



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES**

TEMA:

**Diseño y simulación en Simulink de una red eléctrica inteligente
para la telegestión de la urbanización Las Arenas del Cantón
Salinas.**

AUTOR:

Ing. Esteven Daniel Acosta Campoverde

**Trabajo de titulación previo a la obtención del grado de
Magister en Telecomunicaciones**

TUTOR:

Ing. Manuel Romero Paz MSc.

Guayaquil, a los 22 días del mes junio del año 2022



**SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES**

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por Esteven Daniel Acosta Campoverde como requerimiento parcial para la obtención del Título de Magíster en Telecomunicaciones.

TUTOR

MSc. Manuel Romero Paz

DIRECTOR DEL PROGRAMA

MSc. Manuel Romero Paz

Guayaquil, a los 22 días del mes junio del año 2022



SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

YO, Esteven Daniel Acosta Campoverde

DECLARO QUE:

El trabajo de Titulación **“Diseño y simulación en Simulink de una red eléctrica inteligente para la telegestión de la urbanización Las Arenas del Cantón Salinas.”** previa a la obtención del Título de **Magíster en Telecomunicaciones**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 22 días del mes junio del año 2022

EL AUTOR

Esteven Daniel Acosta Campoverde



**SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES**

AUTORIZACIÓN

YO, Esteven Daniel Acosta Campoverde

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación**, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **“Diseño y simulación en Simulink de una red eléctrica inteligente para la telegestión de la urbanización Las Arenas del Cantón Salinas.”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 22 días del mes junio del año 2022

EL AUTOR

Esteven Daniel Acosta Campoverde

REPORTE URKUND

URKUND

Documento	TT Esteven Acosta.docx (D134121156)
Presentado	2022-04-20 16:05 (-05:00)
Presentado por	Luis Córdova Rivadeneira (lcordova@yahoo.com)
Recibido	luis.cordova.ucsg@analysis.orkund.com
Mensaje	TT Ing. Esteven Acosta Mostrar el mensaje completo

29% de estas 23 páginas, se componen de texto presente en 5 fuentes.



SISTEMA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA: Diseño y simulación en Simulink de una red eléctrica inteligente para la telegestión de la urbanización Las Arenas del Cantón Salinas.

AUTOR: Ing. Esteven Daniel Acosta Campoverde

Trabajo de titulación previo a la obtención del grado de Magister en Telecomunicaciones

TUTOR: Ing. Manuel Romero Paz MSc.

Guayaquil, a los xx días del mes xx del año 2021

SISTEMA DE POSGRADO MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

CERTIFICACIÓN Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por Esteven Daniel Acosta Campoverde como requerimiento parcial para la obtención del Título de Magister en Telecomunicaciones.

TUTOR

Dedicatoria

A Dios por ser la parte fundamental en este proceso de superación académica. Ser la guía y fortaleza desde el comienzo, siendo compañero de travesía y luz durante todo el trayecto.

Por su labor, consejos, dedicación, apoyo y sacrificio incansable hasta el día de hoy, con un amor infinito y un sincero agradecimiento a mis padres, siendo el pilar fundamental para culminar estos estudios, enseñándome a no rendirme fácilmente ni dejarme vencer por ninguna situación negativa, siendo los mejores guías que Dios me envió.

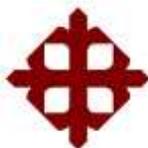
A mis hermanos, que con los logros que han obtenido se convirtieron en la fuente de inspiración y superación que necesitaba para perseguir los sueños y no dejarlos morir.

Agradecimientos

A la Universidad Católica Santiago de Guayaquil y la Facultad Técnica para el Desarrollo por brindarme la oportunidad de continuar mis estudios de cuarto nivel formando parte de la octava promoción de Maestría en Telecomunicaciones.

Al director de la maestría y tutor, MSc. Manuel Romero Paz, por ser un excelente docente y guía, orientando a los estudiantes en todos los ámbitos.

A los docentes de la Maestría en Telecomunicaciones, por su paciencia, respeto y ganas de compartir sus conocimientos de una manera excelente, teniendo la voluntad de ayudar en todo momento.



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES**

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. 

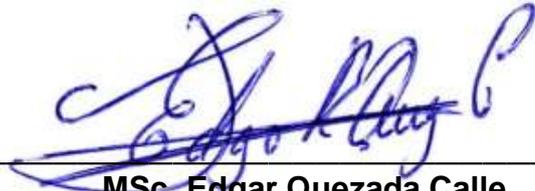
MSc. Manuel Romero Paz
TUTOR

f. 

MSc. Manuel Romero Paz
DIRECTOR DEL PROGRAMA

f. 

MSc. Luis Cordova Rivadeneira
REVISOR



MSc. Edgar Quezada Calle
REVISOR

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS	XI
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIII
RESUMEN.....	XIV
Capítulo 1: Introducción.....	2
1.1 Antecedentes	3
1.2 Planteamiento del problema.....	4
1.3 Definición del problema	5
1.4 Justificación del problema	5
1.5 Objeto de estudio	6
1.5.1 Objetivo general.....	6
1.5.2 Objetivos específicos.....	6
1.6 Hipótesis.....	6
1.7 Metodología de investigación	6
CAPITULO 2 . Caracterización de redes eléctricas inteligentes	8
2.1 Redes eléctricas tradicionales.....	8
2.2 Redes eléctricas inteligentes.....	10
2.2.1 Infraestructura de una red eléctrica inteligente.....	11
2.2.2 Elementos de una red eléctrica inteligente.....	12
2.2.3 Estándar IEEE 2030.....	14
2.3 Microredes de una Smart Grid	14
2.3.1 Infraestructura de medición avanzada.....	16
2.4 Automatización de la medición de energía.....	17
2.4.1 Integración de dispositivos inteligentes.....	17
2.4.2 Interoperabilidad de los sistemas.....	18
2.5 Tecnología en las Smart Grid.....	18
2.5.1 Control.....	18
2.5.2 Comunicación.....	19
2.5.3 Detección y medición.....	20
2.5.4 Simuladores y sistemas de información.....	20
2.5.5 Sistemas para monitorizar la red eléctrica.....	21
2.6 Comparación entre red eléctrica convencional y red inteligente.....	21

2.7	Análisis de sistemas lineales variantes en el tiempo en líneas de transmisión o PLC.....	23
2.7.1	Variables de una línea de transmisión.	23
2.8	Comunicación por la red eléctrica PLC	24
2.9	Clasificación de la red PLC	25
2.9.1	Red Interior o PLIC (Power Line Indoors Communications).	25
2.9.2	Red inteligente de distribución de energía eléctrica.....	28
2.9.3	Modelos de Simulación.....	28
CAPITULO 3 . DESARROLLO DEL DISEÑO		31
3.1	Ubicación.....	31
3.2	PLC para Baja Tensión	32
3.3	Infraestructura de PLC en BT	33
3.4	PLC para control del servicio eléctrico	34
3.5	Control PID y el PLC	36
3.6	Sistema de control de lazo abierto y lazo cerrado.....	37
Capítulo 4: Simulaciones, pruebas, resultados y análisis.....		39
4.1	Simulación.....	39
4.2	Pruebas	48
4.3	Resultados y análisis.....	52
-	Usuario con valores vencidos de planillas menor o igual a una.	52
-	Usuario con valores vencido de planillas dos en adelante	53
Conclusiones y Recomendaciones.....		54
Conclusiones		54
Recomendaciones		55
Bibliografía.....		56
GLOSARIO.....		59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Situación actual de un SEP centralizado.....	9
Figura 2 Distribución de electricidad a usuarios residenciales.....	10
Figura 3 Infraestructura de una red eléctrica inteligente.....	12
Figura 4 Esquema de unas micro redes híbrida para red SG.....	15
Figura 5 Arquitectura de comunicaciones en Smart Grid.....	17
Figura 6 Iniciativas y mejores prácticas de seguridad para el IOT.....	19
Figura 7 El viaje de la energía eléctrica y sus etapas: Generación, Transmisión, Distribución y Utilización.....	22
Figura 8 Tecnología PLC.....	25
Figura 9 Red Interior.....	26
Figura 10 Red de Acceso.....	27
Figura 11 Red de Media Tensión.....	28
Figura 12 Detalle de las Redes Eléctricas Inteligentes.....	29
Figura 13 Ubicación conjunto residencial las Arenas.....	31
Figura 14 Instalación de PLC incluyendo la red de MT.....	32
Figura 15 Bypass en el transformador eléctrico.....	34
Figura 16 Diagrama Ilustrativo Aplicación Smart Grids.....	35
Figura 17 Diagrama de sistema de bloque abierto.....	37
Figura 18 Diagrama de sistema de bloque cerrado.....	38
Figura 19 Simulación del circuito en Simulink.....	39
Figura 20 Primer bloque del circuito.....	40
Figura 21 Configuración primer bloque.....	41
Figura 22 Oscilógrafo primer bloque.....	41
Figura 23 Segundo bloque del circuito.....	42
Figura 24 Tercer bloque del circuito.....	42
Figura 25 Configuración tercer bloque.....	43
Figura 26 Oscilógrafo tercer bloque.....	43
Figura 27 Simulación medidor inteligente.....	44
Figura 28 Sistema de control.....	44
Figura 29 Bloque switch.....	45
Figura 30 Configuración del bloque suma.....	46
Figura 31 control PID.....	46

Figura 32 Configuración control PID.....	47
Figura 33 Configuración función de transferencia.	48
Figura 34 K_p con valores mayor a 10.....	49
Figura 35 K_d con valores menores a 100.....	49
Figura 36 K_i con valores mayores a 50.	50
Figura 37 N con valores menores a 100.....	50
Figura 38 Sistema sin control PID.	51
Figura 39 Función de transferencia modificada.....	51
Figura 40 Usuario con valores vencidos de planillas menores a una.	52
Figura 41 Usuario con valores vencido de planillas mayores a dos.	53

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 0-1 Elementos de arquitectura de Smart Grid. 13

Tabla 0-2 Fórmulas de alta y baja frecuencia..... 24

Tabla 0-1 Valores y condiciones del sistema..... 45

RESUMEN

Los sistemas Smart Grid o también conocidos como redes eléctricas inteligentes son una combinación entre las TIC, la automatización y el control, con este tipo de sistemas, se trata de asegurar la confiabilidad y seguridad energética, además poder reducir de manera significativa el uso de la energía, minimizando por ende también los costos. El presente trabajo de titulación muestra la simulación de un sistema Smart Grid en el programa Simulink de Matlab con la finalidad de comprender como opera una red inteligente en el medidor de energía del hogar de un abonado, creando una intercomunicación entre distribuidoras de electricidad, los proveedores y clientes. La implementación de estos sistemas muestra una evolución continua dentro la industria energética, ofreciendo múltiples ventajas que van desde el ahorro de energía hasta la integración de energías renovables aportando también en la conservación del medio ambiente, es por esta razón que se convierte en una necesidad explorar e investigar las alternativas que las Smart Grid ofrecen.

Palabras clave: Smart Grid; ahorro energético; automatización; red eléctrica inteligente; Simulink; Matlab.

ABSTRACT

Smart Grid systems or also known as intelligent electrical networks are a combination of ICT, automation and control, with this type of system, it is about ensuring reliability and energy security, as well as being able to significantly reduce the use of electricity. energy, thus also minimizing costs. The present degree work shows the simulation of a Smart Grid system in the Matlab Simulink program in order to understand how a smart grid operates in the energy meter of a subscriber's home, creating an intercommunication between electricity distributors, providers and clients. The implementation of these systems shows a continuous evolution within the energy industry, offering multiple advantages that range from energy savings to the integration of renewable energies, also contributing to the conservation of the environment, it is for this reason that it becomes a necessity to explore and investigate the alternatives that the Smart Grid offer.

Keywords: smartgrid; energy saving; automation; smart grid; simulink; matlab

Capítulo 1: Introducción

La tecnología PLC (Power Line Communicatios) creada por la empresa norteamericana de telecomunicaciones AT&T permite la transmisión de datos a través de las líneas eléctricas, mediante equipos diseñados con el propósito de poder controlar procesos que son secuenciales, especialmente en un ambiente industrial y en tiempo real.

Con la acelerada evolución tecnológica, las industrias se ven en la obligación de mejorar e innovar constantemente para poder seguir siendo competitivas. Es por eso que la industria de energía eléctrica necesita tener una transformación donde sus redes tradicionales pasarían a ser inteligentes o también conocidas como Smart Grid.

El uso de PLC era limitado en un comienzo, con el pasar de los años fue aumentando, logrando aplicarse en la medición inteligente en las redes energéticas, consiguiendo una evolución al realizar la toma de lecturas de medidores mensualmente y lograr realizar operaciones de gestión de elementos de baja tensión cercanas al tiempo real.

La Smart Grid a diferencia de una red eléctrica tradicional, emplea internet, así como también el uso de las herramientas informáticas y domóticas necesarias para que la comunicación no sea unidireccional, sino al contrario pueda fluir en ambas direcciones y poder dar una respuesta más fiable a la demanda de energía.

Es una red donde las líneas eléctricas transmiten datos, por eso es posible que los usuarios puedan vigilar su consumo a través de estas. Las Smart Grid permiten visualizar el consumo de energía en todo momento y no solamente a través de la planilla de luz, es decir, se puede medir y monitorizar el comportamiento eléctrico de los equipos que están conectados a la red inteligente.

Esta investigación busca adquirir resultados para comprobar si las redes eléctricas inteligentes permiten la gestión del servicio eléctrico en sus distintos aspectos (corte, reconexión y toma de lecturas) de manera estable. Por lo cual, a través de la simulación, se pretende comprobar la eficiencia de estos sistemas de última generación por medio de la telegestión, a diferencia de los medidores tradicionales.

Una vez finalizados los estudios previos, se procede al análisis de componentes y posterior simulación en el software Simulink para comprobar los datos obtenidos y corregir errores en caso de presentarse.

1.1 Antecedentes

La tecnología de las Smart Grid está teniendo cada vez más acogida, ya que gracias a la constante innovación tecnológica es posible que expertos puedan desarrollar sistemas que permitan la optimización de energía eléctrica a través de estas redes inteligentes.

Las redes eléctricas inteligentes (REI) o Smart Grid están compuestas por elementos del sistema eléctrico común (generación, transmisión, distribución, comercialización), junto con un sistema de telecomunicaciones.

La principal ventaja para innovar con esta tecnología es que es amigable con el medio ambiente, ya que permite la participación de energías renovables, buscando reducir los efectos de gas invernadero que producen el calentamiento global que tanto afecta al planeta.

En 2007 se creó en el Ecuador el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, MEER, dentro del orgánico funcional del MEER, que cuenta con la Subsecretaría de Energía Renovable y Eficiencia Energética y dentro de esta, la Dirección Nacional de Eficiencia Energética, que es la dependencia directamente a cargo de esta función. En 2012 se creó por Decreto Ejecutivo el Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables - INER, como una instancia de apoyo científico - técnico al MEER, para el desarrollo de políticas y proyectos en el campo de la eficiencia energética, siendo de mucha trascendencia su misión de generadora de prototipos para la eficiencia, reforzando la aplicación de nuevos proyectos para la educación y el fortalecimiento de capacidades de investigación e innovación de la eficiencia energética (CONELEC, 2015).

El Ecuador es el país pionero en la región en el tema de implementación de redes inteligentes, pues el gobierno ha puesto en marcha varias iniciativas, tales como: el cambio y diversificación de la matriz energética a través del desarrollo de las energías renovables (ocho proyectos hidroeléctricos, uno eólico, varios fotovoltaicos y de biomasa), nueva infraestructura de transmisión en 500 mil voltios, modernización e incorporación de tecnología de punta para la gestión de la red de distribución de nuevos proyectos. Todos los planes que se han implementado cambiarán la configuración actual de la matriz energética, minimizando la participación de centrales termoeléctricas e incluso se creará la posibilidad de exportar energía (Torres, 2013).

En la última década el sector energético se ha enfocado en asegurar el abastecimiento del servicio eléctrico bajo condiciones de soberanía, por medio del desarrollo de los diversos recursos energéticos del país y teniendo como prioridad la participación de las energías renovables, con el objetivo de diversificar la forma de producción en la matriz energética. Así también se ha fortalecido la institucionalidad del sector eléctrico en el país y se ha mejorado la gestión administrativa y técnica de las empresas energéticas que hay en el Ecuador, las cuales bajo el liderazgo del MEER (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable) han logrado resultados que no se han visto en la historia del Ecuador, los cuales han sido reconocidos a nivel nacional, regional y mundial.

1.2 Planteamiento del problema

La electricidad es uno de los recursos renovables fundamentales en la vida moderna, con los estudios e investigaciones que se han realizado en la actualidad, es posible que esta energía guiada a través de cables pueda transportar otras señales con equipos tecnológicos.

Sin embargo, al ser un tema que aún está en investigación, presenta algunas limitaciones; como la escasa presencia de estudios para las Smart Grid en un enfoque relacionado a la generación, distribución y consumo de la energía eléctrica a través de un control eficiente con la tecnología PLC.

1.3 Definición del problema

La limitación de las tecnologías en redes inteligentes que se emplean en la gestión remota para los distintos ámbitos en el servicio de energía eléctrica en la Corporación Nacional del Ecuador Unidad de negocio Santa Elena, a diferencia de otros servicios básicos, generan retardo y falta de personal, haciendo que los usuarios se sientan inconformes.

1.4 Justificación del problema

La Smart Grid se caracteriza por tener robustez y lograr soportar afecciones por parte de las personas, es decir, que la red está en la capacidad de identificar fallos y anomalías en el circuito o inclusive cortes de fluido eléctrico, buscando otras conexiones posibles con el fin de evitar que se produzca la suspensión del servicio.

El Ecuador actualmente busca impulsar la eficiencia energética a través de las Smart Grid, generando un cambio de fundamental relevancia en el consumo eléctrico de los usuarios.

Con las redes inteligentes, las distribuidoras de electricidad, en este caso la Corporación Nacional de Electricidad Unidad de Negocio Santa Elena, podrá mantener absoluto monitoreo del flujo de energía, con el fin de poder analizar la forma en que se consume la electricidad producida y de esta manera evitar pérdidas en la distribución, así también el análisis de posibles fallas que se presenten en el circuito entre la distribuidora y el consumidor final.

El país ha iniciado un proceso de modernización tecnológica en la gestión de las redes eléctricas, con el fin de establecer un estándar de procesos de control y administración de la energía, por lo que estratégica y secuencialmente se han reemplazado medidores convencionales por medidores inteligentes, para mejorar la lectura del consumo de energía.

1.5 Objeto de estudio

Redes eléctricas inteligentes.

1.5.1 Objetivo general.

Diseñar y simular en el software Simulink un sistema de red eléctrica inteligente para la telegestión del servicio eléctrico de la urbanización Las Arenas del Cantón Salinas.

1.5.2 Objetivos específicos.

- Realizar un estudio previo de las características de los elementos del sistema eléctrico inteligente a simular.
- Analizar, evaluar y determinar las configuraciones necesarias en la red eléctrica inteligente.
- Realizar las pruebas de simulación de los diferentes entornos posibles del diseño en el software Simulink.
- Analizar y comprobar los resultados obtenidos.

1.6 Hipótesis

Con el diseño de la red eléctrica inteligente se busca comprobar a través de la simulación, la reducción de tiempo y recurso en la gestión del servicio eléctrico.

1.7 Metodología de investigación

El presente trabajo de titulación de maestría utiliza la metodología descriptiva, la cual permite analizar las características y desempeño de las configuraciones de la tecnología PLC, así como sus ventajas y desventajas en las redes eléctricas inteligentes.

Se emplea también la metodología bibliográfica que sirve para analizar estudios realizados antes de la tecnología PLC en redes eléctricas de distribución, permitiendo la caracterización adecuada de éstas.

Por último, el diseño de trabajo es preexperimental, ya que no se alteran las variables de estudio, sino que se realiza una observación directa, mediante las simulaciones con la tecnología PLC.

CAPITULO 2 . Caracterización de redes eléctricas inteligentes

En este capítulo se presenta la caracterización de las redes eléctricas inteligentes, empezando por las tradicionales para poder realizar las respectivas comparaciones entre las dos tecnologías.

2.1 Redes eléctricas tradicionales

Se denomina redes eléctricas tradicionales a aquellas que son empleadas para brindar suministro de electricidad desde el proveedor hasta los consumidores. Esta red está compuesta por tres fases: generación, transmisión y distribución.

En la primera etapa, la generación de electricidad se produce por la conversión de recursos energéticos tales como el petróleo, energía hidroeléctrica, gas o nuclear en electricidad.

En Ecuador se posee un SEP (Sistema Eléctrico de Potencia) en una estructura de carácter centralizada. Esta estructura interconecta mediante anillos o barras a diferentes Centrales de Generación que aportan desde cientos de Megavatios (MW) hasta algunos Gigavatios (GW), operando niveles de Alta Tensión 60–220 Kilovoltios (KV) y Ultra Alta Tensión (mayores a 220 KV). La energía eléctrica luego se distribuye a subestaciones que disminuyen el nivel de tensión a valores en el rango de Alta Tensión (60–140 KV) (Peralta & Amaya, 2013).

La producción de electricidad a través de las centrales de generación, permite la eficiente transmisión de energía eléctrica a través de largas distancias. Una vez que la energía es aumentada a alta tensión se procede a la etapa de transmisión, en donde la energía es enviada en 3 fases por medio de líneas de transmisión de larga distancia, una por cada fase.

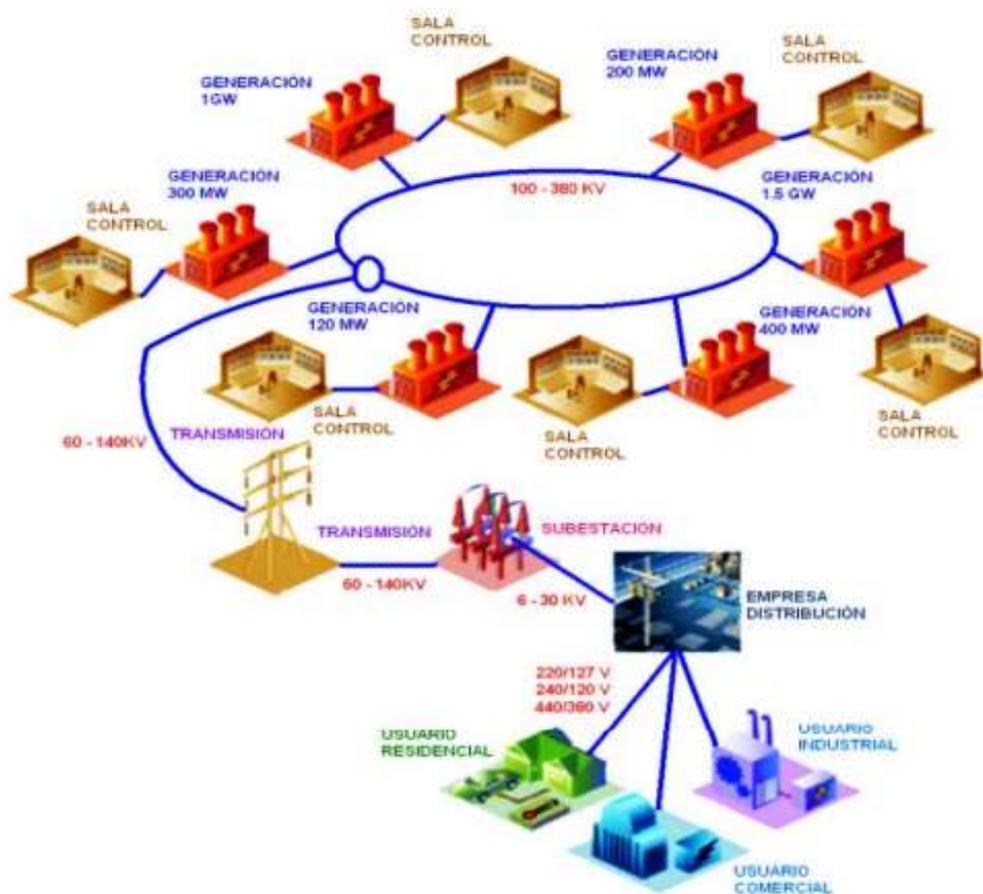


Figura 1 Situación actual de un SEP centralizado.

Fuente: (Peralta & Amaya, 2013)

Por lo tanto, la electricidad puede lograr ser transportada hasta las subestaciones eléctricas en donde se reduce la tensión a través de transformadores para que finalmente se reparta a toda la comunidad a través de las líneas de distribución y pueda ser utilizada en hogares, negocios e industrias.

El investigador (Moncayo, 2017) indica que el sistema de distribución está conformado por:

Subestaciones receptoras secundarias, donde se transforma la energía recibida de las líneas de subtransmisión y dan origen a los circuitos de distribución primarios.

Circuitos primarios: que recorren cada uno de los sectores urbanos y rurales suministrando potencia a los transformadores de distribución a voltajes como 13.2 kV, 11.4 kV, 7620 V, etc.

Transformadores de distribución: se conectan a un circuito primario y suministran servicio a los consumidores o abonados conectados al circuito secundario.

Circuito secundario: encargados de distribuir la energía a los usuarios con voltajes como 120/208 -120/240 V y en general voltajes hasta 600 V.

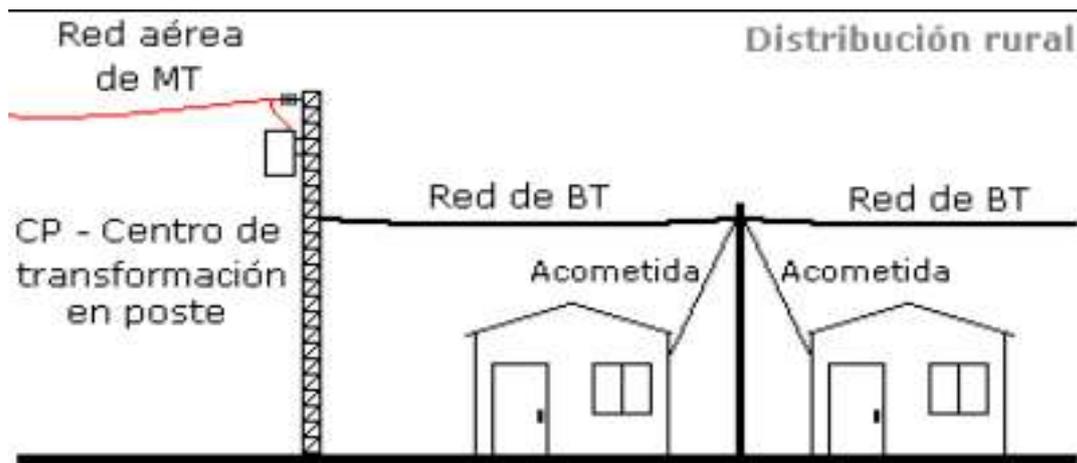


Figura 2 Distribución de electricidad a usuarios residenciales.

Fuente: (AltaBaja Blogspot, 2016)

2.2 Redes eléctricas inteligentes

También conocidas como Smart Grid, se les denomina a las redes de distribución eléctrica inteligente, definiéndose como red bidireccional, con la capacidad de transmitir electricidad en ambos sentidos. Las Smart Grid son redes eléctricas combinadas con las tecnologías de la información, lo cual permite proporcionar datos a las empresas distribuidoras de electricidad como a los consumidores finales.

El uso de las redes eléctricas inteligentes, busca la eficiencia energética, reduciendo grandes pérdidas de electricidad que se producen en el trayecto desde la generación hasta el usuario final, por lo cual este tipo de red busca alcanzar objetivos de política energética, cambio climático y desarrollo sostenible.

2.2.1 Infraestructura de una red eléctrica inteligente.

Un sistema Smart Grid debe tener el objetivo de mejorar el sistema eléctrico convencional a través de la seguridad, flexibilidad, eficiencia, resiliencia, confiabilidad, y sustentabilidad. Principalmente con la capacidad de reestructurarse y recoger información sobre las posibles fallas que se presenten en el sistema y poder solucionarlas.

Para que esto sea posible, también se requiere la implementación de la tecnología de la información en la red eléctrica convencional. Siendo equipos que recopilen, analicen y almacenen la información geográfica y estadística del consumo energético, así también como el estado del sistema y de la adquisición de datos para control y monitoreo de los equipos de campo, para otorgar la energía eléctrica de manera segura, confiable y eficiente.

Los equipos de campo se denominan contadores de lectura telemática que permite la medición de consumo en tiempo real, tanto para la empresa proveedora del servicio como para el usuario final. Además de recopilar datos que permitan generar una estadística de hábito de consumo en cada sector, con el fin de mejorar la eficiencia de la red y contribuir con el ahorro energético.

Toda la información que pueda ser adquirida es enviada a un centro de control para analizarla, buscar fallas y mejorar la red.

El Service Center o Centro de operaciones es el puesto encargado de recibir y gestionar todos los datos que llegan a través de la Smart Grid en tiempo real. Las Smart Grids disponen de elementos de información y control en los centros de operaciones, lo que hace posible conocer la situación de la red e incluso actuar de manera remota sobre interruptores y otros elementos, contribuyendo a identificar y solucionar con mayor rapidez los problemas técnicos que se produzcan (Fundación Endesa, 2021).

Entre los principales beneficios de las REI (Redes Eléctricas Inteligentes) están incrementar la participación de las energías renovables, con lo cual se lograría una reducción de los gases de efecto invernadero, lograr precios competitivos en materia de electricidad, mejorar la calidad y confiabilidad del servicio, auto reparación de las fallas del sistema eléctrico, automatización del mantenimiento y reparación del mismo, entre otras (Santillán, 2017).

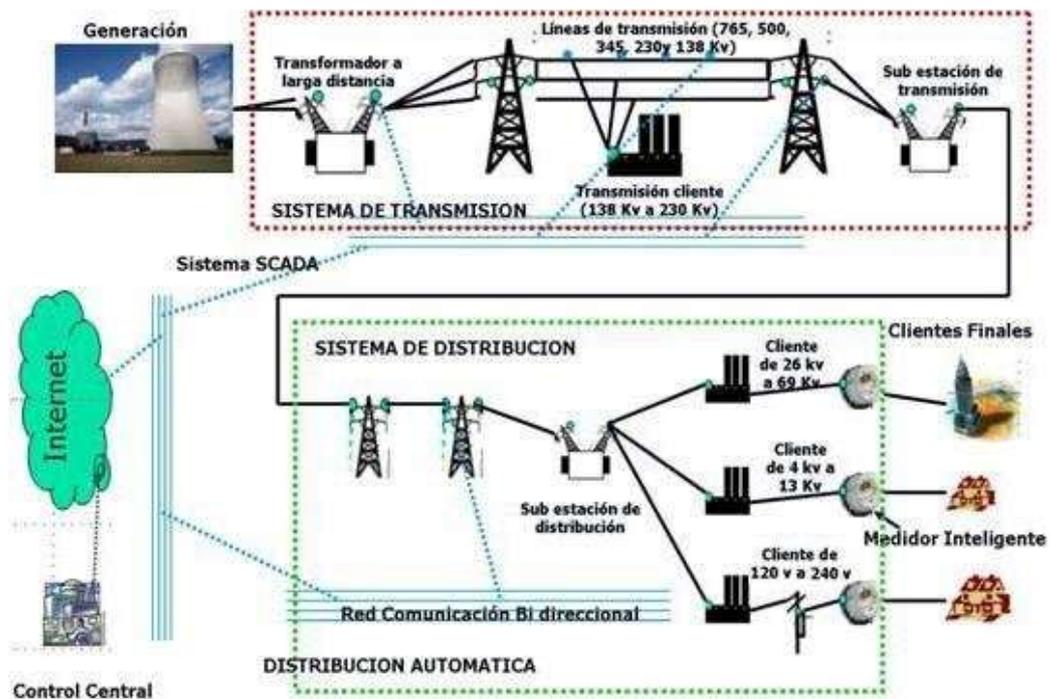


Figura 3 Infraestructura de una red eléctrica inteligente.

Fuente: (Orejuela, 2013)

2.2.2 Elementos de una red eléctrica inteligente.

Además de la arquitectura de las redes eléctricas convencionales, se agregan los clientes y proveedores del servicio, mercado, quienes ofertan la electricidad a los clientes, tanto instalación como mantenimiento. Otro sistema adicional es la operación que se encarga del monitoreo, control y gestión del flujo de electricidad en los distintos dominios de la red de distribución.

Estos elementos en conjunto permiten que la Smart Grid tenga ventaja en relación a la red convencional tanto en su funcionamiento, costo y eficiencia.

En la siguiente tabla se detallan características y de los elementos que conforman la arquitectura del Smart Grid.

Tabla 0-1

Elementos de arquitectura de Smart Grid.

Elemento	Detalle
Generación	Centrales eléctricas que producen la energía. Tienen la capacidad de almacenarla para una posterior distribución.
Transmisión	Son las subestaciones que reciben la energía de las centrales y que transfieren esa energía a otros dominios. También puede generar y almacenar la electricidad.
Distribución	Son los encargados de brindar el servicio hacia los clientes.
Operaciones	Encargados de la gestión de la electricidad.
Proveedores de servicio	Las organizaciones y empresas que se encargan de brindar el servicio eléctrico al consumidor.
Mercados	Son los participantes en el negocio de la electricidad.
Clientes	Son los consumidores finales de energía eléctrica, que pueden almacenar y administrar el suministro de energía. Se clasifican en tres tipos: residencial, comercial e industrial

Fuente: ITU (2011). Modificada por el autor.

2.2.3 Estándar IEEE 2030.

Desde el punto de vista normativo la IEEE Std 2030 ha sido desarrollada con el objetivo de proporcionar enfoques alternativos y mejores prácticas para lograr la interoperabilidad de la red inteligente. Éste estándar ha trazado la hoja de ruta dirigida a establecer el marco en el desarrollo de un cuerpo de normas nacionales e internacionales, basado en técnicas transversales en aplicaciones de potencia e intercambio y control de la información mediante comunicaciones. En este orden de ideas, este estándar ha definido tres perspectivas arquitectónicas integradas: sistemas de energía, tecnología de comunicaciones y tecnología de la información; las cuales indican las principales directrices para la interoperabilidad de la Smart Grid (Gómez, Hernández, & Rivas, 2017).

2.3 Microredes de una Smart Grid

La Red Inteligente (SG) representa el conjunto completo de las respuestas actuales y propuestas a los desafíos del suministro de energía eléctrica. Las SG son redes de distribución de energía eléctrica dotadas de elementos que suministran información a las empresas de distribución y a los usuarios con objeto de optimizar el uso de la misma (ITS, 2014). En la figura 2.7 se muestra un esquema de micro red para Smart Grid.

Una microred es una agrupación de generadores y cargas de pequeño tamaño que actúan como un sistema único para suministrar energía eléctrica. También las microredes pueden satisfacer la demanda eléctrica, utilizando generadores que tengan a su disposición. En circunstancias normales, el exceso/defecto de energía eléctrica se exportará/importará de la red eléctrica principal (FEDIT, 2011).

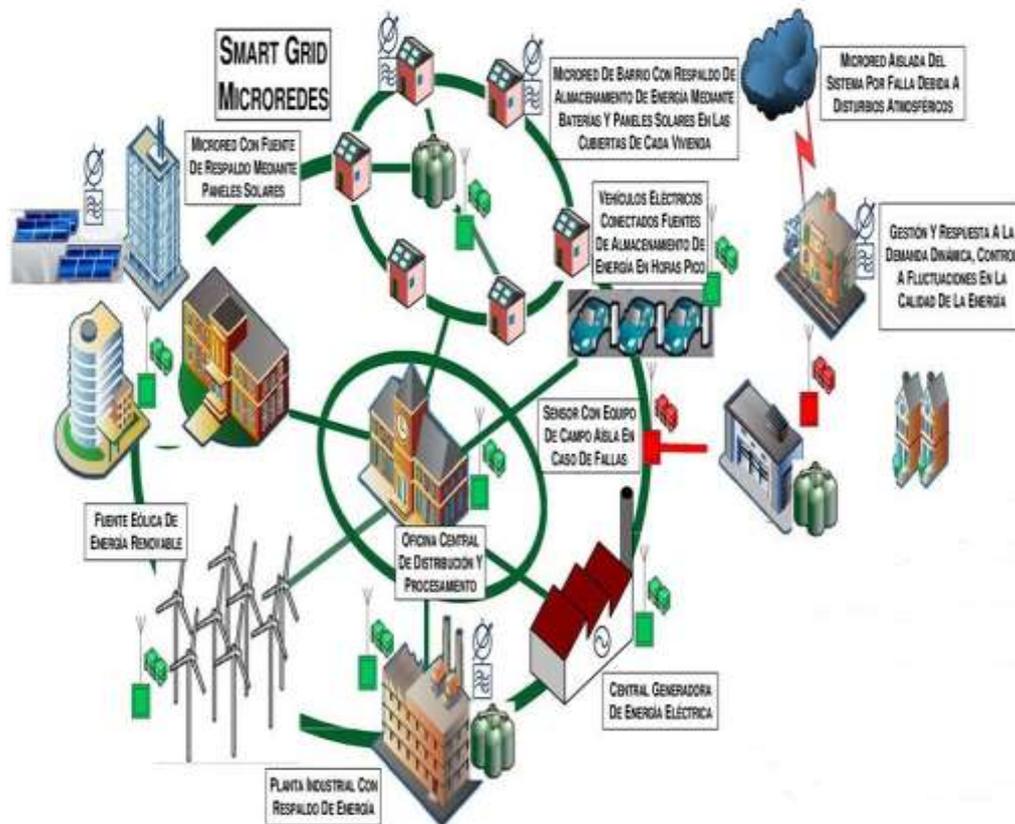


Figura 4 Esquema de unas micro redes híbrida para red SG.

Fuente: (Peralta & Amaya, 2013)

Dentro de una red inteligente de una ciudad, existirían microredes locales, interconectadas entre sí y a su vez con la red de alta tensión. El tamaño de la microred podría coincidir con el de un barrio y poseería sus propias generaciones dentro de la microred, estando diseñada para que en principio consiguiese ser autónoma energéticamente. En el caso de que tuviese un excedente o déficit de energía podría intercambiar energía con sus microredes vecinas. En el caso de que el conjunto de micro redes tuviese un déficit energético podría recurrir a la red de AT (Garvía, 2011).

Aunque debido a la amplia gama de factores en la generación eléctrica distribuida y numerosas taxonomías en desarrollo, no hay un acuerdo sobre una definición universal de redes eléctricas inteligentes. Sin embargo, a través de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (2014) y su Grupo de enfoque en la red eléctrica inteligente, expiden una categorización operable (Modelo conceptual y diagrama de referencia).

2.3.1 Infraestructura de medición avanzada.

AMI (Advanced Metering Infrastructure) es un componente esencial en las redes eléctricas inteligentes, al proporcionar información que puede emplearse para optimizar la operación y por ende la comercialización del sistema eléctrico.

AMI permite recopilar los datos de la medición del consumo energético de los usuarios para efectos de facturación, medición de perfiles de consumo y medición de variables eléctricas. También evita realizar procesos intensivos como: la medición en sitio del consumo, acciones de conexión y desconexión del servicio y la gestión para la restauración del servicio. AMI soporta el monitoreo en tiempo real de los precios de la energía, permitiendo a las empresas de servicios públicos implementar un control directo en la gestión de la demanda y responder rápidamente a sus variaciones (Automated Demand Response, ADR) (Peralta & Amaya, 2013).

Considerando la detección de fallas en AMI, en (Overman & Sackman, 2010) se introduce el término de Red Inteligente de Alta Fiabilidad (HASG, High Assurance Smart Grid), que define un modelo de confianza en la red eléctrica, con una arquitectura distribuida diseñada para mitigar fallos en el sistema, incluyendo: fallos en la comunicación, fallos en dispositivos como sensores, actuadores y/o controladores o fallos debidos al sistema de control y planificación. Posteriormente se presenta la estructura de la red de comunicaciones en Smart Grid que soporta AMI (Peralta & Amaya, 2013).

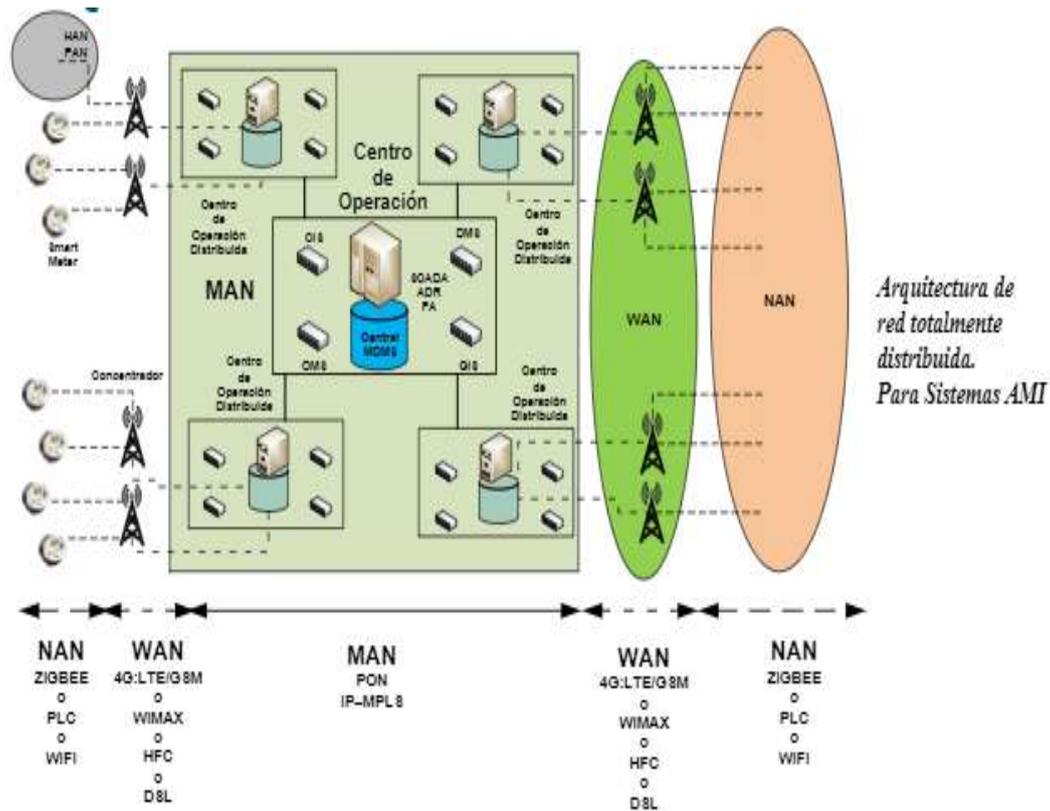


Figura 5 Arquitectura de comunicaciones en Smart Grid.

Fuente: (Peralta & Amaya, 2013)

2.4 Automatización de la medición de energía

Los cambios sustanciales que experimenta el sector eléctrico en la última década han inducido a que la automatización en la medición de la energía genere una serie de ventajas dentro de los procesos de dichos sistemas, monitorear el flujo de energía, brindar soporte de manera remota, conocer los hábitos de consumo de los usuarios, son algunas de las acciones que la sistematización de los sistemas Smart Grid ofrece en la actualidad.

2.4.1 Integración de dispositivos inteligentes.

Uno de los aspectos destacados de los sistemas Smart Grid es la integración que se realiza entre los dispositivos inteligentes, acoplarse entre dispositivos dentro de estos sistemas permite la monitorización e interpretación de parámetros, que a su vez

conlleva a tomar soluciones inmediatas para la mejora en rendimiento y seguridad frente a los riesgos en el sistema eléctrico.

2.4.2 Interoperabilidad de los sistemas.

La interoperabilidad en el sistema Smart Grid admitirá que los dispositivos intercambien información y esta sea accesible desde los distintos entornos y pueda ser comprendida entre los componentes por lo tanto la interoperabilidad entre dichos sistemas deberá asegurar la pérdida mínima de datos y de funcionalidad, es por esta razón que se debe asegurar un sistema eficaz y consistente convirtiéndola en una herramienta crucial dentro de la implementación de los sistemas.

2.5 Tecnología en las Smart Grid

Las expectativas que genera la implementación de la tecnología Smart Grid son sumamente altas pues ofrece una manera innovadora del control del suministro eléctrico, buscando la sustentabilidad, confiabilidad y seguridad energética.

2.5.1 Control.

Dentro del control de los sistemas Smart Grid los métodos utilizados para garantizar el manejo óptimo del servicio son: el método de control basado en la electrónica de potencia, el método de control basado en un sistema (MAS), el método avanzado de control de fallas y el método de Suplencia Virtual (VPP) (Peralta & Amaya, 2013).

Dentro del sistema estos métodos proporcionarán control en la transmisión y la distribución de la potencia activa como la reactiva con la finalidad de mitigar, eliminar o prevenir aquellas interrupciones o alteraciones que se puedan presentar.

2.5.2 Comunicación.

La etapa de comunicación de los sistemas debe estar formada por una infraestructura robusta interactiva y dinámica, asegurando la interoperabilidad entre los sistemas. Dentro de esta etapa la tecnología IoT (Internet of Things) juega un papel importante; IoT es un término que se empleó por primera vez en el año 1999 por Kevin Ashton, al inicio solo se utilizaba para dispositivos que se conectaban por radiofrecuencias en red también conocido como RFID (Radio Frequency Identification), en la actualidad IoT abarca muchos más dispositivos que se pueden interconectar a través de la red como se puede observar en la figura 2.6.



Figura 6 Iniciativas y mejores prácticas de seguridad para el IOT.

Fuente: (Puente, 2017)

2.5.3 Detección y medición.

Los sensores utilizados dentro del parámetro de detección y medición ubicados en cada nodo son los que permitirán el monitoreo remoto de los equipos y fuente de energía. Son componentes esenciales que por medio de la adquisición de datos permitirán la medición frecuente de la lectura de los medidores, conocer la estimación de factura, la demanda de consumo de los usuarios entre otras particularidades con las que se podrá tener un sistema bidireccional permitiendo esa interacción entre el usuario y el sistema.

Entre los sistemas de detección más utilizados en los sistemas Smart Grid se encuentran:

- Fiber Optic Sensor
- Outage Management System
- Transformer Monitoring System
- Temperature Monitoring System

2.5.4 Simuladores y sistemas de información.

La simulación de sistemas mediante la aplicación de programas informáticos facilita el diseño de un sistema real que permite condicionar, planificar y coordinar el funcionamiento de dispositivos para probar su rendimiento y evaluar la eficacia en el desempeño durante la ejecución del proyecto.

Simular previamente un sistema permite generar una idea del comportamiento de los dispositivos, durante la simulación en el caso de presentar alguna falla y se necesite cambiar algún dispositivo no representará costo alguno lo que se convierte en una ventaja sustancial.

Entender el comportamiento de un sistema, identificar las variables más representativas, anticipar resultados son solo algunas de las ventajas que ofrece el poder simular un sistema eléctrico.

2.5.5 Sistemas para monitorizar la red eléctrica.

Un sistema de monitoreo en una red eléctrica permite gestionar y optimizar los recursos que se utilicen dentro de este sistema, existen 3 puntos claves dentro los mismos:

-BASE DE INFORMACION es donde se almacenan todos los datos del sistema que a su vez sirve para obtener informes y tomar los correctivos necesarios.

-LA ESTACION DE GESTION DE RED (NMS) o también conocido como sistema de gestión de red, se enfocará en 5 pilares dentro del sistema: monitorización, detección de dispositivos, análisis de rendimiento, gestión de dispositivos y gestión de fallos.

-AGENTE es el ente encargado de responder todas las solicitudes que se generen en la estación de gestión de red, manejando de esta forma una información asincrónica o sincrónica.

2.6 Comparación entre red eléctrica convencional y red inteligente.

La red eléctrica convencional conformada por estaciones o centrales es la encargada de producir la energía eléctrica que se envía por medio de las líneas de transmisión hacia los transformadores, luego llegan a las subestaciones en donde finalmente se distribuyen a los usuarios finales.

En la figura 2.7 se puede observar todo el proceso y las fases por las que debe pasar la energía eléctrica para poder lograr el objetivo final

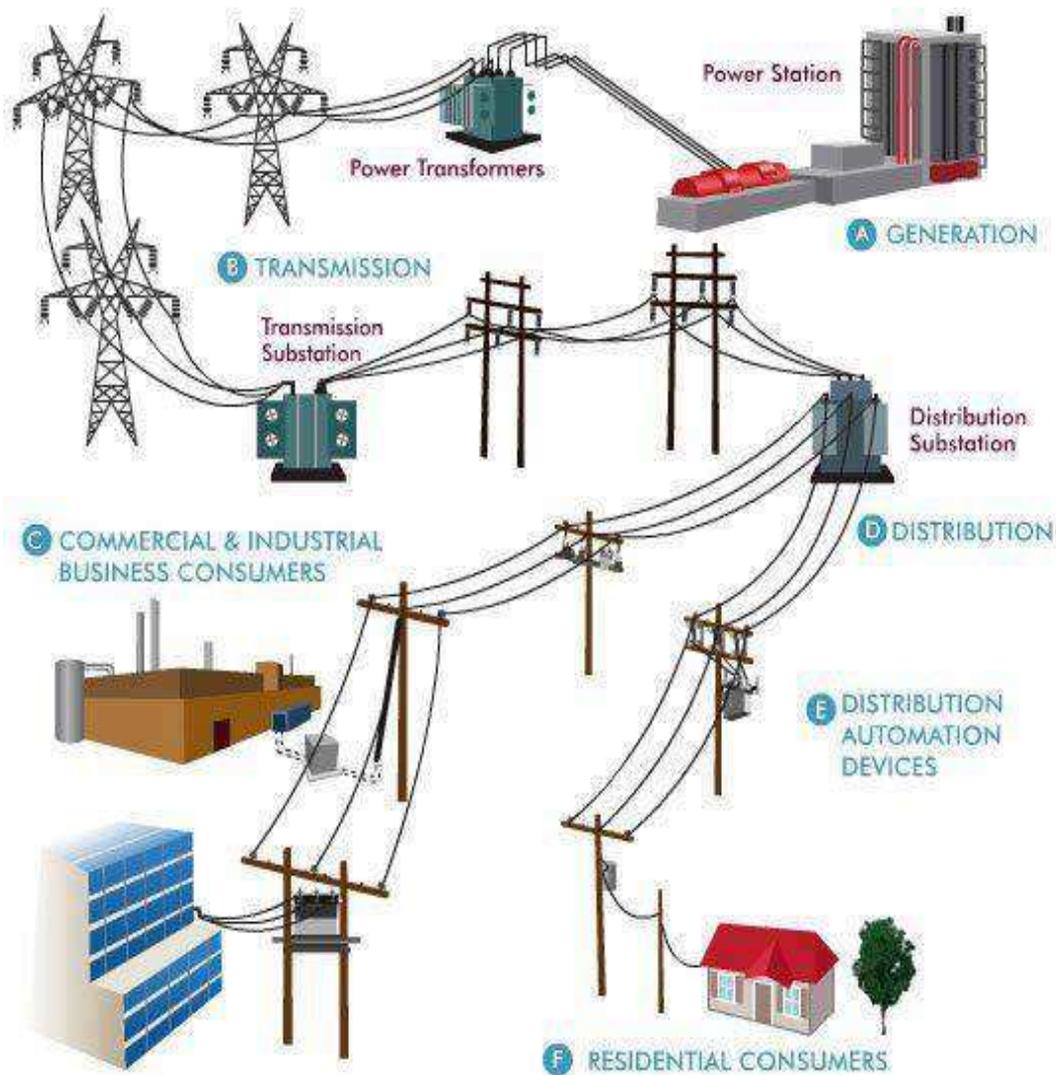


Figura 7 El viaje de la energía eléctrica y sus etapas: Generación, Transmisión, Distribución y Utilización.

Fuente: (SectorElectricidad, 2015)

En un SEP Centralizado la energía normalmente recorre trayectos demasiado extensos, generando grandes pérdidas por el transporte de la energía (Peralta & Amaya, 2013), el sistema de red eléctrico convencional ha enfrentado grandes retos debido al gran aumento de la población y por ende al gran aumento del consumo, las empresas lamentablemente no manejan información sobre la actuación de sus elementos en tiempo real, cuentan con un número limitado de dispositivos de monitorización lo que conlleva a que todo el trabajo se realice de manera manual, lo que por ende no le da ninguna participación al consumidor en el manejo de la red.

La red inteligente por el contrario muestra la distribución de la energía desde un punto de vista mucho más interactivo, sostenible y económico, brindándole a la central la oportunidad de controlar tanto el hardware como el software de la red y así poder verificar de manera periódica el funcionamiento de la misma.

La integración masiva de sensores, actuadores, sistemas de medición entre otros, junto con todo el sistema eléctrico le da incluso esa participación al usuario de poder controlar el consumo lo que se convierte en una ventaja fundamental para el ahorro energético.

2.7 Análisis de sistemas lineales variantes en el tiempo en líneas de transmisión o PLC

La tecnología PLC trabaja bajo una topología bus o también conocida como troncal lo que permite la distribución del ancho de banda sea compartido por todos los usuarios. Un canal PLC se puede analizar por medio del modelo de una línea de transmisión. En todo medio de comunicación cableado se cuenta con un extremo transmisor y un extremo receptor, cada uno caracterizado por una fuente generadora, su impedancia de fuente (Z_G) y por una impedancia de carga (Z_L), respectivamente (Velasquez, Zambrano, & Medina, 2014).

Una de las características de las redes eléctricas cuando trabajan como canal de comunicaciones es que están formados por sistemas lineales que varían en el tiempo, esta variación se da por la conexión de los equipos en la línea de transmisión.

2.7.1 Variables de una línea de transmisión.

Las variables o parámetros de una línea de transmisión son la inductancia, capacitancia, resistencia y conductancia (aunque ésta última en algunas ocasiones no es tomada en cuenta para los análisis), estas variables se definen eléctricamente para conocer el comportamiento de los sistemas eléctricos de potencia.

Tabla 0-2

Fórmulas de alta y baja frecuencia.

FORMULAS ALTA FRECUENCIA	
Resistencia	$R = \frac{2}{\sigma c \pi a^2}$
Conductancia	$G = \frac{\pi \sigma d}{\cosh^{-1}\left(\frac{d}{2a}\right)}$
Capacitancia	$C = \frac{\pi \varepsilon}{\cosh^{-1}\left(\frac{d}{2a}\right)}$
Inductancia	$L = \frac{\mu}{\pi} (1/4 + \cosh^{-1}(d/2a))$
FORMULAS BAJA FRECUENCIA	
Resistencia	$R = \frac{1}{\pi a \sigma c}$
Conductancia	$G = \frac{\pi \sigma d}{\cosh^{-1}\left(\frac{d}{2a}\right)}$
Capacitancia	$C = \frac{\pi \varepsilon}{\ln\left(\frac{d}{a}\right)}$
Inductancia	$L = \frac{\mu}{\pi} \ln(d/a)$

Fuente: Elaborada por Autor

2.8 Comunicación por la red eléctrica PLC

La comunicación por PLC es capaz de transmitir y recibir datos a través de la red eléctrica, este tipo de comunicaciones se viene utilizando desde el año 1950 bajo una frecuencia de 10 Hz y 10 kW de potencia, sin embargo, la comunicación se realizaba en un solo sentido, fue recién en el año de 1997 cuando se comenzó a realizar las pruebas bidireccionales de señales de datos a través de la red eléctrica.

La tecnología PLC utiliza los tramos de la red eléctrica en media y baja tensión para poder transportar los datos, utiliza una modulación OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing), lo que permite que los datos se puedan transmitir desde una

portadora a otra, en la imagen 2.8 se muestra el ámbito de PLC que va desde el área de la subestación de distribución hasta el domicilio del abonado.

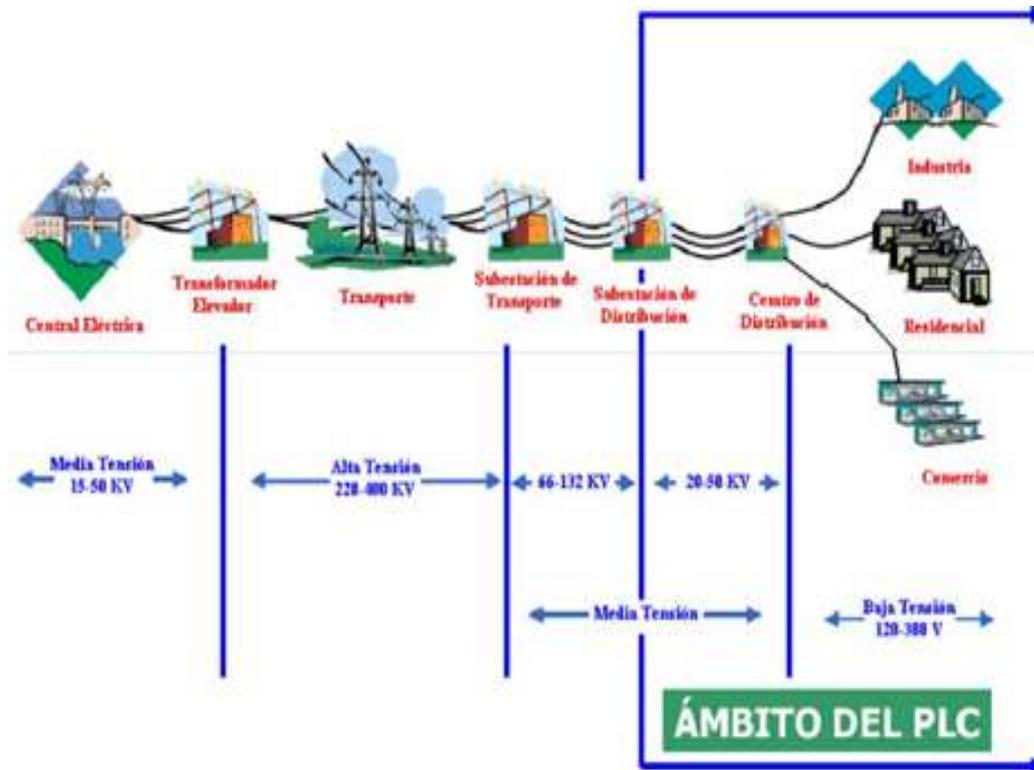


Figura 8 Tecnología PLC.

Fuente: (Plancarte, 2006)

2.9 Clasificación de la red PLC

La clasificación de los sistemas PLC dependiendo del sitio en donde se despliega la red eléctrica es:

2.9.1 Red Interior o PLIC (Power Line Indoors Communications).

Conocida también como red doméstica, ubicada dentro de una casa o edificio tiene como característica principal desplegarse desde el medidor de energía hacia los

enchufes, en la imagen 2.9 se puede observar que cuenta con dos elementos principales:

Pasarela Domestica.- Que se encarga de conectar la red exterior con toda la red interior.

MODEM PLC.- Que será la interface entre los equipos domésticos, este tipo de tecnología es utilizada en los servicios de domótica, debido a que cada tomacorriente puede funcionar como un punto de acceso a datos de telecomunicaciones y a su vez como una red LAN (Local Area Network) que interconecta los dispositivos del lugar.

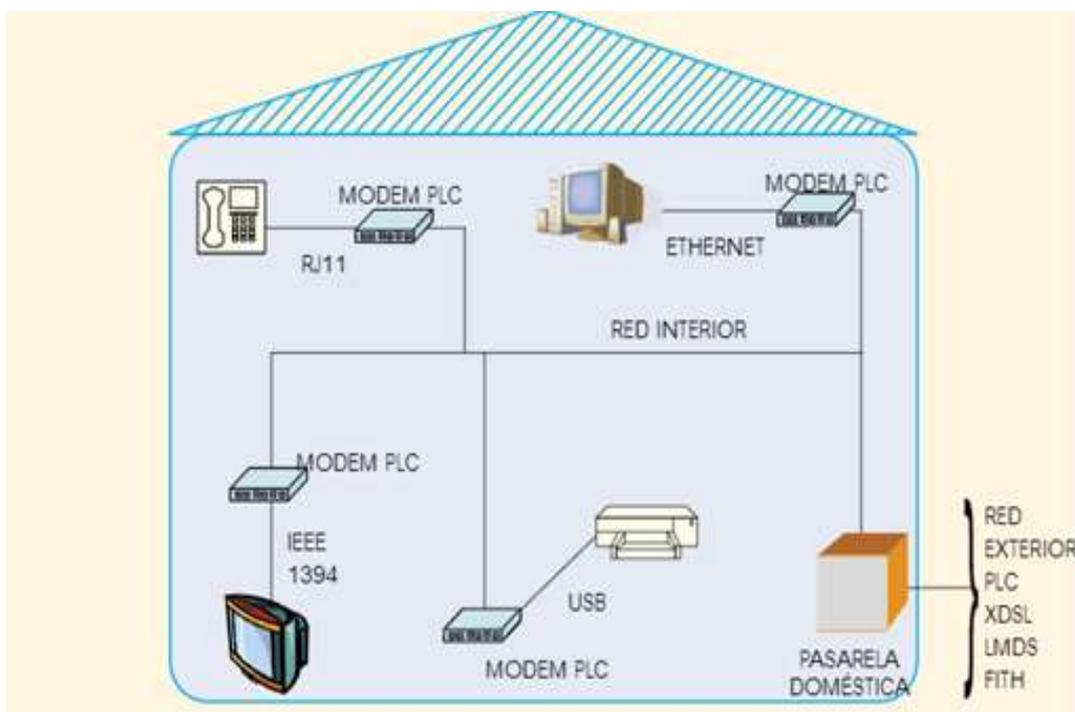


Figura 9 Red Interior.

Fuente: (García, 2005)

2.9.1.1 Red PLC de Acceso o PLOC (Power Line Outdoors Communications).

Este tipo de red hace uso de la red eléctrica de baja tensión, esta se despliega desde la subestación hasta la red doméstica, la estructura de esta red está conformada por:

- **Equipo de cabecera** es el equipo encargado de asignar los canales a los usuarios que esten conectados
- **Modem PLC** su función al igual que en la red doméstica será de conectar los dispositivos que se encuentren en la casa del usuario
- **Repetidor PLC** se utilizará únicamente en casos excepcionales cuando la distancia entre la casa del usuario y el equipo de cabecera sea extensa

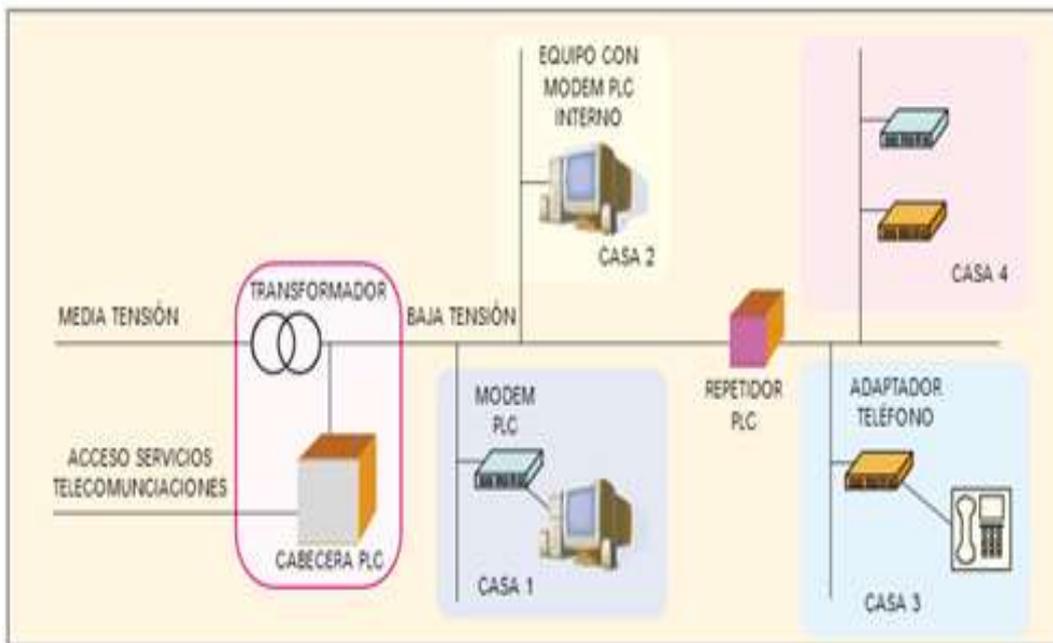


Figura 10 Red de Acceso.

Fuente: (García, 2005)

2.9.1.2 Red PLC de media tensión.

Como su nombre lo indica se aplicará en las líneas de media tensión que serán las encargadas de enviar la información desde los transformadores de alta/media tensión hasta los transformadores de media/baja tensión, en la figura 3.2 se observan los elementos por los que está conformado

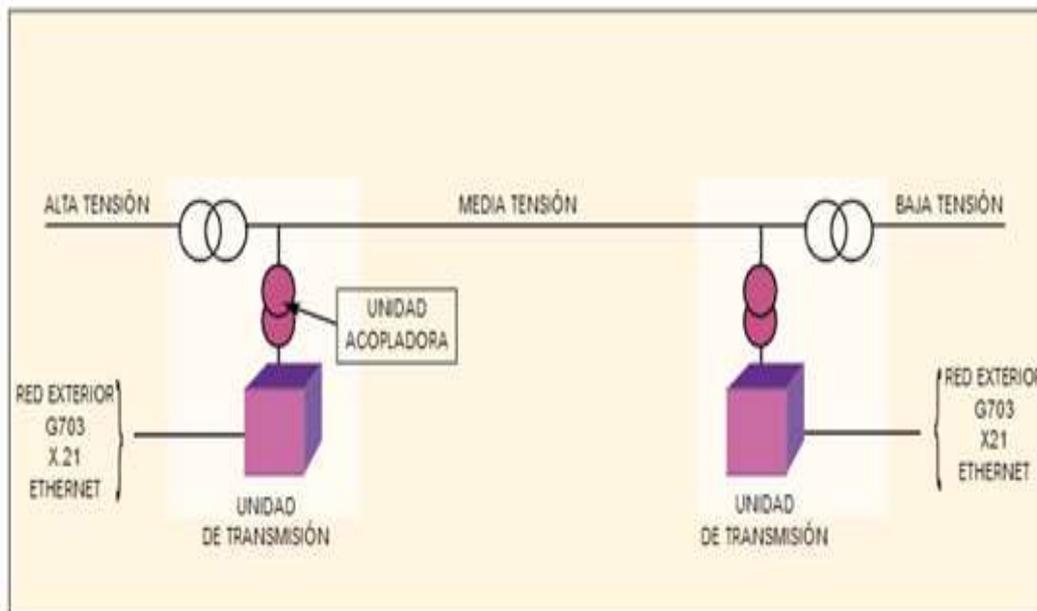


Figura 11 Red de Media Tensión.

Fuente: (García, 2005)

2.9.2 Red inteligente de distribución de energía eléctrica.

La red inteligente también conocida como Smart Grid es una alternativa innovadora que aporta beneficios al servicio de suministro eléctrico, busca la eficiencia tanto en la etapa de distribución como de transmisión, asegura una distribución acorde a las necesidades de los usuarios, evitando la pérdida de energía. El uso de esta tecnología ha tomado mucha fuerza en el servicio público debido al impacto social que genera, en la figura 3.3 se puede observar varios beneficios que aporta la red inteligente.

2.9.3 Modelos de Simulación.

Un modelo de simulación es una representación simplificada y abstracta de un sistema, mediante el uso de computadoras, consta de variables dependientes e independientes, entradas, salidas, ecuaciones, las características y funcionamiento generales del sistema, lo que al final permite que los cálculos y ejecución se asemejen a la implementación manual.



Figura 12 Detalle de las Redes Eléctricas Inteligentes.

Fuente: (Ortega, 2012)

Los modelos de simulación pueden variar de acuerdo a la finalidad para que se diseñen, se pueden clasificar de acuerdo a su dimensión, funcionalidad, según la evaluación del tiempo (estático y dinámico), según las variables (continuos y discretos), cada modelo de simulación debe cruzar por etapas similares para una eficiente aplicación, estas etapas son:

- Definir el sistema
- Formulación del modelo
- Colección de datos
- Implementación del modelo
- Verificación
- Validación
- Experimentación
- Interpretación

- Documentación

Sin embargo, en el escenario de una red eléctrica resulta un poco complejo elegir un modelo de simulación para ello existen programas como GridSim, TSAT, OPNET Modeler que permiten realizar la simulación de redes de comunicación en la gestión de la energía eléctrica.

CAPITULO 3 . DESARROLLO DEL DISEÑO

A continuación se detalla el desarrollo del diseño realizado en este trabajo de investigación.

3.1 Ubicación

El conjunto residencial las Arenas se encuentra ubicado en la Av. Abdón Calderón y Calle 3 del cantón Salinas, perteneciente a la provincia de Santa Elena.

El conjunto tiene una garita de control, un área de piscina, juegos infantiles y un total de 125 domicilios dentro de su área y cuenta con el servicio de red eléctrica tradicional.

Al contar ya con energía eléctrica, los sistemas analógicos serían remplazados por digitales, en cada domicilio.

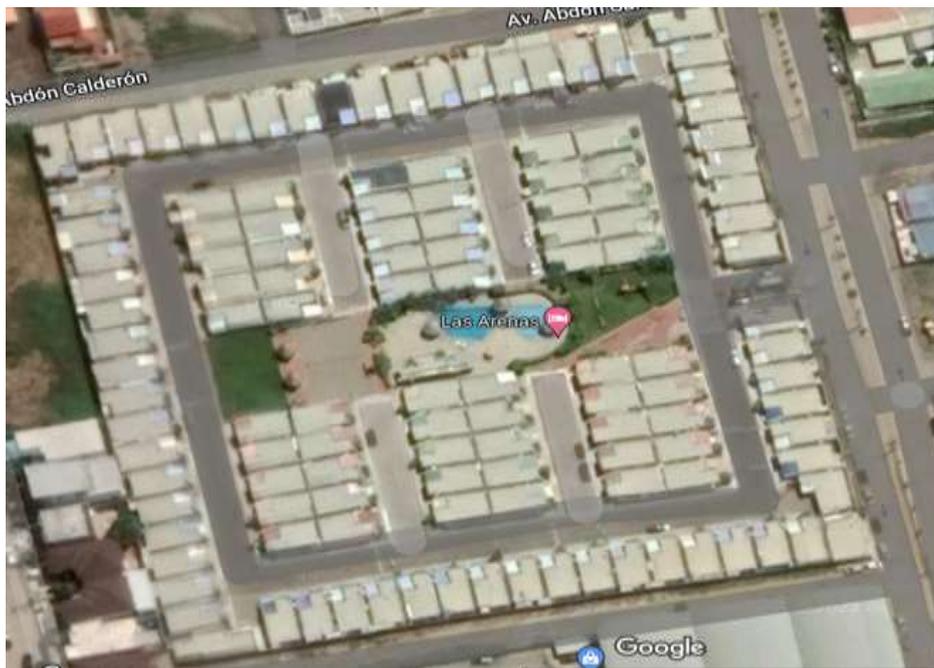


Figura 13 Ubicación conjunto residencial las Arenas.

Fuente: Google Maps

3.2 PLC para Baja Tensión

El PLC en baja tensión se convierte en una configuración adecuada cuando se trabaja en zonas densamente pobladas. Baja tensión o también llamado bajo voltaje se conoce en el dominio de las telecomunicaciones como la última milla, tramo que corresponde desde el transformador de media a baja tensión hasta los medidores del usuario.

En la imagen 3.4 se puede observar cómo los datos viajan a distancias más cortas entre el usuario y el backbone o punto de acceso que se encuentra en el transformador.

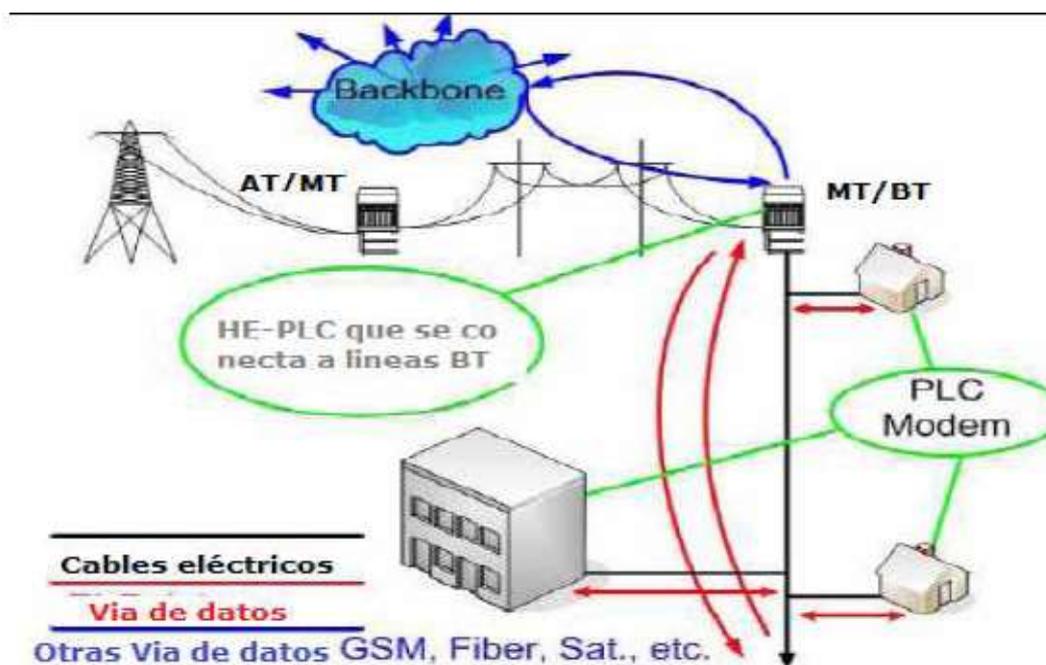


Figura 14 Instalación de PLC incluyendo la red de MT.

Fuente: (Millan, 2014)

En esta configuración la característica esencial es el número de abonados conectados a la misma red eléctrica; en Ecuador se puede conectar hasta un mínimo de 10 líneas lo que conlleva a que se deba instalar una unidad de acondicionamiento por cada transformador, cuanto menos sean los abonados conectados en cada transformador

mayor serán las inversiones necesarias para establecer las comunicaciones y por ende menos viables.

3.3 Infraestructura de PLC en BT

En baja tensión el PLC induce a utilizar un método de acoplamiento que permita bloquear la señal de 110 V – 60 Hz, en el receptor no se deben atenuar las señales de alta frecuencia y en el trasmisor se debe dar paso amplio a la señal de comunicaciones para que no sea atenuada.

Existen dos alternativas de acoplamiento: el acoplamiento capacitivo paralelo y el acoplamiento inductivo, el primero introduce la señal en las líneas de la red eléctrica y es ideal para poder usarlo en lugares poco espaciosos sin embargo durante su instalación se precisa eliminar la corriente; en el acoplamiento inductivo, el dispositivo permite que la señal PLC no se pierda a causa de los transformadores y para su instalación no se necesita interrumpir la energía eléctrica.

Según los autores (Buevas, Tellez, & Mateus, 2010), indican que el espectro de RF utilizado por el PLC, es atenuado de manera significativa por los transformadores de distribución y por ende se necesita de un recurso que permita crear un camino para la señal de alta frecuencia, dicho recurso se conoce como BYPASS, en la figura 3.5 se puede observar que está conformado por: acoplador inductivo de MT, una UA y un acoplador BT, el acoplador de BT puede ser inductivo o capacitivo.

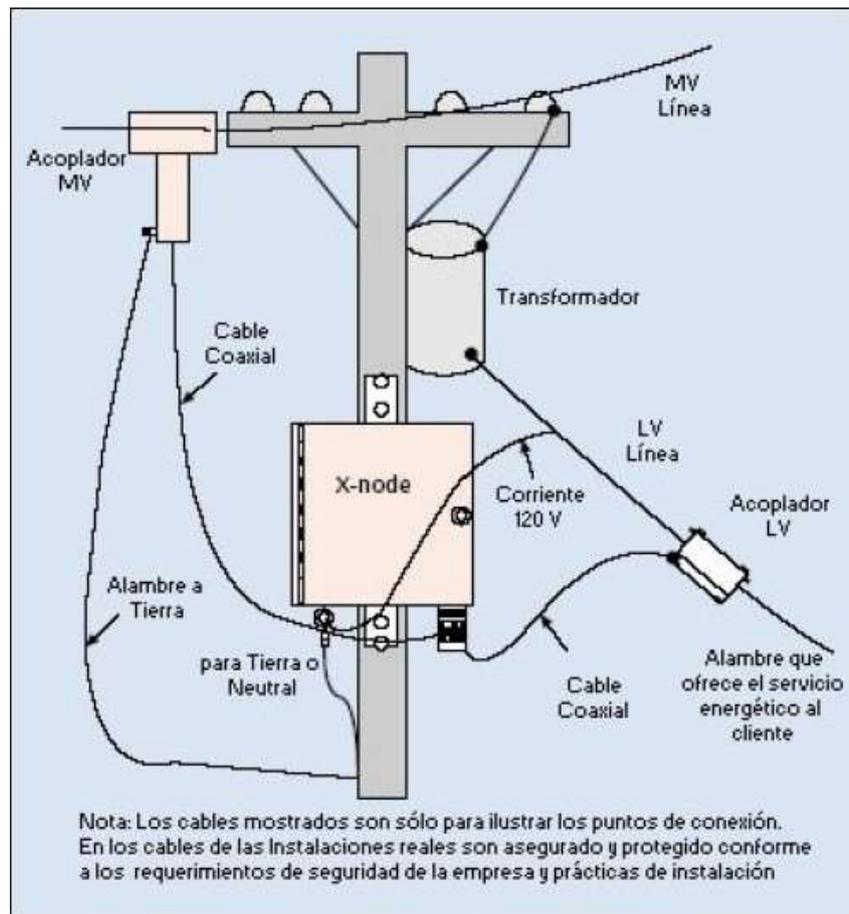


Figura 15 Bypass en el transformador eléctrico.

Fuente: (Hernández, 2006)

3.4 PLC para control del servicio eléctrico

La aplicación del PLC dentro del servicio eléctrico permite una interacción bidireccional en la que se puede realizar la medición periódica de la energía consumida, las mediciones de potencia y la calidad de energía.

Los medidores inteligentes instalados proyectan datos de consumos mensuales, diarios o incluso en intervalos de tiempo establecido, dichos datos son analizados por el MDM (Measurement Data Management System) o también conocido como Sistema de Gestión de Datos de Medición, dicho sistema se instala en un servidor de la central eléctrica.

El sistema Smart Grid involucra la comunicación del medidor inteligente con el MDM a través de un concentrador de datos que será el encargado de recibir una señal de datos y enviarlas a los distintos puertos.

El medidor inteligente por su parte responde las solicitudes que se realicen por el MDM, dichas comunicaciones se realizan bajo diferentes protocolos.

Para la implementación del PLC dentro de todo este sistema es importante conocer y delimitar el área de cobertura, la cantidad de medidores a instalar, gestionar además el consumo de los usuarios del área delimitada, es de esta forma que la interacción bidireccional permita al operador desde la central monitorear el estado del servicio eléctrico, el consumo que tiene cada usuario y el control del sistema, el cual debe realizar automáticamente la suspensión de la energía eléctrica en caso de que alguno de los consumidores estuviera atrasado en pago de facturas y de igual forma habilitar el servicio nuevamente, además de realizar cortes energéticos por un intervalo de tiempo cuando se presente algún tipo de falla en la red o medidor , todas estas interacciones permiten reducir la necesidad de enviar una cuadrilla para que realice las conexiones y desconexiones , lo que se convierte en un ahorro de mano de obra y combustible.

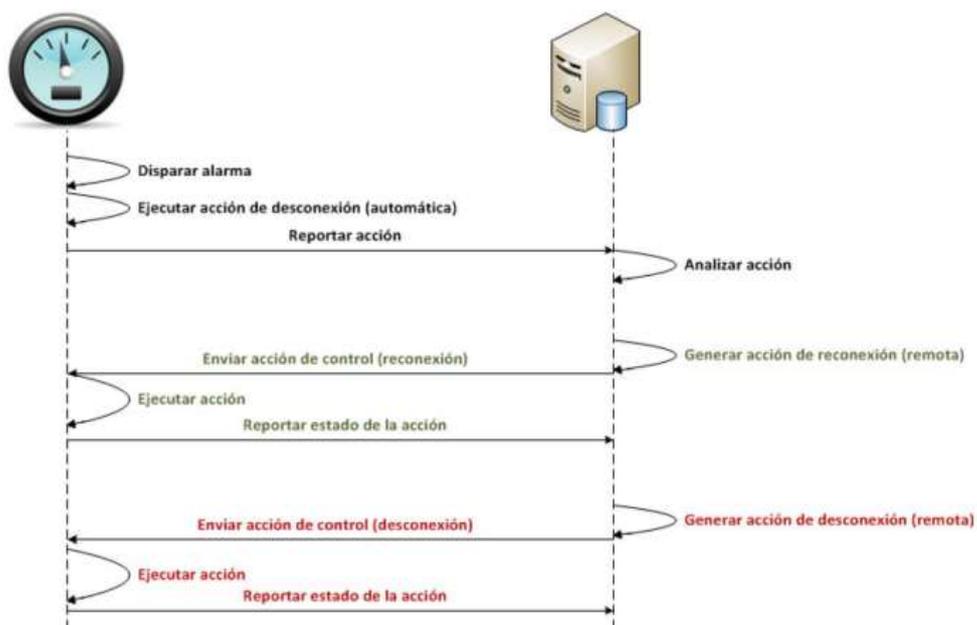


Figura 16 Diagrama Ilustrativo Aplicación Smart Grids.

Fuente: (Castaño, 2019)

3.5 Control PID y el PLC

Los algoritmos de control implementados en los PLC poseen la cualidad de ser simples y efectivos como el PID, es por eso muy común observar en la industria la implementación de ambos controles para la automatización de sistemas.

Los tres controles que forman parte del algoritmo PID son: proporcionales, integrales y derivativos.

CONTROL PROPORCIONAL: La acción de este control es minimizar el error del sistema, el aumento de este control da paso a 3 principales efectos

1. Aumenta la velocidad de respuesta del sistema.
2. Disminuye el error del sistema en régimen permanente.
3. Aumenta la inestabilidad del sistema.

CONTROL DERIVATIVO: este control es proporcional a la derivada del error del sistema, la derivada del error es otra forma de llamar a la velocidad del sistema. El aumento de esta velocidad tiene los siguientes efectos

- 1.- Aumenta la estabilidad del sistema controlado.
- 2.- Disminuye un poco la velocidad del sistema.
- 3.- El error en régimen permanente permanecerá igual.

CONTROL INTEGRAL: como su nombre lo indica calcula la integral de la señal de error del sistema, aumentando esta variable se tiene 3 panoramas.

- 1.- Disminución del error del sistema en régimen permanente.
- 2.- Aumento de la inestabilidad del sistema.
- 3.- Aumento considerable de la velocidad del sistema.

3.6 Sistema de control de lazo abierto y lazo cerrado.

Cuando se trabaja con sistemas de control y automatización es muy común encontrar los términos de sistemas de lazo abierto y lazo cerrado, estos sistemas cumplen varios roles dentro de un proceso ya sea verificar, controlar e inclusive regular las variables ya sea de manera automática o con la intervención del ser humano.

El sistema de lazo abierto es aquel en donde la señal no necesita ser comparada con la señal de referencia, lo que no permite verificar o monitorear el comportamiento de la señal durante todo el proceso, sin embargo, una de las ventajas de este sistema es que son muy económicos de implementar a continuación se observa una representación de un sistema de lazo abierto.

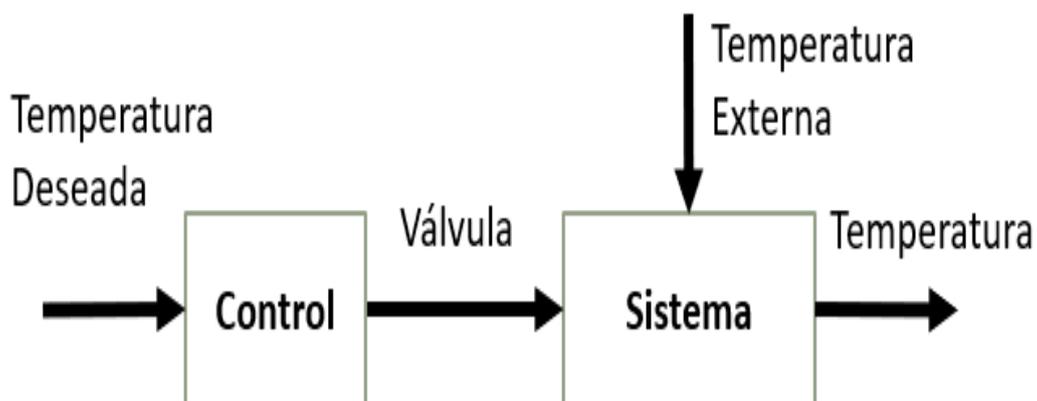


Figura 17 Diagrama de sistema de bloque abierto.

Fuente: (Castaño, 2019)

Por el contrario, el sistema de lazo cerrado, aunque su implementación es un poco más costosa en comparación al lazo abierto, este si permite comparar la señal de salida con la de referencia, mediante un comparador da la oportunidad de controlar los procesos y prevenir futuros errores dentro de los mismos.

Fuente:

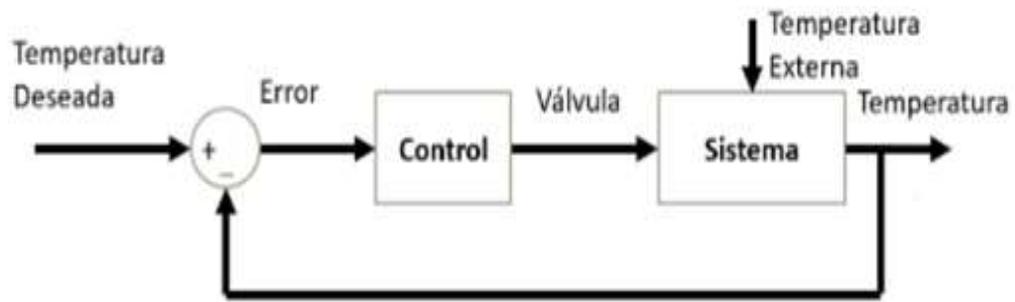


Figura 18 Diagrama de sistema de bloque cerrado.

(Castaño, 2019)

Capítulo 4: Simulaciones, pruebas, resultados y análisis

En este capítulo se presenta de manera detallada las simulaciones realizadas, pruebas y los resultados alcanzados, así como el análisis de los mismos.

4.1 Simulación

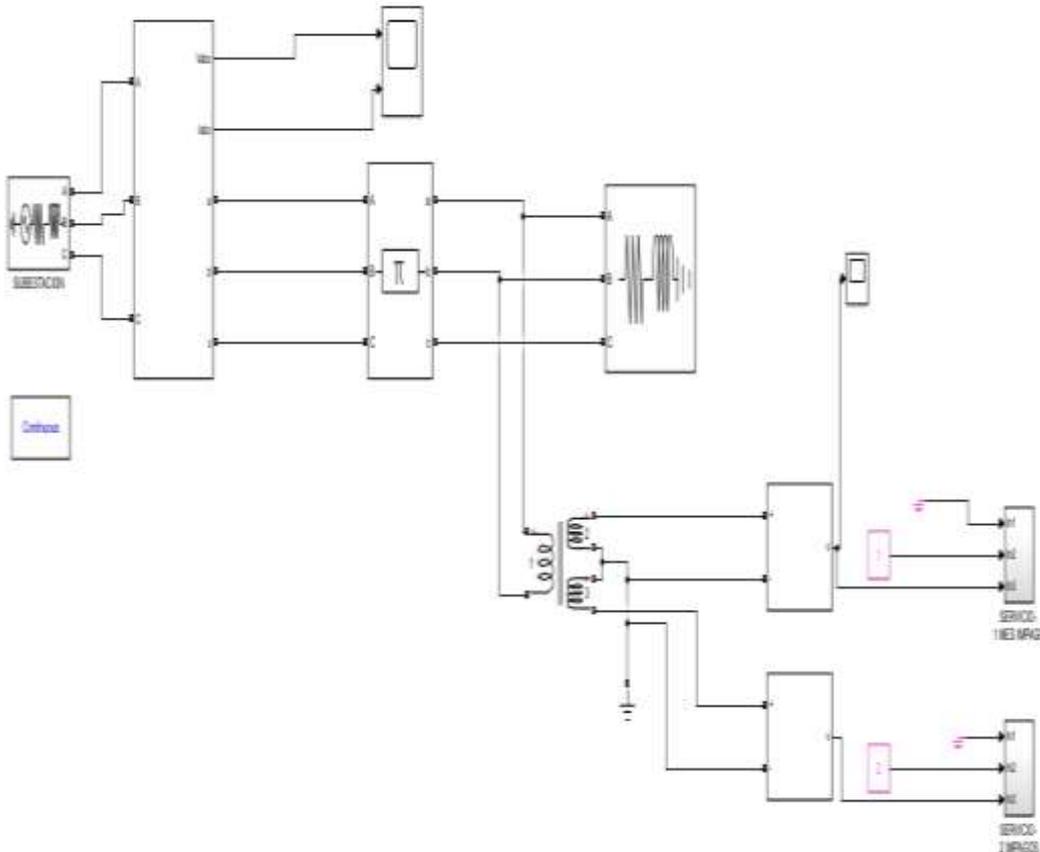


Figura 19 Simulación del circuito en Simulink.

Fuente: Elaboración propia

El circuito simulado en la plataforma Simulink del programa Matlab, representa un tramo de la distribución de la energía eléctrica, desde el transformador de una subestación hasta el medidor en el domicilio del abonado. Para una mejor explicación del circuito se lo ha dividido en 3 secciones donde se explica la función de los elementos utilizados y la configuración.

La primera parte del circuito inicia con una fuente que representa la salida de cada transformador de la subestación, tiene 3 salidas que se conectan con un medidor trifásico para poder medir la corriente y el voltaje, los resultados o la salida de estos medidores se envían a un bloque de alcance llamado oscilógrafo (SCOPE).

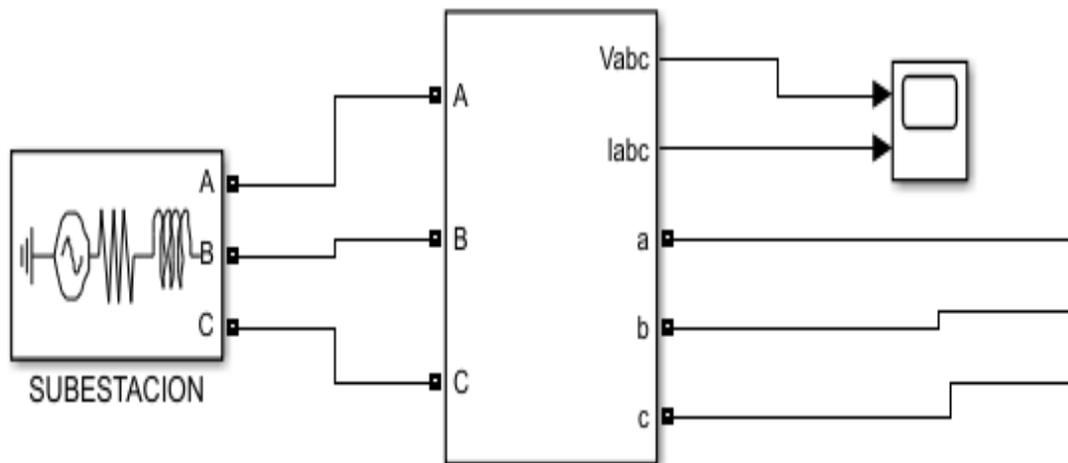


Figura 20 Primer bloque del circuito.

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.2 se observa la configuración que se utiliza para el bloque de la fuente trifásica con impedancia RL interna, la opción que se escogió para la conexión interna seleccionada es YG, esta conexión indica que las tres fuentes de voltaje están conectadas en Y a un neutro con conexión a tierra interna, un voltaje interno para cada fase de 13800 V y una frecuencia de 60 Hz.

En el oscilógrafo se puede observar las señales emitidas por el primer tramo del circuito. En estas graficas se representan las 3 entradas del bloque de subestación, en la gráfica 4.3 se observan dos gráficas, las gráficas superiores representan el voltaje y las inferiores representan la corriente.

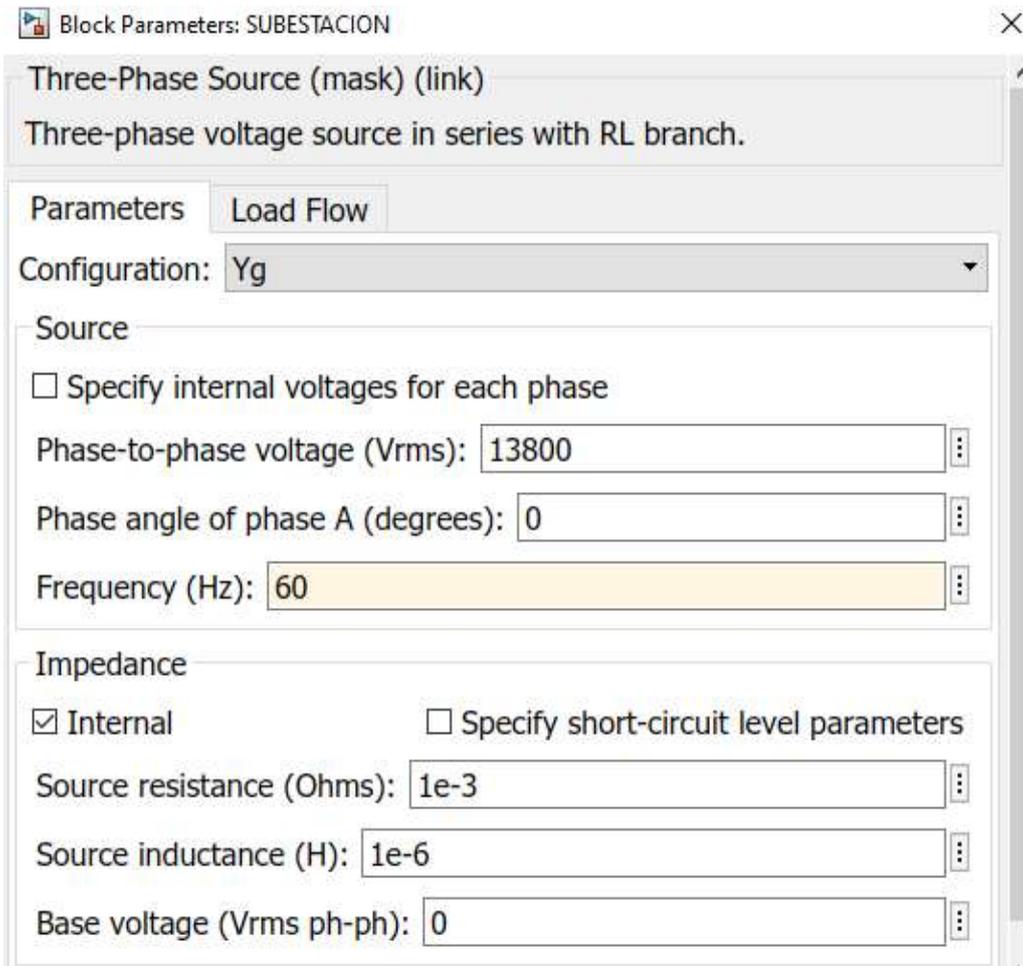


Figura 21 Configuración primer bloque.

Fuente: Elaboración propia

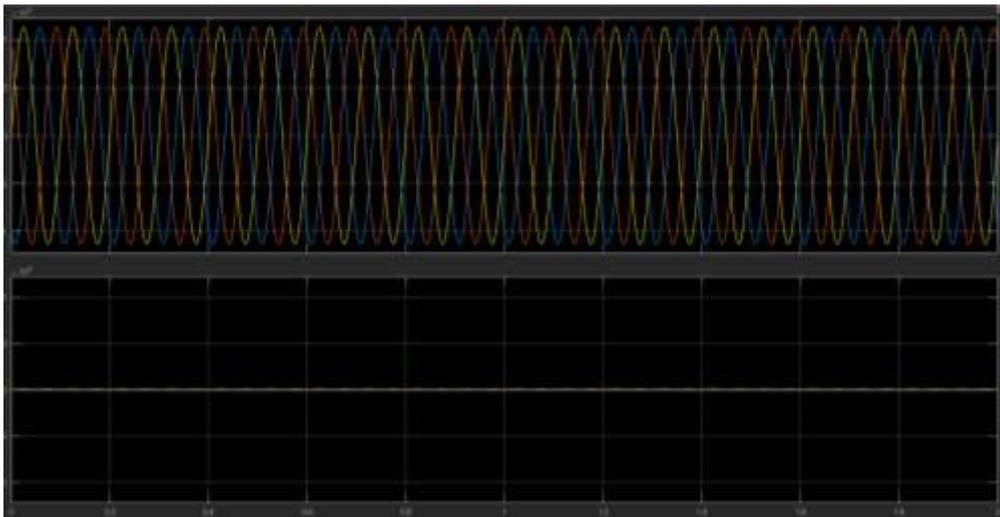


Figura 22 Oscilógrafo primer bloque.

Fuente: Elaboración propia

El segundo bloque del circuito es una línea de bisección trifásica que se encarga de agrupar los parámetros de resistencia, la inductancia y la capacitancia en una sola sección, su funcionamiento es la de un cable trifásico en donde sus salidas se conectan al bloque de carga RLC de la serie trifásica.

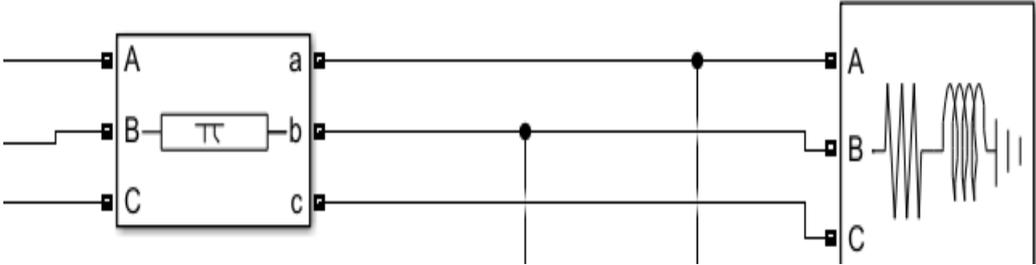


Figura 23 Segundo bloque del circuito.

Fuente: Elaboración propia

Los parámetros de estos componentes se los mantiene por defecto, variando únicamente la frecuencia y el voltaje bajo, los que se desea trabajar.

El tercer bloque del circuito está conformado por un transformador residencial que ayuda a mejorar la seguridad y eficiencia del sistema de energía durante su distribución y regulación a través de largas distancias, está formado por 3 fases, la primera y segunda fase son de 110 V, la tercera fase que va a neutro, dicho transformador se conecta a dos medidores monofásicos y finalmente con un oscilógrafo que representaría la lectura en tiempo real.

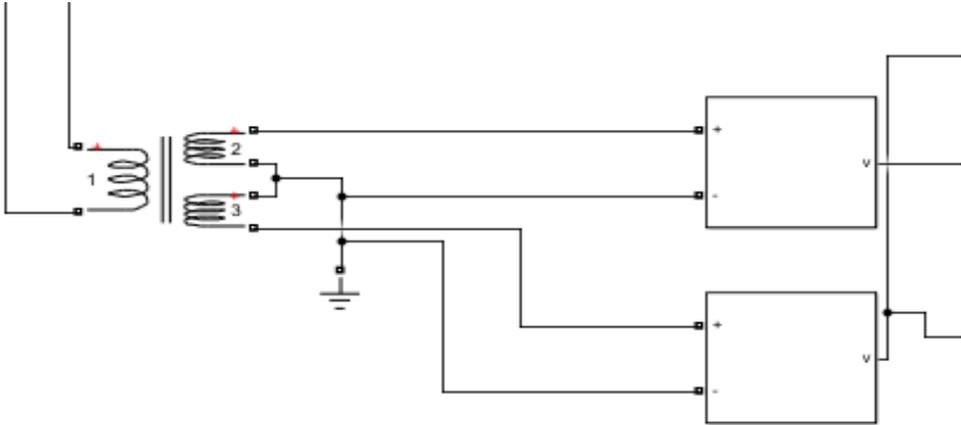


Figura 24 Tercer bloque del circuito.

Fuente: Elaboración propia

Los parámetros por defecto con los que trabaja el transformador se pueden observar en la figura 4.6.

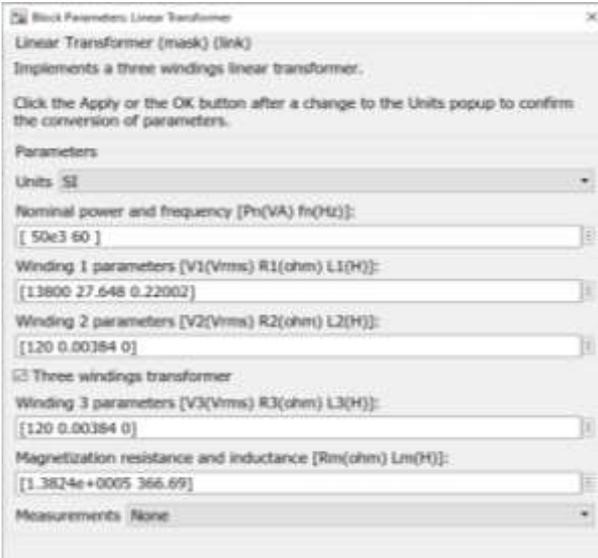


Figura 25 Configuración tercer bloque.

Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente imagen del oscilógrafo se obtienen las gráficas del voltaje del transformador.

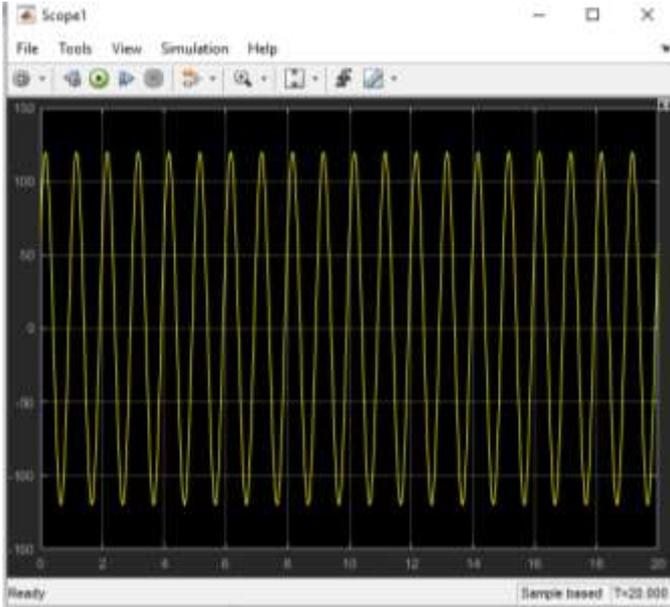


Figura 26 Oscilógrafo tercer bloque.

Fuente: Elaboración propia

El tercer bloque del circuito simula el medidor de los abonados, para aquello se conecta al transformador un medidor de voltaje monofásico, la salida de voltaje va directamente al medidor en donde se alojará al controlador PID que en la simulación representa al PLC.

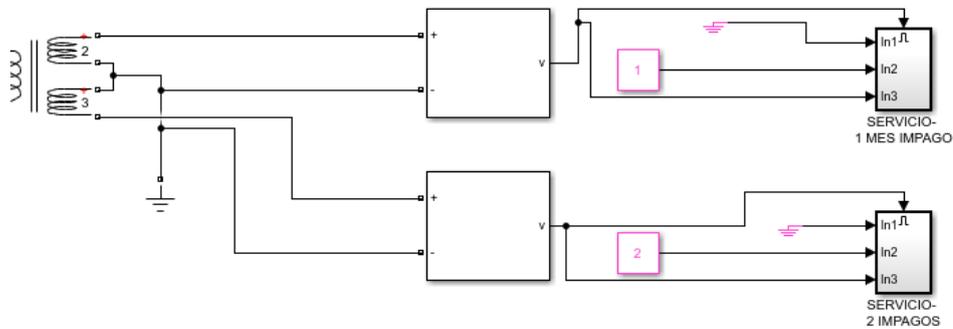


Figura 27 Simulación medidor inteligente.

Fuente: Elaboración propia

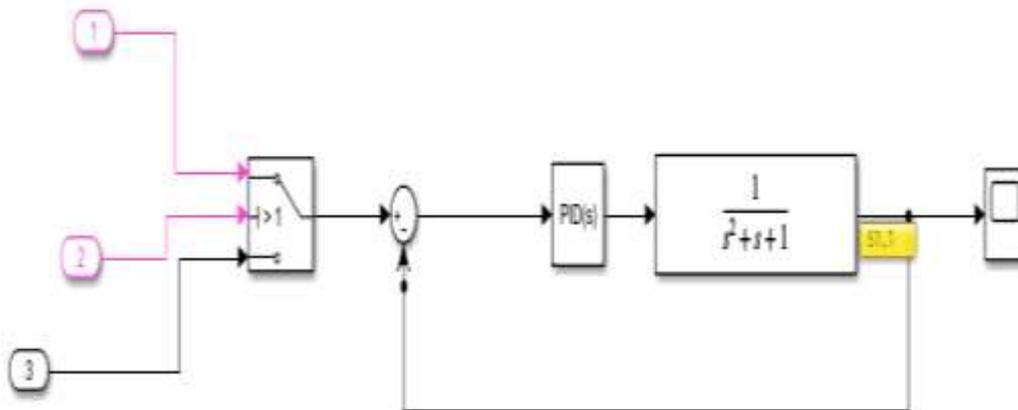


Figura 28 Sistema de control.

Fuente: Elaboración propia

En este bloque inicialmente se encuentra el bloque Switch que está formado por 3 entradas, la primera que va a tierra, la tercera que es una entrada de datos que es obtenida de la señal del voltaje del transformador y la segunda es una entrada de

control que en este caso específico es el valor de las planillas que debe el usuario, de acuerdo al valor de la segunda entrada se ejecuta la primera o la tercera entrada.

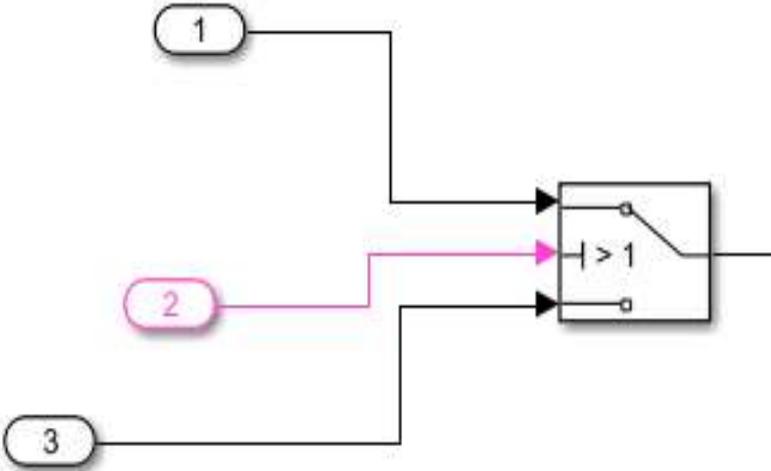


Figura 29 Bloque switch.

Fuente: Elaboración propia

Para este procedimiento se necesita definir las condiciones bajo las que simulan al controlador automático del sistema, las cuales se ingresan directamente al bloque switch, en la tabla 2.3 se adjuntan las variables con las condiciones a ejecutarse.

Tabla 0-1
Valores y condiciones del sistema.

VALORES	CONDICIONES
PLANILLAS ≤ 0	USUARIO CON SERVICIO
0 ≤ PLANILLAS = 1	USUARIO CON SERVICIO
PLANILLAS ≥ 2	USUARIO SIN SERVICIO

Fuente: Elaborada por Autor

Luego se añade un bloque para sumar las entradas del switch más las salidas de la función de transferencia, En el cuadro List of signs, se ingresa “| + - “ para indicar que

La primera posición no se usa, la segunda es una entrada positiva y la tercera una entrada inversora tal como se ve en la imagen 4.11

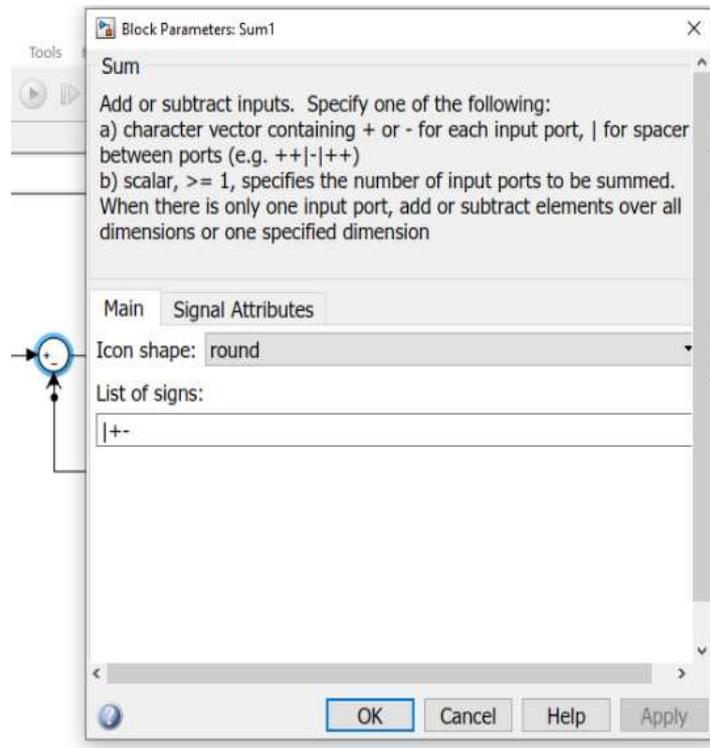


Figura 30 Configuración del bloque suma.

Fuente: Elaboración propia

La simulación trabaja con un sistema de lazo cerrado, que permite llevar el valor del voltaje a un comparador, es decir se realiza una resta entre el setpoint y el valor de voltaje, generándose un error, el que entra al controlador y este permite tener un constante monitoreo de la señal ingresada. Se añade un control PID y una función de transferencia que son la parte fundamental del último tramo del bloque, el cálculo de los parámetros del PID se hace de forma analítica ya que es la manera más factible considerando que se va a definir el comportamiento deseado del circuito.

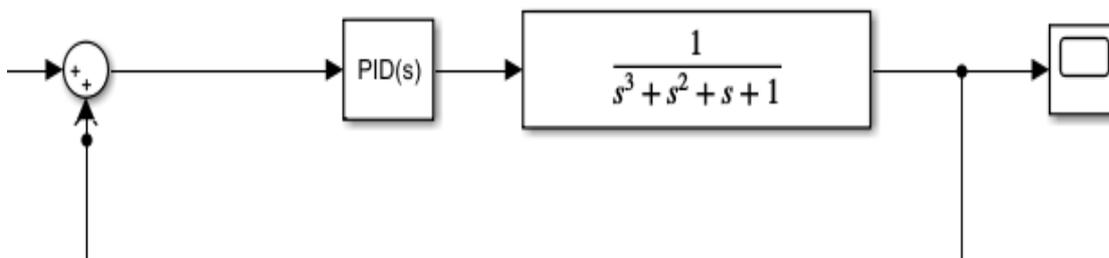


Figura 31 control PID.
Fuente: Elaboración propia

A continuación, se observa los valores dados a las variables PID

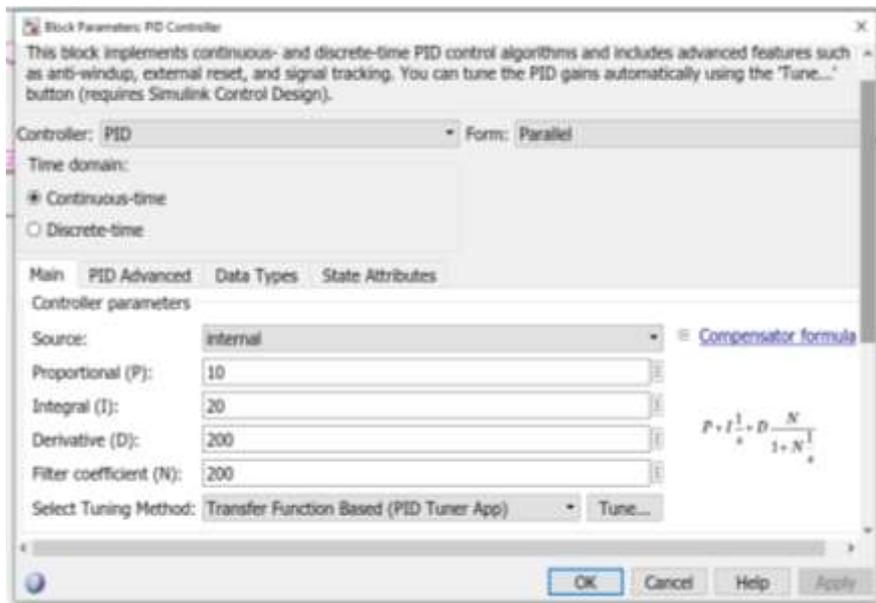


Figura 32 Configuración control PID.

Fuente: Elaboración propia

Para definir la función de transferencia del sistema se debe encontrar alguna ecuación matemática que permita modelar y simular el comportamiento real del proceso.

En la simulación se encuentra de forma analítica la función de transferencia, iniciando con una ecuación de primer orden $\frac{1}{s+1}$ con un solo polo, es decir con una sola "s", se observa el comportamiento del sistema y se agregan los polos necesarios hasta encontrar el comportamiento deseado del sistema en conjunto con el control PID.

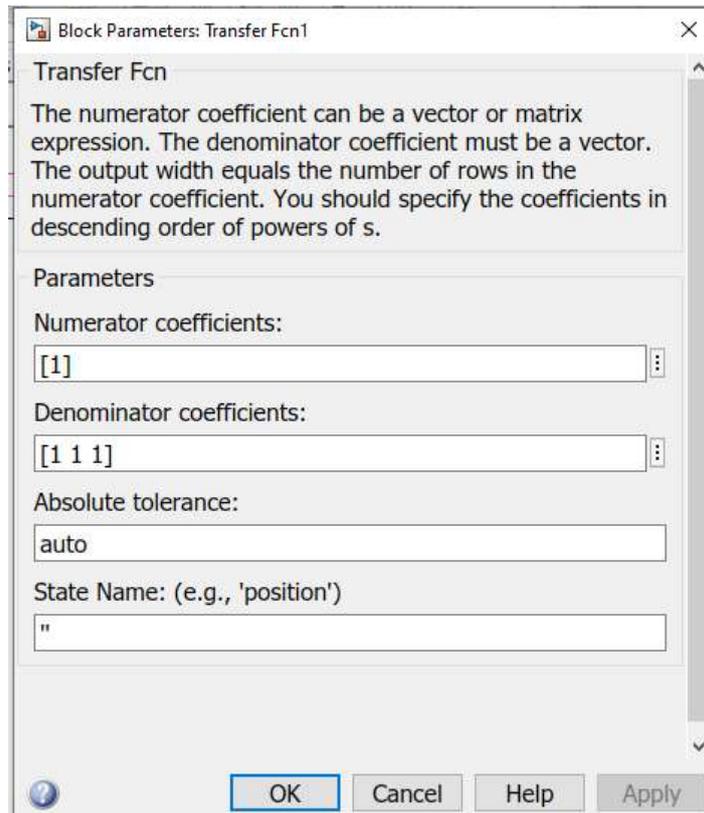


Figura 33 Configuración función de transferencia.

Fuente: Elaboración propia

4.2 Pruebas

Para poder encontrar los valores del control PID y de la función de transferencia, se procedió a realizar varias pruebas con valores aleatorios.

Para el control PID se trabajó con valores menores a 10 debido a que si se aumentaba este valor se va a obtener una inestabilidad del sistema al inicio de la simulación, además el sistema tarda un aproximado de 0.5seg en alcanzar la posición deseada como se observa en la imagen 4.16.

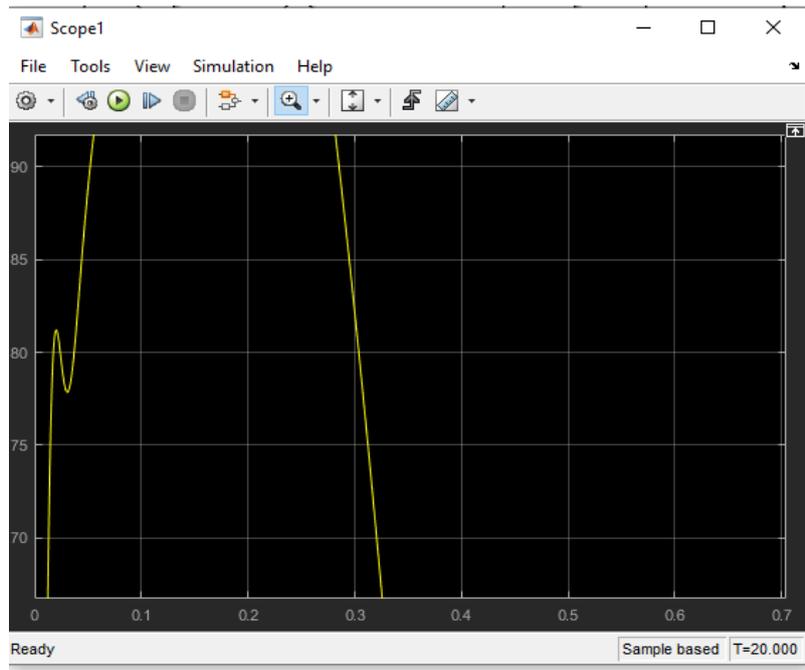


Figura 34 K_p con valores mayor a 10.

Fuente: Elaboración propia

Para la variable K_d se utilizaron valores mayores a 100, al simular con valores menores a estos, se pudo notar que el sistema era rápido y estable, pero mantenía un pequeño error, debido a que el voltaje real del sistema no era exactamente el voltaje deseado, es decir el sistema no alcanzaba los 120V que necesita el abonado.

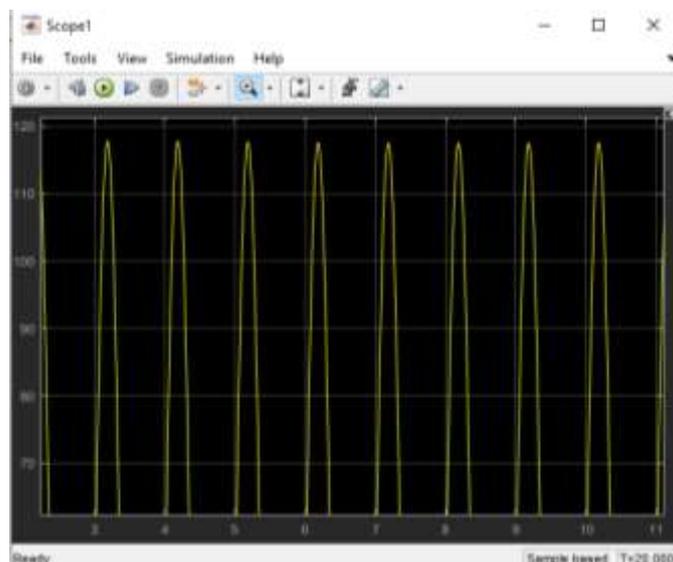


Figura 35 K_d con valores menores a 100.

Fuente: Elaboración propia

Si se le da al K_i valores mayores a 50, se observa como los valores de voltaje comienzan a variar y entre más se aumente presenta más inestabilidad.

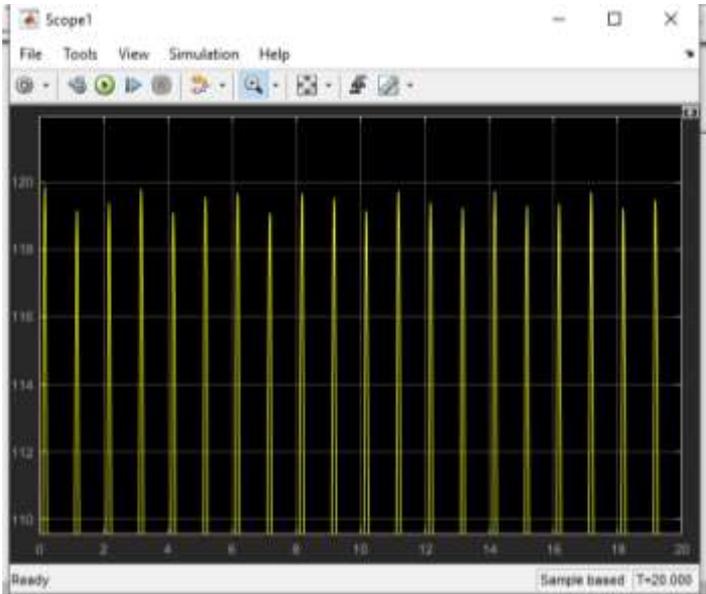


Figura 36 K_i con valores mayores a 50.

Fuente: Elaboración propia

El coeficiente de filtro que en la ecuación determina las variaciones de la señal de control, se trabaja con valores mayores a 100, debido a que, si se trabaja con valores menores a este, presenta variaciones en los primeros segundos de la simulación.

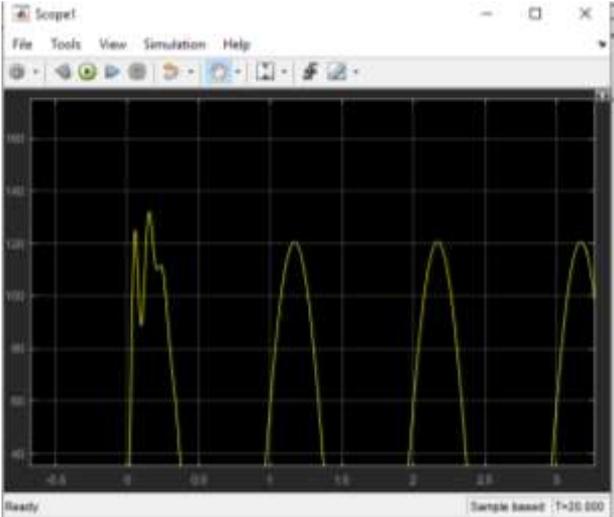


Figura 37 N con valores menores a 100.

Fuente: Elaboración propia

Si no se trabajara con un control PID la señal de sistema puede presentar una inestabilidad considerable y no alcanzaría los valores de voltajes requeridos.

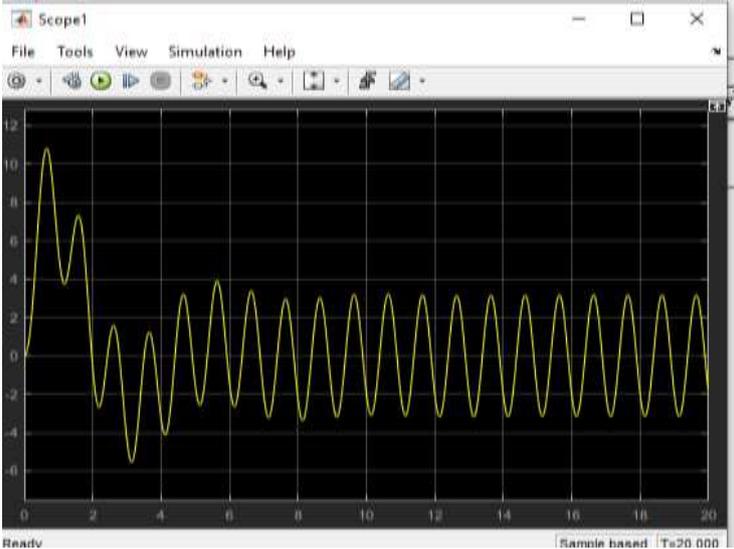


Figura 38 Sistema sin control PID.

Fuente: Elaboración propia

Agregándole más variables a la función de transferencia y convirtiéndola en una función de tercer orden se observa como el sistema pierde estabilidad de manera considerable

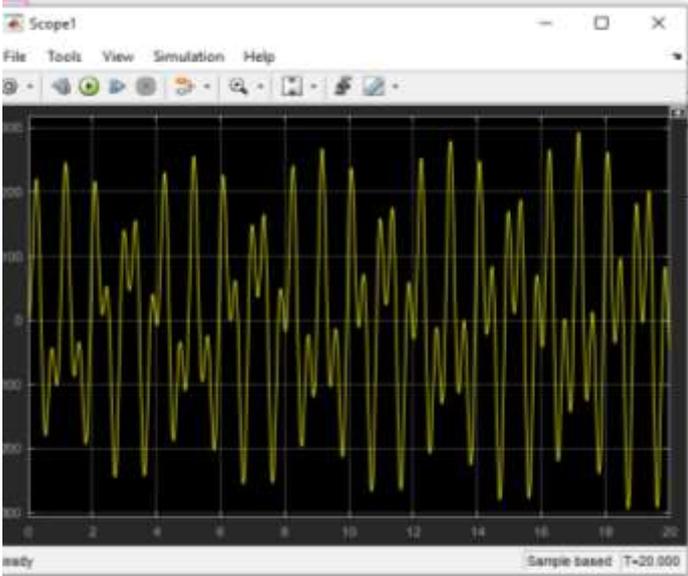


Figura 39 Función de transferencia modificada.

Fuente: Elaboración propia

4.3 Resultados y análisis

Basada en las 3 condiciones planteadas anteriormente en la tabla 2.3 se ingresan los valores en el circuito para poder observar el comportamiento del sistema.

- **Usuario con valores vencidos de planillas menor o igual a una.**

Se puede observar que, para esta condición, si el valor de planillas vencidas del abonado no es mayor a una, sigue teniendo energía eléctrica de manera normal, también se observa que el valor del voltaje llega exactamente a 120v, el tiempo de simulación será un valor que se puede decidir dentro de Simulink.

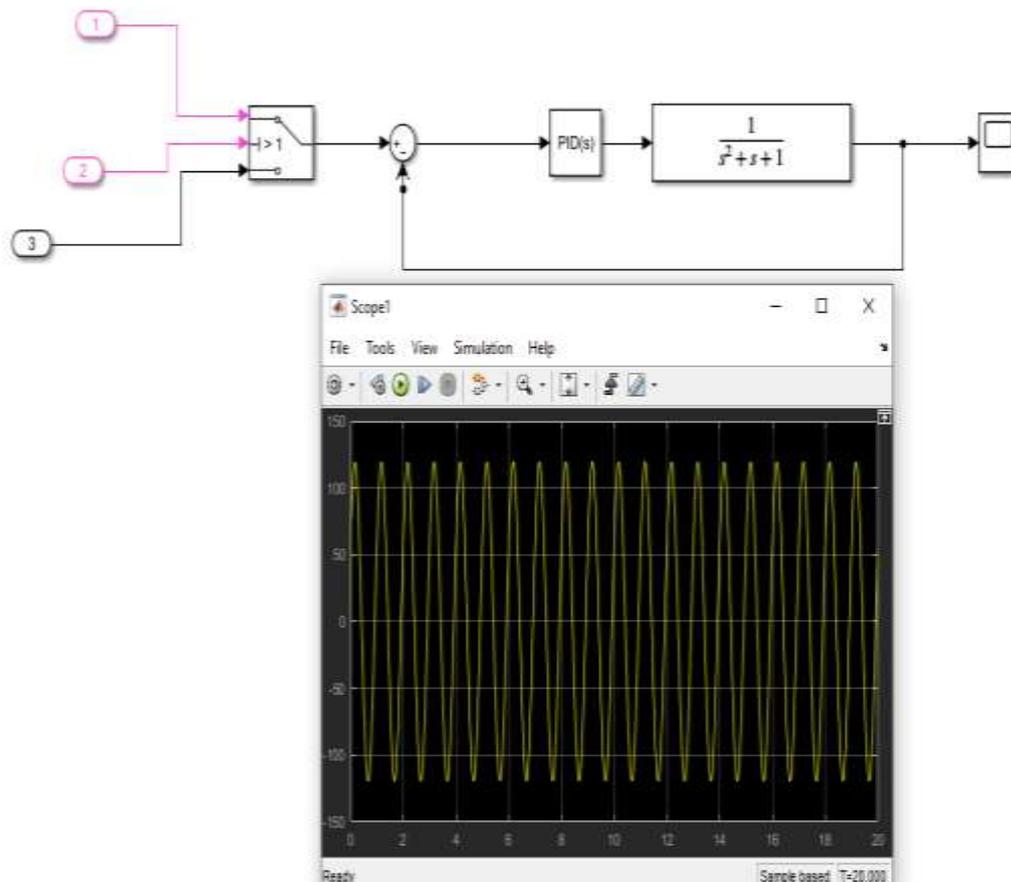


Figura 40 Usuario con valores vencidos de planillas menores a una.

Fuente: Elaboración propia

- **Usuario con valores vencido de planillas dos en adelante**

En este caso si se tiene usuarios con un número de planillas igual o mayores a 2, la energía eléctrica será igual a 0 y por lo tanto se corta el suministro eléctrico, cabe recalcar que para ambos sistemas se utilizaron los mismos parámetros y configuraciones.

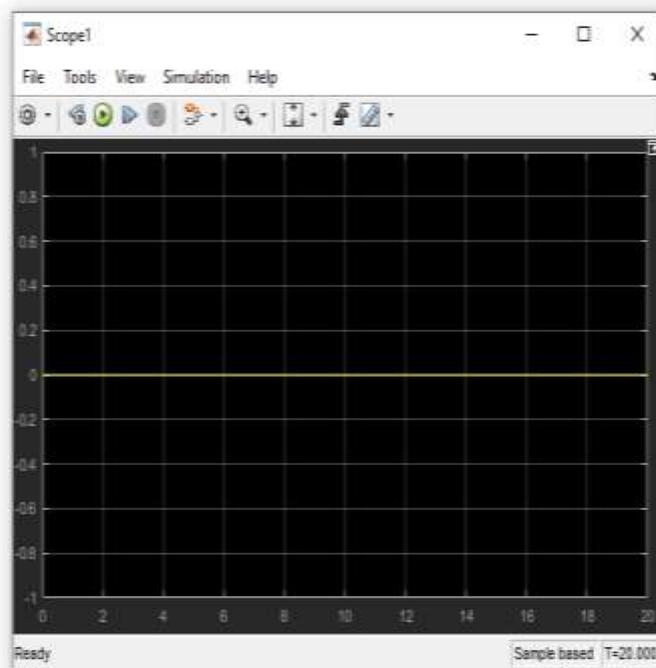
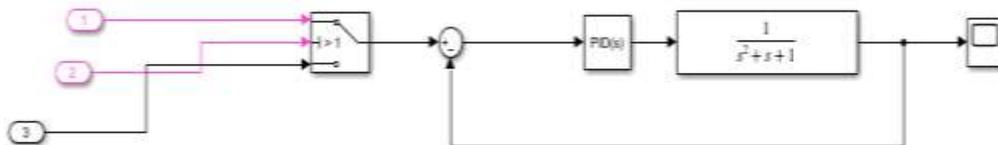


Figura 41 Usuario con valores vencido de planillas mayores a dos.

Fuente: Elaboración propia

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

Poder simular y diseñar una red eléctrica inteligente en el software Simulink dio la apertura de poder investigar los componentes necesarios que permitan que la simulación se asemeje lo más cerca posible a una red eléctrica, razón por la cual se analizó las características de cada elemento utilizado en el sistema, así como su funcionamiento dentro del mismo.

Aunque se presentó los resultados esperados con los elementos seleccionados dentro de la simulación, Simulink aún no cuenta con un módulo PLC que pueda ser utilizado, motivo por el cual se utilizó un control PID que tuvo que ser configurado lo que implicó invertir más tiempo en el desarrollo para asemejarlo al PLC.

Al poder comparar las respuestas obtenidas, y simular el sistema con diferentes valores de voltaje, frecuencia y corriente se pudo observar que las variaciones no eran significativas, sin embargo, al modificar los valores del control PID y de la función de transferencia se pudo observar que la señal que llega al abonado variaba lo que obligó a encontrar los valores exactos para ambos módulos.

El sistema de switch junto con el sistema PID, tenían como objetivo optimizar el paso de la señal de acuerdo a las condiciones establecidas y controlar la señal para obtener el resultado deseado, los datos obtenidos fueron satisfactorios, lo que da apertura para futuros estudios con distintos controladores.

Implementar un sistema de lazo cerrado permite tener una señal de retroalimentación para poder controlar la salida lo que implica que la simulación será propensa a menores errores, además estos sistemas son menos afectados por el ruido del proceso.

Recomendaciones

Para futuros trabajos de simulación con sistemas de red eléctrica inteligente, se recomienda trabajar con un software que cuente con los módulos PLC o su defecto trabajar con una tarjeta física que permita tener valores y escenarios más aproximados a los valores reales.

Se recomienda trabajar con otros controladores lógicos y someterlos a las mismas condiciones, en los mismos escenarios para de esta forma tener un panorama y funcionamiento más amplio de estas simulaciones, pues la importancia de estos sistemas radica que puedan ser implementados en escenarios más grandes y con una densidad poblacional mayor para comprobar su confort y confiabilidad.

Es recomendable continuar el estudio con un software que permita simular la automatización en tiempo real del sistema analizado, con el fin de poder observar las diferentes circunstancias a las cuales puede ser sometida la simulación.

Se recomienda realizar un correcto estudio y socialización de los sistemas eléctricos inteligentes en la urbanización ya que muchos de los dueños de las casas solo pasan las vacaciones de temporada, y así para poder elegir los elementos más factibles y viables, para tener la menor cantidad de inconvenientes posibles sociales y del sistema.

Considerando que la urbanización cuenta con un sistema de distribución energética interno, es recomendable que el sistema eléctrico inteligente se adapte a este para evitar costos de inversión, a menos que una situación contraria lo amerite.

Bibliografía

- AltaBaja Blogspot. (2016). *AltaBaja Blogspot*. Obtenido de <http://altaabaja.blogspot.com/>
- Buelvas, D., Tellez, I., & Mateus, E. (2010). *Redes ópticas DWDM: diseño e implementación*. Obtenido de <https://go.gale.com/ps/i.do?id=GALE%7CA357592726&sid=googleScholar&v=2.1&it=r&linkaccess=abs&issn=19099746&p=IFME&sw=w&userGroupName=anon%7Edb608608>
- Castaño, S. (2019). Obtenido de <https://controlautomaticoeducacion.com/>
- CONELC. (2015). *Aspectos de sustentabilidad y sostenibilidad social y ambiental*. Obtenido de ARCONEL: <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/12/Vol4-Aspectos-de-sustentabilidad-y-sostenibilidad-social-y-ambiental.pdf>
- El Telégrafo. (2017). *Las redes eléctricas se vuelven eficientes y verdes*. Obtenido de El Telégrafo: <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/tecnologia/1/las-redes-electricas-se-vuelven-eficientes-y-verdes>
- FEDIT. (2011). *Smart Grids y la evolución de la red ELÉCTRICA*. Obtenido de http://www.minetad.gob.es/industria/observatorios/SectorElectronica/Actividades/2010/Federaci%C3%B3n%20de%20Entidades%20de%20Innovaci%C3%B3n%20y%20Tecnolog%C3%ADa/SMART_GRIDS_Y_EVOLUCION_DE_LA_RED_ELECTRICA.pdf
- Fundación Endesa. (2021). *Smart Grids*. Obtenido de Fundación Endesa: <https://www.fundacionendesa.org/es/recursos/a201908-smart-grid>
- García, F. (2005). *Introducción a la tecnología PLC*. Obtenido de <https://docplayer.es/19966584-La-tecnologia-plc-consiste-en-la-utilizacion.html>
- Garvía, L. (2011). *Redes inteligentes - Smart grids*. Obtenido de Economía sostenible: http://garvia.blogspot.com/2011_11_01_archive.html
- Gómez, V., Hernández, C., & Rivas, E. (2017). *Visión general, características y funcionalidades de la red eléctrica inteligente*. Obtenido de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642018000200089

- Hernández, A. (2006). *Transmisión de voz y datos a alta velocidad a través de los cables eléctricos*. Obtenido de Revista Digital de las tecnologías de la Información y las comunicaciones, Telem@tica. : <http://www.seincodelcentro.com/productos.php?lstMarca=-1&lstTipo=SID>
- ITS. (2014). *Las redes inteligentes*. Obtenido de <http://itsct.edu.ec/portal/index.php/component/content/article?id=215>
- Jorge, F., & Menéndez, J. (2019). *Las redes inteligentes y el papel del distribuidor de energía eléctrica*. Obtenido de Orkestra: <https://www.orquestra.deusto.es/images/investigacion/publicaciones/informes/cuadernos-orkestra/redes-inteligentes.pdf>
- La Union Europea. (2017). Obtenido de <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/el-proceso-internacional-de-lucha-contr-el-cambio-climatico/la-union-europea/>
- Lenin, B. (2018). *Modelación y simulación de medios de transmisión variables con el tiempo para PLC en redes energéticas inteligentes o Smart Grids*. Obtenido de Universidad Católica Santiago de Guayaquil.: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/10960>
- Millan, J. (2014). *Configuración de infraestructuras de sistemas de telecomunicaciones*. Madrid: Paraninfo.
- Moncayo, J. (2017). *Caracterización de las redes eléctricas para su empleo en las redes energéticas inteligentes*. Obtenido de Universidad Católica Santiago de Guayaquil: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/8351>
- Montoya, M. (2017). *Evaluación de los diferentes tipos de modulaciones para sistemas PLC empleados en las redes energéticas inteligentes*. Obtenido de Universidad Católica Santiago de Guayaquil: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/8352>
- Ortega, E. (2012). *Redes de Comunicación en Smart Grid*. Obtenido de INGENIUS. Revista de Ciencia y Tecnología: <https://revistas.ups.edu.ec/index.php/ingenius/article/view/7.2012.05>
- Overman, T., & Sackman, R. (2010). *High assurance smart grid: Smart grid control systems communications architecture*. Obtenido de 2010 First IEEE International Conference on Smart Grid Communications: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5622007>

- Peralta, A., & Amaya, F. (2013). *Evolución de las redes eléctricas hacia smart grid en países de la región andina*. Obtenido de Revista Educación en Ingeniería: <https://educacioneningenieria.org/index.php/edi/article/view/285/165>
- Plancarte, F. (2006). *Tecnología PLC en México*. Obtenido de <https://docplayer.es/5661073-Tecnologia-plc-en-mexico.html>
- Puente, M. (2017). *Iniciativas y mejores prácticas de seguridad para el IoT*. Obtenido de incibe-cert: <https://www.incibe-cert.es/blog/iniciativas-y-mejores-practicas-seguridad-el-iot>
- Romero, M., & Armando, C. (2009). *Estudio y proyección del despliegue de la tecnología PLC como alternativa de acceso en Ecuador*. Guayaquil: UCSG.
- Santillán, M. (2017). *¿Qué son las redes eléctricas inteligentes?* Obtenido de Ciencia UNAM: <http://ciencia.unam.mx/leer/680/-que-son-las-redes-electricas-inteligentes->
- SectorElectricidad. (2015). *El viaje de la energía eléctrica y sus etapas: Generación, Transmisión, Distribución y Utilización*. Obtenido de SectorElectricidad: <https://www.sectorelectricidad.com/11389/el-viaje-de-la-energia-electrica-y-sus-etapas-generacion-transmision-distribucion-y-utilizacion/>
- SmartGridsInfo.es. (2015). *Smart Grids Info*. Obtenido de <https://www.smartgridsinfo.es/2015/04/13/hoja-de-ruta-para-la-implementacion-de-las-smart-grids-en-ecuador>
- Torres, Á. (2013). *La potencialidad de implementar smart grid en ecuador*. Obtenido de Universidad Técnica Particular de Loja: <https://es.slideshare.net/altorres4/la-potencialidad-de-implementar-smart-grid-en-ecuador#:~:text=POTENCIALIDAD%20EN%20EL%20ECUADOR%20DE,monitoreo%20del%20flujo%20de%20energ%C3%ADa.&text=Es%20decir%2C%20consumidores%20con%20capacidad,%E2%80%9Cinteligente%>
- Velasquez, I., Zambrano, M., & Medina, C. (2014). *Redes eléctricas de interiores como canal de comunicación*. Obtenido de Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad Tecnológica de Panamá: <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/prisma/article/view/522/html>

GLOSARIO

ADR: Automated Demand Response, Respuesta a la demanda automatizada

AMI: Advanced Metering Infrastructure, Infraestructura de Medición Avanzada

HASG: High Assurance Smart Grid, Red Inteligente de Alta Seguridad
sistemas Multiagente

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers, Instituto de Ingenieros
Eléctricos y Electrónicos

IoT: Internet of Things, Internet de las cosas

MAS: Multi-agent systems, Sistemas Multi-Agente

MDM: Measurement Data Management System, Sistema de Gestión de Datos de
Medición

MEER: Ministerio de Electricidad y Energía Renovable

OFDM: Orthogonal Frequency-Division Multiplexing, Multiplexación por división de
frecuencia ortogonal

PLC: Power Line Communications

PLIC: Power Line Indoors Communications, Comunicaciones interiores de línea
eléctrica

PLOC: Power Line Outdoors Communications, Comunicaciones exteriores de línea
eléctrica

REI: Redes Eléctricas Inteligentes

RFID: Radio Frequency Identification, Identificación de frecuencia de radio

RLC: Resistor-Inductor-Capacitor Circuit, Circuito Resistor-Inductor-Capacitor

SEP: Sistema Eléctrico de Potencia

SG: Smart Grid, Red Inteligente



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Acosta Campoverde Esteven Daniel**, con C.C: # **0927085787** autor del trabajo de titulación: **Diseño y simulación en Simulink de una red eléctrica inteligente para la telegestión de la urbanización Las Arenas del Cantón Salinas**, previo a la obtención del título de **Magíster en Telecomunicaciones** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, a los 22 días del mes junio del año 2022

f. 

Nombre: Acosta Campoverde Esteven Daniel

C.C: 0927085787

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA			
FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN			
TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Diseño y simulación en Simulink de una red eléctrica inteligente para la telegestión de la urbanización Las Arenas del Cantón Salinas		
AUTOR(ES)	Acosta Campoverde Esteven Daniel		
REVISOR(ES)/TUTOR	MSc. Córdova Rivadeneira Luis; MSc. Quezada Calle Edgar / MSc. Romero Paz Manuel		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Sistema de Posgrado		
PROGRAMA:	Maestría en Telecomunicaciones		
TÍTULO OBTENIDO:	Magister en Telecomunicaciones		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	22 de junio de 2022	No. DE PÁGINAS:	76
ÁREAS TEMÁTICAS:	Redes eléctricas tradicionales, Redes eléctricas inteligentes, Infraestructura, elementos, simulación		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Smart Grid; ahorro energético; automatización; red eléctrica inteligente; Simulink; Matlab.		
RESUMEN: Los sistemas Smart Grid o también conocidos como redes eléctricas inteligentes son una combinación entre las TIC, la automatización y el control, con este tipo de sistemas, se trata de asegurar la confiabilidad y seguridad energética, además poder reducir de manera significativa el uso de la energía, minimizando por ende también los costos. El presente trabajo de titulación muestra la simulación de un sistema Smart Grid en el programa Simulink de Matlab con la finalidad de comprender como opera una red inteligente en el medidor de energía del hogar de un abonado, creando una intercomunicación entre distribuidoras de electricidad, los proveedores y clientes. La implementación de estos sistemas muestra una evolución continua dentro la industria energética, ofreciendo múltiples ventajas que van desde el ahorro de energía hasta la integración de energías renovables aportando también en la conservación del medio ambiente, es por esta razón que se convierte en una necesidad explorar e investigar las alternativas que las Smart Grid ofrecen.			
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-994291653	E-mail: esteven58@icloud.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):	Nombre: Romero Paz Manuel de Jesús		
	Teléfono: +593-994606932		
	E-mail: manuel.romero@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			