

**EFICIENCIA ENERGÉTICA MEDIANTE SISTEMAS SCADA PARA EL CONTROL DE LA
DEMANDA DE UNA RESIDENCIA**

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

CARRERA: INGENIERÍA ELÉCTRICA

**Tesis previa a la obtención del título de:
INGENIERO ELÉCTRICO**

**TEMA:
EFICIENCIA ENERGÉTICA MEDIANTE SISTEMAS SCADA PARA EL
CONTROL DE LA DEMANDA DE UNA RESIDENCIA**

**AUTOR:
EDWIN ADRIAN JUNA JUCA**

**DIRECTOR:
EDWIN MARCELO GARCÍA TORRES**

Quito, Febrero de 2015

DECLARATORIA DE AUTORÍA:

Yo, Edwin Adrián Juna Juca autorizo a la Universidad Politécnica Salesiana la publicación total o parcial de este trabajo de grado y su reproducción sin fines de lucro.

Además declaro que los conceptos y análisis desarrollados y las conclusiones del presente trabajo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Quito, 20 de Febrero de 2015

Edwin Adrián Juna Juca
CC: 172326499-8

AUTOR

CERTIFICA:

Haber dirigido y revisado prolijamente cada uno de los capítulos técnicos y financieros del informe de la tesis, así como el funcionamiento de “EFICIENCIA ENERGÉTICA MEDIANTE SISTEMAS SCADA PARA EL CONTROL DE LA DEMANDA DE UNA RESIDENCIA” realizada por el Sr. Edwin Adrián Juna Juca, previa a la obtención del título de Ingeniero Eléctrico en la Carrera de Ingeniería Eléctrica.

Por cumplir los requisitos autoriza su presentación.

Quito, 20 de Febrero de 2015

Ing. Edwin Marcelo García Torres
DIRECTOR

DEDICATORIA.

Edwin Adrián Juna Juca

Este proyecto es dedicado

Con mucho amor a todas las personas

De que una u otra manera

Han estado durante todo este proceso.

Dedicado especialmente a la persona que, aunque no está físicamente

Presente, está en mi mente a cada momento

A Pedro Alexis.

AGRADECIMIENTO.

Edwin Adrián Juna Juca

Agradezco a la Universidad Politécnica Salesiana por abrirme sus puertas para prepararme tanto en el aspecto personal como en el académico, dándome la oportunidad de adquirir conocimientos que me fueron de mucha utilidad en la elaboración del presente proyecto.

Un agradecimiento especial a mí tutor Ing. Marcelo García por su paciencia y colaboración con sus conocimientos en el presente trabajo de investigación.

INDICE GENERAL

| | |
|---|------|
| DECLARATORIA DE AUTORÍA:..... | II |
| CERTIFICA: | III |
| DEDICATORIA..... | IV |
| AGRADECIMIENTO. | V |
| INDICE GENERAL..... | VI |
| INDICE DE FIGURAS | VIII |
| INDICE DE TABLAS..... | X |
| INDICE DE ANEXOS | X |
| GLOSARIO DE TÉRMINOS | XI |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| CAPÍTULO I | 2 |
| DEMANDA DE ENERGIA ELECTRICA | 2 |
| 1.1 Demanda de energía eléctrica..... | 2 |
| 1.1.1 Factores que influyen en la demanda de energía residencial..... | 2 |
| 1.1.2. Predicción de la demanda de energía en el Ecuador..... | 3 |
| 1.2 Monitoreo y control de la demanda | 5 |
| 1.2.1. Plan de gestión de la demanda..... | 5 |
| 1.2.2 Monitoreo de la demanda de energía | 6 |
| 1.2.3. Control de la demanda energía | 7 |
| 1.3 Modelos matemáticos aplicados a la demanda | 10 |
| 1.3.1. Métodos de predicción de la demanda de energía eléctrica..... | 11 |
| 1.4 Normas aplicadas al control de la demanda..... | 14 |
| CAPÍTULO II..... | 17 |
| SISTEMA SCADA PARA EL CONTROL DE LA DEMANDA | 17 |
| 2.1 Tipos de sistemas SCADA para el control de la demanda..... | 17 |
| 2.1.1 Sistemas SCADA según la tipología..... | 19 |
| 2.1.2 Sistemas SCADA según la topología | 21 |
| 2.1.3 Sistemas SCADA según los medios de transmisión | 24 |
| 2.1.4 Tipos de HMI | 25 |
| 2.2 Diseño de las tarjetas de adquisición de datos | 26 |
| 2.2.1 Principales elementos utilizados en las tarjetas de adquisición de datos | 27 |
| 2.2.2 Control de cargas mediante Arduino | 31 |
| 2.2.3 Tomacorriente Enchufable Automático | 33 |
| 2.2.4 Interruptor Manual-Automático | 35 |

| | |
|---|----|
| 2.2.5 Configuración de dispositivos Xbee..... | 37 |
| 2.3 Diseño del sistema SCADA | 40 |
| 2.3.1 Descripción del HMI | 40 |
| 2.4 Protocolos de comunicación | 43 |
| 2.4.1 Zigbee (IEEE 802.15.4)..... | 43 |
| 2.4.2 Comunicación UART (Transmisión y Recepción Universal Asíncrona) | 47 |
| CAPÍTULO III..... | 49 |
| MODELACION Y OPTIMIZACION DE LA DEMANDA..... | 49 |
| 3.1 Determinación de la demanda..... | 49 |
| 3.1.1 Clasificación de clientes residenciales por estratos de consumo según la Empresa Eléctrica Quito..... | 51 |
| 3.1.2 Curva de demanda en el sector residencial de la ciudad de Quito | 54 |
| 3.2 Modelamiento de la demanda | 55 |
| 3.2.1 Redes Neuronales Artificiales..... | 55 |
| 3.2.2 Método Redes Neuronales Artificiales..... | 62 |
| 3.3 Sistemas de optimización..... | 68 |
| 3.3.1 Factores que influyen en la optimización de Energía Eléctrica..... | 68 |
| 3.3.2 Optimización de instalaciones y equipos eléctricos | 69 |
| 3.4 Optimización de la demanda..... | 73 |
| CAPÍTULO IV | 77 |
| FACTIBILIDAD TECNICA ECONOMICA PARA EL CONTROL DE LA DEMANDA..... | 77 |
| 4.1 Factibilidad técnica | 77 |
| 4.2 Beneficio-Costo..... | 78 |
| 4.3 Impacto social y ambiental..... | 82 |
| Impacto social..... | 82 |
| Impacto Ambiental | 82 |
| 4.4 Plan de negocio e ingeniería de la implementación | 83 |
| Conclusiones..... | 87 |
| Recomendaciones | 89 |
| Referencias..... | 91 |
| ANEXO A | 95 |
| DATASHEET XBEE S2 PRO | 95 |
| ANEXO B | 97 |
| PROGRAMACION EN MATLAB PARA EL PRONOSTICO DE LA DEMANDA DE ENERGIA ELECTRICA UTILIZANDO REDES NEURONALES ARTIFICIALES | 97 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1.1: Evolución histórica y proyección de clientes del sector residencial. | 4 |
| Figura 1.2: Evolución histórica y proyección del consumo del sector residencial. | 5 |
| Figura 1.3: Diferenciación de curvas con administración y sin administración de carga | 6 |
| Figura 2.1: Dispositivos de un Sistema SCADA de uso residencial | 19 |
| Figura 2.2: Sistema Centralizado | 19 |
| Figura 2.3: Sistema Descentralizado | 20 |
| Figura 2.4: Sistema Distribuido | 20 |
| Figura 2.5: Sistemas Mixtos | 21 |
| Figura 2.6: Nodos de un SCADA de uso residencial | 21 |
| Figura 2.7: Topología en Estrella | 22 |
| Figura 2.8: Topología en Malla | 22 |
| Figura 2.9: Topología en Anillo | 23 |
| Figura 2.10: Topología en Bus | 23 |
| Figura 2.11: Clasificación de los SCADA según el medio de transmisión | 24 |
| Figura 2.12: Arduino MEGA 2560 | 29 |
| Figura 2.13: Triac BT136 | 30 |
| Figura 2.14: Características Triac BT136 | 30 |
| Figura 2.15: Arduino-XbeeShield-Xbee | 31 |
| Figura 2.16: Tarjeta impresa de potencia para Arduino | 32 |
| Figura 2.17: Vista 3D tarjeta de potencia para Arduino | 32 |
| Figura 2.18: Tarjeta impresa tomacorriente automático | 34 |
| Figura 2.19: Vista 3D tarjeta tomacorriente automático | 34 |
| Figura 2.20: Sensor de efecto Hall ACS712T | 35 |
| Figura 2.21: Tarjeta impresa interruptor manual-automático | 36 |
| Figura 2.22: Vista 3D tarjeta interruptor manual-automático | 36 |
| Figura 2.23: Selección del Puerto y parámetros de comunicación | 38 |
| Figura 2.24: Selección del tipo de dispositivo | 39 |
| Figura 2.25: Asignación de PAN ID | 39 |
| Figura 2.26: Asignación de NI | 40 |
| Figura 2.27: Pantalla de Bienvenida y acceso al sistema principal | 41 |
| Figura 2.28: Pantalla de ingreso de cargas residenciales | 41 |
| Figura 2.29: Pantalla de control y monitoreo de la demanda | 42 |
| Figura 2.30: Indicadores de carga activa o inactiva | 42 |
| Figura 2.31: Indicador de ahorro y Kg de CO2 que dejamos de emitir | 43 |
| Figura 2.32: Topologías de redes Zigbee | 45 |

| | |
|--|----|
| Figura 2.33: Comunicación UART entre un PIC y un Xbee | 47 |
| Figura 2.34: Xbee-USB Adapter | 48 |
| Figura 2.35: Protocolos de comunicación del sistema SCADA | 48 |
| Figura 3.1: Curva de Carga en el sector residencial de la Ciudad de Quito | 54 |
| Figura 3.2: Usos finales de la Energía Eléctrica en el Sector Residencial de la Región Sierra..... | 55 |
| Figura 3.3: Relación entre una neurona biológica y una artificial..... | 56 |
| Figura 3.4: Analizador Fluke 43b | 63 |
| Figura 3.5: Esquema de Red Neuronal Implementada | 64 |
| Figura 3.6: Metodología para el pronóstico utilizando Redes Neuronales Artificiales.. | 66 |
| Figura 3.7: Curva de Demanda Pronosticada | 67 |
| Figura 3.8: Operación de controladores por el método de carga instantánea | 72 |
| Figura 3.9: Operación de controladores de demanda | 74 |
| Figura 3.10: Operación propuesta de controladores de demanda..... | 75 |
| Figura 4.1: Estructuración administrativa de la Empresa | 86 |

INDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 2.1: Características Xbee Serie 2 | 31 |
| Tabla 2.2: Comparación de Zigbee con Wi-Fi y Bluetooth..... | 46 |
| Tabla 3.1: Demanda Máxima Unitaria según la Empresa Eléctrica Quito..... | 51 |
| Tabla 3.2: Estratos de consumo según la E.E.Q. | 51 |
| Tabla 3.3: Tipos de aprendizaje supervisado..... | 60 |
| Tabla 3.4: Tipos de aprendizaje no supervisado..... | 62 |
| Tabla 3.5: Valores de Demanda Pronosticada | 67 |
| Tabla 4.1: Precio equipos para el control de la demanda | 79 |
| Tabla 4.2: Precio por el consumo de energía sin Sistema de Control de Cargas..... | 79 |
| Tabla 4.3: Precio por el consumo de energía con Sistema de Control de Cargas | 80 |

INDICE DE ANEXOS

| | |
|---|----|
| ANEXO A..... | 95 |
| DATASHEET XBEE S2 PRO | 95 |
| ANEXO B..... | 97 |
| PROGRAMACION EN MATLAB PARA EL PRONOSTICO DE LA DEMANDA DE ENERGIA ELECTRICA UTILIZANDO REDES NEURONALES ARTIFICIALES . | 97 |

GLOSARIO DE TÉRMINOS

| | |
|-------|--|
| DMU | Demanda Máxima Unitaria |
| FERUM | Programa de Energización Rural y Electrificación Urbano Marginal |
| CELEC | Corporación Eléctrica del Ecuador |
| DMQ | Distrito Metropolitano de Quito |
| EEQ | Empresa Eléctrica Quito |
| INEC | Instituto Nacional de Estadísticas y Censos |
| SCADA | Supervisory, Control and Data Acquisition |
| HMI | Human Machine Interface |
| CFN | Corporación Financiera Nacional |
| RNA | Redes Neuronales Artificiales |
| WPAN | Wireless Personal Area Network |
| IEC | Comisión Electrotécnica Internacional |
| UIT | Unión Internacional de Telecomunicaciones |
| LTLF | Long-Term Load Forecasting |
| MTLF | Medium-Term Load Forecasting |
| STLF | Short-Term Load Forecasting |
| VSTLF | Very Short-Term Load Forecasting |

Resumen

Eficiencia energética mediante sistemas SCADA para el control de la demanda de una residencia

Edwin, Adrián, Juna, Juca
eadrian_jn@hotmail.es
Universidad Politécnica Salesiana

Resumen—“El presente trabajo de tesis desarrolla un prototipo de sistema SCADA con el cual se puede controlar cargas residenciales, el sistema consta de equipos enchufables a los cuales se conecta la carga que queremos controlar. La comunicación entre los distintos dispositivos que forman parte del sistema será mediante el protocolo de comunicaciones ZigBee, protocolo de comunicaciones inalámbrico muy confiable. La base de funcionamiento del sistema es mediante una curva de demanda, dicha curva de demanda es obtenida mediante un modelamiento matemático. El modelamiento matemático utilizado es Redes Neuronales Artificiales (RNA), modelamiento que se ajusta perfectamente a las necesidades de este proyecto. Para el pronóstico de la demanda de energía eléctrica residencial se tomaron datos mediante un analizador Fluke 43b, de los cuales se sirve el modelo matemático para el pronóstico de la demanda. Los valores de demanda obtenidos serán comparados con un punto de referencia y según sea programado, el sistema automáticamente conectará o desconectará las cargas existentes en la residencia. Además con este proyecto de tesis se intenta dar a conocer tanto los beneficios económicos como los beneficios al medio ambiente que vienen de la mano con la utilización de esta nueva tecnología.”

Índice de Términos— Control de la demanda, Demanda de energía eléctrica, Gestión de la demanda, Redes Neuronales Artificiales, SCADA, Usos finales de la energía eléctrica.

Abstract

Energy efficiency using SCADA systems for the control of residential loads

Edwin, Adrián, Juna, Juca
eadrian_jn@hotmail.es
Salesian Polytechnic University

Abstract—“This thesis develops a prototype of SCADA system which can be controlled residential loads, the system consists of pluggable equipment to which the load to be monitored is connected. The communication between devices that are part of the system will be using ZigBee communication protocol, protocol very reliable wireless communications. The base operating system is via a demand curve, demand curve that is obtained by mathematical modeling. Mathematical modeling is used Artificial Neural Networks (ANN) modeling that perfectly fits the needs of this project. For forecasting the demand for residential electricity data were taken using a Fluke 43b, of which the mathematical model for forecasting demand is served. Demand values obtained will be compared with a benchmark and as scheduled, the system automatically connect or disconnect the existing loads in the residence. In addition to this thesis project we try to present both economic benefits and environmental benefits that come hand in hand with the use of this new technology.”

Keywords—Control of demand, electricity demand, demand management, Artificial Neural Networks, SCADA, end use of electricity.

INTRODUCCIÓN

El Estado Ecuatoriano a través del Plan Nacional del Buen Vivir, el Ministerio de Electricidad y Energías Renovables y la Dirección Nacional de Eficiencia Energética, incentivan el uso eficiente y sustentable de la energía en todas sus formas a través de la generación e implementación de políticas, planes y proyectos.

El derroche o el mal uso de la energía en los hogares y la despreocupación que se tiene sobre la misma, han hecho necesario plantear una política de ahorro energético así como evaluar nuevas estrategias y tecnologías de automatización que permitan controlar y minimizar la demanda de energía eléctrica en el sector residencial, donde se presenta el mayor porcentaje de demanda de energía a nivel nacional y en especial en la ciudad de Quito que presenta el mayor número de abonados.

En la actualidad los sistemas SCADA ofrecen seguridad, eficiencia en el consumo energético y en el uso de las instalaciones, sin restar, incluso aumentando, el confort de los usuarios y la comunicación inmediata desde cualquier punto de la vivienda y sus elementos.

Aplicando los sistemas SCADA desde el punto de vista de servicios habituales y alejándonos por lo tanto de la consideración de capricho: automatizar la vivienda, sea cual sea su tipología, no desde el punto de vista de elemento de lujo, sino como medida integradora para garantizar la eficiencia energética, seguridad y confort en nuestros hogares.

Se considera por lo tanto interesante estudiar el desarrollo de sistemas SCADA que faciliten e incluso garanticen el control de la demanda de energía de una residencia así como el uso eficiente de sus instalaciones, todo ello planteado desde el punto de vista usual, alejándonos de la visión futurista y de lujo que se ha percibido sobre este tipo de aplicaciones e intentando dar a conocer su aplicabilidad a todos los agentes involucrados: Gobierno, Ministerio, proyectistas, instaladores y fundamentalmente a los usuarios finales los cuales tienen un alto interés en la reducción del consumo de energía eléctrica y por tanto en su facturación. Además este tipo de proyectos favorecerán en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, aspecto que va de la mano con el cambio de la matriz energética promulgada por el Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos.

CAPÍTULO I

DEMANDA DE ENERGIA ELECTRICA

En este capítulo se tratará sobre la demanda de energía eléctrica, se dará una concepción general de la misma. Se utilizarán datos de la demanda de energía que se proyecta en el país, sobre todo en el sector residencial. Se darán a conocer las estrategias que existen para controlar la demanda, así como de los equipos que nos pueden ayudar en su control. Se definirá algunas características de los diferentes métodos matemáticos que se aplican para predecir demandas futuras de energía. Por último se hablará sobre las normas que se aplican en el control de la demanda de energía a nivel internacional.

1.1 Demanda de energía eléctrica en el sector residencial

La demanda de energía eléctrica se define como el valor de potencia, que en un intervalo de tiempo, es requerida de la red por el consumidor, es decir mientras más aparatos eléctricos se encuentren funcionando al mismo tiempo mayor es la demanda de energía.

En el perfil de demanda se puede distinguir: la demanda máxima, también conocida como demanda punta, es el máximo valor de demanda en un periodo determinado. La demanda mínima, también conocida como carga base, es el mínimo valor de demanda en un periodo determinado. Finalmente la demanda media, que es la relación entre la energía consumida durante un periodo considerado y la duración de dicho periodo [1]:

$$D_{med} = \frac{E}{T} = \frac{\int_0^T P(t)dt}{T} [W] \quad (1)$$

1.1.1 Factores que influyen en la demanda de energía residencial

La demanda de energía eléctrica está sujeta a cambios debido a un gran número de factores. En el sector residencial, se consideran factores influyentes el número de personas por vivienda, el número de viviendas usuarias del servicio, condiciones socioeconómicas, el precio de los electrodomésticos, usos diarios de calefacción o refrigeración. También puede variar la demanda según la hora del día, ya que se suele consumir más electricidad durante las primeras horas del día antes de producirse la incorporación a la jornada laboral, disminuyendo durante el desarrollo de la misma y volviendo a aumentar dicho consumo al finalizar la jornada laboral.

Según Bartels y Fiebig, el sector residencial es habitualmente uno de los sectores que

principalmente contribuye a las puntas de demanda del sistema de generación eléctrica [2].

Las estaciones del año son otro de los factores que influyen en la demanda de energía, ya sean estas, invierno o verano, en las cuales se utiliza aire acondicionado para contrarrestar los cambios de temperatura, en este aspecto también hay que tener en cuenta el tipo de material que se utiliza en la construcción o el aislamiento térmico en las viviendas. La demanda de energía también varía según los días de la semana, ya está suele ser mayor en los días laborables que en los fines de semana o días festivos.

Otro factor que influye en la demanda de energía eléctrica puede ser el uso ineficiente de la energía, el uso de equipos obsoletos o de baja eficiencia energética.

La demanda de energía eléctrica se influenciada de forma general de la cultura o costumbres que tenemos sobre el uso de la misma, de los costos que nos trae su correcta utilización y sobre todo su mala utilización, para usuarios y sobre todo empresas eléctricas, Ministerios, Gobierno y al país en general, tomando en cuenta además de las afectaciones que conlleva al medio ambiente.

1.1.2. Predicción de la demanda de energía en el Ecuador

La proyección de la demanda de energía eléctrica cumple un papel fundamental en la planificación de expansión de los sistemas eléctricos, la misma es un requerimiento necesario para la realización de los estudios en las etapas funcionales de generación, transmisión y distribución para de esta manera garantizar el suministro eléctrico a los usuarios finales [3].

La proyección de demanda futura de energía constituye una acción primaria, básica y esencial en el proceso de decisión de las posibles alternativas de inversión sectorial y de desarrollo a nivel país. Asimismo, constituye un insumo para la elaboración de presupuestos, estudios de pérdidas e inversiones y la realización de cálculos tarifarios¹.

La proyección de la demanda eléctrica consiste en pronosticar lo siguiente:

- Número de abonados
- Facturación de energía por sectores
 - Residencial
 - Comercial
 - Industrial

¹ PLAN MAESTRO DE ELECTRIFICACION 2013-2022, volumen 2, Estudio y generación de la demanda eléctrica, Capítulo 4: Estudio de proyección de la demanda eléctrica, 4.1 Introducción, párrafo 1, página 29

- Alumbrado público y otros.
- Demanda de energía y potencia a nivel de distribución
- Demanda de energía y potencia a nivel de bornes de generación

1.1.2.1. Proyección de la demanda eléctrica en el sector residencial

Clientes residenciales

Como resultado de la proyección del crecimiento del sector residencial se espera que la cantidad de clientes en el futuro mantenga su tendencia creciente pero a un menor ritmo de crecimiento, se espera que en promedio incremente un 3.9% en el periodo 2013-2022 hasta alcanzar los 5.5 millones de clientes al término de este periodo.

Esta desaceleración en el crecimiento se debe principalmente al alto grado de cobertura ya alcanzado (2010: 94.77%), otro factor que influye es la escasa variación prevista en la tasa de crecimiento promedio anual en la población [4].



Figura 1.1: Evolución histórica y proyección de clientes del sector residencial.

Fuente: PLAN MAESTRO DE ELECTRIFICACION 2013-2022, volumen 2, Estudio y gestión de la demanda eléctrica, capítulo 4: Estudio de la proyección de la demanda eléctrica.

Consumo residencial

El consumo residencial se obtuvo de las proyecciones de consumo residencial de clientes del FERUM y los clientes residenciales. Como resultado de la proyección se espera que el consumo residencial de los clientes totales crezca a una tasa promedio anual de 4.8 % en el periodo 2013-2022, alcanzando 9.004 GWh en el horizonte de

estudio².

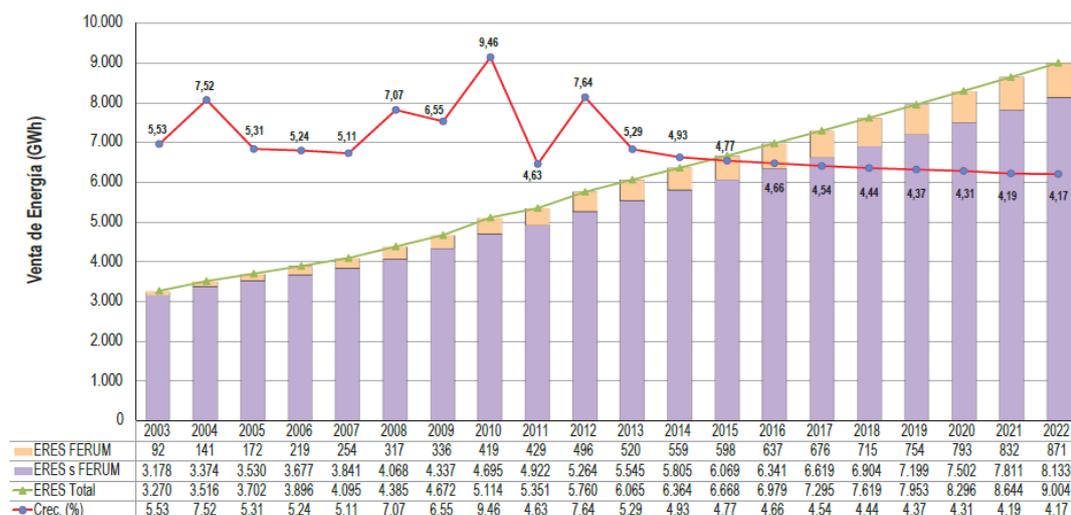


Figura 1.2: Evolución histórica y proyección del consumo del sector residencial.

Fuente: PLAN MAESTRO DE ELECTRIFICACION 2013-2022, volumen 2, Estudio y gestión de la demanda eléctrica, capítulo 4: Estudio de la proyección de la demanda eléctrica.

1.2 Monitoreo y control de la demanda

El crecimiento natural del país, las emisiones de contaminantes por el uso de energía se ha convertido en una preocupación para el Gobierno, Organismos encargados y usuarios finales.

El uso eficiente de la energía significa hacer más con menos, dicho uso eficiente de energía, por lo general, tiene un doble beneficio: colaborar con la reducción de costos en la operación para las Empresas Distribuidoras y el costo en la facturación para los usuarios finales, y contribuyen a la disminución de emisión de contaminantes, especialmente CO_2 . Todo lo anterior se puede lograr a través de la implementación de estrategias inteligentes de administración, monitoreo, control y mejor aprovechamiento de la energía eléctrica.

1.2.1. Plan de gestión de la demanda

Un plan de gestión de la demanda es una acción encaminada al ahorro de energía a nivel mundial. La gestión de la demanda es un proceso de planificación, ejecución y evaluación de aquellas actividades de la empresa eléctrica, con la finalidad de influir en el uso de la electricidad por el cliente, ya que es más barato invertir en modificar las costumbres de los clientes en la manera como estos usan la energía eléctrica que en

² PLAN MAESTRO DE ELECTRIFICACION 2013-2022, volumen 2, Estudio y generación de la demanda eléctrica, Capítulo 4: Estudio de proyección de la demanda eléctrica, 4.2.4.1 Sector Residencial, párrafo 2, página 34.

construir nuevas plantas de generación y/o ampliar sus instalaciones, teniendo como objetivo la modificación de la curva de carga en la empresa, tanto en el tiempo como en su magnitud [5].

Las razones para implementar acciones de gestión de la demanda son:

- Impactos en los costos de generación.
- Las preocupaciones ambientales.
- Las empresas eléctricas tienen condiciones únicas para ayudar a usuarios a mejorar la eficiencia en su uso de la electricidad ya que ellas conocen quienes son los usuarios, conocen sus hábitos de consumo.

Los programas de gestión de la demanda tienen como objetivo:

- Modificar la curva de carga pero manteniendo el nivel del servicio prestado.
- Eficiencia energética.
- Retraso de inversiones en nuevas instalaciones.
- Disminuir las pérdidas en líneas, transformadores y su costo asociado
- Mejor utilización del sistema eléctrico.
- Reducción del impacto ambiental.
- Aumento de la flexibilidad y mejora de la fiabilidad del sistema con las instalaciones existentes [5].

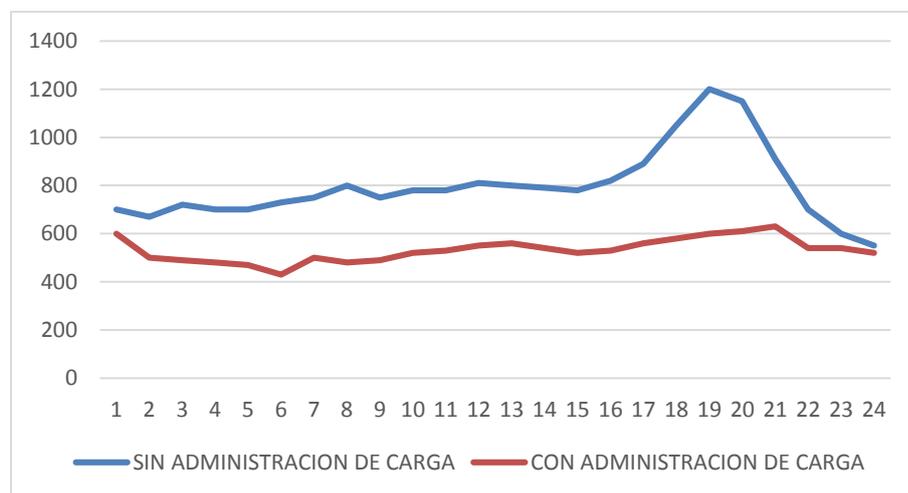


Figura 1.3: Diferenciación de curvas con administración y sin administración de carga

Fuente: Autor

1.2.2 Monitoreo de la demanda de energía

“El primer paso en la optimización de todo proceso es la medición, solo lo que se mide se puede administrar y por tanto, mejorar. No es posible la disminución y el buen

uso de la energía sin tener una fuente confiable de información”³.

Un sistema de monitoreo está formado por una red de medidores conectados a un servidor central. Tienen como objetivo principal la adecuada administración de la energía y, para una óptima administración, la información que proporciona al usuario es esencial, es decir transformar la información cruda en útil.

1.2.2.1. Sectores en donde se realiza el monitoreo

Las aplicaciones de monitoreo pueden ser muy variadas dependiendo de la necesidad de cada usuario. Pero lo más común es poner medidores en los alimentadores principales, sub-medición por áreas y en cargas críticas.

La medición de los alimentadores principales permite realizar comparaciones con la compañía suministradora del servicio. La sub-medición por áreas realiza un coste y compara el consumo de energía por áreas de acuerdo con los horarios de operación. La medición de cargas críticas nos da información del consumo en equipos puntuales [6].

1.2.2.2. Importancia del monitoreo

Un sistema de monitoreo nos ayuda a obtener información del comportamiento de nuestra red eléctrica lo cual nos ayudará a prevenir fallas que ocasionen cortes parciales o prolongados en áreas críticas, de igual manera podemos mejorar nuestra red con los datos obtenidos a partir de dicha información, además nos ayuda a administrar mejor nuestras cargas y a reducir los costos en su facturación. Un sistema útil de monitoreo indica dónde se está gastando, de qué manera y con qué oportunidades reales de ahorro se cuentan.

1.2.3. Control de la demanda energía

Controlar la demanda no es otra cosa que la interrupción de la operación, por intervalos de tiempo, de ciertas cargas eléctricas que inciden directamente en la demanda de energía, teniendo como objetivo principal reducir o limitar los niveles de consumo.

Es importante destacar que el control de la demanda de energía, es una de las oportunidades de ahorro energético que requiere de mucha atención, tiempo y comprensión de las necesidades del consumidor y para que todo ello sea factible, es

³ J. Romero, (2013, Octubre 10), Monitoreo de la energía eléctrica, Available: <http://constructorelectrico.com/home/monitoreo-de-energia-electrica/>

indispensable que no afecte a dichas necesidades.

1.2.3.1. Estrategias para el control de la demanda de energía

Existen algunas estrategias que se pueden implementar, con las cuales se puede controlar la demanda de energía eléctrica, entre esas estrategias mencionamos las siguientes:

Incentivos arancelarios: consiste en fomentar un determinado patrón de uso de energía en función de incentivos arancelarios, donde el cliente tiene tasas de precio por el uso de la energía, es decir un costo mayor durante periodos de demanda máxima alertando al usuario a realizar mayores labores fuera del periodo de demanda máxima y en donde el costo por la energía será menor.

Equipos Smart Metering: estos sistemas son de suma importancia ya que los usuarios conocen, en tiempo real, el valor de la electricidad. Con los precios de la electricidad en sus sistemas de monitoreo y administración de la energía y debido a la diferencia en los precios por demanda máxima y fuera de ella, se pueden hacer recortes de energía en horarios de demanda máxima. Para ello se requieren equipos inteligentes que ayuden en este proceso.

Programas de eficiencia energética: en la actualidad este tipo de programas se están poniendo de moda en varios países. En este tipo de programas se dan a conocer los beneficios que trae un buen uso de la electricidad en la seguridad o bienestar del usuario así como en los ahorros económicos que se pueden obtener de la utilización eficiente de la energía, además de contribuir al cuidado del medio ambiente. En algunos países este programa va de la mano con otros programas como el uso de iluminación eficiente o el cambio de equipos defectuosos [7].

Control directo de cargas: este sistema es el más utilizado. En este control las cargas se pueden encender o apagar, a menudo de manera remota. El encendido o apagado de cargas puede hacer parcialmente o unos minutos, según los requerimientos del usuario, tomando como prioridad cuando se presentan picos de demanda.

Para el presente proyecto daremos mayor énfasis al control directo de cargas para el control de la demanda de energía eléctrica, ya que es el método que intentamos proponer.

1.2.3.2. Sistemas para el control de la demanda

Un equipo controlador de la demanda es, en términos simples, un dispositivo que actúa sobre una señal, que temporalmente apaga cargas eléctricas predeterminadas, manteniendo la demanda de energía bajo control. Dicho controlador apaga o establece ciclos de operación a las cargas cuando la demanda alcanza cierto valor o crece a una tasa predefinida. Este valor debe ser analizado y definido cuidadosamente para que no afecten a las necesidades de uso de las cargas por parte del usuario.

Los controles de la demanda se clasifican básicamente en dos tipos:

- Controles manuales de encendido y apagado
- Controles automáticos programables e inteligentes

1.2.3.2.1 Controles manuales de encendido y apagado

Los controles manuales presentan máximos beneficios si se supervisan, a través de un monitoreo, las cargas que contribuyen de manera significativa en la demanda de energía, con el objetivo de obtener bases para poder establecer programas de encendido y apagado de dichas cargas. Estos dispositivos son simples y de bajo costo que por lo general controlan una sola carga. Se los puede clasificar en las siguientes categorías [8]:

Controles de tiempo: los tipos mecánicos y los más recientes los tipos electrónicos, controlan el encendido y el apagado de un equipo específico en tiempos asignados durante un día o una semana.

Relevadores de fotocelda: se los emplea especialmente para sistemas de iluminación para encender en la oscuridad y apagar cuando la iluminación natural sea la adecuada.

Equipo termostático: estos equipos pueden tener diferentes puntos de referencia para ciertos periodos del día o de la noche, y pueden reducir el empleo de los equipos de calefacción o refrigeración.

Sensores infrarrojos de presencia: este tipo de sensores perciben la presencia o ausencia de las personas y pueden encender o apagar la iluminación de un área o algún equipo.

El uso de este tipo de controles presenta una desventaja en los beneficios ya que no cuentan con monitoreo de la demanda.

1.2.3.2.2 Controles automáticos programables e inteligentes

Los sistemas de control automático representan un gran beneficio ya que en ellos se

puede programar la operación y desconexión de las cargas cuando sea necesaria, teniendo la plena seguridad de que los equipos serán desconectados o puestos en operación según sea programado.

Controles automáticos programables

Los controles automáticos programables son dispositivos de bajo y mediano costo que emplean microprocesadores. Son usados con frecuencia para controlar equipos con el método encendido/apagado a una hora específica del día [8].

Estos sistemas de control son fácilmente programables y reprogramables, tienen un sistema altamente confiable e incluso algunos tienen una pantalla con propósito de monitoreo.

Este tipo de controles son sistemas modulares que actúan sobre una señal, además desconectan cargas eléctricas predeterminadas por un tiempo igualmente predeterminado. Este tipo de controles manejan niveles de prioridad para distintos horarios y fechas.

Sistemas de control inteligentes

Básicamente estos sistemas combinan las funciones de un controlador programable, controlador de demanda, iluminación y controles térmicos, además pueden manejar señales de sensores a distancia. Sistemas más sofisticados pueden incluir opciones de seguridad y monitoreo así como alarmas contra incendio. Estos sistemas integran conjuntos de módulos que permiten que el control de los procesos sea seguro, confiable, preciso y eficiente, además se los pueden integrar otras opciones, como señales de fallas de equipos, niveles de confort por horario y clima exterior, entre otros [8].

1.3 Modelos matemáticos aplicados a la demanda

Los diferentes modelos matemáticos que se pueden relacionar con la demanda de energía eléctrica son utilizados en su mayoría para la predicción de ésta. Esta predicción tiene como objetivo obtener valores futuros de la demanda por energía eléctrica en función de los valores pasados y de algunas variables influyentes.

Estas predicciones se pueden clasificar en cuatro tipos según el intervalo de tiempo futuro al que se intente predecir [9].

A largo plazo: conocidas como LTLF (Long-Term Load Forecasting). Por lo general son predicciones de uno a diez años, que se utilizan para identificar las necesidades para la planificación de la generación, para el incremento e inversión.

A mediano plazo: conocidas como MTLF (Medium-Term Load Forecasting). Son

predicciones entre varios meses a un año, se utilizan para procurar que la seguridad y las limitaciones de capacidad se cumplan en el mediano plazo.

A corto plazo: conocidas como STLF (Short-Term Load Forecasting). Son predicciones de un día, se utilizan para ayudar a la planificación, pre-despacho y la participación en el mercado.

A muy corto plazo: conocidas como VSTLF (Very Short-Term Load Forecasting). Son predicciones de horas y minutos, utilizadas para ayudar a la comercialización de la energía.

1.3.1. Métodos de predicción de la demanda de energía eléctrica

Los métodos de predicción de la demanda de energía eléctrica se han dividido, en la última década, en métodos clásicos, métodos basados en inteligencia artificial y los más recientes basados en métodos híbridos.

Métodos clásicos: se basan en métodos estadísticos. Estos métodos pueden no representar correctamente las complejas relaciones no lineales entre la carga y una serie de factores como los ritmos de tiempo diario y semanal, que pueden provocar errores en la predicción.

Métodos de inteligencia artificial: tienen la capacidad de dar un mejor rendimiento en el tratamiento de la no linealidad.

Métodos híbridos: combinan varias estrategias o a su vez se complementan con técnicas de pre-procesamiento de datos. Las investigaciones más recientes se basan en este tipo de métodos.

1.3.1.1. Predicción de la demanda usando series de tiempo

Una de las principales aplicaciones de estas series es la predicción de valores futuros de una variable, la mejor manera de explicar el comportamiento de esta variable es el estudio de su tendencia a largo plazo, el problema surge en que la serie trae consigo un sin número de fluctuaciones y cambios estacionales al corto plazo lo que hace difícil encontrar cierto comportamiento particular.

Los métodos de predicción por series de tiempo se fundamentan en las técnicas de suavización y modelos de auto-regresión que consideran como entradas únicamente regresiones de la demanda. La predicción se construye simplemente como el valor observado para el periodo correspondiente de la semana anterior.

La función de predicción se escribe como:

$$\hat{y}_t(k) = y_t + k - s_2 \quad (2)$$

Donde:

y_t : demanda en el periodo t

k : tiempo de la predicción ($k-s_2$)

1.3.1.2. Predicción de la demanda utilizando modelos de regresión

Este método combina dos modelos basados en regresión, Modelo A para predecir periodos de consumo alto y Modelo B para predecir periodos de consumo bajo. Como su aplicación es en control de demanda se pone atención principalmente en el horario del día donde se produce mayor demanda, en el día después (día A) y en el día antes (día B) [10].

En el modelo A se identifica datos después de la demanda máxima, considerando los datos de días anteriores, el modelo utilizado es el siguiente:

$$\begin{aligned} D_t^n = & \alpha_1 D_{(t-1)}^n + \alpha_2 D_{(t-2)}^n + \beta_1 D_{(t)}^{n-1} + \beta_2 D_{(t-2)}^{n-1} + \beta_3 D_{(t-7)}^{n-1} + \beta_4 D_{(t-8)}^{n-1} + \\ & \beta_5 D_{(t-9)}^{n-1} + \beta_6 D_{(t-14)}^{n-1} + \beta_6 D_{(t-14)}^{n-1} + \beta_6 D_{(t-14)}^{n-1} + \delta_1 D_{(t)}^{n-2} + \delta_1 D_{(t)}^{n-2} + \delta_1 D_{(t)}^{n-2} + \\ & \delta_2 D_{(t-2)}^{n-2} + \delta_3 D_{(t-3)}^{n-2} + \delta_4 D_{(t-5)}^{n-2} + \delta_5 D_{(t-7)}^{n-2} + \delta_6 D_{(t-10)}^{n-2} + \delta_7 D_{(t-12)}^{n-2} + C \quad (3) \end{aligned}$$

El modelo B que en cambio es un modelo de datos de demanda menores, con el fin de poder estimar la demanda de menor magnitud, se utiliza los datos de demanda de una semana anterior a la demanda máxima.

$$\begin{aligned} D_t^n = & \alpha_1 D_{(t-1)}^n + \alpha_2 D_{(t-2)}^n + \alpha_3 D_{(t-55)}^n + \alpha_4 D_{(t-6)}^n + \alpha_5 D_{(t-11)}^n + \alpha_6 D_{(t-13)}^n + \\ & \beta_1 D_{(t)}^{n-1} + \beta_2 D_{(t-6)}^{n-1} + \beta_3 D_{(t-11)}^{n-1} + \beta_4 D_{(t-12)}^{n-1} + \delta_1 D_{(t-9)}^{n-2} + \delta_1 D_{(t-10)}^{n-2} + C \quad (4) \end{aligned}$$

Para la predicción total diaria, al perfil lo dividen en tres zonas, la zona de menor consumo y usa el modelo B, zona de transición de mínimo a máximo consumo utiliza un promedio entre los dos métodos y la zona consumo punta usa el modelo A.

1.3.1.3. Predicción de la demanda usando modelos ARIMA

En el modelo ARIMA se realizan estudios estadísticos de la demanda incluyendo las cargas por hora y los máximos consumos en la carga diaria. El método ARIMA combina la estimación de los operadores con la temperatura y los datos de carga, usando la estimación de los operadores como la predicción inicial. Luego se combina esta predicción inicial con datos de temperatura y de carga en una regresión de múltiples variables, para obtener una mejor predicción [11].

La relación básica del modelo ARIMA está definida por:

$$A_{(q)}y_{(t)} + \sum_{i=1}^n B_{i(q)} U_{i(t)} = e_{(t)} \quad (5)$$

Donde:

y_t : es la salida

$U_{i(t)}$: son las entradas del modelo ARIMA

$e_{(t)}$: término de error o ruido

n : el número de entradas

1.3.1.5. Predicción de la demanda con Redes Neuronales Artificiales

Actualmente las Redes Neuronales son una excelente herramienta para realizar diversas tareas tales como: reconocimiento de patrones, videojuegos, aprendizaje artificial, predicciones, entre otros. Muchas veces se opta por aplicar este método para resolver problemas en procesos donde no existen algoritmos para resolverlos, esto ocurre porque los algoritmos son exactos mientras que las redes neuronales presentan cierta flexibilidad.

El método de redes neuronales puede ser aplicado a la ingeniería en problemas de naturaleza no lineal, una de las características fundamentales de este modelo es la velocidad para encontrar soluciones.

Las redes neuronales son una excelente opción en tareas que contienen datos incompletos, información confusa, problemas complejos o mal definidos, donde los seres humanos suelen decidir de manera intuitiva.

La red neuronal puede ser expresada como:

$$y_t = \alpha_0 + \sum_{j=1}^n \alpha_j f\left(\sum_{i=1}^m \beta_{ij} y_t + \beta_{0j}\right) + \varepsilon_t \quad (6)$$

Donde m es el número de nodos de entrada, n es el número de nodos escondidos f es la función de transferencia sigmoidea, como la función logística:

$$f(x) = \frac{1}{1+\exp(-x)} \quad (7)$$

Esta función representa a un vector de pesos desde los nodos escondidos hasta los nodos de salida para introducir la no linealidad al modelo, α_0 y β_{0j} son los pesos de los arcos principales de los términos parciales, los cuales siempre tienen valor igual a 1 [12].

1.3.1.5. Montecarlo por cadenas de Markov

La simulación de Montecarlo realiza una selección aleatoria de muestras para reducir un problema de combinaciones complejo a uno más simple. Dicha simulación genera valores independientes, tomando como base una distribución de probabilidad deseada.

Las cadenas de Markov postulan que los estados anteriores son irrelevantes para la predicción de los estados siguientes, con conocimiento del estado actual, pero existe dependencia entre los valores simulados.

Montecarlo por cadenas de Markov consiste en generar un muestreo a partir de distribuciones de probabilidad basadas en la construcción de cadenas de Markov, donde cada valor simulado tiene dependencia con el dato anterior, llegando a una convergencia a la distribución deseada.

Después de una larga cantidad de corridas, estos resultados constituyen una muestra correlacionada de la distribución deseada. En algunas ocasiones, la generación de variables aleatorias bajo una distribución de probabilidad compleja, se hace muy difícil, para ello se recurre a algoritmos de apoyo basados en Montecarlo por cadenas de Markov [13].

1.3.1.5. Predicción de la demanda eléctrica utilizando Modelos Híbridos

Expertos aseguran que incorporar transformadas de Wavelet a los datos de entrada de modelos de predicción mejora los resultados, usar transformadas de Wavelet como entradas a cualquier modelo de estimación logra menores errores de estimación, comparado con tomar los datos históricos de forma natural. El análisis de los resultados obtenidos indica la superioridad del método basado en Wavelet comparados con métodos de estimación que no utilizaban Wavelet, no solo mejora el rendimiento de los modelos de pronóstico sino que toma menos tiempo. La simplicidad del enfoque permite aplicar el método a distintos modelos de predicción, tanto tradicionales como no tradicionales, de una manera directa.

Algunos autores han utilizado transformadas de Wavelet con Redes Neuronales, los resultados fueron comparados con los de modelos tradicionales de redes neuronales llegando a la conclusión que este modelo de predicción ofrece una precisión alta, destacando la importancia de tener un modelo neuronal bien estructurado [14].

1.4 Normas aplicadas al control de la demanda

Las normas son documentos de aplicación voluntaria, basadas en la experiencia y la

evolución tecnológica, son de acceso público y representan una herramienta de desarrollo industrial y comercial. Estas normas son realizadas por los denominados Organismos de Normalización, que son entidades privadas, reconocidas para tal efecto.

A continuación se mencionarán algunas de las normas que se aplican al control de la demanda:

Internacionales

- Organización Internacional de Normalización ISO, encargada de promover normas de fabricación, comercio y comunicación para todas las ramas industriales. Busca la estandarización de normas de productos y seguridad para empresas u organizaciones.

ISO 24767 e ISO 30100: establecen normas de seguridad y gestión para una red doméstica [15].

ISO 25000: esta norma se aplica en productos software utilizados en el controlar y monitoreo.

- Comisión Electrotécnica Internacional IEC, emite normas en los campos eléctrico, electrónico y tecnologías relacionadas. IEC muchas veces trabaja conjuntamente con la ISO para emitir normas (ISO/IEC).

ISO/IEC 14543-3: es un estándar abierto para todas las aplicaciones de control en una vivienda como por ejemplo iluminación, calefacción, electrodomésticos, gestión de energía, entre otros [16].

- Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT, organismo de las Naciones Unidas encargado de la normativa sobre tecnologías de la comunicación y la información.

UIT-T G.9955-9956: estas normas se refieren a aplicaciones como automatización del abastecimiento eléctrico, la gestión de la demanda, comunicaciones red-hogar, gestión energética del hogar, entre otras [17].

- Asociación de Normas IEEE (IEEE Standards Association) orientado al desarrollo de normas en el campo eléctrico, electrónico, telecomunicaciones e informática. De esta institución muchas de las normas que se utilizan tiene que ver con protocolos de comunicación.

IEEE 802.11: se refiere al uso de la capa física y de la capa de enlace de datos en una red de área local inalámbrica.

IEEE 830: especifica requisitos de software [15].

Norma ISO 50001

Esta Norma Internacional especifica los requisitos de un sistema de gestión de la energía (SGEn) a partir del cual la organización puede desarrollar e implementar una política energética y establecer objetivos, metas, y planes de acción que tengan en cuenta los requisitos legales y la información relacionada con el uso significativo de la energía [18].

- Los beneficios que se obtienen de la implementación de la norma son los siguientes:
- Establecimiento de una metodología, clara y estructurada, de la gestión de la energía.
- Reducción de los consumos de energía
- Reducción de los costos de producción permitiendo aumentar la competitividad de la empresa.
- Permite controlar el consumo energético en cada proceso, permitiendo tomar acciones correctivas.
- Incremento en el uso de energías renovables.
- Aprovechamiento de energías excedentes.
- Reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, contribuyendo en la conservación del medio ambiente.
- Reducción de costos y oportunidades para el desarrollo de nuevas tecnologías y servicios.

CAPÍTULO II

SISTEMA SCADA PARA EL CONTROL DE LA DEMANDA

En este capítulo se tratará sobre el sistema SCADA para controlar la demanda de energía que intentamos proponer, se dará a conocer sobre los diferentes tipos de sistemas SCADA que existen. Se describirá cada uno de los equipos propuestos para el control de la demanda, así como de los elementos principales utilizados en las tarjetas de adquisición de datos. Se tratarán los aspectos que se tomaron en cuenta para la realización del sistema SCADA, utilizaremos LabVIEW para el desarrollo de dicho SCADA, además explicaremos su funcionamiento. Por último se detallarán los protocolos de comunicación que utilizamos para la interacción entre los diferentes dispositivos que forman parte del SCADA.

2.1 Tipos de sistemas SCADA para el control de la demanda

SCADA proviene de las siglas Supervisory, Control and Data Acquisition (Supervisión, Control y Adquisición de Datos), los sistemas SCADA son aplicaciones software, diseñadas con la finalidad de supervisar y controlar procesos a distancia, este sistema se comunica con los distintos dispositivos y controla el proceso de forma automática desde la pantalla del ordenador, esta pantalla provee de toda la información que se genera en todo el proceso.

Las funciones principales de un sistema SCADA son las siguientes [19]- [20]:

- **Adquisición de Datos:** para recolectar, procesar, almacenar y mostrar la información recibida de los distintos dispositivos.
- **Supervisión:** con la finalidad de observar desde una pantalla como varían las variables de control según el proceso.
- **Control:** el sistema puede activar o desactivar equipos remotamente, automática o manualmente. El usuario puede realizar acciones de control con lo que puede modificar el proceso según sus necesidades.
- **Generación de Reportes:** con los datos obtenidos del proceso se pueden hacer representaciones gráficas, predicciones, estudios estadísticos o económicos, etc.

Los sistemas SCADA para el control de la demanda en una residencia se pueden clasificar de varias formas en función de la tipología, topología y de los medios de

transmisión.

Por la tipología:

- Sistema centralizado
- Sistema descentralizado
- Sistema distribuido
- Sistema mixto o híbrido

Por la topología:

- Estrella
- Malla
- Anillo
- Bus

Por los medios de transmisión:

- Sistemas con hilos
- Sistemas sin hilos
- Sistemas mixtos

Antes de describir cada una de los tipos de sistemas SCADA para uso residencial se dará a conocer los dispositivos que conforman este sistema.

Controlador: es el encargado de gestionar el sistema según la programación y la información que recibe, el sistema puede tener un solo controlador o varios distribuidos por el sistema.

Actuador: es el dispositivo capaz de ejecutar y/o recibir órdenes del controlador y realizar alguna acción sobre algún aparato o carga, estas acciones pueden ser de encendido/apagado, subida/bajada, apertura/cierre, etc. Un ejemplo de puede ser un actuador de encendido y apagado de iluminación o un actuador regulador de climatización.

Sensor: es un dispositivo que monitoriza el entorno ya sea interior o exterior, capta información y la transmite al sistema. El sistema puede contener sensores tales como sensores de luz, agua, gas, humo, temperatura, corriente, iluminación, etc.

Bus: se refiere al medio de transmisión que transporta información entre los distintos dispositivos del sistema ya sea por un cableado propio, por la red de otros sistemas (red eléctrica, red telefónica, red de datos) o ya sea de forma inalámbrica.

Interfaz: son dispositivos tales como pantallas, móvil, Tablet, internet, etc. en los que

se muestra la información del sistema para usuarios u otros sistemas, lo que permite interactuar con el sistema.

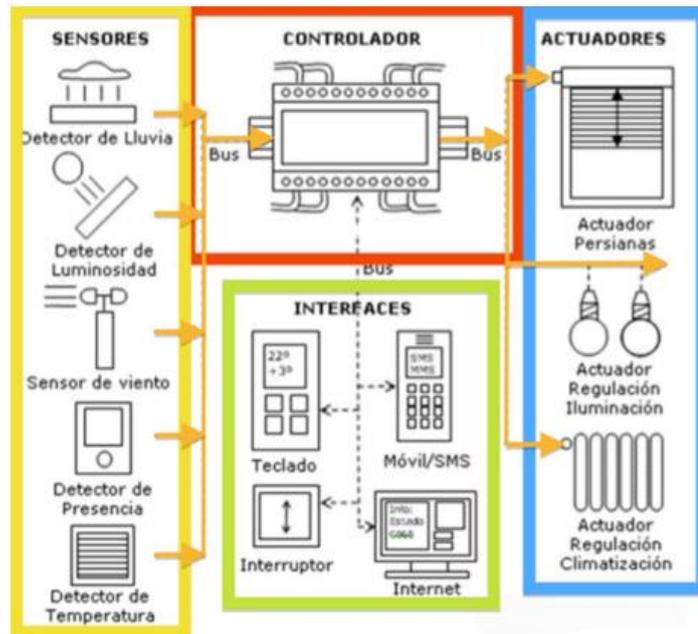


Figura 2.1: Dispositivos de un Sistema SCADA de uso residencial
Fuente: Arquitectura, diseño y arte Pedro J. Hernández [21]

2.1.1 Sistemas SCADA según la tipología

La clasificación de este tipo de SCADA hace referencia a como están organizados cada uno de sus componentes y cómo van a funcionar en el sistema [22]- [23].

2.1.1.1 Sistema centralizado

Este es un sistema organizado de tal forma que el controlador es el eje central del sistema, el cual recibe la información de los sensores, la procesa y envía órdenes a los actuadores según la programación o dependiendo de la información que reciba del usuario. La desventaja principal de este sistema, al ser el controlador el “corazón” del sistema, su falta o mal funcionamiento ocasionaría que el sistema no funcione [24].

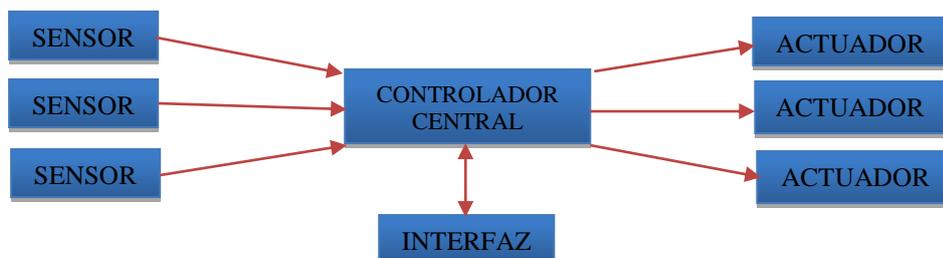


Figura 2.2: Sistema Centralizado
Fuente: Autor

2.1.1.2 Sistema descentralizado

Este sistema consta de varios controladores conectados por medio de buses, interactúan entre ellos, envían información a los actuadores e interfaces conectados a ellos según un programa, configuración, información de los sensores o según órdenes del usuario.

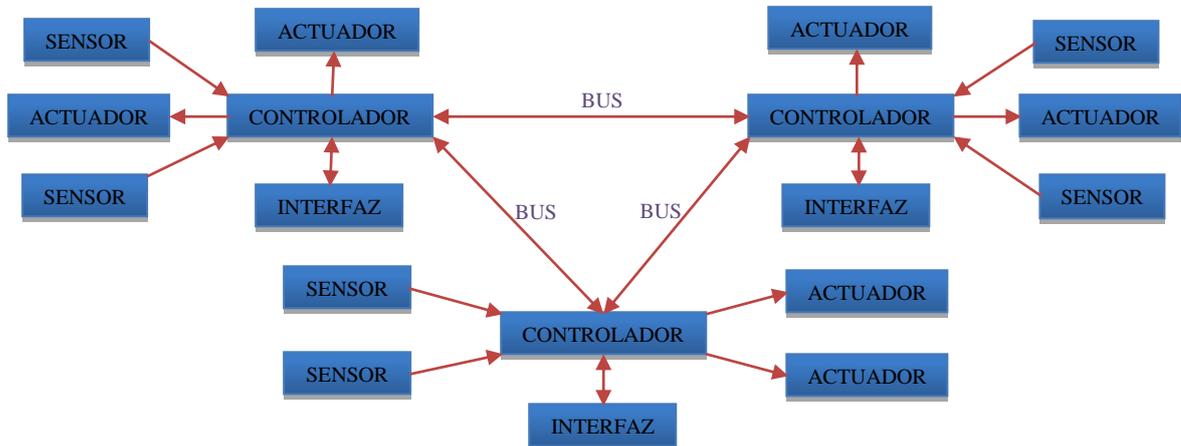


Figura 2.3: Sistema Descentralizado

Fuente: Autor

2.1.1.3 Sistema distribuido

En este sistema la inteligencia del sistema se encuentra distribuida en los sensores o actuadores. En este caso los sensores o actuadores son capaces de procesar la información que reciben de otros dispositivos, es decir tienen funciones de un controlador pudiendo controlar distintas actividades. En este sistema los elementos se encuentran conectados a través de un bus central.

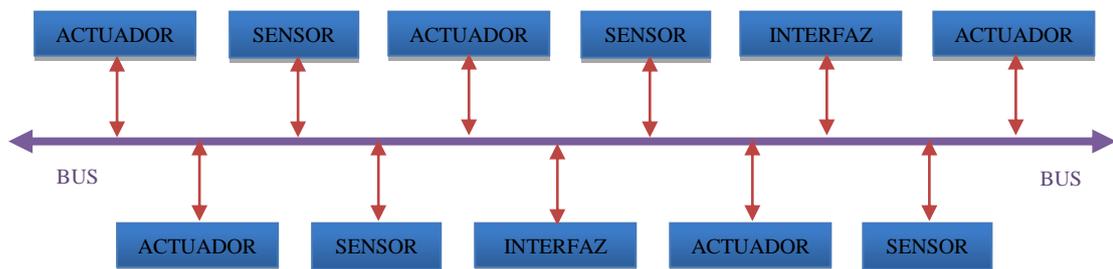


Figura 2.4: Sistema Distribuido

Fuente: Autor

2.1.1.4 Sistema mixto o híbrido

En este sistema se combinan otros sistemas como centralizados, descentralizados y distribuidos. Este sistema puede constar de un controlador central o varios controles

descentralizados. Los sensores, actuadores e interfaces pueden realizar funciones de controladores y procesar la información según un programa o configuración y pueden actuar o enviar información a otros elementos de la red sin necesidad de un controlador [22]- [23].

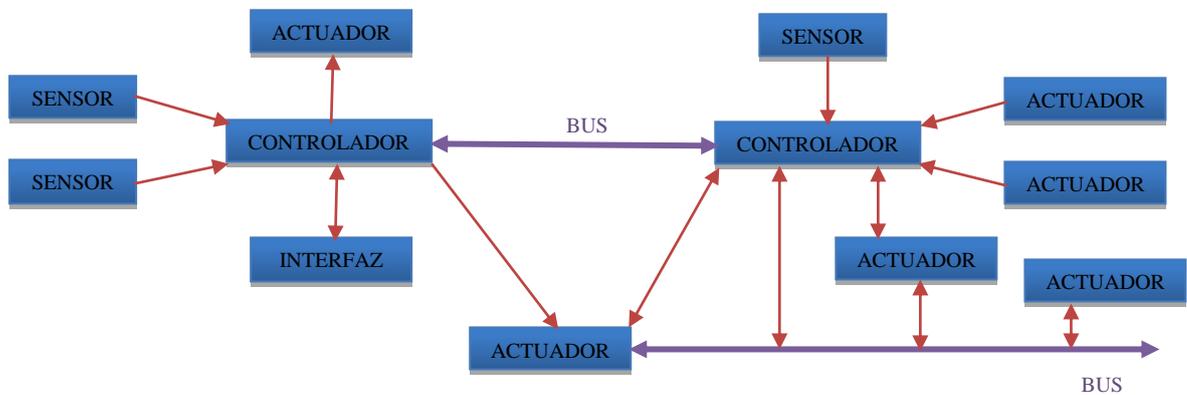


Figura 2.5: *Sistemas Mixtos*

Fuente: Autor

2.1.2 Sistemas SCADA según la topología

El término topología se refiere a como están organizados de forma física (hardware) y de forma lógica (software), los enlaces y dispositivos que se enlazan entre sí, comúnmente llamados nodos.

Nodo es el dispositivo que recibe, procesa y envía las señales provenientes de los sensores hacia los actuadores. Un sistema puede obtener uno o varios nodos interconectados entre sí, de los cuales se derivan sus respectivos sensores y actuadores.

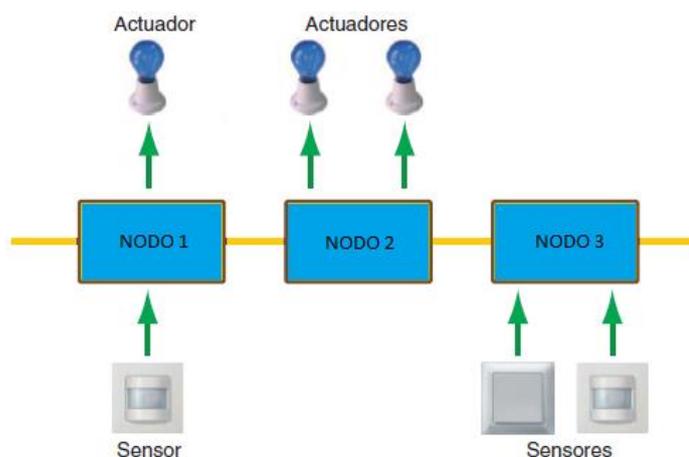


Figura 2.6: *Nodos de un SCADA de uso residencial*

Fuente: Autor

La topología de un sistema determina únicamente como están configuradas las

conexiones entre nodos, más no determina las distancias entre nodos, tasas de transmisión o tipos de señales, aunque dichos aspectos pueden verse afectados por la topología [25]- [26].

2.1.2.1 Topología en Estrella

Los dispositivos de entrada (sensores) y los de salida (actuadores) van cableados hasta la central de gestión (controlador), donde se realiza el procesamiento de la información. En esta topología los dispositivos no están enlazados entre sí, es decir que si un dispositivo quiere enviar información a otro, los datos serán enviados primero al controlador y éste se encargará de enviar la información al dispositivo final.

Esta topología es de bajo costo, fácil de instalar y configurar.



Figura 2.7: Topología en Estrella

Fuente: Autor

2.1.2.2 Topología en Malla

En esta topología, existen diferentes nodos por los cuales se puede enviar información por distintos caminos. Cada nodo puede enviar y recibir mensajes así como reenviar información de sus vecinos. La topología en malla tiene una gran ventaja ya que es robusta, si un enlace falla no afecta a todo el sistema.

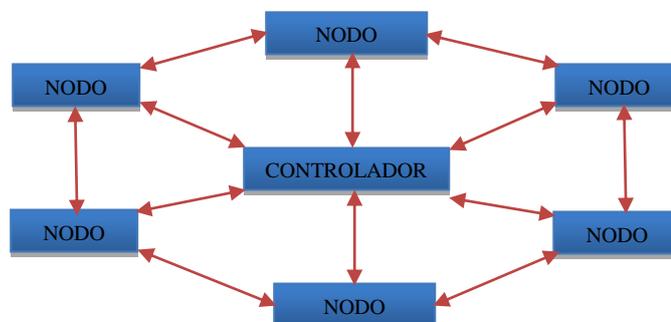


Figura 2.8: Topología en Malla

Fuente: Autor

2.1.2.3 Topología en Anillo

En esta topología los nodos se conectan en un bucle cerrado, la información se transmite de nodo a nodo siempre en la misma dirección hasta su destino. Cada nodo en esta topología incorpora un repetidor. La topología en anillo es fácil de instalar y configurar y cada dispositivo está enlazado con sus vecinos inmediatos, sean físicos o lógicos.

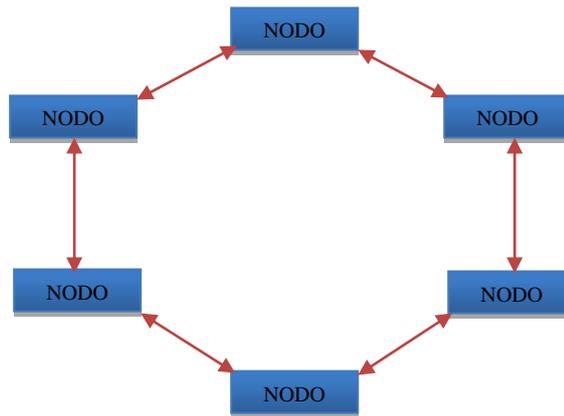


Figura 2.9: Topología en Anillo

Fuente: Autor

2.1.2.4 Topología en Bus

En esta topología los nodos se conectan a un cable principal, este cable principal puede tenderse por el camino más eficiente y después los nodos se conectan a este por medio de líneas de conexión de longitud variable. La principal de esta topología es la sencillez en su instalación y en el menor uso de cables que una topología en malla, estrella o anillo [25]- [26].

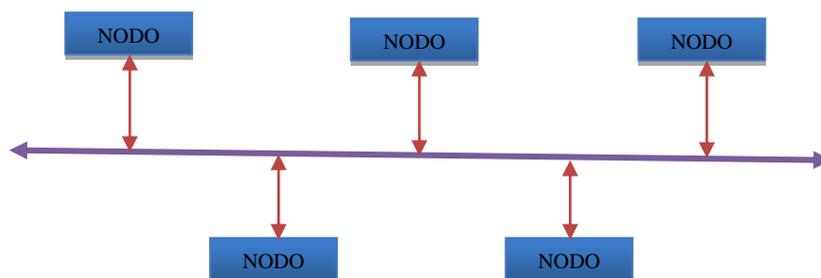


Figura 2.10: Topología en Bus

Fuente: Autor

2.1.3 Sistemas SCADA según los medios de transmisión

En un sistema SCADA de uso residencial, los elementos deben intercambiar información entre sí por medio de un medio físico. Es importante conocer cuál o cuáles son los medios de transmisión más adecuados, los cuales se han dividido en tres grupos [27]- [25].

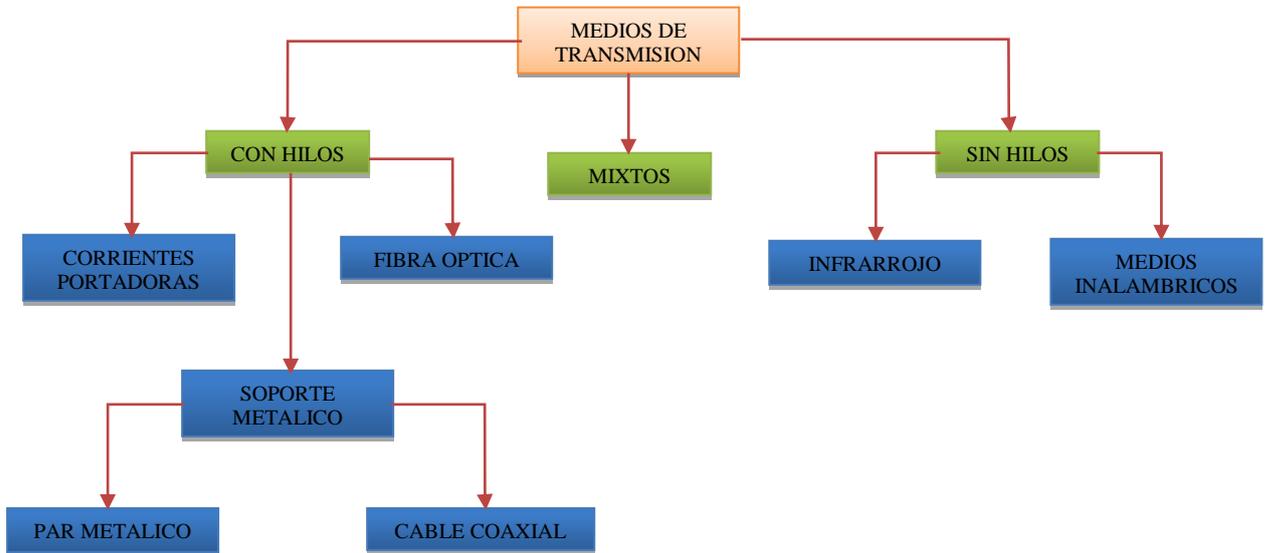


Figura 2.11: Clasificación de los SCADA según el medio de transmisión

Fuente: Autor

2.1.3.1 Sistemas con Hilos

En el cual todos sus sensores y actuadores están cableados entre ellos o hacia el controlador. Por lo general estos sistemas poseen una batería como respaldo en caso de que el suministro de energía eléctrica falle, con lo que puede seguir funcionando correctamente durante unas horas.

- Corrientes portadoras: utilizan las líneas de transmisión de la energía eléctrica como medio para enviar datos, no es un sistema recomendable ya que la red eléctrica puede distorsionar la señal transmitida ocasionando malos funcionamientos en el sistema. Puede representar una buena alternativa en viviendas construidas, aprovechando la instalación eléctrica y en donde el sistema a implementar no requiera gran exigencia en la velocidad de transmisión de datos.
- Soporte metálico: el medio de transmisión es un cable eléctrico, generalmente de cobre ya que tiene una buena conductividad a un costo razonable. La información se transmite como corrientes eléctricas a determinada frecuencia.

- Fibra óptica: construida por un material dieléctrico transparente conductor de luz. Posee grandes ventajas en cuanto a la fiabilidad y seguridad en la transmisión de datos, es inmune a interferencias electromagnéticas y de radiofrecuencia. Su desventaja está asociada con los precios de los cables y conexiones.

2.1.3.2 Sistema sin Hilos

Este sistema usa sensores inalámbricos alimentados por pilas o baterías, envían información vía radio, entre ellos o hacia el controlador. Estos sistemas también poseen baterías de respaldo.

- Infrarrojos: al tratarse de un medio de transmisión óptico no puede ser perturbado por radiaciones electromagnéticas, sin embargo las distancias de comunicación son demasiado cortas así como la velocidad de transmisión.
- Vía inalámbrica: el secreto de su éxito se basa en que no se necesita licencia para su utilización, sus bandas de frecuencia son permitidas. Este medio de transmisión puede parecer, en cierta forma, idóneo para el control de un SCADA a distancia por la gran flexibilidad que supone su uso, pero es sensible a perturbaciones electromagnéticas [26]- [27].

2.1.3.3 Sistemas mixtos

La arquitectura de estos sistemas se basa en los dos sistemas anteriores es decir pueden combinar sistemas con hilos y sin hilos, cableados o inalámbricos.

2.1.4 Tipos de HMI

HMI se refiere a Interfaz Hombre Máquina por sus siglas en inglés de Human Machine Interfaz. HMI no es otra cosa que una interfaz que permite la interacción entre un humano y una máquina o proceso. Una adecuada interfaz hombre máquina tiene como objetivo principal obtener en estado del proceso de un solo vistazo, además de ello permite:

- Captar la información en forma rápida
- Crear condiciones para la toma de decisiones correctas
- Utilización de los equipos en forma óptima y segura
- Garantiza al máximo la confiabilidad del sistema

- El operador puede cambiar con facilidad los niveles de actividades

Un HMI necesita básicamente de dos componentes, primero de una entrada, es decir de algún medio por el cual decirle a la máquina o proceso que hacer, además de permitirle realizar configuraciones, como por ejemplo un teclado, y segundo necesita de una salida que le permitirá al usuario mantenerse actualizado del progreso del proceso o del funcionamiento de los distintos dispositivos [28].

A continuación se describirán los HMI más comunes:

- Interfaces gráficas de usuario (GUI) aceptan el ingreso de datos a través de un dispositivo como el teclado o el ratón de una computadora y proporcionan una salida gráfica en la pantalla del ordenador.
- Interfaces de usuario WEB (IUF), son una subclase de interfaces gráficas de usuario que aceptan una entrada y proporcionan una salida mediante páginas WEB que se transmiten a través de internet los cuales pueden ser vistos por el usuario a través de un navegador WEB.
- Las pantallas táctiles son dispositivos que aceptan el ingreso mediante el tacto de los dedos o un lápiz. Actualmente se utilizan en una gran cantidad de dispositivos móviles, tablets, pantallas de procesos industriales, etc.
- Interfaces de líneas de comandos, en las cuales el usuario ingresa una cadena de comandos a través del teclado del ordenador y el sistema proporciona una salida de impresión de texto en la pantalla del ordenador.
- Interfaces de voz de usuario, proporciona una salida mediante mensajes de voz, el usuario puede ingresar a través de teclas, botones o mediante comandos de voz.
- Multi-pantalla de interfaz, se utilizan varias pantallas para una interacción más flexible entre varios usuarios de un mismo proceso.

2.2 Diseño de las tarjetas de adquisición de datos

En el presente proyecto se intenta proponer un prototipo de equipos para controlar cargas en una residencia, ya sean estos tomacorriente automático, interruptor manual-automático y control de cargas mediante la tarjeta electrónica ARDUINO. Estos prototipos se diseñarán y estarán dirigidos a residencias ya construidas y que presentan sus instalaciones eléctricas ya terminadas, por tanto los equipos serán diseñados con el fin de no afectar o tener la necesidad de cambiar dichas instalaciones ni mucho menos

afectar a la obra civil de la residencia, sino más bien equipos que se adaptan a las instalaciones eléctricas residenciales existentes.

Para el control y monitoreo de los equipos se utilizará el protocolo de comunicación Zigbee basado en el estándar IEEE 802.15.4, un protocolo inalámbrico, con lo cual no hará falta de cableado para controlar los distintos equipos.

2.2.1 Principales elementos utilizados en las tarjetas de adquisición de datos

Las tarjetas de cada uno de los dispositivos propuestos están divididas en tres circuitos, ya sean estos control, potencia y comunicación. A continuación se describirán las funciones y elementos principales de los tres circuitos.

2.2.1.1 Circuito de control

Interactúa con el dispositivo Zigbee mediante comunicación serial, para enviar y transmitir datos. Tiene como elemento principal el microcontrolador PIC16F628A, que es el encargado de procesar la información recibida de Zigbee y enviar la señal digital correspondiente al circuito de potencia

Microcontrolador PIC16F628A

Los microcontroladores no son otra cosa que computadoras digitales integradas en un chip, cuentan con un microprocesador (CPU), una memoria para almacenar el programa, pines de entrada y/o salida, memoria para almacenar datos. Su funcionamiento se basa en el programa almacenado en su memoria, para realizar dicho programa nos valimos de mikroBasic. Estos microcontroladores pueden controlar circuitos muy simples como el encendido y apagado de un LED hasta circuitos más complejos en procesos industriales.

Este microcontrolador posee las siguientes características [29]:

- Velocidad de operación hasta 20 MHz con un oscilador externo
- Rango de operación desde 3 hasta 5.5 voltios
- 15 pines de I/O y uno solo de entrada
- Programable con bajo voltaje
- Módulo de comunicación serial USART
- Capacidad de corriente de 25 mA (I/O) por cada pin, se puede encender LEDs directamente.

- Memoria de programa Flash de 100000 ciclos de escritura/borrado
- Tiene 3 tipos de Timers

Una de las propuestas de control es mediante la utilización de la placa electrónica Arduino, cuyas características serán descritas a continuación.

Arduino

Arduino es una plataforma de prototipos electrónicos de código abierto basada en hardware y software flexibles y fáciles de usar. Está pensado para artistas, diseñadores como hobby y para cualquier interesado en crear objetos o entornos interactivos. Se puede utilizar Arduino para crear objetos interactivos, leyendo datos de una gran variedad de datos de interruptores y sensores, así como el control de una gran variedad de dispositivos como luces motores y otros actuadores físicos. Los proyectos de Arduino pueden ser autónomos o comunicarse con un programa (software) que se ejecute en un ordenador [30].

Entre las razones para utilizar un Arduino para el control de cargas mencionamos las siguientes:

- Precio: Arduino es una plataforma de microcontroladores relativamente baratas si las comparamos con otras.
- Multiplataforma: el software de Arduino, que lleva su mismo nombre, puede ser instalado en cualquier sistema operativo, ya sea Windows, MAC, Linux, mientras otros microcontroladores se limitan a Windows.
- Entorno de programación simple y clara: el entorno de programación es fácil de usar para principiantes, pero suficientemente flexible para programadores avanzados.
- Software extensible: el software Arduino es una herramienta de código abierto, puede ser expandido por programadores experimentados. El lenguaje de programación de Arduino puede ser expandido mediante librerías C++ o AVR-C.
- Hardware extensible: la placa electrónica Arduino está basada en controladores ATMEGA8 y ATMEGA 168 de Atmel. Los planos de los módulos están publicados, por lo que diseñadores de circuitos pueden tener acceso a dichos planos, con los cuales pueden hacer su propia versión del

módulo, expandiéndolo y mejorándolo. Incluso usuarios inexpertos pueden construir una versión del módulo con lo que podrán entender su funcionamiento y ahorrar dinero.

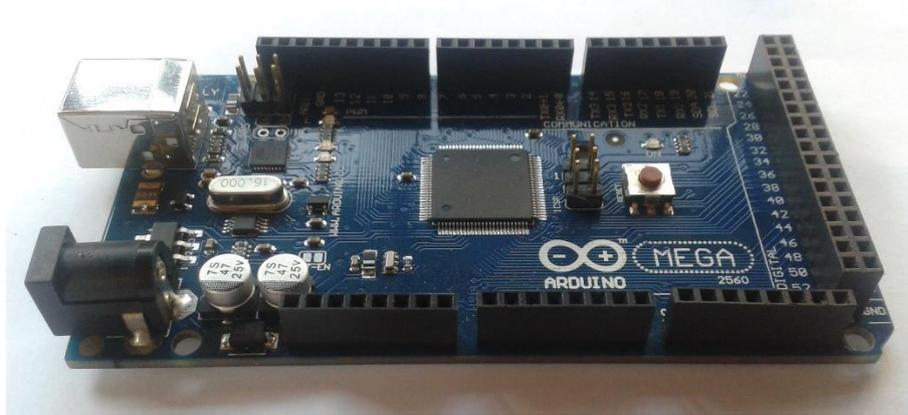


Figura 2.12: Arduino MEGA 2560

Fuente: Autor

2.2.1.2 Circuito de Potencia

En un circuito de control se manejan bajos niveles de voltajes y corrientes, conocidas comúnmente como señales, en un circuito de potencia ocurre lo contrario se manejan niveles de corriente y voltajes altos, sobretodo corrientes, estos circuitos de potencia están asociados directamente con la carga. El circuito de potencia tiene como elemento principal el Triac BT136, encargado de manejar los niveles de voltaje y corriente de la carga, ya sea para activarla o desactivarla, según la orden enviada por el circuito de control.

TRIAC BT136

Un TRIAC es un dispositivo semiconductor utilizado en el control de cargas en corriente alterna, tienen la función de un interruptor automático.

Se compone de tres terminales, dos de los cuales (A1 y A2) cierran el circuito a alimentar siempre y cuando por el tercer terminal G (Gate) circule una corriente ya sea positiva o negativa.

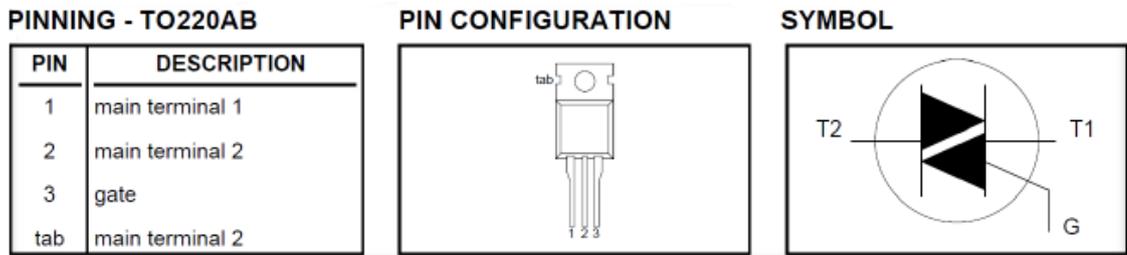


Figura 2.13: Triac BT136

Fuente: Datasheet Triac BT 136 [31]

LIMITING VALUES

Limiting values in accordance with the Absolute Maximum System (IEC 134).

| SYMBOL | PARAMETER | CONDITIONS | MIN. | MAX. | | | UNIT |
|--------------|--|---|------|--------------------------|--------------------------|-------------|------------------|
| | | | | -500 500 ¹ | -600 600 ¹ | -800 800 | |
| V_{DRM} | Repetitive peak off-state voltages | | - | | | | V |
| $I_{T(RMS)}$ | RMS on-state current | full sine wave; $T_{mb} \leq 107^\circ\text{C}$ | - | 4 | | | A |
| I_{TSM} | Non-repetitive peak on-state current | full sine wave; $T_j = 25^\circ\text{C}$ prior to surge | - | 25 | | | A |
| | | $t = 20\text{ ms}$ | - | 27 | | | A |
| i^2t | i^2t for fusing | $t = 16.7\text{ ms}$ | - | 3.1 | | | A ² s |
| di_T/dt | Repetitive rate of rise of on-state current after triggering | $t = 10\text{ ms}$ | - | 3.1 | | | A ² s |
| | | $I_{TM} = 6\text{ A}; I_G = 0.2\text{ A}; di_G/dt = 0.2\text{ A}/\mu\text{s}$ | | | | | |
| | | T2+ G+ | - | 50 | | | A/ μs |
| | | T2+ G- | - | 50 | | | A/ μs |
| | | T2- G- | - | 50 | | | A/ μs |
| | | T2- G+ | - | 10 | | | A/ μs |
| I_{GM} | Peak gate current | | - | 2 | | | A |
| V_{GM} | Peak gate voltage | | - | 5 | | | V |
| P_{GM} | Peak gate power | | - | 5 | | | W |
| $P_{G(AV)}$ | Average gate power | over any 20 ms period | - | 0.5 | | | W |
| T_{stg} | Storage temperature | | -40 | 150 | | | $^\circ\text{C}$ |
| T_j | Operating junction temperature | | - | 125 | | | $^\circ\text{C}$ |

Figura 2.14: Características Triac BT136

Fuente: Datasheet Triac BT 136 [31]

2.2.1.3 Circuito de comunicación

Tiene como elemento principal un Xbee S2, el cual recibe y envía información de otro Xbee (Coordinador), estos datos son enviados al PIC16F628A mediante comunicación serial.

XBEE S2

Los módulos Xbee S2 son dispositivos que brindan un medio inalámbrico para la interconexión y comunicación con otros dispositivos (PC, microcontroladores, etc.). Estos dispositivos funcionan bajo el estándar IEEE 802.15.4 y son fabricados por la empresa Digi.

Estos módulos permiten crear redes punto-punto, malla y multipunto, aunque no todos los dispositivos tienen esta característica lo cual es dependiente de la serie. Los Xbee serie dos que utilizaremos se los puede configurar de cualquiera de estas formas sin

ningún inconveniente.

Algunos datos técnicos de estos dispositivos se presentan a continuación:

Tabla 2.1: Características Xbee Serie 2

| Parámetro | Rango de valores |
|-------------------------------|-----------------------|
| Alcance en ambientes cerrados | Sobre los 100 metros |
| Alcance en ambientes abiertos | Sobre los 1500 metros |
| Potencia de transmisión | 100 mW |
| Velocidad de transmisión | 250000 bps |
| Consumo de energía en Tx | 45 mA con 3.3 V |
| Consumo de energía en Rx | 50 mA con 3.3 V |
| Velocidad interface serial | 1200 a 115200 bps |
| Temperatura de operación | Desde -40 a 85° C |
| Potencia en modo Sleep | Menor a 10 μ A |
| Frecuencia de operación | ISM 2.4 GHz |

Fuente: Product Manual v1.x.4x ZigBeeProtocol [32]

2.2.2 Control de cargas mediante Arduino

El control de Arduino (Hardware) se hizo inalámbricamente, se utilizó Xbee que será el encargado del envío y recepción de datos. Xbee interactuará con Arduino mediante comunicación serial, para tal efecto se utilizó Xbee-Shield, una placa electrónica que permite tal interacción entre ambos dispositivos.



Figura 2.15: Arduino-XbeeShield-Xbee

Fuente: Autor

Xbee enviará a Arduino la información recibida de otro Xbee (Coordinador), Arduino a su vez la procesará y, según sea programado, pondrá en High (uno lógico) o Low (cero lógico) el pin correspondiente. La señal digital de Arduino será recibida por la placa electrónica de potencia, la cual activará o desactivará la carga.

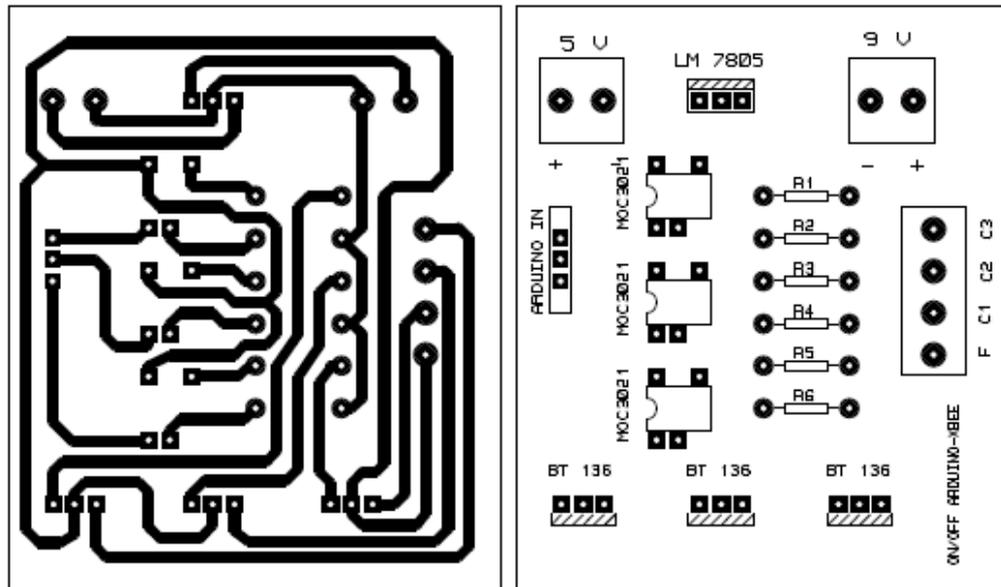


Figura 2.16: Tarjeta impresa de potencia para Arduino

Fuente: Autor

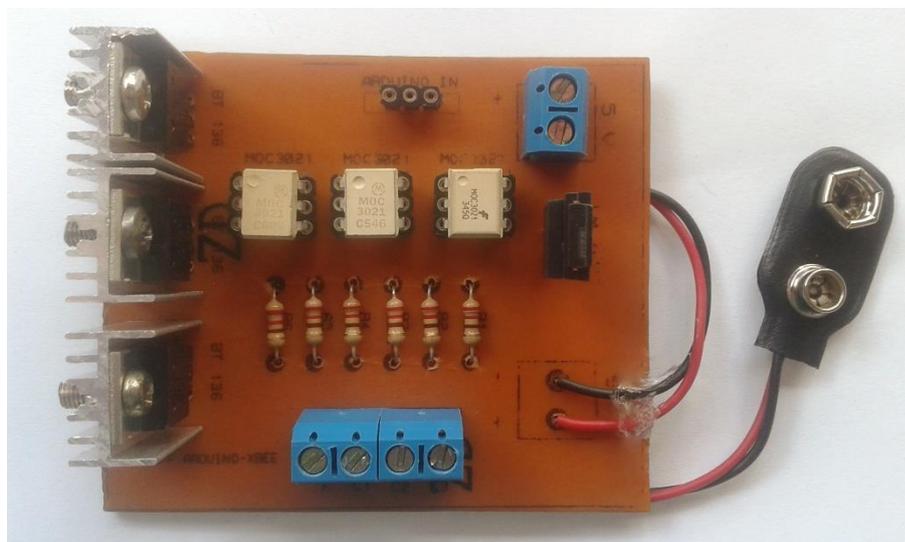


Figura 2.17: Vista 3D tarjeta de potencia para Arduino

Fuente: Autor

Para la programación de la placa electrónica Arduino nos ayudamos del software “Arduino”, la programación realizada se detalla a continuación:

```
const int out1 = 12;
```

```

constint out2 = 11;
constint out3 = 10;
int serial;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(out1, OUTPUT);
  pinMode (out2, OUTPUT);
  pinMode (out3, OUTPUT);
}
void loop() {
  while (Serial.available() > 0) {
    serial = Serial.read();
    if (serial == 'A') {
      digitalWrite(out1, HIGH);
      Serial.println('A');
    }
    if (serial == 'B') {
      digitalWrite(out1, LOW);
      Serial.println('B');
    }
    if (serial == 'C') {
      digitalWrite(out2, HIGH);
      Serial.println('C');
    }
    if (serial == 'D') {
      digitalWrite(out2, LOW);
      Serial.println('D');
    }
    if (serial == 'E') {
      digitalWrite(out3, HIGH);
      Serial.println('E');
    }
    if (serial == 'F') {
      digitalWrite(out3, LOW);
      Serial.println('F');
    }
  }
}
}

```

2.2.3 Tomacorriente Enchufable Automático

Este prototipo de tomacorriente automático irá enchufado a un tomacorriente común existente en la residencia y a este irá conectado la carga que queremos controlar, activándola o desactivándola según la configuración en el ordenador.

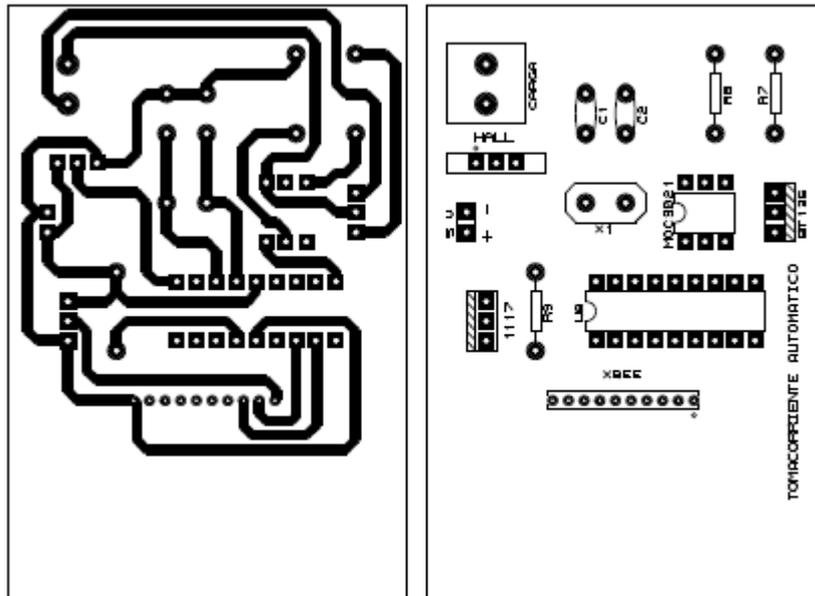


Figura 2.18: Tarjeta impresa tomacorriente automático

Fuente: Autor



Figura 2.19: Vista 3D tarjeta tomacorriente automático

Fuente: Autor

La programación del microcontrolador se hizo en mikroBasic.

```
dim uart_rd as byte
```

```
main:
```

```
UART1_Init (9600)
```

```
Delay_ms (100)
```

```
trisa.4 = 0
```

```
portb.4 = 0
```

```
while (true)
```

```
if (UART1_Data_Ready() <> 0) then
```

```
uart_rd= UART1_Read()
```

```

if (uart_rd = "G") then
    PORTB.4 = 1
    UART1_Write ("G")
end if
if (uart_rd = "H") then
    PORTB.4 = 0
    UART1_Write ("H")
end if
end if
wend
end.

```

A este equipo se le puede acoplar un sensor de efecto Hall con propósitos de medición de la corriente que consume la carga o a su vez puede emplearse para detectar si el equipo a controlar se encuentra conectado a nuestro prototipo de tomacorriente automático.

El sensor a utilizar es el ACS712T del fabricante Allegro MicroSystems.

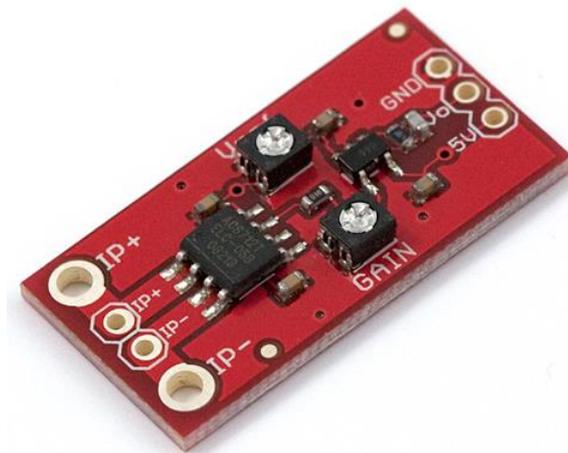


Figura 2.20: Sensor de efecto Hall ACS712T

Fuente: SparkFunElectronics [33]

2.2.4 Interruptor Manual-Automático

Este prototipo de interruptor tiene la finalidad de encender o apagar manual y automáticamente luminarias de una residencia, la mayor parte de tiempo las luminarias serán controladas automáticamente, el propósito de hacerlo manual es por seguridad en caso de que el usuario requiera de iluminación en tiempos fuera de los programados en el SCADA.

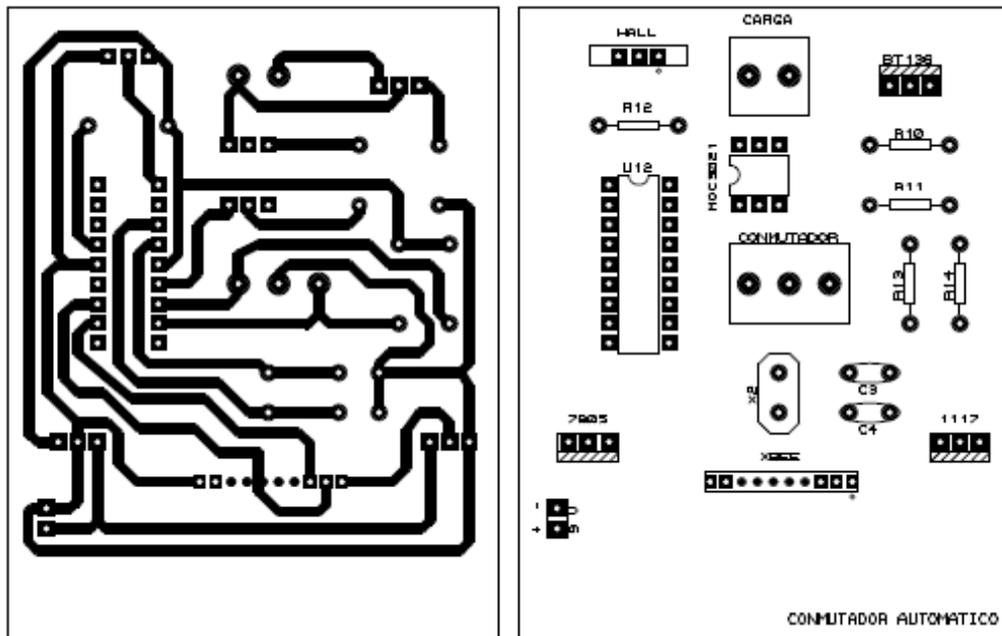


Figura 2.21: Tarjeta impresa interruptor manual-automático

Fuente: Autor

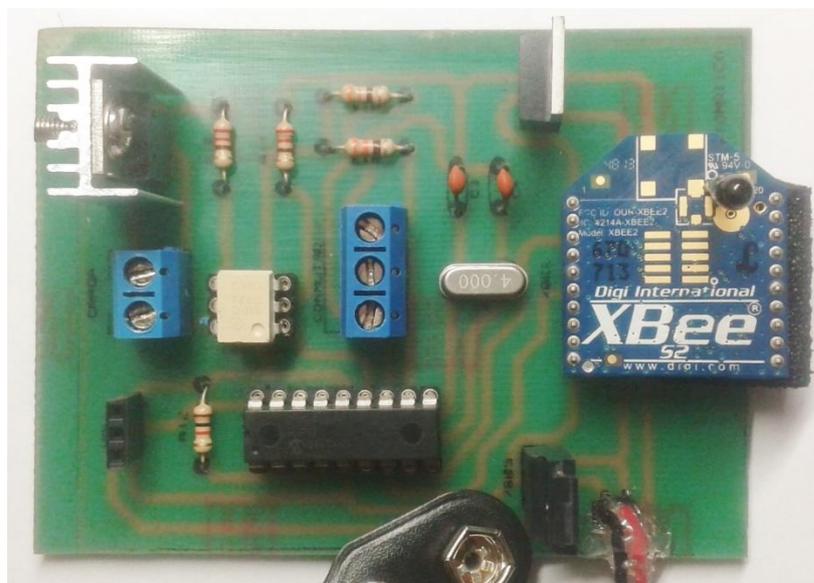


Figura 2.22: Vista 3D tarjeta interruptor manual-automático

Fuente: Autor

La programación se realizó en mikroBasic y se detalla a continuación:

```
' Declarations section
dimuart_rd as byte
dim pos1 as byte
dim pos2 as byte
```

```
main:
' Main program
```

```

UART1_Init (9600)
trisa.7 = 0
portb.7 = 0
trisa.5 = 1
portb.5 = 1
trisa.6 = 1
portb.6 = 1

while (true)
if (UART1_Data_Ready() <> 0) then
uart_rd = UART1_Read()
if uart_rd = "I" then
    PORTB.7 = 1
    UART1_Write ("I")
    pos1=1
    pos2=0
end if
if uart_rd = "J" then
    PORTB.7 = 0
    UART1_Write ("J")
    pos1=0
    pos2=1
end if
end if
if ((pos1=1) and (PORTB.5 = 0) and (PORTB.6 = 1)) then
    PORTB.7 = 1
    UART1_Write ("E")
end if
if ((pos2=1) and (PORTB.5 = 1) and (PORTB.6 = 0)) then
    PORTB.7 = 1
    UART1_Write ("E")
end if
if ((pos2=1) and (PORTB.5 = 0) and (PORTB.6 = 1)) then
    PORTB.7 = 0
    UART1_Write ("A")
end if
if ((pos1=1) and (PORTB.5 = 1) and (PORTB.6 = 0)) then
    PORTB.7 = 0
    UART1_Write ("A")
end if
wend
end.

```

2.2.5 Configuración de dispositivos Xbee

Para la configuración de los dispositivos Xbee S2 utilizaremos el programa X-CTU versión 6.1, software libre, creado por el mismo fabricante de Xbee, Digi.

Para empezar la programación de un Xbee lo debemos conectar a la computadora, para lo cual nos ayudaremos de un Xbee USB Adapter del cual previamente debemos

instalar los driver que proporciona Digi en su página Web.

Una vez enchufado el Xbee a la PC seleccionamos AddDevices  con lo que se nos abrirá una ventana Add radio device en la que podemos escoger el puerto al que está conectado el Xbee y configurar los parámetros de la comunicación Serial/USB.

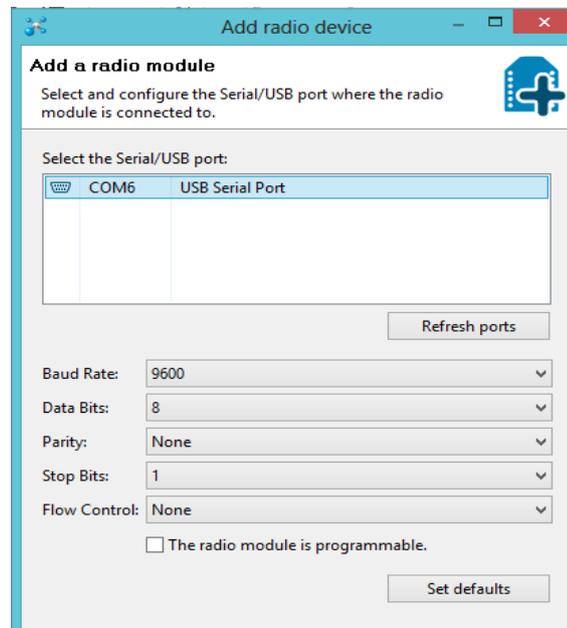


Figura 2.23: Selección del Puerto y parámetros de comunicación

Fuente: Autor

Una vez seleccionado el puerto y confirmado los datos de la comunicación serial el programa reconocerá el dispositivo y nos permitirá configurar algunos de sus parámetros.

Para cargar el Firmware al dispositivo seleccionamos el icono Update Firmware  con lo que se desplegará una ventana en la cual podemos seleccionar el tipo de dispositivo, como puede ser Coordinador, Router o EndDevice.

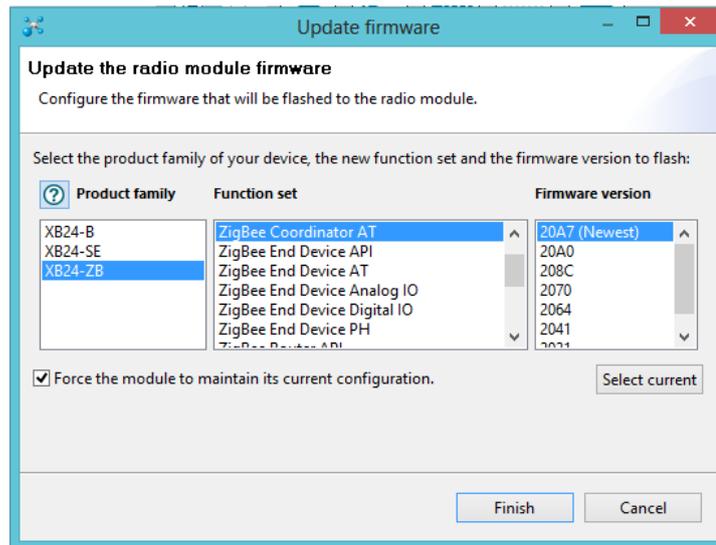


Figura 2.24: Selección del tipo de dispositivo

Fuente: Autor

Una vez seleccionado el tipo de dispositivo y la versión del Firmware procedemos a configurar la red, para lo cual debemos colocar el PAN ID que es el identificador de la red el cual debe ser el mismo en todos los dispositivos que formen la red, en este caso “1234”.

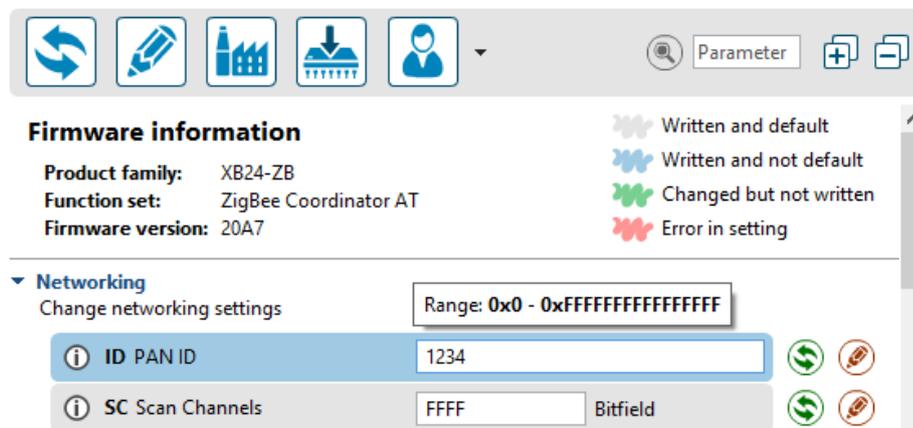


Figura 2.25: Asignación de PAN ID

Fuente: Autor

Adicional a esto podemos dar un nombre a nuestro dispositivo, en este caso “Coordinador”, en NodeIdentifier NI.

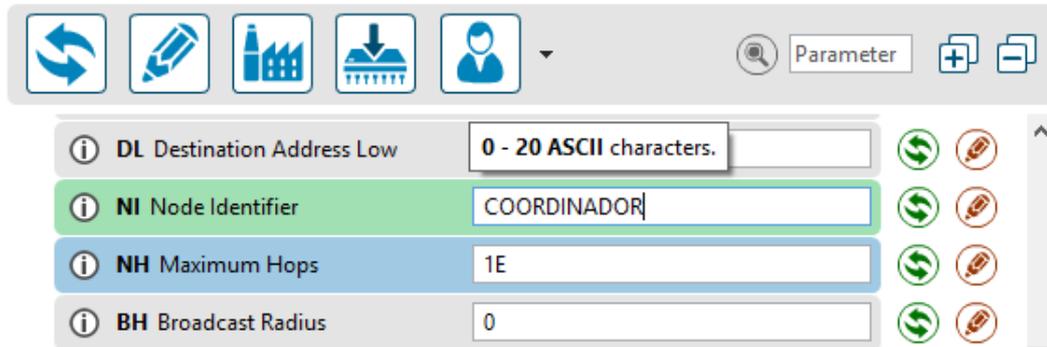


Figura 2.26: Asignación de NI

Fuente: Autor

Una vez realizada las configuraciones necesarias presionamos el icono Write Radio Settings  con lo que se grabara en el Xbee las configuraciones realizadas.

2.3 Diseño del sistema SCADA

Para el diseño del HMI del sistema SCADA se utilizará el programa LabVIEW.

LabVIEW es un lenguaje de programación gráfico (lenguaje G) utilizado en el desarrollo de aplicaciones que involucren adquisición, control, análisis y presentación de datos. Para desarrollar aplicaciones en LabVIEW y al ser este un lenguaje de programación gráfico se emplean iconos, términos e ideas familiares a científicos e ingenieros, se apoya en símbolos gráficos en lugar de lenguaje escrito. Como todo lenguaje de programación, LabVIEW contiene librerías específicas para adquisición de datos, control de instrumentos, análisis, procesamiento y almacenamiento de datos, así como comunicación serial que será de mucha utilidad en el presente proyecto para el control de los equipos.

Este programa es además compatible con otras herramientas de desarrollo similares y puede trabajar con otros programas destinados a otras áreas de aplicación como por ejemplo Matlab.

2.3.1 Descripción del HMI

Al iniciar el sistema para el control de la demanda de energía eléctrica se ejecutará una pantalla de Bienvenida y a su vez nos dará acceso a la pantalla principal que nos permitirá controlar y monitorear las cargas.



Figura 2.27: Pantalla de Bienvenida y acceso al sistema principal

Fuente: Autor

Estando en esta pantalla debemos presionar el botón “INGRESAR” para acceder a la pantalla principal “PROCESO”, pantalla en la cual podremos observar las variables a controlar.

| Registro de Cargas | | | | Comportamiento de la Demanda | | | | Ahorro \$ y emisiones de CO2 | | | | Historial | | | |
|--------------------------|--------------------------|----------|----------|------------------------------|--------------------------|--------------------------|----------|------------------------------|-----------|--------------------------|--------------------------|-----------|----------|-----------|--|
| ELECTRODOMESTICOS | | CANTIDAD | POTENCIA | PRIORIDAD | ELECTRODOMESTICOS | | CANTIDAD | POTENCIA | PRIORIDAD | ELECTRODOMESTICOS | | CANTIDAD | POTENCIA | PRIORIDAD | |
| <input type="checkbox"/> | Refrigeradora | 0 | 0 | W | <input type="checkbox"/> | Refrigeradora | 0 | 0 | W | <input type="checkbox"/> | Refrigeradora | 0 | 0 | W | |
| <input type="checkbox"/> | Aire acondicionado | 0 | 0 | W | <input type="checkbox"/> | Aire acondicionado | 0 | 0 | W | <input type="checkbox"/> | Aire acondicionado | 0 | 0 | W | |
| <input type="checkbox"/> | Televisor | 0 | 0 | W | <input type="checkbox"/> | Televisor | 0 | 0 | W | <input type="checkbox"/> | Televisor | 0 | 0 | W | |
| <input type="checkbox"/> | Lavadora | 0 | 0 | W | <input type="checkbox"/> | Lavadora | 0 | 0 | W | <input type="checkbox"/> | Lavadora | 0 | 0 | W | |
| <input type="checkbox"/> | Secadora de Ropa | 0 | 0 | W | <input type="checkbox"/> | Secadora de Ropa | 0 | 0 | W | <input type="checkbox"/> | Secadora de Ropa | 0 | 0 | W | |
| <input type="checkbox"/> | Horno microondas | 0 | 0 | W | <input type="checkbox"/> | Horno microondas | 0 | 0 | W | <input type="checkbox"/> | Horno microondas | 0 | 0 | W | |
| <input type="checkbox"/> | Computador de escritorio | 0 | 0 | W | <input type="checkbox"/> | Computador de escritorio | 0 | 0 | W | <input type="checkbox"/> | Computador de escritorio | 0 | 0 | W | |
| <input type="checkbox"/> | Computador portatil | 0 | 0 | W | <input type="checkbox"/> | Computador portatil | 0 | 0 | W | <input type="checkbox"/> | Computador portatil | 0 | 0 | W | |

Figura 2.28: Pantalla de ingreso de cargas residenciales

Fuente: Autor

En la figura 2.28 se puede observar la pantalla de registro de cargas, en la cual el usuario deberá seleccionar las cargas que posee en su residencia, debe ingresar la cantidad, la potencia de los equipos y darle una prioridad a dicha carga, en base de la cual se basará el sistema para conectar o desconectar las cargas.

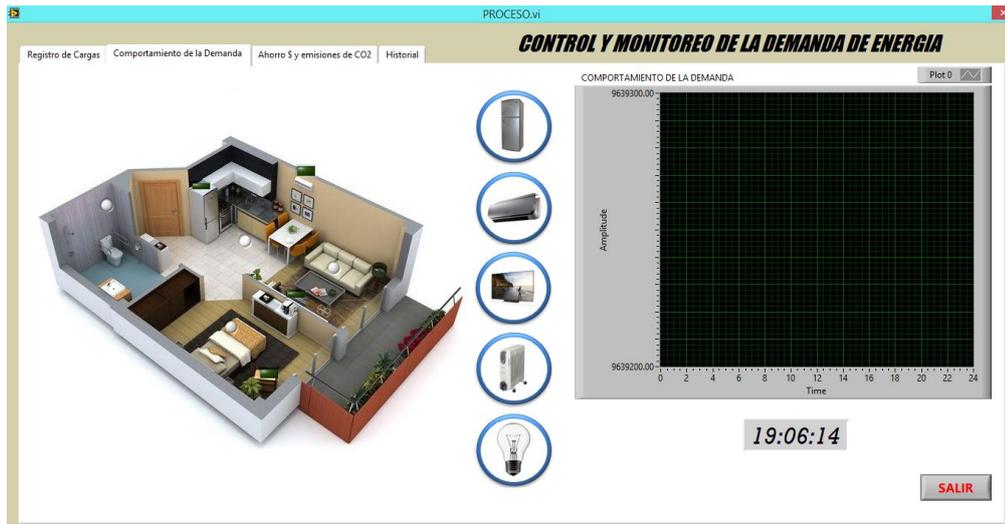


Figura 2.29: Pantalla de control y monitoreo de la demanda

Fuente: Autor

En la figura 2.29 se muestra la pantalla principal del sistema SCADA, en la cual se puede observar un plano 3D de la residencia a controlar así como de sus cargas.

En la parte central de la pantalla están enlistadas las cargas que vamos a controlar en donde como dato debemos ingresar la potencia de los distintas cargas, además se incluyó una gráfica en donde se puede observar el comportamiento de la demanda en la residencia.

En el plano, sobre cada carga, existe un indicador en cual nos indicará si la carga está o no activada, a su vez existen indicadores con la imagen de la carga los cuales cambian el color de fondo dando a saber al usuario si se encuentra activa o no, como se observa en la figura 2.30.



Figura 2.30: Indicadores de carga activa o inactiva

Fuente: Autor



Figura 2.31: Indicador de ahorro y Kg de CO₂ que dejamos de emitir

Fuente: Autor

En la figura 2.31 se puede observar la pantalla que indica el ahorro en dólares y la cantidad de CO₂ que dejamos de emitir a la atmósfera cuando nuestro SCADA desconecta las cargas. Se debe indicar que los horarios de desconexión, cargas, ahorro en dólares y las emisiones que se dejan de emitir serán archivados en un historial, con el propósito de que los usuarios tengan un registro de estas variables, para que se analicen los beneficios que tendrá el SCADA y si se cumplen con sus expectativas.

La activación o desactivación de las cargas será comandada por un modelo matemático el cual será el encargado de analizar qué cargas y en que horario hacer la activación o desactivación. En este caso será necesario priorizar las cargas, es decir decirle a nuestro sistema cual puede ser el orden y los tiempos de desactivación según los requerimientos y usos por parte del usuario.

El modelo matemático a utilizarse será descrito en el siguiente capítulo, además se dará a conocer los parámetros y la programación que se realizó para que dicho modelo matemático se encargue del control así como de la optimización de la demanda de energía.

2.4 Protocolos de comunicación

En la presente propuesta de sistema SCADA para el control de la demanda de energía eléctrica en una residencial, se utilizaron Zigbee y UART como protocolos de comunicación entre los dispositivos.

2.4.1 Zigbee (IEEE 802.15.4)

El nombre “Zigbee” se deriva de los patrones erráticos comunicativos que tienen las

abejas (bees) entre las flores durante la recogida del polen.

Zigbee es un estándar de comunicaciones inalámbricas diseñado por la Zigbee Alliance, se basa en el estándar IEEE 802.15.4 de redes inalámbricas de área personal (Wireless Personal Area Network, WPAN). Zigbee tiene como objetivo las aplicaciones que requieren comunicaciones seguras con baja tasa de envío de datos y maximización de la vida útil de sus baterías. Este protocolo fue creado con el propósito de cubrir la necesidad del mercado de un sistema de bajo costo, un estándar de redes Wireless de pequeños paquetes de datos, bajo consumo, seguro y fiable.

Para llevar a cabo este sistema se formó el grupo de trabajo denominado Zigbee Alliance, formado por varias industrias sin ánimos de lucro, entre las que destacan Invensys, Motorola, Mitsubishi y Philips, muchas de ellas fabricantes de semiconductores, las cuales han trabajado conjuntamente con IEEE para con ellos asegurar una integración completa y operativa. Esta alianza se formó para crear un estándar de comunicación vía radio y bidireccional, para que puedan ser utilizados en sistemas de automatización en hogares, edificios, control industrial, periféricos de PC y sensores médicos. Los miembros de esta alianza justifican el desarrollo de Zigbee para cubrir el vacío que produce Bluetooth.

Este nuevo estándar fue definido por la propia Zigbee Alliance como el nuevo estándar para la automatización del hogar, permite que las aplicaciones en el hogar desarrolladas por los fabricantes sean completamente inter operables entre sí, garantizando con ello fiabilidad control, seguridad y comodidad al cliente final.

Las comunicaciones Zigbee se realizan en la banda libre de 2.4 GHz, a una única frecuencia, es decir un canal y puede escogerse un canal de entre 16 posibles. El alcance depende de la potencia de emisión del dispositivo así como del tipo de antena. La velocidad de transmisión de datos de una red Zigbee es de hasta 256 Kbps. Teóricamente una red de este tipo la pueden formar 65535 dispositivos, es decir, este protocolo está diseñado para poder controlar esta cantidad enorme de dispositivos, aunque en la práctica este número es menor, siendo de todos modos, de miles de equipos [34].

2.4.1.1 Tipos de dispositivos Zigbee

Se definen tres tipos de dispositivos según su función en la red:

- Coordinador (ZigbeeCoordinator, ZC), se encarga de formar y controlar la red y los caminos que deben seguir los dispositivos para conectarse entre ellos,

asigna direcciones en la red, además es responsable de la admisión de dispositivos. Es el dispositivo más completo, debe existir uno por red.

- Router (ZigbeeRouter, ZR), la utilidad de estos dispositivos es para extender la cobertura de la red y para aumentar la confiabilidad con la creación de rutas adicionales de datos, enruta mensajes entre dispositivos y también puede asociar a otros dispositivos.
- Dispositivo Final (ZigbeeEndDivice, ZED), puede comunicarse con el coordinador o con los routers pero no con otros dispositivos finales. Se encuentra al final de la cadena o en los extremos de la red. Son dispositivos de funcionalidad reducida, requieren menos potencia de cómputo [35].

2.4.1.2 Topologías de redes Zigbee

El protocolo Zigbee permite tres topologías de red:

- Topología en Estrella: el coordinador se sitúa en el centro.
- Topología en árbol: el coordinador será la raíz del árbol.
- Topología en malla: al menos uno de los nodos tendrá dos conexiones.

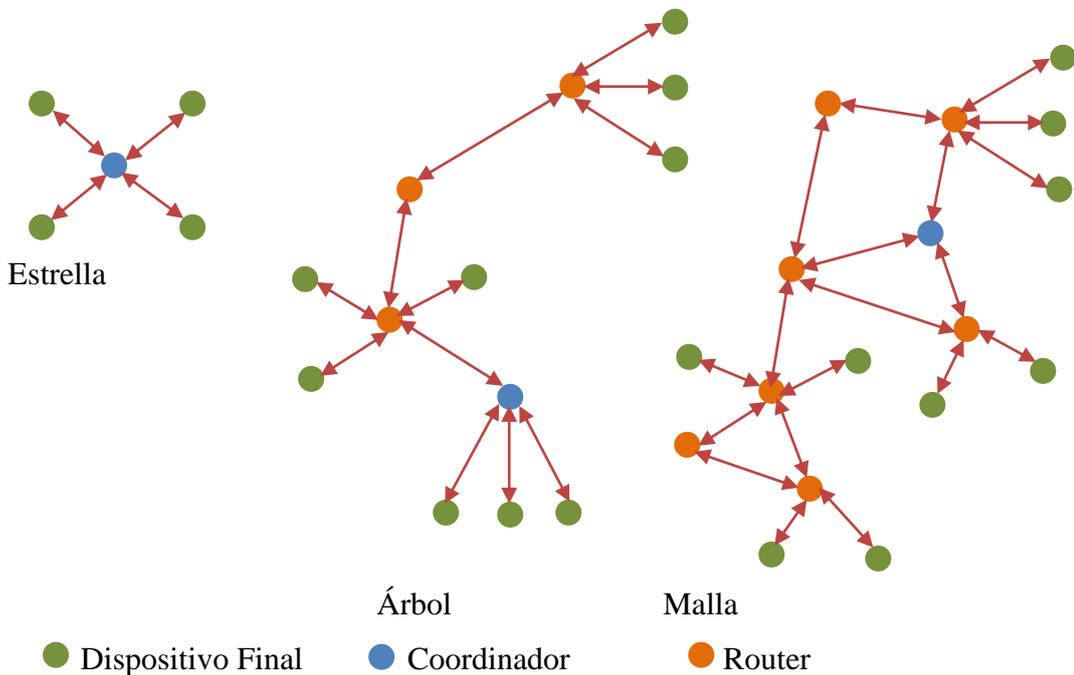


Figura 2.32: Topologías de redes Zigbee

Fuente: Autor

La topología más interesante y por la cual el protocolo Zigbee sobresale de otros

protocolos es la topología en malla. Esta permite que si en cierto momento se cae o falla un nodo, la comunicación pueda seguir entre todos los demás nodos debido a que se rehacen todos los caminos en donde el coordinador es el encargado de administrar dichos caminos.

2.4.1.3 Comparación Zigbee con otros estándares

A continuación se comparará a Zigbee con dos de los estándares más populares que trabajan en frecuencia libre o sin licencia.

Tabla 2.2: Comparación de Zigbee con Wi-Fi y Bluetooth

| | Wi-Fi | Bluetooth | Zigbee |
|-------------------------------|-----------|-----------|------------|
| Velocidad | < 50 Mbps | 1 Mbps | < 250 kbps |
| Numero de nodos | 32 | 8 | 255/65535 |
| Duración de la Batería | Horas | Días | Años |
| Consumo transmisión | 400 mA | 40 mA | 30 mA |
| Consumo reposo | 20 mA | 0.2 mA | 3 μ A |
| Configuración | Compleja | Compleja | Simple |
| Precio | Caro | Medio | Barato |

Fuente: Autor

Wi-Fi es un estándar LAN (Red de Área Local), inalámbrico que requiere de una actividad casi continua en los dispositivos de red. La ventaja del estándar es la enorme cantidad de datos que se pueden transmitir de un punto a múltiples puntos. Los dispositivos Wi-Fi han sido diseñados para trabajar con un considerable consumo de potencia [36].

Bluetooth es un estándar popular aplicado al remplazo de cables, también se basa en un estándar IEEE (IEEE 802.15.1). Hay que tener en cuenta que el consumo de corriente de ZigBee y Bluetooth es similar durante la transmisión, pero ZigBee tiene un consumo considerablemente bajo en modo de espera debido a que en una red Bluetooth los dispositivos deben estar en constante comunicación para mantenerse sincronizados, por dicha razón no pueden entrar en modo de espera [37].

Hay que considerar que de los tres estándares inalámbricos solo Zigbee ofrece flexibilidad para trabajar con redes en malla, además se debe considerar la reducida memoria que requiere Zigbee. La aplicación típica de Zigbee es simple, el aprovechamiento de la potencia está en la red y en el hecho de que los dispositivos

finales pueden dormir o estar en espera mientras la red se mantiene asociada.

2.4.2 Comunicación UART (Transmisión y Recepción Universal Asíncrona)

La comunicación UART también es conocida como comunicación serial y es una manera universal de comunicarse entre dispositivos electrónicos, de ahí sus siglas.

La mayoría de controladores y microcontroladores disponen de hardware UART. Usa una línea de datos simple para transmitir y otra para recibir datos. Comúnmente 8 bits son transmitidos de la siguiente forma: un bit de inicio, a nivel bajo, 8 bits de datos y un bit de parada a nivel alto. El bit de inicio a nivel bajo y el de parada a nivel alto indican que siempre hay una transmisión.

Es esta forma de comunicación la que hace posible controlar cada aspecto de los sistemas desarrollados. El microcontrolador puede establecer esta comunicación, la cual es necesaria configurarla para poderla manejar. La configuración se la hace por medio de sus registros de control de donde se seleccionan los baudios de transmisión (Tx) y recepción (Rx), la activación del módulo y los pines asignados de Tx y Rx [37].

La manera de operar del módulo es tomando la lectura de los registros donde se encuentran los datos almacenados tanto de Tx como Rx y luego mandar estos datos por los pines respectivos los cuales van hacia otro dispositivo externo que soporte este estándar como un Xbee por ejemplo.

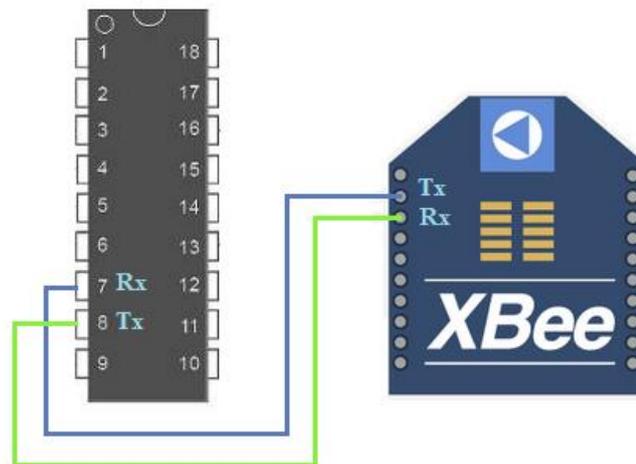


Figura 2.33: Comunicación UART entre un PIC y un Xbee

Fuente: Autor

2.4.2.1 Comunicación UART-USB-Zigbee

En el presente trabajo fue necesario establecer comunicación entre estos tres estándares debido a que los dispositivos utilizados necesitan tener este tipo de

protocolos entre sí.

Las comunicaciones se establecen de la siguiente manera:

- PIC: UART
- XBee: Zigbee-UART
- PC: USB-UART

Para poder enviar y recibir información de todo el sistema, se debe establecer comunicación entre la computadora (PC) y el dispositivo con el cual queremos tener contacto. Esto se hace por medio de un chip FT232RL del fabricante FTDI, el cual se encuentra en la placa Xbee-USB Adapter en la cual irá conectado un Xbee configurado como Coordinador, el cual se encargará de enviar y recibir información de los diferentes EndDivices.

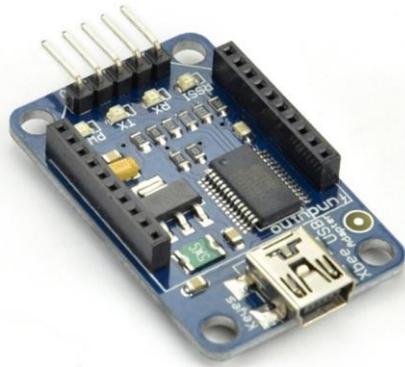


Figura 2.34: Xbee-USB Adapter

Fuente: Voltatek [38]

La comunicación de todo el sistema, dicho de una manera simple, se hace entre un PIC y un Xbee configurado como EndDivice, el cual se encargara de activar o desactivar cargas y la comunicación entre la PC y un Xbee Coordinador se hace por medio del chip FT232RL, como muestra la figura:

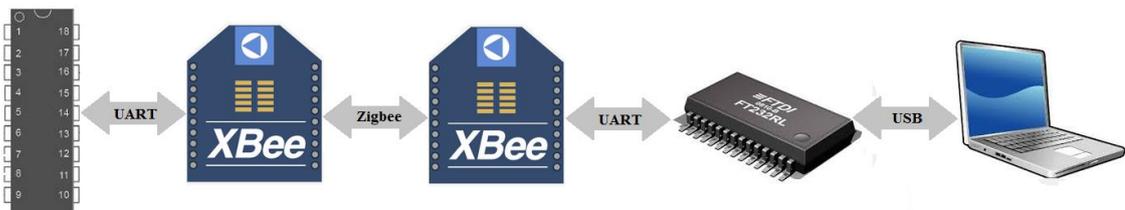


Figura 2.35: Protocolos de comunicación del sistema SCADA

Fuente: Autor

CAPÍTULO III

MODELACION Y OPTIMIZACION DE LA DEMANDA

En el presente capítulo se dará a conocer el método utilizado para el modelamiento de la demanda de energía en una residencia, se dará a conocer el procedimiento utilizado, así como las variables que se deben ingresar como dato para el modelamiento. Para dicho modelamiento se utilizará el programa MATLAB. Explicaremos el método utilizado por la Empresa Eléctrica Quito S.A. para determinar la demanda de energía en el sector residencial. Además, se tratará sobre las mediadas y sistemas que se pueden implementar para optimizar la demanda de energía en el hogar. Se explicará un método propuesto para optimizar la demanda de energía, para lo cual ingresaremos en nuestro Sistema SCADA las características con las cuales el sistema por si solo deberá optimizar la demanda.

3.1 Determinación de la demanda

Para determinar la demanda de energía en una residencia se tomará como referencia el método propuesto por la Empresa Eléctrica Quito S.A., Normas para Sistemas de Distribución-Parte A. Se debe considerar que los valores obtenidos son solo estimaciones, por lo que se los debe tomar como una referencia.

La Empresa Eléctrica Quito es consciente de que cada caso de determinación de la demanda es particular, es decir, se deben conocer, además de la carga instalada, otros parámetros como localización de la vivienda, división y uso del suelo, área y características de la residencia, para disponer de un criterio fundamentado. El método planteado por la Empresa Eléctrica Quito E.E.Q. tiene como finalidad la determinación de la demanda máxima unitaria correspondiente al usuario representativo de un grupo de usuarios básicamente homogéneo.

A continuación se describirán los pasos a seguir para determinar la demanda de energía en una residencia:

Paso 1: Determinación de la Carga Instalada del consumidor

Se debe realizar una lista de los artefactos eléctricos y de iluminación, detallando las cantidades y potencias nominales de cada equipo.

Paso 2: Carga instalada del consumidor representativo

Para cada una de las cargas enlistadas en el punto anterior se debe establecer un factor

de frecuencia de uso (FFUn), este factor determina el porcentaje de incidencia de la carga del consumidor representativo, es decir que los artefactos de los cuales se dispondrán la mayor parte del tiempo por parte de los usuarios, tendrán un factor cuya magnitud se ubicará en el rango superior, mientras que los artefactos que tienen una utilización limitada o suntuaria por su costo tendrán un factor de magnitud media o baja.

Para determinar la carga instalada utilizamos la siguiente ecuación:

$$CIR = Pn \times FFUn \times 0.01 \quad (8)$$

Donde:

CIR: Carga Instalada por Consumidor Representativo

Pn: Potencia o Carga Nominal de los artefactos individuales

FFUn: Factor de Frecuencia de Uso de la carga individual

Paso 3: Determinación de la demanda máxima unitaria (DMU)

La demanda máxima unitaria se determina a partir de la Carga Instalada por Consumidor Representativo (CIR) y del Factor de Simultaneidad (FSn) para cada una de las cargas instaladas, este factor determina la incidencia de la carga considerada en la demanda coincidente durante el periodo de máxima duración. El factor de simultaneidad es un porcentaje establecido por el proyectista para cada una de las cargas instaladas en función de la forma de utilización de los aparatos y artefactos para una aplicación determinada. En general calefacción, iluminación y entretenimiento tendrán factores de simultaneidad máximos, mientras que aparatos como lavadoras secadoras, de aplicación específica, tendrán factores de simultaneidad bajos.

$$DMU = CIR \times FSn \times 0.01 \quad (9)$$

Donde:

DMU: Demanda Máxima Unitaria

CIR: Carga Instalada por consumidor representativo

FSn: Factor de Simultaneidad por carga individual

A continuación se mostrará un ejemplo de cómo se determina la demanda la demanda de energía eléctrica en una residencia, cabe recalcar que los valores obtenidos son aproximaciones.

Tabla 3.1: Demanda Máxima Unitaria según la Empresa Eléctrica Quito

| Renglón | Aparatos electrodomésticos y de alumbrado | | | FFUn (%) | CIR (W) | FSn (%) | DMU (W) |
|----------------|---|----------|---------|----------|---------|---------|---------|
| | Descripción | Cantidad | Pn (W) | | | | |
| 1 | Televisor | 2 | 240 | 80 | 192 | 80 | 153.6 |
| 2 | Plancha | 1 | 1350 | 90 | 1215 | 60 | 729 |
| 3 | Ducha | 2 | 8000 | 80 | 6400 | 60 | 3840 |
| 4 | Licuadaora | 1 | 350 | 90 | 315 | 80 | 252 |
| 5 | Equipo de sonido | 1 | 105 | 80 | 84 | 80 | 67.2 |
| 6 | Computadora | 1 | 330 | 60 | 198 | 60 | 118.8 |
| 7 | Impresora | 1 | 24.9 | 60 | 14.94 | 50 | 7.47 |
| 8 | Focos | 13 | 1300 | 100 | 1300 | 100 | 1300 |
| 9 | Lámpara | 3 | 180 | 90 | 162 | 80 | 129.6 |
| 10 | Aire Acondicionado | 1 | 1000 | 70 | 700 | 70 | 490 |
| 11 | Refrigeradora | 1 | 500 | 100 | 500 | 100 | 500 |
| 12 | Lavadora | 1 | 400 | 40 | 160 | 40 | 64 |
| 13 | Laptop | 1 | 100 | 80 | 80 | 80 | 64 |
| 14 | Arrocera | 1 | 600 | 40 | 240 | 60 | 144 |
| TOTALES | | | 14239.9 | | 11560.9 | | 7859.67 |

Fuente: Normas para Sistemas de Distribución Parte A [39]

3.1.1 Clasificación de clientes residenciales por estratos de consumo según la Empresa Eléctrica Quito

Los clientes residenciales dentro del área de concesión de la Empresa Eléctrica Quito están clasificados por estratos de consumo como se muestra en la figura 3.2, para efectos de determinar las demandas coincidentes de diseño. La Dirección de Distribución de la Empresa Eléctrica Quito será responsable de asignar la o las categorías de estratos de consumo para un proyecto en particular [39].

Tabla 3.2: Estratos de consumo según la E.E.Q.

| CATEGORÍA DE ESTRATO DE CONSUMO | ESCALAS DE CONSUMO (KWh/mes/cliente) |
|---------------------------------|--------------------------------------|
| E | 0-100 |
| D | 101-150 |
| C | 151-250 |
| B | 251-350 |
| A | 351-500 |
| A1 | 501-900 |

Fuente: Normas para Sistemas de Distribución Parte A [39]

Debido a que los clientes residenciales del área de concesión de la E.E.Q. presentan

variedad de consumos, ha sido necesaria una agrupación de tal forma que se mantengan las características comunes entre los clientes que poseen consumos similares.

3.1.1.1 Características de los estratos de consumo

A continuación se dará a conocer ciertas características de los estratos de consumo mencionados anteriormente. Los datos que se presentarán a continuación han sido tomados del Instituto Nacional de Estadística y Censos INEC. Cabe aclarar que los datos que se presentarán han sido tomados del censo poblacional y no se los debe considerar como valores fijos sino más bien como valores referenciales ya que los consumos, utilidades, número de equipos pueden variar en cada cliente.

Estrato de consumo E

En este estrato, los jefes del hogar tienen un nivel de instrucción primaria completa. Los jefes de hogar se desempeñan como trabajadores no calificados, trabajadores de servicios, comerciantes, operadores de máquinas y montadores, en algunos casos se encuentran inactivos. Lo expuesto anteriormente permite conocer que los niveles de ingresos económicos, en hogares de este estrato, son bajos, con lo que sus integrantes no pueden tener acceso a ciertos bienes, en donde, según datos del INEC, el 5% de los hogares tiene lavadora, menos del 43 % tiene refrigeradora y cocina con horno, 10 % tiene equipo de sonido y/o mini componente, en promedio poseen un televisor a color, y cerca del 31 % de los hogares poseen ducha eléctrica.

De lo mencionado anteriormente se puede entender que este estrato no posee un consumo muy alto de energía eléctrica, razón por la cual la Empresa Eléctrica determinó un rango de consumo que va de 0 hasta 100 Kwh al mes por cliente [40].

Estrato de consumo D

Los jefes de hogar de este estrato poseen un nivel de instrucción y ocupaciones parecidas al del estrato E.

En este estrato más del 84 % de los hogares tiene refrigeradora y cocina con horno, menos del 48% tiene lavadora equipo de sonido y/o mini componente, en promedio tienen un televisor a color y una ducha eléctrica, 11% tienen computadora de escritorio [40].

Este estrato presenta un porcentaje un poco mayor de consumo de energía eléctrica que el estrato E, por lo que su rango va de 101 a 150 Kwh por mes, tienen un intervalo de 50 puntos a diferencia del estrato E que tiene un intervalo de 100 puntos.

Estrato de consumo C

En este estrato, el jefe del hogar tiene un nivel de instrucción secundaria completa y se desempeñan como trabajadores de los servicios, comerciantes, operadores de instalación de máquinas y montadores.

En estos hogares el 96% tiene refrigeradora, más del 67% tiene cocina con horno, lavadora, equipo de sonido y/o mini componente, en promedio tienen dos televisores a color y una ducha eléctrica. Además el 62% posee computadora de escritorio y el 21% posee computadora portátil [40].

Por lo mencionado anteriormente y analizadas las características de consumo en este estrato, por parte de la Empresa Eléctrica Quito se estableció un rango de consumo que va de los 151 hasta los 250 Kwh al mes por cliente.

Estrato de consumo B

En este estrato, el jefe del hogar tiene un nivel de instrucción superior los cuales se desempeñan como profesionales científicos, intelectuales, técnicos y profesionales del nivel medio.

El 99% de estos hogares cuenta con refrigeradora, más del 80% de los hogares dispone de cocina con horno, lavadora equipo de sonido y/o mini componente, en promedio estos hogares posees dos televisores a color. Además de ello, el 81% de estos hogares poseen computadora de escritorio y el 50% posee computadora portátil [40].

A diferencia de los estratos anteriores, este estrato presenta un consumo mucho mayor, lo que se justifica por el acceso y disponibilidad de artefactos y electrodomésticos, los cuales según la Empresa eléctrica Quito representan un consumo que va desde los 251 hasta los 350 Kwh al mes por cliente.

Estrato de consumo A

En este estrato, el jefe del hogar tiene un nivel de instrucción superior y cierto número alcanzan estudios de post grado, los cuales se desempeñan labores como profesionales científicos, intelectuales, miembros del poder ejecutivo, de los cuerpos legislativos, personal del directivo de la administración pública y de empresas.

En este estrato todos los hogares poseen refrigeradora, más del 95% dispone de cocina con horno, lavadora, equipo de sonido y/o mini componente. En promedio los hogares de este estrato poseen dos televisores a color y dos duchas eléctricas, además la mayoría cuenta con computadora de escritorio y/o portátil [40].

A este estrato, la Empresa Eléctrica Quito lo ha clasificado dentro de un consumo que va de 351 hasta 500 Kwh al mes por cliente.

En enero de 2014, la Empresa Eléctrica Quito añadió en su normativa de diseño, un estrato más el A1, con un rango de consumo de 501 hasta 900 Kwh al mes por cliente. Cabe mencionar que no se conocen las características y los motivos por los que se decidió añadir dicho estrato por parte de la E.E.Q. S.A.. Lo que se puede suponer es que la Empresa Eléctrica Quito lo añadió una vez analizado las cargas futuras que se obtendrán en los hogares de Quito, una vez se generalice el uso de cocina de inducción en los hogares de la ciudad.

3.1.2 Curva de demanda en el sector residencial de la ciudad de Quito

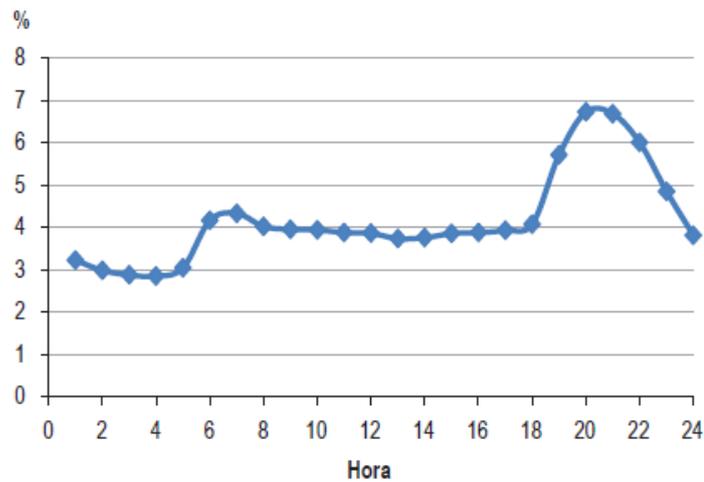


Figura 3.1: Curva de Carga en el sector residencial de la Ciudad de Quito

Fuente: Plan Maestro de Electrificación 2013-2022 [4]

En la curva se ve claramente que los hábitos de consumo y actividades evidencian bajo consumo desde las 00:00 hasta las 06:00 debido a que en este intervalo de tiempo no se hace uso de los equipos, entre las 06:00 y las 08:00 de la mañana se observa un incremento en la demanda ya que se inician las labores diarias y se hacen uso de ciertos artefactos eléctricos como ducha o calefactores eléctricos, este incremento no dura mucho tiempo tendiendo a disminuir hasta las 12:00 y teniendo un leve aumento en las horas de almuerzo, luego, en el intervalo de 18:00 hasta las 21:00 se da un incremento notorio en la demanda alcanzando su valor máximo, cuyo pico se debe principalmente al uso simultaneo de equipos de entretenimiento e iluminación.

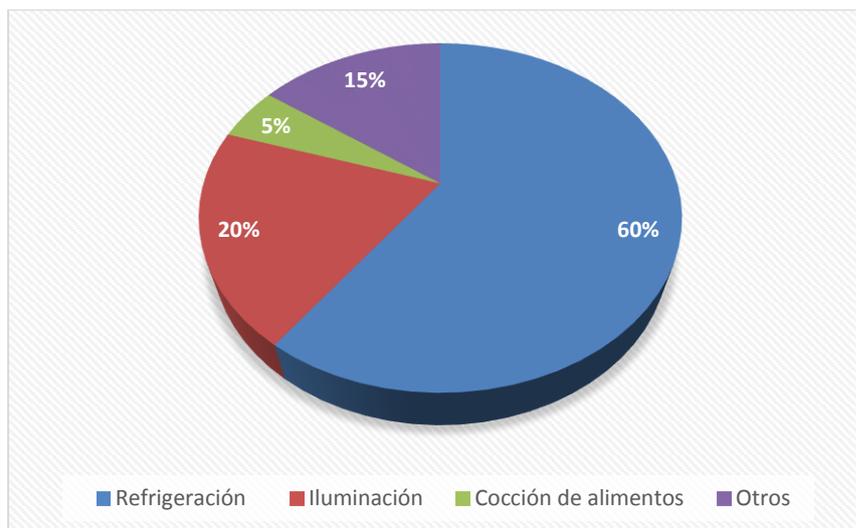


Figura 3.2: Usos finales de la Energía Eléctrica en el Sector Residencial de la Región Sierra

Fuente: Plan Maestro de Electrificación 2012-2021 [41]

En la figura 3.3 se puede apreciar cuales son los usos finales de la energía eléctrica en el sector residencial, son datos generales de la Región Sierra que no son ajenos a la ciudad de Quito, por los que se los tomó como referencia. Cabe mencionar que en la gráfica debería incluirse un porcentaje de utilización de la energía en el calentamiento de agua, ducha eléctrica, que es uno de los artefactos del hogar que representa de una demanda de energía eléctrica considerable.

3.2 Modelamiento de la demanda

Para el presente proyecto se utilizará el método de la Redes Neuronales Artificiales para modelar la demanda de energía eléctrica de una residencia, modelo con el cual se basará el sistema SCADA para el control de cargas.

3.2.1 Redes Neuronales Artificiales

Están inspiradas en las redes neuronales biológicas del cerebro humano, las cuales intentan interactuar con objetos del mundo real del mismo modo que lo hace el sistema biológico. Una red neuronal artificial es una estructura compuesta de un número de unidades interconectadas (neuronas artificiales). Cada unidad posee una característica de entrada/salida e implementa una computación local o función. La salida de cualquier unidad está determinada por su característica de entrada/salida, su interconexión con otras unidades, y (posiblemente) de sus entradas externas.

Las redes neuronales, permiten aproximar funciones no lineales, esto permite modelar fenómenos complejos donde las variables no están correlacionadas. Así con

aplicaciones de RNA se han obtenido atractivos resultados en medicina, economía, comunicaciones y otras áreas del conocimiento, siendo una de sus características la eliminación de hipótesis de reducción de linealidad que ha dominado el análisis de diferentes problemas a lo largo del tiempo. Si bien, la hipótesis de simplificación, permite desarrollar formulaciones de modelos matemáticos para explicar fenómenos de diversa naturaleza; no es posible desechar el modelo lineal básico, que se sustenta justamente en la linealidad de sus ecuaciones [42].

Elementos de una red neuronal:

- Neurona artificial. Son elementos simples de cálculo que a partir de un vector de entrada procedente del mundo exterior, y/o a partir del estímulo recibido de otras neuronas proporcionan una respuesta única (salida).

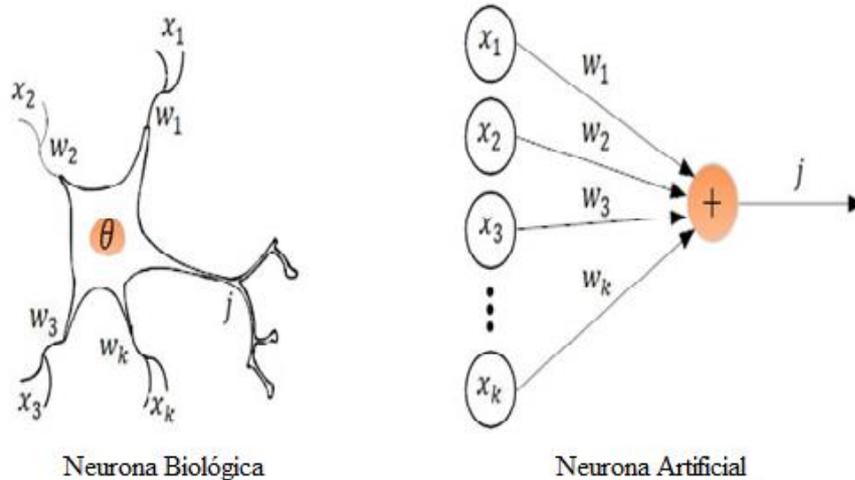


Figura 3.3: Relación entre una neurona biológica y una artificial

Fuente: Facultad de Ingeniería, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría [43]

- Unidad de proceso. La distribución de neuronas dentro de la red se realiza formando niveles o capas, con un número determinado de dichas neuronas en cada una de ellas [42]. A partir de su ubicación dentro de la red, se pueden distinguir tres tipos de capas:
 - a) Capa de entrada: Es la capa que recibe directamente la información proveniente de las fuentes externas de la red.
 - b) Capa Ocultas: Son internas a la red y no tienen contacto directo con el entorno exterior. El número de niveles ocultos puede estar entre cero y un número elevado. Las neuronas de las capas ocultas pueden estar interconectadas de distintas maneras, lo que determina, junto con su número, las distintas

topologías de redes neuronales.

- c) Capa de salida: En esta capa se transfiere la información de la red hacia el exterior.
- Estado de activación. Todas las neuronas de la red presentan cierto estado inicial, de reposo o excitación que depende de su valor de activación. Este valor puede ser continuo o discreto, es decir, suelen tomar un conjunto discreto de valores binarios, así un estado activo se indicaría con el número uno (1) y un estado pasivo estaría representado por el número cero (0); pueden ser limitado o ilimitado, según la entrada total recibida y el umbral de la propia neurona.
 - Conexiones y pesos sinápticos. Las conexiones que unen a las neuronas que forman una RNA tiene asociado un peso, que es el que hace que la red adquiera conocimiento. Se considera que el efecto de cada señal es aditivo, de tal forma que la entrada neta que recibe una neurona (potencial pos sináptico) es la suma del producto de cada señal individual por el valor de la sinapsis que conecta ambas neuronas y es lo que se conoce como regla de propagación.
 - Función de activación. La función de activación combina la entrada total a la j -ésima neurona o potencial pos sináptico, obtenido a partir de estímulos y pesos recibidos, con el estado inicial de la neurona para producir un nuevo estado de activación acorde con la nueva información recibida [42].
 - Función de salida o transferencia. Asociada con cada unidad hay una función de salida, que transforma el estado actual de activación en una señal de salida. Existen cuatro funciones de transferencia típicas que determinan distintos tipos de neuronas: Escalón, Lineal y Mixta, Sigmoidal, Gaussiana.
 - Regla de aprendizaje. El aprendizaje puede ser comprendido como la modificación de comportamiento inducido por la interacción con el entorno y como resultado de experiencias, que conduce al establecimiento de nuevos modelos de respuesta a estímulos externos. En el cerebro humano el conocimiento se encuentra en la sinapsis. En el caso de las RNA el conocimiento se encuentra en los pesos de las conexiones entre neuronas. Todo proceso de aprendizaje implica cierto número de cambios en estas conexiones. En realidad, puede decirse que se aprende modificando los

valores de los pesos de la red.

Topología de redes neuronales

La topología o arquitectura de las RNA hace referencia a la organización y disposición de las neuronas en la red formando capas de procesadores interconectados entre sí a través de sinapsis unidireccionales la arquitectura de una red neuronal artificial depende de cuatro parámetros principales: Numero de capas del sistema, numero de neuronas por capa, grado de conectividad entre las neuronas y el tipo de conexiones neuronales. Por su parte la conectividad entre los nodos de la red está relacionada con la forma de transmisión de las salidas de las distintas unidades y su transformación en inputs de otros procesadores [42]. Las topologías neuronales pueden clasificarse atendiendo a distintos criterios:

Según la estructura en capas

- Redes mono capa: compuestas por una única capa de neuronas, entre las que se establecen conexiones laterales y en ocasiones auto-recurrentes. Este tipo de redes suele utilizarse en problemas de auto asociación.
- Redes multicapa: Las neuronas están dispuestas en varias capas (entrada, oculta(s), salida). La capa a la que pertenece la neurona puede distinguirse mediante la observación del origen de las señales que recibe y el destino de las señales que genera. El número de elementos de procesado puede variar en unas capas respecto a otras. Las funciones (tanto de activación como de salida) de los elementos de procesado pueden ser diferentes. En general, cuanto mayor sea la diferencia entre los elementos de entrada y los de salida, será necesario dotar a la estructura de más capas ocultas. Estas capas ocultas crean una representación interna de los patrones de entrada. La habilidad de la red para procesar información crece en proporción directa al número de capas ocultas.

Según el flujo de datos en la red

- Redes unidireccionales o de propagación hacia adelante (feed forward): ninguna salida neuronal es entrada de unidades de la misma capa o de capas precedentes. La información circula en un único sentido desde las neuronas de entrada hacia las neuronas de salida de la red.
- Redes de propagación hacia atrás (feed back): las salidas de las neuronas

pueden servir de entrada a unidades del mismo nivel (conexiones laterales) o de niveles previos. Las redes de propagación hacia atrás que presentan lazos cerrados se denominan sistemas recurrentes [42].

Según el tipo de respuesta de la red o asociación entrada y salida.

- Redes hetero-asociativas: este tipo de red las neuronas están entrenadas para que ante la presentación de un determinado patrón A, el sistema responda con otro patrón diferente B. Estas redes precisan al menos de dos capas, una para captar y retener la información de entrada y otra para mantener la salida con la información asociada, estas a su vez pueden clasificarse según el objetivo de utilización distinguiéndose las destinadas a computar una función matemática a partir de las entradas que reciben, redes utilizadas para tareas de clasificación, redes para la asociación de patrones etc.
- Redes auto-asociativas. Entrenadas para que asocien un patrón consigo mismo, residiendo su interés en que ante la presentación de un patrón A afectado por ruido su respuesta sea el patrón original A, actuando como un filtro. Estas redes pueden implementarse con una única capa de neuronas que comenzara reteniendo la información de entrada y terminara representando la información auto asociada, si se desea mantener la información de entrada y salida deberán añadirse capas adicionales. Estos modelos se utilizan en tareas de filtrado de información para analizar relaciones de vecindad entre los datos considerados y para resolver problemas de optimización.

Mecanismo de aprendizaje

El aprendizaje, es un proceso de adaptación al entorno; durante él se crean y manipulan representaciones que sean capaces de explicar dicho entorno. En una red neuronal el aprendizaje es el proceso por el cual una red neuronal modifica sus pesos en respuesta a una información de entrada. Los cambios que se producen durante el proceso de aprendizaje se reducen a la destrucción, modificación y creación de conexiones entre las neuronas, la creación de una nueva conexión implica que el peso de la misma pasa a tener un valor distinto de cero, una conexión se destruye cuando su peso pasa a ser cero. Se puede afirmar que el proceso de aprendizaje ha finalizado (la red ha aprendido) cuando los valores de los pesos permanecen estables.

Existen tres formas de aprendizaje: Supervisado, No supervisado (o auto supervisado) y Reforzamiento (se puede considerar como un caso especial del aprendizaje supervisado).

Existen una gran cantidad variedad de algoritmos dentro de cada una de estas categorías.

- Supervisado. El proceso de aprendizaje se realiza mediante un entrenamiento controlado por un agente externo (supervisor, maestro) que determina la respuesta que debería generar la red a partir de una entrada determinada. El supervisor comprueba la salida de la red y en el caso de que esta no coincida con la deseada, se procederá a modificar los pesos de las conexiones, con el fin de conseguir que la salida se aproxime a la deseada. Se consideran tres formas de llevar a cabo este tipo de aprendizaje:
 - a) Aprendizaje por corrección de error: Este tipo de entrenamiento consiste en presentar al sistema un conjunto de datos de entrada y la salida deseada para dicha entrada ajustando los pesos en función de la diferencia entre los valores deseados y los obtenidos como salida de la red. El objetivo, es minimizar el error entre la salida deseada y la salida que se obtiene.
 - b) Aprendizaje por refuerzo: Es más lento que el anterior. No se dispone de un ejemplo completo del comportamiento deseado pues no se conoce la salida deseada exacta para cada entrada sino que se conoce el comportamiento de manera general para diferentes entradas. La relación entrada-salida, se realiza a través de un proceso de éxito o fracaso, produciendo este una señal de refuerzo que mide el buen funcionamiento del sistema. La función del supervisor es más la de un crítico que la de un maestro.
 - c) Aprendizaje estocástico: Este tipo de aprendizaje consiste básicamente en realizar cambios aleatorios de los valores de los pesos y evaluar su efecto a partir del objetivo deseado y de distribuciones de probabilidad.

Tabla 3.3: Tipos de aprendizaje supervisado

| TIPO DE APRENDIZAJE SUPERVISADO | | MODELO DE RED |
|--|----------|-----------------------------|
| APRENDIZAJE POR CORRECCION DE ERROR | OFF LINE | Perceptron |
| | | Adeline/Madeline |
| | | Backpropagation |
| | | Brain state in a box |
| | | Counter propagation |
| APRENDIZAJE POR REFURZO | ON LINE | Linear reward penalti |
| | | Associative reward penalty |
| | | Adaptative heuristic critic |
| APRENDIZAJE ESTOCASTICO | OFF LINE | Boltzmann machine |
| | | Cauchy machine |

Fuente: Redes Neuronales Artificiales [44]

- No supervisado. Estas redes no requieren influencia externa para ajustar los pesos de las conexiones entre neuronas. La red no recibe ninguna información por parte del entorno que le indique si la salida generada es o no correcta, así que existen varias posibilidades en cuanto a la interpretación de la salida de estas redes, tales como:

Familiaridad o Similitud: Semejanzas entre la información actual y la información pasada.

Codificación: En este se realiza una codificación de los datos de entrada, generando a la salida una versión codificada de la entrada, con menos bits, pero manteniendo la información relevante de los datos.

Mapeo: Algunas redes con aprendizaje no supervisado realizan un mapeo de características, obteniéndose en las neuronas de salida una disposición geométrica que representa un mapa topográfico de las características de los datos de entrada, de tal forma que si se presentan a la red informaciones similares, siempre sean afectadas neuronas de salidas próximas entre sí, en la misma zona del mapa.

Cauterización o establecimiento de clases: La red se encarga de encontrar las características propias de cada clase.

En general en el aprendizaje no supervisado se suelen considerar dos tipos:

- a) Aprendizaje Hebbiano: consiste básicamente en el ajuste de los pesos de las conexiones a partir de la correlación existente entre las salidas generadas por cada celda. La regla de Hebb es de tipo no supervisado, pues la modificación de los pesos depende de los estados (salidas) de las neuronas obtenidas tras la presentación de un estímulo determinado, con independencia de que coincidan o no con las deseadas. De esta forma en el aprendizaje hebbiano múltiples neuronas de salida pueden activarse simultáneamente.
- b) Aprendizaje Competitivo y Cooperativo: las neuronas compiten (y cooperan) unas con otras con el fin de llevar a cabo una tarea dada. Con este tipo de aprendizaje se pretende que cuando se presente a la red cierta información de entrada, solo una de las neuronas de salida se active (alcance su valor de respuesta máximo). Por tanto las neuronas compiten por activarse, quedando finalmente una, o una por grupo, como neurona vencedora. El procedimiento de entrenamiento es muy simple: cuando se presenta un patrón de entrada se selecciona una única unidad de salida (la unidad ganadora) y se modifican los

pesos de esa unidad.

Tabla 3.4: Tipos de aprendizaje no supervisado

| TIPO DE APRENDIZAJE NO SUPERVISADO | MODELO DE RED | |
|---|-----------------------------|----------------------------------|
| APRENDIZAJE HEBBIANO | OFF LINE | ON LINE |
| | Hopfield | Additive grossberg |
| | Learning Matrix | Shunting Grossberg |
| | Temporal Associative Memory | Bidirectional Associative Memory |
| | Linear Sssociative Memory | Adaptative BAM |
| | Optima LAM | |
| | Drive Reinforcement | |
| | Fuzzy Associative Memory | |
| APRENDIZAJE COMPETITIVO/ COOPERATIVO | Learning Vector Quantizer | Adaptative Resonance Theory |
| | Cognitron/Neocognitron | |
| | Topology Preserving Map | |

Fuente: Redes Neuronales Artificiales [44]

3.2.2 Método Redes Neuronales Artificiales

Recolección de Datos

Para el modelamiento de la demanda de energía eléctrica, se utilizó como datos los registros obtenidos de un analizador Fluke 43B. Los datos obtenidos corresponden a las potencias registradas en la semana del 4 al 10 de noviembre de 2014 en una residencia de la ciudad de Quito.

Las mediciones obtenidas son horarias, por lo que se tuvieron un total de 115 datos

Para introducir la serie de tiempo a la red neuronal es necesario que los datos sean de fácil manipulación para el software, para ello la base de datos se convierte en una matriz 1X115, con el fin de manipulación de los mismos en forma vectorial, dicha distribución se encuentra en una hoja de cálculo Excel.



Figura 3.4: Analizador Fluke 43b

Fuente: Autor

Procesamiento de Datos

Nuestra base de datos no contiene datos atípicos ni nulos o con formato inconsistente, son valores tomados por el Analizador Fluke, un equipo sumamente confiable en cuanto mediciones se refiere.

Definir conjunto de Entrenamiento, Validación y Prueba

- **Conjunto de Entrenamiento:** Es el conjunto de datos que utiliza la red neuronal para aprender los patrones presentes en los datos. Por lo general los datos utilizados para el entrenamiento de la red neuronal corresponden al 80 % de los datos de la serie, en este caso son 92 datos, dichos datos se seleccionan en forma consecutiva y ordenada.
- **Conjunto de Validación:** Conjunto de datos utilizados para verificar el aprendizaje de la red donde los datos empleados son los más recientes consecuentemente al último valor de la muestra.
- **Conjunto de Prueba:** Es el conjunto de datos encargados de evaluar la capacidad de predicción y precisión de la red, corresponden al 20% de datos de la serie, en nuestro caso son 23 datos de demanda de energía eléctrica, estos son los datos restantes una vez seleccionados los patrones de entrenamiento.

Selección topología de la red neuronal

- **Número de Neuronas de Entrada:** Corresponde a las mediciones de demanda de energía eléctrica de un día es decir 24 horas. Por tanto la cantidad de neuronas de entrada son 24.
- **Número de Capas Ocultas:** Son las encargadas de brindarle a la red la capacidad de generalizar por lo general se usan una o dos capas, el incremento en número de capas incrementa el tiempo de procesamiento y la dificultad sobre el ajuste lo que conduce a un pobre desempeño en la predicción fuera de

la muestra.

En este caso se opta por una sola capa oculta la cual es suficiente para asegurar la capacidad de generalización de nuestra red dada la cantidad de datos con los que contamos.

- Número de Neuronas Ocultas: El número de neuronas de nuestra capa oculta será de un 75% del total de entradas, es decir, dado que el número de entradas de nuestra red es igual a 24 horas que tiene un día, por tanto el número de neuronas de nuestra capa oculta sería de 18 neuronas.
- Número de Neuronas de Salida: Las redes neuronales con múltiples salidas, especialmente si éstas salidas están ampliamente espaciadas, producirán resultados inferiores en comparación con una red con una única salida. Lo recomendable es tener una red especializada para cada una de las salidas deseadas en cada pronóstico. El número de neuronas de la capa de salida de esta red es una.
- Función de Transferencia: El propósito de esta función es prevenir a las salidas de alcanzar valores muy elevados que puedan paralizar la red y detener el entrenamiento de la misma. Como función de transferencia se utiliza la función Sigmoidal (rango de salida entre -1 y +1).

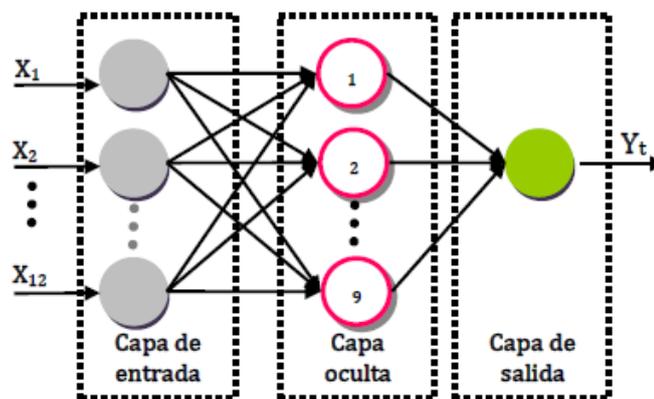


Figura 3.5: Esquema de Red Neuronal Implementada

Fuente: Autor

Criterios de evaluación

Para medir la eficiencia de la red, se ha considerado utilizar el Error Cuadrático Medio (EMC). El Error Medio Cuadrático calculado como la diferencia entre la salida de la red y la respuesta deseada. El cual se usa como factor de culminación del entrenamiento. Para esta fase se fijó un parámetro en 10 épocas y el factor de terminación empleado del EMC teniendo como umbral un valor de 0.02.

Entrenamiento de la red

Entrenar una red neuronal para aprender patrones involucra el presentarle ejemplos de manera iterativa de las respuestas correctas.

El entrenamiento de la red utiliza la técnica del gradiente descendente inmerso en el algoritmo de propagación hacia adelante. El entrenamiento se detendrá básicamente cuando suceda uno de estos 3 motivos:

- El número de iteraciones excede el número de épocas establecidas.
 - La función de evaluación (EMC) toma un valor por debajo de la meta establecida.
 - El error medio de la función de evaluación se incrementa para un número específico de iteraciones (este último caso requiere de la existencia del conjunto de validación).
- a) Número de Iteraciones: A mayor número de iteraciones en el entrenamiento producirá un menor error en el entrenamiento pero éste a su vez no garantiza que se obtendrá el menor error con el conjunto de prueba. En nuestro caso el número máximo es 10 suficiente para conseguir un nivel de error aceptable.

A continuación se presenta el pseudocódigo realizado en MATLAB, el cual se utilizó para el pronóstico de la demanda de energía eléctrica.

- 1: **Entrada:** Datos de mediciones de la demanda de energía obtenidos de un analizador
- 2: **Salida:** Pronóstico de la demanda de energía eléctrica obtenida para 24 horas de un día
- 3: **Inicio**
- 4: Ingresar variables de entrada
- 5: Se filtran los 92 (80%) primeros registros para el entrenamiento
- 6: Armado de red Feed-forward, con una capa oculta, tiempo de retardo de 24 horas y 18 neuronas en la capa oculta
- 7: Ingreso del número de iteraciones
- 8: Ingreso error máximo permitido
- 9: **Si** error \geq permitido **Entonces**
- 10: Red detenida
- 11: **Si no**
- 12: Continuar iterando
- 13: **Fin si**
- 14: Entrenamiento de la red
- 15: Se guardan los datos en una base de datos
- 16: Se leen la base de datos
- 17: Se calcula el error del pronóstico
- 18: Se despliegan los datos obtenidos del pronóstico
- 19: **Fin**

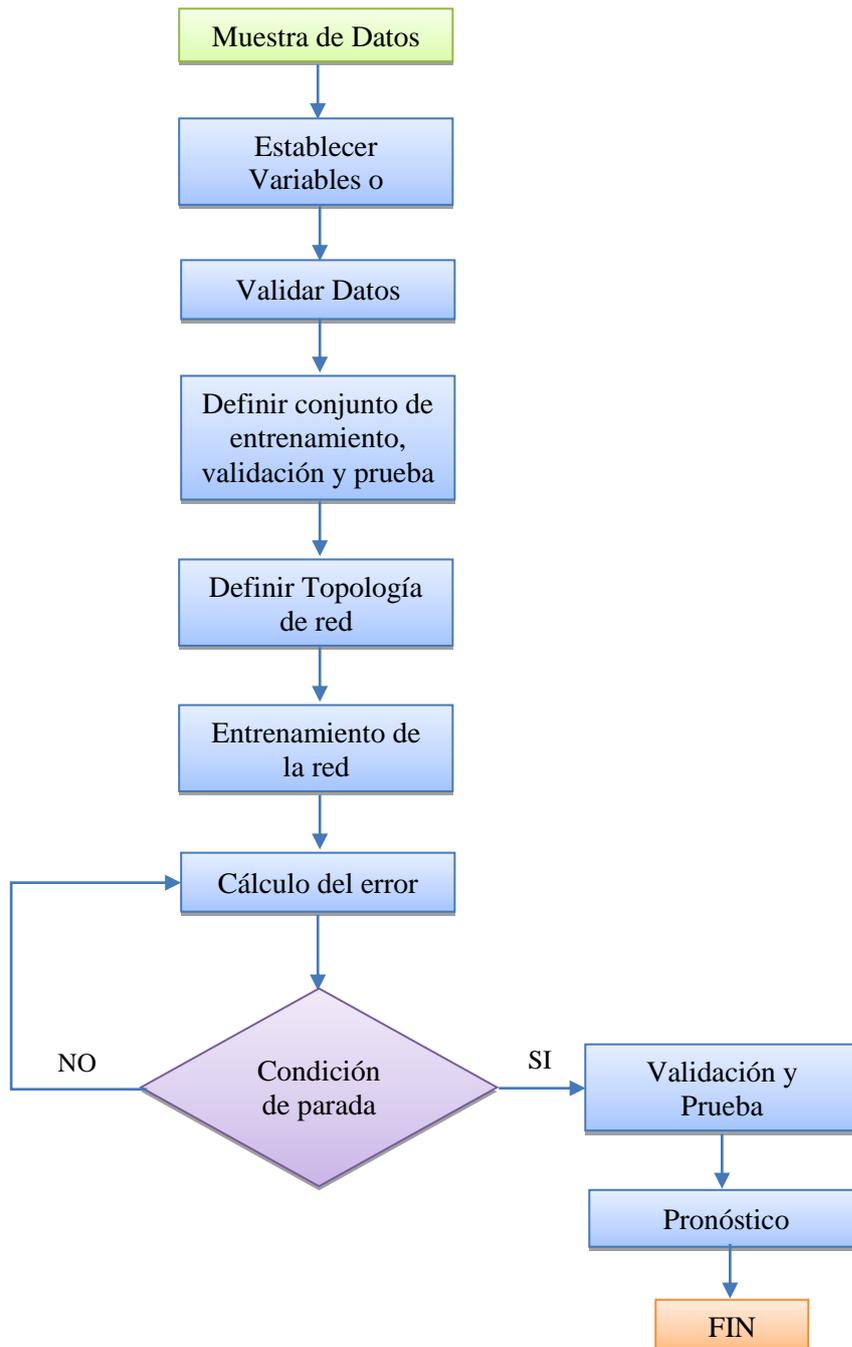


Figura 3.6: Metodología para el pronóstico utilizando Redes Neuronales Artificiales

Fuente: Autor

En la figura 3.6 se puede apreciar el proceso empleado para pronosticar la demanda de energía eléctrica, proceso realizado en el programa MATLAB, cuya programación de presentará en el Anexo B.

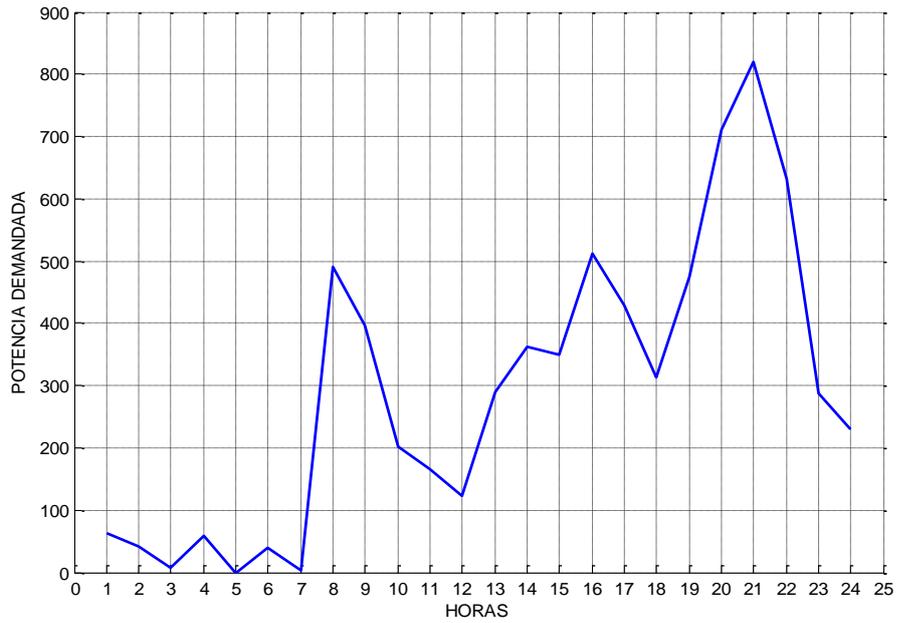


Figura 3.7: Curva de Demanda Pronosticada

Fuente: Autor

Tabla 3.5: Valores de Demanda Pronosticada

| HORA | DEMANDA PRONOSTICADA | HORA | DEMANDA PRONOSTICADA |
|--------------|----------------------|--------------|----------------------|
| 1:00 | 62.4957 | 13:00 | 290.6167 |
| 2:00 | 40.8696 | 14:00 | 361.9291 |
| 3:00 | 8.0682 | 15:00 | 350.5308 |
| 4:00 | 59.0768 | 16:00 | 511.0222 |
| 5:00 | 47.6483 | 17:00 | 428.6801 |
| 6:00 | 40.4071 | 18:00 | 312.2603 |
| 7:00 | 3.5512 | 19:00 | 475.1851 |
| 8:00 | 490.7469 | 20:00 | 710.9289 |
| 9:00 | 395.6452 | 21:00 | 819.7952 |
| 10:00 | 202.6112 | 22:00 | 630.6926 |
| 11:00 | 164.6561 | 23:00 | 288.2217 |
| 12:00 | 123.2854 | 0:00 | 229.6605 |

Fuente: Autor

En la tabla 3.5 se pueden apreciar los valores obtenidos de la red neuronal artificial, valores de pronóstico de la demanda de energía eléctrica residencial, los valores obtenidos son algo parecidos a los últimos 24 datos ingresados como datos de entrada de la red neuronal, por lo que se puede tener la seguridad que el pronóstico tiene datos fiables.

3.3 Sistemas de optimización

Sistemas de optimización de la demanda por electricidad son un conjunto de actividades encaminadas a reducir el consumo de energía eléctrica, mejorando la utilización de la misma, a través de acciones correctivas en las instalaciones eléctricas así como en el uso de cargas, concientización en los usuarios sobre el uso racional de la energía eléctrica, aplicación de medidas de ahorro de energía, sin afectar el confort, con el fin de reducir los costos por el consumo así como proteger el medio ambiente.

Entre los objetivos específicos de la aplicación de sistemas optimización de la demanda de energía eléctrica en una residencia se tienen:

- Concientizar a los usuarios sobre los beneficios tanto económicos como medioambientales del ahorro energético.
- Definir la viabilidad económica de instalar equipos y electrodomésticos de última generación, más eficientes, en reemplazo de los antiguos o ineficientes.
- Implementar medidas de ahorro de energía para satisfacer necesidades de forma eficiente.
- Integrar en la planificación de instalaciones eléctricas planes de gestión de ahorro de energía.
- Inducir en los consumidores una cultura de ahorro energético
- Mostrar formas alternativas de administrar la energía en el hogar.

Se puede decir que, en forma general, que los sistemas de optimización de la demanda tienen como objetivo principal la reducción del gasto energético tan sólo modificando algunos hábitos de consumo y la utilización de los equipos.

3.3.1 Factores que influyen en la optimización de Energía Eléctrica

Para definir un perfil de optimización de energía hay que conocer, gestionar y analizar detalladamente cuatro factores clave que lo determinan.

Los cuatro factores a analizar son:

Cultura energética: aquí se debe analizar el nivel de información existente en el hogar sobre el uso racional y consciente de la energía, así como de los beneficios económicos. Se analiza el nivel de sensibilidad de los usuarios hacia temas relacionados con el uso óptimo de la energía. En definitiva se debe evaluar la formación, información, y grado de compromiso de cada usuario en este tema.

En nuestro medio existe una escasa concienciación y formación en materia de eficiencia energética, y por ende un bajo nivel de compromiso para mejorar el uso de la energía eléctrica. Lógicamente si no existe una formación no puede haber una puesta en práctica de los conceptos y hábitos energéticamente eficientes.

Mantenimiento: se debe determinar el nivel de sensibilidad existente en los usuarios en el mantenimiento de los distintos aparatos así como de las instalaciones eléctricas, con el objetivo de alcanzar el óptimo rendimiento desde el punto de vista de la eficiencia energética.

Para conseguir una optimización en el uso de la energía eléctrica en el hogar se necesita que todos los equipos existentes dentro de ella, desde la más sencilla de las lámparas hasta el más complejo de los electrodomésticos existentes, funcione de la manera más eficiente posible. Esto se logrará siempre y cuando se realice un adecuado mantenimiento de los equipos, eliminando suciedad, minimizando averías, bajos rendimientos, etc.

Control energético: se debe analizar el nivel de gestión del consumo de energía eléctrica, a través de la aplicación de métodos de medición y la implementación de procesos adecuados para la administración de la demanda de energía. En este aspecto los usuarios deben conocer cuánto, cómo, dónde y por qué se produce el consumo de energía eléctrica, así como saber cuál es el costo económico, en cada uno de los equipos y en la forma general en cómo se utiliza la energía eléctrica. El conocimiento de estos aspectos dará una idea al usuario de dónde se encuentran las posibilidades de mejora en el ámbito de la eficiencia energética, así como de donde aplicar acciones correctivas para el uso óptimo de la energía.

Innovación tecnológica: se debe evaluar el grado de antigüedad tanto de los equipos como de las instalaciones eléctricas [45].

Los avances tecnológicos, en cualquier campo, implica una mejora en la eficiencia energética ya que los equipos actuales traen mejoras en su rendimiento con lo que se consigue una disminución en el consumo energético.

3.3.2 Optimización de instalaciones y equipos eléctricos

Los sistemas de iluminación y electrodomésticos en el hogar consumen diferente cantidad de energía, dependiendo de su potencia, eficiencia, de cuánto tiempo se utilicen, así como de otras condiciones (mantenimiento, desgaste, etc.). La demanda de

energía es susceptible de ser minorada a través de la optimización de instalaciones y equipos existentes en la residencia, para ello es necesario conocer cuáles son las características de las instalaciones y de los equipos.

3.3.2.1 Optimización mediante cambios de comportamiento por parte del usuario

La disminución de la demanda de energía eléctrica por medio de la optimización de su uso se logra con el aporte de cada persona en su vida cotidiana. Cada uno de los usuarios, en los diferentes usos que haga de la energía eléctrica dentro del hogar puede contribuir a ello.

A continuación se darán a conocer algunas de las formas con las cuales podemos optimizar la demanda de energía de ciertos aparatos dentro del hogar.

- Mantener siempre limpios los aparatos eléctricos, en especial los de la cocina como el refrigerador o cocina eléctrica.
- Utilizar todos los aparatos de acuerdo con las recomendaciones de uso, mantenimiento y seguridad que aconseje el fabricante.
- No dejar en Standby los equipos y electrodomésticos cuando no se los utiliza, hay que tener en cuenta que ciertos equipos consumen energía aun cuando se encuentran apagados, usualmente el consumo es muy pequeño, pero acumulado de otros equipos representa un gasto innecesario de energía.
- Apagar la luz siempre que no se necesite, al salir de una habitación o al salir del hogar.
- Sustituir las lámparas incandescentes por lámparas de bajo consumo.
- Limpiar periódicamente lámparas y luminarias ya que el polvo bloquea la luz que emiten y reducen su rendimiento lumínico.
- Al desconectar los aparatos hacerlo desde el tomacorriente, no hacerlo del cable. Es importante mantener el cable y el enchufe en buen estado.
- Revisar cuidadosamente los aparatos en los que se producen chispas o calientan el cable, en especial en los aparatos antiguos. Resolver el problema antes de usarse o cambiarlo por uno actual y más eficiente.
- Apagar los equipos que producen calor antes de terminar de usarlos (planchas, calefactores), así aprovecharemos el calor acumulado.
- Al momento de comprar un electrodoméstico o lámparas fijarse si la etiqueta brinda información sobre su consumo de energía.

- Los integrantes del hogar deben coordinar los horarios de baño, evitar utilizar la ducha en horarios de máxima demanda.
- El dimensionamiento de los equipo dentro del hogar es uno de los aspectos importantes a tomar en consideración con el fin de no sobrecargar al equipo o a su sub-dimensionarlo con el propósito de evitar consumos innecesarios, según la utilidad que se le vaya a dar.
- Identificar los sectores y equipos que representan la mayor demanda de energía dentro del hogar [46].

Los aspectos mencionados anteriormente fueron citados a manera general, cabe mencionar que para cada electrodoméstico dentro del hogar hay características que son dadas por cada fabricante, para cada equipo específico, lo cual nos ayudará para usar eficiente y óptimamente dicho equipo.

De los aspectos enlistados anteriormente podemos destacar que el uso óptimo de la energía dentro del hogar llega a ser un punto importante a tener en consideración, en donde el usuario, mediante una concienciación sobre el uso racional y eficiente de la energía, así como en el cambio de hábitos en el uso de la energía, puede llegar a disminuir su demanda de energía, con ellos disminuir los costos por su consumo.

Con ello no solo puede obtener beneficios económicos por la disminución en la planilla eléctrica, sino que además se puede ahorrar en instalaciones innecesarias sistemas inteligentes que ayuden en el control de la demanda de energía en el hogar.

3.3.2.2 Optimización mediante sistemas de control

Estos sistemas son capaces de gestionar gran cantidad de datos y controlar equipos. La instalación de sistemas de control tiene como objetivo la utilización racional de las instalaciones y sus equipos, ahorrar energía, reducir mano de obra, reducir averías y prolongar la vida útil de los equipos como medidas principales. Estos sistemas son capaces de controlar la demanda de energía optimizando los parámetros de forma que se obtenga un mínimo coste energético.

Por lo general este sistema se basa en un ordenador y un software de gestión de la demanda. No obstante hay que tener en cuenta que el elemento principal del programa debe ser el operador o la persona encargada.

Entre los beneficios de la instalación de sistemas de control para optimizar la demanda se tiene:

- Gestión racional de los equipos e instalaciones
- Aumento del confort
- Ahorro energético
- Reducción de averías
- Prolongación de la vida útil de los equipos
- Ahorros en mantenimiento

La instalación de sistemas de gestión de la demanda tiene como resultado más inmediato la disminución del consumo energético, obteniéndose ahorros que oscilan entre el 10% y el 30%.

Los equipos destinados al control de la demanda utilizan varios métodos para su funcionamiento:

- Carga instantánea
- Proyección de la curva de demanda
- Demanda acumulada

Método de carga instantánea: en este método la demanda de potencia es medida continuamente y se compara con una potencia de referencia ingresada por el usuario. Este método permite mantener el control de la demanda actual en la residencia. Este método es recomendable en sectores donde exista poca variación de carga a lo largo del día.

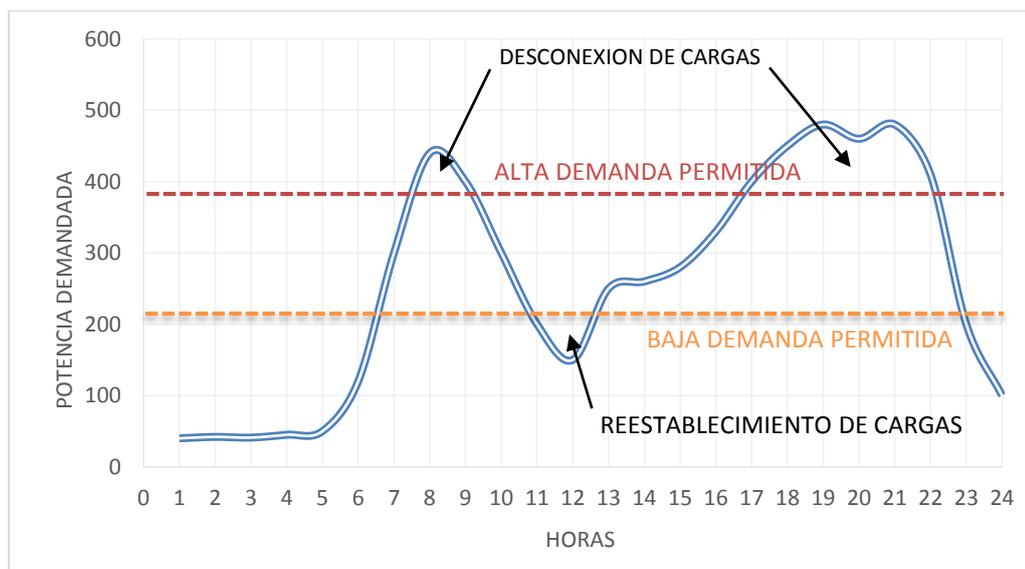


Figura 3.8: Operación de controladores por el método de carga instantánea

Fuente: Autor

Método de proyección de la curva de demanda: en este método se intenta que el controlador de la demanda se anticipe al momento en que se rebase la demanda de potencia propuesta por el usuario, para lo cual se debe predecir la demanda en el tiempo $t+1$.

Este es un método muy utilizado, en el que al tomar decisiones anticipadas se asegura que no se sobrepase el punto de referencia y se puede utilizar en instalaciones en las que se tienen variaciones de demanda.

En este método se emplean dos técnicas para predecir la demanda futura de potencia:

- a) Técnica de la pendiente de la curva: consiste en determinar el valor de la derivada en los tiempos t y $t-1$, promediar estos valores y proyectar la demanda en el tiempo $t+1$.
- b) Técnica de la ecuación cuadrática: consiste en encontrar la ecuación cuadrática del tipo $at^2 + bt + c$, que pase por los tres últimos puntos t , $t-1$ y $t-2$ y en base a dicha ecuación estimar la demanda de potencia en el tiempo $t+1$ [8].

Cabe aclarar que estos métodos empleados para determinar el valor futuro de la demanda en el tiempo $t+1$ se aleja del valor futuro real, ya que el comportamiento de la demanda no es único sino variable, según como se usan las cargas, además de ello no se puede obtener valores futuros reales de $t+1$ en función de valores pasados t , $t-1$, $t-2$, etc.

3.4 Optimización de la demanda

Para la optimización de la demanda, en el presente proyecto, se utilizará el método de carga instantánea, al cual se le harán ciertas modificaciones.

A un sistema SCADA para el control de la demanda se le puede asignar un punto de referencia sobre el cual se basarán los equipos destinados al control de la demanda de energía eléctrica.

Hay que considerar que la asignación del punto de referencia, sobre el cual se basa el sistema para la conexión y desconexión de cargas, tendrá un impacto, ya sea en el número de cargas seleccionadas así como en la cantidad de ahorros que pueden obtenerse. Razón por la cual, el o los operadores del sistema deben analizar cuidadosamente sobre cuál sería el punto de referencia correcto, correr el sistema, probar si la referencia es la adecuada, si es necesario realizar ajustes de la referencia teniendo en cuenta como influencia sobre el proceso dicha modificación en caso de

haber sido requerida.

A manera de ejemplo, en la figura 3.9, se indica cómo se controla la demanda de energía eléctrica, ya sea con controles manuales o controles automáticos.

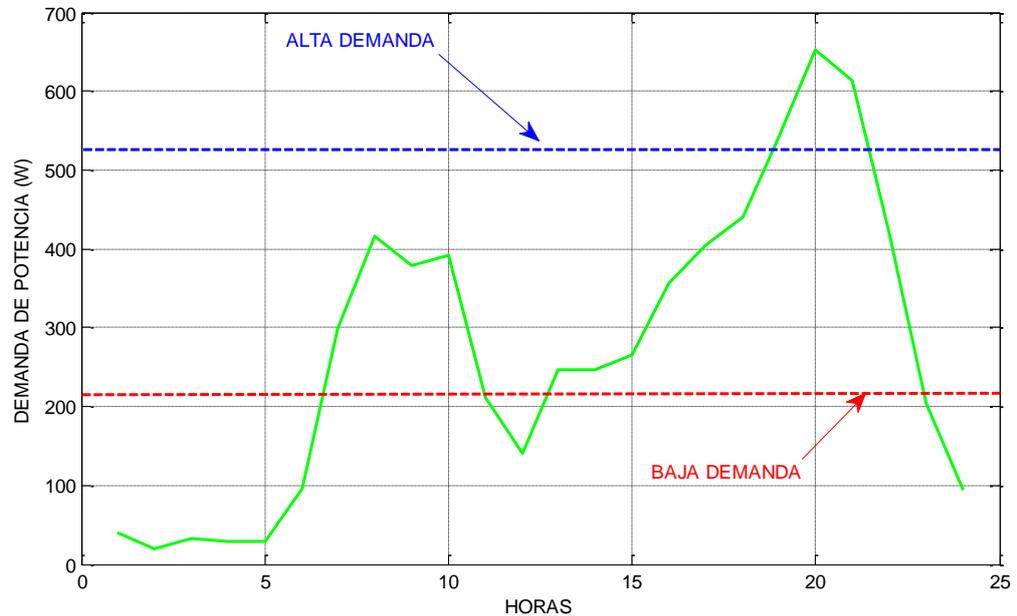


Figura 3.9: Operación de controladores de demanda

Fuente: Autor

El punto de referencia “Alta Demanda” se determina mediante la especificación del parámetro de la demanda máxima,

El punto de referencia “Baja Demanda” se determina, generalmente, el 15 % del punto de referencia Alta Demanda [8].

Una vez han sido determinados los puntos de referencia, las acciones de control se harán de la siguiente manera:

- Si la demanda supera la línea de Alta Demanda, actuará en controlador de la demanda, desactivando cargas.
- Si la demanda tiene valores superiores a la línea de Baja Demanda, los controladores de demanda activarán cargas.

Debido a que el control de la demanda está determinado por el punto de referencia, el sistema empieza a seleccionar las cargas una por una según la prioridad que se le asignó en el programa. El número de cargas que deberán ser seleccionadas dependerá básicamente de la potencia individual de cada carga, es decir, se pueden activar o

desactivar a la vez cargas de baja potencia o a su vez se puede, activar o desactivar, una sola carga de una potencia alta.

Una vez que el controlador de la demanda ha trabajado por algún tiempo y cuando los usuarios se han acostumbrado al proceso, se pueden realizar algunas modificaciones en los puntos de referencia, asegurándose de evaluar el impacto de la variación sobre la carga seleccionada así como en el sistema en general.

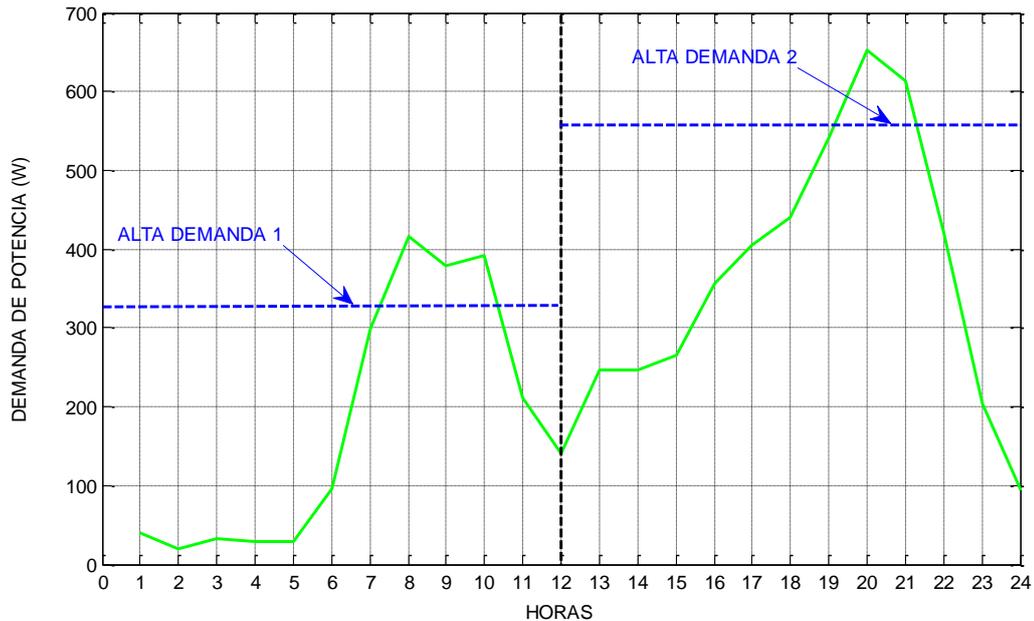


Figura 3.10: Operación propuesta de controladores de demanda

Fuente: Autor

En la figura 3.10 se puede apreciar la manera en que se realizará la optimización de la demanda de energía eléctrica con el cual funcionará el sistema SCADA que se intenta proponer.

Para la optimización de la demanda de energía eléctrica existirán dos periodos, el primero desde 00h00 hasta 12h00 y el segundo de 12h01 hasta las 23h59, con el propósito de tener un mejor control de la demanda, lo cual se decidió una vez analizados los picos de demanda que se pueden apreciar en la curva de demanda obtenida por el modelamiento matemático. Lo que se intenta es la disminución de los picos de demanda existentes en los dos periodos del día, con lo cual se disminuirá el consumo de energía en dichos periodos, lo cual se verá reflejado en las cargas desconectadas así como en el cambio de hábito en el uso de las cargas por parte de los usuarios.

Además de ello se pueden desconectar ciertas cargas en horas en las cuales los usuarios realizan menor actividad, como por ejemplo en horas de la madrugada, periodo

en el cual los usuarios descansan, disminuyen sus actividades y por tanto la utilización de ciertos electrodomésticos.

En la pantalla de monitoreo del HMI, el usuario podrá asignar el punto de Alta Demanda de los dos periodos, el sistema analizará la demanda actual y la comparará con el punto de Alta Demanda ingresado por el usuario y según la prioridad dada a las cargas las desactivarán.

Cabe destacar que existe una desventaja en el proceso, ya que cada vez que entra una nueva carga, el sistema actúa, poniendo fuera de servicio alguna otra carga, según la prioridad dada en el programa, lo que puede ocasionar que uno o varios equipos se prendan y se apaguen continuamente, razón por la cual, una vez que el sistema desconecta una carga se le asignará un tiempo en el cual la carga permanecerá apagada, con lo que se evitará que las cargas tengan periodos entre encendido y apagado muy cortos.

CAPÍTULO IV

FACTIBILIDAD TECNICA ECONOMICA PARA EL CONTROL DE LA DEMANDA

En el presente capítulo se hará un análisis sobre la factibilidad técnica del prototipo propuesto para el control de la demanda de energía eléctrica en una residencia, se hará una comparación entre los costos y los beneficios económicos que derivarían de la utilización de los prototipos controladores de cargas residenciales. Además se hará un análisis del impacto que causaría en la sociedad la utilización de estos equipos en sus hogares, así como los beneficios hacia el medio ambiente. Por último se planteará un plan de negocios que permitirá la implementación del prototipo propuesto.

4.1 Factibilidad técnica

Para saber si el proyecto propuesto es técnicamente factible, debemos analizar si los recursos técnicos necesarios tales como herramientas, equipos, conocimientos, habilidades, experiencia, etc., vitales para realizar las actividades y/o procesos que requiere el proyecto, pueden ser mejorados o mejor utilizados.

Los aspectos técnicos a considerar son los siguientes:

- Posibilidad de adquirir tecnología e implementarla.
- Necesidad de actualizar la capacidad técnica.
- Facilitar el crecimiento y el aprendizaje de nuevos sistemas.
- Posibilidad de garantizar mayor seguridad, confiabilidad y facilidad de acceso a la información.

Técnicamente es posible realizar un prototipo de equipos capaces de controlar la demanda de energía eléctrica ya que la tecnología Arduino, Xbee, microcontroladores PIC y demás elementos electrónicos existen en el mercado ecuatoriano y su costo no es elevado, los elementos electrónicos que necesitan de programas para su configuración y funcionamiento son accesibles al usuario, son software libre y se los puede descargar desde la web de cada fabricante. En el caso del programa LabVIEW, es un software que tiene un costo pero dadas las enormes aplicaciones que se pueden desarrollar, su costo es totalmente justificado.

Como se ha mencionado en capítulos anteriores se utilizó la tecnología ZigBee, la cual es capaz de enviar y recibir información de forma inalámbrica y se ajusta perfectamente a nuestro sistema por tener una baja tasa de envío de datos, además de

ello las transmisiones entre los diferentes accesorios están codificadas haciendo la instalación inmune a las interferencias y a los disturbios, otra de las ventajas operativas que presenta la tecnología ZigBee es su distancia de operación y lo que destaca sobre los demás beneficios es su bajo consumo de energía.

Para la realización de los prototipos no se requiere de equipos externos para su funcionamiento, no se requiere de mucho espacio físico pudiéndose adaptar a dimensiones apropiadas.

Cabe destacar que los elementos utilizados, además de su fácil manejo, se pueden adaptar a modificaciones en caso de ser requeridas. Los prototipos propuestos, al no intervenir directamente sobre el cableado de la instalación eléctrica existente en la residencia, son amigables, es decir de fácil uso y entendimiento para los usuarios, que los pueden manipular como cualquier equipo que se enchufe a la red eléctrica, con lo que se evita los requerimientos de personal técnico para la instalación de los equipos. En cuanto a la utilización y manipulación del HMI si requerirá de personal para capacitar a los usuarios sobre el uso correcto del sistema.

En lo referente al recurso humano y profesional, es posible afirmar que en la ciudad de Quito, existen muchas personas y profesionales capacitados en el área eléctrica, electrónica y comunicaciones, capaces de llevar a cabo el desarrollo, instalación y mantenimiento de esta nueva tecnología.

Por lo mencionado anteriormente, se puede afirmar que la factibilidad técnica para la implementación e instalación de esta nueva tecnología puede ser considerada una realidad, pudiendo ser utilizada en la mayor parte de los hogares quiteños, y porque no, de todo el país.

4.2 Beneficio-Costo

Antes del análisis del Costo-Beneficio se enlistarán los materiales utilizados para la realización de los prototipos y el sistema SCADA para el control de la demanda en una residencia y el precio final considerando mano de obra por la construcción de equipos y la programación del HMI.

Tabla 4.1: Precio equipos para el control de la demanda

| EQUIPO | PRECIO | CANTIDAD | |
|--------------------|---------|----------|----------|
| XBEE | 36.61 | 7 | 256.27 |
| RESISTENCIAS | 0.02 | 18 | 0.36 |
| CONDENSADORES | 0.07 | 12 | 0.84 |
| BT136 | 0.58 | 6 | 3.48 |
| MOC3021 | 0.67 | 6 | 4.02 |
| LM1117T | 0.94 | 6 | 5.64 |
| OSCILADOR | 0.49 | 6 | 2.94 |
| PIC16F628a | 2.9 | 6 | 17.4 |
| BORNERA | 0.22 | 6 | 1.32 |
| FUENTE | 5 | 6 | 30 |
| BAQUELITA | 0.98 | 3 | 2.94 |
| MANO DE OBRA | 81.3025 | 1 | 81.3025 |
| PROGRAMACION SCADA | 150 | 1 | 150 |
| | | SUBTOTAL | 556.5125 |
| | | TOTAL | 623.294 |

Fuente: Autor

En la tabla 4.1 se puede apreciar el precio propuesto final del SCADA, en donde se consideró seis como el número de equipos y cargas a desactivar

Para el análisis económico del presente proyecto analizaremos el costo-beneficio para saber si es aceptable o no el proyecto propuesto.

Tabla 4.2: Precio por el consumo de energía sin Sistema de Control de Cargas

| Equipo | Cantidad | Potencia (W) | Potencia (Kw) | Horas | Energía (Kw/h) | Energía al mes | Costo mensual |
|--------------------|----------|--------------|---------------|-------|----------------|----------------|---------------|
| Televisor | 2 | 240 | 0.24 | 5 | 1.2 | 36 | 2.83 |
| Plancha | 1 | 1350 | 1.35 | 1 | 1.35 | 40.5 | 3.17925 |
| Ducha | 2 | 8000 | 8 | 0.83 | 6.64 | 199.2 | 15.6372 |
| Licuada | 1 | 350 | 0.35 | 1 | 0.35 | 10.5 | 0.82425 |
| Equipo de sonido | 1 | 105 | 0.105 | 3 | 0.315 | 9.45 | 0.741825 |
| Computadora | 1 | 330 | 0.33 | 5 | 1.65 | 49.5 | 3.88575 |
| Impresora | 1 | 24.9 | 0.0249 | 0.25 | 0.006225 | 0.18675 | 0.01465988 |
| Focos | 10 | 1000 | 1 | 4 | 4 | 120 | 9.42 |
| Lámpara | 3 | 180 | 0.18 | 2 | 0.36 | 10.8 | 0.8478 |
| Aire Acondicionado | 1 | 1000 | 1 | 2 | 2 | 60 | 4.71 |
| Refrigeradora | 1 | 500 | 0.5 | 8 | 4 | 120 | 9.42 |
| Lavadora | 1 | 400 | 0.4 | 1 | 0.4 | 12 | 0.942 |
| Laptop | 1 | 100 | 0.1 | 3 | 0.3 | 9 | 0.7065 |
| Arrocera | 1 | 600 | 0.6 | 0.5 | 0.3 | 9 | 0.7065 |

| | | | | | | | |
|----------------|--|---------|--|--|-----------|---------|------------|
| TOTALES | | 13939.9 | | | 22.871225 | 686.137 | 53.8617349 |
|----------------|--|---------|--|--|-----------|---------|------------|

Fuente: Autor

Tabla 4.3: Precio por el consumo de energía con Sistema de Control de Cargas

| Equipo | Cantidad | Potencia (W) | Potencia (Kw) | Horas | Energía (Kw/h) | Energía al mes | Costo mensual |
|--------------------|-----------------|---------------------|----------------------|--------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|
| Televisor | 2 | 240 | 0.24 | 3.5 | 0.84 | 25.2 | 1.9782 |
| Plancha | 1 | 1350 | 1.35 | 0.6 | 0.81 | 24.3 | 1.90755 |
| Ducha | 2 | 8000 | 8 | 0.6 | 4.8 | 144 | 11.304 |
| Licuada | 1 | 350 | 0.35 | 1 | 0.35 | 10.5 | 0.82425 |
| Equipo de sonido | 1 | 105 | 0.105 | 3 | 0.315 | 9.45 | 0.741825 |
| Computadora | 1 | 330 | 0.33 | 5 | 1.65 | 49.5 | 3.88575 |
| Impresora | 1 | 24.9 | 0.0249 | 0.25 | 0.006225 | 0.18675 | 0.01465988 |
| Focos | 10 | 1000 | 1 | 3 | 3 | 90 | 7.065 |
| Lámpara | 3 | 180 | 0.18 | 2 | 0.36 | 10.8 | 0.8478 |
| Aire Acondicionado | 1 | 1000 | 1 | 1.5 | 1.5 | 45 | 3.5325 |
| Refrigeradora | 1 | 500 | 0.5 | 5 | 2.5 | 75 | 5.8875 |
| Lavadora | 1 | 400 | 0.4 | 1 | 0.4 | 12 | 0.942 |
| Laptop | 1 | 100 | 0.1 | 3 | 0.3 | 9 | 0.7065 |
| Arrocera | 1 | 600 | 0.6 | 0.5 | 0.3 | 9 | 0.7065 |
| | | 13939.9 | | | 17.131225 | 513.937 | 40.3440349 |

Fuente: Autor

Relación Costo-Beneficio

La relación Beneficio-Costo es el cociente de dividir el valor actualizado de los beneficios del proyecto (ingresos) entre el valor actualizado de los costos (egresos) a una tasa de actualización igual a la tasa de rendimiento mínima aceptable (TREMA), a menudo también conocida como tasa de actualización o tasa de evaluación.

Los beneficios actualizados son todos los ingresos actualizados del proyecto, aquí tienen que ser considerados desde ventas hasta recuperaciones y todo tipo de “entradas” de dinero; y los costos actualizados son todos los egresos actualizados o “salidas” del proyecto desde costos de operación, inversiones, pago de impuestos, depreciaciones, pagos de créditos, intereses, etc. de cada uno de los años del proyecto. Su cálculo es simple, se divide la suma de los beneficios actualizados de todos los años entre la suma de los costos actualizados de todos los años del proyecto.

Criterios de decisión

De acuerdo con este criterio, la inversión en un proyecto productivo es aceptable si el valor de la Relación Beneficio/Costo es mayor o igual que 1. Al obtener un valor igual a

1 (uno) significa que la inversión inicial se recuperó satisfactoriamente después de haber sido evaluado a una tasa determinada, y quiere decir que el proyecto es viable, si es menor a 1 (uno) no presenta rentabilidad, ya que la inversión del proyecto jamás se pudo recuperar en el periodo establecido evaluado a una tasa determinada; en cambio si el proyecto es mayor a 1 (uno) significa que además de recuperar la inversión y haber cubierto la tasa de rendimiento se obtuvo una ganancia extra, un excedente en dinero después de cierto tiempo del proyecto.

De los datos obtenidos en las tablas 4.2 y 4.3, se puede obtener el ahorro de energía eléctrica así como el económico de la relación entre el consumo real y el consumo aplicando el sistema SCADA para el control de la demanda de energía.

$$\text{Ahorro de energía mensual} = (\text{Kwh/mes}) \text{ Sin SCADA} - (\text{Kwh/mes}) \text{ Con SCADA} \quad (10)$$

$$\text{Ahorro de energía mensual} = 172.20 \text{ Kw/mes}$$

$$\text{Ahorro de energía anual} = \text{Ahorro de energía mensual} \times 12 \quad (11)$$

$$\text{Ahorro de energía anual} = 2066.40 \text{ Kw/año}$$

$$\text{Ahorro de energía anual} = 162.2124 \text{ USD/año}$$

Procediendo con el cálculo del valor presente del ahorro energético se tomará en cuenta la tasa de interés del 15 %, así como también el tiempo de vida útil de 10 años.

$$VP = A * \left[\frac{\left(1 + \frac{i}{100}\right)^n - 1}{\left(1 + \frac{i}{100}\right)^n * \frac{i}{100}} \right] \quad (12)$$

$$VP = 814.2698 \text{ USD}$$

$$\text{Beneficio/Costo} = 814.2698 \text{ USD} / 623.294 \text{ USD}$$

$$\text{Beneficio/Costo} = 1.30$$

La relación costo beneficio es mayor que 1, por lo que se considera como aceptable el proyecto propuesto en el presente proyecto de tesis.

Cabe mencionar que en el ejemplo tomado se seleccionaron solo 6 cargas, en donde el usuario, una vez adaptado al sistema puede configurar los puntos de potencia máxima demandada, mejorar la prioridad de utilidad de los equipos, así como la cantidad de equipos a desconectar con lo que se podrán tener beneficios mayores.

4.3 Impacto social y ambiental

Impacto social

El nivel de preparación, el nivel de estudios de la población es un aspecto importante, ya que teniendo una preparación académica de por medio, aceptaría de mejor manera la propuesta planteada en este proyecto de tesis. De igual manera al tener una mejor preparación se tendrán mejores ingresos y con ellos un mayor acceso a esta tecnología.

Aunque son numerosas las oportunidades que pueden ofrecer las nuevas tecnologías, no se puede obviar las particularidades que pueden afectar, así como también se puede considerar la existencia de barreras de conocimiento o psicológicas y resistencias al cambio que siempre pueden tener lugar ante un acontecimiento novedoso. Por este motivo, para que los usuarios se adapten con mayor facilidad a la implantación de estos dispositivos, se deberá considerar lo siguiente:

- Hacerles partícipes en el proceso de cambio y, por ello, es necesario ampliar sus conocimientos y así como fomentar un correcto uso de los ordenadores, Internet y otras nuevas tecnologías del hogar.
- Prestar atención a los servicios vinculados con el ocio, esparcimiento, diversión y la cultura, que ayuda al cambio y la mejora en la calidad de vida.

De lo expuesto anteriormente, se puede concluir que actualmente la ciudad vive un estado de transición basado en que la población, en ciertos casos, se resiste a nuevas tendencias, la misma que tiene costumbres tradicionalistas y se muestra escéptica a la inclusión de esta tecnología en sus hogares, no obstante un gran porcentaje de la ciudadanía muestra gran interés ante una tecnología que se introduce paulatinamente en sus vidas, que al cabo de pocos años será una realidad generalizada.

Cabe destacar que en la ciudad de Quito y en general en todo el país, la utilización de equipos controladores de carga o sistemas SCADA para el control de la demanda son temas no muy conocidos o de poca utilidad en la actualidad, además no hay aún una política para la implementación o el uso de estos equipos en el país, por lo que las autoridades correspondientes deberán implementar una adecuada política con la cual se pueda llegar a cabo el desarrollo y utilización de esta clase de equipos.

Impacto Ambiental

Con la implementación de esta nueva tecnología, el impacto en el medio ambiente sería positivo, ya que se disminuirá el consumo de energía y por tanto se realizará un

aporte de hogar en hogar a disminuir el calentamiento global y el despilfarro de energía.

4.4 Plan de negocio e ingeniería de la implementación

Para la elaboración del plan de negocios, se utilizará la metodología propuesta por la Corporación Financiera Nacional CFN.

Un plan de negocios no es otra cosa que un documento que ayuda a esquematizar de manera clara la información necesaria para conocer si el nuevo negocio o la ampliación de una actividad productiva va ser exitosa y rentable.

Según la Corporación Financiera Nacional, para emprender un negocio no basta con buenas intenciones, hay que tener una guía profesional, o sea, un buen plan de negocios, ya que las ideas en abstracto pueden ser geniales, pero si no se tiene claro cómo transformarla en realidad pueden no encontrar apoyo, por esta razón la elaboración de un plan de negocios es una guía y base para concretar el inicio de operaciones de un negocio, empresa o su expansión, lo que permitirá operar de manera eficiente, preservando el patrimonio y optimizando recursos que aumentarán la rentabilidad [47].

Además el cliente debe contar con una idea clara del proyecto y la determinación de invertir, talento, tiempo y recursos, para llevarlo a cabo de forma exitosa.

A continuación se desarrollarán los pasos para la elaboración del plan de negocios.

Descripción del Negocio

El plan de negocios propone la creación de una pequeña empresa, organización dedicada al desarrollo de equipos para el control de la demanda de energía en el sector residencial, que marquen la diferencia y que permitan a sus clientes acceder a la tecnología que facilite sus actividades y ayude al control de cargas con lo que se pueden obtener ahorros energéticos así como contribuir al cuidado del medio ambiente.

Los productos que esta empresa ofrecerá son equipos controladores de carga los cuales serán monitoreados desde un sistema SCADA, el cual a su vez nos permitirá conocer el ahorro económico que se está obteniendo así como de las emisiones de CO₂ que dejamos arrojar a la atmósfera. El sistema controlador de la demanda de energía eléctrica ha sido diseñado con el fin de no intervenir en las instalaciones eléctricas existentes en el hogar o a su vez de requerir cableado adicional para su alimentación y comunicación, el sistema consta de equipos que son enchufables, los cuales serán colocados en tomacorrientes de uso común en una residencia y a estos a su vez irán conectados las cargas que vamos a controlar.

Los clientes a los que se intenta llegar, según lo analizado en los estratos de consumo según la clasificación de la Empresa Eléctrica Quito, serán desde el estrato A1 al estrato de consumo C, ya que son los estratos que más consumos de energía presentan pero que también tienen mayores ingresos económicos así como una mejor preparación académica, por lo que son clientes que se presentan más abiertos a esta nueva tecnología. No se dejarán de lado a los estratos de menor consumo D y E, ya que son un gran número de clientes, lo que se intentará es, una vez creada la empresa, implementar una política con el fin de llegar a estos estratos que son, al igual que los otros, de suma importancia, ya que son estratos que poco consumo de energía presentan pero que son los que más desperdician energía.

En la ciudad de Quito, la utilización de equipos controladores de carga o sistemas SCADA para el control de la demanda son temas no muy conocidos o de poca utilidad en la actualidad, además no hay aún una política para la implementación o el uso de estos equipos en el país, por lo que antes de realizar o pretender implementar una pequeña empresa para el desarrollo es este tipo de equipos se deberá sugerir, a las autoridades correspondientes, la implementación de una adecuada política con la cual se pueda llegar a cabo el desarrollo de esta clase de equipos.

Nichos de Mercados Deseados

En primera instancia el negocio empezará con una pequeña clientela, la cual será de la ciudad de Quito, dirigidos de estrato de consumo medio al alto, que son los que mejor posibilidad económica y de adquisición presentan. Conforme siga creciendo la demanda con el tiempo, una vez se den a conocer los beneficios de la utilización de estos equipos en el hogar, se requerirá ampliar el negocio en cuanto a su infraestructura y personal se refiere. Además de ello se implantará un plan de expansión de clientela con el fin de llegar a los otros estratos de consumo en la ciudad de Quito. No se descarta la posibilidad de abrir sucursales o atender clientela de otras ciudades dentro del país.

Los equipos y el sistema SCADA son de fácil utilización por lo que podrán ser utilizados y manipulados por cualquier persona independientemente de la edad así como de su ocupación, los usuarios no necesitan tener experiencia o un conocimiento previo en la utilización de estos equipos, lo que si será necesario en la capacitación al usuario por parte del proveedor en la utilización del sistema SCADA, pero dada la facilidad con que las personas se adaptan a la tecnología actualmente, el entendimiento y utilización del sistema será muy fácil.

Posicionamiento del Negocio

Este apartado trata sobre la identidad de la empresa en el mercado, esta es la forma en la que se desea que el mercado y la competencia perciban el producto que se intenta implementar en la ciudad.

En este caso será necesario un estudio de mercado, con la finalidad de saber si el Sistema SCADA y los equipos van a generar un impacto en el mismo, además con el estudio de mercado se podrán hacer proyecciones de oferta y demanda, para de igual forma poder incorporar en el proceso productivo activos fijos que logren la consecución de este objetivo

Competencia

En cuanto a competencias se refiere, se tendrá una mejor idea una vez realizado el estudio de mercado. Lo que se puede asegurar es que este tipo de tecnología existe en otros países, por lo que si se desea implementar en la ciudad será necesario importar los equipos, asumiendo los gastos de envío y los impuestos correspondientes por dicha importación. La implementación en la ciudad del presente proyecto pretende que estos equipos sean de fabricación nacional por lo que tendrá una ventaja económica sobre los equipos importados, además de ello, los equipos serán desarrollados de acuerdo a las características de consumo de electricidad por parte de los ciudadanos, que se basarán en un adecuado estudio, cosa que no ocurrirá con los equipos importados los cuales tendrán que adaptarse a las necesidades de los usuarios.

Ventas y Marketing

Dentro de la estrategia de ventas de la empresa constará de una sala de ventas para hacer la pre-venta del proyecto, donde se ubicarán vendedores con experiencia en ventas y mercadeo, los cuales estarán disponibles en horarios dispuestos por la empresa, así como deberán hacer visitas a los posibles clientes.

La publicidad se puede hacer a través de correos o de páginas web de publicidad, a su vez se puede implementar una página web propia de la empresa, en la cual el cliente puede hacer consultas sobre los equipos que se ofrecen o a su vez recibir pedidos de los clientes o distribuidores que son conocedores del producto.

La publicidad se puede hacer además por medio de gigantografías, carteles, volantes, además se puede hacer publicidad por medio de publicaciones en revistas o diarios.

El producto está en un principio destinado para la ciudad de Quito pero no se deja de un lado la idea de implementar y vender el producto a otras ciudades en todo el país.

El nombre y logo de la empresa podrá ser el siguiente:

Fortalezas Gerenciales

Las Fortalezas Gerenciales se refieren al equipo que será capaz de tomar decisiones. En este punto se dará una idea de la posible estructuración que tendrá la empresa a formar.

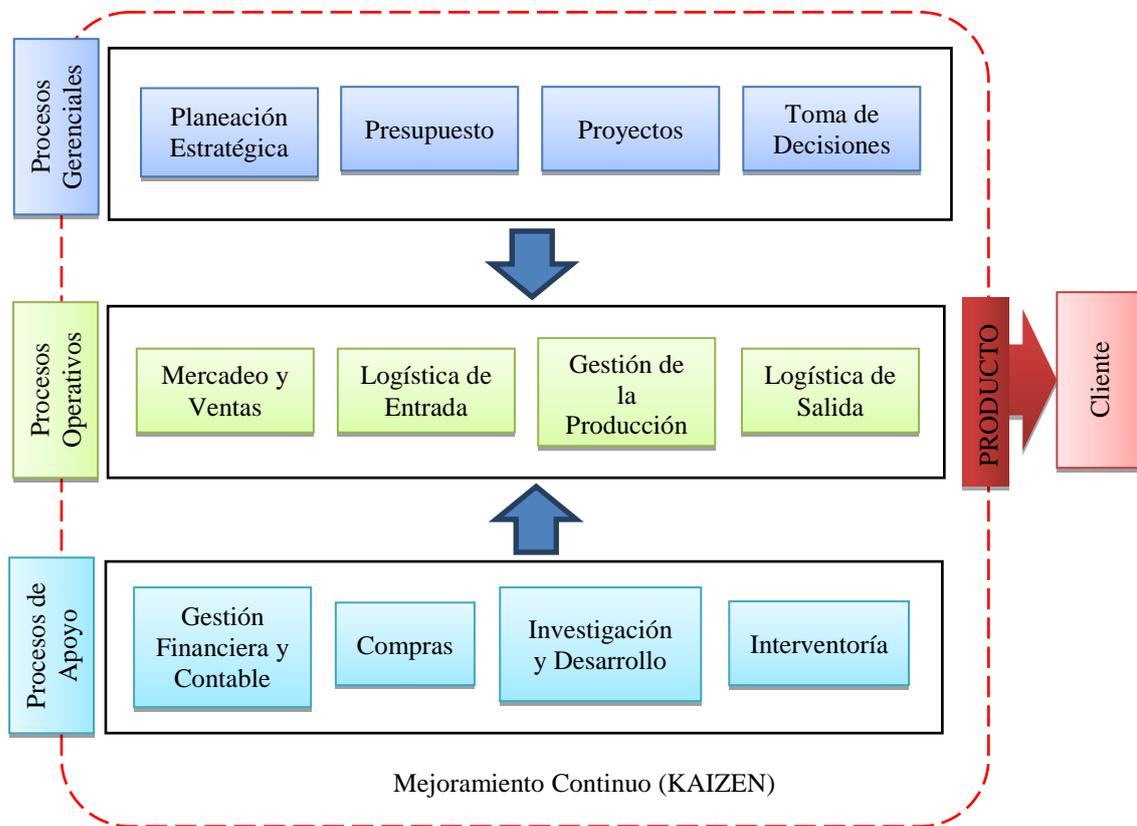


Figura 4.1: Estructuración administrativa de la Empresa

Fuente: Autor

Para la dirección de la pequeña empresa, se plantearon tres grupos básicos, el primero el de Procesos Gerenciales, el cual será el encargado de la planeación estratégica y toma de decisiones así como la destinación de presupuestos para el desarrollo de los distintos proyectos, el segundo grupo, el de procesos operativos, encargado de captar las necesidades del cliente mediante un adecuado mercadeo, además será el encargado de dar a conocer el producto en el mercado mediante un plan estratégico de ventas, el tercer grupo, el de Apoyo, será el encargado de dar a conocer a los demás grupos, como está avanzando la empresa mediante un análisis económico de los ingresos, además será la encargada de destinar fondos para los gastos administrativos y de producción para el desarrollo de los distintos proyectos. Una adecuada administración y comunicación entre los tres grupos definirá el avance, continuidad o la terminación del proyecto.

CONCLUSIONES

- El sistema SCADA para el control de la demanda energía eléctrica en una residencia, permite la reducción de energía consumida en horas de demanda pico mediante la desconexión de cargas según la prioridad dada por el usuario a determinado equipo, la cual es ingresada en el HMI.
- El primer paso para la fabricación de un equipo es el modelamiento del mismo. En el presente trabajo se propuso un prototipo tanto de equipos como el sistema SCADA, por tanto con los datos obtenidos a partir de este trabajo se puede pasar a la línea de diseño, fabricación y protocolo de pruebas en cualquier tipo de usuario residencial en que se lo aplique.
- Durante el desarrollo del presente proyecto de tesis se pudo determinar que en el Ecuador y específicamente en la ciudad de Quito no existen normativas y reglamentaciones establecidas para la aplicación de esta tecnología.
- La presencia de sistemas SCADA para el control de la demanda de energía eléctrica en el Ecuador y en Quito es muy limitada en cuanto a información se refiere y, en cuanto a compañías que proveen dicha tecnología ya que son muy pocas o casi nulas y con escaso impulso de comercialización.
- El cuidado ambiental es un tema importante en el desarrollo de nuevas tecnologías, siguiendo esa lógica la presente trabajo es sostenible al reducir demanda en las horas pico por tanto la generación de energía puede dejar de utilizar fuentes de energía a base de combustibles fósiles en esa horas, contribuyendo de manera significativa al cuidado del medio ambiente.
- Dentro del cambio de matriz productiva desarrollada por el Estado Ecuatoriano la fabricación e inclusión del prototipo puede generar un aporte importante en la parte técnica y en los hábitos sociales del uso eficiente de la energía en clientes residenciales.

- Una desventaja del prototipo propuesto en este trabajo de tesis es que la optimización de energía cambia los hábitos de consumo de los habitantes de una vivienda, debido a que el control de cargas obliga a los usuarios a realizar actividades fuera de las horas en las que están acostumbrados, es especial las horas pico.
- El sistema SCADA para el control de la demanda de energía eléctrica propuesto, puede aplicarse a cualquiera de los estratos de consumo debido a que la implementación en residencias no requieren mayores modificaciones, pero la desventaja presentan el estrato de consumo tipo E, el cual presenta bajas condiciones económicas y por tanto no podrán adquirir el sistema.
- La aplicación del sistema propuesto es técnicamente factible, ya que los elementos y equipos utilizados en su diseño y construcción existen en la actualidad en el país, así como también los conocimientos y el personal necesario para el desarrollo y programación de los equipos.
- Los beneficios económicos de la implementación de este sistema son considerables, ya que ayuda a disminuir los gastos por el consumo de electricidad en el hogar, además los beneficios en relación a su costo son también considerables e indican que el proyecto resulta una buena inversión.
- Por lo analizado en el presente proyecto, la implementación de sistemas SCADA para el control de la demanda de energía eléctrica en el sector eléctrico residencial de la ciudad de Quito, aplicado a los estratos de consumo según la clasificación de la Empresa Eléctrica Quito S.A., ayuda al uso eficiente de la energía eléctrica.

RECOMENDACIONES

- Los usuarios y a la sociedad de la ciudad de Quiteña tener en cuenta que el ahorro energético se ve reflejado en beneficio de sus bolsillos, y por ende de su economía, y en el caso en que se desee realizar un sistema SCADA para el control de la demanda se debe tomar en cuenta normativas y reglamentaciones internacionales ya establecidas y aplicarlos a la realidad nacional.
- A las entidades y organismos competentes formular normas y reglamentaciones nacionales y oficiales para las instalaciones eléctricas y para esta tecnología, además la sociedad en general que se informen y conozcan más sobre esta tecnología y los beneficios que esta presenta para la mejora de su calidad de vida y de su economía.
- Se deben realizar estudios con los cuales se desarrollen sistemas SCADA básicos que sean más económicos pero que cumplan con las mismas funciones y presten el mismo servicio, adaptándose a las necesidades de cada usuario.
- La Empresa Eléctrica Quito para que los datos o valores publicados sean revisados, para de esta manera garantizar que los valores de consumo de potencia para los artefactos eléctricos en el hogar sean los actualizados y se presente características de consumo de cada uno de los estratos de consumo.
- Partiendo del modelamiento realizado en este trabajo de investigación se recomienda como trabajo futuro la aplicación a sistemas comerciales e industriales para analizar la posibilidad de utilizar sistemas SCADA para el control de la demanda de energía eléctrica.
- Una vez realizado el proceso de diseño del prototipo se recomienda reprogramar el modelamiento e ingresar más variables que influyen en la demanda de energía eléctrica como clima, días laborables, días festivos, fines de semana, con el propósito de tener una mejor aproximación en el modelamiento de la demanda de energía.

- Se debe profundizar de mejor manera el manejo de la tecnología ZigBee, base fundamental del proyecto planteado, con el propósito de darle una mejor utilidad y configurarlo de una mejor manera, lo que se verá reflejado en la comunicación de los distintos dispositivos que formen parte del sistema SCADA.
- El prototipo propuesto debe ser sometido a las pruebas correspondientes, con el propósito de mejorarlo, haciendo de esta manera que el prototipo se ajuste a las necesidades del usuario residencial.
- El sistema SCADA para el control de la demanda de energía eléctrica ha sido planteado para ser utilizado en el sector residencial, pero puede ajustarse a las necesidades de otros usuarios tanto del sector comercial como el industrial, para lo cual se deben hacer estudios previos.
- El proyecto de tesis propuesto, según lo analizado es aplicable a usuarios residenciales del estrato de consumo A1, A, B, C, y D, que presentan ingresos económicos con los cuales podrán adquirir los equipos, caso que es ajeno al estrato E, que no puede acceder al sistema, por lo que será necesario desarrollar prototipos más económicos o a su vez implementar políticas que permitan que los usuarios de este tipo adquieran los equipos, considerando que son los usuarios que más derrochan energía.

REFERENCIAS

- [1] J. L. Proano, «Universidad de Chile,» Enero 2012. [En línea]. Available: http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2012/cf-llanos_jp/pdfAmont/cf-llanos_jp.pdf. [Último acceso: 25 Octubre 2014].
- [2] D. G. F. Robert Bartels, Metering and modelling residential end-use electricity load curves, Australia : Forecasting, 1996.
- [3] CONELEC, «DEMANDA ELECTRICA,» *PLAN MAESTRO DE ELECTRIFICACION 2012-2021*, vol. 1, pp. 97-133, 2012.
- [4] CONELEC, «Estudio de Proyeccion de la Demanda,» *Estudio y Gestion de la Demanda Electrica*, vol. 2, pp. 29-58, 2013.
- [5] C. D. Stella, «PLAN DE GESTION EFICIENTE DE LA DEMANDA,» 2006. [En línea]. Available: <http://es.slideshare.net/josestella/ing-jose-stella-plan-de-gestin-eficiente-de-la-demanda>. [Último acceso: 17 Octubre 2014].
- [6] J. C. Romero, «Monitoreo de la energia electrica,» 8 Octubre 2013. [En línea]. Available: <http://constructorelectrico.com/home/monitoreo-de-energia-electrica/>. [Último acceso: 15 Octubre 2014].
- [7] V. Hamidi., «New Control in Demand Side Management to Improve the Segurity of Supply in the UK's Electricity Network,» *IEEE Power Engineering Conference UPEC* , pp. 132-137, 2007.
- [8] COMISION NACIONAL PARA EL USO EFICIENTE DE ENERGIA, «CONAE,» [En línea]. Available: http://www.conae.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/4687/3/Informacion_control_demanda.pdf. [Último acceso: 10 Octubre 2014].
- [9] I. K. A. Setiawan, «Very Short-Term Electricity Load Demand Forecasting Using Support Vector Regression,» de *IEEE International Joint Conference on Neutral Networks* , Georgia, 2009, pp. 288-289.
- [10] R. P. J. Cerda, Estrategias de Demanda a base de Generacion Distribuida para una Compania de Distribucion, 2005.
- [11] A. T. P. C. J. Murrillo, «Estudio del Pronostico de la Demanda de Energia Electrica utilizando Modelo de Series,» *Scientia et Technica Año IX*, n° 23, 2003.
- [12] J. L. Rojas, «Teoria de las Redes Neuronales Artificiales,» *Modelacion del Consumo de Energia Electrica mediante Metodos Heuristicos*, pp. 32-33, Mayo 2013.
- [13] C. V. M. V. Jose Tabares, «COMPARACION DE TECNICAS ESTADISTICAS DE PRONOSTICO PARA LA DEMANDA DE ENERGIA ELECTRICA,» *Ingenieria Industrial*, n° 1, pp. 19-31, 2014.
- [14] D. S. a. S. K. S. A. Shekhar, «Intelligente Hibrid Wavelet Models for Short-Term Load Foresting,» *IEEE Trans on Power System*, vol. 25, n° 3, 2010.
- [15] E. C. Mateu, «Universidad Politecnica de Valencia,» 12 Septiembre 2012. [En línea]. Available: <http://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/17467/Memoria.pdf?sequence=1>. [Último acceso: 03 Noviembre 2014].
- [16] KONNEX, «KONNEX.ORG,» 2007. [En línea]. Available: <http://www.knx.org/fileadmin/news/120524715414725PR20061201-ES.pdf>. [Último acceso: 02 Noviembre 2014].
- [17] ITU, «ITU NEWS,» 2011. [En línea]. Available: <https://itunews.itu.int/es/>. [Último acceso: 02 Noviembre 2014].
- [18] INEN, «SISTEMAS DE GESTION DE LA ENERGIA, NTE INEN-ISO 50001:2012,» 11 Junio 2011. [En línea]. Available: http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/EXTRACTO_2014/VGR/nte_inen_iso_50001extracto.pdf. [Último acceso: 15 Octubre 2014].

- [19] C. R. Carlos de Castro Lozano, «Universidad de Cordoba,» [En línea]. Available: <http://www.uco.es/grupos/eatco/automatica/ihm/descargar/scada.pdf>. [Último acceso: 29 Noviembre 2014].
- [20] D. L. María Hernández, «Fundamentos para el desarrollo de un sistema SCADA,» *Desarrollo de un sistema SCADA para la medición de voltajes con sistemas embebidos para el laboratorio de Mecatronica*, vol. 1, n° 1, pp. 28-29, 2010.
- [21] P. J. Hernández, «Arquitectura Domotica,» 7 Abril 2014. [En línea]. Available: <http://pedrojherandez.com/category/domotica/>. [Último acceso: 15 Diciembre 2014].
- [22] «ARQCOMPUS,» 27 Junio 2009. [En línea]. Available: <http://arqcompus-domotica.blogspot.com/2009/06/arquitectura.html>. [Último acceso: 05 Noviembre 2014].
- [23] «Arquitectura de los Sistemas,» WORDPRESS, 2012. [En línea]. Available: <http://domoticaudem.wordpress.com/arquitectura-de-los-sistemas/>. [Último acceso: 05 Noviembre 2014].
- [24] R. M. José Huidobro, «Sistemas Centralizados,» de *Manual de Domótica*, Madrid, Creaciones Copyright S.L., 2010, pp. 53-55.
- [25] C. L. Jimeno, «La Domótica como Solucion de Futuro,» *Madrid Ahorra con Energia*, vol. 1, p. 72, 2007.
- [26] I. Constantino, «Domótica e Inmótica: Viviendas y Edificios Inteligentes,» vol. 1, pp. 39-45, 2011.
- [27] R. Hernández, «Tecnología Domotica para el Control de una Vivienda,» vol. 1, pp. 38-40, 2012.
- [28] A. C. D. R. L. ARENAS, «SCRIBD.,» SCRIBD INC. , 2014. [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/doc/85749234/Interfaz-Hombre-Maquina-HMI>. [Último acceso: 20 Diciembre 2014].
- [29] J. Alvarado, «Blogger,» Blogger, 9 Mayo 2012. [En línea]. Available: <http://programacionits.blogspot.com/2012/05/microcontrolador-pic16f628a.html>. [Último acceso: 30 Noviembre 2014].
- [30] Arduino, «What Arduino can do,» Arduino, 2014. [En línea]. Available: <http://www.arduino.cc/en/pmwiki.php?n=>. [Último acceso: 29 Noviembre 2014].
- [31] P. Semiconductors, «BT136 series E,» *Triacs Sensitive Gate Product Specification*, vol. 1, n° 1, p. Junio, 2001.
- [32] D. International, «SparkFun Electronics,» 2 Noviembre 2008. [En línea]. Available: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Wireless/Zigbee/XBee-2.5-Manual.pdf>. [Último acceso: 30 Noviembre 2014].
- [33] «SparkFun Electronics,» 2014. [En línea]. Available: <https://www.sparkfun.com/products/8883>. [Último acceso: 29 Noviembre 2014].
- [34] Z. Alliance, «Zigbee Alliance,» 2014. [En línea]. Available: <http://zigbee.org/zigbeealliance/developing-standards/>. [Último acceso: 25 Noviembre 2014].
- [35] J. P. Dignani, de *Analisis del Protocolo Zigbee*, La Plata, 2011, pp. 20-25.
- [36] R. Smith y McGraw, *Wi-Fi Home Networking*, TAB Electronics.
- [37] G. M. Delgado, «Comparacion de Zigbee con otros estandares,» de *Zigbee y sus aplicaciones en el monitoreo y control de procesos a distancia*, San Luis Potosi, 2009, p. 7.
- [38] «VOLKATEK ROBOTICS & AUTOMATION,» 2012. [En línea]. Available: <http://voltatek.com/en/communication/103-xbee-usb-adapter.html>. [Último acceso: 25 Noviembre 2014].
- [39] E. E. Q. S.A., «Parametros de Diseño Seccion A-11,» *Normas para Sistemas de Distribucion, Parte A, Guía para Diseño de Redes de Distribucion*, n° 5, pp. 87-97, 2014.
- [40] Instituto Nacional de Estadística y Censos INEC, «INEC,» 2011. [En línea]. Available:

- http://www.inec.gob.ec/estadisticas/?option=com_content&view=article&id=112&Itemid=90. [Último acceso: 05 Febrero 2015].
- [41] CONELE, «EFICIENCIA ENERGETICA,» *PLAN MAESTRO DE ELECTRIFICACION 2012-2021*, vol. 1, pp. 68-74.
- [42] R. F. y. J. M. Fernandez, *Las Redes Neuronales Artificiales, Fundamentos Teoricos y aplicaciones practicas*, Madrid: Netbiblo, 2008.
- [43] I. S. P. J. A. E. Facultad de Eléctrica, «SciELO,» Abril 2013. [En línea]. Available: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1815-59282013000100006&script=sci_arttext. [Último acceso: 10 Febrero 2015].
- [44] J. H. y. V. Martinez, *Redes Neuronales Artificiales: Fundamentos, Modelos y Aplicaciones*, Madrid: Addison Wesley Iberoamericana, 1995.
- [45] C. L. Jimeno, de *Guia de Ahorro Energetico en Residencias y Centros de Dia*, vol. 1, Madrid, Graficas Arias Montano S.A., 2005, pp. 25,32.
- [46] COOPERATIVA RURAL DE ELECTRIFICACION LTDA., «EFICIENCIA ENERGETICA,» *MANUAL DE EFICIENCIA ENERGETICA*, vol. 1, n° 1, pp. 3,5.
- [47] CORPORACION FONANCIERA NACIONAL CFN, «COMO ELABORAR UN PLAN DE NEGOCIOS,» [En línea]. Available: <http://www.cfn.com.ec>. [Último acceso: 15 02 2015].
- [48] MEER, «Plan de normalizacion y etiquetado,» Agosto 2013. [En línea]. Available: <http://www.energia.gob.ec/2013/08/page/3/>. [Último acceso: 17 Octubre 2014].
- [49] INEN, «Reglamentos Tecnicos Ecuatorianos,» [En línea]. Available: <http://www.normalizacion.gob.ec/reglamentacion-tecnica/>. [Último acceso: 15 Octubre 2014].
- [50] COMEXI, «Ministerio Coordinador de Produccion, Empleo y Competitividad,» [En línea]. Available: <http://www.produccion.gob.ec>. [Último acceso: 18 Octubre 2014].