

GESTIÓN Y OPTIMIZACIÓN DEL  
CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA  
RESIDENCIAL USANDO SERIES DE  
TIEMPO



# GESTIÓN Y OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA RESIDENCIAL USANDO SERIES DE TIEMPO

Carlos Alfredo Vicente Sarango  
Egresado de la Carrera de Ingeniería Eléctrica  
Facultad de Ingenierías  
Universidad Politécnica Salesiana

*Dirigido por:*  
Edwin Marcelo García Torres  
Facultad de Ingenierías  
Universidad Politécnica Salesiana



Quito - Ecuador

Carlos Alfredo Vicente Sarango

**GESTIÓN Y OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA  
RESIDENCIAL USANDO SERIES DE TIEMPO**

Universidad Politécnica Salesiana  
Ingeniería Eléctrica

Breve reseña historia e información de contacto:



**Carlos Alfredo Vicente Sarango** (Y'1990-M'06). Nació en Quito, Ecuador, se graduó de Bachiller Técnico Industrial, especialidad en Electricidad del Instituto Tecnológico Superior "Central Técnico" de Quito. Egresado de la Carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana. Su trabajo se basa en el estudio de la estimación y gestión de la demanda de energía eléctrica residencial. En la actualidad trabaja en diseño, control y supervisión de proyectos eléctricos para el sector público y privado.

[cvicente@est.ups.edu.ec](mailto:cvicente@est.ups.edu.ec)

Dirigido por:



**Marcelo García** (A'1978-M'10). 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 en la Universidad Técnica de Cotopaxi. Es profesor e investigador de la Universidad Politécnica salesiana – Quito, Ecuador. En la actualidad es miembro del Grupo de Investigación en Redes Eléctricas Inteligentes-GIREI  
[egarcia@ups.edu.ec](mailto: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.**

*Dedico este trabajo primeramente a Dios, quien me ayuda en mi diario vivir, me da las fuerzas necesarias y guía mi camino para ser mejor cada día. De manera muy especial con todo mi corazón quiero dedicar y dar gracias a mi madre Carmen Sarango, gracias a ella existo, con sus desvelos y gran cariño hicieron de mí una gran persona, y a mi padre Segundo Vicente que en todo momento es mi fuente de inspiración, su apoyo incondicional hacen que tome grandes decisiones para mi futuro así que me siento orgulloso de él, a mis hermanas Paola y Cecilia ellas con su ejemplo y preocupación por mi han hecho posible que en este momento y siempre sean la fuente de motivación para salir adelante, dedico a toda mi familia y amigos que directa o indirectamente apoyaron y creyeron en mí a todo momento y ahora se encuentra reflejado el esfuerzo en esta nueva meta alcanzada, para todos esto es gracias a ustedes!...*

## **AGRADECIMIENTO.**

*Quiero expresar mis más sinceros agradecimientos a la Universidad Politécnica Salesiana, mi segunda casa en donde aprendí y me forme en lo académico, personal, social y espiritual, y también de manera especial agradezco al Ing. Marcelo García que con su apoyo y conocimientos hicieron de este paso por la Universidad una experiencia llena de nuevos conocimientos.*

### **Cesión de derechos de autor**

Yo, Carlos Alfredo Vicente Sarango, con documento de identificación N° 172455938-8, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de grado/titulación intitulado: “Gestión y Optimización del Consumo de Energía Eléctrica Residencial usando Series de Tiempo ”, 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: Carlos Alfredo Vicente Sarango

Cédula: 172455938-8

Fecha: Diciembre del 2015

**Declaratoria de coautoría del docente tutor/a**

Yo, Edwin Marcelo García Torres declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación GESTIÓN Y OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA RESIDENCIAL USANDO SERIES DE TIEMPO realizado por Carlos Alfredo Vicente Sarango, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, Diciembre del 2015



Edwin Marcelo García Torres

Cédula de identidad: 180308740-0

## ***GLOSARIO***

### **A**

**ANÁLISIS DE DATOS:** Se entiende como análisis de datos a todo proceso que observa, entiende y transforma datos con el fin de resaltar de todo el contexto la información más útil para deducir opiniones, conclusiones o cualquier ayuda para mejora de algo.[1]

### **C**

**CARGA ELÉCTRICA:** Se considera carga eléctrica a uno o varios elementos que al estar conectados al sistema eléctrico de una red crean o demandan una potencia eléctrica. [2]

### **D**

**DEMANDA ELÉCTRICA:** Dentro de una generación eléctrica de un sistema, el fin con que se realiza esta generación es para dar utilidad a los usuarios finales, es decir la entrega de esta energía a los consumidores dentro de un tiempo definido o no definido se lo conoce como demanda eléctrica, esta tiene variación que puede tender a subir o bajar de acuerdo a las exigencias del consumidor o la capacidad de la generación.[3]

### **E**

**EFICIENCIA ENERGÉTICA:** Se define como las estrategias que ayudan a reducir el consumo de energía de algunos dispositivos o sistemas, con la restricción que no se vea afectada la calidad del servicio de los mismos.[3]

**ENERGÍA RENOVABLE:** Son todos los recursos que se encuentran presentes en la naturaleza y representan un grado no muy alto para la generación de energía eléctrica, tienen limitaciones para su accesibilidad, pero la ventaja sobre estas es que se las puede reutilizar, entre algunas tenemos la: biomasa, geotérmica, eólica, solar, mareomotriz, hidráulica.[4]

### **G**

**GENERACIÓN ELÉCTRICA:** Se considera la generación eléctrica a todo proceso por el cual una energía primaria de cualquier tipo es convertida mediante un método en energía eléctrica, por lo general esta generación se basa en máquinas giratorias que producen un campo magnético que es transformado en campo eléctrico y por ende en energía eléctrica.[5]

**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.[6][7]

**GESTIÓN:** Se refiere a la organización lógica y/o administración de actividades o procesos para llegar a obtener un resultado mejorado todo esto siguiendo normas y reglamento respectivos.

## O

**OPTIMIZACIÓN:** Se refiere a la consecuencia de analizar varias opciones con el fin de encontrar la mejor y más cómoda solución para minimizar un problema o maximizar una solución, se refiere a mejorar un elemento, proceso, variable, etc.[8]

## P

**PÉRDIDAS NO TÉCNICAS:** Abarca al consumo de energía eléctrica que no se puede controlar y que se consume sin beneficio alguno, esta energía no la puede facturar la empresa eléctrica, siendo la mayor parte de la pérdida en el proceso de generación, transporte y distribución al usuario final.[5]

## S

**SERIES DE TIEMPO:** Es un resultado que sale de observar y analizar los valores de una variable o grupo de variables en un intervalo de tiempo que puede ser definido o indefinido por el observador.[9]

**SMART HOME:** Llamado así ya que es un sistema inteligente con una plataforma de interconexión entre todos los aparatos de una casa, creando una base fuerte para el concepto de un nuevo ecosistema que brinde servicios a un hogar, su funcionamiento es similar a la de una Smart Grid.[10]

**SMART GRID:** Red eléctrica inteligente, sistema inteligente mediante el cual una red eléctrica tiene un comportamiento autónomo para dar respuestas con una alta eficiencia y confiabilidad energética.

**SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN:** Es un componente del ciclo de generación eléctrica y su funcionamiento de basa en el sistema eléctrico que está dedicado a la entrega de energía eléctrica al usuario final.[11]

## ***ÍNDICE GENERAL***

1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. ESTADO DEL ARTE.....	4
3. OBJETIVOS .....	6
OBJETIVO GENERAL.....	6
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	6
4. METODOLOGÍA .....	7
4.1. Estudio y Análisis de Predicción de la Demanda.....	7
5. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN .....	8
5.1 Predicción del Consumo de Energía Eléctrica Residencial. ....	8
5.2 Predicción del Consumo de Energía Eléctrica Residencial .....	12
5.3 Gestión y Optimización del Consumo Eléctrico Residencial .....	14
6. RESULTADOS ESPERADOS .....	17
7. ESTRATEGIA PARA LA DIVULGACIÓN DE LOS RESULTADOS .....	19
8. SECTORES BENEFICIADOS .....	19
9. CONCLUSIONES .....	20
10. RECOMENDACIONES .....	21
11. REFERENCIAS.....	22

## ***ÍNDICE DE FIGURAS***

Figura 1. Consumo energía eléctrica a nivel nacional por provincias .....	2
Figura 2. Demanda mensual de consumo de residencia tipo en kWh del periodo enero 2013 a noviembre 2015 .....	9
Figura 3. Curva de energía mensual en kWh del consumo en residencia tipo desde 2013 a 2015 .....	12
Figura 4. Curva de energía futura mensual en kWh del consumo en residencia tipo desde 2016 a 2018.....	13
Figura 5. Curva de consumo por actividades en residencia tipo durante un día normal. ....	14
Figura 6. Optimización generada con 140 [kWh] aplicando inserción de generación distribuida.....	18
Figura 7. Optimización generada con 160 [kWh] aplicando inserción de generación distribuida.....	18

## ***ÍNDICE DE TABLAS***

Tabla. 1. Resumen e Indicadores del Estado del Arte.....	4
Tabla 2. Tipos de cargas usadas en residencia modelo .....	10
Tabla 3. Regresión lineal para datos por análisis de serie de tiempo desde año 2013 al 2015.....	11

## ***TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN***

### ***GESTIÓN Y OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO ELÉCTRICO RESIDENCIAL USANDO SERIES DE TIEMPO***

#### ***RESUMEN DEL PROYECTO***

El aumento de la demanda eléctrica en el Ecuador es mayor con el paso de los años, este efecto causa un gran impacto en niveles de voltaje, corriente y frecuencia de los sistemas de Generación, Transmisión y Distribución, por esta razón la gestión y estimación de la demanda tienen gran importancia para combatir dicho impacto, con el avance de la tecnología en sistemas eléctricos; el mejoramiento de las redes eléctricas es primordial, por esta razón la presente investigación trata sobre la gestión de la demanda eléctrica, predicción por medio de series de tiempo y varias propuestas de optimización para minimizar el consumo de energía en sistemas residenciales con modelos generales existentes aplicables para mejorar el resultado requerido. Para la estimación de la demanda se presenta el uso de series de tiempo de pronóstico estático; todo esto con base en un sistema real de consumo en una residencia tipo, luego para la optimización del consumo de energía se propone el Control de Carga, aplicación de Generación Distribuida y la creación de un sistema inteligente Smart Home que ayude a gestionar el óptimo recurso en cierto tiempo para minimizar el consumo de energía eléctrica en la residencia, finalmente como resultado de esta investigación se busca una reducción al precio de la energía eléctrica, mejoramiento de la confiabilidad de las redes de distribución, minimizar las emisiones de CO<sub>2</sub>, y tener un uso eficiente de energía sin afectar el confort del usuario.

## ***ABSTRACT***

The increase of the electricity demand in Ecuador is getting bigger, this effect causes a great impact on levels of voltage, current and frequency systems Generation, Transmission and Distribution, for this reason the management and estimating demand have great importance to combat this impact, with the advance of technology in power systems; the improvement of electric networks is essential, for this reason this investigation is about the management of electricity demand, prediction through time series and several proposals for optimization to minimize energy consumption in residential systems with general models applicable to improve the required result. To estimate demand using static time series forecasting is presented; all this based on a real system of consumption in a typical residence, then to optimize the energy load control, application of distributed generation and the creation of a Smart Home intelligent system to help manage the optimal resource is proposed at one time to minimize energy consumption in residence, finally as a result of this investigation wanted a reduction in the price of electricity Wanted, improvement of the reliability of distribution networks, minimize CO<sub>2</sub> emissions, and have efficient use of energy without affecting the user comfort.

## ***1. INTRODUCCIÓN***

La electricidad se ha convertido en la actualidad para los países desarrollados en una forma de energía imprescindible y con infinidad de usos, debido a su gran versatilidad e inmediatez de su utilización en el punto de consumo. En el ámbito residencial se emplea para proporcionar toda clase de servicios, desde los más básicos hasta los asociados al entretenimiento y comodidades, de la misma forma, el uso de la electricidad está extendido en los ámbitos comercial e industrial. [12]

En la actualidad en todos los procesos de ámbito residencial, comercial e industrial es difícil reemplazar la energía eléctrica por otro tipo de energía para hacer trabajar dichas máquinas o procesos de la industria, esto afirma que la calidad de vida y el propio funcionamiento de las sociedades desarrolladas depende de forma significativa de la disponibilidad de la energía eléctrica.[13][14]

A través de la historia el uso de métodos de predicción para estimar un modelo de demanda eléctrica ha sido múltiple entre los cuales destacan los siguientes:

- Método de Montecarlo.
- Método de Cadenas de Markov.
- Método de Spline.
- Método por Series de Tiempo.

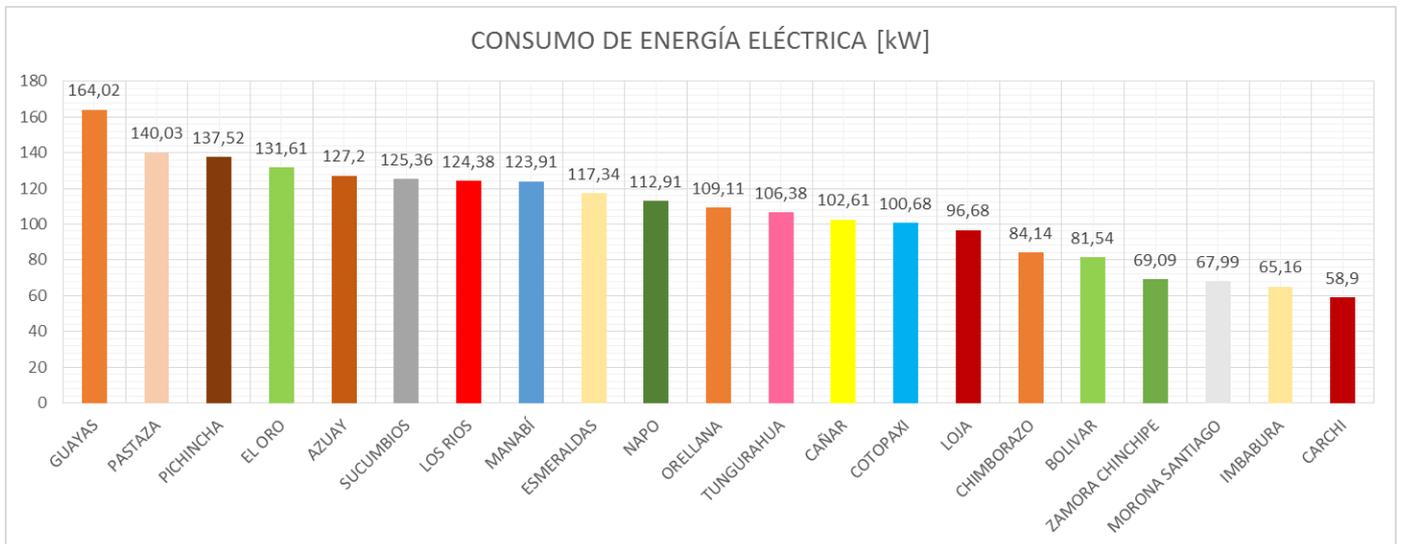
En nuestro país al ser uno de los más ricos en diversidad de climas y ambientes desde los más fríos hasta los más cálidos se ha convertido en uno de los primordiales para tener varias zonas en las cuales el consumo de energía depende necesariamente de las necesidades de cada usuario, por ejemplo en la región costa y oriente el uso de aire acondicionado es alto, en cambio en la región sierra el uso de calefones es considerable pero no a gran escala como en la costa u oriente.[15]

De tal forma de acuerdo con registros del INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos) en nuestro país existen provincias con alto consumo de energía eléctrica mensual, los cuales

son:

- Guayas con 164,02 kW
- Pastaza con 140,03 kW
- Pichincha con 137,52 kW
- El Oro con 131,61 kW
- Azuay con 127,20 kW

Las demás provincias tienen un margen de consumo entre 100 a 130 kW mensuales de acuerdo con la figura [16]



**Figura 1.** Consumo energía eléctrica a nivel nacional por provincias  
**Fuente:** Autor e INEC.

Para comenzar la presente investigación, se podría prestar atención en los usuarios residenciales para observar los diversos factores que se involucran al estimar la demanda futura, luego analizar los medios de predicción con los cuales se podría llevar a cabo esta investigación, una vez analizadas las formas de predicción se tuvo como resultado el uso de las series de tiempo para predecir la demanda futura en el periodo de 3 años con tendencia e incremento de consumo con cargas nuevas y la incursión de las cocinas de inducción.

Los valores de carga, demanda y curvas respectivas tuvieron una interacción entre sí para estimar dicha demanda mediante una serie de tiempo de nivel estático, la cual mediante cálculos matemáticos ayudó a dar valores predecibles en un futuro corto y de esta manera generar la curva de demanda futura, en la cual se aplicaría el corte de los picos de demanda

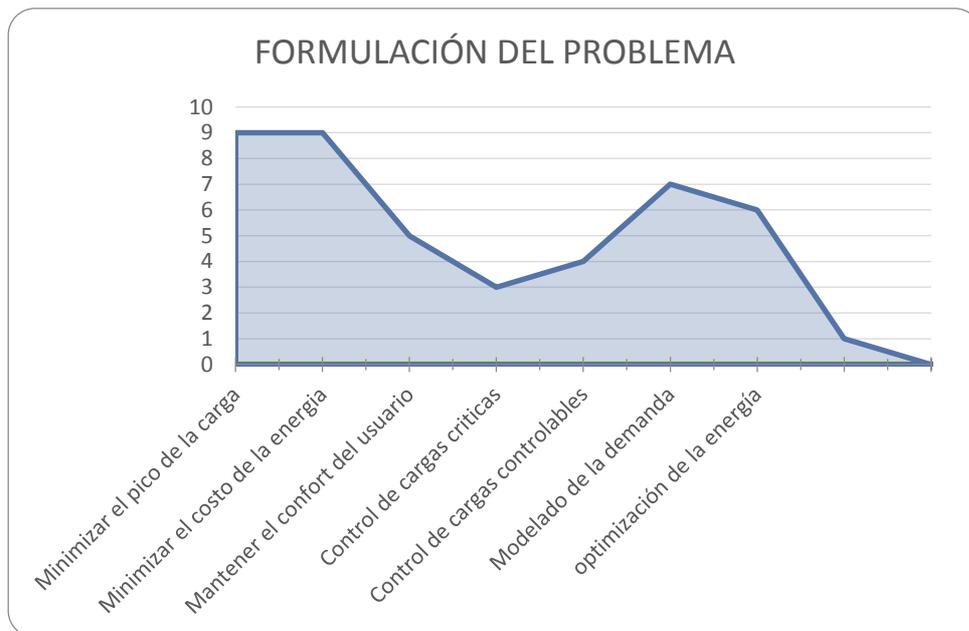
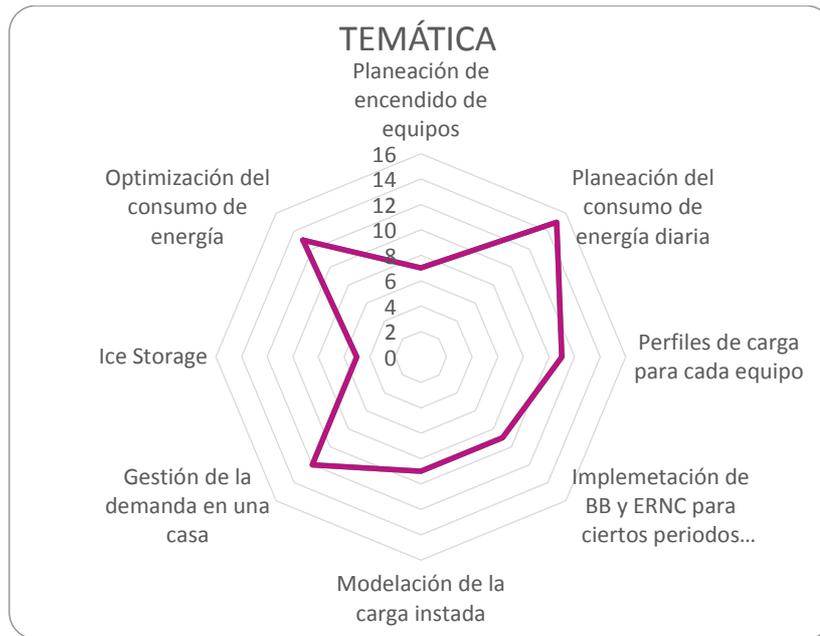
que se tiene dentro de un periodo de tiempo, estos picos son mayores preferentemente en las horas pico (demanda alta del día).[17]

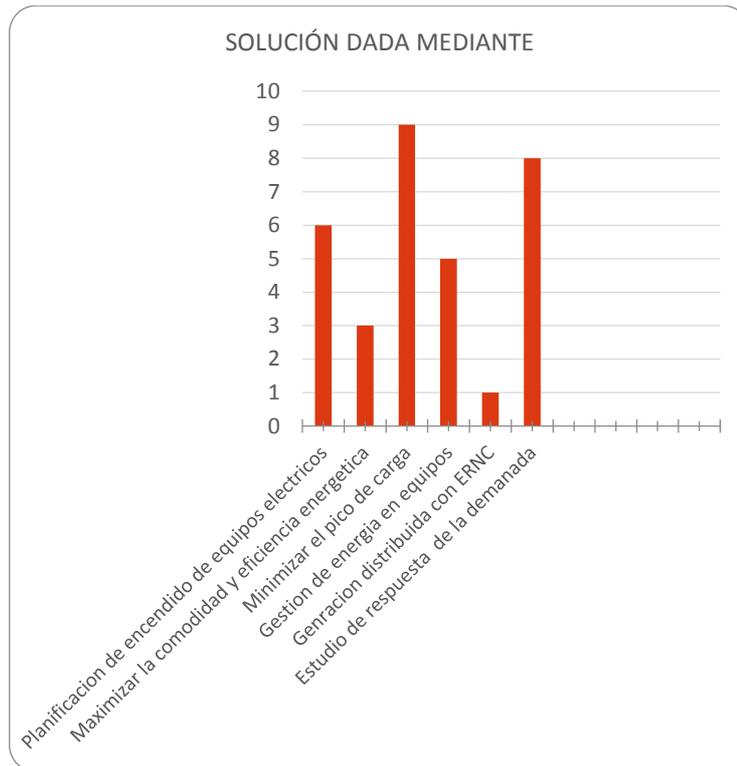
Dentro de la predicción de la demanda se tomó valores de cuantos kWh consume la residencia tipo durante un año y teniendo valores reales se tomó los del año 2013, 2014 y 2015 respectivamente, dichos datos se dividieron por meses y así se obtuvieron más valores para analizar el comportamiento del consumo de kWh del usuario residencial.

Al momento de obtener la demanda futura para un año, a los datos iniciales se añadieron las diversas cargas que posee y puede tener una residencia en el futuro, las cargas primero se clasificaron en tipos, forma de uso, y se evaluó si podría ser carga desplazable o no desplazable, con esto se comprueba que las cargas no desplazables deben estar siempre con energía y no se las puede restringir y, por el contrario, las cargas desplazables se las puede dar uso en otro momento del día, todo esto sin alterar el confort del usuario, que es lo primordial para esta investigación.

Finalmente la demanda obtenida se optimizó para dar lugar al ahorro de energía en la residencia, pero con la particularidad de que el incremento de artefactos eléctricos será un hecho, de tal modo que ciertas cargas deberían ser controladas para poder aliviar los picos de demanda, o de otra forma incluir la llamada Generación Distribuida (DG).







### 3. OBJETIVOS

#### **OBJETIVO GENERAL**

Optimizar la demanda de energía eléctrica en residencias haciendo uso de las series de tiempo para predecir la demanda futura y a través de una red Smart Home y la incursión de Generación Distribuida reducir el consumo de energía para el sector residencial.

#### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Establecer parámetros para el uso de los tipos de carga dentro de una residencia, por medio del sistema de optimización que ayude a predecir cuándo uso dicha carga, la desplazo o se da paso al uso de Generación Distribuida.
- Proponer un modelo de gestión de demanda para el uso de la energía en las cargas de acuerdo a un horario, teniendo en cuenta las horas pico, todo esto por un lapso de tiempo y analizando factores de tensión, corriente y frecuencia.

- Simular el modelo matemático de optimización de la demanda residencial partiendo de la demanda futura que se obtenga por medio de la series de tiempo.

#### **4. METODOLOGÍA**

##### ***4.1. Estudio y Análisis de Predicción de la Demanda***

En vista del incremento del escenario energético dentro del Ecuador las probabilidades de que un sistema sea lo más confiable posible demanda una gran generación de modelos o sistemas que ayuden a optimizar el consumo de energía; en consecuencia, a esta gran demanda que siempre estará en aumento en nuestro país, y tomando un factor importante que es un usuario residencial, se plantea en esta investigación minimizar el consumo de energía eléctrica que genera una residencia, por tanto se propone la inserción de pequeños micro controladores a manera de tomacorrientes y comandados por una Smart Home, para cortar o dejar funcionar una carga y así bajar los índices de demanda punta en los horarios pico.

Para llevar a cabo esto se determinó que por cada residencia se tiene un número de cargas, primero se clasifican los tipos de cargas que pueden ser cargas desplazables y no desplazables, luego de esto se realiza un tratamiento de datos mediante las series de tiempo de tipo estática para encontrar la curva que deduzca el comportamiento de la demanda en el futuro para dicha residencia.[18][7]

El siguiente paso para este trabajo fue la recopilación de paper (documentos científicos) de la IEEE y otros medios científicos, los cuales ayudaron a ver el estado del arte del avance de modelos de predicción y de optimización de la demanda residencial.

Dentro de los modelos de predicción se aprecian que para esta investigación es necesario la recopilación de datos históricos para crear un patrón que deduzca el comportamiento de la demanda, así que para ello se toman los datos de consumo mensual en [kWh] de una residencia del sector urbano.

Al tener en cuenta que la demanda residencial tiene un fuerte impacto en las redes de distribución primeramente se analiza los factores que intervienen en la predicción de la demanda, entre estos factores están:

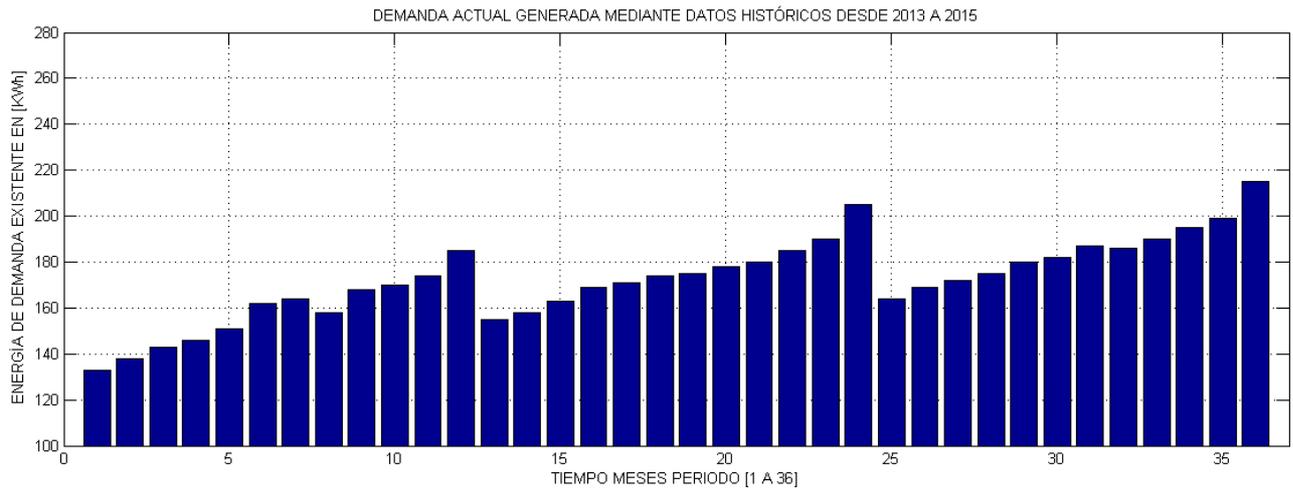
- Factores climáticos.[19]
- Factores sociales.[19]
- Factores económicos.[19]
- Factores indeterminados o catastros.[19]

Al ser parámetros que deben estar dentro del análisis de datos la hipótesis propuesta para esta investigación es enfocada en hacer uso de la energía eléctrica, pero con un óptimo uso de las cargas de una residencia y con la responsabilidad que esto conlleva. El modelo de optimización y simulación de esta investigación es la programación entera lineal y mixta, y será para reducir el consumo de energía eléctrica residencial de una casa tipo y además se pretende llevar al campo de los hechos la evaluación comparativa de casos teóricos con los posibles casos prácticos, que permitan a través de un sistema de gestión de las cargas en un escenario, tratar de generar o implementar negocios en venta y compra de excedentes a la empresa de distribución de energía por parte del individuo de posea en este caso un Sistema Híbrido o Generación Distribuida y orientados desde un solo sistema integrado para la gestión de la distribución Ecuatoriana.[1]

## **5. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN**

### ***5.1 Predicción del Consumo de Energía Eléctrica Residencial.***

Mediante la ayuda de software se creó una serie de datos en base a las planillas de pago de energía eléctrica de una residencia de tipo usuario C, estos son valores de [kWh] que consume mensualmente una residencia modelo, dentro de estos datos se pudo apreciar que los valores con más altos índices de consumo son los meses de noviembre y diciembre con un promedio que oscila entre los 190 a 240 [kWh] al mes, estos valores reflejan un alto consumo que por temporada es común ya sea por tradición o cualquier eventualidad que tuviere el usuario.



**Figura 2.** Demanda mensual de consumo de residencia tipo en kWh del periodo enero 2013 a noviembre 2015  
**FUENTE:** Autor

Para el tratamiento de los valores detallados, se analiza el comportamiento de la demanda para predecir cómo sería la demanda futura, para esto se utiliza un método de pronóstico estático de nivel mixto por series de tiempo dicha serie de tiempo consta de los siguientes parámetros para su aplicación:

- **Tendencia [T]:** Representa el comportamiento de dirección de la serie a lo largo del tiempo, y se caracteriza porque requiere de todo un número elevado de observaciones para saber si la tendencia es creciente o decreciente. [1]
- **Ciclo [C]:** Se define por las oscilaciones que van a lo largo de una tendencia de la serie de tiempo pero con larga duración, los factores que intervienen en este lapso no son del todo claros.[9]
- **Estacionalidad [E]:** La estacionalidad se define como la onda alrededor del objeto observado; es decir la serie de tiempo, todo esto dentro de las restricciones que esta tenga; en otras palabras la estacionalidad es la componente que corresponde a fluctuaciones periódicas de la variable, dentro de estos tipos de series podemos citar:
  - Fluctuaciones cíclicas.
  - Fluctuaciones estacionarias.
- **Fluctuaciones aleatorias [A]:** Es el valor promedio o por el cual tienen en común la series de datos que se está analizando, pero con la particularidad que son valores residuales que corresponden a movimientos erráticos que no siguen un patrón específico.[9].

Los datos del consumo, son tomados en cuenta porque la residencia posee cargas comunes de tipo desplazables y no desplazables, las cuales son artefactos eléctricos que se encienden o apagan y mediante la optimización se busca desplazarlos según el tipo y de acuerdo al consumo que demande la residencia. Los tipos de cargas que posee la residencia en estudio son los siguientes:

EQUIPO	CANTIDAD [UNIDADES]	POTENCIA [W] DMU	FACTOR DE USO [FS <sub>n</sub> ]	TOTAL POTENCIA [W] CIR	
HORNO MICROONDAS	1	1200	50	600	
COMPUTADORA PORTÁTIL	1	80	100	80	
COMPUTADORA DE ESCRITORIO	1	200	100	200	
REFRIGERADORA	1	120	100	120	
TELEVISOR	2	30	80	24	
EQUIPO DE SONIDO	1	750	20	150	
ILUMINACIÓN	20	40	80	32	
LAVADORA DE ROPA	1	850	30	255	
DUCHA ELÉCTRICA	1	2000	50	1000	
MÁQUINA DE COSER	2	250	80	200	
SECADORA DE CABELLO	1	45	10	4,5	
PLANCHA	1	1000	60	600	
DVD	1	25	30	7,5	
TOTAL DE POTENCIA DE RESIDENCIA MODELO		6590 [W]		3273 [W]	
				3,273 [kW]	
				0,497	Factor de Demanda
				0,85	Factor de Potencia
				1	Usuarios
				3,851	DMU [KVA]
				3,851	DEMANDA CALCULADA [KVA]

**Tabla 2. Tipos de cargas usadas en residencia modelo**  
Fuente: Autor

Dentro de la predicción de la demanda para hacer uso de los valores de energía consumidos durante el periodo de 2013 al 2015, se usaron las siguientes ecuaciones que son parte del modelo de predicción:

Esta ecuación se aplica si el periodo es par, y en este caso el periodo es 12.

$$D_{t\ desest} = \frac{D_{t-\left(\frac{p}{2}\right)} + D_{t+\left(\frac{p}{2}\right)} + 2\left(\sum_{t+1+\left(\frac{p}{2}\right)}^{t-1+\left(\frac{p}{2}\right)} D_t\right)}{2p} \quad (1) \quad [19]$$

Luego se determina el nivel y la tendencia mediante la ayuda de una herramienta de análisis que es la regresión lineal, se utiliza esta regresión ya que el modelo tiene una semejanza en los periodos de cada mes, es decir cada 12 periodos la curva de demanda se vuelve a repetir pero con valores un poco más altos, los valores resultantes son mostrados a continuación:

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>	<i>Inferior 95,0%</i>	<i>Superior 95,0%</i>
Intercepción	51,03269104	1,430562796	35,67315688	2,80801E-20	48,05767285	54,00770924	48,05767285	54,00770924
Variable X 1	0,445446311	0,074573241	5,973272802	6,27949E-06	0,290362767	0,600529855	0,290362767	0,600529855

**Tabla 3.** Regresión lineal por análisis de serie de tiempo desde año 2013 al 2015  
Fuente: Autor

Luego se calcula los factores estacionales de cada uno de los valores usando la regresión lineal y aplicando las siguientes ecuaciones:

Esta ecuación determina el promedio de factores estacionales similares, es decir donde da inicio, continua y termina el ciclo.

$$S_t = \frac{D_{Real\ Observada}}{D_t\ Desest} \quad (2) \quad [19]$$

$$S_{t+1} = \frac{(\sum S_t)}{r} \quad (3) \quad [19]$$

Donde r es el número de periodos donde el ciclo de la serie es similar en forma.

Finalmente, para determinar la demanda en el periodo futuro se plantea un rango de 3 años es decir se predice el comportamiento del consumo de energía para el año 2016, 2017 y 2018, la ecuación que se utilizó para determinar el consumo fue:

$$F_{t+1} = [L + (T + 1) T] * S_{t+1} \quad (4) \quad [19]$$

Donde:

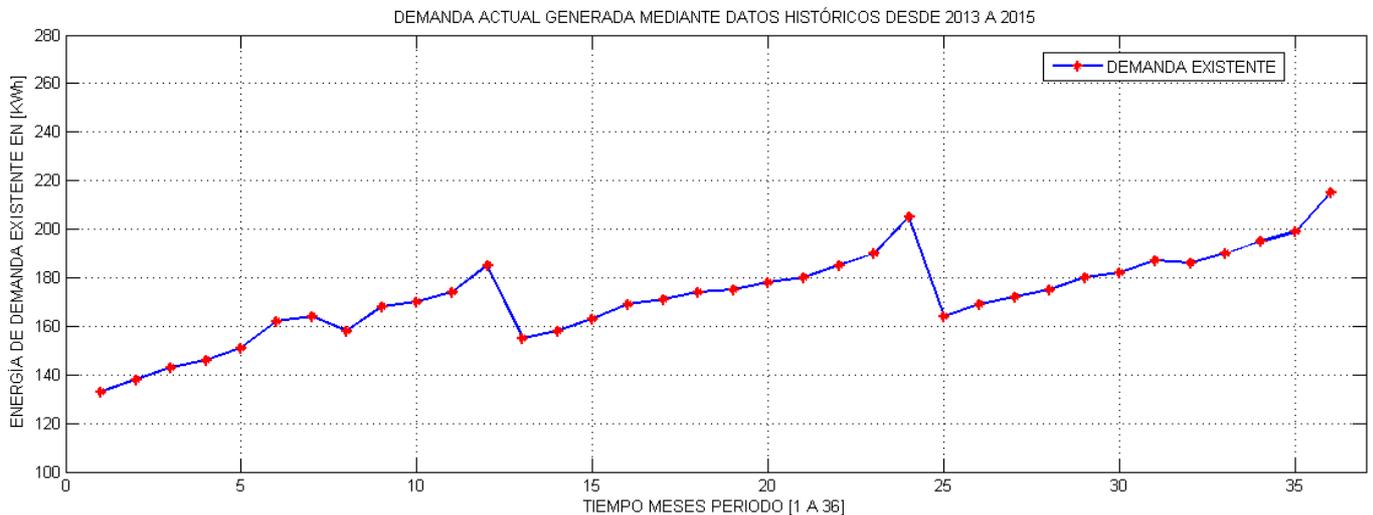
$F_{t+l}$  : es la demanda en el periodo futuro a calcular.

L: nivel de la serie.

T: es la tendencia de la serie.

$S_{t+1}$ : es el factor de estacionalidad de la serie.

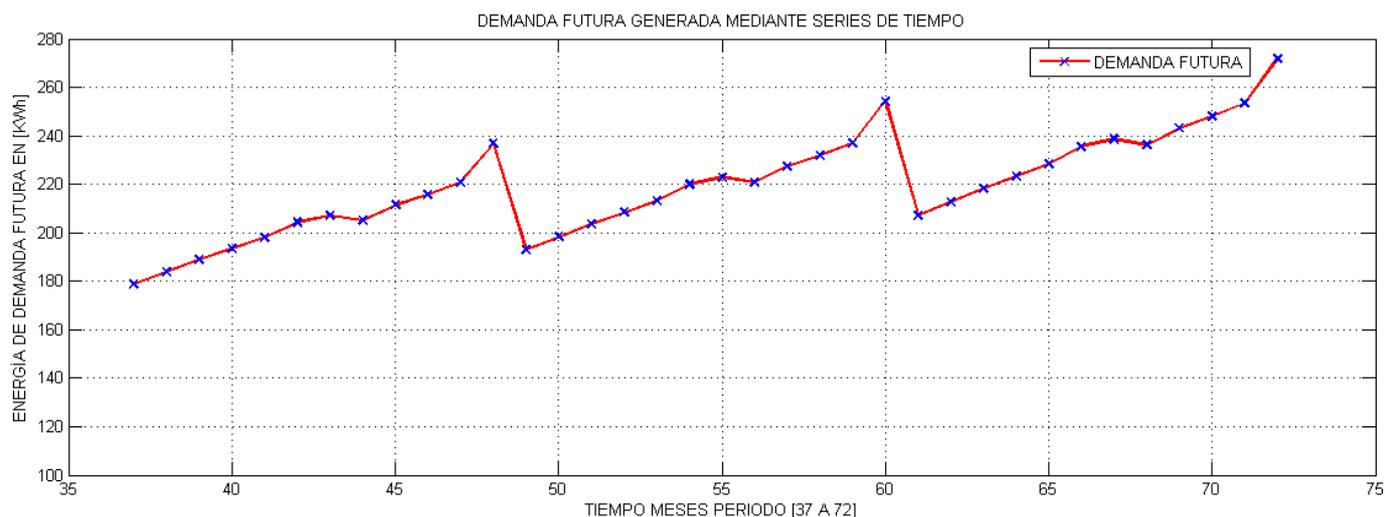
Al tomar los datos desde el periodo 2013 al 2015 se obtiene la siguiente gráfica descriptiva de la demanda mensual:



**Figura 3.** Curva de energía mensual en kWh del consumo en residencia tipo desde 2013 a 2015  
**Fuente:** Autor

### 5.2 Predicción del Consumo de Energía Eléctrica Residencial

Dentro de la predicción por medio de las series de tiempo mediante cálculos se tienen los valores de energía que tendría esta residencia para los próximos 3 años, que corresponden a 2016, 2017 y 2018, en consecuencia debido al incremento de carga e incremento con las cocinas de inducción la demanda tenderá a ser creciente como se muestra en la siguiente figura:

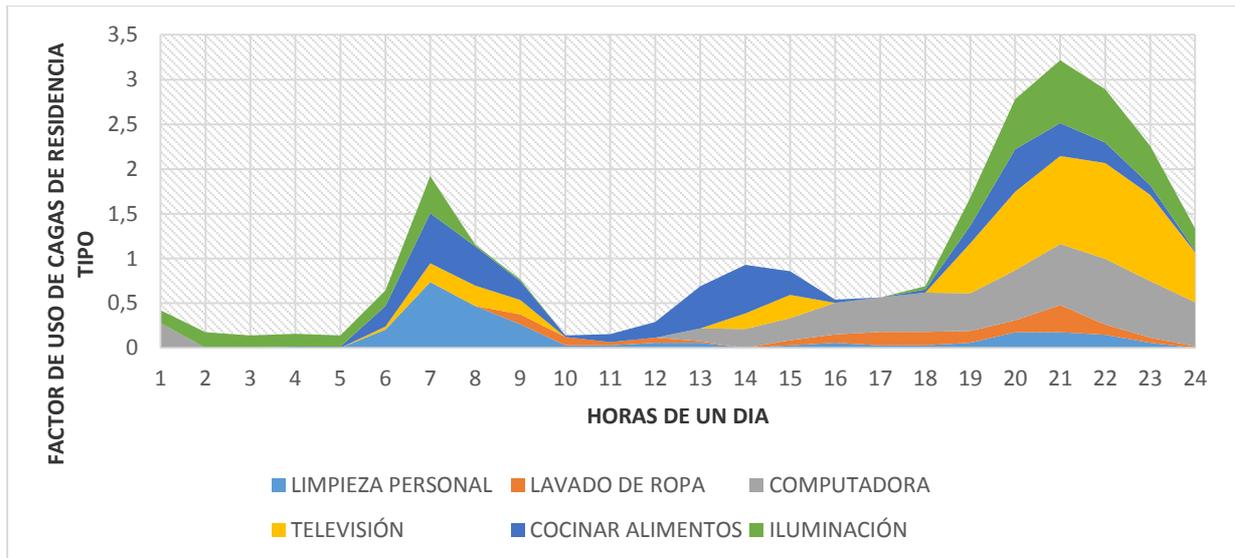


**Figura 4.** Curva de energía futura mensual en kWh del consumo en residencia tipo desde 2016 a 2018

**Fuente:** Autor

En la optimización se pretende simular algunas posibles configuraciones de sistemas, para optimizar los costos de ciclos de vida y generar resultados de análisis sensibles para la mayoría de los datos de entrada que se tenga, toda esta investigación plantea simular por medio de cálculos de balances de energía que podrían ser para 1 año (8760 horas), de manera que para cada hora en un día el modelo de optimización compara las cargas eléctricas y térmicas con la energía que el sistema puede entregar en esa hora, de ser adecuado el uso ejecutará un control de carga y con ello su utilización, caso contrario de no serlo procederá a no consumir dicha energía en la carga y desplazarla, claro que si se encuentra en horas pico necesariamente deberá automáticamente reordenar o incluir en el sistema algún tipo de generación distribuida y así bajaríamos la demanda del consumo de una residencia de manera que el costo por la energía en horas pico será minimizado y controlado.[20][21].

Como muestra de la simulación de un sistema básico lo que se requiere en esto es combatir los picos de demanda que se generan a lo largo del día, por ejemplo la siguiente gráfica muestra datos del consumo diario de la residencia en estudio:



**Figura 5.** Curva de consumo por actividades en residencia tipo durante un día normal.  
**Fuente:** Autor

### 5.3 Gestión y Optimización del Consumo Eléctrico Residencial

En tema de gestión y optimización para esta investigación lo que se propone para mitigar el exceso de energía consumida es:

La racionalización de energía y un buen control del consumo en las zonas urbanas residenciales está dentro de la forma de medición, para lo cual la obtención de datos pueden ser tomados de la red de telecomunicaciones que la empresa pública posee, y además haciendo uso de la tecnología actual que ofrecen las empresas que se dedican a la medición inteligente, por otra parte para gestionar el consumo se puede incursionar a crear un cronograma de predicción a corto plazo, por si se incrementa la carga en la residencia, haciendo que el modelo de optimización se adapte automáticamente a sus nuevos parámetros y sea más eficiente su control.[11][22]

Otro aspecto que se tiene proyectado a futuro para esta investigación es disponer de una herramienta analítica y de simulación para el estudio sistemático de penetración de la Generación Distribuida en distintos escenarios parametrizables.[23] Esta herramienta puede ser extendida para incorporar la planificación en sistemas de distribución a baja tensión, el cumplimiento de los indicadores de calidad, de seguridad, la incertidumbre de la generación y de la demanda.[24]

Por tal motivo la propuesta futura como solución para esta investigación será enfocada en hacer uso de la energía eléctrica pero con un óptimo uso de los Sistemas Híbridos o Generación Distribuida y con la responsabilidad que esto conlleva.[25]

Como muestra de esta investigación se da breve información acerca de los modelos y propuestas usadas en otros países para la optimización del consumo residencial.

De acuerdo con [2] los autores del artículo mencionan que para lograr una optimización de la energía de una comunidad de 7 casas de Nueva Zelanda, todas con perfiles realistas de la demanda, utilizan el desarrollo de un modelo matemático por medio de la Programación Entera Mixta (MIP), que la aplican al tipo de la carga y gestionan la energía que va a las cargas para poder lograr una reducción en el costo global del consumo eléctrico, para tener el modelo matemático establecen comparaciones entre los diferentes tipos de carga de las casas, ciertas se controlan en función a la energía que consumen, y otras por medio del estado de carga en que se encuentre.

Por medio de este modelo matemático, establecen encontrar la optimización del consumo de energía de ciertas cargas dentro de dos escenarios, para el primero maximizar el uso de la energía eólica local, teniendo en cuenta un precio por tiempo de uso, estos parámetros determinan en primer lugar el uso del viento para generar en ciertos periodos de tiempo de un día determinado y en segundo lugar se plantean obtener el valor máximo que realmente se tiene por TimeShifting (guardar los resultados para visualizarlos en otro tiempo con más detalles) en todas las cargas dentro del sistema que se tenga.[26]

Al seguir con la línea de la optimización dentro de [27] caben propuestas de programación del consumo residencial referente a la gestión de la demanda de carga, para aplicar esta teoría usan Programación Lineal Entera (ILP) y teoría de juegos, ambos tipos de optimización se han propuesto para la optimización centralizada basada en la programación lineal y la teoría de juegos descentralizada. Sin embargo los autores destacan que estos métodos no podrían ser usados para todas las aplicaciones en la práctica.[28]

Lo expuesto en la parte anterior no es aplicable a todo sistema porque algunos aparatos

tienen un patrón de consumo de energía fija, lo que significa que una vez que el aparato está encendido, tiene que trabajar de acuerdo a su propio patrón de consumo de energía hasta que se termine el trabajo; por lo cual solo se podría optimizar sólo el tiempo de arranque, pero el consumo de energía durante el funcionamiento del aparato no está bajo el control del optimizador, por lo que no es un parámetro de optimización, esto lo mencionan en [27].

Dado que existen varios tipos de optimización de consumo de energía, pero de acuerdo con esta investigación será el uso de la Generación Distribuida lo que ayude a reducir el consumo global en ciertos periodos de tiempo, teniendo en cuenta datos reales de residencias para lo cual se puede tomar datos de acuerdo a tablas estándar de tipos de carga en una casa, dependiendo del tipo de carga se debe clasificar en los tiempos y en la periodicidad de uso[29], ya que depender de la decisión del usuario sería muy complicado, ahora dentro del uso óptimo de cargas, energía y aplicando una Smart Home, se puede clasificar en tres tipos de controles. Según [30] esta clasificación la hacen de la siguiente manera:

**Control Local Autónomo.**- Este tipo de control actúa en forma autónoma, tal como evaluar la unidad correspondiente y hacer la clasificación en función de su participación relativa, durante el control de la frecuencia, y de esa forma estimar la potencia disponible de la Generación Distribuida para luego hacer uso de esa potencia que entrega la Generación Distribuida.[30]

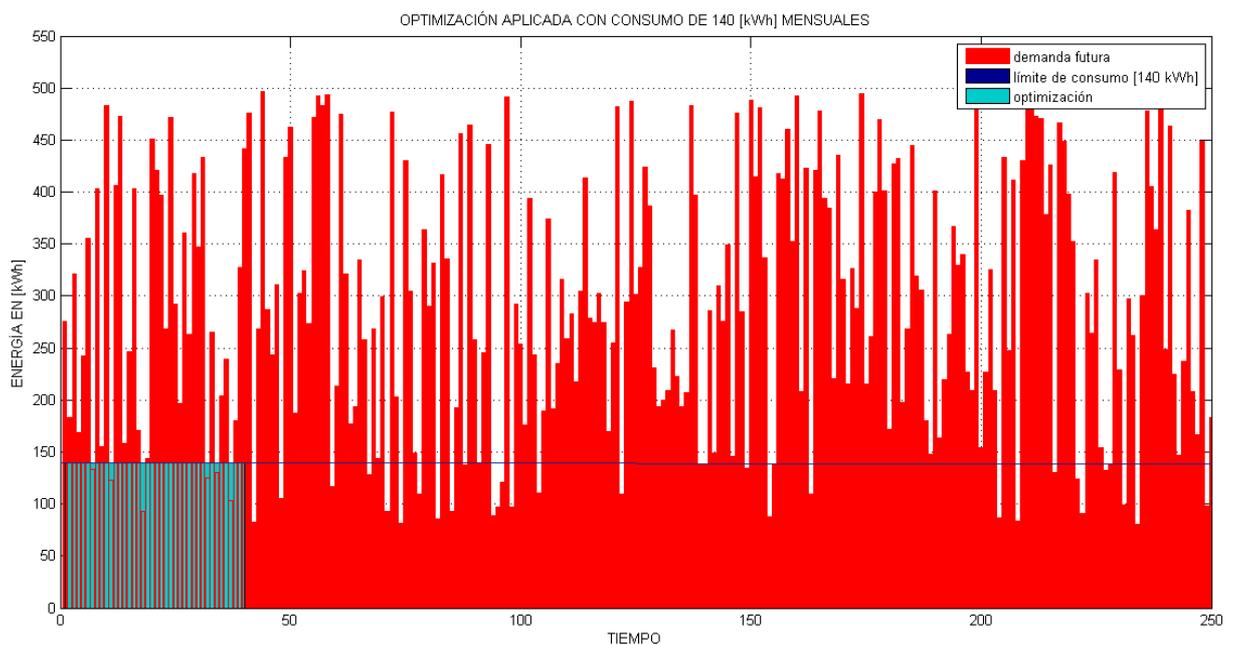
**Perturbación de Respuesta Activa.**- En este tipo de control se utiliza una pro actividad y la capacidad de adaptación de los agentes controladores para responder a las perturbaciones, como el seguimiento de la frecuencia que dan como resultado tratar los datos para el intercambio de información y aplicar esa información en el uso óptimo de sistemas múltiples en etapas donde la energía reservada no sea suficiente.[30]

**Control Cooperativo Inteligente.**- Dentro de este control destacan la sociedad y la cooperación de agentes de toma de datos, ejecución de procesos de selección y despacho de la potencia proveniente de la Generación Distribuida, y así tener un mejor rendimiento en versatilidad y al final tener una respuesta en minimizar el consumo de energía eléctrica en los llamados periodos pico.[30]

En lo antes mencionado se plantea sobre el uso de tres patrones que deben generarse para poder controlar un grupo de microsistemas, en tal razón si a este grupo de patrones se les aplica a cada una de la residencia, se tendría como resultado un modelo para poder decidir sin necesidad del usuario final como debe ir manteniendo el consumo durante periodos de tiempo, que se los podría clasificar en días, semanas, meses o temporadas, depende de cómo el programador ingrese las variables para poder lograr una reducción considerable, sin perder la idea que el confort del usuario no debe afectarse en lo más mínimo, es decir si aumenta cargas y desea utilizar todo eso, el sistema debe ser capaz de reconocer esos patrones de uso y mediante la optimización dar un resultado de cuál es la mejor opción de uso si conviene utilizar la energía de la empresa de distribución, usar energía de la Generación Distribuida o incluso a la par podrían utilizar las dos pero con las restricciones que se tengan, que pueden ser las hora pico, o días de la semana.

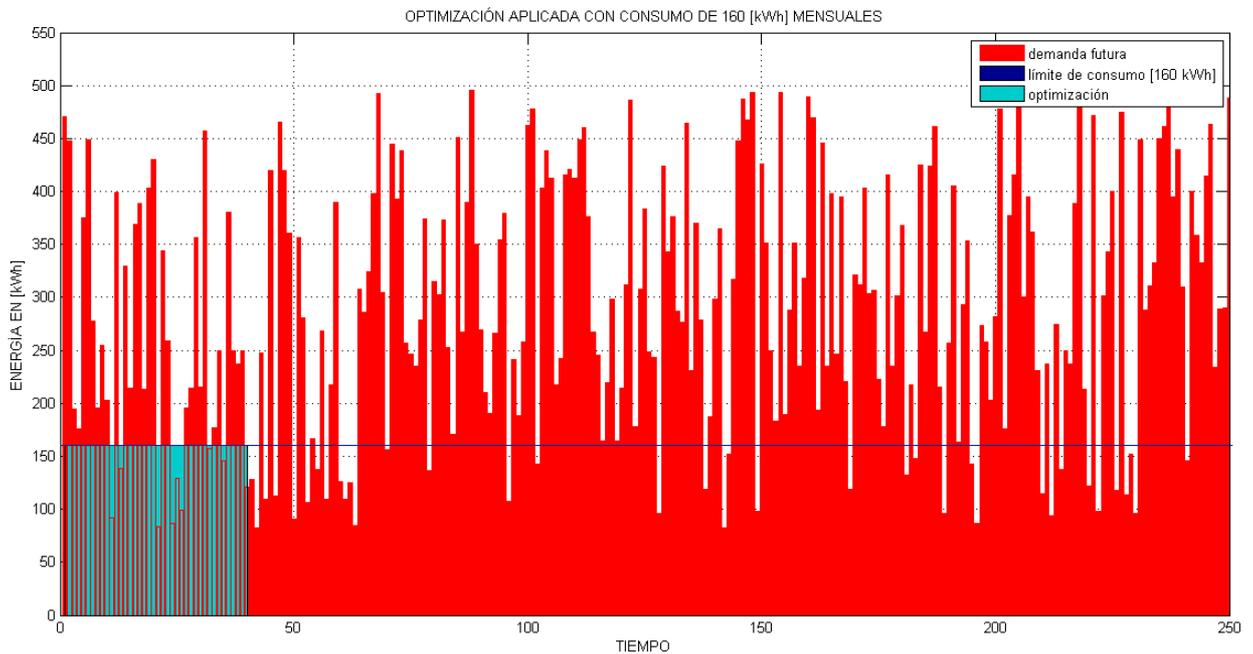
## 6. RESULTADOS ESPERADOS

El modelo presentado se basa en datos de tipo heurístico con datos históricos que simulan y representan la optimización requerida; la forma que se presenta en la gráfica siguiente muestra como una optimización aplicada a la función de demanda que se tiene es que las cargas de la residencia se controlan, en parte por el estado de ON y OFF, pero solo en las de caso desplazables como son radio, lavadora, algunas luces, equipos de bajo factor de uso, etc.



**Figura 6.** Optimización generada con 140 [kWh] aplicando inserción de generación distribuida.  
**Fuente:** Autor

Otro valor optimizando el consumo de energía de la residencia tipo es:



**Figura 7.** Optimización generada con 160 [kWh] aplicando inserción de generación distribuida.  
**Fuente:** Autor

En cuanto a la gestión de esta investigación, un sistema puede aumentar el concepto de eficiencia de la generación por el pico de demanda, y por el desplazamiento de la carga a los periodos más beneficiosos en donde la demanda de un sector disminuya a una razón considerable, como por ejemplo se puede citar el uso de un elemento de calefacción a un modo de conmutación o de otro modo el arranque de dicho aparato puede ser pospuesto para otra hora del día [10].

De modo que el uso de un algoritmo general de control para optimizar el comportamiento de las tecnologías domésticas debe ser considerado de forma local para luego tener tendencia global, claro está que todo esto debe ser relacionado con el tipo de energía renovable que esté presente según el caso.[31]-[8]

Uno de los factores que no se toma en cuenta en esta investigación es el económico, ya que según lo investigado el uso de Generación Distribuida, no es barato, en comparación al uso de la generación centralizada, es por eso que para futura investigación se puede incursionar en la creación de un sistema de generación distribuida que me ayude a controlar el consumo, pero que a su vez la inversión que

tenga este sea recuperable en el menor tiempo posible, dentro de estos casos como el costo para la tecnología de Generación Distribuida es alto como por ejemplo los paneles solares, se debe tener en cuenta que dicha inversión al inicio va ser alta pero con el tiempo y teniendo en cuenta el concepto del desarrollo sostenible dicha inversión ayudaría a que las futuras generaciones se involucren en investigar cómo reducir el costo de los sistemas, mas no en como optimizar el consumo de energía.

## **7. *ESTRATEGIA PARA LA DIVULGACIÓN DE LOS RESULTADOS***

Dentro de las estrategias de divulgación se plantean las siguientes:

1. Informe escrito final como producto de la tesis. El informe será entregado a biblioteca UPS
2. Jornada Científica de Ingeniería Eléctrica.

## **8. *SECTORES BENEFICIADOS***

Los sectores beneficiados con el proyecto son los siguientes:

- a. Universidad Politécnica Salesiana
- b. Grupos de investigación relacionados con el proyecto
- c. Sectores públicos y privados relacionados al tema de investigación

## 9. *CONCLUSIONES*

- El modelo de optimización y simulación de esta investigación, indica una reducción del consumo de energía en la residencia mediante la inserción de Generación Distribuida y con la restricción de cuanta energía desea el usuario consumir durante ese mes, con lo que se genera una evaluación comparativa al campo de los posibles casos que son generación centralizada vs generación distribuida en modos prácticos; estos permitirán a través de un sistema de gestión de las cargas en un escenario tratar de generar o implementar negocios en venta de excedentes de energía por parte del individuo de posea una Generación Distribuida a la empresa de distribución u orientados desde un solo sistema integrado para la gestión de la distribución Ecuatoriana.
- Cabe destacar que con esta investigación se pretende reducir el consumo eléctrico de una residencia, pero sin alterar el confort del usuario o grupo de ellos, para esto en el sistema de gestión propuesto al incluir sistemas de Generación Distribuida se reduce el consumo y se puede incrementar el confort del usuario ya sea por aumento de artefactos eléctricos para beneficio o por mejoramiento de la red que hace un Smart Home.
- Se debe tener en cuenta que las series de tiempo se aplican para predecir de manera estocástica la demanda que puede tener una casa y depende de los valores y rangos de error que se tome, dentro de estos errores para futuros casos se puede plantear desde el punto de vista ya no de una residencia sino desde un barrio o sector, en el cual ya involucra pérdidas técnicas y no técnicas; así como la presencia de armónicos en la red.
- Las series de tiempo, al ser un método de tipo estadístico, deben incluir un modelo con los factores que intervienen en la predicción de la demanda razón por la cual se haría muy exhaustivo, además de analizar los datos de energía, se tendría que incursionar en datos climáticos, económicos para poder dar un valor más cercano al verdadero y por ende el método será más extenso y de mucho análisis.

## **10. RECOMENDACIONES**

- Para futuras investigaciones dentro del modelo de optimización se puede analizar los tipos de usuarios que plantea la Empresa Eléctrica Quito, que son clasificados de acuerdo con la cantidad de energía consumida, así que se puede implementar un sistema que ya no incluya a varios tipos de usuarios y genere de alguna forma un solo tipo de usuario, sin tener en cuenta el nivel de vida que este posea, con esto se pretende que ya no exista el llamado cliente especial o se lo incluya dentro de un sector a nivel general.
- Para futuras investigaciones se puede hacer optimización del consumo pero utilizando modelos más actuales y confiables como son las redes neuronales, dentro de esta red ya se podría incluir el sistema de gestión que se adapte a las condiciones de cada usuario, pero en realidad la idea sería tener un modelo general que se pueda adaptar a cualquier tipo de residencia, con el beneficio que siempre genere una maximización de la eficiencia energética y una minimización de pérdidas que son un tema que no se aborda en esta investigación.
- En otra investigación se puede plantear el desarrollo de un modelo de predicción multivariable que no solo involucre las variables aquí analizadas sino que correlacione aún más variables y también emplear menores datos, hacer un estudio de cómo afectarían los errores de la demanda eléctrica en la planificación de sistemas de gestión óptima para la compra y venta de parte de consumidores y compañías de generación.

## 11. REFERENCIAS

- [1] A. M. Ariza Ramirez, “Métodos utilizados para el pronóstico de demanda de energía eléctrica en sistemas de distribución,” 2013.
- [2] A. Croft, J. Boys, and G. Covic, “Benchmarking Optimal Utilisation of Residential Distributed Generation with Load Control,” no. October, pp. 20–23, 2013.
- [3] D. E. L. Frío and F. Csic, “Eficiencia energética en el campo del frío,” pp. 1–13, 2009.
- [4] L. A. Crisanto Perrazo, “Estudio de Factibilidad para Implementar Una Central Eléctrica Aprovechando el Biogás Generado por el Relleno Sanitario del Inga,” 2013.
- [5] A. P. González, *ley de régimen del sector eléctrico*, no. 2066. 2006, pp. 1–25.
- [6] I. Atzeni, L. G. Ordóñez, G. Scutari, S. Member, D. P. Palomar, S. Member, J. R. Fonollosa, and S. Member, “Demand-Side Management via Distributed Energy Generation and Storage Optimization,” vol. 4, no. 2, pp. 866–876, 2013.
- [7] L. I. Dulău, M. Abrudean, and D. Bică, “Distributed Generation Technologies and Optimization,” *Procedia Technol.*, vol. 12, pp. 687–692, 2014.
- [8] W.-S. Tan, M. Y. Hassan, M. S. Majid, and H. Abdul Rahman, “Optimal distributed renewable generation planning: A review of different approaches,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 18, pp. 626–645, Feb. 2013.
- [9] G. Ríos and C. Hurtado, “Series de Tiempo,” 2008.
- [10] A. Molderink, V. Bakker, M. G. C. Bosman, J. L. Hurink, and G. J. M. Smit, “Domestic energy management methodology for optimizing efficiency in Smart Grids,” *2009 IEEE Bucharest PowerTech*, pp. 1–7, Jun. 2009.
- [11] J. P. S, “Optimization of Distributed generation penetration based on particle filtering,” 2012.
- [12] F. Q. Elizabeth, C. Zhao, and S. H. Low, “2012 American Control Conference Frequency-Based Load Control in Power Systems,” pp. 4423–4430, 2012.
- [13] H. Muller, a. Rudolf, and G. Aumayr, “Studies of distributed energy supply systems using an innovative energy management system,” *pica 2001. Innov. Comput. Power - Electr. Energy Meets Mark. 22nd IEEE Power Eng. Soc. Int. Conf. Power Ind. Comput. Appl. (Cat. No.01CH37195)*, pp. 87–90.
- [14] V. Bakker, M. G. C. Bosman, a. Molderink, J. L. Hurink, and G. J. M. Smit, “Demand Side Load Management Using a Three Step Optimization Methodology,” *2010 First IEEE Int. Conf. Smart Grid Commun.*, pp. 431–436, Oct. 2010.
- [15] J. C. Barriga, “Producción Industrial, Gestión de calidad,” 2009.
- [16] INEC, “Encuesta Nacional de Empleo, Desempleo y Subempleo – ENEMDU, Módulo de Información Ambiental en Hogares Junio 2012,” 2012.

- [17] A. Gómez E., “Análisis y operación de sistemas de energía eléctrica.” .
- [18] W. Zhang, S. Member, S. Zhou, and Y. Lu, “Distributed Intelligent Load Management and Control System,” pp. 1–8, 2012.
- [19] P. D. Jacho Topón, “UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO,” 2015.
- [20] M. Gomez-Gonzalez, a. López, and F. Jurado, “Optimization of distributed generation systems using a new discrete PSO and OPF,” *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 84, no. 1, pp. 174–180, Mar. 2012.
- [21] K. Zou, A. P. Agalgaonkar, K. M. Muttaqi, S. Member, and S. Perera, “Voltage Support by Distributed Generation Units and Shunt Capacitors in Distribution Systems,” pp. 1–8, 2009.
- [22] N. Gatsis, S. Member, and G. B. Giannakis, “Residential Load Control : Distributed Scheduling and Convergence With Lost AMI Messages,” vol. 3, no. 2, pp. 770–786, 2012.
- [23] A. F. Benedetti, A. Baigún, M. L. Yanguas, P. Daniel, H. Roberto, and M. Zimmermann, “Predicciones de Series de Tiempo con Redes Neuronales : Trading usando el Índice Merval.”
- [24] C. L. T. Borges and D. M. Falcão, “Optimal distributed generation allocation for reliability, losses, and voltage improvement,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 28, no. 6, pp. 413–420, Jul. 2006.
- [25] L. Jia and L. Tong, “Optimal Pricing for Residential Demand Response : A Stochastic Optimization Approach,” pp. 1879–1884, 2012.
- [26] G. Celli, E. Ghiani, S. Mocci, and F. Pilo, “A Multiobjective Evolutionary Algorithm for the Sizing and Siting of Distributed Generation,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 20, no. 2, pp. 750–757, May 2005.
- [27] Z. Zhu, J. Tang, S. Lambotheran, W. H. Chin, and Z. Fan, “An integer linear programming and game theory based optimization for demand-side management in smart grid,” *2011 IEEE GLOBECOM Work. (GC Wkshps)*, pp. 1205–1210, Dec. 2011.
- [28] I. Atzeni, L. G. Ordóñez, G. Scutari, S. Member, D. P. Palomar, and J. R. Fonollosa, “Demand-Side Management via Distributed Energy Generation and Storage Optimization,” vol. 4, no. 2, pp. 866–876, 2013.
- [29] L. I. Dulău, M. Abrudean, and D. Bică, “Effects of Distributed Generation on Electric Power Systems,” *Procedia Technol.*, vol. 12, pp. 681–686, 2014.
- [30] W. Liu, S. Member, W. Gu, W. Sheng, and X. Meng, “Decentralized Multi-Agent System-Based Cooperative Frequency Control for Autonomous Microgrids With Communication Constraints,” vol. 5, no. 2, pp. 446–456, 2014.
- [31] A. Molderink, V. Bakker, M. G. C. Bosman, J. L. Hurink, and G. J. M. Smit, “A three-step methodology to improve domestic energy efficiency,” *2010 Innov. Smart Grid Technol.*, pp. 1–8, Jan. 2010.