permite la conexión hacia el target (Simulador OPAL-RT) que tiene una conexión TCL/IP. Se utiliza una dirección IP (200.9.176.234), el software trabaja conjunto con Matlab, realizando un diseño en Simulink pudiendo simular una red eléctrica en la cual se puede subir en el simulador. (OPAL RT, 2015).



Figura 18 Plataforma de tiempo real RT-LAB.

(OPAL RT, 2015).

#### 1.5.1 Configuración del servidor OPC UA

El código de configuración del servidor OPC UA, representa la configuración por defecto del servidor OPC UA que se encuentra en el software OPAL-RT, en dicho

código se muestra los tres tiempos insertados en el arreglo "IntervalrArr" que hace referencia a diferentes tiempos de muestreo que son predefinidos que se puede implementar. El tiempo mínimo que se puede definir en milisegundos mediante 'minIntervalMs' que debe ser menor o igual que al primer valor definido en la matriz 'IntervalrArr'. El intervalo máximo en milisegundos se define por 'maxIntervalMs' y debe ser mayor o igual que el último valor definido en la matriz 'IntervalrArr', la tasa cíclica de tiempo es consultado por OPC UA que está definido por 'cyclicRateMs'. (OPAL RT, 2015).

## CAPITULO 2. SELECCIÓN DE LA RED CARACTERISTICA

### 2.1 Microgrid

Una microgrid o pequeña red eléctrica puede ser definida como un conjunto de elementos eléctricos de niveles bajos de voltajes en generación, de almacenamiento y de carga. La cual puede operar de forma aislada o conectada a la red, el objetivo principal es ayudar a suplir cargas en lugares estratégicos. En lo que corresponde a la generación esta puede ser de diferente manera ya sea por micro turbina, aerogeneradores y como es en nuestro caso es con paneles fotovoltaico. Cabe recalcar que una microgrid puede contener efectos no deseados tales como la calidad de energía, dificultad de operación y problemas con seguridad de los equipos. (Oscar Núñez Mata, 2013).

### 2.2 Sistema Fotovoltaico

Un sistema fotovoltaico está formado generalmente por modulo(s) fotovoltaico(s), regulador, inversor, carga. Los demás elementos ya dependerán de tipo de sistema a ser instalado ya sea aislado o conectado a la red.

La tecnología solar fotovoltaica reside en la transformación de la radiación que recibe desde el sol en electricidad de corriente continua (CD). Una de las características principales de la generación fotovoltaica que diferencia a las otras fuentes renovables es la producción de energía eléctrica directamente proporcional a la irradiación solar, esto quiere decir que la generación de eléctrica en las noches sera nula por ellos para los sistemas aislados comúnmente se instala baterías como almacenamiento de energía.

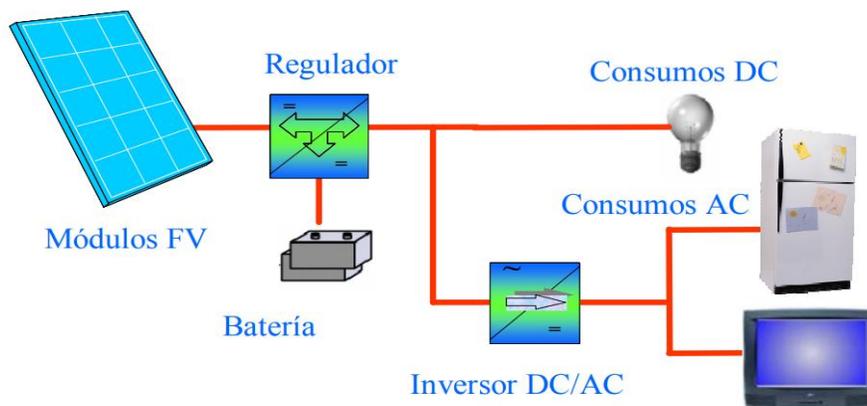


Figura 19 Estructura básica de un Sistema fotovoltaico aislado.

(Oscar Núñez Mata, 2013).

### **2.2.1 Paneles fotovoltaicos**

Los paneles fotovoltaicos son los encargados de la conversión de la irradiación solar en energía eléctrica, para el abastecimiento de la carga será necesario la suma de varios paneles fotovoltaicos, por ello abra datos de revisión tales como tipo, potencia y características. En este caso se describirá los tipos, los cuales se dividen en dos grupos: los mono cristalinos y poli cristalinos.

#### **2.2.1.1 Paneles mono cristalinos**

Las celdas monocristilinas son fabricadas con bloques de silicio de forma cilíndrica para optimizar el rendimiento y los costos de cada celda solar. La forma de diferenciar con el poli cristalino es la forma de las celdas ya que el poli cristalino tiene celdas rectangulares. (Energías Renovables, 2016).

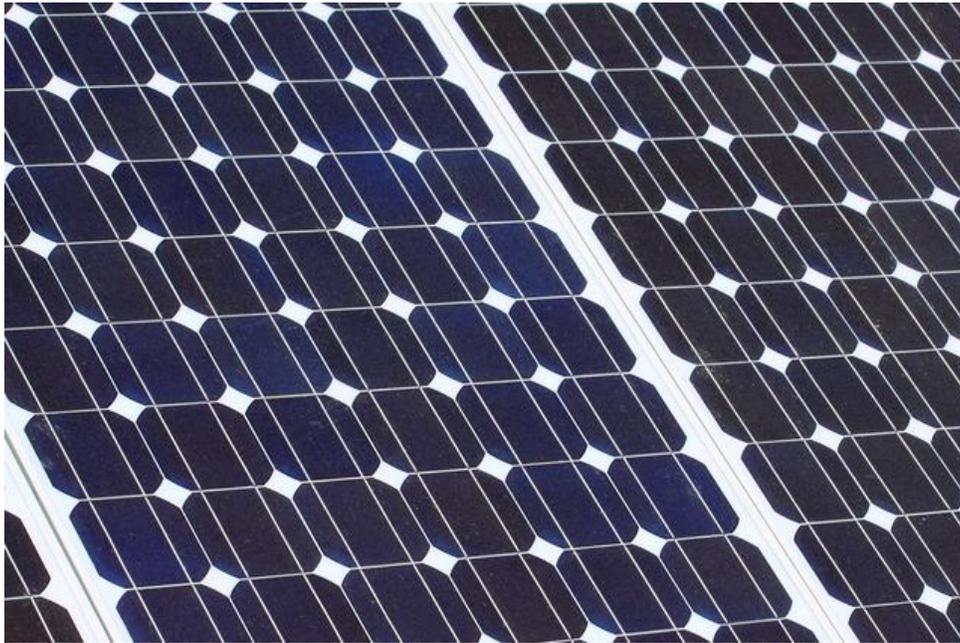


Figura 20 Panel solar fotovoltaico mono cristalino.

(Enriquez Harper, El ABC de las energías renovables en los sistemas eléctricos, 2013).

#### **2.2.1.2 Paneles poli cristalinos**

Los paneles poli cristalinos son los primeros en llegar al mercado por ello los mono cristalinos son una versión mejorada. Estos paneles no pueden trabajar a altas temperaturas ya que las pérdidas se incrementan y reduce la vida del panel, su

eficiencia esta por los 13-16%, debido a que no tienen un silicio tan puro como los monocristalinos. (Energías Renovables, 2016).



Figura 21 Panel solar fotovoltaico poli cristalino laboratorio UCACUE.

*(AUTOR, 2018)*

### **2.2.2 Convertidor DC-DC**

Los convertidores DC-DC controlan la carga y la descarga de energía eléctrica en sus elementos, su principio de funcionamiento es el almacenamiento y transferencia de energía en ciclos de conmutación, existen tres tipos de configuraciones básicas las cuales son: convertidor Buck (reductor), convertidor Boost (elevador). Además se puede encontrar una variedad de tipos los cuales se pueden dividir en interruptores conmutadores, sistemas unidireccionales, y sistemas reversibles. Se utiliza el tipo dependiendo de las características de la aplicación que sea requerida. (Ortega, 2014).

### **2.2.3 Convertidor DC-AC**

El convertidor DC-AC, o más conocido como inversor, es el encargado de convertir el voltaje de corriente continua en un voltaje de corriente alterna, con una frecuencia dependiendo del país a utilizarse. El inversor se utiliza en una infinidad

de aplicaciones, pero en este caso dicho inversor es utilizado para la conversión de energía de los paneles solares en CD a AC.

Para que sea una onda senoidal el funcionamiento de un inversor consta en el switcheo a través de unos transistores, los cuales descomponen el segmento lineal de la corriente continua convirtiéndola en onda cuadrada, la cual alimenta un transformador elevador, llegando a un nivel de 120 o 240 V dependiendo el caso y este suaviza la forma de la onda. En todo este proceso existe muchos conflictos debido al switcheo se crea problemas de calidad de energía, por ello lo indispensable es colocar filtros a la entrada y a la salida del inversor. (Roca, 2014).

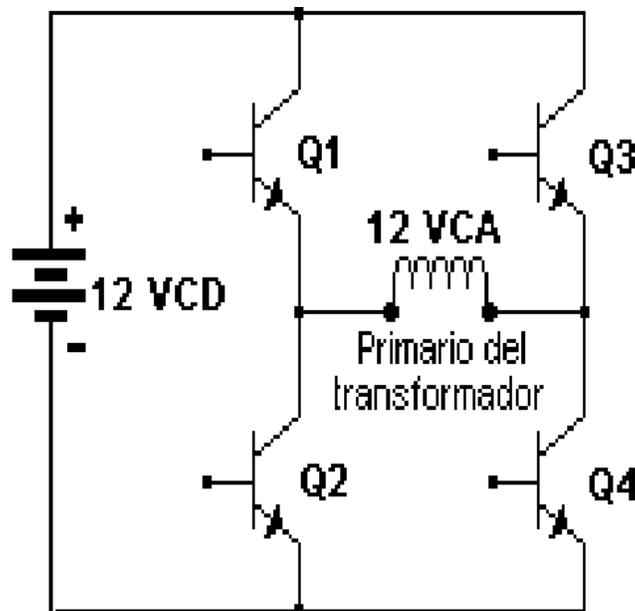


Figura 22 Diagrama de convertidor CD-CA.

(Roca, 2014).

#### 2.2.4 Lazo de seguimiento de fase (PLL)

Un lazo de seguimiento de fase es un sistema en lazo cerrado, el cual está compuesto por tres elementos operacionales, en el primer punto realiza la comparación la diferencia de fases entre referencia y señal generada. Este transcurso genera distorsiones de alta frecuencia en señal de error, por lo que es necesario aplicar un filtro. Después se genera una señal de la misma frecuencia que

la señal de referencia VCO (Voltaje-Controlled Oscillator), se llega al estado estacionario y al enganche de fase, cuando la señal de error se hace cero.

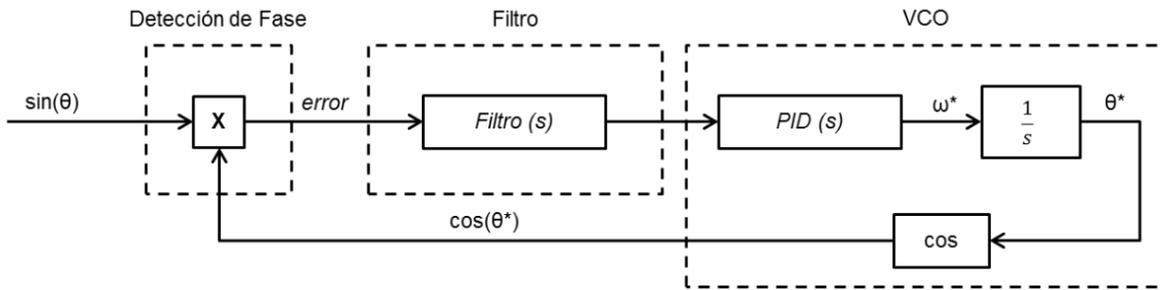


Figura 23 Diagrama de bloques de un PLL en tiempo continuo.

(Borrell, 2017).

Generalmente la señal de referencia es una señal sinusoidal, donde el detector de fase se puede modelar con una multiplicación mediante las propiedades trigonométricas de la multiplicación de senos y cosenos. (Borrell, 2017)

El objetivo de esta simulación es que el panel solar en ciertos tiempos esté conectado a la red, por lo que es necesario que el control para la inyección de corriente se tenga una sincronización de fase.

La simulación de la red esta implementada en base a una red física implementada, por lo tanto los niveles de voltaje serán variables a los reales, del mismo modo no se tendrá una fase constante, por tal motivo se debe realizar un sistema que enganche la fase para así entrar en sincronismo con la red. (CHRISTIAN FABIÁN PARRA PACHECO, 2016).

### 2.3 Transferencia de energía

Cuando una corriente eléctrica circula a través de un circuito se puede transferir energía al ocurrir un trabajo termodinámico o estático. La potencia eléctrica [Watt] nos indica cuanto trabajo se puede realizar en un tiempo determinado, su ecuación es la siguiente:

$$P = \frac{W}{t} \quad (6)$$

Donde:

P=Potencia

W=Trabajo (Joule)

T=Tiempo(s)

La energía eléctrica es el consumo de una cantidad de potencia eléctrica en un tiempo determinado su unidad más común son los Kilovatios hora [kW/h]. (CHRISTIAN FABIÁN PARRA PACHECO, 2016).

### 2.3.1 Factor de Potencia

El factor de potencia se lo define como el ángulo conformado entre la potencia activa y aparente, generalmente dicho factor es el termino para describir cuanta cantidad de energía se ha convertido en trabajo, cuando este llega a la unidad indica que el 100% de la energía consumida ha sido convertida en trabajo de lo contrario un factor de potencia menor a 1 hará que exista un mayor consumo de energía. (Llumiquinga, 2013), su ecuación es la siguiente:

$$FP = \frac{P}{|S|} \quad (7)$$

Donde:

FP=Factor de potencia

P=Potencia Activa (W)

S=Potencia Aparente (VA)

### 2.4 Simulación en tiempo real

La simulación en tiempo real es una gran ventaja en la actualidad, ya que puede realizar un modelo eléctrico para resolver problemas en un tiempo menor. (J. Bélanger, 2015).

Es necesario establecer un tiempo determinado para la simulación en tiempo real, en este tiempo de ejecución se desplaza intervalos de igual duración, en cada tiempo lee entradas y genera salidas, resolviendo las ecuaciones del sistema, intercambiando resultados en nodos del sistema; esperando por el inicio del nuevo paso de tiempo de la simulación.

El tiempo que se necesita para procesar todas las ecuaciones que representan un sistema puede ser mayor o menor que el paso de simulación, la figura 24 y 25 muestra las posibilidades en la cual puede acelerar o disminuir el tiempo de simulación.

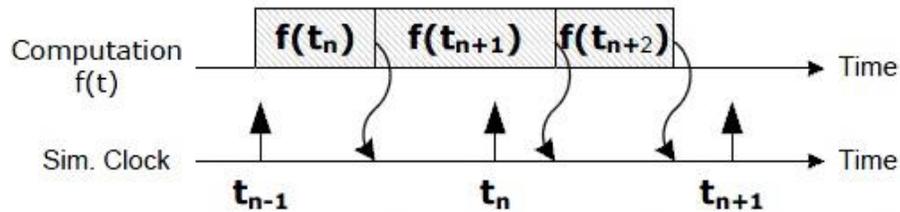


Figura 24 Tipos de Simulación en tiempo Real, se muestra el cálculo corto de un tiempo fijo denominado simulación acelerada.

(CHRISTIAN FABIÁN PARRA PACHECO, 2016).

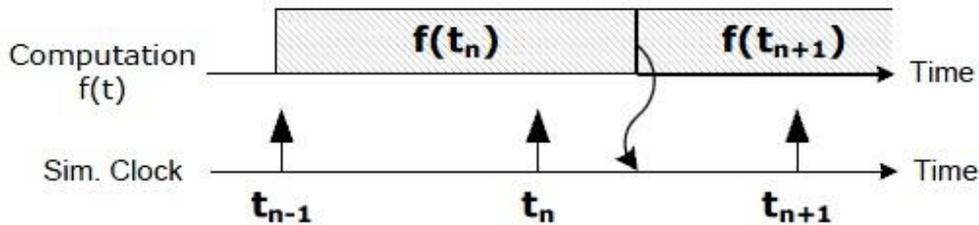
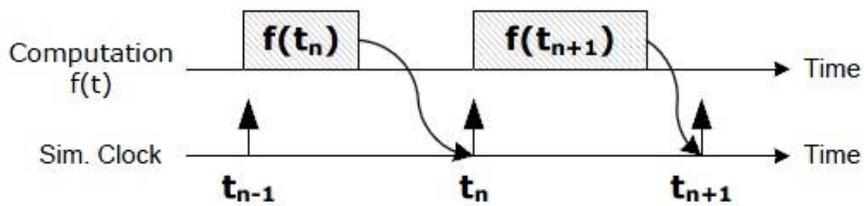


Figura 25. Se muestra el tiempo de simulación más largo que son denominadas simulación fuera de línea.

(CHRISTIAN FABIÁN PARRA PACHECO, 2016).



(c) Simulación en tiempo real sincronizado

Figura 26. Muestra el principio cronológico de la simulación de tiempo real.

(CHRISTIAN FABIÁN PARRA PACHECO, 2016).

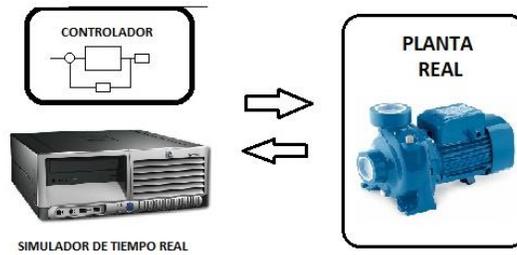
Cuando se realiza una simulación fuera de línea se espera obtener los resultados lo más rápido posible, la velocidad de los resultados depende del cálculo posible y el sistema de complejidad del modelo matemático.

La figura 26, muestra el principio cronológico de la simulación de tiempo real, la simulación de tiempo real debe producir con precisión las variables internas y los resultados de la simulación en el mismo periodo de tiempo.

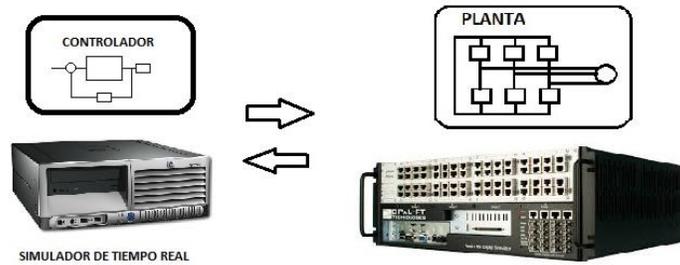
En la figura 27 se observa tres formas de simulación en tiempo real en aplicaciones RCP (RCP, Prototipo de Control Rápido), su controlador esta implementado usando un simulador que está conectado a una planta física.

En la figura 27 (b, se observa una aplicación HIL (HIL, Hardware en el Lazo), un controlador físico que va a estar conectado al programa virtual ejecutada en un simulador en vez de una planta física. Cuando se realiza la implementación de un controlador RCP es conectado a la planta virtual, el HIL permite realizar experimentos examinados cuando el tipo físico no puede ser expuesto a evaluaciones.

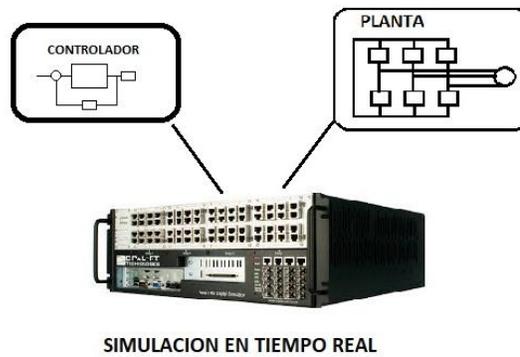
Para aplicaciones SIL (SIL, Software en el Lazo), en la figura 27 (c, es la combinación de RCP y HIL, el controlador como la planta pueden ser simulados en tiempo real, tiene la ventaja sabré el RCP y HIL que no es necesario utilizar entradas y salidas.



a) RCP CON PLANTA FISICA



b) HIL SIL



c) SIMILACION COMPLETAMENTE DIGITAL

Figura 27. Simuladores de tiempo real.

(AUTOR, 2018)

## 2.5 Sistemas SCADA en Microgrid

Todo sistema eléctrico conlleva la medición mediante un sistema SCADA, en lo que corresponde a nuestra Microgrid es necesario la implementación de un sistema SCADA, para la adquisición de datos por ello es necesario la utilización de medidores inteligentes que permitan la interacción de datos en tiempo real.

## **2.6 Protocolos de comunicación en Microgrid**

Los protocolos DLMS/COSEM, son protocolos de alto nivel, este echo permite el uso de otros protocolos que permite el refuerzo de capas inferiores en donde hay el envío de datos, al utilizar protocolos en niveles inferiores pueden como no tener activadas sus funciones de seguridad, que permite tener protegido la información entre el servidor y el usuario. (CERTSI, 2017).

Es conveniente utilizar el perfil High Level Security que es el sistema más alto de seguridad, para obtener mayor seguridad se recomienda la utilización de certificados digitales. (CERTSI, 2017).

## **2.7 OPC UA**

La arquitectura unificada OPC UA es un protocolo de comunicación autónomo del proveedor, está basado en el principio usuario-servidor mediante TCP/IP, sobre Ethernet y brinda comunicación permanente desde los sensores hasta la nube además integra todas las especificaciones de un OPC clásico. Para conectar con el servidor el OPC UA usuario se debe conocer únicamente la dirección IP de; target y el puerto TCP. (Lange).

## **2.8 Análisis Estadístico**

### **Proyectos con energía solar fotovoltaica en el Ecuador**

Existen parques eólicos fotovoltaicos que se encuentran conectados a la red, estos parques eólicos son liderados por el ministerio de electricidad y energía renovable – MEER, en el territorio Ecuatoriano y en Galápagos.

El estado ecuatoriano firmo contratos para la implementación de 15 proyectos fotovoltaicos entre los años 2012 y 2013. Las decisiones fueron tomadas según las regulaciones 004/11 y 009/08 de la CONELEC, para precios especiales y su despacho preferente. Fueron presentados 17 proyectos por un contenido instalado de 284MW, con esto fue llenado el cupo de incentivos del CONELEC.

De esta potencia 200MW se entregarían a empresas con siete proyectos; que tenga una capacidad mayor a 20MW, el resto va dirigida a firmas con iniciativas de pequeña generación, todos los proyectos representa una inversión aproximada de 700 millones de dólares hasta el 2015. (Pelaez Samaniego & Espinosa Abab, 2015).

Para finales del año 2014 se encuentran instalados 25MW de 284 MW de potencia solar fotovoltaica en el Ecuador, dicha potencia está cubierta por 23 proyectos de 1MW y uno de 2MW, estos proyectos están ubicados en las provincias de Loja, El Oro e Imbabura.

La empresa eléctrica CENTROSUR lleva a cabo un proyecto llamado YANTSA ii ETSARI (Luz de nuestro Sol), está constituido de sistemas fotovoltaicos domésticos (SFD), los cuales constan con una potencia de 150 W para cada vivienda. La ubicación de estos sistemas se encuentra en Morona Santiago en los cantones Morona, Logroño y Taisha, en la tabla 1 se puede observar los proyectos residenciales y su ubicación.

Tabla 1. Clientes residenciales Fotovoltaicos (RF) Activos, instalados por CENTROSUR.

PROVINCIA	CANTON	PARROQUIA	NUMERO SFD
<b>MORONA SANTIAGO</b>	MORONA	CUCHAENTZA	27
		SEVILLA	337
	LOGROÑO	YAUPI	201
	TAISHA	TAISHA	411
		HUASAGA	182
		MACUMA	540
		PUMPÚENTSA	303
		TUUTINENTSA	883
		TOTAL	2884

(Pelaez Samaniego & Espinosa Abab, 2015).

## CAPITULO 3. SIMULACION EN TIEMPO REAL

### 3.1 Descripción del modelo

La simulación a realizarse de una red de distribución existente con datos proporcionados en el sistema Geo portal Centro Sur, constara de clientes, líneas de distribución, contadores eléctricos y un transformador de distribución. Se Selecciona un transformador de la Empresa Eléctrica Centro Sur para el análisis, en dicha red de bajo voltaje se inyecta un sistema fotovoltaico, que va a estar conectado a una carga (usuario), de este modo ayudara de cierta forma a reducir la demanda del transformador.

### 3.2 Dimensionamiento de la micro red

El elemento principal de la simulación es el transformador por ello la selección se la realizo mediante el software ARCGIS en la tabla de atributos, proseguimos a contabilizar todos los transformadores de la Empresa Eléctrica Centro Sur dándonos como resultado 18707, de distinta potencia, tal como se muestra en la figura 28 se observa varios transformadores ubicados en diferentes lugares.

Voltage	Potencia (kva)	Configuración BT	No Transf.	Parroquia	Propiedad	GLOBALID	ESTRUCTURASOPORTE
12.7 kV	15	<Inub>	26416	SAN GERARDO	PARTICULAR	(C8781238-9024-4380-2828-71685C281A5)	(0480A188-341F-4099-8062-81E)
12.7 kV	15	<Inub>	26458	SANTA ISABEL (CHAGUARURCO), CABECERA CANTONAL	PARTICULAR	(C17ABAB3-5D4C-41EF-ABE3-1FE476511FF9)	(3E7CF95F-EC4F-4C2B-88E8-BA)
12.7 kV	15	<Inub>	26450	SANTA ISABEL (CHAGUARURCO), CABECERA CANTONAL	PARTICULAR	(8206C7DF-4904-4D64-870C-907680ED936)	(83A17F68-DAT4-480A-39E7-4F)
12.7 kV	15	<Inub>	21688	SANTA ANA	ERCS	(899E47CF-256E-4FC6-AD8A-4748E8A3027)	<Nub>
12.7 kV	15	<Inub>	21709	SANTA ANA	ERCS	(52965046-5E9C-4C48-9C85-10DF9250914)	(F9C9F482-0688-476B-8812-A7)
12.7 kV	15	<Inub>	26402	NULTI	PARTICULAR	(8378E378-6007-46A1-8B11-FAF0B1888A73)	(FC6A238E-0666-480B-A3A6-64)
12.7 kV	15	<Inub>	26424	ADUNCIÓN	PARTICULAR	(414F8206-9D0C-480C-AC2E-862A23EED0F)	(53D0D6A-8E14-11E1-932B-000)
12.7 kV	15	Estrella	21681	SAN JOAQUÍN	ERCS	(81EE3669-F86A-4970-882C-7F404F8108)	(041810A5-7965-4028-82C3-3A5)
12.7 kV	15	Estrella	21664	SAN JOAQUÍN	ERCS	(101F859A-8C4D-4812-AB77-A2EDF429486)	(9C4972E8-FC08-436C-8016-611)
12.7 kV	15	Estrella	21385	SAN JOAQUÍN	ERCS	(3C971007-F688-411C-5C06-C95098B100C)	(87A20478-F42D-4F76-838C-001)
12.7 kV	15	<Inub>	11115	TASHA, CABECERA CANTONAL	ERCS	(8A02D15A-4607-4870-8E12-431442E11F1F)	(115C0E14-8F44-4F62-A527-88E)
12.7 kV	15	<Inub>	21358	TASHA, CABECERA CANTONAL	ERCS	(80208A62-38C8-49F2-330D-CA15908986F)	(8C0A881F-D814-468D-803D-F8)
12.7 kV	15	<Inub>	21298	TASHA, CABECERA CANTONAL	ERCS	(C8188866-ED6A-4C10-8E11-43A2C5CE7F2)	(F38E880D-D3E8-450C-8FFC-6A1)
7.96 kV	15	<Inub>	23244	SUCÚA, CABECERA CANTONAL	PARTICULAR	(28A83991-A062-4829-8E12-8E0FC03044)	(4E44F958-8A48-4395-8848-A6E)
7.96 kV	15	<Inub>	23245	SUCÚA, CABECERA CANTONAL	PARTICULAR	(1FC88AC4-4448-4707-4107-65FF1F8B114)	(80D508DC-603A-4A2B-B91E-6E)
7.96 kV	15	<Inub>	23246	SUCÚA, CABECERA CANTONAL	PARTICULAR	(CEA442DF-DAD7-44E4-8576-12E3CAF82E3)	(AE692F4-8FFD-4A28-8E8B-F1)
7.96 kV	15	<Inub>	23261	SUCÚA, CABECERA CANTONAL	ERCS	(818D4C48-2058-4E0C-8188-1C734181C8F)	(A72C0952-8832-4098-AB9C-EE)
12.7 kV	15	Estrella	21339	QUACAPALLA, CABECERA CANTONAL	ERCS	(8F919868-8D53-4388-A1C3-BE113830C8F)	(CE5FF3C5-69FA-400C-8E93-328)
12.7 kV	15	<Inub>	21673	TURI	ERCS	(1AEDCAA6-2603-4537-ADFA-84F9083081C)	(8540618B-FC84-476A-B07A-FD)
12.7 kV	15	<Inub>	21695	TURI	ERCS	(8144FD00-780C-4F84-B556-499C41A79488)	(10840622-785A-4C28-B0C7-AF)
12.7 kV	15	<Inub>	20955	TURI	ERCS	(4C72D9F3-892C-4286-808D-CA420503900)	(8138746F-4E7E-44F0-9F6A-C2E)
12.7 kV	15	<Inub>	21334	TURI	ERCS	(8AC9D8C3-73F3-482E-8F8D-CE9DF3F83A)	(79A432BA-44A8-4482-88F1-81)
7.96 kV	15	<Inub>	12250	SAN JACINTO DE WAKAMBE	ERCS	(7C0E0F CA-61F2-497E-888F-80E8588F C7E)	(87888038-C088-4681-AE3E-99)
7.96 kV	15	<Inub>	12280	SAN JACINTO DE WAKAMBE	ERCS	(88F47095-506E-4F84-A2F7448A4A3E8C4F)	(C885F10-BAED-41C1-895D-C6)
12.7 kV	15	<Inub>	26434	LAS NEUVES (CHAYA)	PARTICULAR	(858A8E7F-5198-48FD-DA10-0803978A4DE7)	(883C3A36-6232-4834-05A3-732)
12.7 kV	15	<Inub>	29950	SECAY	ERCS	(39E9FD47-5512-493E-9375-1E42C582E07)	(53880004-8E14-11E1-932B-000)
12.7 kV	15	<Inub>	25941	SECAY	ERCS	(5029F501-4468-43E8-8E8E-802083944E24)	(70181F0C-F520-4A48-4253-3A8)
12.7 kV	15	<Inub>	26947	SECAY	ERCS	(171A8CA7-3488-42DB-A856-841F8C8DF00)	(54E1286C-8E14-11E1-932B-000)
12.7 kV	15	<Inub>	26209	CHORRELEO, CABECERA CANTONAL	ERCS	(8E115308-F888-42FD-9E33-5858CAE17138)	(9C5688A2-44E1-4878-8D48-521)
12.7 kV	15	<Inub>	26497	SEGIS, CABECERA CANTONAL	ERCS	(9F486978-801E-4C05-8A8E-804C8391426D)	(8C0F802A-8E14-11E1-932B-000)
12.7 kV	15	Línea Monofásica	18621	SAVAUSÍ	ERCS	(85888A2E-1E14-4888-8EAD-1C738A8286C)	(C02F13CC-8E14-11E1-932B-000)
12.7 kV	15	Línea Monofásica	18483	SAVAUSÍ	ERCS	(E58ED8A5-2248-4C58-47E2-0F4884E75430)	<Nub>
12.7 kV	15	Línea Monofásica	18450	SAVAUSÍ	ERCS	(81430466-19C8-4F13-A70B-29C05900317)	<Nub>
12.7 kV	15	Línea Monofásica	14789	SAVAUSÍ	ERCS	(0C78F7F8-F4E3-4F11-88C2-708E6869893)	(4A248A17-4C01-4896-AD1A-5D)
12.7 kV	15	<Inub>	11117	LUDO	ERCS	(478858AC-3E38-4096-8ECC-FFA1A8C0F00)	(8A1EC876-C84F-49C8-82E1-C8)
12.7 kV	15	<Inub>	27872	ABOÓN CALDERÓN (LA UNIÓN)	ERCS	(1885A7C1-7F8C-4301-4885-867E7348F578)	(E9C86866-7A34-4E38-8964-88)
12.7 kV	15	Línea Monofásica	21330	LUDO	ERCS	(8C1C53A4-254C-4E14-AB45-EC8873438672)	(A7846976-A246-4988-A972-11)

Figura 28 Número de transformadores existentes de la empresa eléctrica CENTROSUR que es igual a 18707.

(AUTOR, 2018).

Empezamos con la selección del transformador, realizando filtros con la opción de estadísticas en el programa Arcgis, por el cual se realiza un promedio de

potencia, obteniendo como transformador promedio 29.782391kVA (figura 29) de esta manera el transformador más cercano para nuestro estudio es de 30 kVA.

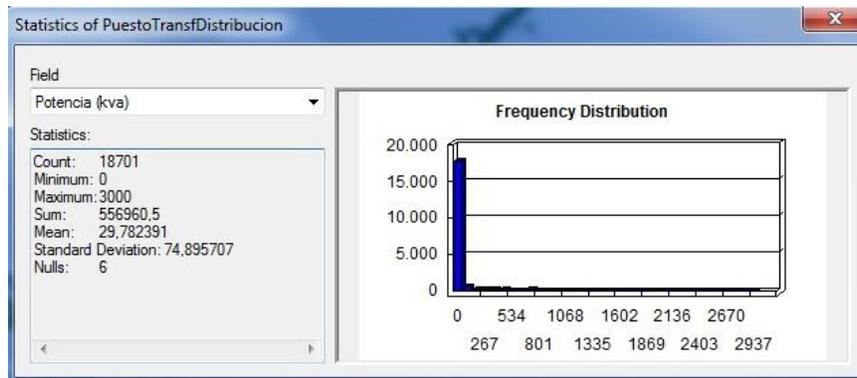


Figura 29 Estadísticas de los transformadores existentes en el Azuay por medio de la empresa eléctrica CENTOSUR.

(AUTOR, 2018).

Una vez seleccionado el promedio de potencia del transformador de 30kVA, se prosigue a la selección por atributos en la cual se selecciona los transformadores de 30kVA de potencia, dando como resultado 707 transformadores como se puede observar en la figura 30, de esta manera no todos los transformadores obtienen el mismo número de abonados, lo cual se prosigue a otra selección, según sus clientes, para obtener un transformador tipo.

Figura 30 Transformadores de 30kVA existentes en la empresa eléctrica CENTOSUR.

(AUTOR, 2018).

Se realiza la selección del transformador por número de clientes con la opción PARENTCIRCUITSOURCEGUID de tal manera que el número promedio de clientes es de 64, en 50 transformadores de tal manera excluimos a los transformadores privados y nos quedaron 24 transformadores de los cuales optamos el transformador

número 4180 que está ubicado en la parroquia Bellavista en la calle Abelardo J Andrade (figura 31).



Figura 31. Ubicación del transformador 4180.

(AUTOR, 2018).

Con la selección del transformador tipo para el acople del panel fotovoltaico, es necesario conocer cuánto es el consumo de un vivienda tipo de clase media en la ciudad de Cuenca-Ecuador.

La presente tabla de consumo eléctrico de una vivienda, considera el consumo de diferentes equipos eléctricos, pero cabe recalcar que, la realidad es semejante pero no igual ya que una vivienda no tiene los mismos equipos eléctricos que otra, por ende el consumo no es el mismo en todas las viviendas

Tabla 2. Calculo consumo eléctrico de una casa tipo en la ciudad de Cuenca, de una familia de clase media.

CONSUMO ELECTRICO						
Artefactos Eléctricos	Potencia Eléctrica		Cantidad de artefactos	Horas consumo día	Días consumo mes	Consumo mensual KWh
	Watts	KW				
<b>Aire acondicionado</b>	1200	1,2	0	0,15	15	0,00
<b>Aspiradora</b>	1000	1	1	0,5	4	2,00
<b>Batidora</b>	200	0,2	1	0,25	8	0,40

<b>Bomba de agua</b>	746	0,746	0	0,75	30	0,00
<b>Cafetera</b>	600	0,6	1	0,25	15	2,25
<b>Calefactor</b>	1000	1	0	1	20	0,00
<b>Calentador de agua</b>	3000	3	0	0,25	30	0,00
<b>Cargador de celular</b>	4,5	0,0045	4	6	30	3,24
<b>Cocina de inducción</b>	4000	4	0	0,85	30	0,00
<b>Computadora</b>	80	0,08	4	8	30	76,80
<b>Ducha eléctrica</b>	1000	1	0	0,25	8	0,00
<b>DVD</b>	25	0,025	1	4	8	0,80
<b>Equipo de sonido</b>	120	0,12	1	2	8	1,92
<b>Focos ahorradores</b>	20	0,02	18	5	30	54
<b>Focos led</b>	8	0,008	8	5	30	9,6
<b>Foco incandescente</b>	60	0,06	1	4	30	7,2
<b>Horno</b>	800	0,8	1	0,25	10	2,00
<b>Impresora</b>	17	0,17	1	0,25	15	0,06
<b>Jacuzzi</b>	550	0,55	0	1	4	0,00
<b>Lámpara fluorescente 20 W</b>	20	0,2	0	4	30	0,00

<b>Lámpara fluorescente 40 W</b>	40	0,4	0	4	15	0,00
<b>Lavadora</b>	1000	1	1	1	10	10,00
<b>Licuadaora</b>	350	0,35	1	0,2	20	1,40
<b>Microondas</b>	1500	1,5	1	0,25	12	4,50
<b>Olla arrocera</b>	800	0,8	0	0,25	12	0,00
<b>Plancha eléctrica</b>	1000	1	1	1	5	5,00
<b>Radio grabadora</b>	30	0,03	1	4	30	3,60
<b>Refrigeradora 1 puerta</b>	220	0,22	1	6	30	39,60
<b>Refrigeradora 2 puertas</b>	400	0,4	0	6	30	0,00
<b>Router ADSL/Wifi</b>	10	0,01	1	24	30	7,20
<b>Secadora de cabello</b>	900	0,9	1	0,25	20	4,50
<b>Secadora de ropa</b>	2000	2	0	0,5	5	0,00
<b>Teléfono inalámbrico (base)</b>	25	0,25	1	24	30	18,00
<b>TV de 14"</b>	80	0,08	1	4	30	9,6
<b>TV de 32" o mas</b>	150	0,15	1	4	30	18,00

<b>Ventilador</b>	130	0,13	0	1	15	0,00
<b>Waflera</b>	700	0,7	1	0,1	15	1,05
TOTAL, CONSUMO AL MES EN ( KWh )						282,72
SUBSIDIO GOBIERNO ( KW h)						0
TOTAL A FACTURAR ( KWh )						282,72
COSTO DEL KWh ( REFERENCIAL)						\$ 0,0933
PAGO DE ENERGIA						26,37

(Ñauta, 2018).

El punto que será acoplado el panel fotovoltaico será en el poste P5 debido a que es el punto más lejano al transformador y de esta manera se puede observar el impacto que tiene dicho panel en toda la red.

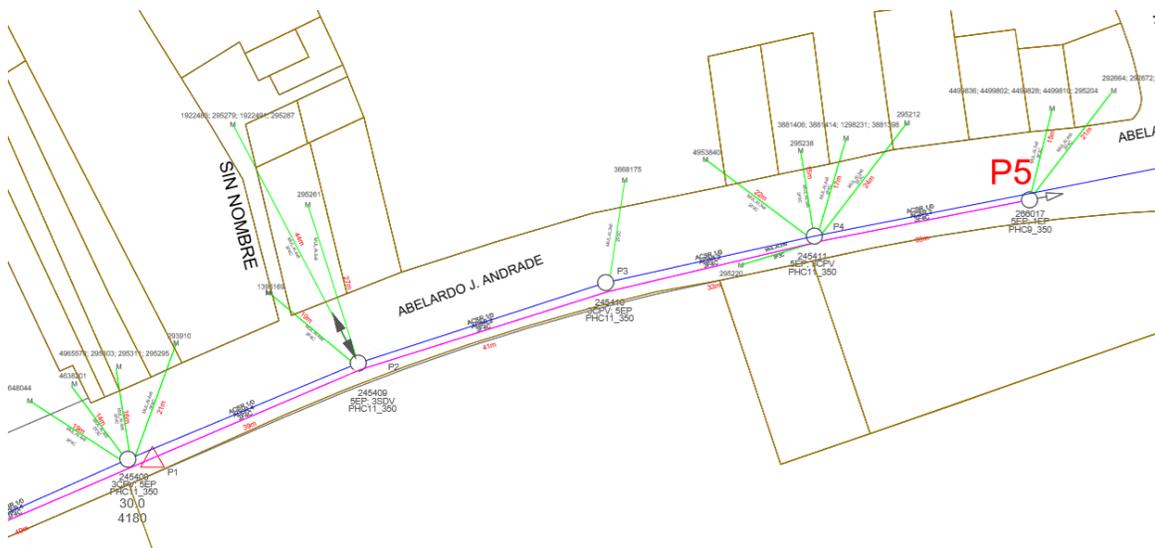


Figura 32. Red de distribución en bajo voltaje.

(AUTOR, 2018).



### 3.3.1

## Red de distribución equivalente modelada en Matlab-Simulink

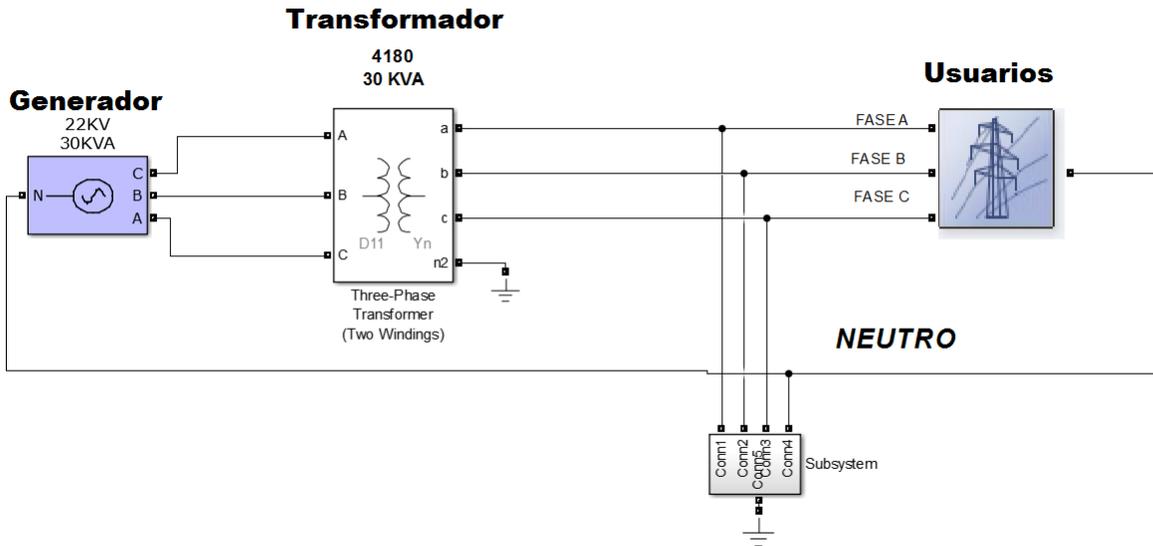


Figura 34. Red simulada en matlab simulink.

(AUTOR, 2018).

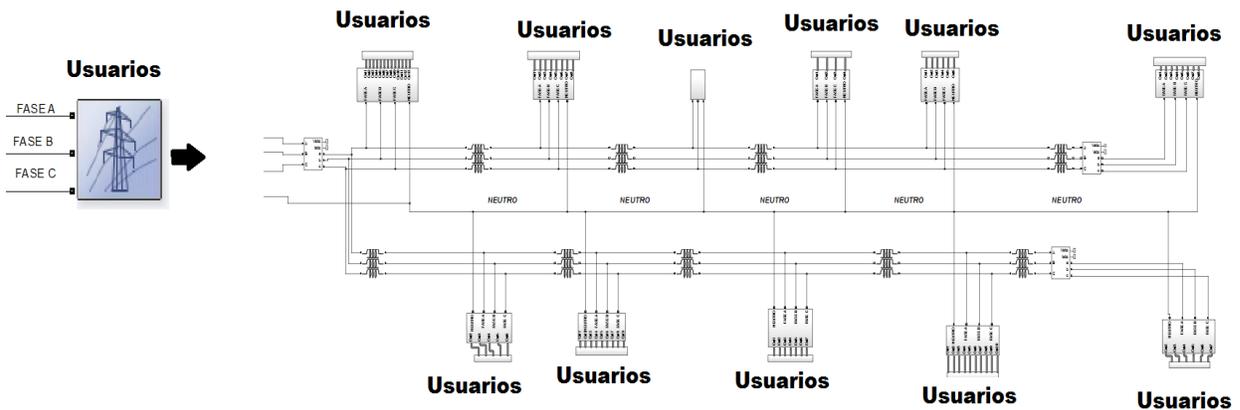


Figura 35. Red de bajo voltaje con las cargas y conductores.

(AUTOR, 2018).

A continuación serán descritos todos los elementos en simulink que conforman la red.

#### 3.3.1.1 Transformador

Como anteriormente se indicó la selección de transformador ya se conoce que la potencia del transformador, la cual es de 30 kVA trifásico y su número de

identificación es el 4180. Su conexión en el borde primario Delta y el secundario es estrella aterrada.

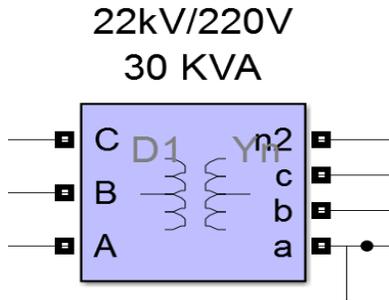


Figura 36 Transformador V. línea-línea de 22kv/220V (60Hz).  
(AUTOR, 2018).

Los parámetros insertados en el bloque de datos, perteneciente al transformador son obtenidos del Geoportal-Gis-Centro Sur.

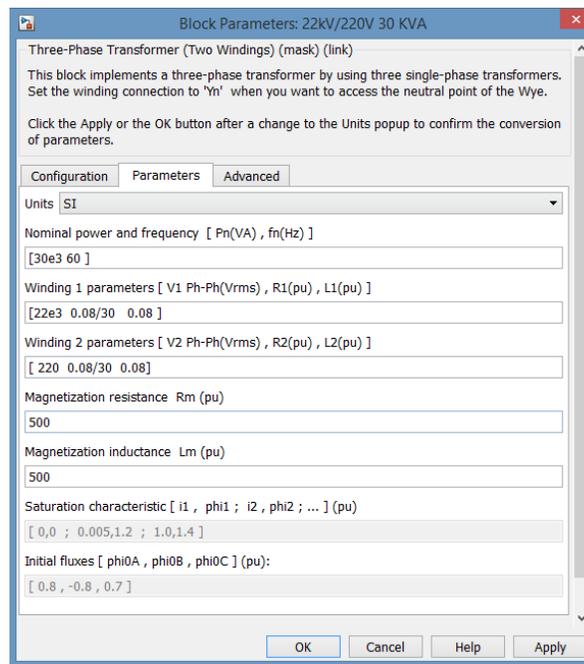


Figura 37. Parámetros del transformador Simulink.  
(AUTOR, 2018).

### 3.3.1.2 Conductores de distribución

Los conductores son muy importantes en nuestra red, ya que estos son los encargados de unir el transformador con los clientes, por ello en el simulado de la

microgrid, es necesario tener datos técnicos tales como, impedancias, reactancias y resistencias en base a la distancias entre el transformador y cada uno de los clientes.

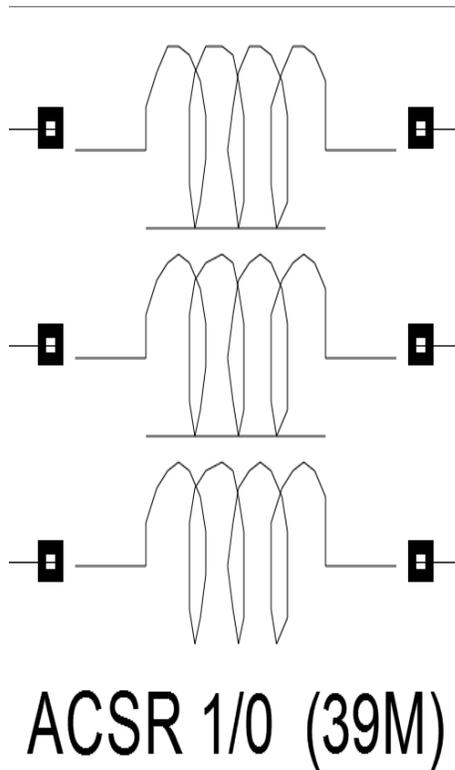


Figura 38. Líneas de distribución en el sistema.  
(AUTOR, 2018).

Para determinar las pérdidas en base al material de líneas de distribución se procede a realizar un cálculo de impedancias en el trayecto entre poste y poste de acuerdo a la siguiente formula.

$$X_L = 2\pi f \cdot L \quad (8)$$

De donde

$X_L$  = Reactancia inductiva [ $\Omega$ ]

$f$  = Frecuencia [Hz]

$L$  = Inductancia [H]

Despejamos  $L$  de la formula y así se obtiene la inductancia del conductor.

$$L = \frac{X_L}{2\pi f} \quad (9)$$

Reemplazando valores:

$$L = \frac{0.162\Omega}{2\pi \cdot 60} = 15.27H$$

Este valor obtenido dividimos para la distancia en Km, de la trayectoria de poste a poste que en este caso es de 0.039km dándonos como resultado:

$$L = 0.005615H/Km$$

En base al manual de CENTELSA de cables y tecnología, se dictamina una tabla correspondiente al número del conductor, en nuestro caso al calibre 1/0 que nos da las siguientes características:

*Resistencia=0,016653Ω*

*Reactancia inductiva = 0.162 Ω*

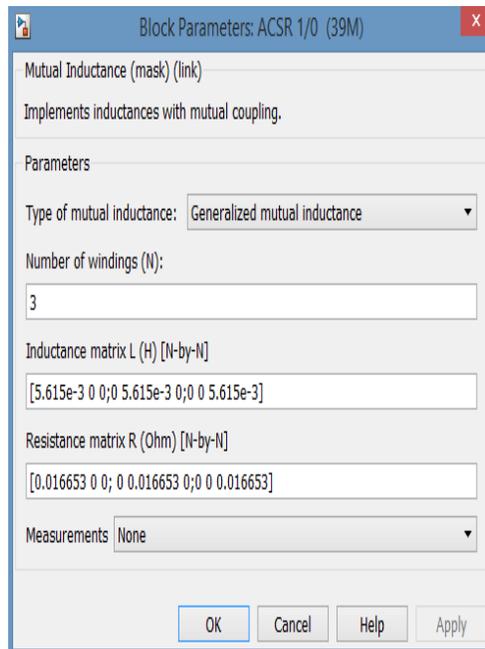


Figura 39. Parámetros del conductor del sistema.

(AUTOR, 2018).

### 3.3.1.3 Grupo de clientes

Si bien es cierto en una red de distribución de bajo voltaje existe un transformador que brinda el servicio de energía eléctrica a clientes que forman parte de la misma, dato que se toma en cuenta para la simulación, llegando a lo más parecido a la realidad como se muestra en la figura 40.

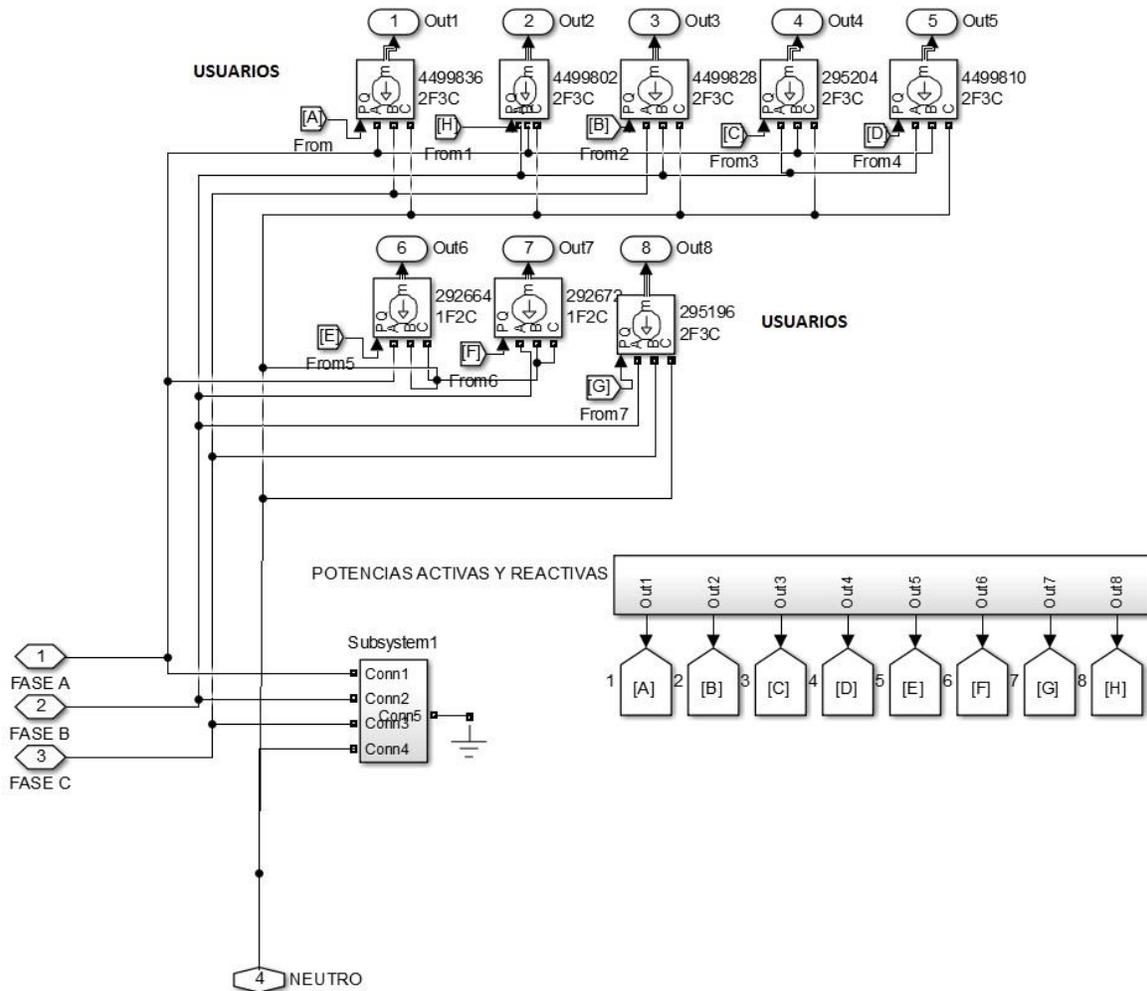


Figura 40. Grupo de clientes conectados al poste 266017.

(AUTOR, 2018).

### 3.3.2 Clientes

Los clientes equivalen a las cargas conectadas a nuestro transformador por lo tanto cada usuario tiene una curva característica de consumo, es decir todos los clientes contienen una curva de consumo parecida en forma pero no igual en valores ya que cada uno de ellos no contienen en mismo porcentaje de consumo.

Anteriormente se realizó la selección del transformador tipo, en este caso es el transformador trifásico con número 4180 de la Empresa Eléctrica Centro Sur., donde están conectados 64 clientes, los mismos que están identificados con un código de medidor, código de usuario y el nombre del propietario respectivamente como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Clientes existentes del transformador número 4180.

<u>CODIGO USUARIO</u>	<u>NOMBRE USUARIO</u>	<u>NUMERO DE MEDIDOR</u>
3026986	MARIA ROCIO LLIGUICOTA	2013211733
295345	CESAR HUMBERTO JARA	2015002954
1395169	ROLANDO PATRIC QUIZHPE	71421
295436	VICTOR MANUEL FAJARDO	2015002949
295303	ANA DE LOURDES QUEZADA	11998627
295311	MARIA EUILALIA FLORES	2015010825
295238	JULIA EVANGELINA BARROS	2014259959
293910	CLAUDIA ESPERANZA JACHERO	71247
295287	MANUEL RIVAS	1000610238
295428	LUIS HUMBERTO UCHO	10481204
1922483	NANCY GUADALUPE CARABAJO	1000505780
295295	MARIA BRAVO	2015022492
295352	WILSON ORLANDO MANCHENO	2013300746
295451	JULIA MARIA AVECILLAS	85490
1298249	MIGUEL ANGEL NARVAEZ	83962
295444	MARIA ELENA FAJARDO	6212908
292664	LEONIDAS QUIZHPE	11078961
292672	RAFAEL ARTURO AVILA	11079539
3668175	GINA LORENA PARRA	2015010827
1485382	JUAN FERNANDO PERALTA	288326
295410	SERGIO TOCACHI	2010126101
295279	TOMAS EDUARDO CARVAJO	1000514608
1298231	LUIS ALBERTO LUPERCIO	81045
3200300	CARLOS RUBEN LOJANO	1000542814
295394	MIGUEL TOCACHI	11659548

295204	MARIANA DE JESUS ZHANAY	2015017101
295196	JUAN ALEJANDRO AYAVACA	2015003176
1120724	CARLOS RUBEN LOJANO	1000542809
295212	JUAN FERNANDO ZHANAY	1502721304
1861459	MANUEL VIRGILIO MONTALEZA	201205306
295261	MARIANA DE JESUS SINCHI	2015010832
295477	JUAN HERNAN FAJARDO	2015002955
295337	JOSE ORLANDO VASQUEZ	1000551999
2125953	MARIA TERESA TORRES	2015003180
295386	JUAN FERNANDO PERALTA	2013300869
1922491	TOMAS EDUARDO CARAVAJA	1000505784
3721727	FELIPE EFRAIN JIMENEZ	2015002950
295220	TEOFILO SEBASTIAN PARRA	2015010828
295402	JOSE MANUEL ASTUDILLO	2015009959
1144351	MARIANA NARVAEZ	201203312
295329	OLGA MARIA QUIZHPI	2013211734
3775087	JAIME XAVIER ORTIZ	2015002951
3881414	LUIS ALBERTO LUPERCIO	1502721187
3877222	MONICA EULALIA BRAVO	1502721181
3881398	LUIS ALBERTO LUPERCIO	80090
3881406	LUIS ALBERTO LUPERCIO	82505
3799244	JOSE ELIAS MENDEZ	225061
4075578	ANDREA ELIZABETH CALDAS	2015002952
1989342	CLEMENCIA BEATRIZ BRAVO	2013221399
295360	CLEMENCIA BEATRIZ BRAVO	2013221394
4499836	MARIANA DE JESUS ZHANAY	2015017094
4499802	MARIANA DE JESUS ZHANAY	2015017097
4499828	MARIANA DE JESUS ZHANAY	2015017089
4499810	MARIANA DE JESUS ZHANAY	2015017093
4638201	MANUEL JESUS BACUILIMA	2013211735
4648044	OLGA MARIA QUIZHPI	2013211736
4694451	AIDA AGUSTINA BRAVO	2013221398
295378	AIDA AGUSTINA BRAVO	11141161
4893632	JUAN HERNAN FAJARDO	2015000212
4893640	JUAN HERNAN FAJARDO	2015000216
4875779	MANUEL JESUS BACUILIMA	1502722034
4953840	HOLGER LUCIANO PESANTEZ	1000494945
4965570	LUIS ALFONZO QUIZHPI	1000482782
4989620	WILSON ORLANDO MANCHENO	1000545155

(AUTOR, 2018).

En la simulación se presenta cada usuario con un consumo de energía eléctrica siendo esta una potencia activa y reactiva, al estar conectados varios al mismo poste puede surgir confusiones, por ello es recomendable colocar el código de usuario dado por la empresa distribuidora (figura 41).

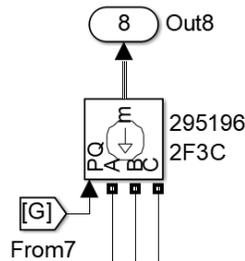


Figura 41. Usuario 295196-2F3C conectados al transformador 8140.  
(AUTOR, 2018).

Cada usuario contiene datos específicos de consumo, ya que en algunos casos existe clientes que se están conectando a solo una fase del transformador, otros a dos fases y otros a tres fases, por ello en el bloque de parámetros se debe especificar el tipo de usuario, como se observa en la figura 42.

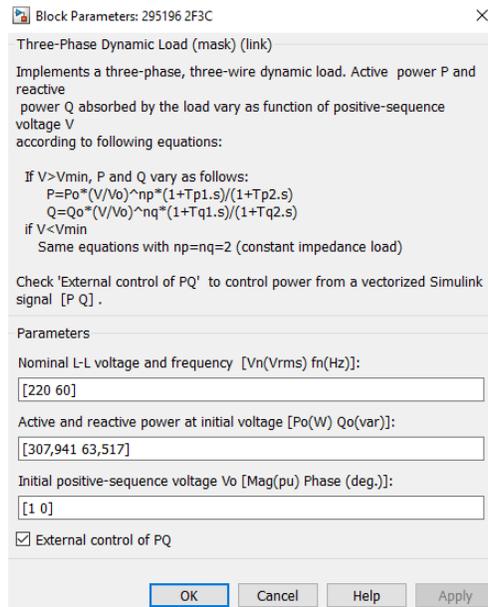


Figura 42. Parámetros del usuario.  
(AUTOR, 2018).

### 3.3.3 Potencias activas y reactivas de los clientes

Como anteriormente se mencionó cada cliente tiene un consumo de potencia activa y reactivas por ello se optó por la introducción de curvas diarias en función de un tiempo (24 horas), de este modo se busca apegarnos mayormente a la realidad.

En base a datos proporcionados del Geoportal-GIS CENTROSUR, se obtiene las potencias promedio de un mes en función de 24 horas. En este caso se ilustra las curvas de demanda en potencia activa y reactiva del usuario MARIA ROCIO LLIGUICOTA con código de usuario 3026986 y número de medidor 2013211733 como se observa en la tabla 4.

Tabla 4. Potencias activas y reactivas del usuario 3026986.

Horas del día [H]	Potencia Actica [W]	Potencia Reactiva [var]
1	303,2748	62,5548
2	278,0019	57,3419
3	272,94732	56,29932
4	262,83816	54,21416
5	272,94732	56,29932
6	308,32938	63,59738
7	318,43854	65,68254
8	328,5477	67,7677
9	353,8206	72,9806
10	404,3664	83,4064
11	414,47556	85,49156
12	429,6393	88,6193
13	419,53014	86,53414
14	429,6393	88,6193
15	444,80304	91,74704
16	454,9122	93,8322
17	444,80304	91,74704
18	439,74846	90,70446
19	495,34884	102,17284

<b>20</b>	505,458	104,258
<b>21</b>	480,1851	99,0451
<b>22</b>	434,69388	89,66188
<b>23</b>	404,3664	83,4064
<b>24</b>	303,2748	62,5548

(AUTOR, 2018).

Como se observa en la tabla anterior los picos más altos de demanda son en la hora de la noche, a las 20:00, para una mejor comprensión se grafica los datos de la tabla.

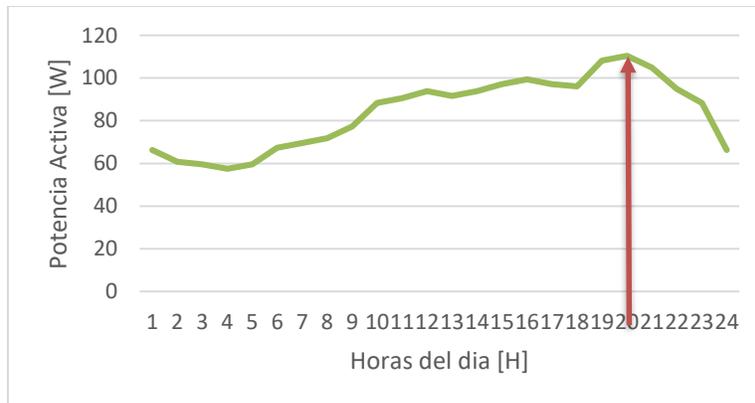


Figura 43. Potencia activa usuario 3026986.

(AUTOR, 2018).

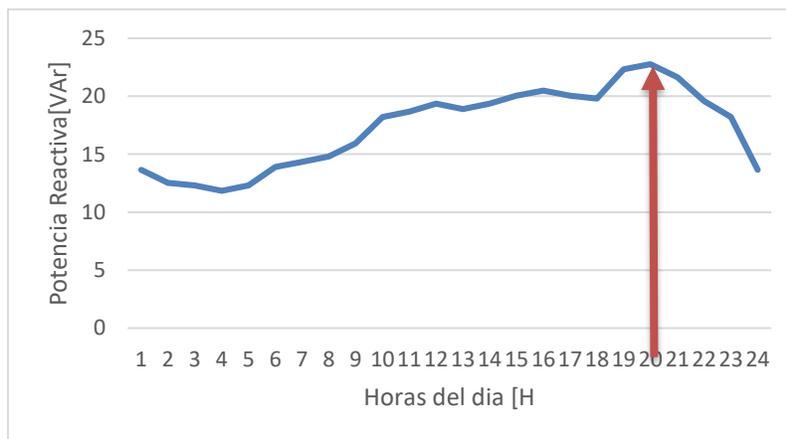


Figura 44. Potencia reactiva usuario 3026986.

(AUTOR, 2018).

En las figuras 45 y 46 se observa las curvas de potencias según la tabla 5, en este caso será el usuario LUIS HUMBERTO UCHO con código de usuario 295428 y código de medido 10481204.

Tabla 5. Potencias activas y reactivas del usuario 295428.

Horas del día [H]	Potencia Actica [W]	Potencia Reactiva [var]
1	66,2538	13,6656
2	60,73265	12,5268
3	59,62842	12,29904
4	57,41996	11,84352
5	59,62842	12,29904
6	67,35803	13,89336
7	69,56649	14,34888
8	71,77495	14,8044
9	77,2961	15,9432
10	88,3384	18,2208
11	90,54686	18,67632
12	93,85955	19,3596
13	91,65109	18,90408
14	93,85955	19,3596
15	97,17224	20,04288
16	99,3807	20,4984
17	97,17224	20,04288
18	96,06801	19,81512
19	108,21454	22,32048
20	110,423	22,776
21	104,90185	21,6372
22	94,96378	19,58736
23	88,3384	18,2208
24	66,2538	13,6656

(AUTOR, 2018).

En comparación a la tabla anterior coincide el pico de mayor demanda es en la hora de la noche exactamente a las 20:00, por ello se procede a la ilustración de la gráfica de potencias.

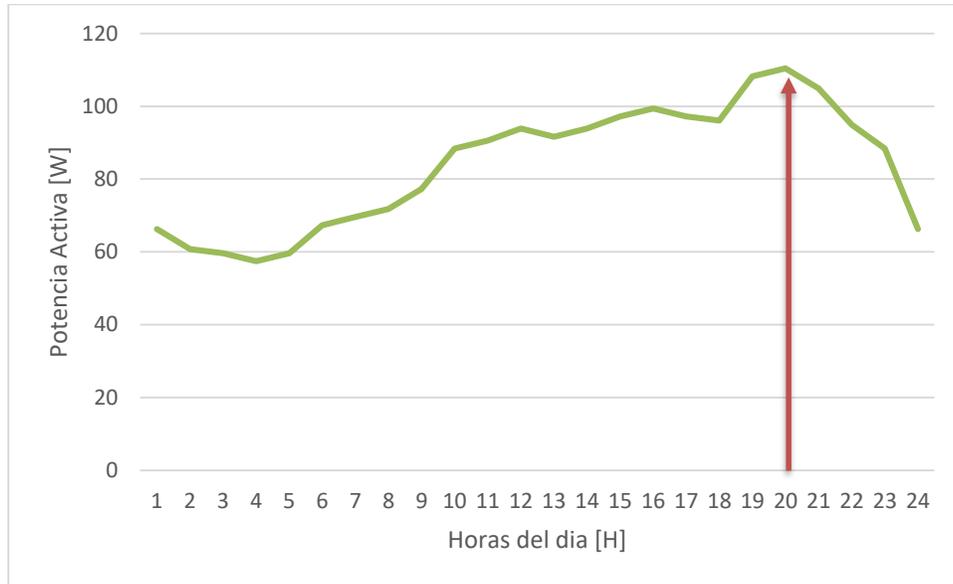


Figura 45. Potencia activa usuario 295428.

(AUTOR, 2018).

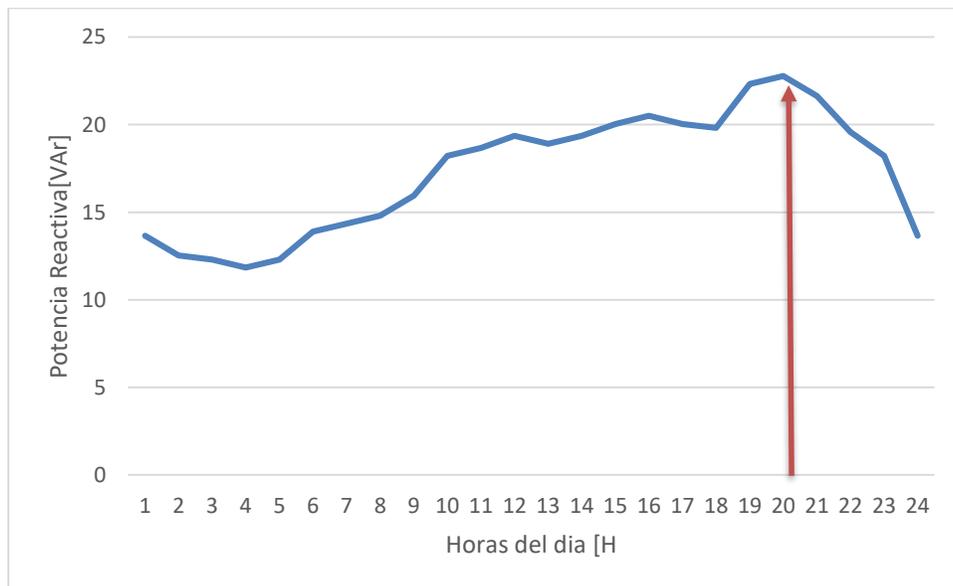


Figura 46. Potencia Reactiva usuario 295428.

(AUTOR, 2018).

Todas las curvas características de las potencias activas y reactivas de los clientes, tienen el mismo comportamiento en forma pero no en magnitud, cumpliendo con la curva característica establecida por la CENTROSUR (Figura 12) ya que los clientes no tienen el mismo tipo de carga pero si existe una coincidencia similar de consumo determinando estas como horas pico.

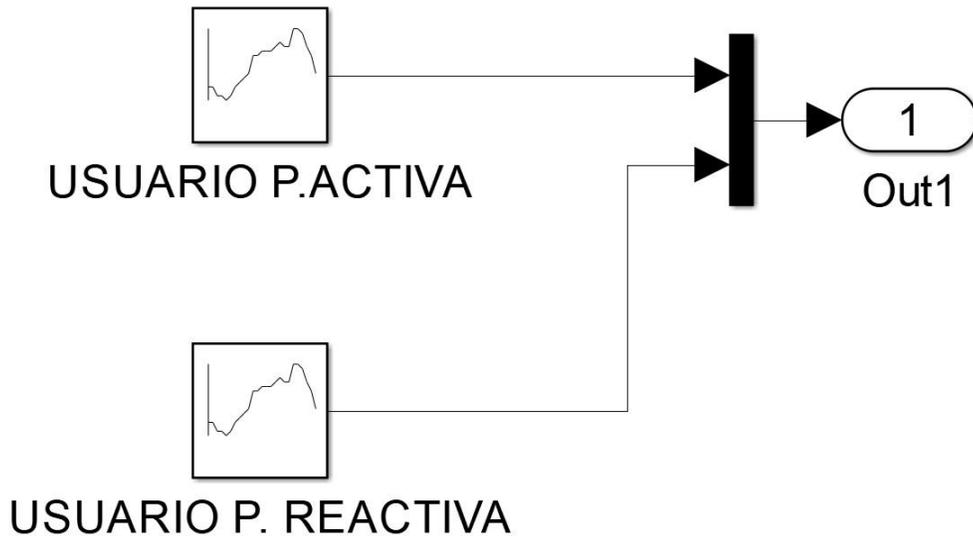


Figura 47. Curvas externas de las potencias activas y reactivas de un usuario.  
(AUTOR, 2018).

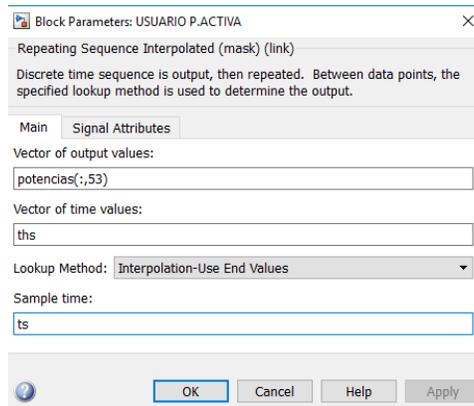


Figura 48. Parámetros del bloque de las potencias de un usuario.  
(AUTOR, 2018).

En base a la figura anterior los valores de la potencia activa y reactiva se encuentran vinculados en una tabla donde es tomada ordenadamente sus

parámetros, según transcurra el tiempo con el fin de formar la curva característica de cada usuario al transcurso del día.

### 3.4 Introducción de la curva característica del panel solar a la red de bajo voltaje en Simulink

El tipo de panel fotovoltaico es modelado de acuerdo al panel existente en el laboratorio de la Universidad Católica de Cuenca. Donde en la siguiente tabla se presentan las características de dicho panel solar.

Tabla 6. Características del panel fotovoltaico del laboratorio de simulación.

MODULE SE-P230-60	
<b>RATED MAXIMUM POWER (Pm)</b>	230W
<b>TOLERANCE</b>	0-+3%
<b>VOLTAGE AT Pmax(Vmp)</b>	29,5V
<b>CURRENT AT Pmax (Imp)</b>	7,80A
<b>OPEN-CIRCUIT VOLTAGE (Voc)</b>	36,6V
<b>SHORT-CIRCUIT CURRENT (Isc)</b>	8,42A
<b>NORMAL OPERATING CELL TEMP (NOCT)</b>	47±2°C
<b>MAXIMUM SYSTEM VOLTAGE</b>	1000V DC
<b>MAXIMUM SERIES FUSE RATING</b>	15A
<b>OPERATING TEMPERATURE</b>	-40°C TO +85°C
<b>APPLICATION CLASS</b>	CLASS A
<b>CELL TECHNOLOGY</b>	POLY-SI
<b>WEIGHT</b>	19,5Kg
<b>DIMENSION (mm)</b>	1650X992X45

(AUTOR, 2018).

En el laboratorio de la Universidad Católica de Cuenca se extrajo la curva característica del panel fotovoltaico por 7 días consecutivos. Cabe recalcar que los datos obtenidos son de potencia Activa [W] durante un día (24 horas), datos que son introducidos en la simulación.

Tabla 7. Datos extraídos del panel fotovoltaico.

Horas/día [H]	Mar.24/jul/18	Mir.25/jul/18	Jue.26/jul/18	Vir.27/jul/18	Sab.28/jul/18	Dom.29/jul/18	Lun.30/jul/18	Promedio [W]
1:00	0.000	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0
2:00	0.000	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0
3:00	0.001	0.00	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0
4:00	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0
5:00	8.23	9.003	7.89	8.012	8.310	8.336	8.63	8,35
6:00	66.234	68.454	67.264	67.577	66.254	67.944	66.234	67,787
7:00	109.34	111.463	113.314	109.34	110,764	107.846	112.66	110,35
8:00	165.543	168.984	167.964	166.857	167.563	165.743	167.793	167,564
9:00	183.645	188.415	184.743	177.836	187.565	186.875	186.845	186,464
10:00	211.565	213.628	210.625	212.635	211.634	210.64	211.639	211,345
11:00	233.876	235.001	233.876	228.353	231.456	233.876	233.876	231,546
12:00	245.786	251.954	241.186	238.186	236.156	239.341	239.004	239,4564
13:00	240.676	241.673	236.74	235.743	235.976	234.961	235.712	235,232
14:00	225.765	221.925	220.865	221.875	219.963	219.764	220.854	220,544
15:00	180.676	188.238	184.034	186.853	185.856	186.864	185.996	185,765
16:00	161.234	165.234	163.034	163.953	163.083	164.097	162.985	163,56
17:00	121.765	120.395	120	122.533	122.718	123.615	121.165	122,45
18:00	59.575	60.861	62.453	63.843	61.735	62.635	60.634	61,57
19:00	9.426	12.792	105.634	11.634	12.645	10.645	11.743	11,234
20:00	0.105	0.007	0.000	0.005	0.000	0.001	0.00	0
21:00	0.002	0.000	0.000	0.002	0.000	0.002	0.000	0
22:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0
23:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0
0:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0

(AUTOR, 2018).

En relación a la tabla anterior, se observa que la máxima generación del panel solar está a las 12:00 del mediodía, por ello se grafica el promedio obtenido en la

tabla y dichos valores serán introducidos en la simulación de red de bajo voltaje como se observa en la figura 49.

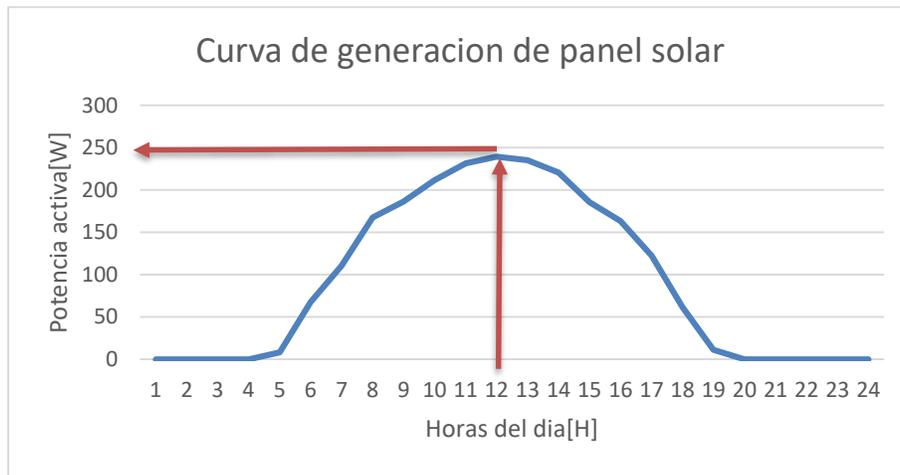


Figura 49. Curva de potencia del panel solar.  
(AUTOR, 2018).

### 3.5 Configuraciones en Matlab-Simulink

La red de bajo voltaje esta simulada en Simulink, que constituye una herramienta perteneciente del programa, por ello existe ciertas configuraciones realizadas para la simulación en Matlab-Simulink.

Primeramente configuramos el método para resolver el circuito, el cual esta denominado en un bloque como “powergui”.

En este bloque existen tres métodos los cuales son: Continuous, Discrete y Phasor como se observa en la figura 50.

Para la simulación de la red de bajo voltaje se utilizó el método de Phasor ya que se requiere visualizar las potencias con relación del tiempo.



Figura 50. Bloque en el cual existen diferentes del circuito Continuous, Discrete y Phasor.  
(AUTOR, 2018).

Dentro del bloque “powergui-phasor” se debe configurar la frecuencia que va a resolver el circuito, ya que al momento de poner en marcha en una frecuencia no acorde la simulación presentara inconvenientes como se observa en la figura 51.

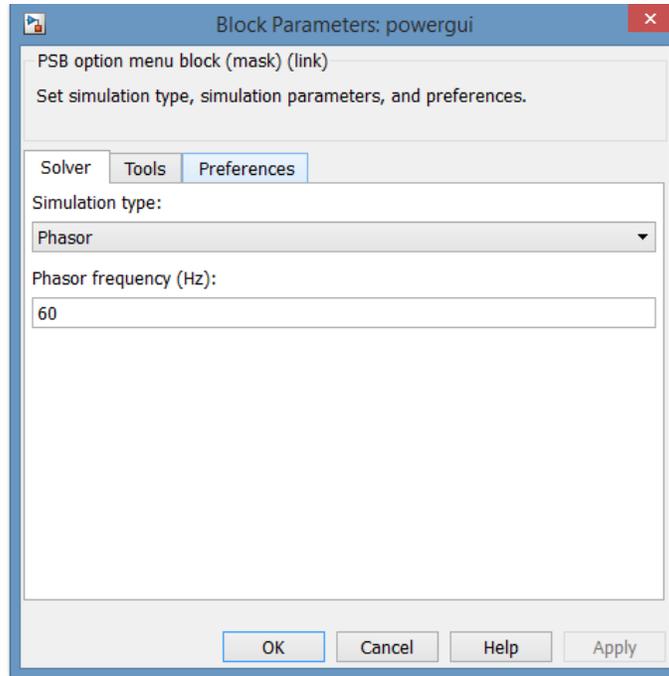


Figura 51. Configuración de frecuencia.  
(AUTOR, 2018).

Cabe recalcar que todos los elementos que conforman la red de bajo voltaje en la simulación deben tener compatibilidad con el bloque “powergui-phasor”, de lo contrario presentara errores.

Otra configuración que debe ser realizada, es el intervalo de tiempo que va tomar al sistema en simulador todos los datos, dichos tiempos debe coincidir con los parámetros presentados en los bloques de potencias.

Lo que se busca que obtener datos de un día (24 horas) en tiempo real pero al ser muy grande dicho tiempo se representó como  $24=0,1$  esto quiere decir que en

nuestra simulación las 24 horas equivale a un tiempo de 0,1 en simulink. Por ello se realizó la siguiente configuración.

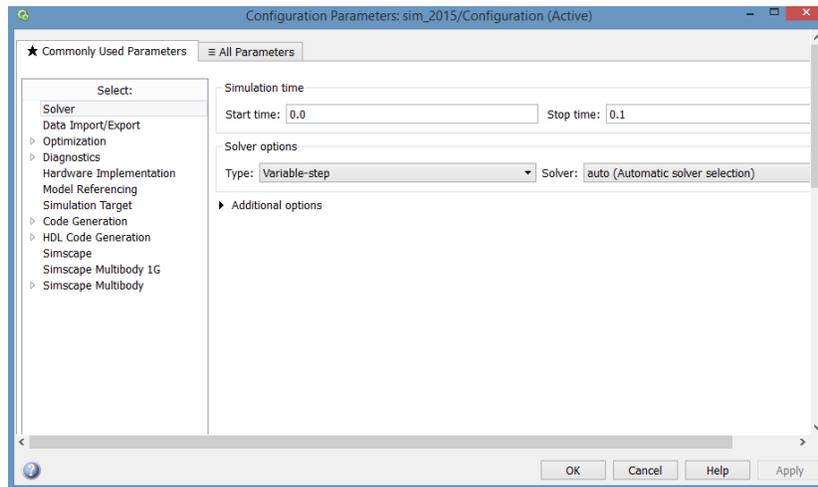


Figura 52. Intervalo de tiempo.

(AUTOR, 2018).

Una vez establecido el tiempo de inicio y de fin de toda la simulación, se establece el tiempo de lectura de datos, en este caso las curvas de potencias insertadas. Además como se observa en la siguiente grafica existe el vector de tiempo, el cual establecimos con el nombre de ths y tiempo de muestreo, con el nombre de ts.

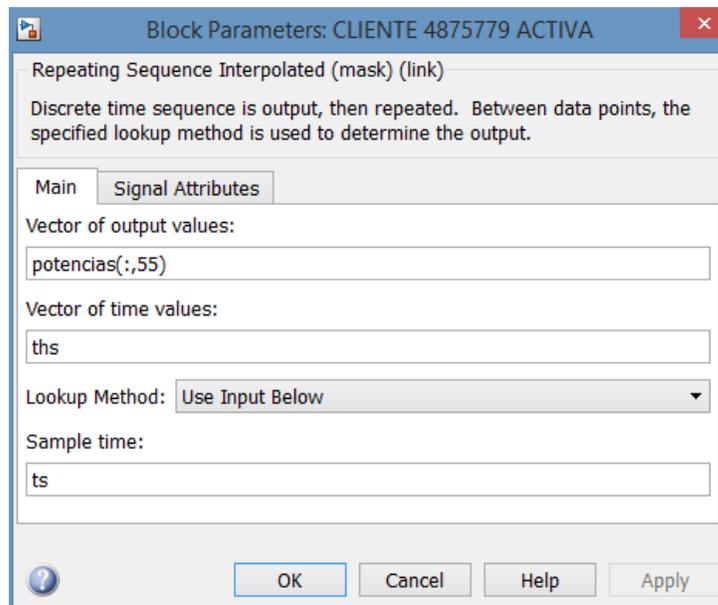


Figura 53. Tiempo de lectura de datos.

(AUTOR, 2018).

El tiempo de muestreo en este caso denominado  $t_s$ , es el intervalo de tiempo que demora en tomar datos.

Para la curva del panel solar el vector de tiempo y el tiempo de muestreo será el mismo ya que el tiempo de la simulación total corresponde de 0 a 0,1.

### 3.6 Modelado del panel fotovoltaico

Una vez obtenida la curva de generación del panel fotovoltaico, se introduce dicha curva los datos del usuario MANUEL JESUS BACUILIMA con el código 4875779, de este modo se simulara como si realmente el panel solar está conectado a la vivienda y se tendrá datos equivalente a los reales. Se optó por este usuario debido a que se encuentra al final de la red de bajo voltaje, así se observará el impacto que este tiene en toda la red y cómo afecta al transformador.

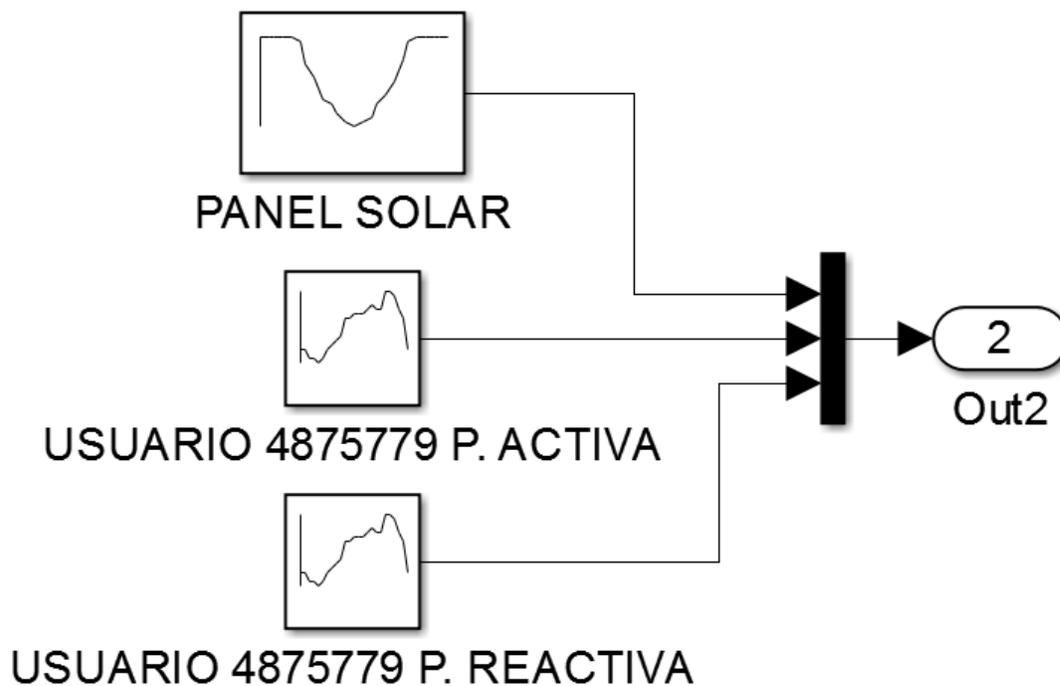


Figura 54. Panel fotovoltaico implementado en un usuario 4875779.

(AUTOR, 2018).

El panel fotovoltaico ayudara en un cierto porcentaje al usuario conectado, pero a la red se deberá analizar en qué porcentaje aporta a la red pública. De este modo

se hará un análisis con un porcentaje de paneles solares instalados con relación a los clientes.

### 3.7 RT LAB

En la utilización de la plataforma OPAL-RT se trabaja en el software RT-LAB, de esta manera se realiza la simulación en tiempo real, que disponible en el laboratorio de la Universidad Católica De Cuenca, lo que permite el RT-LAB la conexión hacia el Target (Simulador OPAL-RT) esto es factible mediante la conexión IP. El software RT-LAB trabaja conjuntamente con Matlab, utilizando el modelo diseñado en Simulink como la red de distribución detallada anteriormente. En la figura 55 se muestra el interfaz del programa que ha utilizado.

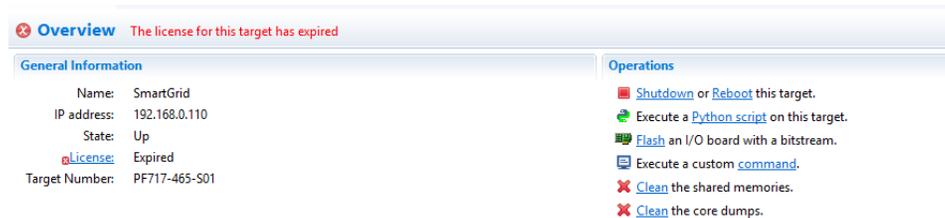


Figura 55. INTERFAZ DE RT-LAB de la Universidad Católica de Cuenca.  
(AUTOR, 2018).

En la figura 56 se observa el diagnóstico de la plataforma siendo esta OPAL-RT Linux (x86-based) con una versión 2.6.29.6.

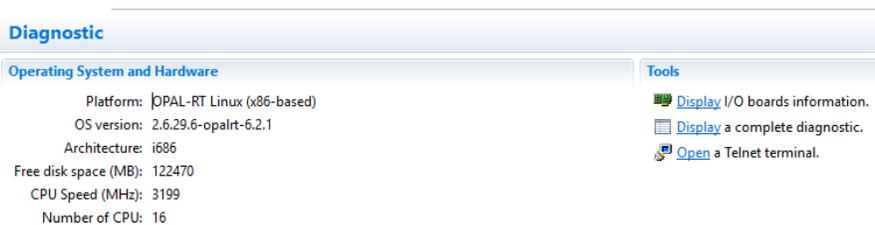


Figura 56. Diagnóstico de la plataforma OPAL-RT de la Universidad Católica de Cuenca.  
(AUTOR, 2018).

La versión 11.2.1.100 es la que se utiliza en el simulador OPAL-RT como se puede observar en la figura 57.

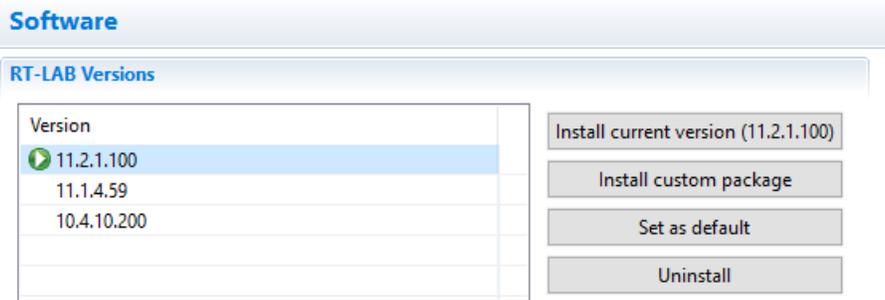


Figura 57. Versión instalada en el simulador OPAL-RT de la Universidad Católica de Cuenca.  
(AUTOR, 2018).

La licencia del simulador RT-LAB habilitadas en el laboratorio de simulación en tiempo real de la Universidad Católica de Cuenca es mostrada en la figura 58, como datos nos muestra el sitio Web en el cual se puede realizar el soporte de la licencia, la ficha de soporte al cliente que tiene disponible hasta el 22/01/2023.

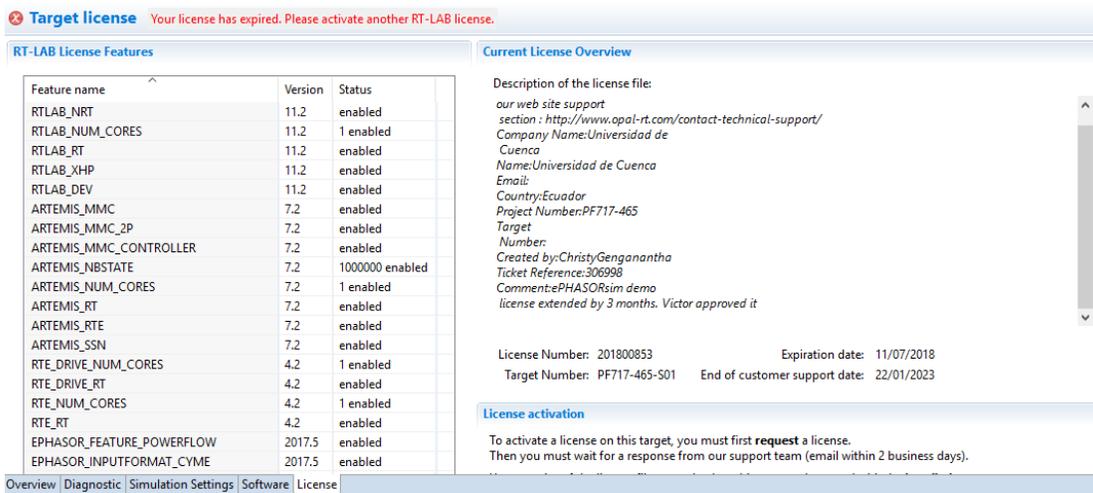


Figura 58. Licencia del simulador RT-LAB.  
(AUTOR, 2018).

### 3.8 Configuración del servidor

En el simulador OPAL-RT, se puede realizar la simulación mediante hardware y software como se menciona en el capítulo 2.4, la sincronización de la red de distribución modelada se realiza en software por la comunicación entre el equipo de simulación y el sistema simulado, desde esta ventana se puede verificar que la comunicación se realiza mediante una conexión IP ya mencionada. Desde la ventana de explorador de proyectos se marca el icono de baja discreto, el cual se vincula a una nueva pestaña del proyecto RT-LAB; de esta manera se asigna el nombre correspondiente, para poder realizar la simulación de la red pública simulada figura 59.

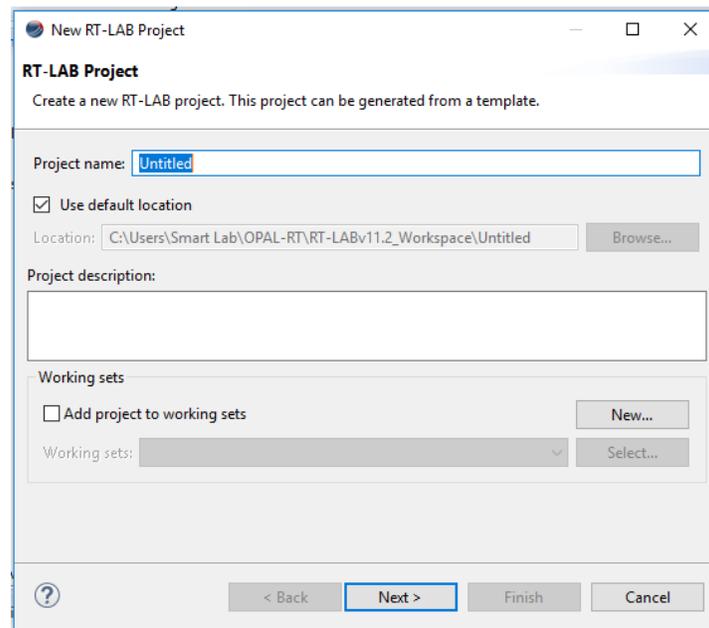


Figura 59. Creación de un nuevo proyecto RT-LAB.  
(AUTOR, 2018).

Una vez creada la carpeta del proyecto, denominado con el nombre correspondiente al modelado (figura 60), se puede realizar el ingreso de la simulación, se observa que dentro de la carpeta existen parámetros como la simulación en simulink, curvas de carga de cada cliente y la curva de potencia activa del panel fotovoltaico como se muestra en la figura 61.

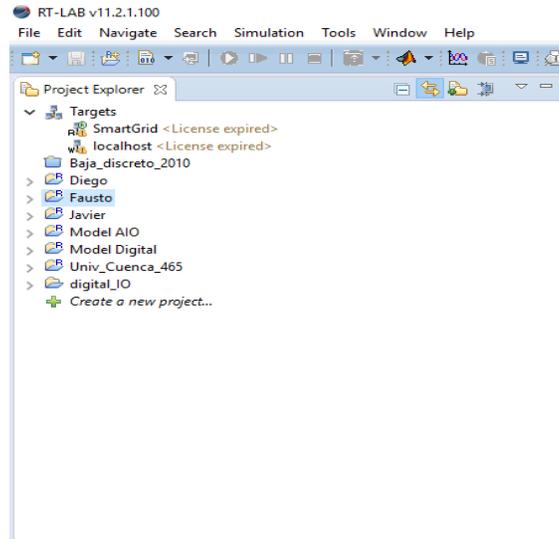


Figura 60. Carpeta del nuevo proyecto de RT-LAB.  
(AUTOR, 2018).

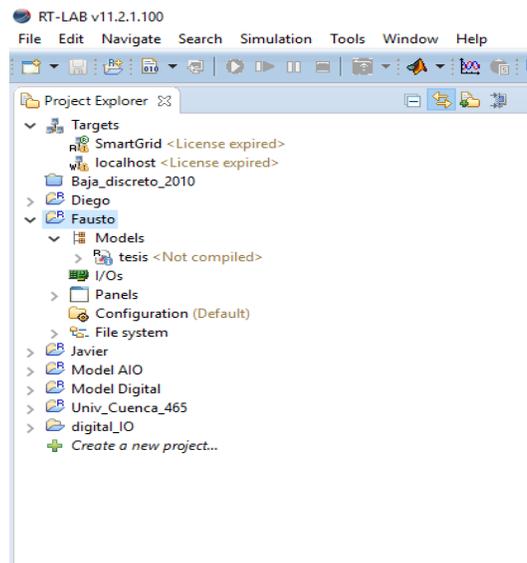


Figura 61. Parámetros existentes en la nueva carpeta de simulación de RT-LAB.  
(AUTOR, 2018).

Cuando la carpeta está cargada con la simulación en Matlab-Simulink, se vincula con la ventana de la visión en conjunto de la simulación que se obtiene en la figura 62, el cual nos informa que el programa está en una versión de Matlab 2016A.

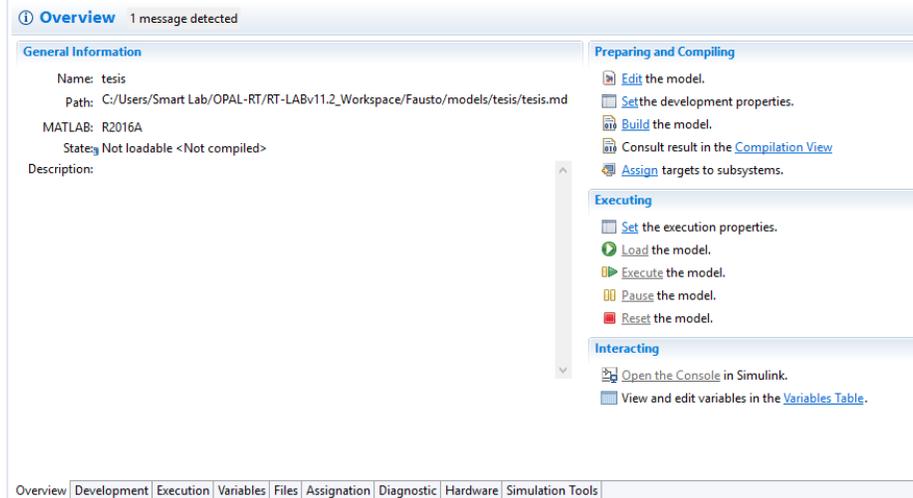


Figura 62. Visión y parámetros de la simulación en conjunto.  
(AUTOR, 2018).

En la ejecución del sistema se observa la modificación del tiempo que se encuentra en unidades como en segundos. El sistema está estabilizado, en continuo y no en pasos como se observa en la figura 63.

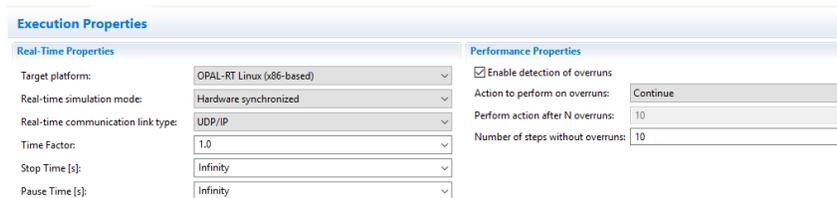


Figura 63. Modelo del OPAL RT.  
(AUTOR, 2018).

### 3.9 Configuración de la aplicación

#### 3.9.1 Propiedades de archivo

En el arreglo del sistema se obtiene las variables requeridas como es la configuración en Matlab Simulink, el cual genera nuevos archivos ascci, que son

compilados en micro controladores para que pueda reconocer el software RT-LAB figura 64.

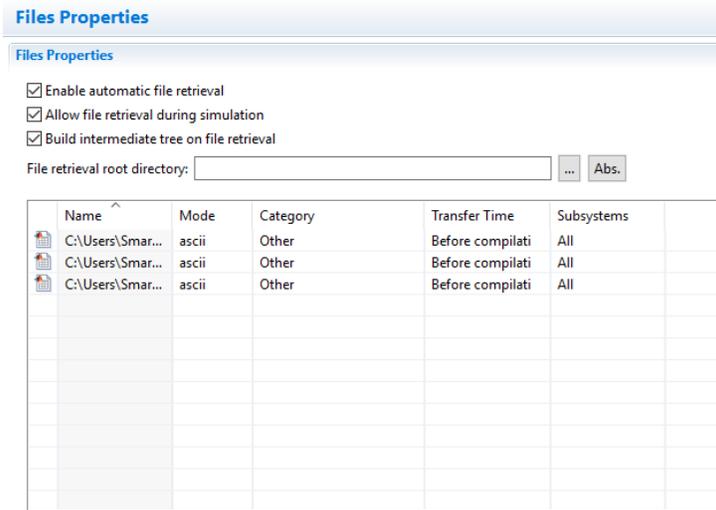


Figura 64. Propiedades de archivo de la simulación ingresada a RT-LAB.  
(AUTOR, 2018).

### 3.9.2 Configuración de subsistema

En la plataforma de Subsystem settings (configuración del sistema), la ejecución de hardware se recomienda escoger la opción XHP para que reconozca todos los equipos externos, seleccionamos del sistema, denominado SmartGrid que se habilita cuando la simulación está en proceso figura 65.

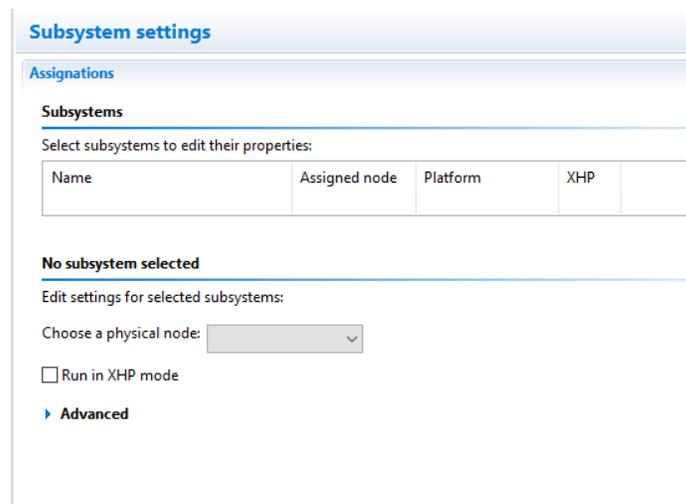


Figura 65. Configuración de subsistema ingresado en RT-LAB.  
(AUTOR, 2018).

### 3.9.3 Propiedades de diagnóstico

En el diagnóstico de propiedades se puede habilitar opciones para poder manipular la simulación como: habilitar el monitoreo, visualización de información, en la misma ventana se obtiene las propiedades de depuración, habilitar el tiempo de espera, se establece el tiempo de muestreo de la simulación y copilar el modelo figura 66.

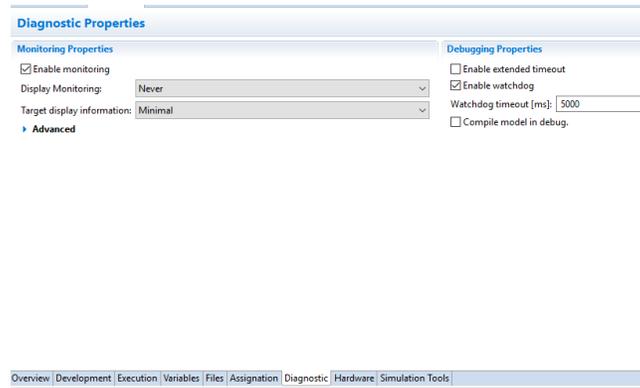


Figura 66. Propiedades de diagnóstico de la simulación en RT-LAB.  
(AUTOR, 2018).

### 3.9.4 Propiedades de hardware

En las propiedades de hardware, se puede resetear el programa como si se ingresara una nueva simulación para ser analizada dándonos un principio de simulación figura 67.

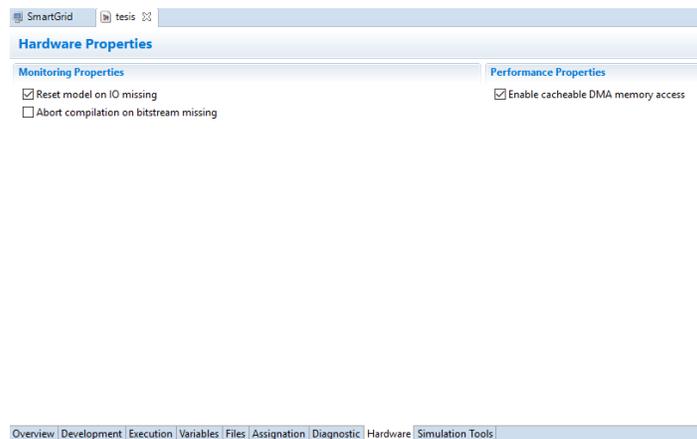


Figura 67. Propiedades de hardware.  
(AUTOR, 2018).

### 3.9.5 Propiedades de herramientas de simulación

Propiedades de simulación se observa la versión de Matlab en la cual se está trabajando figura 68, en el laboratorio de simulación de tiempo real de la Universidad Católica de Cuenca, pueden ser ingresados archivos en las versiones R2016A (64BIT) y R2015B (32BIT), los pasos de tiempo para la simulación se encuentran en 0.0 lo cual significa que se tomara los valores dados en el modelado de Matlab Simulink.

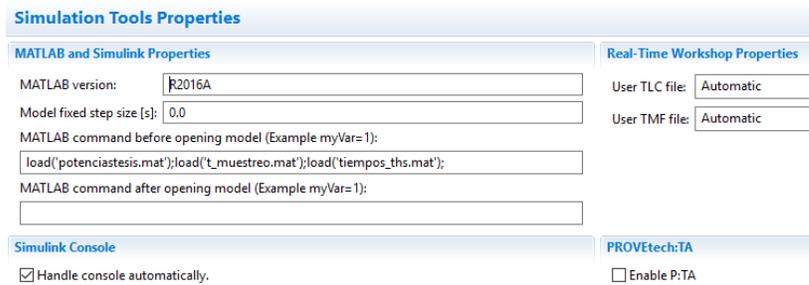


Figura 68. Propiedades de herramientas de simulación.  
(AUTOR, 2018).

### 3.9.6 Información general

Cuando en el software se ingrese el modelado de la simulación se analiza los campos y archivos existentes, cuando existe un error se mostrara en una ventana en la parte inferior creándose la ventana de Matlab para poder corregir el error existente.

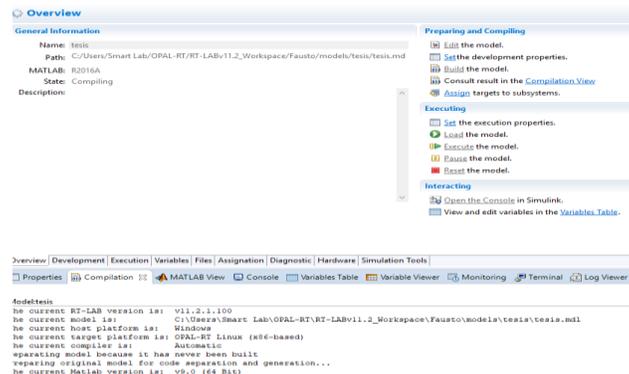


Figura 69. Información general de la simulación introducida en RT-LAB.  
(AUTOR, 2018).

## CAPITULO 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 4.1 Simulaciones del Modelo Panel Fotovoltaico

Una vez configurados todos los parámetros tanto en Matlab, Simulink y RT-LAB, empieza a ejecutar la simulación en tiempo real, esto quiere decir que la plataforma de RT-LAB acelera el proceso de simulación debido a que dicha simulación no se la puede realizar en ningún ordenador común.

Entonces los resultados que se obtiene son los siguientes:

Primero se realiza la simulación de la red de bajo voltaje en su forma original, esto quiere decir que no se involucra ningún panel solar y en base de estos resultados comparamos los resultados que después se presentan con la implementación de los paneles fotovoltaicos.

En las siguiente figuras 70 y 71, se representa la demanda que exige ese grupo de clientes conectados al transformador 4180 en potencia activa (figura 70) y reactiva (figura 71).

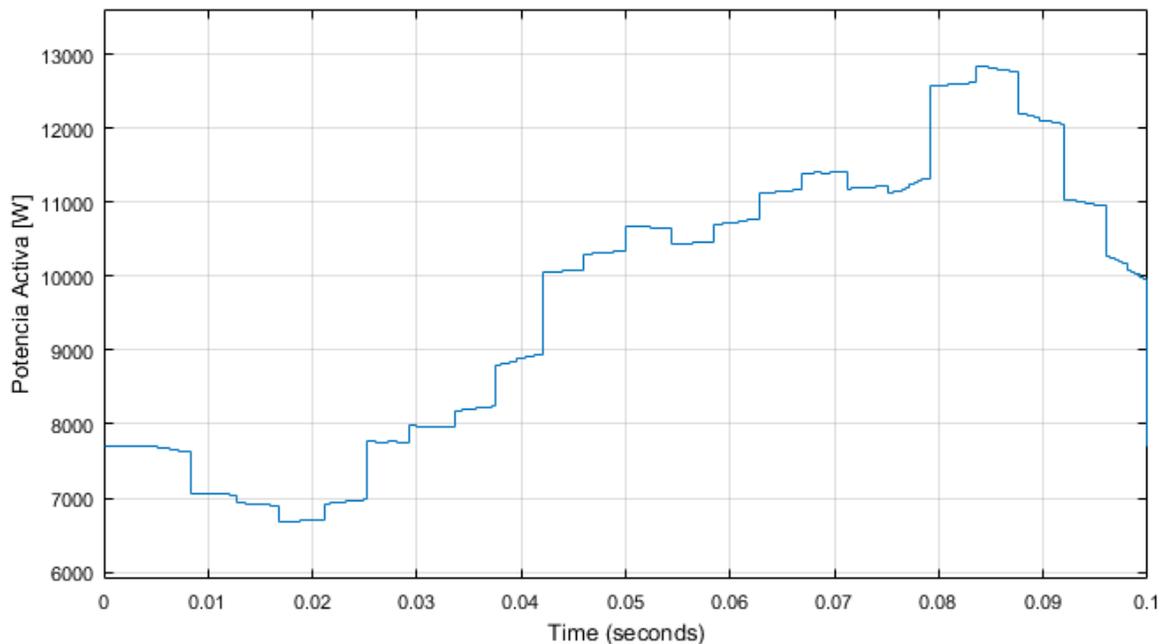


Figura 70. Resultados en potencia activa total [W] del transformador 4180.

(AUTOR, 2018).

Curva de potencia reactiva como se observa la figura 71, de potencia tiene el mismo comportamiento en lo que corresponde a graficas por ello se extrajo los datos de la simulación, para realizar una comparación.

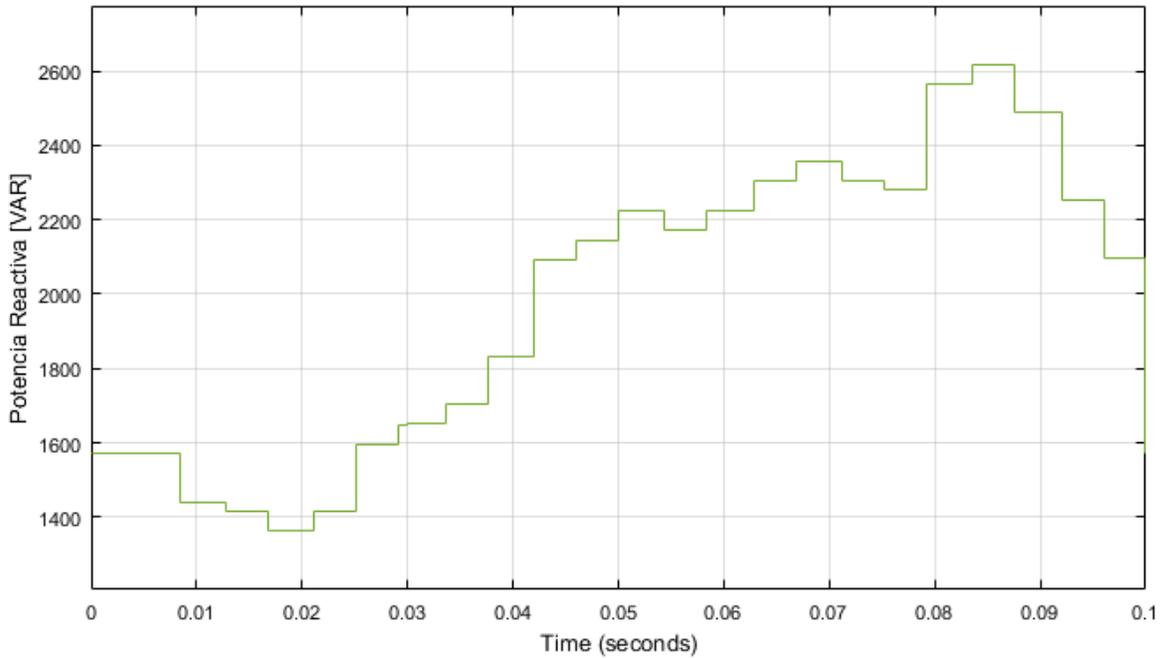


Figura 71. Resultados en potencia reactiva total [var] del transformador 4180.  
(AUTOR, 2018).

Es necesario indicar que los datos extraídos desde la simulación se representan en 24 horas, esto quiere decir que se realizó una relación donde un 0,1 segundo de la simulación equivale a 24 horas de un día entero.

Tabla 8. Datos de potencia activa y reactiva durante 24 horas.

<i>Tiempo Simulink [s]</i>	<i>Horas del día [H]</i>	<i>Potencia Activa[W]</i>	<i>Potencia Reactiva[var]</i>
<b>0,004</b>	1	7704,1122	1571,5746
<b>0,008</b>	2	7627,359864	1571,5746
<b>0,013</b>	3	7047,265701	1440,61005
<b>0,017</b>	4	6902,585806	1414,58395
<b>0,021</b>	5	6706,982712	1362,03132

0,025	6	7035,405457	1414,08352
0,029	7	7863,009556	1596,26622
0,033	8	8121,270205	1650,15333
0,038	9	8423,390333	1702,20553
0,042	10	9149,848383	1833,5037
0,046	11	10303,46644	2093,7647
0,050	12	10914,15895	2226,39735
0,054	13	10882,4317	2226,39735
0,058	14	10688,05614	2174,34515
0,063	15	10962,36566	2226,39735
0,067	16	11330,47973	2304,47565
0,071	17	11523,61968	2357,3619
0,075	18	11283,6036	2305,3097
0,079	19	12583,5886	2565,5707
0,083	20	12615,31596	2666,90518
0,088	21	12195,40614	2488,82688
0,092	22	12052,63192	2488,32645
0,096	23	10948,6103	2254,09155
0,100	24	7704,1122	1571,5746

(AUTOR, 2018)

La relación entre tabla y gráficas los datos concuerdan. Por lo tanto lo que se requiere averiguar es que sucede con las curvas cuando se inserta en el mismo un panel solar dándole energía eléctrica a un usuario perteneciente al mismo transformador, de tal manera que se pueda visualizar en gráficos y en datos.

#### 4.2 Simulación de red de bajo voltaje acoplado un panel fotovoltaico

Como antes ya se mencionó se insertara en la simulación la curva de carga de la potencia activa del panel solar, al usuario MANUEL JESUS BACUILIMA con código de usuario 875779.

El panel solar genera potencia Activa [W], por ende el análisis se la realiza solamente con la potencia activa del usuario, de este modo la potencia reactiva total de todo el transformador no afecta en ningún momento.

Antes de analizar que sucede con las curva de potencia activa total, se analiza que sucede con la potencia activa del usuario una vez acoplado el panel solar como suministro de energía.

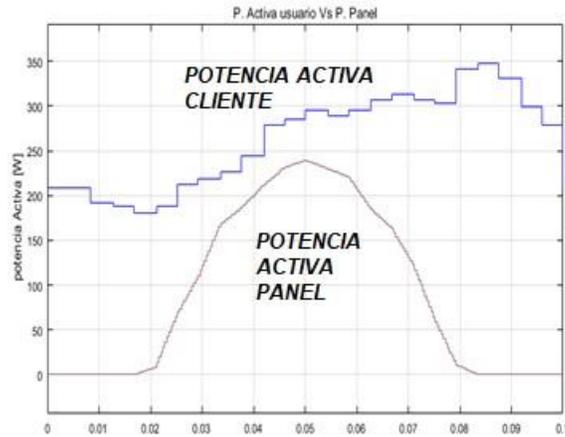


Figura 72. Potencia activa del usuario 875779 y potencia activa del panel fotovoltaico. (AUTOR, 2018).

En la figura anterior se visualiza que la potencia del panel solar no abastece a la demanda de la vivienda, debido al consumo en potencia activa que esta exige; pero se requiere analizar en cuanto aporta en potencia a dicha vivienda. Lo que se debe aclarar es que el abastecimiento de dicho panel solar es directamente; en línea en el transcurso del día, lo que se refiere es que no se utiliza almacenamiento de energía (baterías), por ello la reducción de potencia activa se notara en todo el día donde el panel solar pueda generar.

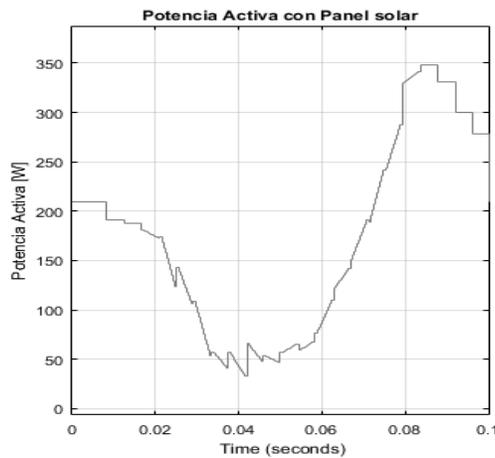


Figura 73. Potencia activa acoplado un panel solar. (AUTOR, 2018).

El abastecimiento de dicho panel no es total pero si es notorio en la figura 72, el abasto es mayor del 75% durante las horas que entra en acoplamiento el panel solar.

Una vez visualizado lo que sucede con el usuario se requiere analizar qué sucede con toda la red de servicio de energía eléctrica, cual es el comportamiento energético del panel solar ante la demanda de todo el transformador.

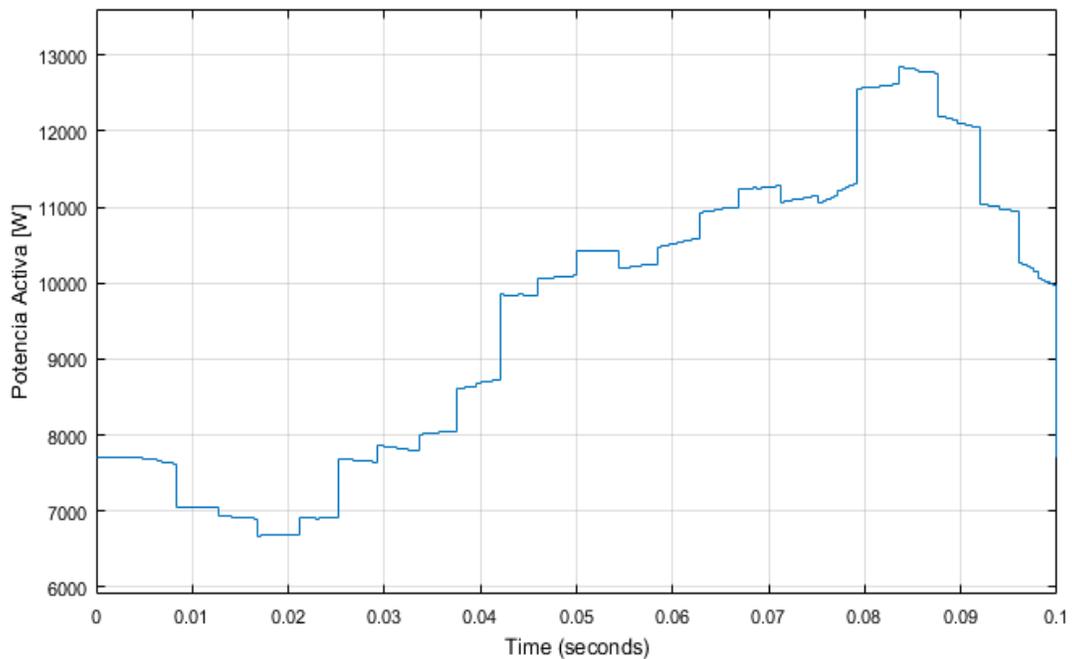


Figura 74. Comportamiento energético del panel solar ante la demanda de todo el transformador.  
(AUTOR, 2018).

La grafica 75 es parecida a la gráfica inicial donde no está conectado ningún panel solar, lo que representa es que la generación del panel solar es muy insignificante comparado con la potencia total de toda la red.

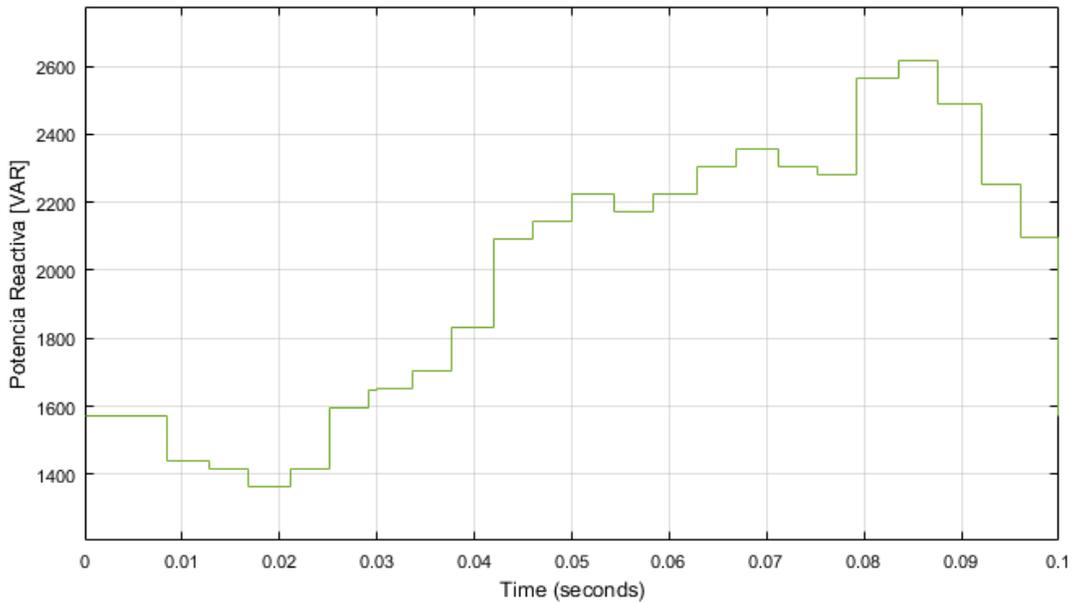


Figura 75. Potencia reactiva total de la red.  
(AUTOR, 2018).

En lo que corresponde a potencia reactiva [var] los datos y gráfica de la red y usuarios, serán absolutamente los mismos debido a que el panel fotovoltaico solamente genera potencia activa [W]

En las figuras anteriores no se puede visualizar el impacto del panel solar pero, en la siguiente tabla se representa los valores de potencia luego de ser acoplado el panel solar en el sistema de red eléctrica, el impacto es muy pequeño debido al gran consumo que representa todos los clientes.

Tabla 9. Valores de potencia con el panel solar fotovoltaico.

<i>Tiempo Simulink</i> [s]	<i>Horas del día</i> [H]	<i>Potencia Activa</i> [W]	<i>Potencia Reactiva</i> [var]
0,004	1	7704,1122	1571,5746
0,008	2	7627,35986	1571,5746
0,013	3	7047,2657	1440,61005
0,017	4	6902,58581	1414,58395
0,021	5	6706,98271	1362,03132
0,025	6	7028,16745	1414,08352
0,029	7	7761,62611	1596,26622
0,033	8	7955,49271	1650,15333
0,038	9	8238,28604	1702,20553
0,042	10	8938,90109	1833,5037
0,046	11	10073,0515	2093,7647
0,050	12	10674,7026	2226,39735
0,054	13	10647,9907	2226,39735
0,058	14	10466,6932	2174,34515
0,063	15	10775,7732	2226,39735
0,067	16	11165,5019	2304,47565
0,071	17	11400,8412	2357,3619
0,075	18	11219,1114	2305,3097
0,079	19	12572,4445	2565,5707
0,083	20	12614,9566	2666,90518
0,088	21	12195,4061	2488,82688
0,092	22	12052,6319	2488,32645
0,096	23	10948,6103	2254,09155
0,100	24	7704,1122	1571,5746

(AUTOR, 2018).

#### 4.3 Red de bajo voltaje con generación distribuida

Los datos representados anteriormente visualizan el impacto de un panel fotovoltaico acoplado a toda la red de bajo voltaje, la cual no es muy representativo ya que la cantidad de potencia de generación del panel fotovoltaico es mínima con respecto a la cantidad de toda la red requerido, por ello se procede a colocar un cierto porcentaje de paneles fotovoltaicos en el sistema y analizar cómo afecta al transformador.

Primeramente se realiza un análisis de donde podría ser acoplado los paneles fotovoltaicos y se ha optado por colocar en los extremos de la red de bajo voltaje ya que en aquellos clientes es donde más afecta la caída de tensión debido a la distancia y las pérdidas referentes a los conductores.

#### 4.3.1 Generación distribuida con el 10% de paneles solares acoplados a la red de bajo voltaje

Al ser un total de 64 clientes que están conectados al mismo transformador y lo que constituye el acoplo del 10% de paneles solares con respecto a la demanda, representa un total de 6 paneles, como se mencionó anteriormente se realiza el acoplo de paneles a clientes de la red simulada del transformador.

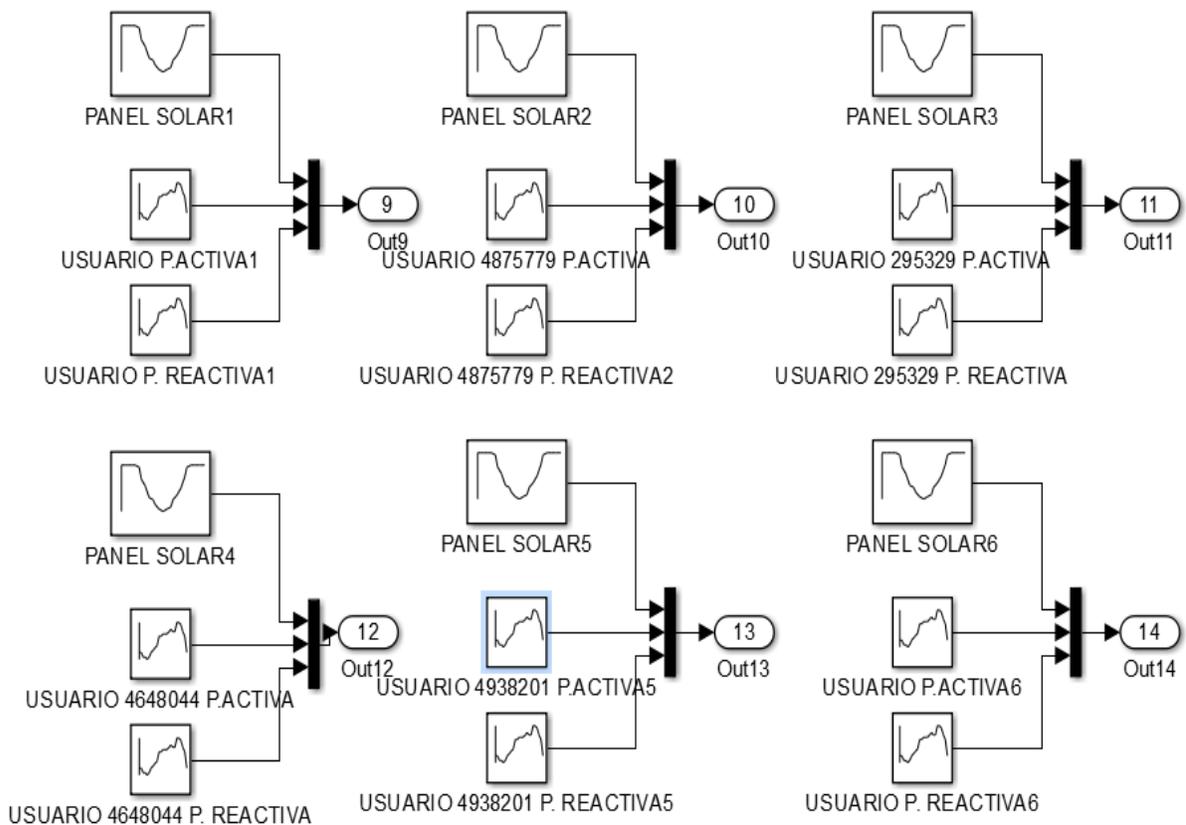


Figura 76. Generación distribuida con el 10% de paneles fotovoltaicos.

(AUTOR, 2018).

El grupo de clientes donde están acoplados los 6 paneles solares pertenecen al poste 266017, los cuales se encuentran al extremo de la red de bajo voltaje. En este

caso lo primordial es obtener resultados a nivel de toda la red en el transformador 4180, por ello se evade obtener las gráficas de usuario y panel solar.

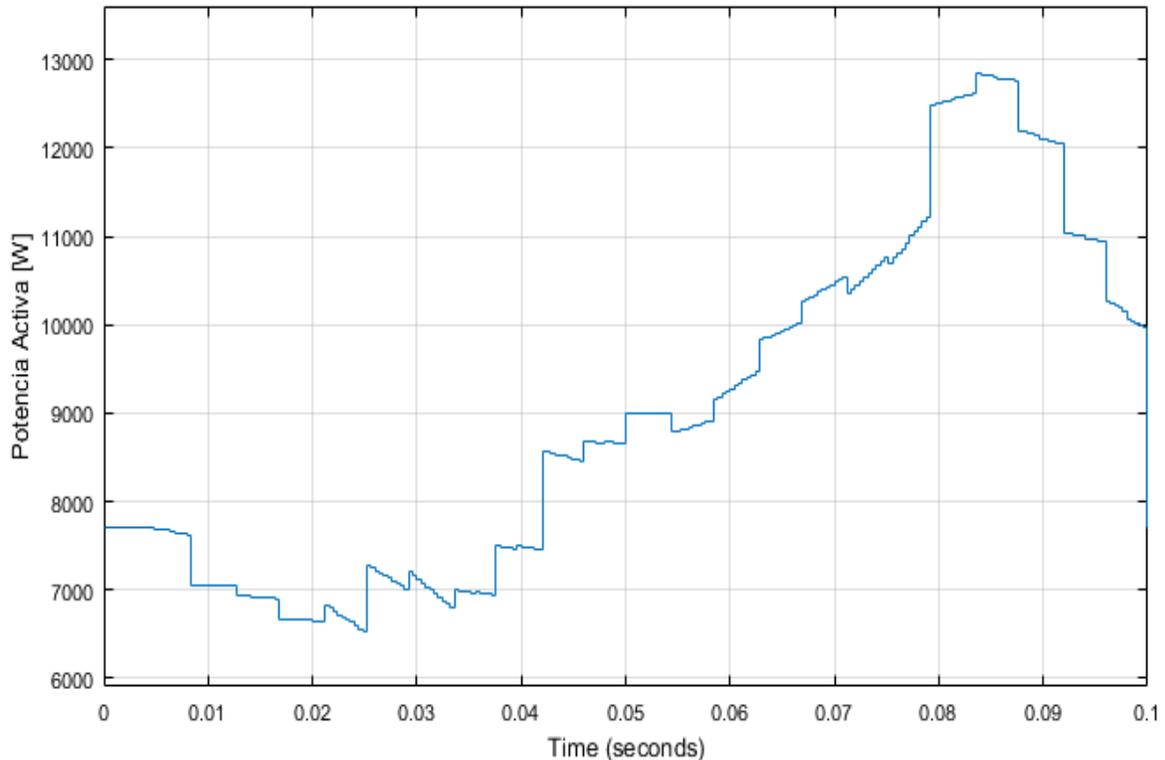


Figura 77. Potencia activa total luego del acople 10% de paneles fotovoltaicos. (AUTOR, 2018).

Con el 10% de paneles solares acoplados a la red eléctrica pública, se tiene resultados visibles, en la figura anterior se nota como la curva característica de un usuario residencial ya no es la misma, y el cambio es notorio desde 0,25 a 0,75 segundos (Figura 77), desde las 06:00 hasta las 19:00 es en donde el panel solar ayuda con el aporte de energía.

En base a la Figura 77 se observa que el pico de consumo más grande es en horas de la noche a las 20:00, pero es imposible reducir ese consumo de potencia en ese tiempo ya que obviamente los paneles solares generan solamente en horas del día; por ello la variación de la curva de potencia solo se observa desde las 6:00 hasta las 18:00, cabe recalcar que la mayor generación de los paneles fotovoltaicos

es a las 12:00 porque es cuando la radiación solar impacta de manera perpendicular al panel, entonces es ahí donde se observa el mayor aporte a la red.

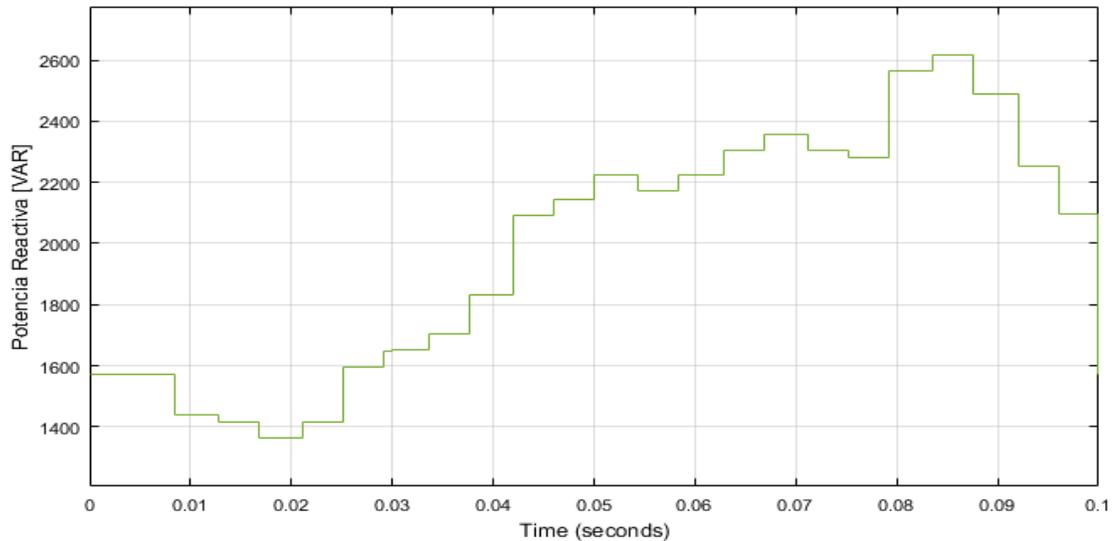


Figura 78. Potencia reactiva total con el 10% los paneles fotovoltaicos.  
(AUTOR, 2018).

Como ya se mencionó la curva de potencia reactiva del sistema de la red simulada no se verá afectada ya el acople de paneles solares no afecta a los reactivos de la red.

En la siguiente tabla se tiene los datos extraídos de las dos curvas de potencia, donde claramente se observa valores menores desde las 6:00 hasta las 18:00, con relación a la primera tabla donde no estaba acoplado ningún panel fotovoltaico.

Tabla 10. Valores de potencia con la implementación del 10% de paneles fotovoltaicos en los clientes existentes.

<i>Tiempo Simulink</i> [s]	<i>Horas del día</i> [H]	<i>Potencia Activa</i> [W]	<i>Potencia Reactiva</i> [var]
0,004	1	7627,35986	1571,5746
0,008	2	7047,2657	1571,5746
0,013	3	6902,58581	1440,61005
0,017	4	6706,98271	1414,58395
0,021	5	6991,97744	1362,03132
0,025	6	7254,70891	1414,08352
0,029	7	7126,60522	1596,26622
0,033	8	7312,76461	1650,15333
0,038	9	7884,16461	1702,20553
0,042	10	8920,97695	1833,5037
0,046	11	9477,42055	2093,7647
0,050	12	9475,78589	2226,39735
0,054	13	9359,87853	2226,39735
0,058	14	9842,81072	2174,34515
0,063	15	10340,613	2226,39735
0,067	16	10786,9487	2304,47565
0,071	17	10756,3839	2357,3619
0,075	18	12516,7239	2305,3097
0,079	19	12613,1596	2565,5707
0,083	20	12195,4061	2666,90518
0,088	21	12052,6319	2488,82688
0,092	22	10948,6103	2488,32645
0,096	23	7704,1122	2254,09155
0,100	24	7627,35986	1571,5746

(AUTOR, 2018)

#### 4.3.2 Generación distribuida con el 25% de paneles solares acoplados a la red de bajo voltaje

En este caso se realiza un análisis con el acople de un 25% de paneles fotovoltaicos lo que corresponde a un total de 16 paneles solares. Al ser un

porcentaje más grande se acopla a clientes de un extremo de la red y el resto al otro extremo.

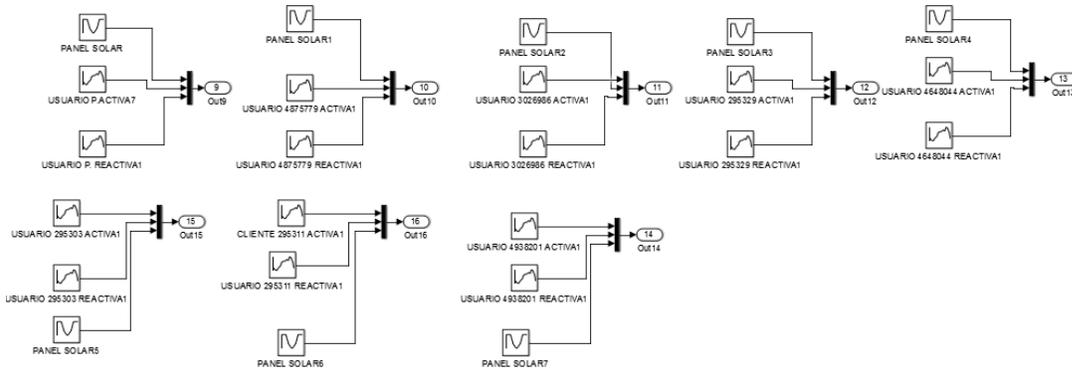


Figura 79. Clientes del poste 266017 con generación distribuida.

(AUTOR, 2018).

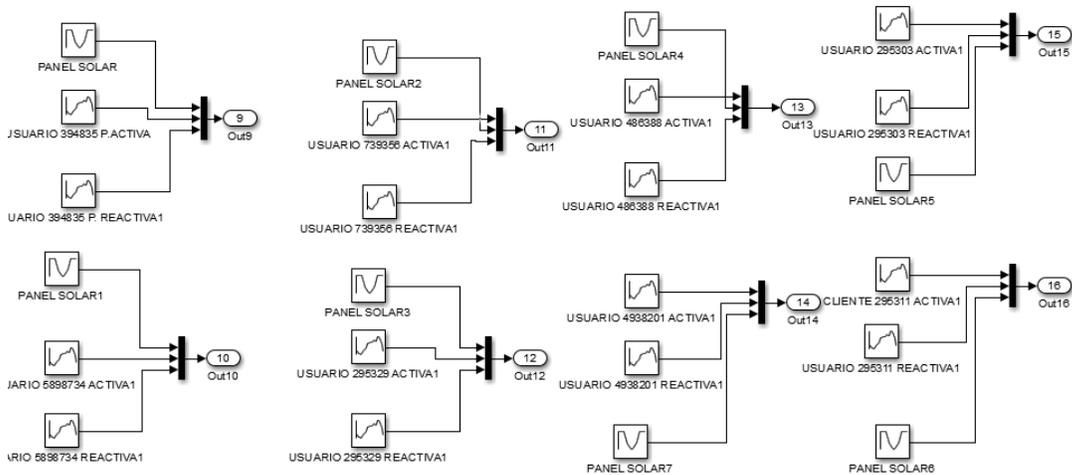


Figura 80. Clientes del poste 51948 con generación distribuida.

(AUTOR, 2018).

En base a las dos figuras anteriores que se realizó el acople de 16 paneles fotovoltaicos que es el 25% de clientes del transformador 4180 de la simulación, en donde los resultados serán más visibles a comparación cuando se acoplo al 10% de paneles en la simulación. Ahora en adelante se presentara solo datos de potencia

Activa ya que como se habrá notado la generación mediante paneles solares no afecta a la potencia reactiva.

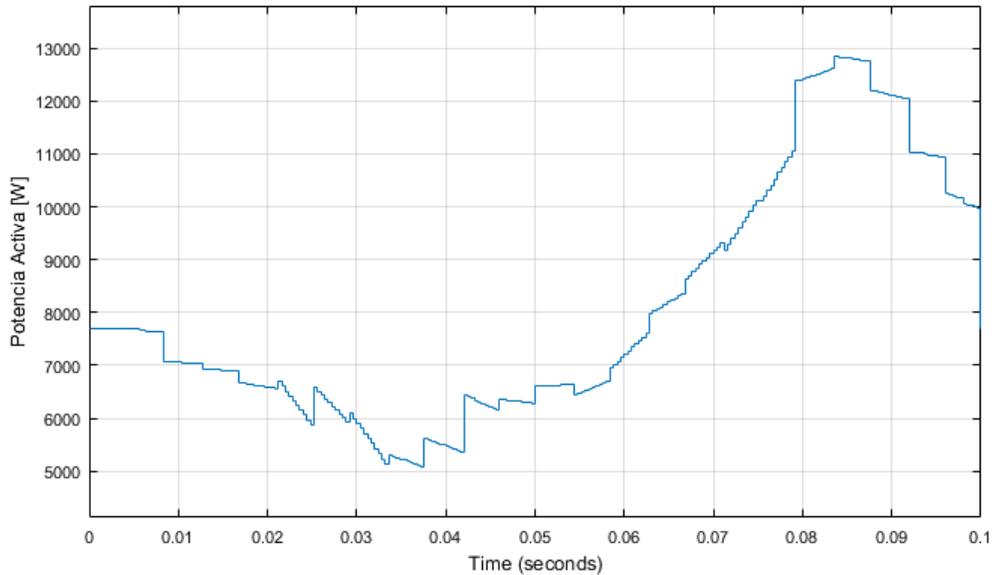


Figura 81. Potencia activa total con el 25% de paneles fotovoltaicos.  
(AUTOR, 2018)

A pesar de haber acoplado 16 paneles solares todavía no se tiene un gran impacto en la potencia activa total, esto quiere decir que todavía es posible la inserción de más paneles solares. El menor consumo que existe es en las horas de la mañana entre las 9 y 10 am es allí donde mayor impacto tiene los paneles solares. En la tabla que se presenta a continuación se muestra todos los valores de potencia eléctrica extraídos de la simulación.

Tabla 11. Valores de potencia con la implementación del 25% de paneles fotovoltaicos.

<i>Tiempo Simulink</i> [s]	<i>Horas del día</i> [H]	<i>Potencia Activa</i> [W]	<i>Potencia Reactiva</i> [var]
0,004	1	7704,1122	1571,5746
0,008	2	7627,35986	1571,5746
0,013	3	7047,2657	1440,61005
0,017	4	6902,58581	1414,58395
0,021	5	6706,98271	1362,03132
0,025	6	6912,3594	1414,08352
0,029	7	6139,49105	1596,26622
0,033	8	5303,05276	1650,15333
0,038	9	5276,61744	1702,20553
0,042	10	5563,74436	1833,5037
0,046	11	6386,41289	2093,7647
0,050	12	6843,40015	2226,39735
0,054	13	6896,93524	2226,39735
0,058	14	6924,88625	2174,34515
0,063	15	7790,29334	2226,39735
0,067	16	8525,85723	2304,47565
0,071	17	9436,38516	2357,3619
0,075	18	10187,2359	2305,3097
0,079	19	12394,1387	2565,5707
0,083	20	12609,2062	2666,90518
0,088	21	12195,4061	2488,82688
0,092	22	12052,6319	2488,32645
0,096	23	10948,6103	2254,09155
0,100	24	7704,1122	1571,5746

(AUTOR, 2018).

#### 4.3.3 Generación distribuida con el 50% de paneles solares acoplados a la red de bajo voltaje

Al observar los resultados presentados se hará la inserción de paneles fotovoltaicos a la mitad de los clientes, es decir a 32 viviendas que contarán con

paneles solares, en este caso no se presentará la gráfica de la inserción de paneles solares a cada uno de los clientes, debido a que es un número grande. La grafica prioritaria es el resultado de la curva de potencia activa para poder observar el comportamiento de los paneles implementados y la curva de la red de distribución eléctrica simulada.

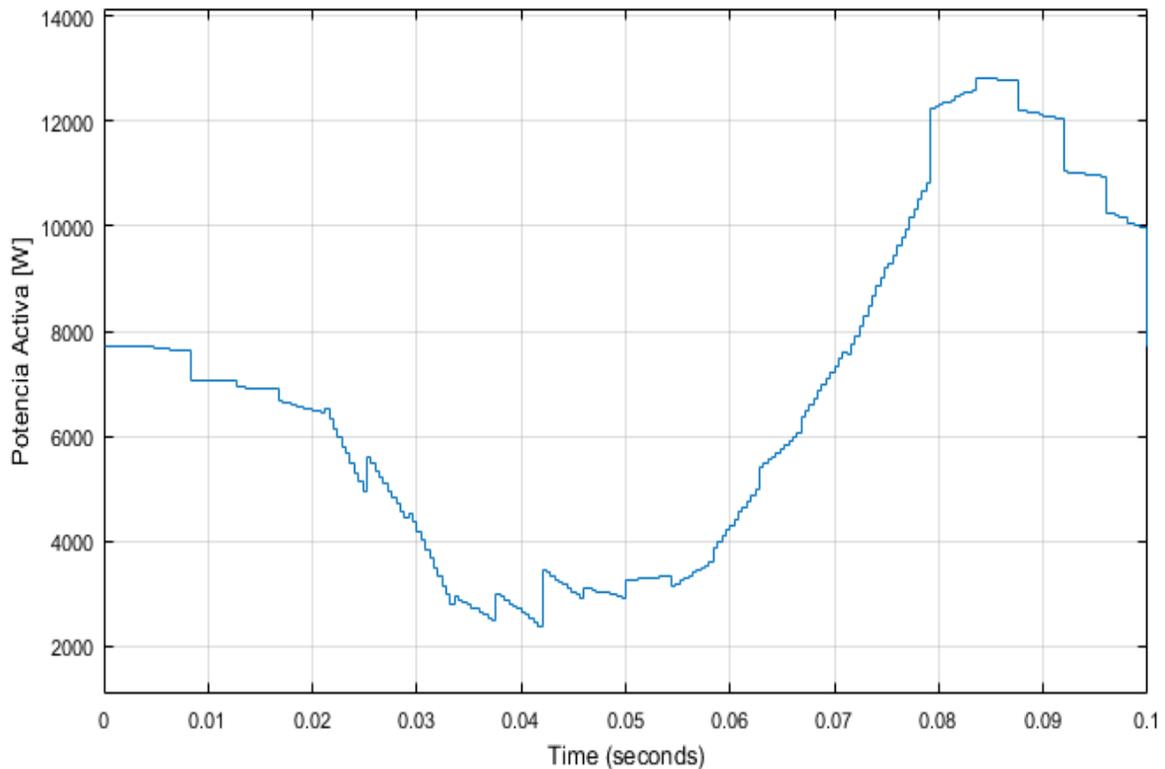


Figura 82. Potencia Activa con el 50% de paneles solares acoplados.  
(AUTOR, 2018).

Al ser insertado un número grande de paneles solares el efecto que causa en la red es muy notorio, comparado con la gráfica inicial se ha reducido un consumo promedio de 5kW, pero según la gráfica anterior y la tabla de datos presentada a continuación es posible la inserción de más paneles solares a la red de servicio público de energía eléctrica.

Tabla 12. Valores de potencia con la implementación del 50% de paneles fotovoltaicos.

<i>Tiempo Simulink</i> [s]	<i>Horas del día</i> [H]	<i>Potencia Activa</i> [W]	<i>Potencia Reactiva</i> [var]
0,004	1	7704,1122	1571,5746
0,008	2	7627,35986	1571,5746
0,013	3	7047,2657	1440,61005
0,017	4	6902,58581	1414,58395
0,021	5	6460,08335	1362,03132
0,025	6	5080,87682	1414,08352
0,029	7	4345,06046	1596,26622
0,033	8	2650,61281	1650,15333
0,038	9	2314,94884	1702,20553
0,042	10	2188,58762	1833,5037
0,046	11	2699,77426	2093,7647
0,050	12	3012,09775	2226,39735
0,054	13	3272,59996	2226,39735
0,058	14	3384,53022	2174,34515
0,063	15	4804,57591	2226,39735
0,067	16	5886,21253	2304,47565
0,071	17	7471,92914	2357,3619
0,075	18	9155,36045	2305,3097
0,079	19	12215,833	2565,5707
0,083	20	12603,4558	2666,90518
0,088	21	12195,4061	2488,82688
0,092	22	12052,6319	2488,32645
0,096	23	10948,6103	2254,09155
0,100	24	7704,1122	1571,5746

(AUTOR, 2018).

#### 4.3.4 Generación distribuida con el 70% de paneles solares acoplados a la red de bajo voltaje

La inserción del 70% de paneles fotovoltaicos (45 paneles) es un promedio demasiado grande, y los problemas que puedan surgir con la curva de potencia activa de la red de distribución simulada será muy notoria, por ello primero se

visualiza el comportamiento de la curva de la red con la inserción de paneles fotovoltaicos y después se analizara el efecto que conlleva cada una de ellas.

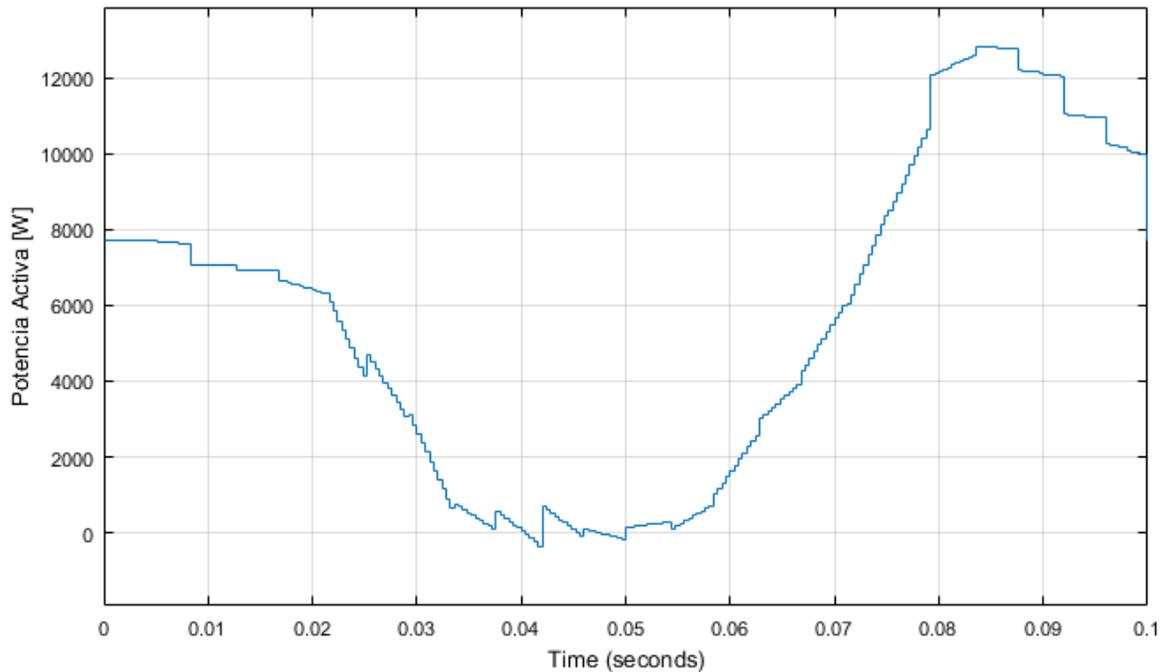


Figura 83. Potencia activa con el 70% de paneles fotovoltaicos.  
(AUTOR, 2018)

En base a la gráfica anterior, el acople de paneles fotovoltaicos está a su límite, ya que si se observa en los tiempo 0.04 a 0.05 de la figura 83, la potencia activa es eliminada y en ciertos momentos los paneles fotovoltaicos abastece más de lo requerido.

Los tiempos de 0.04 a 0.05 de la figura 83, corresponden a las 10:00 hasta las 12:00 respectivamente, es allí cuando los paneles fotovoltaicos están generando a su máxima potencia.

Tabla 13. Valores de potencia con la implementación del 70% de paneles fotovoltaicos en la red pública.

<i>Tiempo Simulink [s]</i>	<i>Horas del día [H]</i>	<i>Potencia Activa [W]</i>	<i>Potencia Reactiva [var]</i>
0,004	1	7704,1122	1571,5746
0,008	2	7627,35986	1571,5746
0,013	3	7047,2657	1440,61005
0,017	4	6902,58581	1414,58395
0,021	5	6706,98271	1362,03132
0,025	6	6709,69531	1414,08352
0,029	7	3300,75469	1596,26622
0,033	8	661,282846	1650,15333
0,038	9	93,6973831	1702,20553
0,042	10	-88,3356321	1833,5037
0,046	11	-65,2047191	2093,7647
0,050	12	-13,62095	2226,39735
0,054	13	332,58814	2226,39735
0,058	14	726,724058	2174,34515
0,063	15	2565,70363	2226,39735
0,067	16	3906,479	2304,47565
0,071	17	5998,58712	2357,3619
0,075	18	7329,45586	2305,3097
0,079	19	12082,1037	2565,5707
0,083	20	12599,1429	2666,90518
0,088	21	12195,4061	2488,82688
0,092	22	12052,6319	2488,32645
0,096	23	10948,6103	2254,09155
0,100	24	7704,1122	1571,5746

(AUTOR, 2018)

Un total de 45 paneles solares son requeridos para abastecer una demanda de la red de bajo voltaje tipo, pero al ser un número grande de acople de paneles solares es necesario realizar un análisis de cuáles son sus efectos.

#### **4.4 Efectos generados por el acople de paneles fotovoltaicos.**

- En ciertos lugares donde no se puede llegar con líneas de distribución es necesario la implementación de la generación mediante paneles solares u otro tipo de energía renovable. Al incorporar paneles solares a una red de distribución la idea principal es aportar de manera positiva es decir ayudar con el abastecimiento de energía a viviendas, por ello uno de los efectos principales y positivos es el aporte que brinda y además al implementar este tipo de energía se aporta con el medio ambiente al ser una energía renovable.
  
- Si bien es conocido a nivel mundial, la factibilidad de introducir un sistema fotovoltaico a una matriz eléctrica tiene un grado congruentemente importante. Un efecto a presentarse es el acople de múltiples paneles solares a una misma red y como se conoce, cada uno de ellos requiere de un inversor de corriente DC-AC, dicho inversor genera armónicos y al ser un una red única al cual se conectan muchos paneles solares, los armónicos terminarían por alterar la calidad de servicio eléctrico de la red conjuntamente con el transformador, por ello es necesario la utilización de filtros o la utilización de inversores que cumplan los requerimientos de seguridad y la calidad de energía inyectada, establecido en la norma IEC 61000-3-2:2018 (Anexo B).
  
- El factor de potencia es muy importante en sistemas eléctricos y en base a las características del receptor los distintos tipos de potencias establecerán el FP. Es necesario detallar que la Empresa Eléctrica Centro Sur, establece un factor de potencia límite regulado el cual es de 0.92, si un sistema eléctrico está por debajo de este FP la empre eléctrica Centro Sur penaliza facturando el consumo de energía eléctrica. En base a este criterio, se realiza un análisis de los resultados presentados en la figura 77 y la tabla 10, donde están acoplados el 10% de paneles solares a la red. Parte el análisis donde se inserta un panel solar no se realiza ningún análisis debido a que no existe un impacto significativo con respecto a la figura 72 y 73. En base la tabla 10 se realiza un promedio en las horas donde aporta potencia eléctrica los paneles fotovoltaicos, el promedio de potencia activa en horas donde aporta los paneles fotovoltaicos es de 9311,9835 W y en potencia reactiva 2008,51242 var. En base a la figura 17 se

aplica la fórmula de las funciones trigonométricas para determinar el  $\cos \varphi = P. \text{ Activa} / P. \text{ Aparente}$ . Como resultado se tiene un factor de potencia promedio de 0.97 el cual está dentro de los rangos permitidos y sobre todo esto nos dice que el acople de paneles fotovoltaicos al 10% ayuda al abastecimiento del sistema eléctrico.

Una vez realizado el análisis con el 10 %, se efectúa el mismo análisis para el 25 %, en base al estudio en la figura 81 y tabla 11 se obtiene un promedio de potencia activa 7091,2824 W y de la potencia reactiva 2008,51242 var, obteniendo un factor de potencia  $\cos \varphi = 0.95$ . Esto nos dice que al 25% de acople de paneles fotovoltaicos en la red es confiable debido a que el factor de potencia se encuentra dentro de los parámetros establecidos.

El mismo procedimiento se aplica para realizar el estudio cuando se conecta el 50% de paneles solares; en la figura 82 y la tabla 12 se tiene un promedio de potencia activa en horas de aporte del panel solar de 4328,2436 W y la potencia reactiva 2008,51242 var, donde se obtiene un factor de potencia  $\cos \varphi = 0,90$ . El FP no se encuentra dentro del rango permitido; pero no es un valor que se encuentra muy alejado del cual está autorizado. El sistema eléctrico sigue trabajando de manera normal, es decir el  $\cos \varphi$  no se encuentra en valores bajos críticos, lo más recomendable en este caso es tratar de compensar el ángulo con la instalación de condensadores para mejorar el FP.

- El último análisis se realiza con el acople del 70% de acople de paneles solares, en base a la figura 83 y a la tabla 13 donde el promedio de potencia activa es de 2419,83129 W y la potencia reactiva es de 2008,51242 var y el valor  $\cos \varphi = 0.76$ . en este caso el factor de potencia es crítico ya que al momento de insertar demasiados paneles fotovoltaicos el factor de potencia disminuye y al momento de tener un FP bajo existe problemas tales como: (Renzetti, 2014)

1. Reducción de la vida útil de los equipos elementos tales como conductores, transformadores, generadores.
2. Los equipos eléctricos trabajen a un régimen mayor de lo necesario.
3. Calentamiento de conductores e incremento de las pérdidas.
4. Aumento de las caídas de voltaje.

En la tabla 13 se observa valores de potencia activa que están por debajo de los valores de potencia reactiva y es por ello que el factor de potencia disminuye; todo el sistema eléctrico presentara inconvenientes como los mencionados anteriormente.

## CONCLUSIONES

En la actualidad la tecnología está avanzando a pasos gigantescos en todas las áreas y en lo que corresponde al área eléctrica se tiene una noción a futuro donde cada vivienda genere su propia electricidad la cual puede ser inyectada a la red (Smart Grid).

En este trabajo de titulación, los resultados obtenidos desde la simulación son cercanos a los reales debido a que los parámetros completados de cada elemento perteneciente a la red de bajo voltaje fueron llenados con datos reales obtenidos desde el Geoportal CENTROSUR. Los datos son cercanos mas no iguales ya que en este documento no se considera las pérdidas que pueden provocar cada inversor en cada uno de los acoples de los paneles solares a la red.

Según Pablo Martínez en su investigación titulada "Evaluación de Pérdidas de Energía en la Operación de Plantas Fotovoltaicas" menciona que: Las pérdidas en los inversores para paneles fotovoltaicos generalmente corresponde al 3, 17 %, donde el 2,1 % corresponde a pérdidas por fallos ocurridos durante la operación; el 1,07% corresponde a fallos en arranques y paradas. Por ende, a nuestra potencia total generada en los paneles solares se le resta el 3, 17 % correspondiente a pérdidas de los inversores.

Los resultados presentados con el 10 y 25%, es notorio que la red no sufre ningún cambio negativo en lo que corresponde en el factor de potencia. Pero con el 50 y 70 % se analiza que el factor de potencia disminuye a razón de más acoples de paneles solares, dándonos como problemas principales la reducción de la vida útil de los elementos eléctricos, incremento de pérdidas y trabajo innecesario de los equipos eléctricos, por ello el análisis que se presenta, implica que los paneles solares son un gran aporte en el momento de tener una fuente de generación alterna pero a mayor inyección de paneles solares a la red, mayores son los efectos presentes en relación al factor de potencia. Existe un punto donde los paneles solares son un gran aporte pero pasado ese límite ya no es idóneo en base a los resultados presentados anteriormente.

Mediante este trabajo de titulación se puede afirmar que los datos obtenidos son muy cercanos a los reales, por ende, los resultados presentados en lo que corresponde al factor de potencia tiene una gran lógica ya que un sistema eléctrico

el FP no puede estar por debajo de 0.92, lo que sucede en el caso 1 y 2 con el análisis del 10 y 15 % respectivamente.

## RECOMENDACIONES

En base a los inconvenientes presentados en este trabajo de titulación, lo ideal sería realizar un análisis en la corrección del factor de potencia ya que existirán momentos donde sea netamente necesario el abastecimiento total de la red mediante paneles fotovoltaicos

Conforme a la continuidad de la tecnología y en aporte a las Smart Grid es necesario realizar el mismo análisis de generación distribuida a través de generadores eólicos y la simulación de consumo de carga mediante vehículos eléctricos o cocinas de inducción ya que todo esto será la tecnología del futuro. Además es necesario el estudio de una red de distribución donde cada hogar presente múltiples cargas y cuente con varias alternativas de generación utilizando fuentes renovables.

Como resultados obtenidos en este documento se menciona un límite de instalación de paneles solares ya que una vez excedido el número de paneles la red se volverá inestable y bidireccional, las redes existentes no están preparadas para dicho evento, es necesario tomar en cuenta la cantidad de paneles solares a ser insertadas a la red mediante una simulación previa.

Es necesario en próximos trabajos de simulación tomar en cuenta las pérdidas de los inversores ya que es necesario acercarnos a los resultados reales los más próximos posibles.

## BIBLIOGRAFÍA

- AUTOR. (2018). *SIMULACIÓN DE UN SISTEMA EXPERIMENTAL FOTOVOLTAICO CONECTADO A LA RED MEDIANTE EL USO DE OPAL-RT*. CUENCA.
- Borrell, A. M. (2017). *Diseño de un lazo de seguimiento de fase (PLL)*. Barcelona.
- CENTROSUR. (11 de MAYO de 2018). *GEOPORTAL*. Recuperado el 11 de MAYO de 2018, de GIS-GEOPORTAL: <http://www.geoportal.centrosur.com.ec/>
- CERTSI. (2017). *Guía de seguridad en protocolos industriales Smart Grid. Cert de seguridad e industria, 24*.
- CHRISTIAN FABIÁN PARRA PACHECO, C. X. (2016). *DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL SCADA Y LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA DE UNA MICROGRID PROPUESTA PARA CIUDAD CELESTE LA MARINA*. Guayaquil.
- CONELEC. (2001). *Calidad del servicio eléctrico de distribución*. Quito.
- CONELEC. (2008). *Atlas solar del Ecuador*.
- CONELEC, Guerrero, X. S., & Rodríguez, S. D. (2018). *PLAN MAESTRO DE ELECTRIFICACION*. QUITO: Advantlogic Ecuador S.A.
- Dazne, A. (8 de 06 de 2012). *ARQuitectura*. Obtenido de <http://blog.is-arquitectura.es/2012/07/08/paneles-fotovoltaicos-con-doble-cara-de-bsolar/>
- Energías Renovables*. (2016). Obtenido de <http://www.energiasrenovablesinfo.com/solar/tipos-paneles-fotovoltaicos/>
- Enriquez Harper, G. (2006). *La calidad de la energía en los sistemas eléctricos*. Mexico: LImunosa.
- Enriquez Harper, G. (2013). *El ABC de las energías renovables en los sistemas eléctricos*. Mexico: Luminosa.
- J. Bélanger, P. V.-N. (2015). *The What, Where and Why of Real-Time Simulation*.
- Lange, J. (s.f.). *New Automation Concept with OPC Unified Architecture. Softinn Industrial Automation*.
- Llumiquinga, F. (2013). *Diseño de un banco de condensadores para la corrección del factor de potencia de la empresa Banchisfood S.A*. Quito.

- Millaray, M. E. (2016). *Diseño de sistema de generacion Fotovoltaica para viviendas conecctadas a la red de distribucion, en el contexto de la ley N° 20.571*. Santiago de Chile.
- Ñauta, L. (2018). *Analisis de calidad de energia electrica en sistemas fotovoltaicos de 460W conectados a la red en una casa tipo*. Cuenca: UCACUE.
- OPAL RT. (2015). OPAL RT, RT-LAB HELP, 2015. *OPAL RT*.
- Ortega, V. G. (2014). *Simulador Convertidores DC-DC*.
- Oscar Núñez Mata, D. O.-B. (2013). *MICRORREDES EN LA RED ELÉCTRICA DEL FUTURO - CASO HUATACONDO*. Chile.
- Pelaez Samaniego, M. S., & Espinosa Abab, J. L. (2015). *Energias renovables en el Ecuador*. Cuenca: Graficas hernandez.
- Renzetti, M. A. (2014). Factor de potencia. *Notas sobre el Factor de potencia*, 9.
- Roca, J. L. (2014). *Introduccion a la Electronica de Potencia*. España - Valencia.
- Varas, D. R. (2015). *DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATICO CON REDE PETRI PARA EL CONTROL DEL FACTOR DE POTENCIA*. QUITO.
- Wildi, T. (s.f.). *Máquinas eléctricas y sistemas de potencia*.

## ANEXOS

**Anexo A. Tabla de todos los clientes perteneciente al transformador 4180 con el promedio de potencia activa y reactiva**

<b>Código Usuario</b>	<b>Nombre Usuario</b>	<b>Numero Medidor</b>	<b>P. ACT [W]</b>	<b>P. REAC [var]</b>
3026986	MARIA ROCIO LLIGUICOTA	2013211733	505,458	104,258
295345	CESAR HUMBERTO JARA	2015002954	110,423	22,776
1395169	ROLANDO PATRIC QUIZHPE	71421	0	0
295436	VICTOR MANUEL FAJARDO	2015002949	80,873	16,681
295303	ANA DE LOURDES QUEZADA	11998627	45,102	9,303
295311	MARIA EUILALIA FLORES	2015010825	157,081	32,4
295238	JULIA EVANGELINA BARROS	2014259959	584,776	120,619
293910	CLAUDIA ESPERANZA JACHERO	71247	220,846	45,553
295287	MANUEL RIVAS	1000610238	258,172	53,252
295428	LUIS HUMBERTO UCHO	10481204	331,269	68,329
1922483	NANCY GUADALUPE CARABAJO	1000505780	101,092	20,852
295295	MARIA BRAVO	2015022492	125,976	25,984
295352	WILSON ORLANDO MANCHENO	2013300746	295,499	60,951
295451	JULIA MARIA AVECILLAS	85490	802,512	165,53
1298249	MIGUEL ANGEL NARVAEZ	83962	239,509	49,402
295444	MARIA ELENA FAJARDO	6212908	326,604	67,367
292664	LEONIDAS QUIZHPE	11078961	49,768	10,265
292672	RAFAEL ARTURO AVILA	11079539	222,402	45,874
3668175	GINA LORENA PARRA	2015010827	510,124	105,221
1485382	JUAN FERNANDO PERALTA	288326	35,771	7,378
295410	SERGIO TOCACHI	2010126101	0	0

<b>295279</b>	TOMAS EDUARDO CARVAJO	1000514608	111,978	23,097
<b>1298231</b>	LUIS ALBERTO LUPERCIO	81045	87,094	17,965
<b>3200300</b>	CARLOS RUBEN LOJANO	1000542814	169,523	34,967
<b>295394</b>	MIGUEL TOCACHI	11659548	1,555	0,321
<b>295204</b>	MARIANA DE JESUS ZHANAY	2015017101	360,819	74,425
<b>295196</b>	JUAN ALEJANDRO AYAVACA	2015003176	307,941	63,517
<b>1120724</b>	CARLOS RUBEN LOJANO	1000542809	96,426	19,889
<b>295212</b>	JUAN FERNANDO ZHANAY	1502721304	208,404	42,987
<b>1861459</b>	MANUEL VIRGILIO MONTALEZA	201205306	236,399	48,761
<b>295261</b>	MARIANA DE JESUS SINCHI	2015010832	111,978	23,097
<b>295477</b>	JUAN HERNAN FAJARDO	2015002955	365,485	75,387
<b>295337</b>	JOSE ORLANDO VASQUEZ	1000551999	83,984	17,323
<b>2125953</b>	MARIA TERESA TORRES	2015003180	147,749	30,476
<b>295386</b>	JUAN FERNANDO PERALTA	2013300869	348,377	71,858
<b>1922491</b>	TOMAS EDUARDO CARVAJO	1000505784	213,07	43,949
<b>3721727</b>	FELIPE EFRAIN JIMENEZ	2015002950	320,383	66,084
<b>295220</b>	TEOFILO SEBASTIAN PARRA	2015010828	354,598	73,141
<b>295402</b>	JOSE MANUEL ASTUDILLO	2015009959	188,186	38,816
<b>1144351</b>	MARIANA NARVAEZ	201203312	143,083	29,513
<b>295329</b>	OLGA MARIA QUIZHPI	2013211734	136,862	28,23
<b>3775087</b>	JAIME XAVIER ORTIZ	2015002951	233,288	48,119
<b>3881414</b>	LUIS ALBERTO LUPERCIO	1502721187	60,655	12,511
<b>3877222</b>	MONICA EULALIA BRAVO	1502721181	264,393	54,535
<b>3881398</b>	LUIS ALBERTO LUPERCIO	80090	545,895	112,599
<b>3881406</b>	LUIS ALBERTO LUPERCIO	82505	32,66	6,737
<b>3799244</b>	JOSE ELIAS MENDEZ	225061	245,73	50,686
<b>4075578</b>	ANDREA ELIZABETH CALDAS	2015002952	451,024	93,031

1989342	CLEMENCIA BEATRIZ BRAVO	2013221399	0	0
295360	CLEMENCIA BEATRIZ BRAVO	2013221394	155,526	32,08
4499836	MARIANA DE JESUS ZHANAY	2015017094	186,631	38,495
4499802	MARIANA DE JESUS ZHANAY	2015017097	108,868	22,456
4499828	MARIANA DE JESUS ZHANAY	2015017089	0	0
4499810	MARIANA DE JESUS ZHANAY	2015017093	59,1	12,19
4638201	MANUEL JESUS BACUILIMA	2013211735	505,458	104,258
4648044	OLGA MARIA QUIZHPI	2013211736	97,981	20,21
4694451	AIDA AGUSTINA BRAVO	2013221398	149,305	30,796
295378	AIDA AGUSTINA BRAVO	11141161	157,081	32,4
4893632	JUAN HERNAN FAJARDO	2015000212	52,879	10,907
4893640	JUAN HERNAN FAJARDO	2015000216	62,21	12,832
4875779	MANUEL JESUS BACUILIMA	1502722034	54,434	11,228
4953840	HOLGER LUCIANO PESANTEZ	1000494945	216,18	44,591
4965570	LUIS ALFONZO QUIZHPI	1000482782	0	0
4989620	WILSON ORLANDO MANCHENO	1000545155	0	0

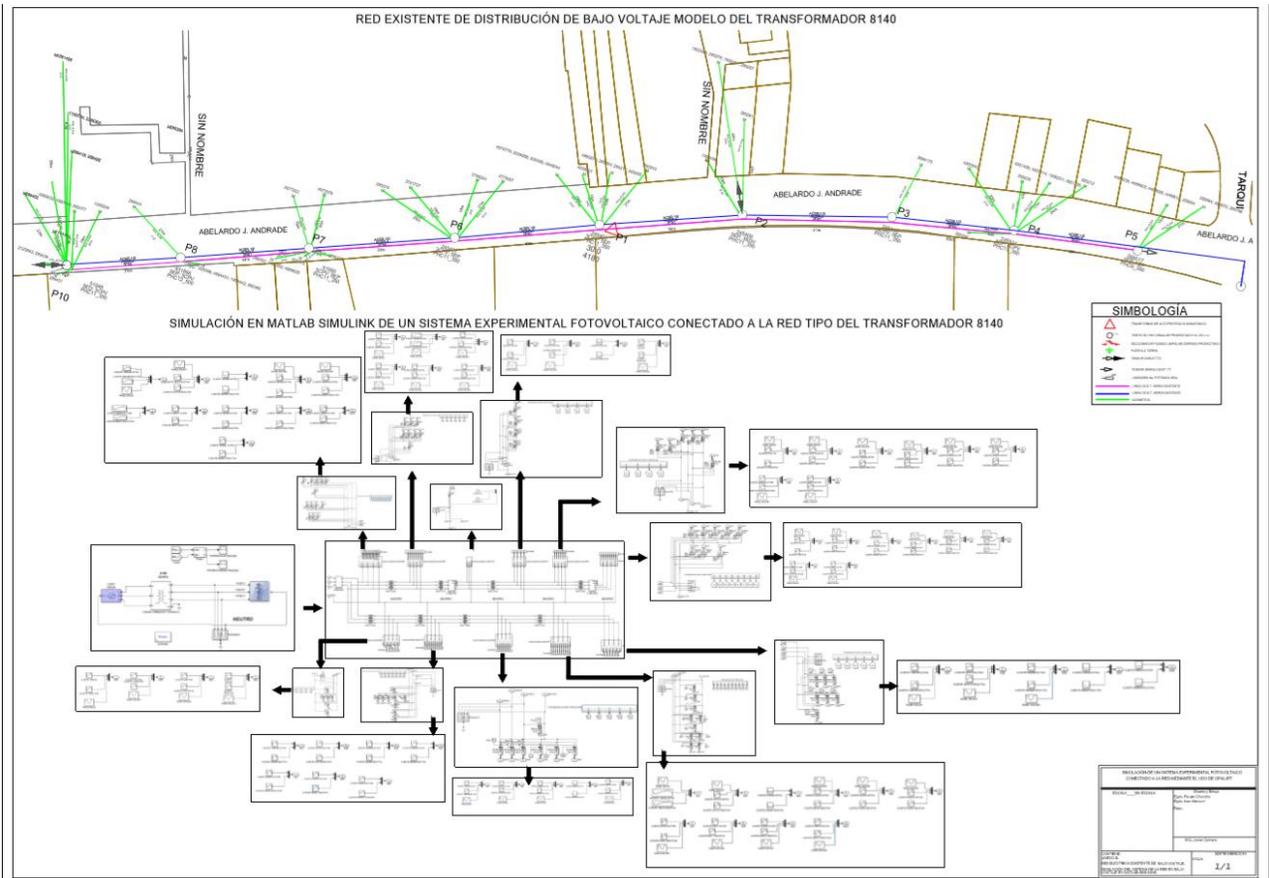
#### **Anexo B. Norma IEC 61000-3-2: 2018.**

La Norma IEC 61000-3-2: 2018. Es un nuevo estándar que aplica a equipos que usan un voltaje no inferior a 220 V y una corriente de hasta 16 A por fase, utilizada para limitar la emisión de corrientes armónicas con el objetivo de reducir la contaminación de la red eléctrica, reducir la pérdida de transmisión y la distorsión de la forma de onda de la tensión de red.

### Anexo C. Valores límites de THD

ORDEN(n) DE LA ARMONICA Y THD	TOLERANCIA [Vi'] o [THD'%] (En el punto de medición )	
	V>40KV (otros puntos)	V≤40KV(trafos de distribución)
10		
5	2.0	6.0
7	2.0	5.0
11	1.5	3.5
13	1.5	3.0
17	1.0	2.0
19	1.0	1.5
23	0.7	1.5
25	0.7	1.5
>25	$0.1 + 0.6 * 25 / n$	$0.2 + 1.3 * 25 / n$
<b>Impares múltiplos de 3</b>		
3	1.5	5.0
9	1.0	1.5
15	0.3	0.3
21	0.2	0.2
>21	0.2	0.2
<b>Pares.</b>		
2	1.5	2.0
4	1.0	1.0
6	0.5	0.5
8	0.2	0.5
10	0.2	0.5
12	0.2	0.2
>12	0.2	0.5
<b>THD</b>	3	8

## Anexo D. Diagrama de la simulación y red simulada





**UNIVERSIDAD  
CATÓLICA DE CUENCA**  
COMUNIDAD EDUCATIVA AL SERVICIO DEL PUEBLO

**PERMISO DEL AUTOR DE TESIS PARA SUBIR AL REPOSITORIO  
INSTITUCIONAL**

Yo, **Iván Patricio Atancuri Gordillo** portador(a) de la cédula de ciudadanía N° 0104309588. En calidad de autor/a y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación **“Simulación de un sistema experimental fotovoltaico conectado a la red mediante el uso de opal-rt”** de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizo a la Universidad para que realice la publicación de éste trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 26 de noviembre del 2018

F: 

Iván Patricio Atancuri Gordillo  
C.I. 0104309588



**UNIVERSIDAD  
CATÓLICA DE CUENCA**  
COMUNIDAD EDUCATIVA AL SERVICIO DEL PUEBLO

---

**PERMISO DEL AUTOR DE TESIS PARA SUBIR AL REPOSITORIO  
INSTITUCIONAL**

Yo, **Fausto Vinicio Chunzho Niveló** portador(a) de la cédula de ciudadanía N° 0106011984. En calidad de autor/a y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación "**Simulación de un sistema experimental fotovoltaico conectado a la red mediante el uso de opal-rt**" de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizo a la Universidad para que realice la publicación de éste trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 26 de noviembre del 2018

F:   
Fausto Vinicio Chunzho Niveló  
C.I. 0106011984