

PREDICCIÓN CON SERIES DE TIEMPO PARA
LA OPTIMIZACIÓN DE LA DEMANDA
ELÉCTRICA RESIDENCIAL

PREDICCIÓN CON SERIES DE TIEMPO PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA DEMANDA ELÉCTRICA RESIDENCIAL

Diego Fernando Tasinchana Chicaiza
Egresado de la Carrera de Ingeniería Eléctrica
Facultad de Ingenierías
Universidad Politécnica Salesiana

Dirigido por:
Edwin Marcelo García Torres
Docente de la Carrera de Ingeniería Eléctrica
Facultad de Ingenierías
Universidad Politécnica Salesiana



Quito - Ecuador

Datos de Catalogación Bibliográfica

Diego Fernando Tasinchana Chicaiza

PREDICCIÓN CON SERIES DE TIEMPO PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA DEMANDA ELÉCTRICA RESIDENCIAL

Universidad Politécnica Salesiana
Ingeniería Eléctrica

Breve reseña historia e información de contacto:



Diego Fernando Tasinchana Chicaiza (Y'1987-M'02). Nació en Quito, Ecuador. Se graduó como Bachiller Técnico Industrial, especialidad Electricidad. Egresado de la Carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana. Su trabajo se basa en técnicas de modelado y simulación matemáticas de predicción con series de tiempo. Sus intereses de investigación incluyen Respuesta de la Demanda Eléctrica, modelos de optimización para el consumo eléctrico y la gestión del consumo eléctrico residencial.

dtasinchana@est.ups.edu.ec

Dirigido por:



Edwin Marcelo García Torres (Y'1978 -SM10). Nació en Ambato, Ecuador. Se graduó en Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador en 2010 y actualmente se encuentra cursando un Master en Gestión de la Energía de la Universidad Técnica de Cotopaxi. Es profesor e investigador de la Universidad Salesiana - Quito Ecuador. En la actualidad es miembro de Girei Research Group (Grupo de Investigación en redes inteligentes - Smart Grid Research Group).

egarcia@ups.edu.ec

Todos los derechos reservados:

Queda Prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con la autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos o investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

DERECHOS RESERVADOS

©2015 Universidad Politécnica Salesiana
QUITO – ECUADOR

DEDICATORIA.

Diego Fernando Tasinchana Chicaiza

Dedico este trabajo a mis padres por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo incesante a través del tiempo, formándonos a mis hermanos y a mí como personas de bien, con valores y principios. A Johanna y principalmente a mis hijos, que son el motor que me obliga a ser cada día mejor para lograr mis metas. A mis hermanos, Christian y Danny, por estar conmigo y apoyarme siempre, los quiero mucho. A mi familia en general por brindarme su apoyo y confianza. A mis amigos y compañeros, por compartir los buenos y malos momentos, por el apoyo mutuo en nuestra formación profesional.

AGRADECIMIENTO.

Diego Fernando Tasinchana Chicaiza

Mis más sinceros agradecimientos a todos los ingenieros que supieron impartir sus conocimientos durante mi camino al título en la universidad. Al Ing. Marcelo García por toda la colaboración brindada, durante la elaboración de este trabajo de titulación, por su valiosa guía y asesoramiento a la realización de la misma. Gracias a todas las personas que ayudaron directa e indirectamente en la realización de este trabajo. Finalmente agradezco a Johanna y a mis hijos, por todo lo que han sacrificado para que pueda culminar con uno más de mis sueños.

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo, Edwin Marcelo García Torres declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación “Predicción con series de tiempo para la optimización de la demanda eléctrica residencial” realizado por el Sr. Diego Fernando Tasinchana Chicaiza, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, 02 de diciembre de 2015

.....

Ing. Edwin Marcelo García Torres

Cédula de identidad: 1803087400

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Diego Fernando Tasinchana Chicaiza, con documento de identificación N° 1718448267, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor/es del trabajo de grado/titulación intitulado: “Predicción con series de tiempo para la optimización de la demanda residencial”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Eléctrico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Firma

.....

Nombre: Diego Tasinchana

Cédula: 1718448267

Fecha: 02 de diciembre de 2015

GLOSARIO

A

AUTOCORRELACIÓN: Es cuando los valores que adquiere una variable en el tiempo no son independiente entre sí, es decir un valor depende de los valores anteriores. Es útil para identificar la estacionalidad. [1]

ASIGNACIÓN DE RECURSOS: Red de área en edificios dentro del modelo de una red eléctrica inteligente y de la infraestructura de medición avanzada. [2]

C

CONGESTIÓN ELÉCTRICA: Situación que ocurre cuando la capacidad de transmisión disponible es insuficiente para satisfacer la demanda al mismo tiempo.[3]

CONSUMIDOR: Es el destinatario final de los bienes o servicios eléctricos, denominado también como persona física o jurídica que adquiere la energía eléctrica para su propio consumo.[4]

D

DISTRIBUCIÓN: Es la entrega de energía a los consumidores al por menor.[5]

DEMANDA ELÉCTRICA: Es la velocidad a la cual la energía es entregada a las cargas y los puntos programados de generación, transmisión y distribución.[6]

E

ESTACIONALIDAD: Es el comportamiento de periódico de la serie de tiempo, según un patrón de variación.[7]

EFICIENCIA ENERGÉTICA: Hace referencia a los programas dirigidos a reducir la energía utilizada por determinados dispositivos de uso final, sin afectar al servicio prestado. Estos programas reducen el consumo global de electricidad en MWh. El programa puede estar representado en ahorro y se lo consigue con el cambio de tecnología, es decir con equipo más avanzado para producir el mismo nivel de servicios de uso final como: iluminación, calefacción pero con menos electricidad.[6]

ENERGÍA RENOVABLE: Recursos energéticos naturales, con limitaciones en la cantidad de energía disponible en unidad de tiempo, estos pueden ser: biomasa, hidráulica, geotérmica, solar, eólica, térmica de los océanos, mareomotriz.[6]

ESTRATEGIA DE GESTIÓN: Es el conjunto de actividades coherentes e integradas dirigidas a la consecución de los objetivos en la resolución del conflicto.[6]

G

GENERACIÓN DISTRIBUIDA: Etapa generadora que se localiza cerca de la carga y su destino es poner al servicio de otros usuarios. Su característica principal es la interconexión con la etapa de distribución o sub transmisión del sistema eléctrico. [4]

GESTIÓN: Es el conjunto de operaciones que se realizan para dirigir y administrar un proyecto o una actividad económica.[4][6]

P

PROCESO ESTOCÁSTICO: Se denomina proceso estocástico a la sucesión infinita de variables aleatorias ordenadas.[8]

PROCESO ESTOCÁSTICO ESTACIONARIO: es estacionario cuando la media y la varianza son constantes en el tiempo y la covarianza entre dos periodos depende de la distancia entre los dos periodos de tiempo.[8]

PERDIDAS NO TÉCNNICAS: Energía eléctrica no facturada y por ende no cancelada debido al robo y hurto de electricidad, la mayor parte de pérdida de su naturaleza pudiendo ser de índole residencial, comercial e industrial.[6]

R

REGRESIÓN LINEAL: método matemático que modela la relación entre variables dependientes e independientes que permite hallar el valor esperado de una variable aleatoria. [9]

S

SMART GRID: Red eléctrica inteligente, denominación al modelo de red de eficiencia y confiabilidad energética.[10]

SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN: Es la parte de la transmisión y las facultades del sistema eléctrico que está dedicado a la entrega de energía eléctrica al usuario final.[6]

SERVICIO AL CLIENTE: Se lo puede definir como la medida de actuación del sistema logístico para proporcionar en tiempo y lugar un producto o servicio.[4]

T

TENDENCIA: es el nivel o movimiento en el tiempo a largo plazo de una serie de tiempo, reflejando un nivel subyacente.[11]

INDICE GENERAL

1.	TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN	1
2.	RESUMEN DEL PROYECTO	1
3.	ABSTRACT	1
1.	INTRODUCCIÓN	3
	Planteamiento del Proyecto	4
	Estado del Arte	5
2.	OBJETIVOS.....	7
	OBJETIVO GENERAL	7
	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
3.	METODOLOGÍA	7
4.	DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.....	9
	Métodos de modelación para la predicción de la demanda.....	9
	A. Predicción a corto plazo.....	9
	B. Predicción a largo plazo.....	9
	Modelo de regresión.....	10
	Series de Tiempo.....	11
	A. Ventajas de las series de tiempo	12
	B. Limitaciones de las series de tiempo.....	12
	C. Clasificación de las series de tiempo	13
	MODELAMIENTO DE LA DEMANDA ELÉCTRICA RESIDENCIAL.....	14
	Método de pronóstico estático por Series de Tiempo	14
	Pasos para estimar la de manda por Método Estático	14
	ANÁLISIS DE RESULTADOS	17
	Optimización de la demanda eléctrica residencial	22

A. Solución dada mediante	23
5. RESULTADOS ESPERADOS DE LA INVESTIGACIÓN	24
6. MEDIO O FORMA PARA LA PUBLICACIÓN DE LOS RESULTADOS ESPERADOS	24
7. GRUPOS BENEFICIADOS CON LA INVESTIGACIÓN	24
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	24
9. REFERENCIAS	26

INDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Diagrama de Bloques para previsión de la demanda en Visio.....	4
Fig. 2. Planteamiento del problema y solución	6
Fig. 3. Diagrama de flujo según el método ARIMA.....	8
Fig. 4. Comparación de demandas individuales en Matlab.....	17
Fig. 5. Predicción de la demanda al 2016 en Matlab.	18
Fig. 6. Diagrama de barra de la predicción de la demanda 2016.	19
Fig. 7. Demanda Real por años y Predicción.	20
Fig. 8. Demanda Eléctrica Residencia Completa.	21
Fig. 9. Diagrama de barras de la Demanda Residencial total.	21
Fig. 10. Uso de aparatos eléctricos según los hábitos del usuario.	22
Fig. 11. Simulación de optimización de la predicción.	23

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estado del arte	5
Tabla 2. Regresiones lineales de cada medida filtrada.....	10
Tabla 3. Regresión Lineal en análisis de datos de Excel.....	15
Tabla 4. Lectura de consumo de medidor Residencial.....	16
Tabla 5. Pronóstico de datos para la predicción de la demanda.....	18

1. TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN

PREDICCIÓN CON SERIES DE TIEMPO PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA DEMANDA ELÉCTRICA RESIDENCIAL

2. RESUMEN DEL PROYECTO

El presente proyecto desarrolla un modelamiento que permita predecir el comportamiento de la demanda eléctrica residencial anual, es decir para pronosticar valores que toma en determinados tiempos. En este proyecto de investigación solo se considera a nivel residencial, teniendo como en la necesidad la minimización de costos en el consumo de energía eléctrica para que sea representativo para el usuario, por el motivo que actualmente la lectura de contadores electromecánicos y electrónicos se realiza de forma manual y por lo general mensual, para determinar la facturación de energía. El desarrollo de la investigación se lleva a cabo a través de series de tiempo, donde se identifica que la demanda eléctrica no es estática, porque varía a través del tiempo por lo cual se eligió el método de pronóstico estático por series de tiempo, donde se determina la principales componente de una serie de tiempo. Para la modelación de la demanda residencial se requiere determinar una regresión lineal realizada con datos del consumo de energía eléctrica de datos históricos desde el 2013 facilitados por la Empresa Eléctrica Quito, para posteriormente realizar la predicción para el año 2016, programado y presentado en la herramienta informática Matlab, mostrando la predicción de la demanda individual y total. Para la optimización se desarrolla manualmente planteándose un límite referencial de consumo de forma heurística o por el método simplex para minimizar una función, para poder simular la reducción en los picos de la curva de respuesta de la demanda pronosticada.

3. ABSTRACT

This draft develops a modeling allows to predict the behavior of annual electricity demand residential, is to say to forecast values to take in certain times. In this investigation draft alone is considered to residential level, having as need to minimize costs of energy electric consumption to that be representative for the user, for the reason that currently reading of electromechanical and electronic counters are done manually and usually monthly, to determine the energy billing. The development of the investigation is carried out through time

series, where it be identify that electric demand is not static, because varies through time by so that was chosen the method of static prognosis for time series, where is determined the main components of a time series. For the modeling of residential demand it was required determine a linear regression with on data from the electricity consumption of historical data from 2013 provided by Empresa Eléctrica Quito, to later to make the prediction for 2016, scheduled and presented in the Matlab tool informatic, showing the prediction of individual and total demand. For optimization it is manually developed considering a referential consumption limit heuristically or by the simplex method to minimize a function, to simulate the reduction in peak response curve of the forecasted demand.

1. INTRODUCCIÓN

La energía hidroeléctrica es considerada como fuente principal de generación de electricidad, tomando en cuenta que con el transcurso del tiempo la demanda eléctrica ha ido aumentando teniendo un sistema eléctrico vulnerable a pérdidas de producción de electricidad y aumento de precios en las facturas de suministro mensual, donde es fundamental una estrategia para mantener la estabilidad de los precios como se menciona en [12], con el objetivo de diseñar programas de respuesta de la demanda basados en la fijación de precios en tiempo real, a través de modelos de consumo de energía, pero muy pocos programas de respuesta de la demanda existen para el sector residencial teniendo mayoría de programas de respuesta de la demanda en el sector industrial y comercial.[13]

La preocupación de la estabilidad del sistema eléctrico es de gran importancia para la eficiencia energética ya que se debe considerar varios factores que pueden reducir la estabilidad en la red de energía eléctrica, como puede ser el desequilibrio entre la demanda eléctrica y la producción de energía, induciendo a impactos económicos y de confiabilidad. La previsión de la demanda se ha visto necesaria para una modelación de la carga con precisión, con el fin de lograr una fiable planificación de un sistema de energía.

El objetivo del cliente es reducir al mínimo el costo del consumo de la energía, mientras que las empresas distribuidoras no solo se preocupan por el costo sino también por la forma de la demanda, la demanda máxima y la calidad del servicio, para poder crear programas de respuesta de la demanda que induzcan a los clientes a reducir las cargas durante picos altos en la curva de la demanda con el fin de mejorar la gestión de la demanda para evitar altos costos. En este contexto, los modelos matemáticos son fundamentales para estos procesos.[14]

Para lograr una optimización de la demanda eléctrica es de gran utilidad la predicción de la demanda, que se puede dividir en cuatro tipos según el tiempo de predicción: Muy corto plazo; de unos minutos a una hora, Corto plazo; de una hora a una semana, Mediano plazo; de una semana a un año, Largo plazo; más de un año. [15]

En los últimos años se han planteado varios modelos estadísticos convencionales que toman una serie de carga fija sin considerar las relaciones no lineales entre la demanda y los factores de tiempo provocando imprecisiones en la predicción de la demanda. Para considerar este

factor de no linealidad, se propuso enfoques utilizando inteligencia artificial y aplicaciones automatizadas de respuesta de la demanda, teniendo varios métodos como por ejemplo el análisis de series de tiempo, donde es de gran importancia la tendencia ascendente y las variaciones estacionales al momento de generar resultados. Uno de los métodos para el análisis de series de tiempo estacionales es el ARMA (autorregresiva de media móvil), que es de gran utilidad para la previsión de la demanda eléctrica.[16]

Planteamiento del Proyecto

El proyecto de investigación plantea el desarrollo del modelo de series de tiempo para predecir una demanda futura a nivel residencial, con el fin de optimizar la respuesta de la demanda a través de programas de respuesta de la demanda según la Fig. 1, donde se muestra un ejemplo propuesto.

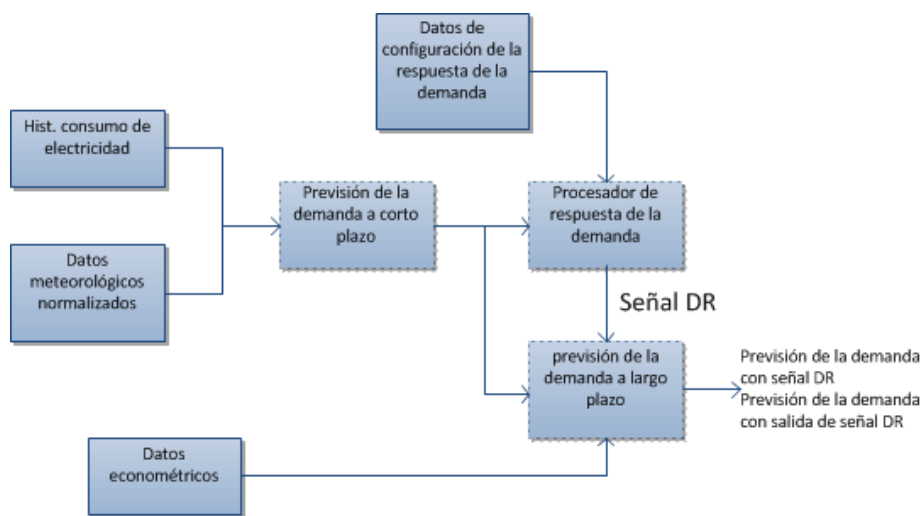


Fig. 1. Diagrama de Bloques para previsión de la demanda en Visio.

Fuente: Autor

La necesidad actual de ofrecer por parte de una empresa de distribución servicios al cliente, generan la búsqueda de mejores soluciones tecnológicas debidamente analizadas y sustentadas técnicamente de acuerdo a un escenario particular, que permitan el intercambio de información de forma bidireccional y que en la actualidad tiene como servicio tradicional la emisión de planilla de consumo, resultado de una lectura humana y no gestionada en tiempo real.

Estado del Arte

En la Tabla 1 se muestra el estado del arte donde se presenta la temática con la cual se realiza la investigación, la formulación del problema con funciones objetivas para deducir una posible solución como se muestra en la Fig. 2.

Tabla 1. Estado del arte

PREDICCIÓN CON SERIES DE TIEMPO PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA DEMANDA ELÉCTRICA RESIDENCIAL																																			
DATOS		TEMÁTICA								FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO						RESTRICCIONES DEL PROBLEMA				PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA					SOLUCIÓN PROPUESTA										
TEM	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	REFERENCIA	Planificación de encendido de equipos	Planificación del consumo de energía diaria	Perfiles de carga para cada equipo	Implementación de BB y ERNC para ciertos periodos de carga	Modelación de la carga instalada	Gestión de la demanda en una casa	Ice Storage	Optimización del consumo de energía	Minimizar el pico de la carga	Minimizar el costo de la energía	Mantener el confort del usuario	Control de cargas críticas	Control de cargas controlables	Modelado de la demanda	Optimización de la energía	Balances entre oferta y demanda	Tareas de cada equipo utilizado	Número de equipos	Perfiles de carga	Algoritmo Genético	Método Heurístico	redes neuronales	Metaheurístico	MILP	Planificación de encendido de equipos eléctricos	Maximizar la comodidad y eficiencia energética	Minimizar el pico de carga	Gestión de energía en equipos	Generación distribuida con ERNC	Estudio de respuestas de la demanda		
1	2012	Energy demand modal design for forecasting electricity consumption and simulating demand response scenarios in Sweden			X			X				X		X	X		X		X					X								X		X	
2	2010	Using Seasonal Time Series Analysis to Predict China's Demand of Electricity		X	X	X		X									X			X		X	X								X		X		
3	2016	Household Electricity Demand Forecast Based on Context Information and User Daily Schedule Analysis from Meter Data		X	X	X			X							X	X						X			X					X		X		
4	2006	Demand Forecasting Using Time Series Modelling And Arfa Estimator	10.1109/UPEC.2006.367770		X	X		X	X								X	X					X							X			X		
5	2012	Long-term forecasting of household and residential electric customers in Brazil	10.1109/TLA.2012.6197597		X	X		X	X		X		X				X			X	X	X						X				X	X		
6	2014	Optimal Residential Demand Response in Distribution Networks	10.1109/JSAC.2014.2332151	X		X		X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X		X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
7	2012	Optimal Operation of Residential Energy Hubs in Smart Grids		X	X	X		X			X	X	X		X	X	X	X	X	X				X	X					X	X	X	X	X	
8	2007	State-based Time-Series Analysis and Prediction			X	X		X			X	X					X	X					X				X			X	X	X	X	X	
9	2013	Introducción a series de tiempo										X					X	X					X							X			X	X	
10	2010	Análisis de series de tiempo										X					X						X							X			X	X	
11																																			
12																																			
13																																			
14																																			
22																																			
23																																			
24																																			
25																																			
26																																			
			CANTIDAD:	4	8	6	0	7	4	0	4	6	3	1	3	3	10	5	4	3	2	2	2	6	2	3	0	4	1	6	6	0	1	10	

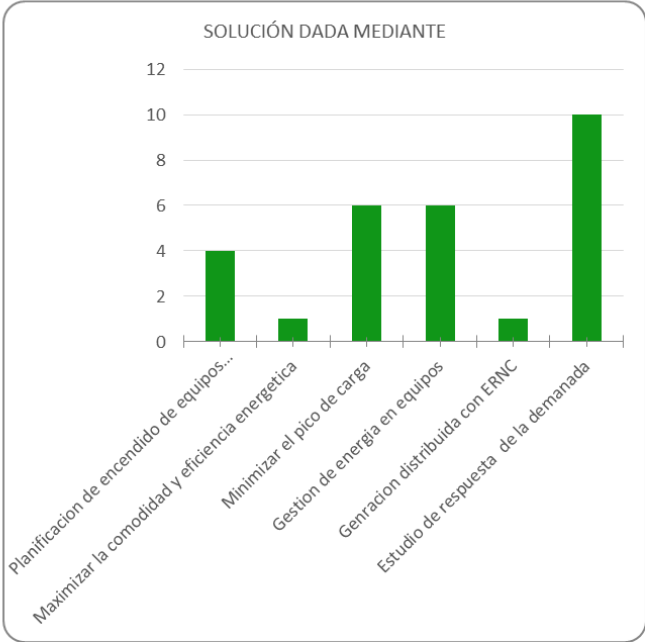
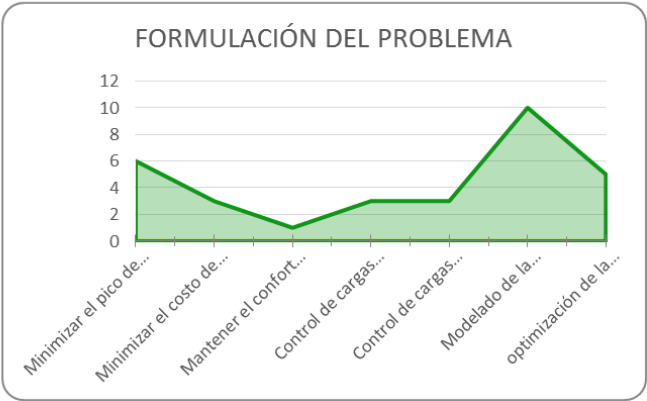
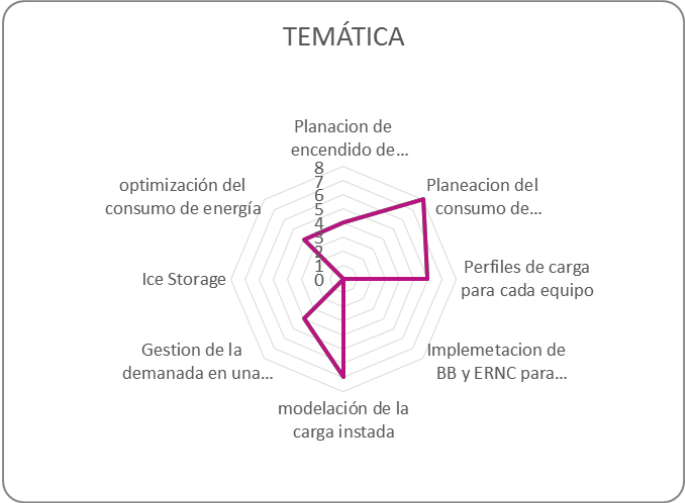


Fig. 2. Planteamiento del problema y solución

Fuente: Autor

2. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Modelar la predicción de la demanda eléctrica por medio de series de tiempo para conseguir precisión de consumo para los usuarios residenciales.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar los datos históricos de consumo de energía de un usuario tipo como mínimo tres años donde se determinara la curva de la demanda eléctrica anualmente.
- Desarrollar un modelo de predicción para el despliegue datos de pronósticos de consumo de energía.
- Analizar los resultados de la modelación, aplicado el software matemático Matlab, presentando gráficas.
- Determinar una regresión lineal para pronosticar datos para luego optimizarlos con el método simplex de minimización de una función.

3. METODOLOGÍA

La metodología para esta investigación tendrá como objetivo, obtener información que permita realizar una predicción de la demanda eléctrica residencial para reducir impacto en la red eléctrica y el costo de facturación de cada usuario. A continuación en la Fig. 3 se detalla el proceso a emplearse en la investigación:

- De las metodologías de programación matemática, se enfatiza para esta investigación los métodos heurísticos y meta heurísticos de optimización, para determinar un programa de hábitos de consumo para la disminución de tiempo de consumo. El algoritmo se puede aplicar para encontrar la hora óptima para utilizar algunos aparatos, basados en minimizar el tiempo de consumo.[2]
- Documentación exhaustiva acerca de la situación actual y de los estudios realizados a cerca del proyecto en desarrollo. Modelado de la demanda eléctrica servirá para observar las consecuencias de las diferentes posibilidades que se tendrán durante la simulación de la predicción.

- A partir de los escenarios trabajados, se realizarán los análisis de la demanda futura del consumo eléctrico mediante gráficas ilustrativas según los resultados obtenidos del modelamiento desarrollado por el software matemático.

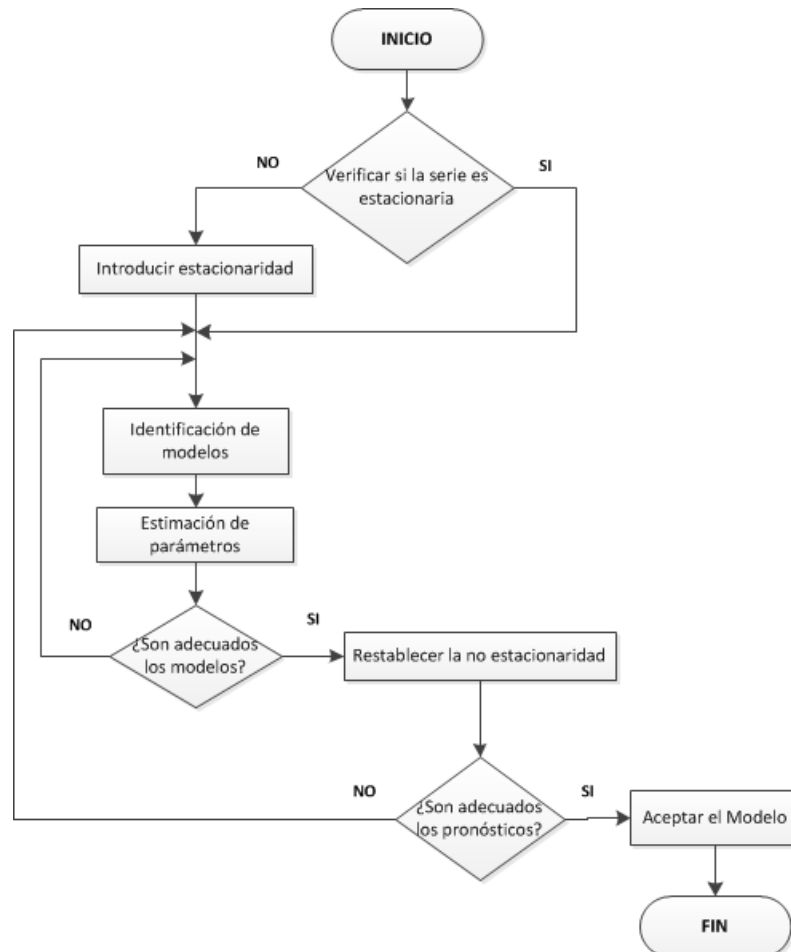


Fig. 3. Diagrama de flujo según el método ARIMA.

Fuente: Autor

4. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

La metodología aplicada en esta investigación está basada en un análisis de datos históricos de la demanda eléctrica residencial, obtenidos mediante la realización de encuestas a usuarios residenciales, acerca del hábito de consumo de sus aparatos eléctricos para lograr obtener una curva de demanda lo más real posible según el uso de aparatos eléctricos a nivel residencial. Entre los métodos para pronosticar el número de hogares ocupados destacan los métodos basados en la extrapolación de la densidad de los hogares y sobre la base de la comisión de gestión de los hogares.[17]

Métodos de modelación para la predicción de la demanda

Los modelados para la predicción de la demanda se pueden utilizar para establecer la generación de electricidad como oferta y demanda, fijando precios estables, para un cambio de carga según la respuesta de la demanda para un mejor desarrollo de la infraestructura.[12]

A lo largo de los años se han desarrollado varios métodos para desarrollar los modelos, estos métodos se pueden clasificar en pronóstico a corto plazo y a largo plazo, que depende de la naturaleza de los datos disponibles.

A. Predicción a corto plazo

- *Método de tendencia:* es posible la fácil disponibilidad de datos y el procesamiento rápido de la información. Varias herramientas comerciales disponibles.
- *Enfoque días similares:* esta característica es de alta precisión de las previsiones a corto plazo. Se pueden usar varias herramientas informáticas como pueden ser (RNAs, Fuzzy, SVM, etc.)

B. Predicción a largo plazo

- *Método de uso final.*- Adecuado para el pronóstico a largo plazo. Puede simular cambios en la demanda de las nuevas tecnologías se introducen o los patrones de consumo (por ejemplo, programas de eficiencia energética) de cambio.[12]

Modelo de regresión

Se utiliza una regresión lineal simple para el cálculo de tiempo atrás con medidas filtradas (número de días), debido a que el coeficiente de correlación Pearson es alto, en la Tabla 2 se muestra las medidas filtradas para cada regresión lineal.[1]

Tabla 2. Regresiones lineales de cada medida filtrada.

Variable independiente	Función de regresión lineal simple
Medida filtrada de 7 días	Y=1,017X-0,081
Medida filtrada de 15 días	Y=1,015X-0,151
Medida filtrada de 1 mes	Y=1,046X-0,341

Modelo estacional ARIMA

Un modelo ARIMA tiene auto correlación con rezagos de otros valores y estacionarios, que puede ser expresado como: AR (auto correlación) con polinomio característico $\phi_p(B^g)\varphi(B)$; y MA (Media móvil), con polinomio característico $\psi_q(B^g)\theta(B)$. Donde B es el operador de desplazamiento hacia atrás $By_t = y_{t-1}$, $B^g y_t = y_{t-g}$. En la ecuación (1) se expresa el modelo estacionario ARIMA.[16]

$$\left\{ \begin{array}{l} \phi_p(B^g)\varphi(B)(1 - B^g)^D(1 - B)^d y_t = \psi_q(B^g)\theta(B)g_t \\ \phi_p(B^g) = 1 - \phi_1 B^g - \phi_2 B^{2g} \dots \dots \dots \phi_p B^{Pg} \\ \varphi(B) = 1 - \varphi_1 B - \varphi_2 B^2 \dots \dots \dots \varphi_p B^P \\ \psi_q(B^g) = 1 - \psi_1 B^g - \psi_2 B^{2g} \dots \dots \dots \psi_p B^{Qg} \\ \theta(B) = 1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 \dots \dots \dots \varphi_q B^q \end{array} \right. \quad (1)$$

Se requiere de algunos pasos para encontrar el modelo adecuado para las series de tiempo estacional que son:

1. Transformación de la serie temporal original: se realiza la transformación con Box-Cox, que es una herramienta útil para cambiar el estado de no estacionario causado por la varianza, basándose en la función normal de la probabilidad, con la expresión(2) se calcula la probabilidad logarítmica de la serie original (y), que será sustituida por lambda (λ).[8]

$$g(y) = \begin{cases} \frac{y^\lambda - 1}{\lambda}, & \lambda \neq 0 \\ \log(y), & \lambda = 0 \end{cases} \quad (2)$$

2. Identificación del modelo: elección de valores apropiados para los parámetros no estacionales.
3. Modelo de montaje y diagnóstico: estimaciones de parámetros para la serie de tiempo.
4. Modelo de predicción y evaluación: aquí se puede evaluar la precisión de las predicciones comprobando que se encuentre dentro de los límites de predicción y el cálculo del porcentaje de desviación absoluta

Series de Tiempo

Una serie de tiempo se puede definir como una lista de estados temporalmente ordenados uno detrás de otro.[18] El principal objetivo de las series de tiempo está en su análisis para realizar pronósticos, fundamentado en una secuencia de observaciones que son medidas en determinados tiempos ordenados cronológicamente, logrando una dependencia entre los datos.[8]

El estudio de las series de tiempo se basa en la suposición de que, los valores que toma una observación son efecto de la actuación conjunta de sus componentes, es decir que si la información no se conoce, para construir un modelo se pueden utilizar los valores pasados de la misma serie.[19]

- componente tendencia: donde puede ocurrir un cambio a largo plazo de la media o nivel medio.
- componente estacional: o también llamado desestacionalización de la serie, donde se puede presentar variación de ciertos períodos (semanal, mensual, semestral, etc.) según la tradición de cada pueblo o ciudad, estos efectos son medibles para determinar si estos datos son confiables en la serie de datos.
- componente aleatoria: es el resultado de factores fortuitos que incurren de forma aislada en una serie de tiempo.
- Componente cíclica: en cualquier patrón regular de secuencia que se encuentre por encima o por debajo de la recta de tendencia y que puede durar más de un año.

- Componente irregular: esta es el residuo de la serie de tiempo si se eliminara las componentes de tendencia, estacional y cíclica.[19]

Para un fenómeno que muestra dependencia temporal, resulta factible recoger información sobre su evolución a lo largo del tiempo y detectar algún modelo de regularidad que muestran los datos. Si se desea explicar el comportamiento de estas variables, se puede plantear la ecuación (3) como modelo de series temporales:

$$Y_t = f(Y_{t-1}, Y_{t-2}, \dots) \quad (3)$$

A. *Ventajas de las series de tiempo*

- No siempre se dispone de datos de variables externas o información exógena.
- La predicción de los valores de las variables exógenas
- Presenta niveles de desagregación temporal elevados como datos: semestrales, mensuales, semanales, diarios, etc. Donde es más fácil construir un modelo de series temporales.
- Las series temporales se definen como un caso particular de los procesos estocásticos.
- En una serie de tiempo estacionaria, su media, su varianza y su auto covarianza permanecen iguales sin importar el momento en el cual se midan; es decir, son invariantes respecto al tiempo.
- Las series de tiempo pueden eliminar el ruido de la serie inicial, debido a que el análisis estadístico capta los retardos de las variables que influyen como respuesta de la serie de tiempo.[8]

B. *Limitaciones de las series de tiempo*

- La precisión de un modelo econométrico puede ser más eficiente que un modelo de series temporales, por lo tanto más útil.
- Los modelos econométricos permiten conocer la forma en que la variable de interés se relaciona con las variables exógenas; siendo el principal objetivo de análisis, como por ejemplo la estimación de una elasticidad.
- Carecen de sistemas de tratamiento de información automáticos, que se generan debido a la gran cantidad de datos.

- Dificultades en el marco del método de regresión para la estimación con variables retardadas (especialmente con la variable endógena retardada, medida en instantes anteriores).
- En los métodos clásicos tienen la desventaja que se adaptan a través del tiempo, lo que implica que el proceso de estimación debe volver a iniciarse frente al conocimiento de un nuevo dato.

C. Clasificación de las series de tiempo

- Serie de tiempo estacionaria: es cuando una serie es estable en todo el tiempo, con la media y la varianza constante en el tiempo.[11]
- Serie de tiempo no estacionaria: en estas series la tendencia y variabilidad cambian en el tiempo, por lo cual la media tiende a crecer o decrecer, porque la serie no oscila alrededor de un valor constante en el tiempo.

MODELAMIENTO DE LA DEMANDA ELÉCTRICA RESIDENCIAL

Método de pronóstico estático por Series de Tiempo

Para la aplicación del método estático, la demanda histórica observada debe tener una tendencia y un componente estacional identificable, donde las formas de cálculo del componente sistemático contiene:

- **Multiplicativo:** Componente Sistemático = nivel \times tendencia \times factor estacional
- **Aditivo:** Componente Sistemático = nivel + tendencia + factor estacional
- **Mixto:** Componente Sistemático = (nivel + tendencia) \times factor estacional

Para determinar la demanda futura se utiliza el componente sistemático mixto, en base a la expresión (4), dónde F_t es la demanda futura, L es el nivel, T es la tendencia, S_{t+l} es el factor de estacionalidad.

$$F_{t+l} = [L_t + lT]S_{t+l} \quad (4)$$

Pasos para estimar la de manda por Método Estático

Para determinar la demanda por método estático se tiene cuatro pasos:

1. Determinar la desestacionalización de la Demanda Real Observada. Con la ecuación(5) se determinará el comportamiento de la demanda en el tiempo sin considerar los valores pico ya que está relacionado con una estacionalidad.

$$D_{t \text{ desest}} = \frac{D_{t-(\frac{p}{2})} + D_{t+(\frac{p}{2})} + 2 \left(\sum_{t+1+(\frac{p}{2})}^{t-1+(\frac{p}{2})} D_i \right)}{2p} \quad (5)$$

Dónde p periodicidad en que se repite el ciclo estacional, $D_{t \text{ desest}}$ es la demanda desestacionalizada, D_t es la demanda actual.

2. Estimar el nivel y la tendencia por el método de regresión lineal para determinar el intercepto y la pendiente en la ecuación de la recta con la ayuda del análisis de datos de Excel mostrada en la Tabla 3. Con la expresión (6) se puede determinar la demanda desestacionalizada en todos los periodos.

$$D_{t \text{ desest}} = L + Tt \quad (6)$$

Tabla 3. Regresión Lineal en análisis de datos de Excel.

Estadísticas de la regresión								
Coefficiente de	0,596813							
Coefficiente de	0,356186							
R^2 ajustado	0,326922							
Error típico	6,66227							
Observaciones	24							
ANÁLISIS DE VARIANZA								
Grados de libertad de cuadrado de los cuadrados								
F								
Valor crítico de F								
Regresión	1	540,236849	540,236849	12,171	0,0021			
Residuos	22	976,488556	44,3858434					
Total	23	1516,72541						
Coeficiente								
Error típico								
Estadístico t								
Probabilidad inferior 95%								
Superior 95%								
Inferior 95,0%								
Superior 95,0%								
Intercepción	165,8375	3,88059572	42,7350593	1E-22	157,79	173,89	157,789625	173,8853509
Variable X 1	0,685399	0,19645963	3,48875011	0,0021	0,278	1,0928	0,277966218	1,092830883

Fuente: Autor

- Estimar los factores estacionales, donde el promedio de factores estacionales similares donde inicia, continua y finaliza el ciclo se muestra en (7), además con la ecuación (8) se estima los factores de estacionalidad para hasta cuando se desee el periodo futuro con la sumatoria donde se repite ese ciclo entre el r número de periodos donde el ciclo es similar.

$$S_t = \frac{D_{Real\ Obs}}{D_t\ Desest} \quad (7)$$

$$S_{t+1} = \frac{\sum S_t}{r} \quad (8)$$

- Hacer el pronóstico para el periodo futuro deseado con la ecuación (4). En este trabajo se utilizó datos de lectura de energía consumida de tres años atrás desde el 2015 hasta 2012, datos obtenidos de un suministro residencial mostrados en la Tabla 4, en intervalos de meses.

Tabla 4. Lectura de consumo de medidor Residencial.

año		meses	periodo	DEMANDA (kWh)
2012	0	noviembre	1	170
2012	0	diciembre	2	156
2013	1	enero	3	188
2013	1	febrero	4	155
2013	1	marzo	5	188
2013	1	abril	6	183
2013	1	mayo	7	220
2013	1	junio	8	190
2013	1	julio	9	168
2013	1	agosto	10	152
2013	1	septiembre	11	154
2013	1	octubre	12	220
2013	1	noviembre	13	193
2013	1	diciembre	14	163
2014	2	enero	15	164
2014	2	febrero	16	152
2014	2	marzo	17	138
2014	2	abril	18	162
2014	2	mayo	19	198
2014	2	junio	20	143
2014	2	julio	21	150
2014	2	agosto	22	190
2014	2	septiembre	23	197
2014	2	octubre	24	240
2014	2	noviembre	25	176
2014	2	diciembre	26	160
2015	3	enero	27	194
2015	3	febrero	28	176
2015	3	marzo	29	177
2015	3	abril	30	188
2015	3	mayo	31	193
2015	3	junio	32	197
2015	3	julio	33	243
2015	3	agosto	34	190
2015	3	septiembre	35	219
2015	3	octubre	36	245

Fuente: Empresa Eléctrica Quito, departamento de Comercialización.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para realizar la simulación de la predicción de la demanda se utilizó el software matemático MATLAB para determinar las gráficas de la demanda por años históricos y la predicción de la demanda. En la Fig. 4 se muestra la demanda de consumo de cada año desde el 2013, donde también se realiza una comparación de las tres demandas para el posterior cálculo de la predicción de la demanda 2016.

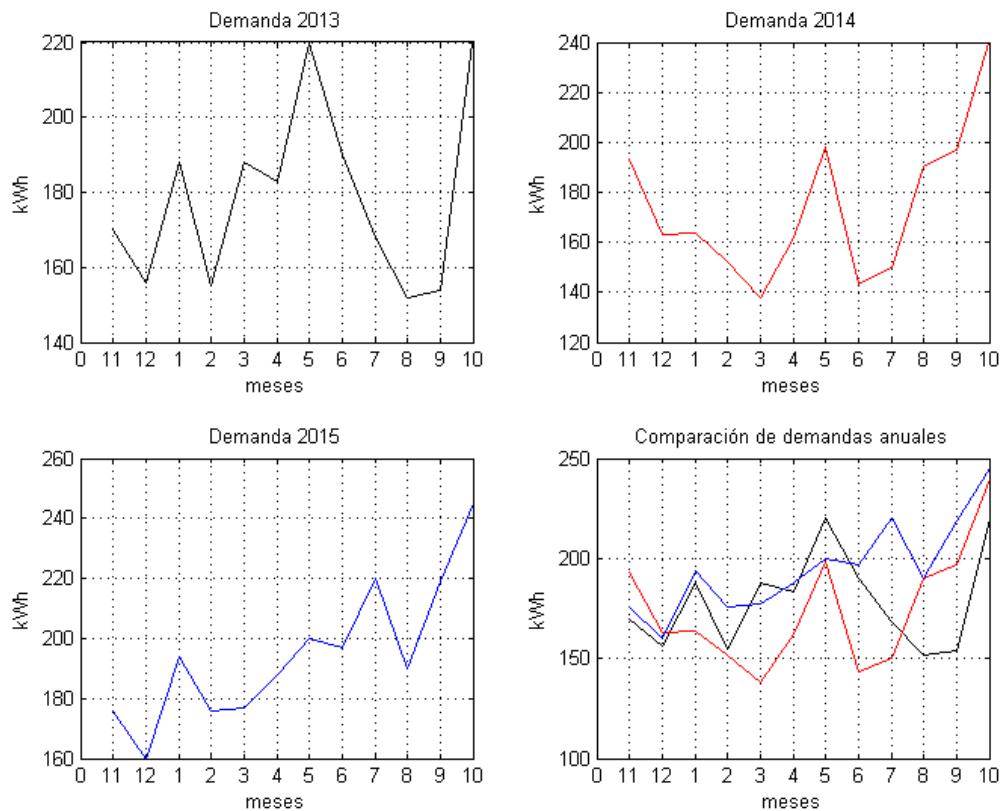


Fig. 4. Comparación de demandas individuales en Matlab.

Fuente: Autor

Para la predicción de la demanda futura se toma en cuenta los coeficientes de nivel y tendencia analizados en Excel mostrados en la Tabla 3, para luego aplicar la ecuación (7) con la cual se determina la recta de tendencia y los factores de estacionalidad con la ecuación (8)

Finalmente se realizar la predicción del año 2016 con la ecuación(4), y se genera la Tabla 5 con el pronóstico de datos para la predicción de la demanda.

Tabla 5. Pronóstico de datos para la predicción de la demanda.

Año		Mes	periodo	Demanda Desestacional o Tendencia	PRONÓSTICO (kWh)
2.015	4	noviembre	37	191	197
2.015	4	diciembre	38	192	175
2.016	4	enero	39	193	199
2.016	4	febrero	40	193	176
2.016	4	marzo	41	194	184
2.016	4	abril	42	195	194
2.016	4	mayo	43	195	226
2.016	4	junio	44	196	193
2.016	4	julio	45	197	195
2.016	4	agosto	46	197	193
2.016	4	septiembre	47	198	206
2.016	4	octubre	48	199	256

Fuente: Autor

La respectiva gráfica de predicción de la demanda futura se muestra en la Fig. 5 y Fig. 6, donde el consumo máximo aumenta a 256 kWh en comparación con el consumo del año anterior que era de 245 kWh.

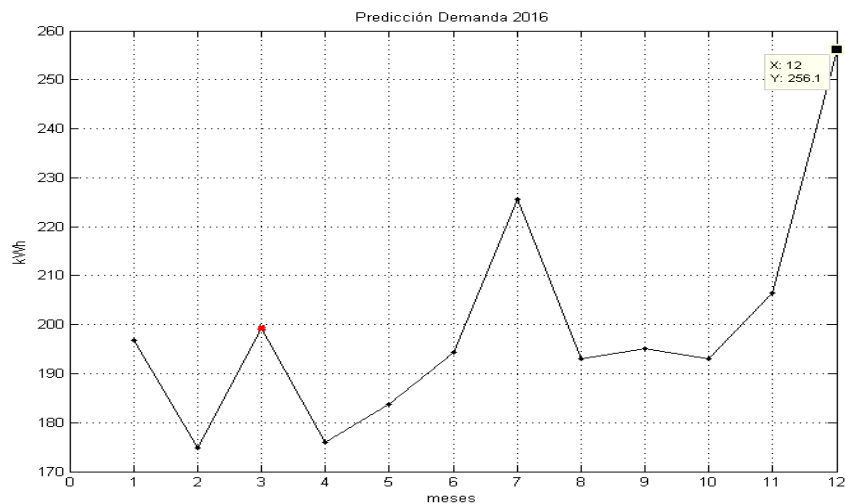


Fig. 5. Predicción de la demanda al 2016 en Matlab.

Fuente: Autor

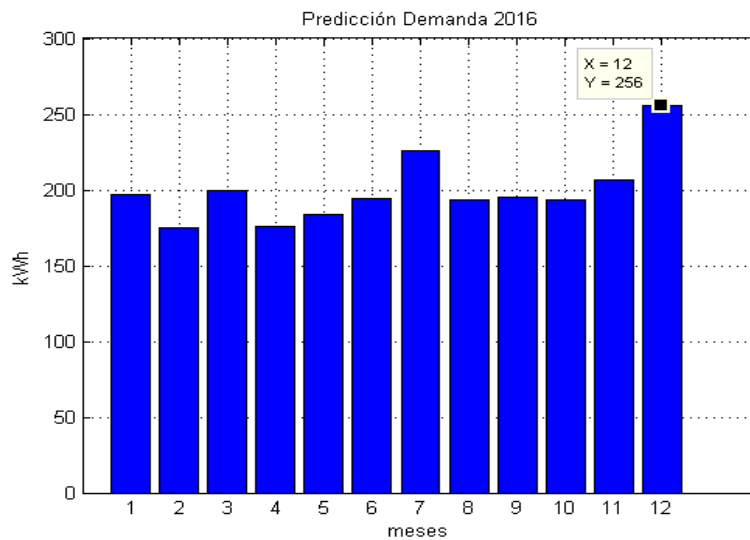


Fig. 6. Diagrama de barra de la predicción de la demanda 2016.

Fuente: Autor

A lo largo de los años la tendencia incrementa y por consiguiente la demanda crece, esto debido al incremento de electrodomésticos y la innovación tecnológica. En la Fig. 7 se muestra como las demandas incrementan, esto se debe a que según el usuario encuestado, su vivienda estuvo en constante remodelación por estos últimos años.

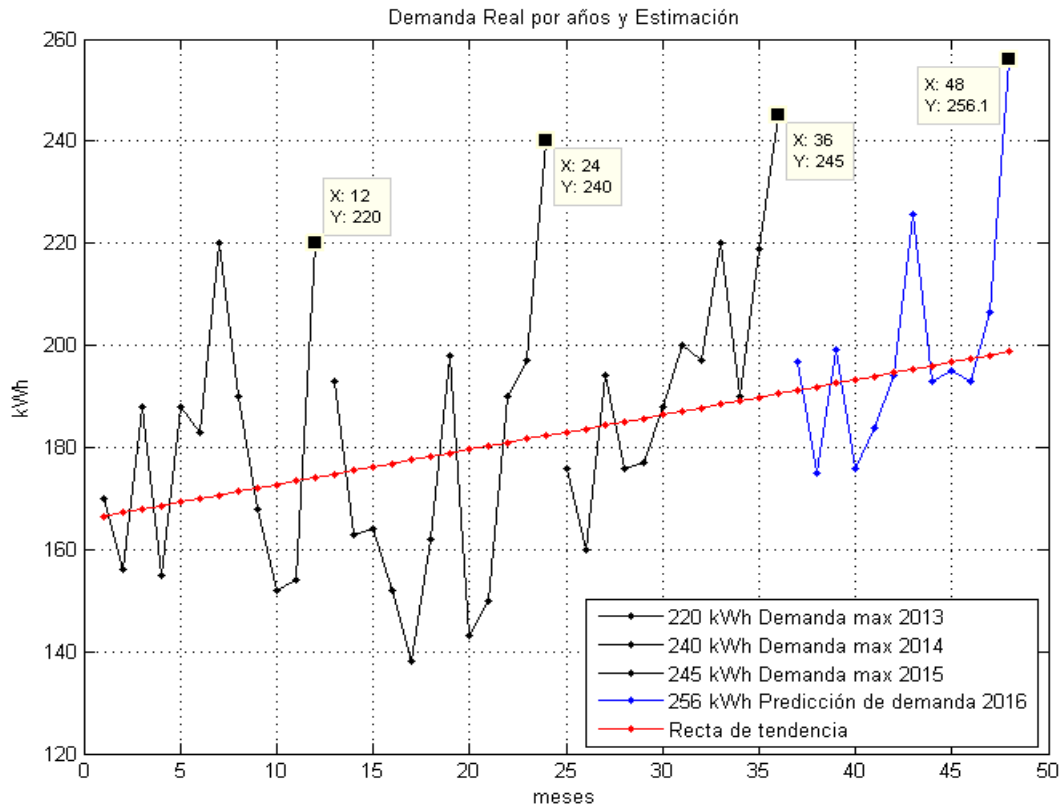


Fig. 7. Demanda Real por años y Predicción.

Fuente: Autor

La predicción de la demanda tiene una demanda creciente como se muestra en la Fig. 8 y Fig. 9, de donde se describe los componentes principales de la serie de tiempo.

- *Tendencia:* se ilustra con una línea de color rojo obtenida con la ecuación (5), llevando una correlación con los datos de la gráfica principal de demanda incluyendo la predicción.
- *Estacionalidad:* se puede observar que cada año tiene un patrón a seguir por lo cual es una gráfica con periodo que depende de su tendencia creciente en el tiempo.
- *Autocorrelación:* como se puede observar el la Fig. 8 existe una correlación entre los datos de cada año, que es la tendencia porque existe relación de incremento mensual, es decir depende de los datos anteriores. También se puede apreciar que existe una estacionalidad.

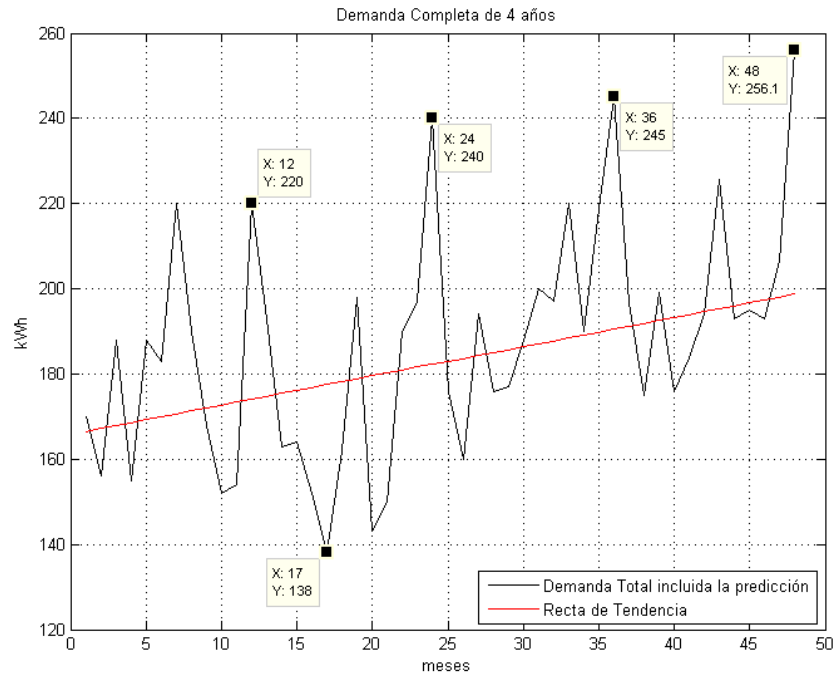


Fig. 8. Demanda Eléctrica Residencia Completa.

Fuente: Autor

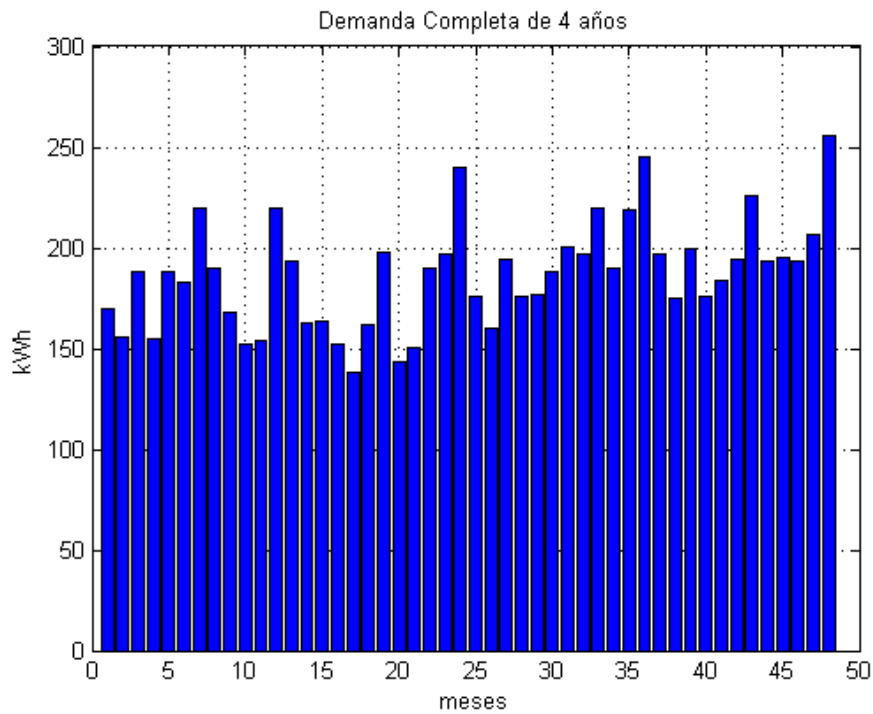


Fig. 9. Diagrama de barras de la Demanda Residencial total.

Fuente: Autor

Optimización de la demanda eléctrica residencial

El objetivo es la reducción del pico de la demanda y el costo que paga el consumidor. Según la función objetivo permitirá reducir el pico de demanda

$$f \rightarrow \min \sum_{j=1}^m S_j(P, T) \quad (9)$$

Donde, T es el tiempo de desconexión de los aparatos, P es la potencia de cada equipo, j representa el número de clientes.[20]

La optimización se basa en la curva de demanda generada por el método de simulación de series de tiempo, la cual se basa en el nivel máximo de demanda del usuario, minimizando la demanda de energía y maximizando la energía en la red de distribución, manteniendo equilibrada la curva de demanda en el transcurso del día. Una curva de carga ejemplar de un solo cliente para un día se muestra en la Fig. 10.

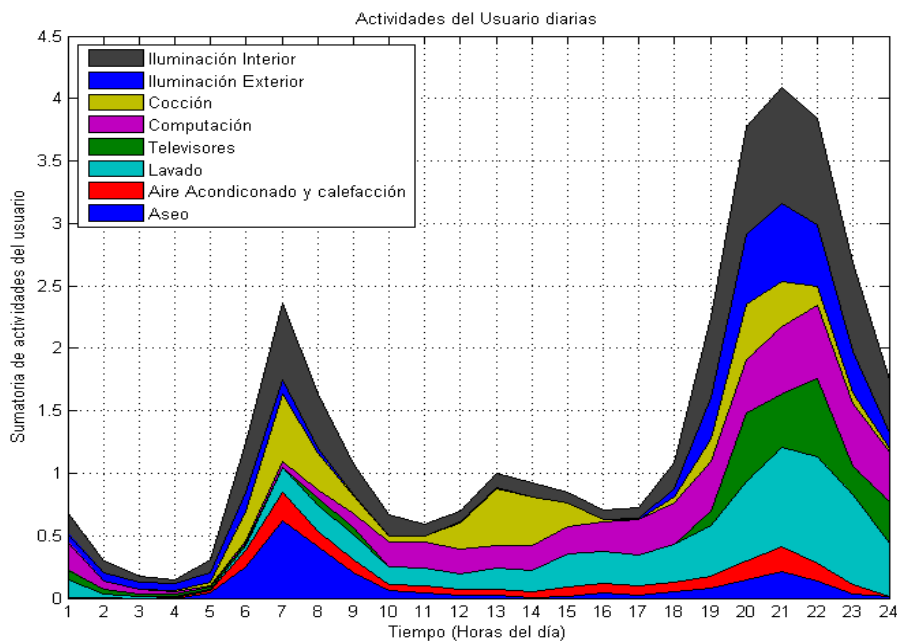


Fig. 10. Uso de aparatos eléctricos según los hábitos del usuario.

Fuente: Autor

Los picos altos de consumo de energía se deben a que el consumo se relaciona con el calentamiento de agua o preparación de comidas, debido a estos consumos, la curva de demanda depende de muchos aparatos en uso.[21]

A. Solución dada mediante

Para lograr una optimización se requiere la implementación de programas de respuesta de la demanda como se muestra en la Fig. 1 y la gestión de energía de electrodomésticos desarrollando una planificación de encendido de electrodomésticos para minimizar el pico de carga de la demanda residencial para obtener una máxima comodidad y eficiencia energética. Por lo cual se mostrado en la Fig. 11 una simulación de optimización si se considera lo antes mencionado.

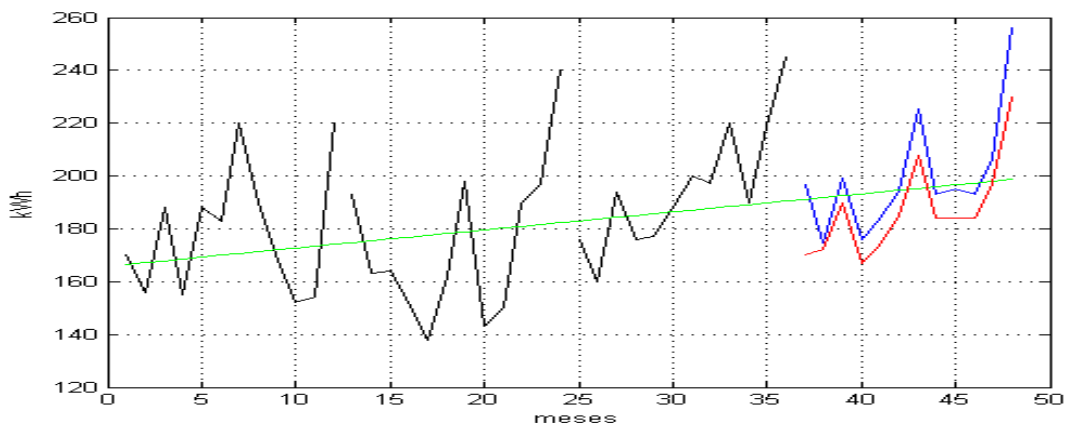


Fig. 11. Simulación de optimización de la predicción.

Fuente: Autor

5. RESULTADOS ESPERADOS DE LA INVESTIGACIÓN

1. Modelo matemático que represente y solucione el problema planteado.
2. Modelo de optimización bajo escenarios Heurísticos.
3. Heurística que tenga en cuenta los diferentes escenarios para el despliegue de una predicción de la demanda eléctrica residencial

6. MEDIO O FORMA PARA LA PUBLICACIÓN DE LOS RESULTADOS ESPERADOS

Para la publicación de resultados se plantea las siguientes:

1. Entrega del documento escrito final a la biblioteca UPS como resultado del proyecto de investigación.
2. Publicaciones científicas de Ingeniería Eléctrica.

7. GRUPOS BENEFICIADOS CON LA INVESTIGACIÓN

La investigación tiene como resultado beneficiar a los siguientes sectores:

1. Estudiantes de la Universidad Politécnica Salesiana.
2. Grupos de investigación relacionados con la investigación
3. Sectores públicos y privados relacionados al tema de investigación

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los datos obtenidos de la Empresa Eléctrica Quito tienen una gran similitud en cada mes de cada año, con lo cual se pudo obtener una tendencia creciente.

El modelamiento aplicado resulto eficiente al momento de predecir los datos de pronósticos ya que genera una media móvil para lograr extender la tendencia y obtener supuestos valores.

Debido a la variación de la demanda eléctrica en función del tiempo, el método de predicción por series de tiempo tiene la necesidad de analizar el comportamiento del pasado para obtener variaciones y poder predecir valores futuros de demanda.

Para construir los modelos se requieren series de tiempo largas, es decir que tenga en las series varias repeticiones de los patrones existentes, para poder recuperar, limpiar y mantener las series o base de datos.

La demanda de energía eléctrica se comporta como una serie de tiempo no estacionaria, por lo cual se propone para futuras investigaciones, el desarrollo de un sistema inteligente de lectura de datos disponibles en tiempo real, para mejorar la precisión de la predicción de la demanda.

En la optimización, cualquier modelo puede ser óptimo dependiendo de algunas temporadas del año, porque los datos pueden variar y dicho modelo resulta ser inútil, por lo cual se recomienda volver a recalcular la previsión para lograr una optimización.

9. REFERENCIAS

- [1] P. C. Minoristas, “OPTIMIZACIÓN DE UN MODELO DE PREVISIÓN DE DEMANDA ELÉCTRICA PARA CLIENTES MINORISTAS,” 2011.
- [2] P. A. Velásquez-restrepo, A. K. Rodríguez-quintero, and J. S. Jaén-posada, “Metodologías cuantitativas para la optimización del servicio de urgencias : una Quantitative methodology for emergency service optimization : a review of past literature Metodologias quantitativas para otimizaco do serviço de urgncias : uma revisão da l,” vol. 10, no. 21, pp. 196–218, 2011.
- [3] A. K. Jain, S. C. Srivastava, S. Member, and S. N. Singh, “Demand Responsive Bidding Strategy of a Buyer in Uniform Price Electricity Market,” 2011.
- [4] Esteban Mauricio Inga Ortega, “Redes de Comunicacion en Smart Grid,” *Ingenius Rev. Cienc. y Tecnol.*, vol. 7, pp. 36 – 55, Jun. 2012.
- [5] C. Ep-transelectric, “XXIX SEMINARIO NACIONAL DEL SECTOR ELÉCTRICO MACHALA , MAYO 2014,” pp. 1–19, 2014.
- [6] Consejo Nacional de Electricidad, “ESTUDIO Y GESTIÓN DE LA DEMANDA ELÉCTRICA,” *PLAN Maest. Electríf. 2013 - 2022*, vol. 2, p. 29, 2013.
- [7] J. Unal, E. D. U. Co, C. Unal, and H. Unalmed, “Un modelo no lineal para la predicción de la demanda mensual de electricidad en colombia.”
- [8] H. A. Ezequiel Uriel, Espasa Antoni, José Ramon, “ANÁLISIS DE SERIES DE TIEMPO,” 1993, p. 1.
- [9] I. I. Alejandro Antuña Molina, “DESARROLLO DE UN MODELO DE PREVISIÓN DE LA DEMANDA ELÉCTRICA MINORISTA,” 2013.
- [10] L. Berrío, C. Zuluaga, and A. R. D. Á. Doméstica, “Concepts , Standards and Communication Technologies in Smart Grid,” 2012.
- [11] P. J. Villavicencio, “Introducción a Series de Tiempo,” in *Metodologa de series de tiempo*, 1st ed., España, 2010, p. 4.
- [12] I. Conference, A. E. Icaea, J. Campillo, F. Wallin, D. Torstensson, and S. Development, “Energy Demand Model Design For Forecasting Electricity Consumption And Simulating Demand Response Scenarios In Sweden,” 2012.
- [13] W. Shi, S. Member, N. Li, and X. Xie, “Optimal Residential Demand Response in Distribution Networks,” vol. 32, no. 7, pp. 1441–1450, 2014.
- [14] M. C. Bozchalui, S. A. Hashmi, and S. Member, “Optimal Operation of Residential Energy Hubs in Smart Grids,” pp. 1–12, 2012.

- [15] Y.-H. Hsiao, "Household Electricity Demand Forecast Based on Context Information and User Daily Schedule Analysis From Meter Data," *IEEE Trans. Ind. Informatics*, vol. 11, no. 1, pp. 33–43, Feb. 2015.
- [16] W. Li-Yao and Y. Feng-Mao, "Using Seasonal Time Series Analysis to Predict China's Demand of Electricity," *2013 Int. Conf. Comput. Inf. Sci.*, pp. 76–79, Jun. 2013.
- [17] J. F. M. Pessanha and N. Leon, "Long-term forecasting of household and residential electric customers in Brazil," vol. 10, no. 2, pp. 1537–1543, 2012.
- [18] J. Ma, "State-based Time-Series Analysis and Prediction," *Eighth ACIS Int. Conf. Softw. Eng. Artif. Intell. Networking, Parallel/Distributed Comput. (SNPD 2007)*, pp. 227–232, Jul. 2007.
- [19] S. Mohammadi, H. Keivani, M. Bakhshi, A. Mohammadi, M. R. Askari, and F. Kavehnia, "DEMAND FORECASTING USING TIME SERIES MODELLING AND ANFIS ESTIMATOR," pp. 333–337.
- [20] Z. Wang, S. Member, R. Paranjape, and Z. Chen, "RESIDENTIAL DEMAND RESPONSE : AN OVERVIEW OF RECENT SIMULATION AND MODELING APPLICATIONS," 2013.
- [21] J. Dickert and P. Schegner, "A time series probabilistic synthetic load curve model for residential customers," *2011 IEEE Trondheim PowerTech*, no. September, pp. 1–6, Jun. 2011.