

**MODELAMIENTO PARA EL ALMACENAMIENTO Y APORTE DE ENERGÍA A LA RED EN  
HORAS PICO DE DEMANDA MEDIANTE UN PROTOTIPO.**



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO**

**CARRERA: INGENIERÍA ELÉCTRICA**

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

**TEMA:  
MODELAMIENTO PARA EL ALMACENAMIENTO Y APORTE DE  
ENERGÍA A LA RED EN HORAS PICO DE DEMANDA MEDIANTE UN  
PROTOTIPO.**

**AUTOR:  
PABLO DANIEL JACHO TOPÓN**

**DIRECTOR:  
EDWIN MARCELO GARCÍA TORRES**

**Quito, febrero de 2015**

## **DECLARATORIA DE AUTORÍA:**

Yo, Pablo Daniel Jacho Topón autorizo a la Universidad Politécnica Salesiana la publicación total o parcial de este trabajo de grado y su reproducción sin fines de lucro.

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

Quito, 19 de Febrero del 2015

---

**Pablo Daniel Jacho Topón**

**CC: 1715994008**

**AUTOR**

**CERTIFICA:**

Haber dirigido y revisado prolijamente cada uno de los capítulos técnicos y financieros del informe de la monografía, así como el funcionamiento del “Modelamiento para el almacenamiento y aporte de energía a la red en horas pico de demanda mediante un prototipo” realizada por el Sr. Pablo Daniel Jacho Topón, previa a la obtención del título de Ingeniero Eléctrico en la Carrera de Ingeniería Eléctrica.

Por cumplir los requisitos autoriza su presentación.

Quito, 19 de Febrero del 2013

---

**Ing. Edwin Marcelo García Torres**  
**DIRECTOR**

## **DEDICATORIA.**

*Pablo Daniel Jacho Topón*

*Este proyecto es dedicado con mucho amor a mi madre por su ejemplo y lucha incansable para educar y crecer a sus hijos olvidando muchas veces su propio bienestar, a mi hermano Sebastián y mi ahijado Martín Alejandro son mi mayor motivación para levantarme en medio de las dificultades, a mi padre Mesías en algún lugar del mundo con su música.*

*A las personas que desde el cielo me acompañan Edison y Mercedes.  
A mi familia, amigos, ahijados y hermanos de vida que me apoyaron desde sus posibilidades en todo este proceso.*

*A mí amada música que es mi vida y contacto directo con Dios.*

*“La vida es un estado de la mente”.*

## **AGRADECIMIENTO.**

*Pablo Daniel Jacho Topón*

*Agradezco a la Universidad Politécnica Salesiana por ser la institución que me formó profesionalmente y permitió desarrollar la paciencia, constancia, ética, tolerancia y sociabilidad. Al Ing. Edwin Marcelo García, quien aportó su conocimiento, tiempo y paciencia al dirigir este trabajo de investigación y años atrás el concurso de robótica. A los docentes y compañeros en general que aportaron en mi desarrollo académico en especial a los que fueron un verdadero reto.*

## INDICE GENERAL

DECLARATORIA DE AUTORÍA: .....	II
CERTIFICA: .....	III
DEDICATORIA. ....	IV
AGRADECIMIENTO. ....	V
INDICE GENERAL .....	VI
INDICE DE FIGURAS .....	X
INDICE DE TABLAS .....	XII
INDICE DE ANEXOS .....	XIII
GLOSARIO DE TÉRMINOS .....	XIV
Resumen.....	XV
Abstract.....	XVI
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPITULO I .....	3
DEMANDA ELÉCTRICA RESIDENCIAL.....	3
1.1 Factores que intervienen en la demanda eléctrica residencial.....	3
1.1.1 Factores climáticos. ....	3
1.1.2 Factores sociales. ....	4
1.1.3 Factores económicos.....	4
1.1.4 Factores no predecibles.....	5
1.2 Parámetros de diseño de la demanda.....	5
1.2.1 Clasificación de consumidores. ....	6
1.2.2 Determinación de la demanda máxima diversificada [6]. ....	7
1.2.3 Determinación de la demanda de diseño [6].....	9
1.3 Control de la demanda.....	10
1.3.1 Sustitución tecnológica. ....	10
1.3.1.1 Proyecto de sustitución de focos incandescentes por ahorradores. ....	11
1.3.1.2 Proyecto de sustitución de refrigeradoras ineficientes. ....	11
1.3.1.3 Alumbrado público eficiente. ....	12
1.3.2 Smart Home. ....	12
1.3.3 Hábitos culturales. ....	13



1.3.3.1 Hábitos en el sector residencial. ....	14
1.3.3.2 Hábitos en el sector público. ....	14
1.3.3.3 Hábitos en el sector industrial. ....	14
1.4 Impacto en la generación. ....	15
1.4.1 Situación actual de la generación. ....	16
1.4.2 Escenarios de crecimiento. ....	17
1.4.2.1 Crecimiento industrial. ....	17
1.4.2.2 Crecimiento de transporte eléctrico. ....	18
1.4.2.3 Programa Nacional de Cocción Eficiente [5]. ....	18
1.4.2.4 Refinería del Pacífico. ....	20
1.4.3 Proyectos de generación. ....	20
CAPITULO II. ....	22
MODELAMIENTO DE LA DEMANDA ELÉCTRICA. ....	22
2.1 Métodos para proyección y modelamiento de la demanda de un usuario residencial. ....	22
2.1.1 Métodos de regresión. ....	22
2.1.1.1 Regresión polinómica. ....	23
2.1.1.2 Regresión múltiple. ....	23
2.1.1.3 Regresión múltiple usando variables económicas. ....	23
2.1.2 Métodos de series de tiempo. ....	24
2.1.2.1 Métodos de suavización. ....	24
2.1.2.1.1 Método exponencial simple. ....	24
2.1.2.1.2 Método de Holt. ....	24
2.1.2.1.3 Método de Winter. ....	25
2.1.2.2 Métodos de auto-regresión [37]. ....	26
2.1.4 Método de Monte Carlo. ....	26
2.1.3 Método de cadenas de Markov. ....	27
2.1.3.1 Método cadenas de Markov Monte Carlo. ....	28
2.2 Análisis de cargas incorporadas. ....	29
2.2.1 Aseo personal. ....	29

2.2.2 H.V.A.C. (heating, ventilating and air conditioning).....	30
2.2.3 Lavado de ropa.....	30
2.2.4 Computadores. ....	31
2.2.5 Televisores. ....	32
2.2.6 Iluminación. ....	34
2.2.7 Cocción de alimentos.....	34
2.2.7.1 Análisis de la cocina de inducción.....	35
2.3 Perfiles de carga residencial medidos.....	36
2.4 Equipos a utilizarse en el prototipo. ....	38
2.4.1 Sistemas de almacenamiento. ....	38
2.4.1.1 Batería VRLA [45]. ....	38
2.4.1.2 Baterías Ni-Cd. ....	43
2.4.1.3 Regulador de carga. ....	44
2.4.2 Equipo convertidor DC/AC. ....	44
2.4.3 Sincronización a la red eléctrica. ....	46
2.4.4 Monitoreo del prototipo. ....	47
<b>CAPITULO III.....</b>	<b>48</b>
<b>MODELAMIENTO PARA ALMACENAMIENTO DE ENERGIA .....</b>	<b>48</b>
3.1 Modelamiento de ocupantes en MATLAB. ....	48
3.2 Modelamiento de la demanda residencial en MATLAB.....	52
3.2.1 Funciones de actividades. ....	56
3.2.1.1 Función “aseo”.....	57
3.2.1.2 Función “hvac”. ....	57
3.2.1.3 Función “lavado”. ....	57
3.2.1.4 Función “computador”.....	58
3.2.1.5 Función “televisor”. ....	58
3.2.1.6 Función “cocción”. ....	60
3.3 Entorno en GUI MATLAB. ....	61
3.3.1 Generación de nuevo modelo. ....	61

3.3.2 Abrir y guardar un modelo.....	62
3.4 Aplicación de sistema de almacenamiento.....	64
CAPITULO IV .....	69
ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	69
4.1 Simulación bajo software. ....	69
4.1.1 Comparación de modelos.....	69
4.1.2 Comparación de energía diaria. ....	70
4.1.3 Optimización de energía en horas pico.....	71
4.2 Impacto en el sistema eléctrico.....	74
4.3 Análisis económico. ....	78
4.4 Impacto social y ambiental.....	83
CONCLUSIONES:.....	85
RECOMENDACIONES:.....	88
REFERENCIAS: .....	90
ANEXOS .....	95

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Curva de demanda diaria nacional. ....	4
Figura 1.2: Consumo de energía y P.I.B. en el Ecuador. ....	5
Figura 1.2: Publicidad eficiencia energética. ....	14
Figura 2.1: Ejemplo aplicando método de Monte Carlo. ....	27
Figura 2.2: Representación visual de una cadena de Markov. ....	28
Figura 2.3: Curva característica de utilización de duchas eléctricas. ....	30
Figura 2.4: Curva característica de utilización de calefacción eléctrica. ....	31
Figura 2.5: Curva característica de utilización de planchas eléctricas. ....	31
Figura 2.6: Utilización de lavadora de ropa eléctrica en un hogar. ....	32
Figura 2.7: Curva característica de utilización de computadores. ....	32
Figura 2.8: Curva característica de utilización de televisores. ....	33
Figura 2.11: Curva característica de iluminación interior. ....	34
Figura 2.12: Curva característica de iluminación exterior. ....	34
Figura 2.13: Porcentaje de uso de electrodomésticos encuestados. ....	35
Figura 2.15: Equipo analizador FLUKE 43b. ....	37
Figura 2.16: Curvas características. ....	37
Figura 2.17: Curva característica del tiempo de vida con respecto a la temperatura. ....	39
Figura 2.18: Gráfica de la corriente de carga de flotación con respecto a la temperatura. ....	40
Figura 2.19: Gráfica de la capacidad con respecto al tiempo de vida nominal. ....	41
Figura 2.20: Gráfica de la resistencia interna con respecto al tiempo de vida nominal. .	41
Figura 2.21: Circuito equivalente de batería AGM. ....	42
Figura 2.22: Gráfica de la resistencia interna con respecto al tiempo de vida nominal. .	43
Figura 2.23: Estructura del inversor. ....	45
Figura 3.1: Algoritmo para la programación en MATLAB. ....	50
Figura 3.2: Ejemplo de la función “ocupante” mediante MATLAB. ....	51
Figura 3.3: Algoritmo de la función “MAIN”. ....	54
Figura 3.4: Gráfico de función MAIN mediante MATLAB. ....	56
Figura 3.5: Algoritmo de la función “aseo”. ....	57
Figura 3.6: Algoritmo de la función “computador”. ....	58
Figura 3.7: Algoritmo de la función “televisor”. ....	60
Figura 3.8: Entorno realizado en GUI MATLAB. ....	61
Figura 3.9: Algoritmo para obtener la demanda residencial en GUI MATLAB. ....	63
Figura 3.10: Entorno dinámico para el modelamiento en GUI MATLAB. ....	64
Figura 3.11: Algoritmo para optimización manual de energía en GUI MATLAB. ....	66

Figura 3.12: Algoritmo para optimización automática de energía en GUI MATLAB...	67
Figura 3.13: Ejemplo de optimización de energía GUI MATLAB. ....	68
Figura 4.1: Comparación de modelo medido y modelo simulado. Ejemplo 1. ....	70
Figura 4.2: Comparación de modelo medido y modelo simulado. Ejemplo2. ....	70
Figura 4.3: Comparación de energía diaria. Ejemplo 1. ....	71
Figura 4.4: Comparación de energía diaria. Ejemplo 2. ....	71
Figura 4.5: Optimización de energía diaria. Ejemplo 1. ....	72
Figura 4.6: Optimización de energía diaria. Ejemplo 2. ....	73
Figura 4.7: Optimización de energía diaria. Ejemplo 3. ....	73
Figura 4.8: Optimización de energía diaria. Ejemplo 4. ....	74
Figura 4.9: Optimización de energía diaria. Ejemplo 5. ....	74
Figura 4.10: Energía promedio por día. ....	76
Figura 4.11: Modelo para cliente que excede los 10kW de demanda. ....	80
Figura 4.11: Modelo para cliente que excede los 10kW de demanda. ....	81
Figura 4.13: Tiempo de recuperación de inversión. ....	83

## INDICE DE TABLAS

TABLA 1. 1: Estrato de consumo. ....	6
TABLA 1. 2: Tipos de uso del suelo. ....	7
TABLA 1. 3: Tipos de uso del suelo. ....	8
TABLA 1.4: Actividades implementadas hasta mayo del 2014.....	15
TABLA 1.5: Capacidad efectiva en generación. ....	16
TABLA 1.6: Cargas singulares industriales. ....	17
TABLA 1.7: Estado de construcción de los proyectos emblemáticos.....	21
TABLA 2.1: Porcentajes de televisores según el tamaño aproximado.....	44
TABLA 4.1: Generación promedio por día. ....	75
TABLA 4.1: Total de personas de la vivienda. ....	77
TABLA 4.2: Precio aproximado del prototipo. ....	78
TABLA 4.2: Precio aproximado del prototipo. ....	82

## INDICE DE ANEXOS

ANEXO A .....	96
ENCUESTA DE DEMANDA RESIDENCIAL .....	96
ANEXO B .....	98
DATOS DEL ANALIZADOR FLUKE 43B .....	98
ANEXO C .....	100
MATRICES PARA PROGRAMACIÓN .....	100
ANEXO D .....	102
FUNCIÓN “OCUPANTE” .....	102
ANEXO E .....	108
GRAFICAS DE VALORES PROMEDIO DE ACTIVIDADES .....	108
ANEXO F .....	111
FUNCIÓN “MAIN” .....	111
ANEXO G .....	125
FUNCIÓN “ASEO” .....	125
ANEXO H .....	127
FUNCIÓN “HVAC” .....	127
ANEXO I .....	129
FUNCIÓN “LAVADO” .....	129
ANEXO J .....	131
FUNCIÓN “COMPUTADOR” .....	131
ANEXO K .....	133
FUNCIÓN “TELEVISOR” .....	133
ANEXO L .....	138
FUNCIÓN “COCCIÓN” .....	138
ANEXO M .....	140
PROGRAMACIÓN EN “GUI MATLAB” .....	140
ANEXO N .....	165
PROGRAMACIÓN PARA EVALUAR EL MODELO .....	165
ANEXO N .....	167
BASE DE DATOS INEC .....	167

## **GLOSARIO DE TÉRMINOS**

AC	Corriente Alterna
AGM	Baterías de absorción mediante malla de fibra vidrio
AMI	Infraestructura de Medida Avanzada
CELEC	Corporación Eléctrica del Ecuador
CONELEC	Consejo Nacional de Electrificación
DC	Corriente Continua
DMQ	Distrito Metropolitano de Quito
EEQ	Empresa Eléctrica Quito
HVAC	Heating Ventilating and Air Conditioning
INEC	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos
MATLAB	Laboratorio Matemático, programa computacional matemático
NI-CD	Baterías de Níquel Cadmio
SMART GRIG	Red Eléctrica Inteligente
SMART HOME	Red de Hogar Inteligente
TIR	Tasa Interna de Retorno
VAN	Valor Actual Neto
VRLA	Baterías de plomo-ácido regulada por válvulas



# Resumen

## “Modelamiento para el Almacenamiento y Aporte de Energía a la Red en Horas Pico de Demanda Mediante un Prototipo”

Pablo Daniel Jacho Topón

[vientopablol@yahoo.com](mailto:vientopablol@yahoo.com)

Universidad Politécnica Salesiana

*Resumen*—El presente proyecto de tesis desarrolla un modelamiento que permita estudiar el comportamiento de la demanda eléctrica diaria residencial con el cual se analice la posibilidad de la inclusión de un prototipo de almacenamiento y aporte de energía, el modelo es programado y presentado en la herramienta informática *MATLAB*; primeramente se modela el comportamiento de los ocupantes de una vivienda mediante el método de Markov y su respectiva potencia equivalente mediante el método de Montecarlo, el modelo obtenido de demanda residencial diaria se lo optimiza manualmente buscando un límite de referencia mediante el cual se obtiene la energía que aporta el prototipo y almacenándola a otra hora del día, otra forma de optimizar energía que presenta este estudio es ingresando un monto de dinero y que el modelo arroje resultados que cuanta energía se almacena y aporta a la red.

*Índice de Términos*— Demanda Residencial, Prototipo, Método de Markov, Método de Montecarlo, Smart Home, Optimización de Energía, Baterías.

# Abstract

## “Modeling for Energy Storage and Supply of Network on Demand Peak Hours Using a Prototype”

Pablo Daniel Jacho Topón

[vientopablol@yahoo.com](mailto:vientopablol@yahoo.com)

Salesian Polytechnic University

*Abstract*— This draft thesis develops a modeling allows to study the behavior of daily electricity demand residential with which the possibility of including a prototype storage and supply of energy, the model is programmed and presented at the MATLAB software tool analyzes ; first the behavior of the occupants of a dwelling is modeled by the Markov method and its respective power equivalent using the Monte Carlo method, the model obtained daily residential demand optimizes manually looking for a reference limit by which energy is obtained which provides the prototype and storing it at another time of day, another way to optimize energy presented in this study is entering an amount of money and that the model yield results that much energy is stored and provides network.

*Index of Terms*— Residential demand, Prototype, Markov method, Monte Carlo method, Smart Home, Optimization of Energy, Batteries.

## INTRODUCCIÓN

El proceso de cambio de la matriz energética nacional propuesto en el documento “Plan maestro de electrificación del Ecuador 2009-2020” realizado por el Consejo Nacional de Electricidad CONELEC señala que los cambios deben empezar por la demanda de energía que antiguamente no se la consideraba como una variable controlable y ahora es la variable con la cual se podrá determinar la inversión en infraestructura, recursos energéticos, inversiones o importaciones de energía, esto conlleva a generar estrategias que permitan controlar la demanda, las cuales se están implementando en el país como el “Plan de Cocción Eficiente”, además de este proyecto que está en proceso, el documento antes mencionado también propone: aumentar la eficiencia energética en usos térmicos y eléctricos específicos, también la introducción de energías renovables como la energía solar para calentamiento de agua, estrategias que se aplicarían para el sector residencial.

Esta realidad descrita que está en proceso en el país genera una primera visión en la curva de demanda diaria de los consumidores residenciales la cual se alterará con la inclusión de estas estrategias disminuyendo o aumentando la demanda eléctrica y cambiando su forma de onda con respecto al tiempo, por consiguiente el cambio en infraestructura presente y futura para generación, transmisión y distribución de energía eléctrica.

En la actualidad no existen propuestas que reduzcan los niveles de demanda pico diaria para sectores residenciales dando como resultado las gráficas expuestas anteriormente añadiendo a esto el cambio de matriz energética propuesta para el Ecuador tendrá varios picos en la demanda según la hora del día a lo que aún no se tiene solución económicamente rentable y que respete las políticas ambientales que se deben aplicar al sector eléctrico ecuatoriano como es la cooperación en el control y eliminación de contaminantes orgánicos persistentes altamente tóxicos.

Finalmente el desarrollo tecnológico ha permitido la reducción de costos en sistemas de generación mediante energía renovable en pequeña escala para sistemas

de bajo voltaje (micro redes), pese a esto resulta aún costosa su inclusión en sistemas residenciales.

Para la realización de este estudio se plantea la utilización del método descriptivo para llegar a conocer las situaciones, costumbres y actitudes predominantes en cuanto al uso de la energía eléctrica de un usuario residencial a través de la descripción exacta de las actividades, objetos, procesos y personas permitiendo conocer el comportamiento de la demanda eléctrica; también llegar a conocer conceptos teóricos que se aplicaran en la elaboración de las fases posteriores de la investigación, a continuación se aplicara el método deductivo que de los datos obtenidos acerca de la demanda residencial se concluya las características específicas que tendrá el prototipo; se modelara la demanda eléctrica residencial y sobre ese modelo se aplicara la optimización de energía mediante el almacenamiento de energía y aporte a la red en horas pico de demanda; finalmente mediante el método inductivo se partirá de toda la información recabada y se llegara a las conclusiones generales de la investigación.

# CAPITULO I

## DEMANDA ELÉCTRICA RESIDENCIAL

La demanda eléctrica es la energía que necesita un sistema para satisfacer sus requerimientos, sin embargo a nivel residencial tradicionalmente no se lo ha tomado en cuenta como un factor que influya en un sistema eléctrico, por esa razón en los últimos años el interés por modelar el comportamiento de la misma se convierte en una parte fundamental para aplicaciones de redes inteligentes (Smart Grid) y gestión de la demanda en baja tensión. En los últimos años el desarrollo de la tecnología ha permitido que la calidad de vida de los seres humanos varíe, cambiando así el funcionamiento de los sistemas de energía y las características de las cargas residenciales, el presente capítulo estudia la demanda eléctrica con un enfoque en el área residencial de la población en donde se realiza la presente investigación [1].

### **1.1 Factores que intervienen en la demanda eléctrica residencial.**

La demanda eléctrica no solo revisa las exigencias que tiene un sistema eléctrico, también analiza los factores hacen cambiar esta variable a corto o largo plazo, datos que se utiliza para su predicción y con esta se pueda tomar decisiones adecuadas en el uso de recursos; lo explicado anteriormente revela que el conocimiento del comportamiento de la demanda residencial es fundamental para tomarlo como punto de partida en la presente investigación por lo que se toma en cuenta varios factores [2].

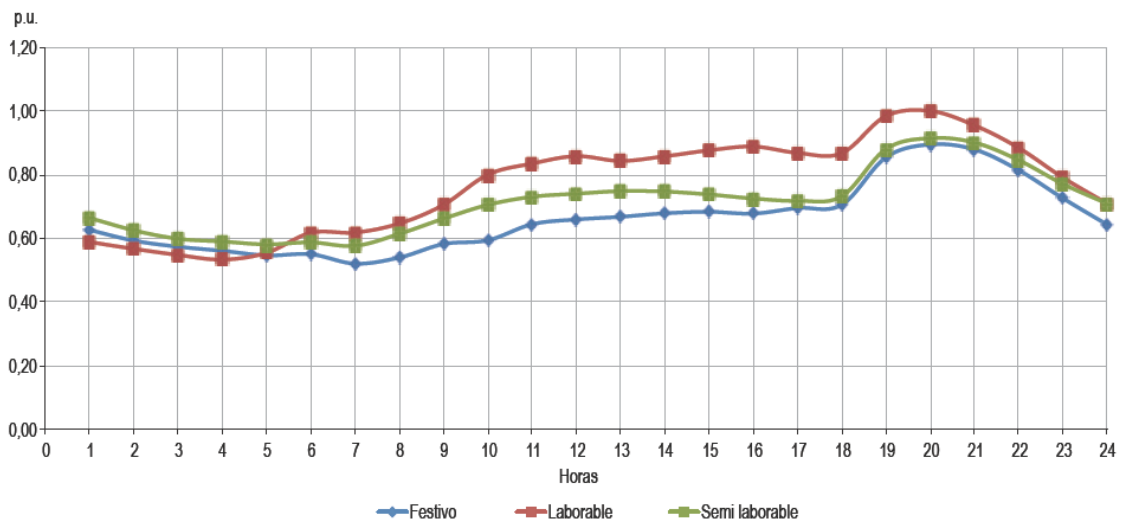
#### **1.1.1 Factores climáticos.**

Estos factores influyen en la demanda eléctrica debido a los cambios extremos de las condiciones climáticas de la región que se analice, por ejemplo en Ecuador existe una diferencia en el uso de equipos entre la región sierra y la región costa, como se comprueba en la encuesta del anexo A que siendo realizada con un alcance nacional incluyendo el uso de aire acondicionado y ventilación, los resultados al hacerla en el Distrito Metropolitano de Quito solamente se registró el uso de calefacción y ningún uso de aire acondicionado o ventiladores, sin embargo a nivel local la diferencia entre regiones y estaciones climáticas no son extremas como si se tratara el tema a nivel mundial donde existen países que en el año cambian drásticamente sus condiciones de vida debido a estas variaciones, estos factores son directamente

proporcionales a la demanda eléctrica debido al uso de diversos aparatos eléctricos para mediar estos cambios [3].

### 1.1.2 Factores sociales.

Estos factores influyen en la demanda eléctrica a raíz de un comportamiento social, esto quiere decir que se alteran como consecuencia de una acción humana como por ejemplo feriados, fines de semana, y horas del día ya que los picos de demanda se los visualiza en las horas de la mañana que generalmente la gente empieza su actividad y en las horas de la noche que regresan a su hogar esto se lo tratara a profundidad en secciones posteriores de la investigación, esta representación se indica en la figura 1.1.



**Figura 1.1:** Curva de demanda diaria nacional.

**Fuente:** [4] Consejo Nacional de Electricidad CONELEC, PLAN MAESTRO DE ELECTRIFICACIÓN 2013-2022. 2013, pp. 1–206.

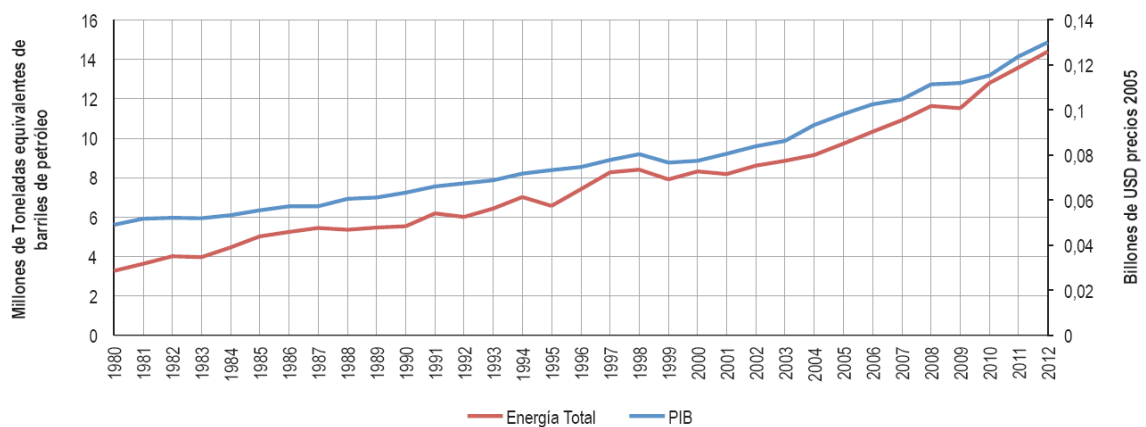
Otro factor social que se halla inmerso en la demanda es el número de habitantes por sector así cuando el número de personas por metro cuadrado es mayor, la demanda aumentaría, de igual forma si una población habita nuevos sectores geográficos es un reto para las empresas distribuidoras para satisfacer la demanda eléctrica como la de otros servicios para el desarrollo de aquella población con sus nuevos requerimientos [3], [5].

### 1.1.3 Factores económicos.

La demanda puede verse influenciada por la economía que maneje cada individuo

y esta se refleja en el grupo social al que pertenece llegando a ser parte de una corriente de consumo de bienes y servicios, esto quiere decir que a medida que un individuo tiene más recurso económico su demanda eléctrica puede aumentar debido a la mejora de su calidad de vida, por otro lado el precio de la energía influye en su consumo a ciertas horas esto puede darse en algunos sectores, pero no en áreas industriales donde se toma otras alternativas [3], [5].

El P.I.B. en Ecuador tiene dos caídas considerables en los últimos años como lo fue en la crisis financiera de 1999 y la crisis mundial del 2009 esto se lo puede visualizar en la figura 1.2, también se puede observar que el producto interno bruto va de la mano con el consumo de energía.



**Figura 1.2:** Consumo de energía y P.I.B. en el Ecuador.

**Fuente:** Banco Mundial y BP Statistical Review of World Energy 2013

### 1.1.4 Factores no predecibles.

Son eventos que no están relacionados con el consumo de energía directamente, estas pueden ser interrupciones no planeadas de energía como desastres naturales, accidentes en el área de generación, transmisión o distribución del sistema nacional interconectado, también se incluye aquellos factores que no son mayormente predecibles pero si dependen de cómo vaya el desenvolvimiento de la sociedad como son las huelgas nacionales o jornadas de elecciones en el último caso citado es predecible pero en huelgas nacionales y manifestaciones es más complejo saber cuál será su desenvolvimiento [3].

### 1.2 Parámetros de diseño de la demanda.

Un parámetro es una variable que se cambia a voluntad en una ecuación planteada,

a continuación se plantea la forma de determinar la demanda máxima diversificada y la demanda de diseño utilizada por la Empresa Eléctrica Quito S.A. incluyendo el plan de cocción eficiente impulsado por el gobierno nacional.

### 1.2.1 Clasificación de consumidores.

Para determinar la demanda máxima coincidente la Empresa Eléctrica Quito S.A. ha clasificado los clientes residenciales en su concesión en seis grupos según su consumo eléctrico.

**TABLA 1. 1:** Estrato de consumo.

Categoría de estrato de Consumo	Escalas de consumo (kWh/mes/cliente) sin considerar la influencia de las cocinas de inducción para usuarios tipo C, D y E
E	0 – 100
D	101 – 150
C	151 – 250
B	251 – 350
A	351 – 500
A1	501 – 900

**Fuente:** [6] *Empresa Eléctrica Quito S.A., NORMAS PARA SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN, vol. PARTE A. Quito, 2014, pp. 1–162.*

Además de la clasificación según su consumo de energía la Empresa Eléctrica Quito S.A. dispone:

*“Las ordenanzas expedidas por los municipios determinan la distribución general del uso del suelo así como las características que deben tener las edificaciones a construir en las zonas determinadas para uso residencial.*

*En dichas ordenanzas se establece que las zonas de uso de suelo residencial (R) son aquellas destinadas a viviendas en forma exclusiva o combinada con otros usos de suelo. Para efectos de regular la combinación de usos, el uso residencial se divide en las siguientes categorías: Residencial 1 (R1), Residencial 2 (R2), Residencial 3 (R3) y las zonas de uso múltiple (M) como las áreas de centralidad en las que se*



*pueden coexistir residencia, comercio, industria de bajo y mediano impacto, servicios y equipamientos compatibles o condicionados”.*<sup>1</sup>

En la tabla 1.2 se muestra la relación según el uso del suelo.

**TABLA 1. 2:** *Tipos de uso del suelo.*

Uso	Tipología	Símbolo	Actividades / Establecimientos	Ocupación del suelo	Área del lote (m <sup>2</sup> ) Coeficiente de ocupación del suelo [COS] (%)
Residencial	Residencial 1	R1	Viviendas con otros usos de barrio	Baja densidad.	600 < Lotes < 1000 m <sup>2</sup> COS < 50%
	Residencial 2	R2	Viviendas con usos sectoriales predominantes	Mediana densidad	400 < Lotes < 600 m <sup>2</sup> 50% < COS < 80%
	Residencial 3	R3	Viviendas con usos zonales condicionados	Alta densidad	Lotes < 400m <sup>2</sup> COS > 80%
Múltiple	Múltiple	M1	Usos diversos de carácter zonal y de ciudad compatibles	-	-

**Fuente:** [6] *Empresa Eléctrica Quito S.A., NORMAS PARA SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN, vol. PARTE A. Quito, 2014, pp. 1–162.*

### 1.2.2 Determinación de la demanda máxima diversificada [6].

El Ministerio de Electricidad y Energía Renovable MEER ha impulsado el uso de cocinas de inducción en la preparación de alimentos mediante el “Plan Nacional de cocción eficiente”, lo que conlleva al incremento de la carga en los estratos de consumo tipo C, D, y E, en donde serán instaladas las cocinas de inducción en su primera etapa, esto se refleja en el diseño mediante el parámetro demanda máxima diversificada de las cocinas de inducción  $DMD_{CI}$ , este parámetro es considerado en la revisión 05 de las “Normas para sistemas de distribución-Parte A” emitido por la Empresa Eléctrica Quito S.A. en el año 2014; cuando se tiene más de cinco usuarios se obtiene a partir de:

$$DMD_{CI} = 0.6 \times N_{CI} \times FC_{CI} \times DMU_{CI}. \quad (1)$$

$DMD_{CI}$ : Demanda máxima diversificada de cocinas de inducción, factor que

<sup>1</sup> [6] *Empresa Eléctrica Quito S.A., NORMAS PARA SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN, vol. PARTE A. Quito, 2014, pp. 1–162.*

dependerá de cada la variación de cada uno de los valores que lo componen como el  $N_{CI}$ ,  $FC_{CI}$ ,  $DMU_{CI}$ .

$N_{CI}$ : Número de cocinas de inducción utilizadas por él o los usuarios para los que se realiza el cálculo.

$FC_{CI}$ : Factor de coincidencia para cocinas de inducción, es un parámetro que expresa la variación en cuanto a la demanda de las cocinas de inducción para cierto número de usuarios debido a la diversidad al momento de usar estos aparatos, se obtiene a partir de:

$$FC_{CI} = e^{-0,7243} \times N_{CI} + 0,037. \quad (2)$$

$DMU_{CI}$ : Demanda máxima unitaria de cocina de inducción, obtenida mediante (5) en donde  $CI$  es la carga instalada de una cocina de inducción y  $FD$  es el factor de demanda de una cocina de inducción,

$$CI = 3 \text{ kW} \quad (3)$$

$$FD = 0,8 \quad (4)$$

$$DMU_{CI} = CI \times FD. \quad (5)$$

$$DMU_{CI} = 3 \text{ kW} \times 0,8 = 2,4 \text{ kW}. \quad (6)$$

La demanda máxima diversificada de las cocinas de inducción  $DMD_{CI}$  para usuarios de 1 a 5, se muestra en la tabla 1.3:

**TABLA 1. 3:** *Tipos de uso del suelo.*

# cocinas de inducción	DMDCI (kW)
1	1,44
2	2,65
3	3,5
4	3,89
5	3,1

**Fuente:** [6] *Empresa Eléctrica Quito S.A., NORMAS PARA SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN, vol. PARTE A. Quito, 2014, pp. 1–162.*

La demanda máxima diversificada se obtiene a partir de la multiplicación de dos factores: el factor de coincidencia denominado para este cálculo como factor M y la relación entre energía consumida por mes y por cliente con la demanda que se expresa mediante el factor N, para usuarios con estrato de consumo tipo A1, A, y B en los cuales no se incluye el parámetro demanda máxima diversificada de las cocinas de inducción, se obtiene a partir de (7) y para usuarios tipo C, D, y E, se incluye la demanda máxima diversificada de las cocinas de inducción como se muestra en (8):

$$DMD = (Factor\ M \times Factor\ N) \quad (7)$$

$$DMD = (Factor\ M \times Factor\ N) + DMD_{CI} \quad (8)$$

En [6] se puede encontrar los valores para la demanda máxima diversificada considerando los factores M y N, sin afección de la carga de las cocinas de inducción, de 1 a 100 usuarios para los estratos de consumo A, B, C, D, y E.

### 1.2.3 Determinación de la demanda de diseño [6].

La demanda de diseño es el valor utilizado en el dimensionamiento de elementos de la red y cómputo de la caída de voltaje, esto se debe a que en cada punto del circuito de alimentación incide un número variable de usuarios, distancia desde el transformador, cargas especiales y distribución de cargas, además cada una de las demandas unitarias de los usuarios no son coincidentes esto quiere decir que las curvas de demanda con respecto al tiempo no son iguales debido al estilo de vida que lleva cada individuo, con esto se concluye que la potencia transferida hacia la carga es generalmente menor que la sumatoria de las demandas máximas individuales, por tanto la demanda de diseño para clientes residenciales con estrato de consumo tipo A1, A y B se expresa:

$$DD = \frac{DMD + D_{AP} + D_{PT}}{FP} \quad (9)$$

Para usuarios residenciales tipo C, D y E se usa la siguiente expresión:

$$DD = \frac{DMD + DMD_{CI} + D_{AP} + D_{PT}}{FP} \quad (10)$$

Donde:

DD: Demanda de diseño en los bornes secundarios del transformador (kVA).

DMD<sub>CI</sub>: Demanda máxima diversificada de cocinas de inducción (kW).

D<sub>AP</sub>: Demanda de alumbrado público (kW), las potencias nominales de las luminarias de vapor de sodio de alta presión son 400 W, 250 W, 150 W y 100W, depende de la iluminación que use cada proyecto.

D<sub>PT</sub>: Demanda de pérdidas técnicas (kW), se calcula multiplicando la demanda máxima diversificada DMD por el 3,6% equivalente a las pérdidas técnicas resistivas.

FP: Factor de potencia, se utiliza (0,95).

En el caso de cámaras de transformación ubicadas para edificios residenciales no se considera la demanda de alumbrado público y las pérdidas técnicas entre el alimentador del transformador y los medidores es del 1% de la demanda máxima diversificada DMD, de esta manera se utiliza (11) para el cálculo de la demanda de diseño en usuarios residenciales de estrato de consumo tipo A1, A y B; y (12) para usuarios tipo C, D y E:

$$DD = \frac{DMD + D_{PT}}{FP} \quad (11)$$

$$DD = \frac{DMD + DMD_{CI} + D_{PT}}{FP} \quad (12)$$

### 1.3 Control de la demanda.

Ecuador tiene actualmente proyectos implementados para eficiencia energética que permiten de alguna manera controlar la demanda enfocándose al aprovechamiento óptimo de la energía, así, sin interferir la calidad de vida del usuario se promueve proyectos de sustitución tecnológica, gestión y transformación de hábitos culturales para los sectores residencial, público e industrial [2].

En países como Dinamarca o Noruega, el gobierno invierte gran cantidad de recursos para vivir en esas condiciones climáticas, en Ecuador al no tener una situación extrema de cambio climático en cada estación del año no se ve reflejado en su demanda un porcentaje elevado que controlar sin embargo existen diferencias en el uso de aparatos eléctricos según la región del país.

#### 1.3.1 Sustitución tecnológica.

El crecimiento de la demanda eléctrica a través de los años hace que el estado

ecuatoriano tome medidas para reducir el consumo de energía mediante su uso eficiente, a lo largo de América latina la misma iniciativa de consumo eficiente de energía se promueve de diferentes formas según la gestión que tenga cada país.

#### **1.3.1.1 Proyecto de sustitución de focos incandescentes por ahorradores.**

Primer proyecto de eficiencia energética impulsado desde el año 2008 por el Gobierno Nacional con el fin de reducir la demanda de potencia y energía en horas pico, en la primera fase del proyecto se sustituyó 6 millones de focos incandescentes a usuarios residenciales con un consumo inferior a 150 kWh/mes, para la segunda fase desarrollada en el 2010 se sustituyó 10 millones de focos ahorradores enfocándose esta vez a usuarios residenciales con un consumo de energía menor a 200 kWh/mes y a sectores de la salud, educación y servicio social. Además de reducir el consumo de energía en el año 2011 se registra el proyecto de sustitución de focos incandescentes por ahorradores como Mecanismo de desarrollo limpio (MDL), luego de ser validado por la Convención de Cambio Climático de las Naciones Unidas (UNFCCC) [7], [8], [9], [10].

#### **1.3.1.2 Proyecto de sustitución de refrigeradoras ineficientes.**

Es un proyecto impulsado por el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable del Ecuador a fin de sustituir refrigeradoras de consumo ineficiente mayores a 10 años de uso, por aparatos de alta eficiencia de volumen de enfriamiento de 280 y 340 litros.

La proyección a entregarse son 300.000 unidades, con lo que se conseguiría un ahorro de 215.780 MWh/año con su respectivo ahorro económico de USD 26'972.550 aproximadamente, el beneficio que el usuario obtiene es el ahorro de energía que se refleja en su economía ya que estaría reduciendo en su tarifa eléctrica anualmente de USD 6 a USD 8 por mes, aparte del ahorro de energía que le beneficia directamente al estado.

El proyecto se lo conoce como Programa RENOVA el cual busca ser un incentivo económico de USD 250 para usuarios que poseen la tarifa de la dignidad por tanto tienen un consumo inferior a 110kW/h al mes en la sierra y 130KW/h al mes en la costa, además para usuarios que no son beneficiarios de la tarifa de la dignidad y tienen un consumo menor a 200kW/h al mes durante los últimos doce meses recibirán USD 200, los usuarios que califiquen a este beneficio tendrán una tasa de

interés anual del 5% con un financiamiento de 12, 24 y hasta 36 meses [7].

### **1.3.1.3 Alumbrado público eficiente.**

A nivel nacional el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable impulso el proyecto Alumbrado Público Eficiente con el que realizó la sustitución en toda la concesión de la CNEL de luminarias de vapor de mercurio de 175 W por luminarias de vapor de sodio de 100 W, con el fin de ahorrar un consumo de energía de 20 GWh/año aproximadamente [11].

### **1.3.2 Smart Home.**

Estos sistemas permiten el ahorro de diferentes recursos como energía eléctrica, agua, gas, entre otros, que directamente son reflejados en la parte económica; se desarrollan mediante equipos y sistemas que miden, procesan y controlan el uso de los mismos principalmente utilizados para edificios y procesos industriales.

Una casa es el sitio de transferencia en donde la energía provista por la empresa distribuidora pasa a las cargas que lo consumen, por tanto es importante prestar atención a la eficiencia energética por medio de la automatización de sistemas y la comunicación entre el usuario final, los sistemas de su hogar y la empresa distribuidora, esto lo permite un Smart home [12].

Un propietario comúnmente no se preocupa de factores como la demanda máxima, sin embargo con la aplicación de Smart home la utilización de energía de la casa trabaja sobre los objetivos de los ocupantes, la comodidad y el costo que representa, esto conlleva a ventajas como la seguridad, ahorro energético y sostenibilidad [13].

Mirando hacia afuera de la residencia que aplica Smart home, la empresa distribuidora adquiere datos de la casa mediante un medidor inteligente AMI (Advanced Metering Infrastructure), y dentro de la residencia la automatización mediante sensores y controladores; este conjunto de sistemas que automatizan diferentes servicios de una vivienda, trae al usuario ventajas como el ahorro energético no solo en el uso de equipos eficientes, también en la gestión eficiente de estos, por ejemplo sistemas de climatización dividido por zonas y el uso de diferentes cargas eléctricas según la hora del día dependiendo de las tarifas eléctricas [13].

Estos sistemas además ofrecen comodidad en cuestiones de iluminación y control de persianas, seguridad al contar con el monitoreo de alarmas de incendios, fugas de agua y gas, incluso la simulación de presencia humana en una casa; finalmente el

hecho de tener comunicados todos los procesos existentes en una vivienda permite tener control remoto, tele asistencia, transmisión de alarmas, informes de consumo, etc., dentro y fuera de la vivienda.

En el caso de hoteles y edificios multifamiliares poseen una extensa carga en cuanto a servicios y procesos para su funcionamiento, de la misma manera cada servicio tiene su excedente en el caso que no posea ningún tipo de control, es en ese punto en donde se concentra este proceso de gestión eléctrica, permitiendo el ahorro de recursos y su compensación en factores económicos [14].

Los procesos que definen esta gestión son la climatización, iluminación, agua caliente sanitaria (ACS), control de accesos por áreas, video vigilancia, sistemas HVAC, monitoreo de energía y los diversos sistemas que tenga el edificio, el ahorro de energía mediante la gestión eléctrica eficiente en edificios puede ahorrar hasta un 30% de recursos energéticos.

### **1.3.3 Hábitos culturales.**

En 1998 el Protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático, propone la limitación y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, con esto los países industrializados promoverían este fin en la adaptación en su producción y en sus políticas económicas, esto serviría además a los países en vías de desarrollo a tomar como modelo a seguir en los procesos propios de cada país.

En la actualidad países cercanos como Venezuela, Perú, Chile, etc., fomentan varias iniciativas con respecto a la eficiencia energética enfocadas a la concientización del usuario, en la figura 1.2 muestra algunas de las publicidades acerca de este tema [15], [16], [17].

En Ecuador se fomenta esta iniciativa mundial a partir de actividades con el usuario incentivando la manera eficiente del uso de la energía en áreas residenciales, públicas e industriales.



**Figura 1.3:** Publicidad eficiencia energética.

**Fuente:** Ministerio de energía y Minas de Perú, Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica de Venezuela, Ministerio de Energía de Chile.

### 1.3.3.1 Hábitos en el sector residencial.

En [18] se informa una de las campañas de ahorro de energía, del buen uso de la energía y de sus instalaciones, que se fomentan en la población del sector residencial; otro tipo de iniciativa es enfocada a los niños, partiendo de un juego en la web que pretende reformar hábitos culturales que aporten al control de la demanda, cada empresa distribuidora tiene su metodología para crear este tipo de hábitos.

### 1.3.3.2 Hábitos en el sector público.

El decreto ejecutivo N°1681 firmado por el presidente de la República [19], en el artículo 2, dispone que las instituciones públicas entran en una renovación cultural de hábitos que permitan el ahorro y el uso eficiente de energía en todos sus funcionarios y en todo proceso, esta renovación se la implementara mediante talleres de capacitación [19], [11].

### 1.3.3.3 Hábitos en el sector industrial.

El Gobierno Nacional por medio del Ministerio de Electricidad y Energía



Renovable, impulsa proyectos como “Eficiencia Energética para la Industria”, con esto se pretende promover desarrollo de estándares nacionales de gestión de energía y la aplicación de la metodología de optimización de sistemas en procesos industriales; la capacitación a diferentes sectores que intervienen en el proceso productivo permiten ahorros a corto plazo, la tabla 1.4 muestra las actividades realizadas hasta mayo del 2014 [20].

**TABLA 1.4:** *Actividades implementadas hasta mayo del 2014.*

<b>Actividades</b>	<b>Meta</b>	<b>Realizado</b>	<b>%</b>
Técnicos nacionales formados como Expertos en Sistemas de gestión de Energía	25	16	64
Técnicos nacionales formados como Expertos en Optimización de Sistemas motrices y de vapor	50	25	50
Taller de usuarios en Sistemas de Gestión y Optimización de Sistemas	400	334	83
Representantes de industrias obtienen formación en SGE en talleres de 2 días	200	267	134

**Fuente:** [20] *Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, “EFICIENCIA ENERGÉTICA SECTOR INDUSTRIAL,” 2014. [Online]. Available: <http://www.energia.gob.ec/eficiencia-energetica-sector-industrial/>. [Accessed: 05-Aug-2014].*

#### **1.4 Impacto en la generación.**

La generación de energía eléctrica es uno de los pilares fundamentales para satisfacer las necesidades productivas de una nación, tanto la oferta como la demanda van equilibradas a fin de no provocar desabastecimiento eléctrico que puede afectar directamente la economía de un país.

En Ecuador a raíz de la Ley de Régimen del Sector Eléctrico planteada en 1996 la cual posibilitaba la inversión privada en proyectos de generación, transmisión y distribución; los resultados de la inversión no fueron los necesarios para satisfacer la demanda eléctrica lo que conllevó a un déficit de energía provocando la importación de energía en temporadas de estiaje de las fuentes hídricas y la inversión en centrales térmicas de fácil instalación pero de alto costo de operación [21], [22].

En el año 2008 se expide el Mandato Constituyente N°15, en el cual asume el estado la construcción de proyectos de generación permitiendo ejecutar un proceso de planificación acorde a las necesidades según la demanda, cambio de matriz

energética del Ecuador y uso eficiente de energía.

Considerando el crecimiento de la demanda eléctrica debido a la implementación de proyectos como: desarrollo industrial, transporte eléctrico, refinería del pacifico, sustitución de gas licuado de petróleo (GLP) por electricidad para cocción, integración del sistema eléctrico petrolero al Sistema Nacional Interconectado (S.N.I.); se presenta como un reto para el Estado la correcta planificación del crecimiento de la generación con respecto a las nuevas demandas que a medida se presentaran en Ecuador [22].

El país posee una gran cantidad de recurso hídrico, por lo cual en el cambio de matriz energética señala la importancia de la participación de energía renovable en la producción nacional, adicionalmente menciona la ejecución de los proyectos hidroeléctricos del Plan Maestro de Electrificación y el apoyo a otros proyectos de energía renovable como la geotérmica, eólica, solar y biomasa.

#### 1.4.1 Situación actual de la generación.

La tabla 1.5 muestra la capacidad efectiva en generación que posee el país hasta abril del 2014 incluyendo las interconexiones que tiene con Perú y Colombia. Ecuador consta de 16 centrales hidroeléctricas estatales entre 1 a 1000 MW de capacidad y 39 centrales pequeñas pertenecientes a municipios, empresas de distribución y empresas privadas; además más de un centenar de centrales térmicas a base de varios combustibles y 4 centrales de generación renovable.

**TABLA 1.5:** Capacidad efectiva en generación.

1. Capacidad efectiva en generación		MW	%
Energía Renovable	Hidráulica	2,237.33	43.85
	Solar	4.87	0.10
	Eólica	18.9	0.37
	Turbo vapor	93.4	1.83
<b>Total Energía Renovable</b>		<b>2,354.5</b>	<b>46.15</b>
No Renovable	MCI	1,326.16	25.99
	Turbo gas	973.3	19.08
	Turbo vapor	448.24	8.79
<b>Total Energía No Renovable</b>		<b>2,747.7</b>	<b>53.85</b>
<b>Total Capacidad Instalada</b>		<b>5,102.21</b>	<b>100</b>

**Fuente:** [23] Consejo Nacional de Electricidad CONELEC, "BALANCE NACIONAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA INFORMACIÓN ESTADÍSTICA ABRIL 2014," 2014. [Online]. Available: <http://www.conelec.gob.ec/contenido.php?cd=10261&l=1>. [Accessed: 06-Aug-2014].

## 1.4.2 Escenarios de crecimiento.

Para que la oferta y la demanda eléctrica vayan equilibradas es necesario realizar una proyección que vaya acorde con el crecimiento de la demanda sin excederse y tampoco sin satisfacer los requerimientos de la demanda eléctrica, los escenarios proyectados para este crecimiento de la demanda son la incorporación de demandas industriales relacionadas con la minería, siderurgia, cemento, transporte, petrolera; además de la inclusión del Plan Nacional de Cocción Eficiente.

### 1.4.2.1 Crecimiento industrial.

Se prevé la incorporación de nuevas cargas industriales de gran magnitud además del crecimiento de las cargas industriales ya instaladas, en tabla 1.6 muestra las cargas singulares industriales, tomar en cuenta que TR es el nivel de conexión para aquellos casos en que el usuario es conectado al sistema de transmisión 138kV y 230kV, además las empresas mineras que indican su funcionamiento en el 2014 aún no se han concretado por problemas administrativos que para el año 2015 se encargara el nuevo ministerio de minas, en el caso de la Ciudad del Conocimiento Yachay entró en funcionamiento en marzo del 2014 [5], [24], [25], [26], [27].

**TABLA 1.6:** Cargas singulares industriales.

Cliente	Actividad	Nivel de tensión de conexión	Empresa distribuidora	Año de ingreso	Demanda				
					2012		En régimen		
					Potencia (MW)	Energía (MWh)	Potencia (MW)	Energía (MWh)	Factor de Carga
Senagua	Bombeo de Agua	TR	CNEL-Guayas Los Ríos	Existente	11	20107	11	20107	21%
Bombas Severino	Bombeo de Agua	TR	CNEL-Manabí	Existente	10	14374	10	14380	16%
Novacero	Acero	TR	E.E. Cotopaxi	Existente	23	103581	47	213140	51%
Andec S.A.	Acero	TR	Eléctrica de Guayaquil	Existente	23	133185	55	335555	70%
Holcim	Cemento	TR	Eléctrica de Guayaquil	Existente	33	268120	35	270349	88%
Adelca(Acería)	Acero	TR	E.E.Quito	Existente	30	183811	38	186413	56%
Adelca(Laminación)	Acero	TR	E.E.Quito	Existente	7	30509	10	49056	56%
Adelca(Nueva Acería)	Acero	TR	CNEL Milagro	2015			45	220752	56%
Río Blanco	Minera	AT	E.E.Centro Sur	2014			11	82782	90%
Quimsacocha	Minera	TR	E.E.Centro Sur	2015			20	157680	90%
Fruta del Norte	Minera	TR	E.E.Sur	2014			36	225000	71%
Mirador	Minera	TR	E.E.Sur	2014			92	598000	74%
Ep-Petroecuador	Petroquímica	TR	CNEL Sucumbíos	2015			255	898843	92%
Yachay	Asentamiento	MT	E.E.Norte	2014			15	103545	48%

**Fuente:** [5] Consejo Nacional de Electricidad CONELEC, "PLAN MAESTRO DE ELECTRIFICACION 2013-2022," 2013, pp. 1-157.

#### **1.4.2.2 Crecimiento de transporte eléctrico.**

Se prevé el incremento de la demanda mediante la inclusión de transporte eléctrico liviano alrededor de 1000 vehículos eléctricos entre los años 2015 – 2016; adicionalmente se prevé el ingreso de dos grandes proyectos de transporte público como el Metro de Quito y el Tranvía de Cuenca [5].

#### **1.4.2.3 Programa Nacional de Cocción Eficiente [5].**

Los pasos previos a la implementación de este programa iniciaron durante los años 2009, 2010 y 2011, donde el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable con la colaboración de la Empresa Eléctrica del Norte implemento un proyecto piloto en 6 parroquias rurales del cantón Tulcán de la provincia de Carchi, los resultados que se obtuvieron con una cocina de inducción de 1,2 kW fue el consumo promedio de 90kWh/mes; la inclusión del programa en todo el país se tiene programado para el 2015, año en el cual las empresas eléctricas distribuidoras deben tener preparada su infraestructura para suministrar el servicio con este incremento de carga, adicionalmente se asume una energía mensual promedio por cocina de 100 kWh para la proyección dada por el Plan Nacional de Electrificación.

Para proyectar el consumo mensual de energía se parte del equivalente energético kWh del producto entre el consumo mensual promedio de GLP por hogar y la relación de eficiencias entre la cocción con GLP y electricidad:

$CP_{GLP/H}$ : Consumo promedio de GLP por hogar.

$CP_{GLP}$ : Consumo de GLP del sector doméstico.

$NH_{GLP}$ : Número de hogares que usan GLP para cocción.

$$CP_{GLP/H} = CP_{GLP}/NH_{GLP}. \quad (13)$$

En el año 2011 el consumo de GLP en el sector doméstico según la Agencia de Regulación de Hidrocarburos ARCH, fue de 929.505 toneladas a esto se asume que el 80% de esta cifra es destinada a la cocción de alimentos. El número de hogares que usan GLP para cocción de alimentos según el Censo de Población y Vivienda 2010 es 3.466.737, mediante una extrapolación realizada por el CONELEC se obtiene que para el 2011 el número de hogares que usaron GLP para cocción de

alimentos fue 3.673.000 aproximadamente:

$$CP_{GLP} = 929.505 t \times 80\%$$

$$CP_{GLP} = 743.604 t$$

$$CP_{GLP} = 743.604 t \times \frac{1000 kg}{1 t}$$

$$CP_{GLP} = 743.604.000 kg \quad (14)$$

$$NH_{GLP} = 3.673.000 hogares \quad (15)$$

Se reemplaza (14) y (15) en (13)

$$CP_{GLP/H} = 743.604.000 kg / 3.673.000$$

$$CP_{GLP/H} = 202,45 kg$$

$$CP_{GLP/H} = 202,45 kg \times \frac{1 Cil}{15 kg}$$

$$CP_{GLP/H} = 13,5 Cil por año$$

$$CP_{GLP/H} = 1,12 Cil por mes$$

$$1 Cil = 190,29 kWh \quad (16)$$

Se tiene el consumo promedio por hogar:

$$CP_{kWh} = 1,12 Cil por mes \times 190,29 kWh$$

$$CP_{kWh} = 212,61 kWh \quad (17)$$

La relación entre las eficiencias entre la cocina a GLP y la cocina de inducción se obtiene:

$$\eta_{GLP} = 39,87\% \quad (18)$$

$$\eta_{ELEC} = 84\% \quad (19)$$

$$\eta_{GLP} / \eta_{ELEC} = 0,47 \quad (20)$$

Por tanto la demanda de energía mensual promedio por cocina es el resultado del consumo promedio en kWh por la relación entre eficiencias:

$$CP_{Cocina} = (17) \times (20) \quad (21)$$

$$CP_{Cocina} = 212,61kWh \times 0,47$$

$$CP_{Cocina} = 100,91kWh \quad (22)$$

#### **1.4.2.4 Refinería del Pacífico.**

Es un proyecto en desarrollo que tiene previsto su operación para finales del 2016 sin embargo su construcción empezaría desde finales del 2014, con una demanda inicial para su construcción esta carga se tomara del sistema de distribución hasta julio del 2015, en adelante la demanda ira incrementándose hasta llegar a funcionar 24 horas del día con una potencia de 370 MW y tomada directamente del S.N.I.

#### **1.4.3 Proyectos de generación.**

El comportamiento de la demanda produce que el área de generación incremente su capacidad a fin de las necesidades de la demanda de manera autónoma, sin interconexiones internacionales, calidad, reserva y confiabilidad; para no desequilibrar la oferta con la demanda eléctrica, el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable impulsa 9 proyectos emblemáticos de los cuales solo con el ingreso del Proyecto Coca Codo Sinclair se abastecería la demanda proyectada del país y permanecer sin variación hasta el ingreso masivo de las cocinas de inducción ya considerado en la proyección para lo cual ingresarán paulatinamente los proyectos restantes proporcionando firmeza al sistema especialmente en tiempo de estiaje [22].

La tabla 1.7 resume el estado de la construcción y la potencia que pretende entregar 8 de los proyectos hidroeléctricos emblemáticos considerados por el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable:

**TABLA 1.7:** Estado de construcción de los proyectos emblemáticos.

Proyecto	Tipo	Recurso	Inicio de construcción	Potencia (MW)	Ingreso al S.N.I.	Avance (%) Abril 2014
Coca Codo Sinclair	Hidroeléctrica	Ríos Quijos y Salado	2010	1500	2016	63,67
Delsitanisagua	Hidroeléctrica	Río Zamora	2011	180	2016	25,51
Manduriacu	Hidroeléctrica	Río Guayllabamba	2011	60	2014	77,80
Mazar Dudas	Hidroeléctrica	Ríos Pindilig y Mazar	2012	21	2014	65,02
Minas San Francisco	Hidroeléctrica	Rio Jubones	2011	270	2015	36
Quijos	Hidroeléctrica	Ríos Quijos y Papallacta	2012	50	2015	32,36
Sopladora	Hidroeléctrica	Rio Paute	2011	487	2015	54,20
Toachi Pilaton	Hidroeléctrica	Ríos Toachi y Pilaton	2011	254,40	2015	44,20

**Fuente:** [28] E. Ministerio, "Programas / Servicios | Ministerio de Electricidad y Energía Renovable Programas / Servicios | Ministerio de Electricidad y Energía Renovable," 2015. [Online]. Available: <https://www.energia.gob.ec/programas-y-servicios/>.

El proyecto Villonaco ubicado en la provincia de Loja está funcionando desde el año 2013 y entro en operación en abril del 2014 aportando al S.N.I. 72,71 GWh por medio de energía eólica, cuenta con 11 generadores de 1,5MW cada uno.

## **CAPITULO II**

### **MODELAMIENTO DE LA DEMANDA ELÉCTRICA**

El crecimiento de nuevas tecnologías en redes inteligentes (Smart Grid) conlleva a comprender de mejor manera la demanda eléctrica residencial que antiguamente no era un factor considerable. El perfil de demanda de un usuario residencial tiene un comportamiento dinámico que es influenciado por factores como el clima, el número de aparatos eléctricos, la potencia de los aparatos eléctricos y el uso que se le da a los mismos, en la actualidad se estudia a fondo la demanda eléctrica residencial para pronosticar su comportamiento a fin de tomar decisiones adecuadas de estabilidad y seguridad del sistema [29], [1], [30], [31].

La demanda residencial es estudiada mediante varios modelamientos que arrojan resultados de comportamiento según los sectores de la población, para esto se hace necesario conocer el comportamiento de los individuos que se va a estudiar [1], [30].

#### **2.1 Métodos para proyección y modelamiento de la demanda de un usuario residencial.**

La proyección de la demanda es un proceso sistemático que permite predecir el comportamiento de la carga de los usuarios, así el modelo obtenido conduce a un buen manejo, permitiendo que el sistema sea continuo, seguro y confiable debido a su correcta adaptación a la demanda [32].

Varios factores influyen en la proyección de la demanda como son: el clima, la utilización de territorio, la programación municipal, el nivel socioeconómico, la densidad de carga, datos históricos, crecimiento demográfico, planes industriales, hábitos de consumo tarifas, factores geográficos [33].

En la presente investigación no se aborda varios métodos de pronostico debido a que en algunos casos sus resultados no cumplen con el grado de exactitud que se maneja en la actualidad como es el caso del método de probabilidad y promedio que en la actualidad está en desuso, el caso del método de micro áreas no se lo menciona debido a que su aplicación radica en la utilización de tierra que para el caso de la presente investigación no se usa datos con respecto a este tema.

##### **2.1.1 Métodos de regresión.**

Para el análisis del método de regresión en la presente investigación no se toma en



cuenta las regresiones lineal, exponencial, potencial y logarítmica debido a que por la naturaleza de los datos utilizados para el modelamiento de la demanda no se ajustan a la curva de carga que es el tema de interés del presente capítulo.

### 2.1.1.1 Regresión polinómica.

En caso de que no se encuentre una relación entre la variable dependiente e independiente con las funciones apropiadas, se utiliza el método de regresión polinómica. La ventaja de este método es que el punto medido se puede aproximar mediante el aumento del orden de la función, pero a medida que se aumenta el grado se puede obtener resultados no razonables, el método responde a la siguiente forma [34]:

$$y = b_0 + b_1x + b_2x^2 + \dots + b_mx^m \quad (23)$$

### 2.1.1.2 Regresión múltiple.

Este método permite agregar varias variables independientes y una variable dependiente, el número de variables independientes se representa con la letra  $p$ . El uso de este método considera la inclusión de factores ambientales, demografía, entre otros; los cuales son influyen en la demanda eléctrica de un usuario por tanto ahí se denota la importancia de este método en el modelamiento de la demanda, la ecuación [35], [32].

El modelo de regresión múltiple se expresa en (24):

$$y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \dots + \beta_px_p + \epsilon \quad (24)$$

### 2.1.1.3 Regresión múltiple usando variables económicas.

Utiliza variables como el precio, nivel de ingresos, número de clientes, nivel de actividad económica, nivel de equipamiento de hogares, para estimar la relación matemática que modele el comportamiento de la demanda, usa una especificación lineal en logaritmos [32], [36], [37]:

$$\ln Y_t = \ln \alpha + \beta_1 \ln X_{1t} + \beta_2 \ln X_{2t} + \dots + \beta_k \ln X_{ik} \quad (25)$$

Dónde:

$Y_t$ =variable a explicar, puede ser las ventas de energía eléctrica.

$X_t$ =variables explicativas, Producto Interno Bruto, tarifa de electricidad, número de

clientes.

$\alpha$ =ordenada al origen.

$\beta$ =datos obtenidos a partir de los datos disponibles.

### **2.1.2 Métodos de series de tiempo.**

Dado que la demanda eléctrica varía en relación del tiempo, para el proceso de gestión de energía mediante este método es primordial analizar y comprender el comportamiento del pasado para obtener patrones básicos de variabilidad y así usarlos para predecir valores futuros de demanda [37], [32], [38].

El procedimiento de este método es primeramente la obtención de datos históricos en intervalos uniformes, se grafica sus valores para un análisis completo de sus componentes para posteriormente detectar irregularidades y realizar transformaciones respectivas; esto conlleva a que la serie de tiempo que se obtiene sea estacionaria por tanto la precisión del análisis es mayor [37], [32], [38].

#### **2.1.2.1 Métodos de suavización.**

##### **2.1.2.1.1 Método exponencial simple.**

Es un método que requiere pocos datos y que se enfoca en las observaciones más recientes y reales de la muestra, la particularidad del método es su acertada reacción a cambios en el tiempo de la demanda eléctrica [32], [38], [39].

Se aplica el método cuando no existe una tendencia y la formula es el siguiente:

$$Y_{t+1} = \alpha Y_t + (1-\alpha)Y_{1_t} \quad (26)$$

Dónde:

$Y_{t+1}$ =valor para el siguiente periodo t

$\alpha$ =constante de atenuación entre cero y uno.

$Y_t$ =valor real de la serie

$Y_{1_t}$ =Valor anterior atenuado al periodo (t-1).

##### **2.1.2.1.2 Método de Holt.**

Se lo llama también método de atenuación ajustada la tendencia, se aplica directamente a la tendencia y a la pendiente usando constantes de atenuación, se utilizan tres ecuaciones similares a la del método exponencial simple la primera es la serie exponencialmente atenuada [32], [38], [39]:

$$A_t = \alpha Y_t + (1-\alpha)(A_{t-1} + T_{t-1}) \quad (27)$$

Se incluye un factor adicional  $T_t$  para la tendencia y una constante de atenuación  $\alpha$ , para lo cual se utiliza la estimación de la tendencia donde se incluye una nueva constante de atenuación de la estimación de la tendencia  $\beta$ :

$$T_t = \beta(A_t - A_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1} \quad (28)$$

El pronóstico de  $p$  periodos en el futuro se da mediante:

$$Y_{t+p} = A_t + pT_t \quad (29)$$

Dónde:

$Y_{t+p}$ =pronóstico de  $p$  periodos.

$A_t$ =valor atenuado calculado en (27)

$p$ =periodos para pronostico.

$T_t$ =estimación de la tendencia calculado en (28)

### 2.1.2.1.3 Método de Winter.

Un modelo que viene del modelo Holt y por el cual es la atenuación exponencial ajustada a la tendencia y a la variación estacional, se trabaja con cuatro ecuaciones la primera es la serie exponencial atenuada donde se obtiene el nuevo valor atenuado y se utiliza una constante de atenuación [32], [38], [39]:

$$A_t = \alpha \frac{Y_t}{S_{t-L}} + (1-\alpha)(A_{t-1} + T_{t-1}) \quad (30)$$

La estimación de la tendencia y el valor constante de atenuación de la estimación de la tendencia  $\beta$  viene dado por:

$$T_t = \beta(A_t - A_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1}. \quad (31)$$

La estimación de la estacionalidad se describe a continuación:

$$S_t = Y \frac{Y_t}{A_t} + (1 - Y)S_{t-L} . \quad (32)$$

Finalmente, el pronóstico puntual está dado por las anteriores ecuaciones:

$$Y_{t+p} = (A_t + pT_t)S_{t-L+p}. \quad (33)$$

### 2.1.2.2 Métodos de auto-regresión [37].

Como parte de las técnicas de Box-Jenkins para serie de tiempo estacionarias se encuentran los modelos auto regresivos como los AR que poseen términos auto regresivos, los MA con términos de promedio móvil y los modelos ARIMA que poseen términos auto regresivos y de promedio móvil.

La forma del modelo auto regresivo se da por:

$$Y_t = \phi_0 + \phi_1 Y_{t-1} + \phi_2 Y_{t-2} + \dots + \phi_p Y_{t-p} + \epsilon. \quad (34)$$

Donde:

$Y_t$  = variable dependiente.

$Y_{t-1}, \dots$  = variables dependientes desfasadas un número específico del periodo.

$\phi_0, \dots$  = coeficientes de regresión por el método de mínimos cuadrados no lineal.

$\epsilon$  = sucesos aleatorios no explicados por el modelo.

La forma del modelo de promedio móvil se da por:

$$Y_t = w_0 + \epsilon_t - w_1 \epsilon_{t-1} - w_2 \epsilon_{t-2} + \dots + w_q \epsilon_{t-q}. \quad (35)$$

Donde:

$Y_t$  = variable dependiente.

$\epsilon_{t-1}, \dots$  = valores previos de residuos.

$w_0, \dots$  = peso específico.

$\epsilon$  = residuos.

Los modelos de promedio móvil se basan en la combinación de errores anteriores a diferencia de los modelos auto regresivos que son una función lineal de valores reales anteriores.

La combinación entre errores anteriores y valores reales anteriores se encuentra en el modelo auto regresivo integrado de promedio móvil ARIMA el cual se da por la forma:

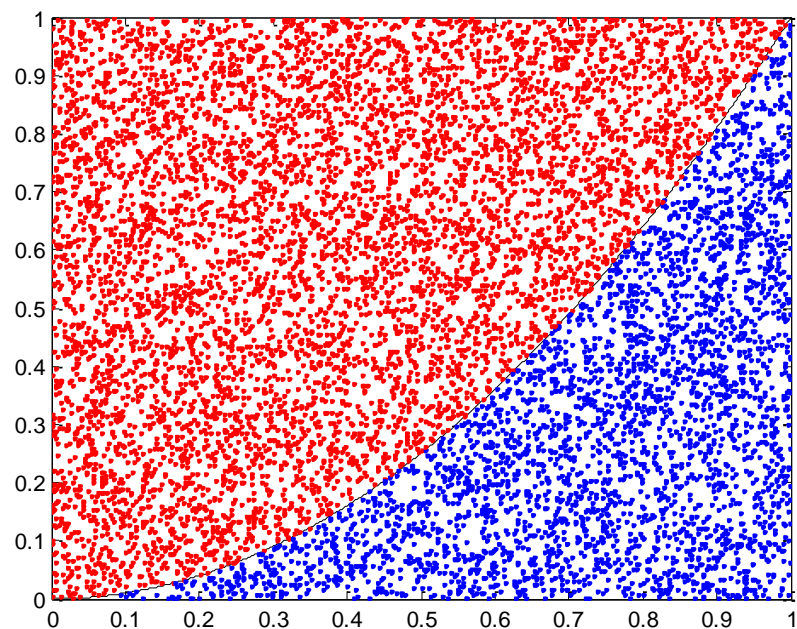
$$Y_t = \phi_0 + \phi_1 Y_{t-1} + \phi_2 Y_{t-2} + \dots + \phi_p Y_{t-p} + \epsilon_t - w_1 \epsilon_{t-1} - w_2 \epsilon_{t-2} - \dots - w_q \epsilon_{t-q}. \quad (36)$$

### 2.1.4 Método de Monte Carlo.

Consiste en la generación de número de puntos finito al azar de tal forma que se distribuya uniformemente sobre el dominio asignado, en el modelamiento de la

demanda eléctrica permite la optimización de sistemas, generación de muestras, integración numérica, y obtener la estimación razonable para las 24 horas del día para patrones de uso en cargas flexibles. Se utiliza también como complemento de la cadena de Markov utilizando la generación de números aleatorios en cada cambio de actividad, de igual forma en modelamientos para carga de baterías para probar el estado de carga inicial y el tiempo de carga, y la generación de series de tiempo de la potencia del viento en sistemas eólicos [30], [31], [40], [41], [42].

La figura muestra una aplicación hecha en *MATLAB* para la integración de una función mediante el método de Monte Carlo en donde se distribuye una serie de números aleatorios de tal manera que con el número de puntos bajo la gráfica se extrapole para conocer el área:

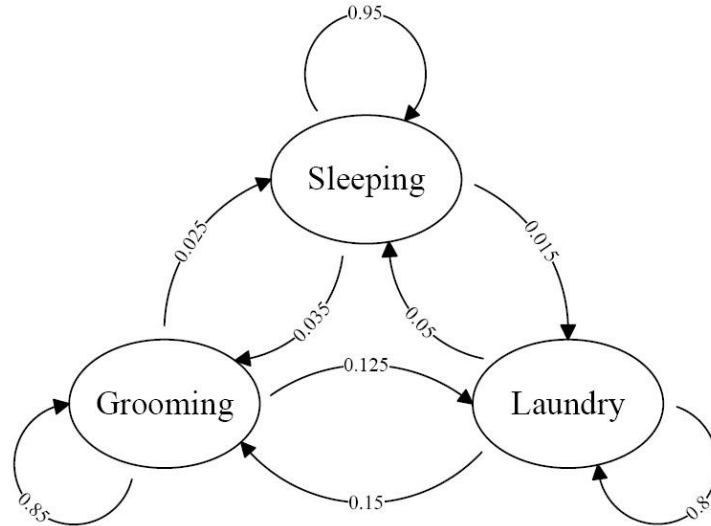


**Figura 2.1:** Ejemplo aplicando método de Monte Carlo.

**Fuente:** Autor

### 2.1.3 Método de cadenas de Markov.

Es un proceso aleatorio en el cual el estado siguiente de una variable  $U$  depende únicamente del estado actual y no interfiere los valores anteriores, si se realiza una sucesión de este proceso toma el nombre de cadenas de Markov, el núcleo de este método es la probabilidad de transición que son los datos con los que se inicia el modelado.



**Figura 2.2:** Representación visual de una cadena de Markov.

**Fuente:** [30] B. J. Johnson, M. R. Starke, O. a. Abdelaziz, R. K. Jackson, and L. M. Tolbert, “A method for modeling household occupant behavior to simulate residential energy consumption,” *Isgt* 2014, pp. 1–5, Feb. 2014.

En la figura 2.2 muestra un ejemplo de las probabilidades para tres estados, por ejemplo la probabilidad de pasar del estado “sleeping” a “laundry” es 0.015, la probabilidad de pasar del estado “sleeping” a “grooming” es 0.035 mientras que el mantenerse en el mismo estado es 0.95 y la suma de las tres probabilidades es 1 y por tanto la elección de cuál es el estado tiene mayor probabilidad que se mantenga en el mismo estado, de la misma forma se puede analizar lo que sucede con los otros dos estados.

Para los casos de problemas de optimización mediante las probabilidades de transición  $P(i,j)$  se llega a conocer el comportamiento de los ocupantes de una vivienda [29], [41].

$$\begin{aligned}
 P(i, j) &\equiv P(U_{t+1} = S_j | U_0 = S_p, \dots, U_t = S_i) \\
 &= P(U_{t+1} = S_j | U_t = S_i). \tag{37}
 \end{aligned}$$

El método de cadenas de Markov si bien da por resultado un comportamiento general de la demanda pero es necesario complementar el método incluyendo métodos como Monte Carlo.

### 2.1.3.1 Método cadenas de Markov Monte Carlo.

Es un método de generación de muestras con optimización de alta no linealidad, primeramente se genera una cadena de Markov, como paso siguiente se simula más

formas de construir esta cadena mediante algún programa computacional, finalmente estos resultados pueden ser dependientes de la muestra llegando a varias conclusiones a partir de las mismas [43].

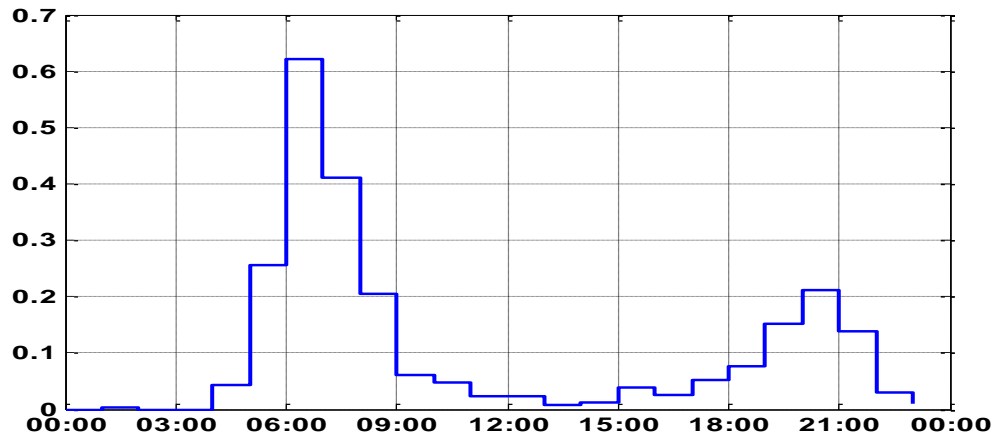
La elección de la probabilidad de transición utilizada puede producir distintos comportamientos en la cadena de Markov para esto existen varios algoritmos de muestreo como el Metropolis-Hastings, muestreo independiente, Random-Walk, Gibbs [41].

## **2.2 Análisis de cargas incorporadas.**

Los aparatos eléctricos de consumo residencial al ser la parte de transferencia de energía entre la empresa distribuidora y el usuario final, esto hace que mediante su análisis se comprenda el comportamiento de las cargas representativas de la población a la que se aplicara el modelamiento, cada tipo de carga tiene su propia forma de uso y su influencia en la demanda eléctrica diaria; en la presente investigación se toma datos de utilización de equipos eléctricos de la encuesta realizada a usuarios residenciales del Distrito Metropolitano de Quito ubicado en el anexo A, los datos son tomados con una sensibilidad de una hora y son expuestos en los siguientes sub temas.

### **2.2.1 Aseo personal.**

Se toma en cuenta únicamente a las secadoras de cabello y duchas eléctricas que al ser una carga resistiva consume una potencia considerable, el valor promedio por hogar de duchas es 1.13 mientras que el de secadoras de cabello es 0.52; otro valor importante es que el 60% de los encuestados que tenían ducha eléctrica poseían una secadora de cabello; la figura 2.3 muestra la utilización de duchas eléctricas a lo largo del día, se observa que el punto máximo es del 60 % aproximadamente, siendo un aparato importante en una ciudad de la región sierra es un valor relativamente bajo sin embargo se debe tomar en cuenta que muchos de los usuarios encuestados si bien no utilizan ducha eléctrica pueden utilizar calefón a gas para el uso de agua en su aseo personal.



**Figura 2.3:** Curva característica de utilización de duchas eléctricas.

Fuente: Autor.

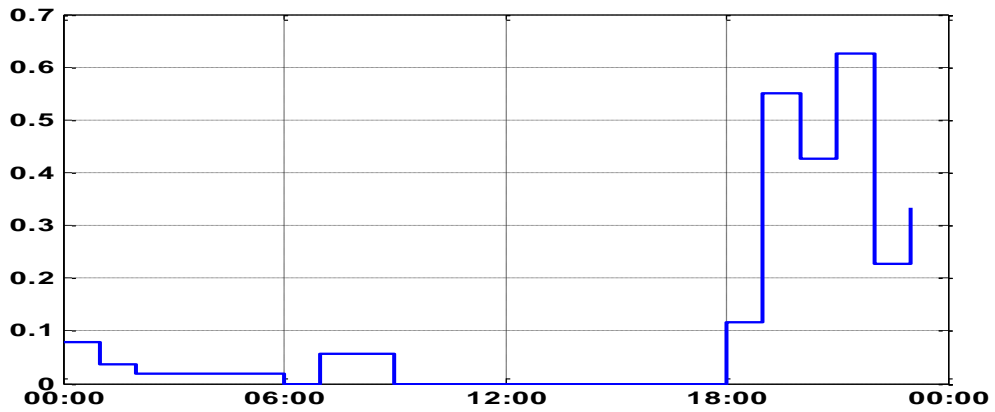
### 2.2.2 H.V.A.C. (heating, ventilating and air conditioning).

Para la presente investigación únicamente se toma en cuenta equipos como calefactores residenciales debido que el clima de donde es tomada la muestra no utiliza equipos de ventilación o aire acondicionado, el porcentaje de hogares encuestados que utilizan algún tipo de calefacción eléctrica es de 10.77%; la forma característica de uso de calefacción en las personas que utilizan calefacción en la muestra adquirida es la que muestra la figura 2.4, el porcentaje de usuarios que usan calefacción es bajo en comparación del uso de otros aparatos, esto se da debido a que la región es fría si se la compara con la región costa pero no con temperaturas muy bajas como en otros países.

### 2.2.3 Lavado de ropa.

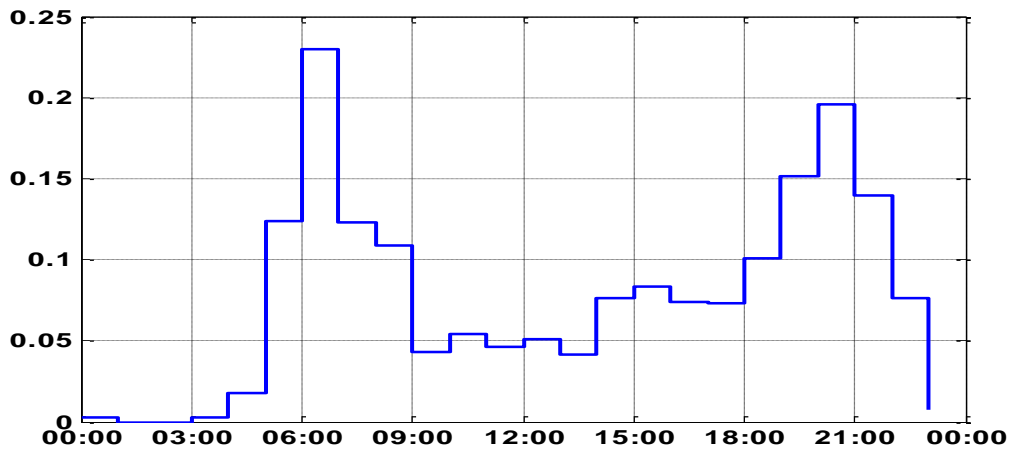
En el área de lavado de ropa se incluye a los siguientes aparatos eléctricos: planchas eléctricas, lavadoras y secadoras de ropa. Las lavadoras eléctricas tienen factor promedio de 0.76 por hogar; el factor promedio por hogar de secadoras de ropa 0.08 y el factor promedio de planchas por hogar es 0.91; en la figura 2.4 se muestra la curva característica de la utilización de una plancha diariamente según lo tomado del anexo A. tanto las lavadoras como las secadoras de ropa no se las toma en cuenta en el modelo debido a que no es una carga que se la usa diariamente como se indica en la figura 2.6 en la que muestra que el 67% de usuarios la utiliza entre semana, el 27% la utiliza en fin de semana, el 2% en fin de semana y 4% cada mes.





**Figura 2.4:** Curva característica de utilización de calefacción eléctrica.

Fuente: Autor

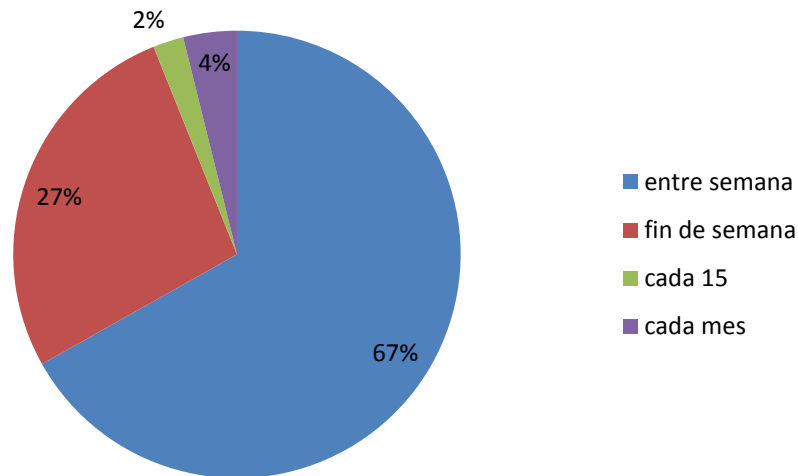


**Figura 2.5:** Curva característica de utilización de planchas eléctricas.

Fuente: Autor

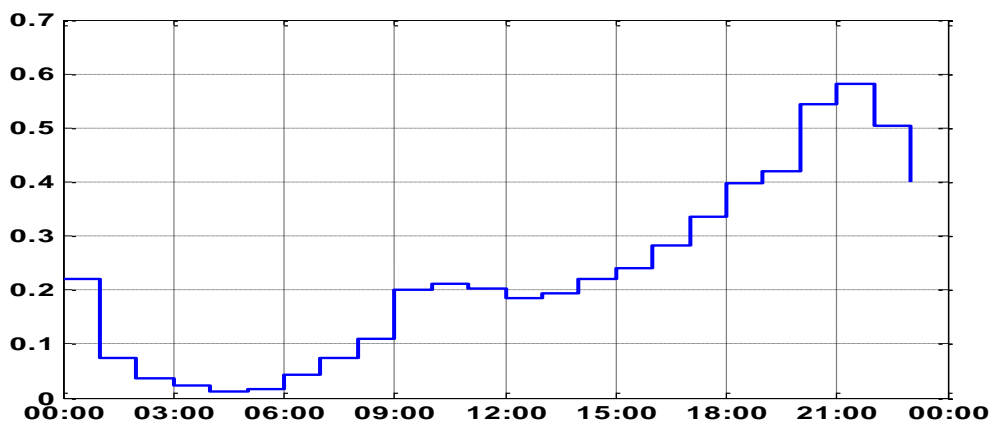
### 2.2.4 Computadores.

Los computadores se han convertido en aparatos de importante consumo en un hogar debido a los avances tecnológicos y de comunicaciones, con este referente se toma en cuenta los equipos de escritorio y portátiles para realizar el modelamiento; el número de computadores promedio es 2.05 por hogar, de los cuales el porcentaje de computadores portátiles es de 67% y de escritorio 33% con respecto al total de equipos de la muestra, en la figura 2.7 indica la curva característica de utilización de computadores en la cual se observa que es una carga que a toda hora del día aporta a la demanda eléctrica debido a su inclusión en actividades de estudio, trabajo, entretenimiento.



**Figura 2.6:** Utilización de lavadora de ropa eléctrica en un hogar.

Fuente: Autor

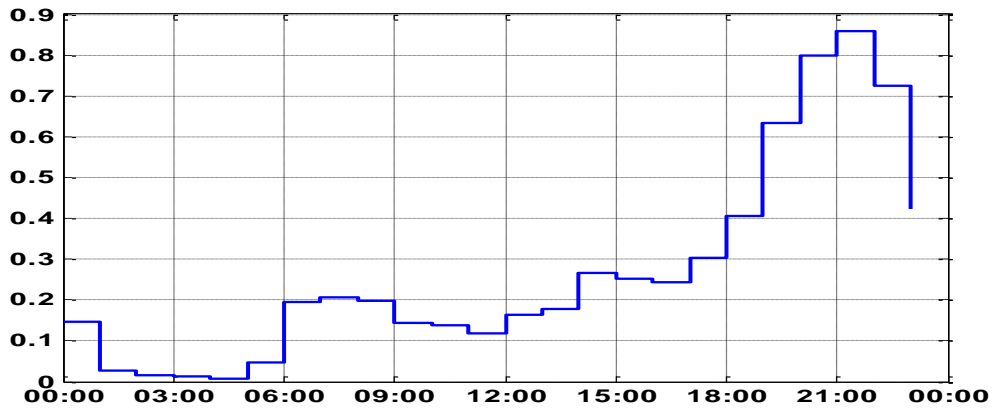


**Figura 2.7:** Curva característica de utilización de computadores.

Fuente: Autor

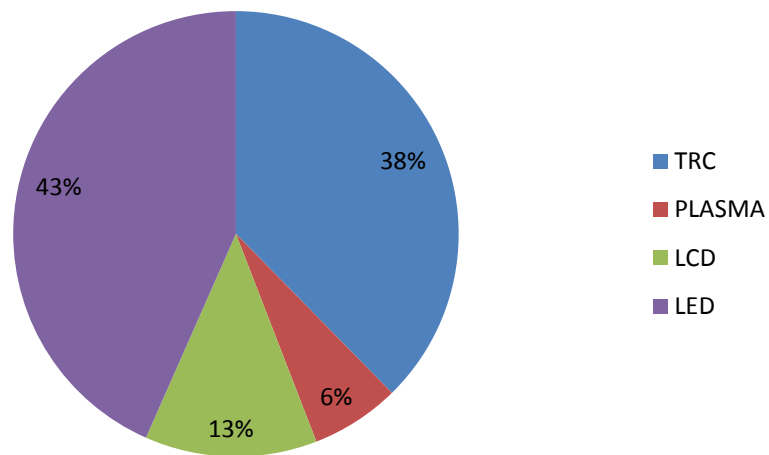
### 2.2.5 Televisores.

El número de televisores promedio por hogar es de 2.39, la figura 2.8 muestra la curva característica de utilización de televisores en un día según el anexo A, los cuatro tipos de televisores que se obtuvo de la encuesta se indica en la figura 2.9, se divide en cuatro clases: TRC (tubo de rayos catódicos) con el 38% del total de televisores encuestados, plasma el 6%, televisores LCD el 13% y televisores LED 43%. Cada tipo de televisor tiene distintos tamaños que influyen en la potencia que aportara en el modelamiento, por tanto se requiere adquirir estos datos del anexo A, los cuales se muestran en la figura 2.10 en la que se presenta los porcentajes según el tipo y tamaño aproximado de televisor.



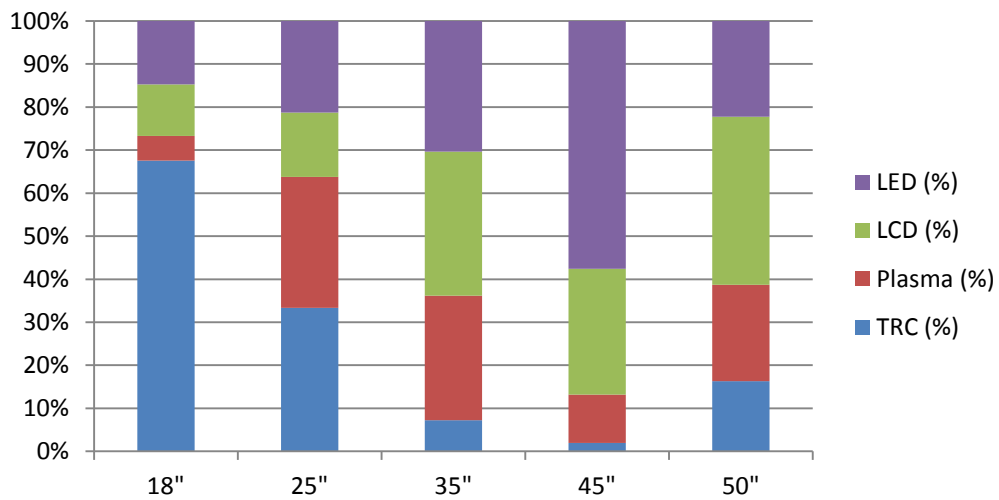
**Figura 2.8:** Curva característica de utilización de televisores.

Fuente: Autor



**Figura 2.9:** Porcentaje según el tipo de televisores.

Fuente: Autor



**Figura 2.10:** Porcentaje según el tipo de televisores.

Fuente: Autor

### 2.2.6 Iluminación.

El comportamiento de la iluminación residencial va acorde a la actividad de los ocupantes de una vivienda y de la hora del día, la figura 2.11 presenta la curva de utilización de iluminación interior en la cual se muestra que en horas del día el consumo es mínimo al contrario de las horas de la noche y las primeras horas de la mañana de acuerdo a la presencia de luz solar, por otra parte en la figura 2.12 se presenta la curva característica de utilización de iluminación exterior.

El número promedio de luminarias utilizadas en el interior de una residencia es 11.16 por hogar y el número promedio para iluminación exterior es 4 por hogar encuestado.

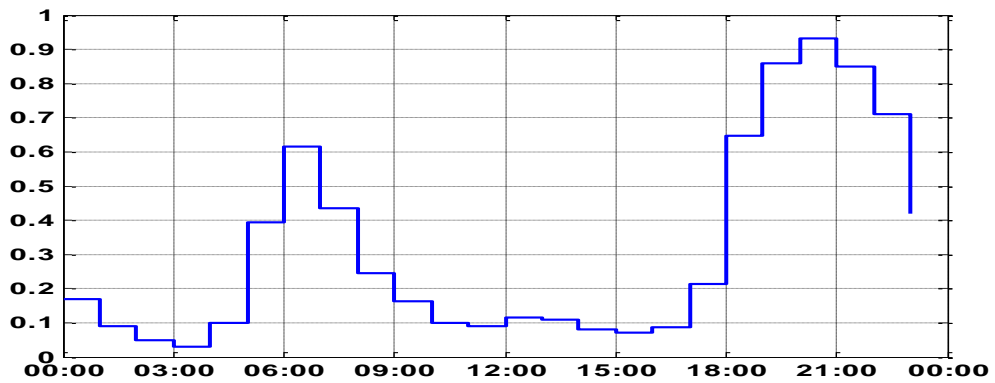


Figura 2.11: Curva característica de iluminación interior.

Fuente: Autor

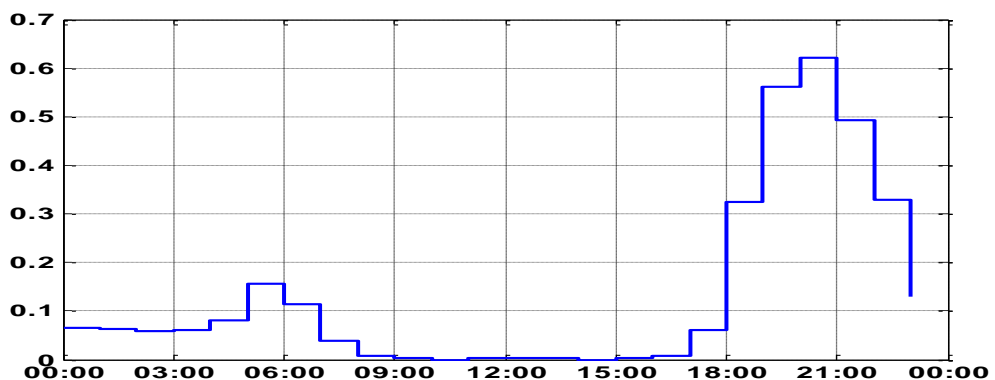


Figura 2.12: Curva característica de iluminación exterior.

Fuente: Autor

### 2.2.7 Cocción de alimentos.

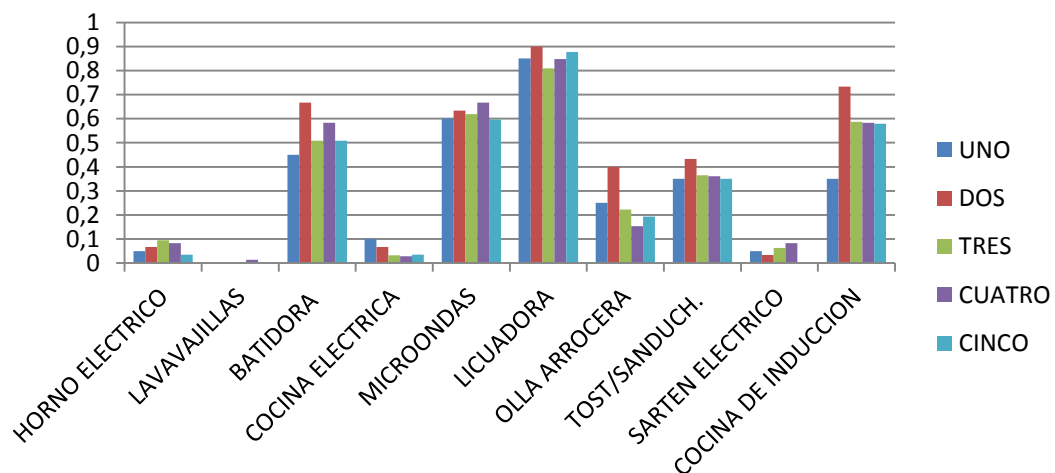
Las principales tendencias de uso que se toma en cuenta para analizar los

electrodomésticos que utiliza un usuario residencial es la cocción de alimentos, en la que se toma en cuenta la carga de cada electrométrico que se utiliza en la preparación de alimentos y el uso de la cocina de inducción para el caso de la presente investigación, en la figura 2.13 se muestra el valor en p.u. de electrodomésticos utilizados para un número de ocupantes de hasta cinco personas por hogar.

Además de los electrodomésticos presentados en la figura 2.13 se incluye el valor la cocina de inducción para usuarios que según los datos encuestados se cambiaran al nuevo sistema de cocción eficiente inmediatamente o hasta un año, según estos datos es 56.57% del total de la muestra.

### 2.2.7.1 Análisis de la cocina de inducción.

El desarrollo de la tecnología ha permitido el mejoramiento de equipos para el consumos médico, industrial y residencial, como son los equipos de calentamiento por inducción, esta tecnología ofrece varias ventajas como por ejemplo la eficiencia de energía que llega a ser mayor al 90%, calentamiento rápido, seguridad, limpieza y control preciso mediante el diseño apropiado de la bobina, convertidor de potencia y el sistema de control. Al ser tecnología que presenta las ventajas mencionadas el desarrollo de la misma es fiable y rentable [44].



**Figura 2.13:** Porcentaje de uso de electrodomésticos encuestados.

**Fuente:** Autor

La entrada del equipo corriente alterna pasa por un filtro de compatibilidad electromagnética (EMC), posteriormente se rectifica la onda con la que se está trabajando, esta señal se ingresa a un inversor DC-AC que trabaja con una frecuencia mayor a 20 kHz hasta 1 MHz dependiendo del equipo, finalmente el inductor es el

elemento que provocara el efecto de inducción con los materiales que se utilizan. Todo estos sistemas van controlados con un sistema de control que va monitoreando cada una de las partes del equipo[44].

Las cargas incorporadas que presentara el Sistema Nacional Interconectado S.N.I. en los próximos años es el Plan Nacional de Cocción de Alimentos explicado en 1.4.2.3 de la presente investigación.

Partiendo de los tiempos y horarios de uso de las cocinas para cocción de alimentos se estima una curva de demanda de potencia para un día típico como se observa en la figura 2.14.

Los datos presentados muestran que en estos horarios influirá en la demanda eléctrica residencial aumentando su requerimiento de energía por usuario dependiendo de su uso del tiempo, en el punto 1.2.2 se indica la demanda máxima diversificada de cocinas de inducción  $DMD_{CI}$  que se utilizara para usuarios residenciales.

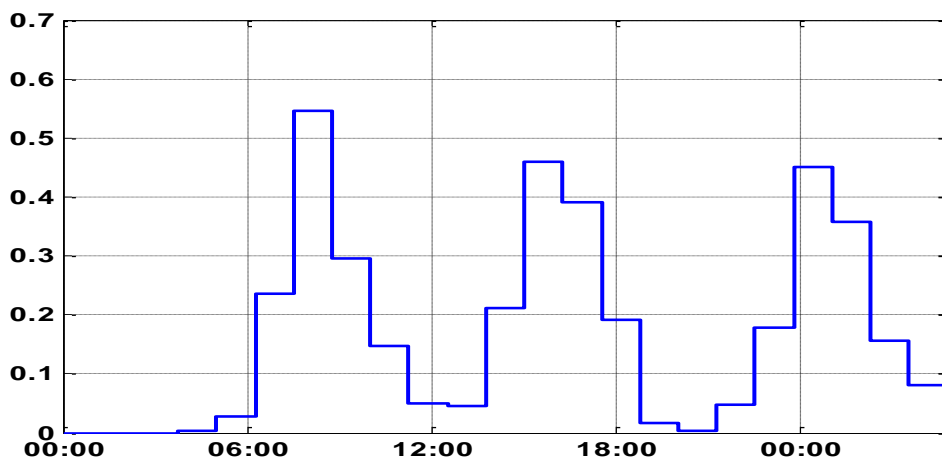


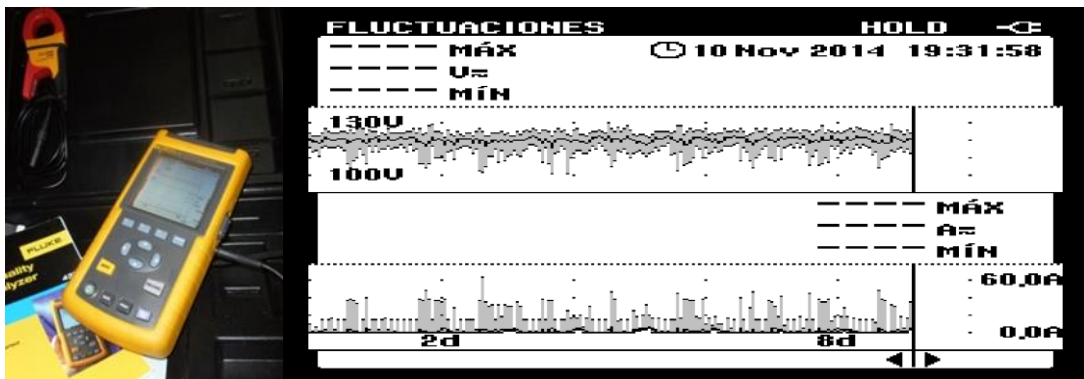
Figura 2.14: Curva característica de cocción de alimentos.

Fuente: Autor

### 2.3 Perfiles de carga residencial medidos.

La demanda residencial al depender de varios factores tiene un comportamiento característico según la zona a la que se evalúa, además de contar con los modelos presentados en Plan Nacional de Electrificación [4] como muestra la figura 1.1, y del modelamiento realizado en el próximo capítulo se puede trabajar también con

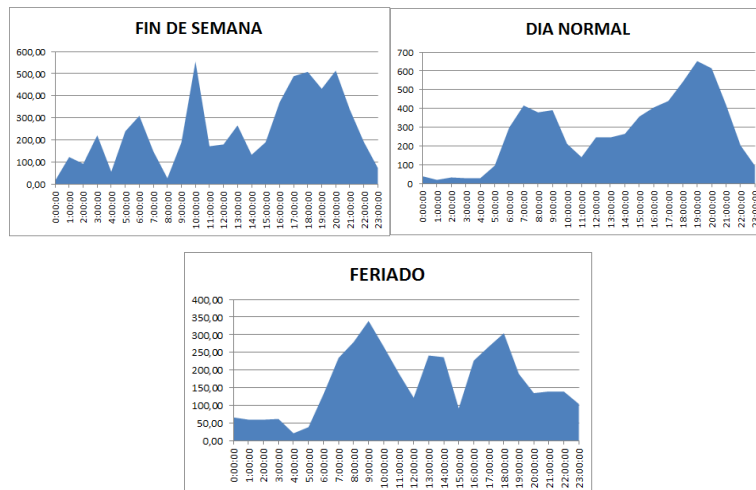
modelamientos obtenidos de instituciones o de la toma de datos directa de un usuario residencial como los presentados a continuación mediante el uso del equipo analizador de *FLUKE 43b* se realizó la medición de potencia en un hogar de tres personas en cuya residencia cuenta además con un local comercial pequeño en el que se utiliza máquinas de coser, la medida inicio el 01 de noviembre del 2014 a las 17:04:46 hasta el día 10 de noviembre del 2014 a las 18:23:42.



**Figura 2.15:** Equipo analizador FLUKE 43b.

Fuente: Autor

Los datos obtenidos por el analizador se los trabaja con interpolaciones pertinentes para relacionar en un mismo punto del eje de las ordenadas los distintos valores de cada día de la muestra, se obtiene tres tipos de gráficas para días feriados, para días normales y para fines de semana, como muestra la figura 2.16, en el anexo B se expone los datos obtenidos del analizador así como las interpolaciones en *Microsoft EXCEL*.



**Figura 2.16:** Curvas características.

Fuente: Autor

## **2.4 Equipos a utilizarse en el prototipo.**

Los equipos utilizados para un prototipo que almacene y aporte energía a la red en horas de demanda pico se presentan a continuación.

### **2.4.1 Sistemas de almacenamiento.**

La forma de almacenar energía se realiza mediante un sistema de baterías, el cual es recargable y debe tener su adecuado control además del regulador de carga, existen varios tipos de baterías utilizados que se revisan a continuación.

#### **2.4.1.1 Batería VRLA [45].**

La batería de plomo-ácido regulada por válvulas (VRLA) se divide en dos clases: de gel y AGM, la ventaja que tiene este tipo de batería es el bajo mantenimiento, la desventaja es la vida útil más corta que la vida de diseño dependiendo de su cuidado, existen dos variables que se considera para el tiempo de vida útil de este tipo de baterías, la primera es el tiempo de vida de diseño que afecta a su fiabilidad y sirve de medida de comparación, la segunda es el tiempo de servicio que es el tiempo de vida útil real que después de este caerá el valor nominal al 80%, como se explica anteriormente el tiempo de vida de servicio es más pequeño que la vida de diseño aproximadamente el 50%, si las condiciones en donde trabajan las baterías son desfavorables esa diferencia puede ser del 20% del tiempo de vida de diseño y cuando están en buenas condiciones ambientales y en mantenimiento periódico se puede alcanzar un valor de 70-80% [45].

Las fallas prematuras de este tipo de baterías se da por la elevada temperatura de funcionamiento, la excesiva descarga y recarga, la tensión flotante inadecuada y fallas en la instalación; la temperatura para el funcionamiento nominal es 25°C (77°F), en la figura 2.15 se muestra la gráfica del tiempo de vida con respecto a la temperatura, los datos adquiridos de esta se aplican en (38) [45]:

$$LA=LF*LD \quad (38)$$

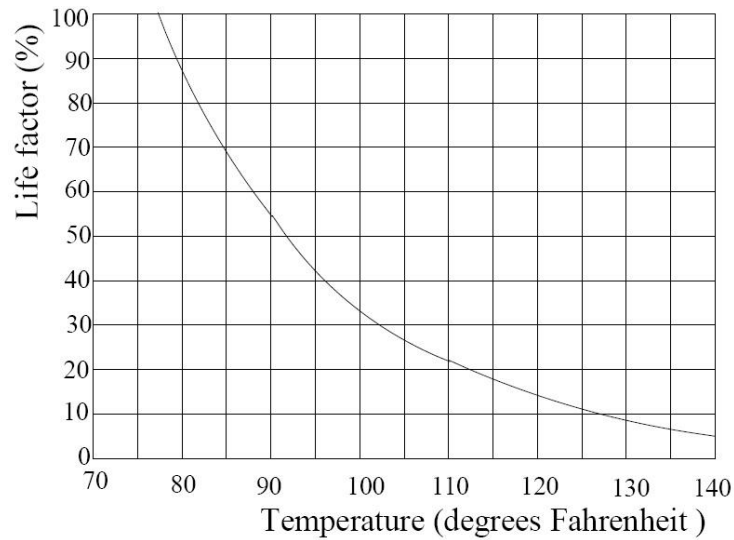
Donde

LA = es el tiempo de vida de la batería en años,

LF = es el factor de vida (%) obtenido de la figura 2.17

LD = es la vida de diseño.





**Figura 2.17:** Curva característica del tiempo de vida con respecto a la temperatura.

**Fuente:** [45] X. Liu and W. Wang, "VRLA battery system reliability and proactive maintenance," *Intelec 2010*, pp. 1–7, Jun. 2010.

En caso de que a lo largo del año las condiciones climáticas tengan variaciones drásticas se considera (39) dependiendo del número de cambios de clima.

$$LA = \frac{LD}{\frac{T1}{Lf1} + \frac{T2}{Lf2} + \frac{T3}{Lf3} + \frac{T4}{Lf4}} \quad (39)$$

Donde

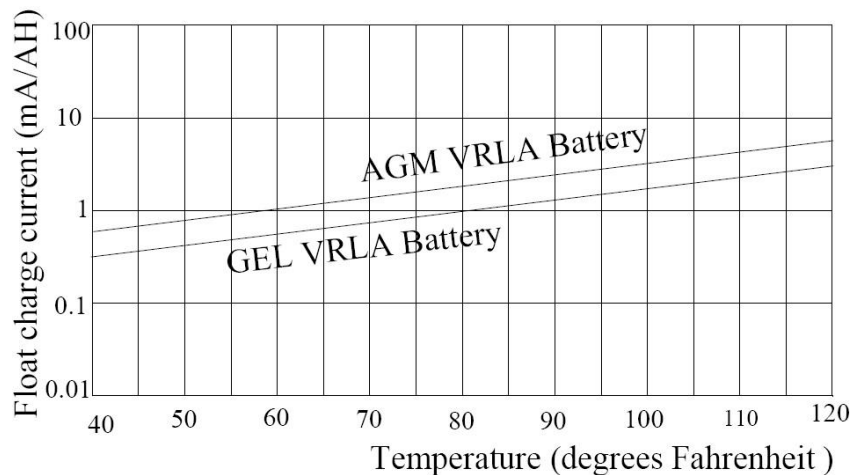
LA = es el tiempo de vida de la batería en años,

LD = es la vida de diseño,

T1, T2, T3, T4 = duración de operación en meses/año,

Lf1, Lf2, Lf3, Lf4 = porcentaje de vida para cada T.

Los factores que reducen el tiempo de vida útil de la batería son en aumento de la corriente de flotación debido a que aumenta la velocidad de corrosión de las rejillas, en la figura 2.18 se muestra la gráfica de la corriente de flotación con respecto a la temperatura para los dos tipos de baterías VRLA.



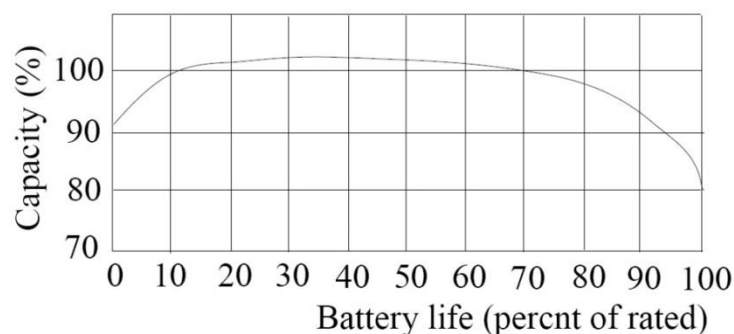
**Figura 2.18:** Gráfica de la corriente de carga de flotación con respecto a la temperatura.

**Fuente:** [45] X. Liu and W. Wang, "VRLA battery system reliability and proactive maintenance," *Intelec 2010*, pp. 1–7, Jun. 2010.

El ciclismo de la carga y descarga también se debe tener algunas consideraciones en especial en la parte de la descarga (DOD) ya que puede ser perjudicial; si la tensión de flotación es alta provoca sobrecarga y gasificación por tanto acelera la corrosión de las celdas, si la tensión de flotación es baja conlleva a la descarga de la batería y a la sulfatación de las placas.

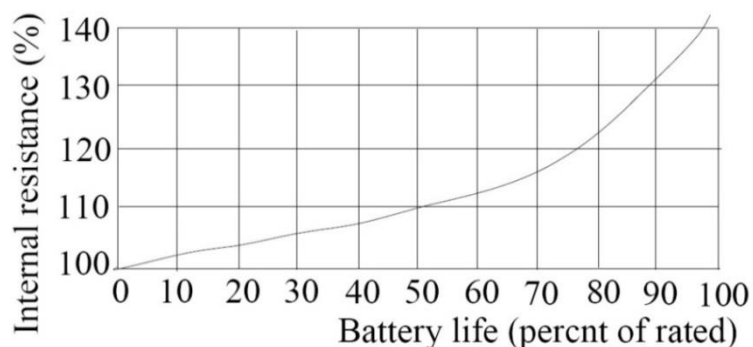
Las dos fallas que se presentan en las baterías son la baja capacidad que se presenta cuando la resistencia interna aumenta, se da a medida que envejece la batería y la conductancia disminuye, el otro tipo de fallo es el corte abrupto que es producido por fallo en las conexiones interiores o por la corrosión muy alta, es una falla que resulta costosa. El mantenimiento de este tipo de baterías se lo realiza periódicamente con el objetivo de que la vida útil llegue al 80% del tiempo de vida de diseño, los pasos que se siguen son los siguientes: inspección visual, medición de la temperatura ambiente, medición de voltaje de flotación y medición de valores de resistencia interna.

El voltaje de flotación permite identificar algún corto circuito interno de la batería pero el valor que permite identificar la vida útil es la resistencia interna, este valor se lo mide con la batería cargada, en la figura 2.19 se muestra la gráfica de la capacidad con respecto al tiempo de vida nominal y en la figura 2.20 se muestra la gráfica de resistencia interna con respecto al tiempo de vida nominal de la batería; la temperatura al ser una variable fundamental en la vida útil de este tipo de baterías se recomendaría su instalación en sitios con ventilación constante o con aire acondicionado.



**Figura 2.19:** Gráfica de la capacidad con respecto al tiempo de vida nominal.

**Fuente:** [45] X. Liu and W. Wang, "VRLA battery system reliability and proactive maintenance," *Intelec 2010*, pp. 1–7, Jun. 2010.



**Figura 2.20:** Gráfica de la resistencia interna con respecto al tiempo de vida nominal.

**Fuente:** [45] X. Liu and W. Wang, "VRLA battery system reliability and proactive maintenance," *Intelec 2010*, pp. 1–7, Jun. 2010.

Las baterías AGM (Absorption Glass Mat), son baterías donde el ácido se absorbe rápidamente por las placas de plomo, poseen una resistencia interna baja y libre de mantenimiento, la regulación se la realiza como la batería VRLA, es la altamente utilizada en sistemas de almacenamiento de energías renovables por el alto rendimiento, también es usada en sistemas de energía estacionaria, luces de emergencia, robótica, equipos médicos, etc.; no emite gran cantidad de gases sin embargo al cargarla se debe tener las debidas seguridades con la corriente del cargador de la misma forma que las de gel [46].

El estado de carga SOC (State Of Charge) y la profundidad de descarga DOD (Depth Of Discharge) se relacionan mediante (40), cuando la batería tiene un estado de carga inicial  $SOC_0$  y aporta corriente (I) a un sistema en un determinado tiempo el nuevo estado de carga será (41) donde NC es la capacidad nominal de la batería en AH [46].

$$SOC = 1 - DOD \quad (40)$$

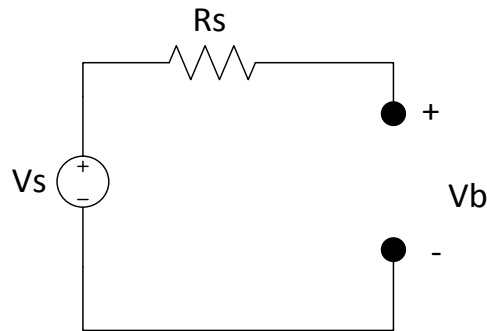
$$SOC = SOC_0 - \frac{It}{NC} \quad (41)$$

El circuito de la figura 2.21 es el equivalente para representar el comportamiento de una batería que se compone de una fuente de tensión  $V_s$  y en serie una resistencia  $R$  que depende del estado de la batería, el voltaje de los terminales  $V_b$  se relaciona con  $V_s$  y  $R_s$  mediante (42),  $V_s$  viene dado por (43) donde  $V_{s,0}$  es el voltaje interno inicial y  $C_s$  es un capacitor que depende de  $I$  y  $SOC$  que viene dado por (46) los valores constantes para reemplazar en (46) y (47) de  $a_1=0.107$ ,  $a_2=0.465$ ,  $a_3=-1.19$ ,  $a_4=13.95$ ,  $a_5=14.78$ ,  $a_6=0.95$ ,  $a_7=0.012$ , que son utilizados en el modelo presentado en [46] para este tipo de baterías.

$$V_b = V_{s(I,SOC)} - IR_{S(I)} \quad (42)$$

$$V_s = V_{s,0} - \frac{It}{C_{S(I,SOC)}} \quad (43)$$

$$V_b = V_{s,0} - \frac{It}{C_{S(I,SOC)}} - IR_{S(I)} \quad (44)$$



**Figura 2.21:** Circuito equivalente de batería AGM.

**Fuente:** [46] W. Peng, S. Member, Y. Baghzouz, and S. Member, "Dynamic Performance of Lead-Acid AGM Batteries," no. 1, pp. 1–6.

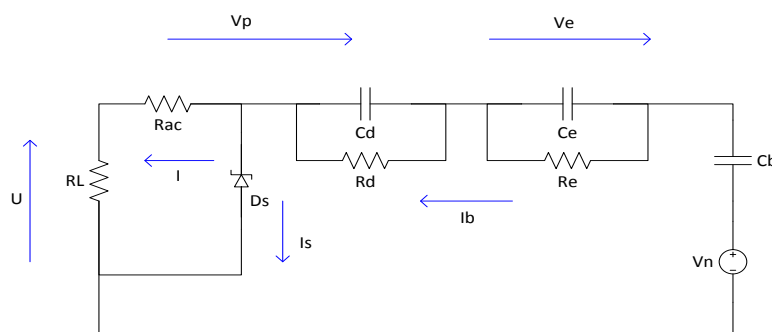
$$R_{S(I)} = a_1 I^{-a_2} \quad (45)$$

$$C_{S(I,DOD)} = \frac{NC}{a3f(I) + \frac{f(I)}{a4f(I)(DOD) + a5}} \quad (46)$$

$$f(I) = a6 + a7 * I \quad (47)$$

### 2.4.1.2 Baterías Ni-Cd.

Son baterías compuestas de celdas electroquímicas de Níquel-Cadmio, tienen una resistencia relativamente baja, la eficiencia es bajo alrededor del 60-70%, la densidad de almacenamiento es alto, usada también en sistemas que usan energía estacionaria, el tiempo de vida útil llega a los 2500 ciclos densidad mayor a la batería de plomo-acido con 60Wh/kg, una característica principal es la capacidad de descargarse casi a su 100%, permite ciclos de carga y descarga continua, el rango de temperatura al que trabaja es amplio desde los  $-50^{\circ}\text{C}$  a  $70^{\circ}\text{C}$ , en la figura 2.22 se muestra el circuito equivalente para el respectivo modelado de este tipo de batería [47], [48].



**Figura 2.22:** Gráfica de la resistencia interna con respecto al tiempo de vida nominal.

**Fuente:** [47] H. C. Dirani, E. Semaan, and N. Moubayed, "Impact of the current and the temperature variation on the Ni-Cd battery functioning," 2013 Int. Conf. Technol. Adv. Electr. Electron. Comput. Eng., pp. 339–343, May 2013.

Este circuito equivalente para el modelamiento de baterías de este tipo consta de  $U$  que pasa por  $RL$  el cual diseña la tensión del cargador de la misma, la corriente de carga viene dada por  $I$  que pasa por  $Rac$ , la auto descarga se representa por el diodo zener  $Ds$ ,  $Ib$  es la corriente de la batería, la impedancia que forma  $Cd$  y  $Rd$  es el agotamiento de carga entre placas y no es valor alto, la impedancia formada por  $Ce$  y  $Re$  es la difusión de electrolitos de los poros de la placa, la batería en circuito abierto es  $Vn$  mas el capacitor en serie  $Cb$ , en la tabla 2.1 muestra los parámetros para este modelo obtenidos de [47].

**TABLA 2.1:** Porcentajes de televisores según el tamaño aproximado.

$R_{ac} = 3 \text{ m}\Omega$	$C_b = 1.6 \text{ MF}$	$V_n = 6.7 \text{ V}$
$R_d = 1.5 \text{ m}\Omega$	$C_d = 400 \text{ F}$	$V_p = 0.1 \text{ V}$
$R_e = 10 \text{ m}\Omega$	$C_e = 0.2 \text{ MF}$	$V_e = 0.2 \text{ V}$

**Fuente:** [47] H. C. Dirani, E. Semaan, and N. Moubayed, "Impact of the current and the temperature variation on the Ni-Cd battery functioning," 2013 Int. Conf. Technol. Adv. Electr. Electron. Comput. Eng., pp. 339–343, May 2013.

#### 2.4.1.3 Regulador de carga.

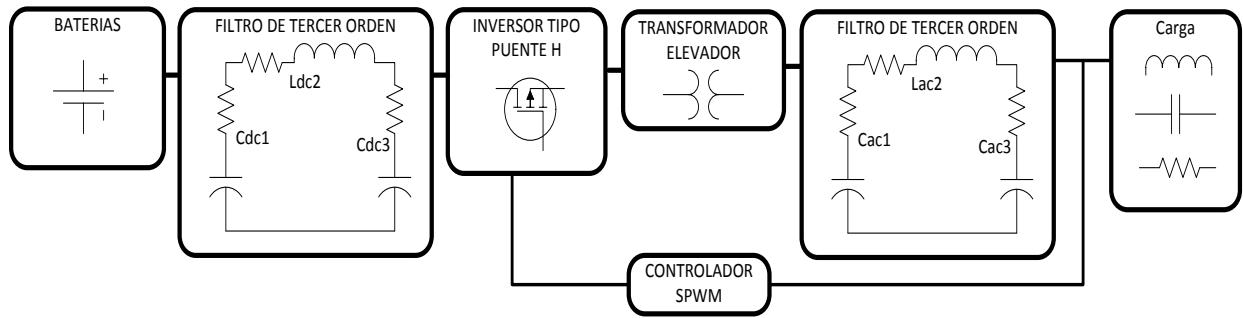
El diseño de un regulador viene dado por las necesidades de la batería en cuestión de corriente, en la presente investigación se toma en cuenta que la fuente de energía que cargara al sistema de almacenamiento es la red eléctrica pero a horas que la demanda sea baja que por lo general es en la noche para usuarios residenciales, a continuación se presenta el algoritmo con el que se trabajaría el diseño tomando en cuenta el tipo las especificaciones de la batería y de los horarios en que se cargaría.

Los procesos de carga viene dado primeramente por la igualación de cargas que se presenta automáticamente una vez que las baterías dejan de aportar energía a la red, en este proceso se igualan los acumuladores, la etapa de carga profunda se inicia aportando un porcentaje de la corriente nominal de la batería para no producir mayor cantidad de gases al interior de la batería como es el caso de las baterías AGM de ahí la importancia de la selección de las baterías en el diseño, una vez alcanzado el 90 % de la capacidad de la batería se procede a inyectar un porcentaje del 10% mayor al del nominal con esto se finaliza el proceso de carga tomando en cuenta que la batería pasa al estado de flotación por tanto hay que insertar un valor de corriente pequeña para mantener a la batería a plena carga [49], [50].

#### 2.4.2 Equipo convertidor DC/AC.

Es un equipo que permite convertir la energía de corriente continua que se dispone del sistema de almacenamiento en corriente alterna con niveles de voltaje adecuados para la integración a la red eléctrica.

Debido a que el prototipo de la presente investigación estaría destinado a usuarios residenciales se tomara en cuenta un inversor del tipo puente H, un transformador elevador, y filtros a la entrada y salida del inversor.



**Figura 2.23:** Estructura del inversor.

**Fuente:**[51] D. Ishak, "Deadbeat-based PI controller for stand-alone single-phase voltage source inverter using battery cell as primary sources," 2011 IEEE Conf. Clean Energy Technol., pp. 87–92, Jun. 2011.

El voltaje generado por el sistema de almacenamiento primeramente antes de ingresar al inversor tipo puente H pasa por un filtro pasa bajos del tipo Butterworth de tercer orden que sirva de protección para la fuente de energía y aislamiento del circuito, el diseño viene dado por:

$$C'_k = 2 \sin\left(\frac{2k-1}{2n}\pi\right), k = \text{impar} \quad (48)$$

$$L'_k = 2 \sin\left(\frac{2k-1}{2n}\pi\right), k = \text{par} \quad (49)$$

$$Z = \frac{V^2}{P} \quad (50)$$

$$C_k = \frac{1}{Z * \omega_c} C'_k \quad (51)$$

$$L_k = \frac{Z}{\omega_c} L'_k \quad (52)$$

Donde n es el número de componentes pasivos,  $C'_k$  es el valor de capacitancia para el prototipo de la misma manera que  $L'_k$ , Z es la impedancia,  $\omega_c$  es la frecuencia de corte en radianes  $2\pi f_c$  [51].

El inversor tipo puente H tiene la ventaja de tener una topología simple y de pocos componentes por tanto es viable en la parte económica de su fabricación, el inversor es controlado por modulación senoidal del ancho de pulso SPWM, esto quiere decir que se basara el inversor en la frecuencia que tiene la red en ese instante para oscilar

el puente H, a la salida del inversor se conecta un transformador elevador que aumenta la tensión primaria y se lo utiliza también como aislamiento del inversor ante las sobretensiones y para mitigar el ruido [51].

Finalmente a la salida del transformador se conecta un filtro pasa bajos Butterworth de tercer orden con los cálculos iguales a los que se revisó en el primer filtro diseñado justo después de la batería.

Las consideraciones que se deben tomar al diseñar e implementar un equipo inversor es la calidad de energía que se aportara a la red, los fenómenos que influyen son transitorios, depresiones, crestas de tensión, distorsiones de onda como el ingreso de corriente directa en la red de corriente alterna que puede producir calentamiento y reducir la vida útil de transformadores, cables y corrosión en sistemas de puesta a tierra, otra distorsión de onda es la presencia de armónicos que se produce por la falta de linealidad en las cargas para esto es importante el diseño la inclusión de filtros para que estas distorsiones no causen daños como interferencias en equipos de comunicación y equipos electrónicos, disminución del factor de potencia, ferresonancia, calentamiento en transformadores y maquinas rotatorias.

La eficiencia del equipo inversor viene dada por (53) y es importante debido a que la energía bruta almacenada no es la energía que ingresa a la red ya que dependiendo de la calidad del inversor establecerá la diferencia entre la energía bruta y energía neta que ingresara a la red.

$$\eta = \frac{E_{CA}}{E_{CC}} = \frac{\int P_{CA} dt}{\int P_{CC} dt} \quad (53)$$

Donde  $E_{CA}$  es la energía en corriente alterna que aporta el inversor y  $E_{CC}$  es la energía almacenada que ingresa al inversor.

### **2.4.3 Sincronización a la red eléctrica.**

Para sincronizar a la red eléctrica el voltaje generado por el inversor es necesario seguir el proceso descrito en la figura para que esta señal controle la oscilación del inversor este método se llama modulación senoidal del ancho de pulso SPWM que resulta conveniente utilizarla debido a que no genera armónicos cercanos a la fundamental por tanto los filtros utilizados son de diseño más simple [52].

Además de la frecuencia para inyectar energía a la red es necesario que el voltaje sea mayor que el de la red para que la corriente ingrese a la red y no regrese al



inversor pese a estar aislado por el transformador.

#### **2.4.4 Monitoreo del prototipo.**

El objetivo de esta fase del prototipo es obtener datos de niveles de voltaje, corriente, temperatura ambiental, horas de uso, estado de carga, número de ciclos de carga y descarga, estos datos permitirían conocer un histórico de funcionamiento y valores instantáneos de energía entregada a la red, de igual manera el tener un monitoreo del sistema permite que los elementos del prototipo sean utilizados de manera eficiente de tal forma que permita detectar averías o sobredimensionamiento en el caso de las baterías.

## CAPITULO III

### MODELAMIENTO PARA ALMACENAMIENTO DE ENERGIA

A medida que la tecnología crece los sistemas de almacenamiento han ido ganando espacio en las redes eléctricas debido a la inclusión de generación renovable de alta variabilidad como lo son los sistemas fotovoltaicos o eólicos, esto podría producir un desequilibrio en el sistema eléctrico si no se comprende y se toma decisiones en asuntos como gestión de energía, almacenamiento, demanda residencial [53].

El almacenamiento de energía además de contribuir en algunos sistemas de generación renovable puede trabajar como suministro de energía ininterrumpida (UPS) o soporte de energía en horas de demanda pico como se propone en la presente investigación.

El proceso del modelamiento para almacenamiento de energía se lo trata en los cuatro subcapítulos siguientes, partiendo desde el modelamiento residencial de energía para o cual se aplica el método de cadenas de Markov para la simulación de actividades de ocupantes en una vivienda, añadiendo a esta simulación la potencia dependiendo de la actividad y finalmente se aplica una simulación de los límites en los que se aplicaría un sistema de baterías.

#### **3.1 Modelamiento de ocupantes en MATLAB.**

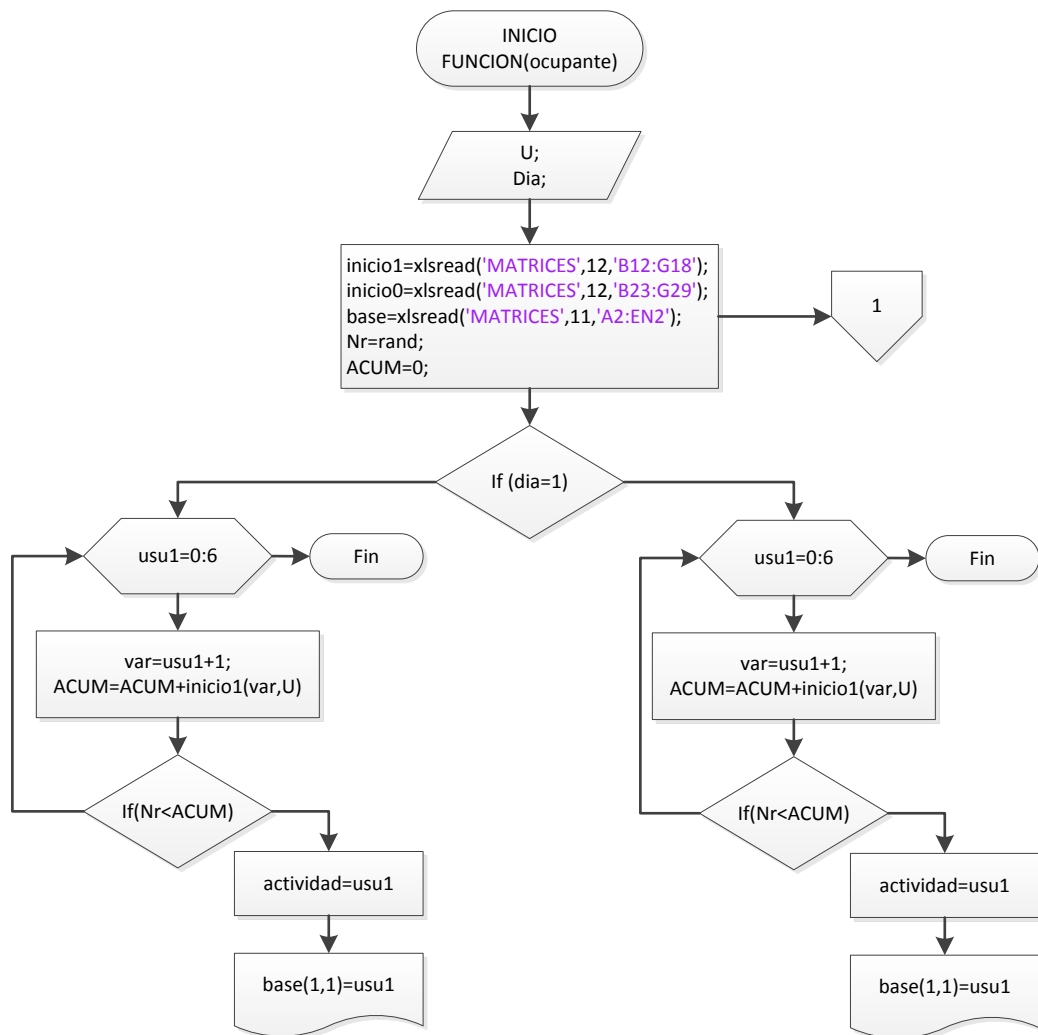
El modelo que se usa en la investigación es tomado de [54] realizado en el año 2010 y que es usado en varios documentos investigativos de la como [1], [30], [55], [56], que ejemplifica el comportamiento de ocupantes en un hogar usando las cadenas de Markov y el método de Montecarlo mediante la herramienta informática *Microsoft EXCEL*.

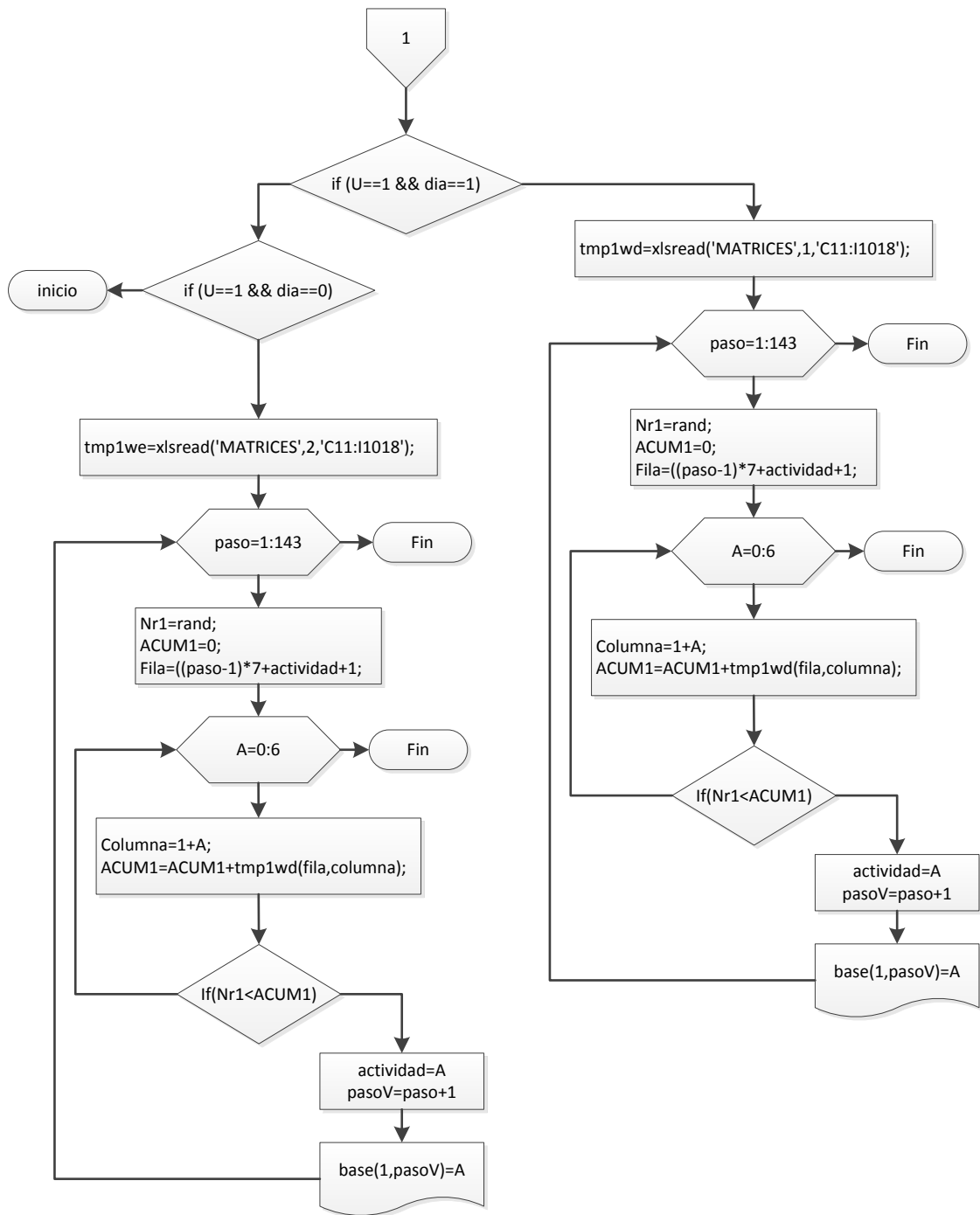
Para utilizar el método de cadenas de Markov se utiliza matrices de probabilidad de ocupantes en un hogar para cierta resolución, estas matrices dan una serie de probabilidades para cada paso a lo largo del día, cada probabilidad tiene un correspondiente número de ocupantes que es elegido en cada paso mediante el método Montecarlo que consiste en la elección aleatoria de un estado basándose en las probabilidades que presentan las cadenas de Markov.

Las matrices fueron obtenidas de la base de datos de Reino Unido “Time Use Survey (TUS)” en la que con una resolución de 10 minutos brinda las probabilidades de cómo la gente emplea su tiempo expresada a través de matrices para en un día

entre semana, para fin de semana y para el número de ocupantes de uno a cinco según requiera la programación, estas matrices se encuentran en las primeras diez hojas de trabajo del anexo C, cada una tiene una matriz de siete por siete para cada lapso de diez minutos, en total ciento cuarenta y cuatro para modelar las veinticuatro horas del día.

La programación sigue el algoritmo indicado en la figura 3.1 para el cual se usan las matrices nombradas anteriormente, y su programación es realizada para la presente investigación en *MATLAB* cuya programación se encuentra en el anexo D en forma de función que es llamada en las próximas partes del modelamiento.





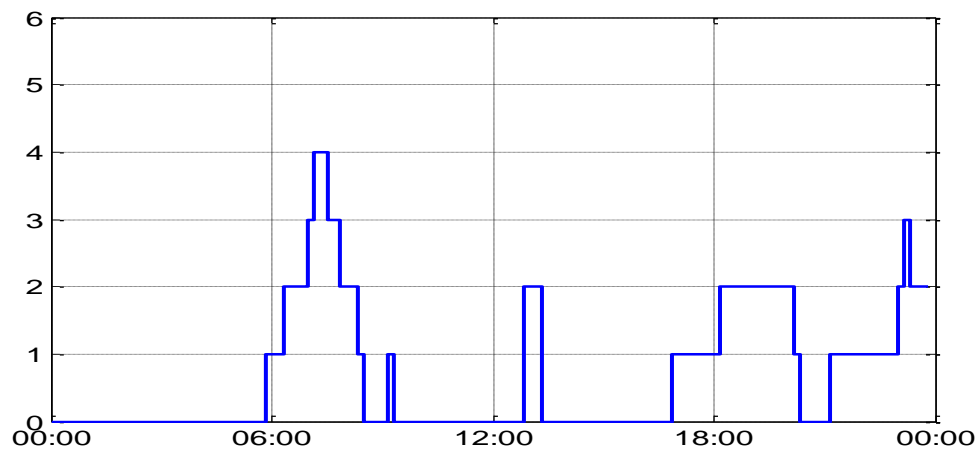
**Figura 3.1:** Algoritmo para la programación en MATLAB.

**Fuente:** Autor

La función “ocupante” tiene como variables de entrada el número de usuarios ( $U=1, \dots, 5$ ) que se simulara y el tipo de día ya sea entre semana ( $\text{día}=1$ ) o fin de semana ( $\text{día}=0$ ), esta función devuelve una matriz de  $1 \times 144$  en la que simula el comportamiento de ocupantes de una vivienda como muestra la figura 3.2.

El primer valor de la matriz que devuelve la función ocupante se lo modela de

acuerdo a matrices que se lee desde el archivo de *EXCEL* llamado *MATRICES.xlsx* y toman el nombre de la variable “inicio1” e “inicio0”, estas matrices permiten tener un valor inicial para continuar con las siguientes 143 ejecuciones siguientes para el resto del día, después de obtener las variables mencionadas se procede a generar un número aleatorio que se compara con la matriz a la que corresponda las variables de entrada para establecer un ocupante que debe ser menor o igual al número de usuarios *U* que se ingresa en la función y que solo depende de las matrices realizadas mediante cadenas de Markov y del número aleatorio.



**Figura 3.2:** Ejemplo de la función “ocupante” mediante MATLAB.

**Fuente:** Autor

Los siguientes 143 valores de la matriz resultante obedecen a la parte 1 del algoritmo de la figura 3.1 en la que se una función IF selecciona el número de ocupantes y el tipo de día que se modelara, para el caso del flujograma, la matriz que se lee se guarda en la variable “tmp1wd” pero varía dependiendo del valor de *U* ya que para cada número de ocupantes y del tipo de día existe una matriz exclusiva, una vez que ya se tiene la matriz en la cual se elegirá mediante números aleatorios un valor dependiendo del porcentaje se ingresa en un lazo FOR que obtendrá mediante la programación los 143 datos restantes, se genera otro número aleatorio distinto al que se crea al principio de la programación debido a que este número debe variar para cada paso del lazo, la variable “fila” ubica la fila en la matriz que se trabajara con el número aleatorio, finalmente otro lazo FOR de siete pasos evalúa cada columna de la matriz comparando cada columna con “Nr1” y así obtener el número de ocupantes activos en esos diez minutos, este número se ira guardando en la matriz vacía que obtenemos al principio del algoritmo con el nombre de “base” y que en

cada paso de la programación va cambiando cada valor dependiendo de la aleatoriedad con la que se obtenga de la programación.

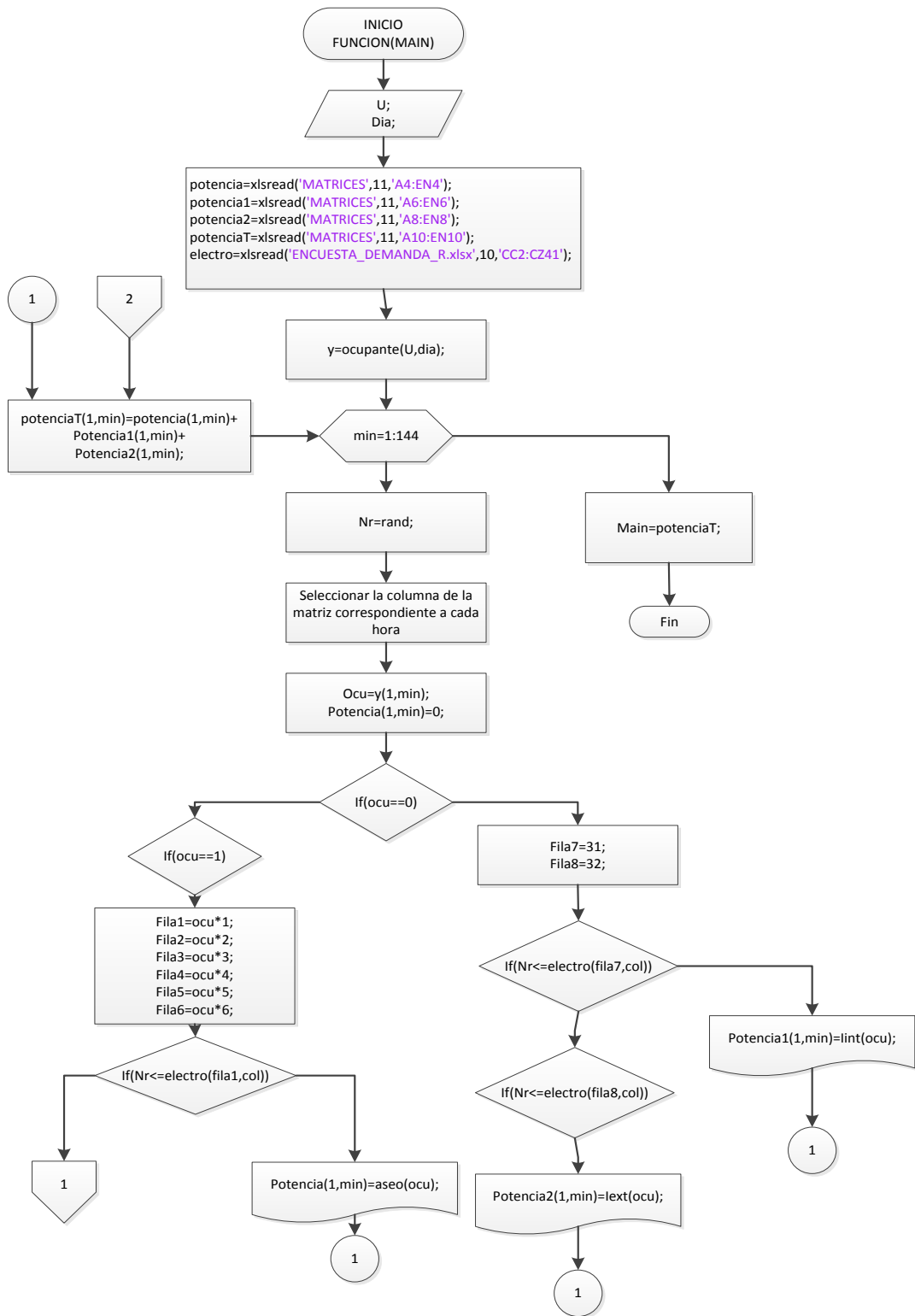
### **3.2 Modelamiento de la demanda residencial en MATLAB.**

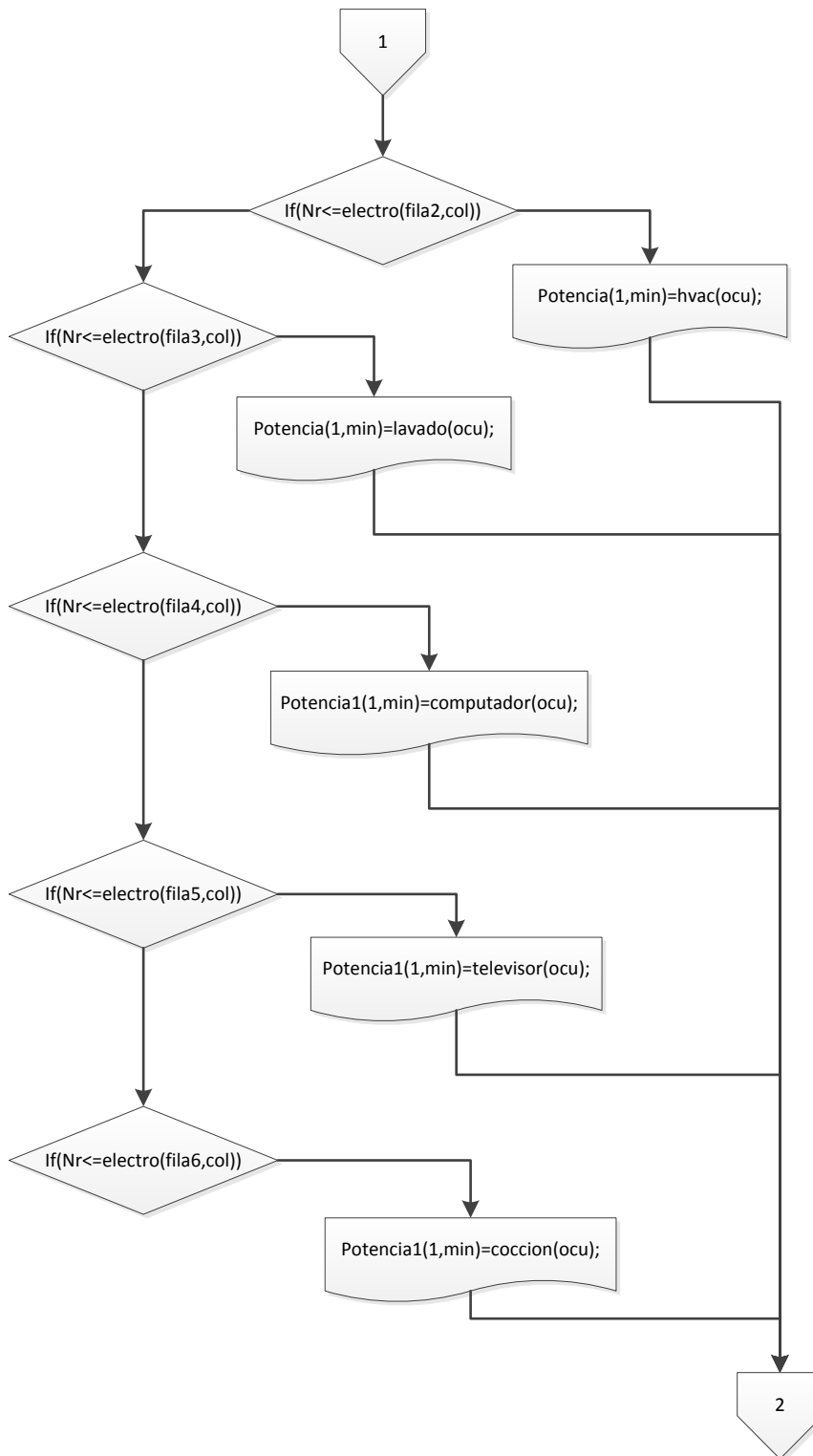
El propósito del modelamiento de la demanda residencial es representar correctamente los cambios existentes por diferentes factores como el medio ambiente, número de aparatos, potencia de cada aparato y el uso de los mismos que va determinado por el comportamiento del usuario debido a que los hábitos de consumo no varía considerablemente aunque posea electrodomésticos con nuevas tecnologías inteligentemente programadas [30], [1], [57].

Para realizar el modelamiento se cuenta con los horarios de uso de principales actividades partiendo de la encuesta del anexo A, como se explica en 2.2. Esta programación se la realiza en *MATLAB* en la función “MAIN” que usa además de funciones para cada carga representativa la función “ocupante” vista en 3.1, el algoritmo que se sigue es el que muestra la figura 3.3.

Las variables de entrada de la función “MAIN” son el número de usuarios (U) y el tipo de día en el que ocurre la simulación si es entre semana (día=1) o si es fin de semana (día=0), el resultado que devuelve esta función es una matriz de 1X144 que define la potencia en lapsos de 10 minutos.

Primeramente se leen las matrices vacías a las que se agregará un valor de potencia según el horario que corresponda, además se lee la matriz de probabilidades con la que se seleccionara la aleatoriedad en los próximos pasos de la programación, se carga a una variable “y” la función “ocupante” con las mismas variables de entrada de la presente función como se vio en 3.1, esto permite que la nueva variable “y” tenga una matriz de 1X144 que tiene el número de ocupantes que están realizando una actividad en lapsos de 10 minutos, cada columna de la matriz “y” debe tener un equivalente en potencia según el número de ocupantes activos que para el caso sería el número de actividades que aleatoriamente se seleccionan, por tanto en cada paso “min” del lazo FOR que se presenta en el algoritmo se utiliza el número de ocupantes que realizan una actividad para mediante las probabilidades de la matriz “electro” se elija la actividad.





**Figura 3.3:** Algoritmo de la función “MAIN”.

**Fuente:** Autor

Dentro del lazo FOR se crea un número aleatorio que seleccione la actividad aleatoriamente basándose en la matriz “electro”, esta matriz es el resultado del



análisis previo sobre la base de datos obtenida en el anexo A y que se presenta en la hoja de cálculo 10 del mismo, la función “ocupante” como resultante arroja una matriz con una sensibilidad de 144 datos a lo largo del día mientras que en la matriz “electro” formada directamente con datos de la encuesta del tiene una sensibilidad de 24 datos al día por tanto cada seis pasos de la matriz “ocupante” se utilizara una columna de la matriz de probabilidades “electro”; una vez seleccionada la columna en la que se aplicara la aleatoriedad se lee el número de ocupantes de la matriz “y” según el paso que corresponda en el lazo y se la guarda en la variable “ocu” para compararla posteriormente.

La variable “ocu” es utilizada para comparar cada columna de la función “ocupante” y así generar un valor en potencia para la matriz de la función “MAIN”, las variables “fila” ubican en la matriz “electro” las probabilidades a las que se seleccionara aleatoriamente las funciones aseo, hvac, lavado, computador, televisor, cocción.

Dado a que la iluminación no actúa necesariamente al realizar una actividad, se aplica la condición de iluminación exterior e interior en todo momento del día pese a las actividades que se realicen de acuerdo a su respectiva matriz de probabilidad.

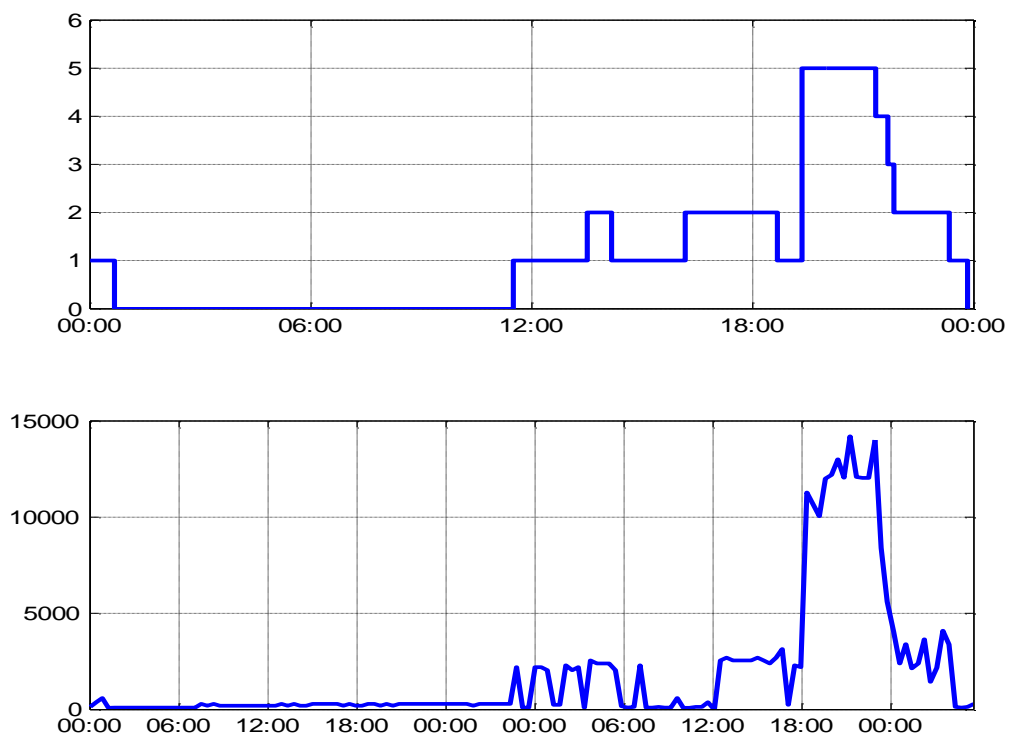
Como se indica anteriormente cada paso del lazo FOR le da un valor de potencia a cada uno de las 144 columnas de la matriz, cada uno estos valores depende del número de ocupantes activos que señale la variable “y” por tanto si en un punto del día el valor de ocupantes activos es mayor que 1 se elige el número de actividades según el número de ocupantes activos que corresponda así la potencia de cada actividad se suma y se guardara en la columna correspondiente de la matriz resultante de la función.

La figura E.1 del anexo E muestra el comportamiento mediante actividades de los usuarios encuestados en el anexo A, para lo cual se suma todas las actividades en valores de p.u., se observa que a ciertas horas del día hay actividades que toman importancia aumentando su probabilidad de uso, partiendo de este concepto se realiza una matriz para cada número de ocupantes tomando en cuenta las actividades, por ejemplo en la figura E.2 indica el mismo comportamiento de la figura E.1 pero solamente para un ocupante mientras que en la figura E.3 es el comportamiento para 5 ocupantes.

Una vez elegida la actividad con su correspondiente valor de potencia según el

número de actividades para cada uno de los pasos del lazo FOR, el programa suma los valores de potencia de las actividades con la de iluminación dando la matriz resultante de la función “MAIN”, al elegir una actividad se llama a su función correspondiente, así si se elige la actividad “aseo” el programa llama a la función “aseo”.

La matriz “MAIN” depende de la matriz ocupante y utiliza las funciones de actividades que se tratan en 3.2.1, cada valor de es la potencia que un usuario usa a cierta hora del día, en la figura 3.4 se muestra un ejemplo de una residencia de cinco ocupantes en un día entre semana la primera sub figura expone el comportamiento de la función “ocupante” mientras que en la segunda sub figura esta su correspondiente valor en potencia a lo largo del día, la programación de la función “MAIN” se encuentra en el anexo F.



**Figura 3.4:** Gráfico de función MAIN mediante MATLAB.

Fuente: Autor

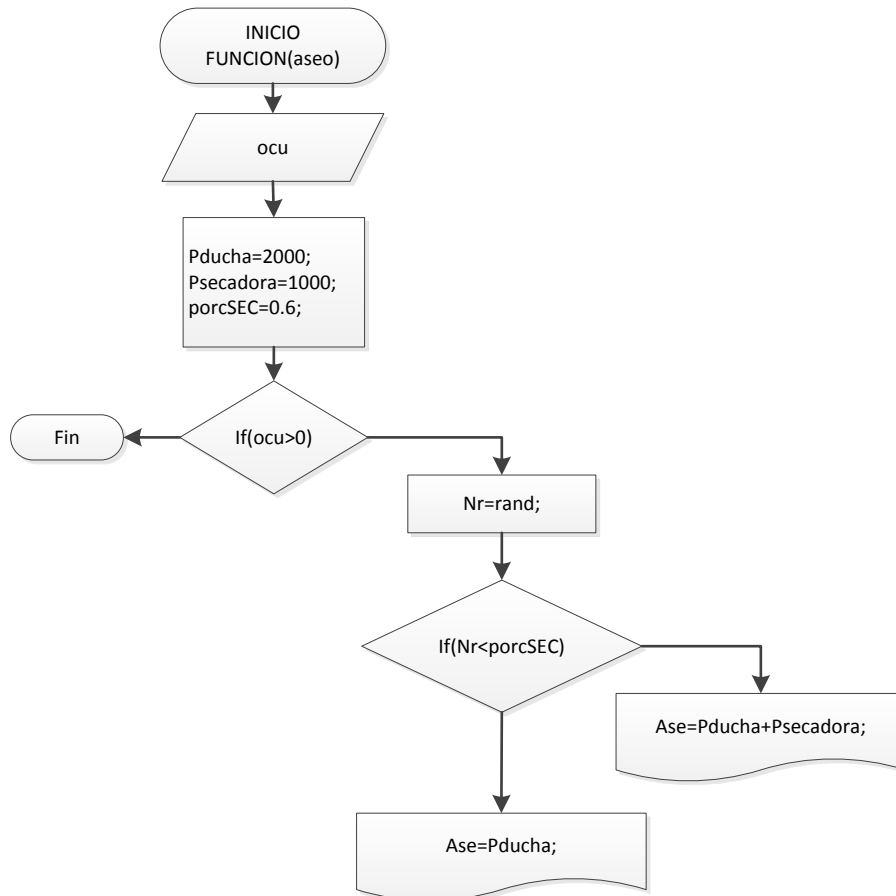
### 3.2.1 Funciones de actividades.

Como se explica anteriormente cada actividad en el programa tiene una función correspondiente cuya variable de entrada es solamente el número de ocupantes y la

salida es el valor de la potencia que utiliza esa actividad.

### 3.2.1.1 Función “aseo”.

Para la fabricación de la función se toma en cuenta la potencia de una ducha eléctrica y adicionalmente se elige aleatoriamente si utiliza además una secadora de cabello basándose en el porcentaje estimado en 2.2.1, la figura 3.5 muestra el algoritmo de programación, el anexo G presenta la programación de la función en *MATLAB*.



**Figura 3.5:** Algoritmo de la función “aseo”.

**Fuente:** Autor

### 3.2.1.2 Función “hvac”.

En 2.2.2 se explica que para la presente investigación solo se tomara la potencia de calefactores residenciales por tanto la potencia que devuelve la función es 1350, la programación en *MATLAB* se encuentra en el anexo H.

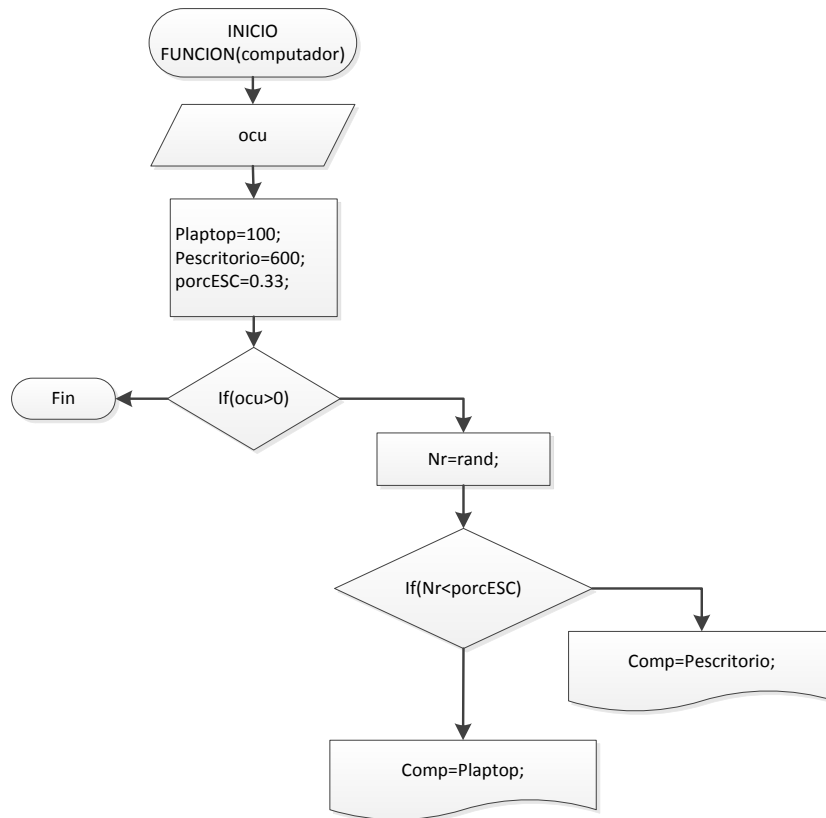
### 3.2.1.3 Función “lavado”.

Esta función devuelve un valor de potencia de 1200 que corresponde al uso de una

plancha, en esta función no se incluyen potencias de lavadoras o secadoras de ropa debido a que de estas variables no se tiene información de su utilización a lo largo del día ya que no son electrodomésticos que generalmente se los utilice a diario, la programación en *MATLAB* se encuentra en el anexo I.

### 3.2.1.4 Función “computador”.

La función consta de dos opciones de computadores los portátiles y de escritorio, como se revisó en 2.2.4 el porcentaje de utilización es de 33% para los computadores de escritorio y 67% para equipos portátiles, el algoritmo de la figura 3.6 muestra la forma de seleccionar el equipo que se utilizara mediante un número aleatorio, la programación realizada en *MATLAB* se encuentra en el anexo J.



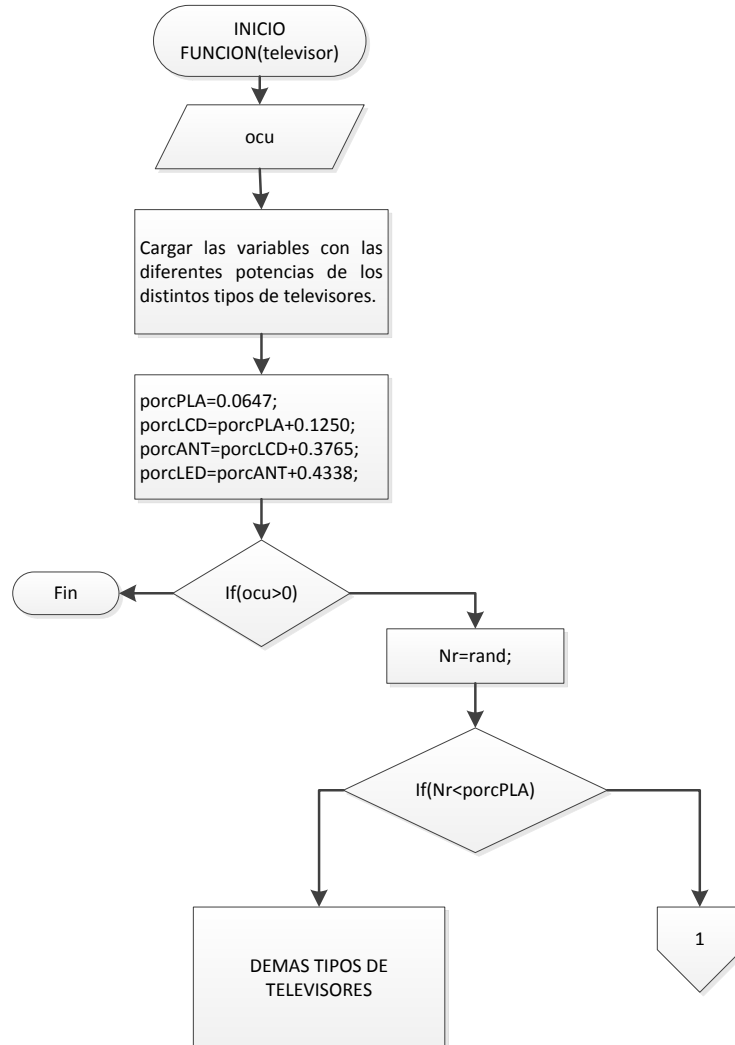
**Figura 3.6:** Algoritmo de la función “computador”.

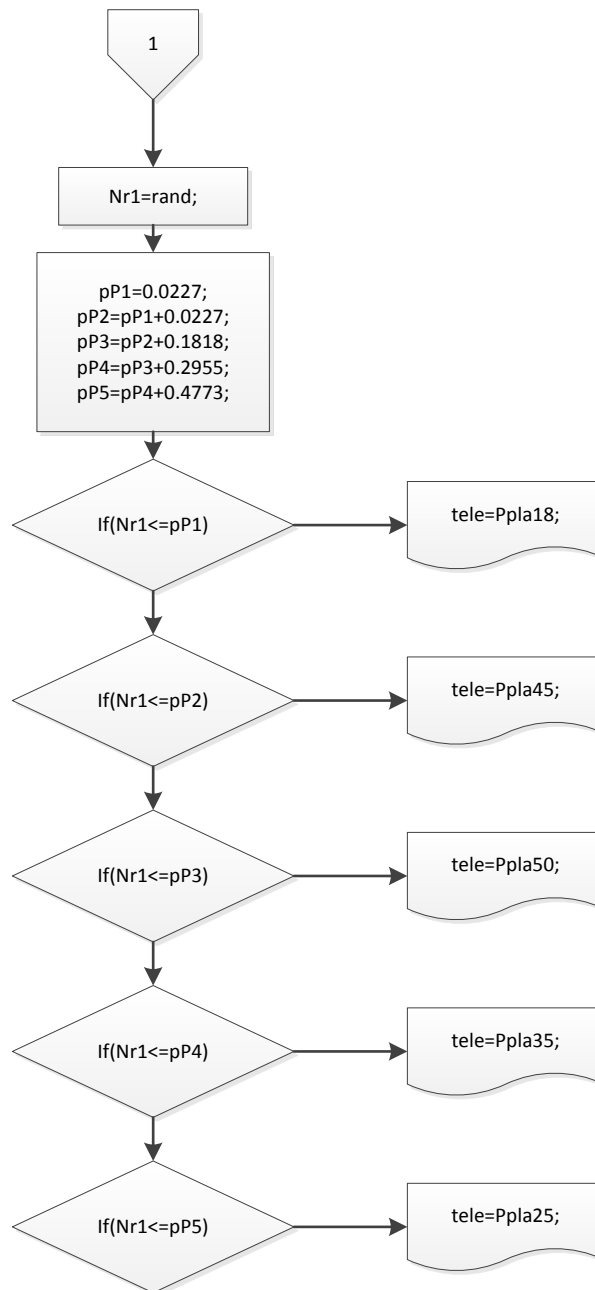
**Fuente:** Autor.

### 3.2.1.5 Función “televisor”.

Para la programación de la función se sigue el algoritmo presentado en el anexo K; primeramente se cargan las variables con todas las potencias de cada tipo de televisor, a continuación se programa las variables con su respectivo porcentaje de utilización para que aleatoriamente sean elegidos según la probabilidad tratada en

2.2.5, una vez que se tiene el tipo de televisor se procede internamente a elegir el tamaño del televisor por consiguiente la potencia que arrojaría la función. Cabe mencionar que todas las probabilidades son extraídas del anexo A, la programación realizada en *MATLAB* se encuentra incluida en el anexo K.





**Figura 3.7:** Algoritmo de la función “televisor”.

**Fuente:** Autor.

### 3.2.1.6 Función “cocción”.

La función arrojará siempre el valor de la potencia de una cocina de inducción para una actividad y se añade el uso de un electrodoméstico según sea su probabilidad de uso, los electrodomésticos que se toman en cuenta son los vistos en la figura 2.12 de 2.2.7, la programación realizada en *MATLAB* se encuentra en el anexo L.

### 3.3 Entorno en GUI MATLAB.

Consiste en insertar un valor manualmente el cual permitirá evaluar la cantidad de energía que utilizarían las baterías basándose en la gráfica de la potencia consumida a lo largo de un día según las variables ingresadas al modelo, esta aplicación se la realiza mediante un entorno de programación gráfica que utiliza la herramienta *MATLAB* llamado *GUIDE*, este entorno permite aplicar las funciones vistas anteriormente en un ambiente amigable de interacción visual con el usuario.

Primeramente se ingresa *guide* en la ventana de comandos de *MATLAB* y se programa de manera como muestra la figura 3.8, una vez programado el entorno se modifica el nombre de cada elemento según se necesite para facilitar la programación y ubicación de elementos dentro de la programación.

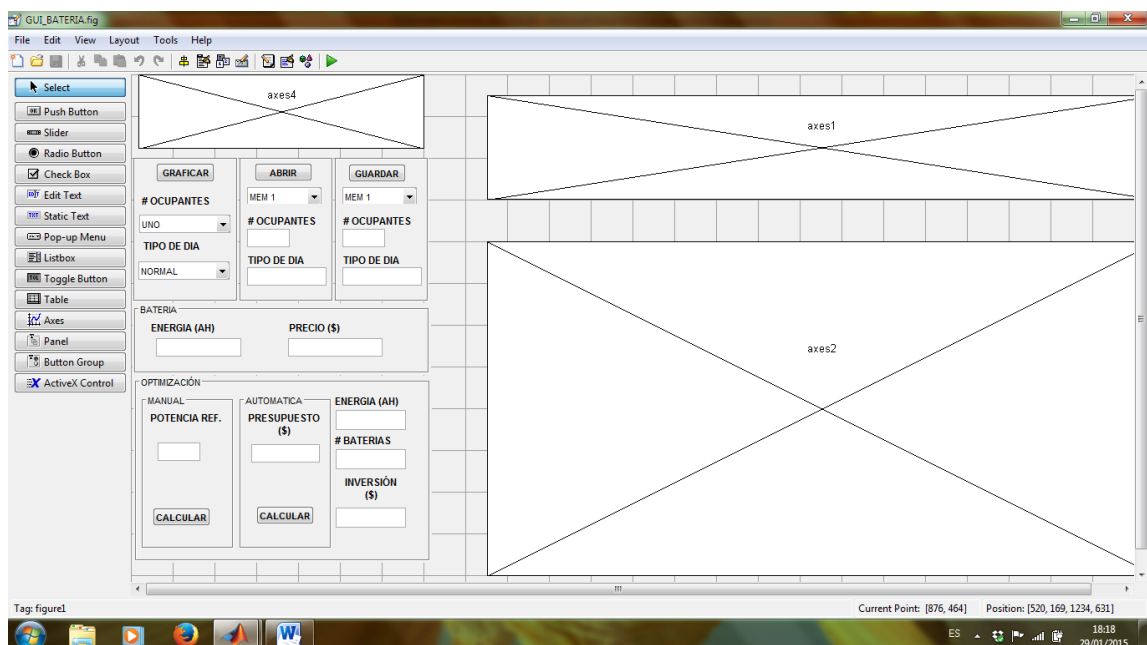


Figura 3.8: Entorno realizado en GUI MATLAB.

Fuente: Autor.

#### 3.3.1 Generación de nuevo modelo.

Las variables de entrada para obtener el modelamiento de ocupantes y por consiguiente el modelamiento de la demanda residencial se ingresan mediante un *Pop-up Menu* con el que se elige el número de ocupantes que se modelara, mediante otro *Pop-up Menu* se ingresa el tipo de día que se modelara puede ser un día normal entre semana o fin de semana, un *Push Button* permite graficar en *Axes1* el modelo de la función “ocupante” con las variables de entrada y en *Axes2* el modelo de la función “MAIN\_NUEVO” con las mismas variables de entrada, mediante el *Push*

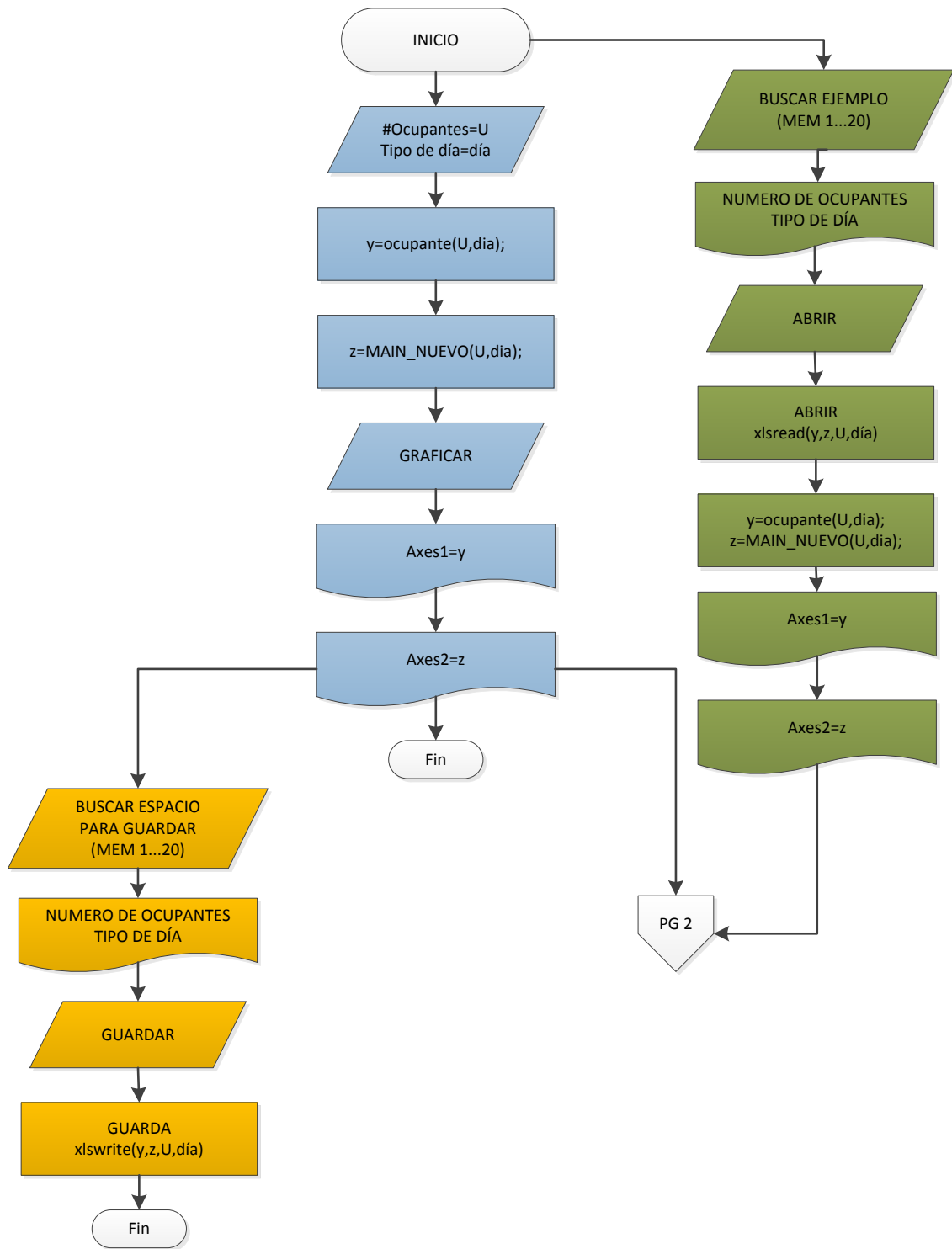
*Button* “GRAFICAR” se forma modelos aleatorios dependiendo las variables de entrada por tanto cada vez que se lo pulsa genera distintos modelos hasta tener el adecuado para su análisis, la programación se encuentra en el anexo M.

### **3.3.2 Abrir y guardar un modelo.**

Una de las dificultades al utilizar estos modelamientos es que al basarse en aleatoriedad no existe ningún modelo idéntico por tanto surge la necesidad de almacenar cierto número de muestras; para resolver ese inconveniente existe en la programación una sección que consiste en almacenar veinte ejemplos con la posibilidad de visualizar sus variables de entrada antes de graficarlos, mediante un *Pop-up Menu* se selecciona el ejemplo guardado para su posterior análisis, en dos *Edit Text* se puede visualizar las variables de entrada del ejemplo guardado para elegir el ejemplo que se necesite antes de graficarlo con el *Push Button* “ABRIR” en *Axis1* y *Axis2*, como se muestra en la figura 3.10, de la misma forma en que existe una sección para seleccionar un ejemplo previamente guardado existe un *Button Group* que contiene un *Pop-up Menu* que selecciona el espacio en el que se puede guardar las matrices que contienen el modelo de las actividades de los ocupantes realizados por la función “ocupante” graficado en *Axes1* y la matriz que contiene el modelo de la demanda residencial obtenido a partir de la función ocupante graficado en *Axes2*, para conocer los espacios que están ya ocupados por alguna información se visualiza en dos *Edit Text* las variables de entrada.

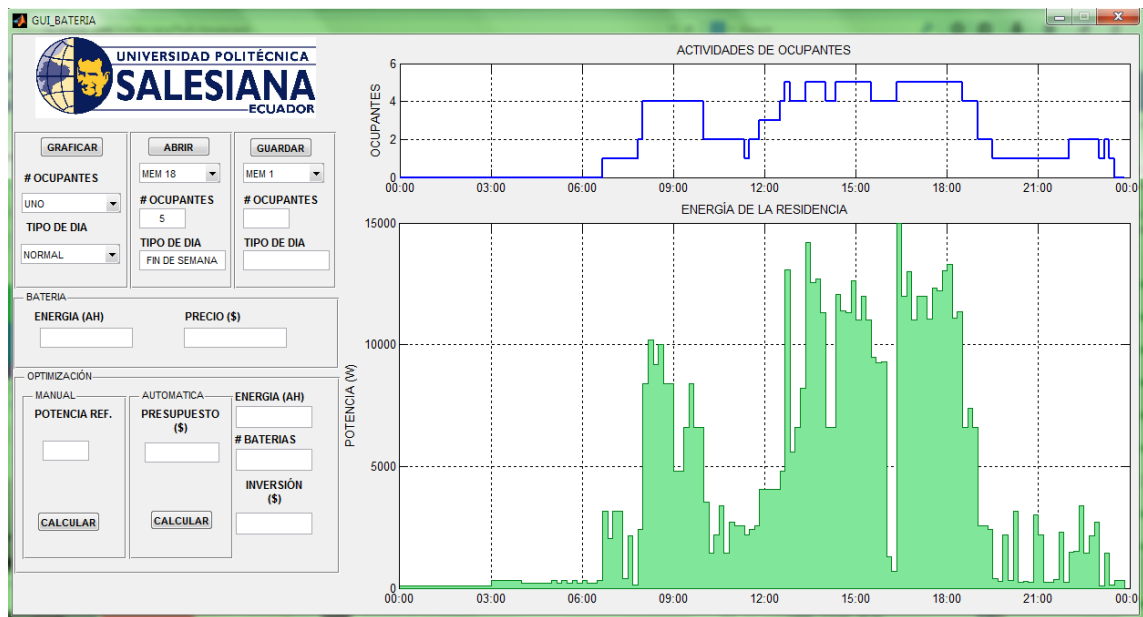
En la figura 3.9 se muestra el algoritmo de programación para *GUI MATLAB* los elementos de color azul son de la sección 3.3.1, los elementos de color naranja indican el proceso de programación para guardar los modelos expuestos en *Axis1* y *Axis2*, los elementos de color verde indican el proceso de programación para abrir un ejemplo previamente guardado, una vez graficada la demanda residencial diaria se puede aplicar el almacenamiento, la programación realizada en *MATLAB* se encuentra en el anexo M, la figura 3.10 muestra un ejemplo simulado en *GUI MATLAB*.





**Figura 3.9:** Algoritmo para obtener la demanda residencial en GUI MATLAB.

**Fuente:** Autor.



**Figura 3.10:** Entorno dinámico para el modelamiento en GUI MATLAB.

**Fuente:** Autor.

### 3.4 Aplicación de sistema de almacenamiento.

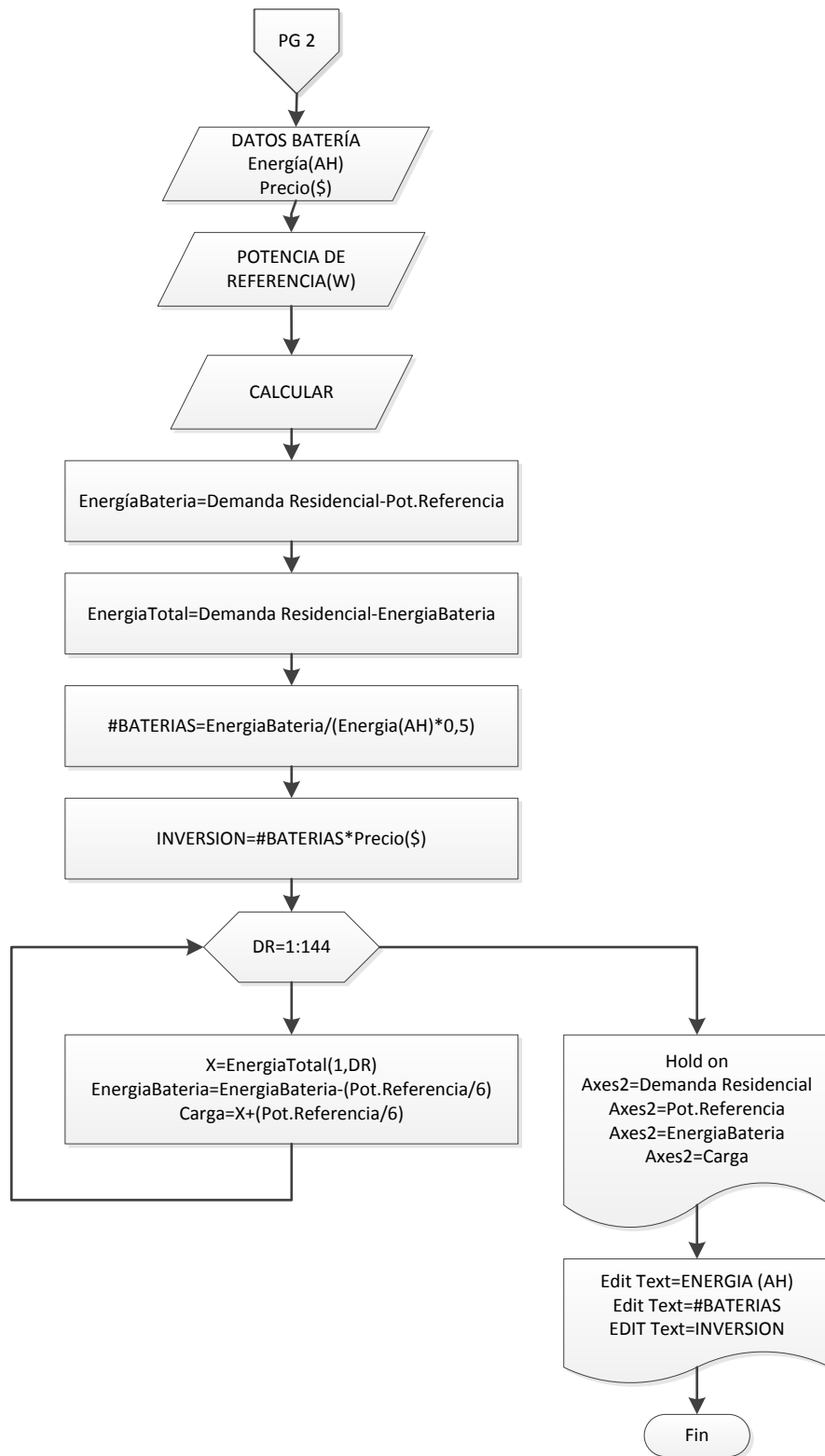
Una vez graficado un nuevo modelo aleatorio o un ejemplo guardado previamente, se procede a optimizar la energía mediante la aplicación de un sistema de almacenamiento primeramente se ingresan los datos de la batería que se usará mediante dos *Edit Text*, en el primero se ingresa la energía en AH y en el segundo el precio de la batería.

Existen dos maneras de visualizar la optimización la primera es trazar una referencia sobre la gráfica que describe la demanda residencial de potencia a lo largo del día, la referencia se puede trazar en cualquier nivel de potencia guiándose por la gráfica, se ingresa el valor en un *Edit Text* ubicado en el *Button Group* con el nombre “MANUAL” este valor se traza en la gráfica al pulsar el *Push Button* “CALCULAR” y además gráfica de color rojo el proceso de almacenamiento de la energía aportada cuando la demanda sobrepasa el valor de referencia, también se expone la cantidad de energía que aportan los baterías que es el resultado del área entre la curva de la demanda residencial y el eje de referencia ingresado; de igual forma el número de baterías y la inversión que se tendría solamente en baterías se lo expone en los *Edit Text* correspondientes. La referencia es dinámica debido a que se puede volver a ingresar un nuevo valor en caso que no se concuerde con los resultados obtenidos y se vuelve a pulsar el *Push Button* “CALCULAR” así hasta obtener los resultados

deseados, el algoritmo que indica el proceso de la programación se muestra en la figura 3.11 y la programación se encuentra en el anexo M.

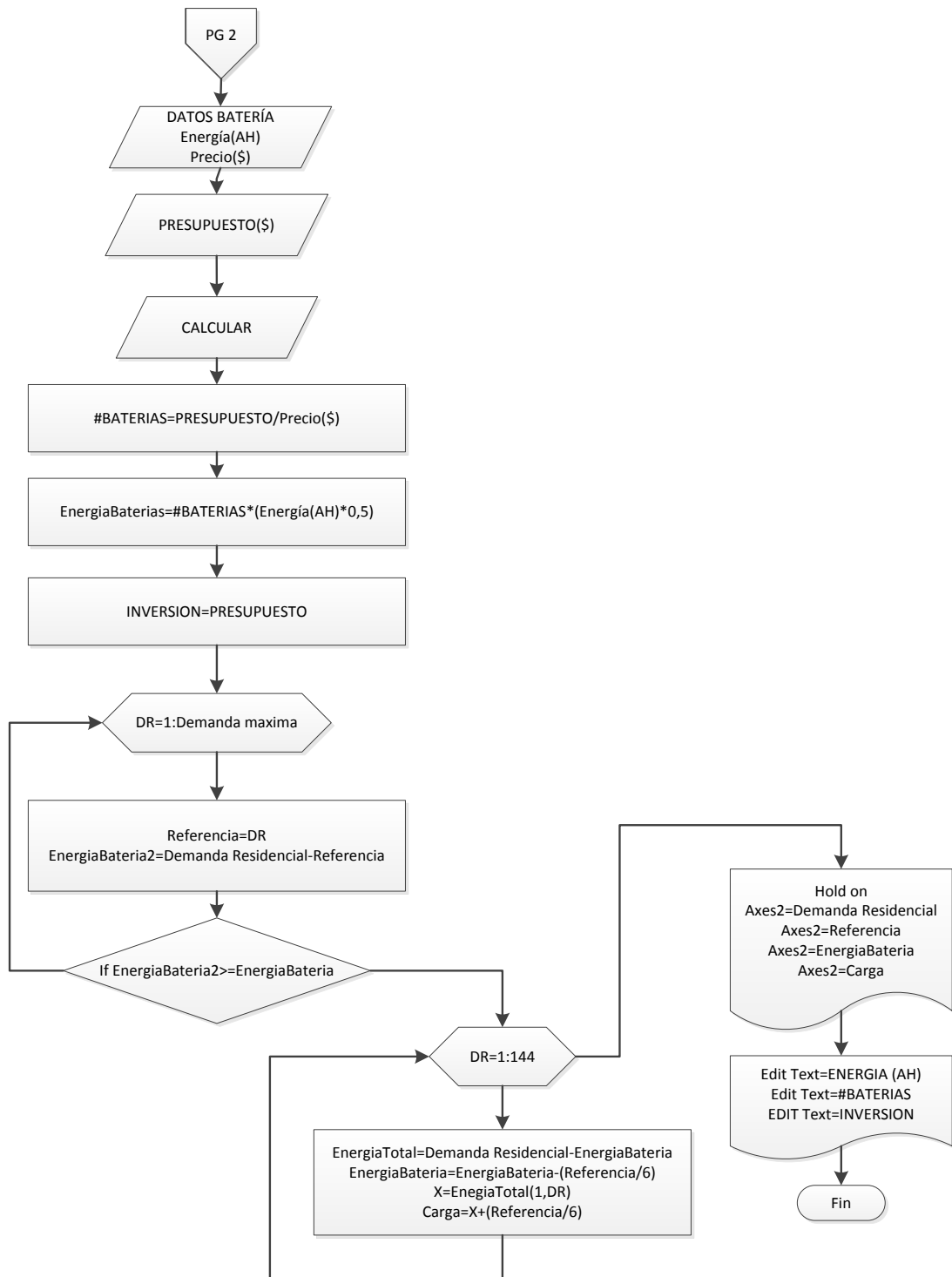
Otra forma de optimizar es automáticamente, esto quiere decir que se ingresa de manera manual una cantidad de dinero en el *Edit Text* ubicado en el *Button Group* con el nombre “AUTOMATICO”, una vez ingresado este dato y los datos de la batería se procede a pulsar el *Push Button* “CALCULAR” con esto el programa calcula primeramente el número de baterías que alcanzarían con el presupuesto y por consiguiente la energía que se podría aportar a la red, una vez obtenido el dato de la energía el programa procede a evaluar la función de la demanda residencial con valores de referencia desde cero hasta el valor de demanda máxima deteniéndose justo en el valor de referencia en que el presupuesto disponga lo presupuestado, de igual forma que en la manera de optimización manual los resultados de este proceso se exponen en la gráfica de *Axis2* en la que se encuentra la demanda residencial diaria, el valor de referencia calculado mediante el presupuesto ingresado y la energía trasladada a otra hora del día mediante el sistema de almacenamiento, de la misma forma que la optimización manual, si se requiere analizar con otro valor presupuestado solamente se ingresa el nuevo valor y se vuelve a pulsar el *Push Button* “CALCULAR” y toda la operación se realiza nuevamente arrojando otros resultados, el algoritmo que se sigue para la programación se muestra en la figura 3.12 y la programación se encuentra en el anexo M.

La figura 3.13 muestra un ejemplo para una residencia de cinco ocupantes en fin de semana, guardado previamente en la memoria 18, el modelo de las actividades de los ocupantes se encuentra en la gráfica superior y es trazada de color azul, la optimización se la realiza de manera manual con un punto de referencia de 6000 W, en la figura el punto de referencia es de color rojo al igual que el tiempo que demoraría en almacenar la energía que se aportaría a la red, la demanda cubierta por las baterías es graficada en color gris y la demanda cubierta por la empresa distribuidora va graficada de color verde.



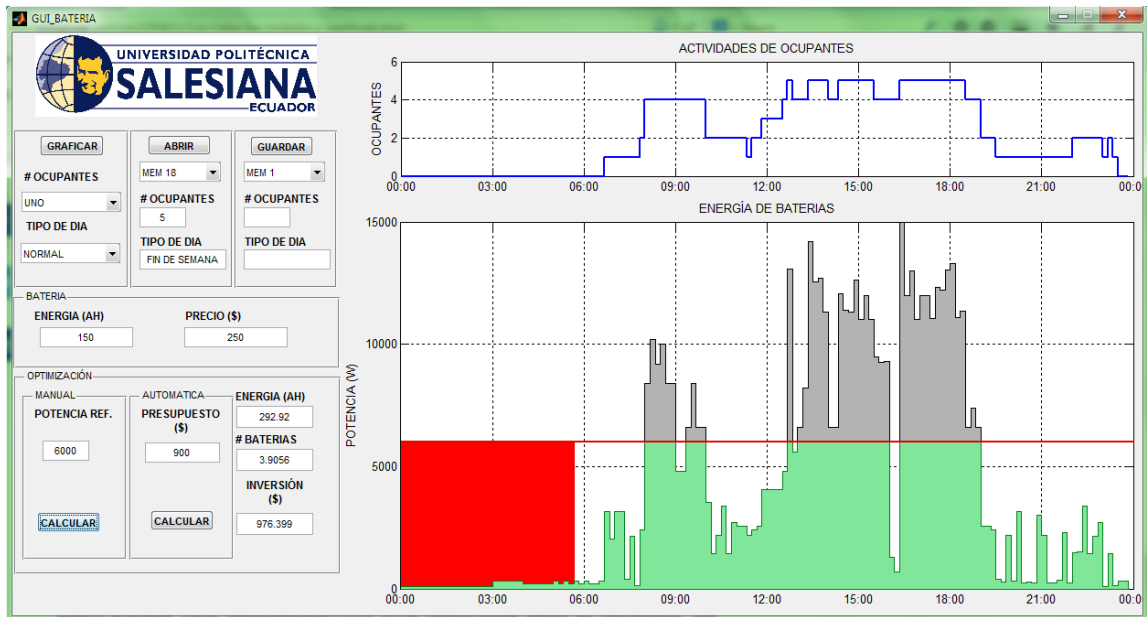
**Figura 3.11:** Algoritmo para optimización manual de energía en GUI MATLAB.

**Fuente:** Autor.



**Figura 3.12:** Algoritmo para optimización automática de energía en GUI MATLAB.

**Fuente:** Autor.



**Figura 3.13:** Ejemplo de optimización de energía GUI MATLAB.

**Fuente:** Autor.

## **CAPITULO IV**

### **ANÁLISIS DE RESULTADOS**

La búsqueda de un modelo energético que utilice la energía eficientemente, que aproveche las fuentes de energía limpia y que el impacto ambiental sea reducido, son aspectos importantes para satisfacer las necesidades del presente sin comprometer las necesidades de las futuras generaciones.

Este capítulo analiza las alternativas viables para la inclusión del prototipo propuesto a la red, los beneficios técnicos y económicos para el inversionista como para la empresa distribuidora, además el impacto social y ambiental que conlleva la utilización de este sistema de optimización de energía.

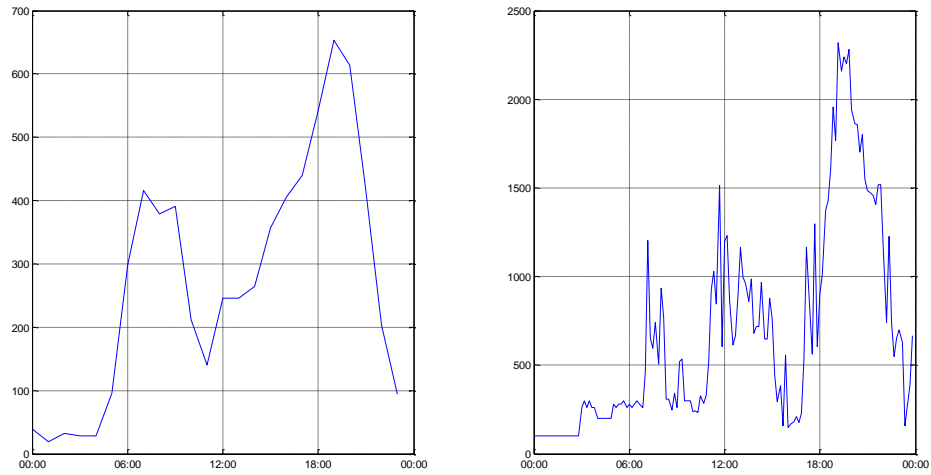
#### **4.1 Simulación bajo software.**

En este sub capítulo se analiza los datos que se obtienen del modelamiento realizado en el capítulo 3.

##### **4.1.1 Comparación de modelos.**

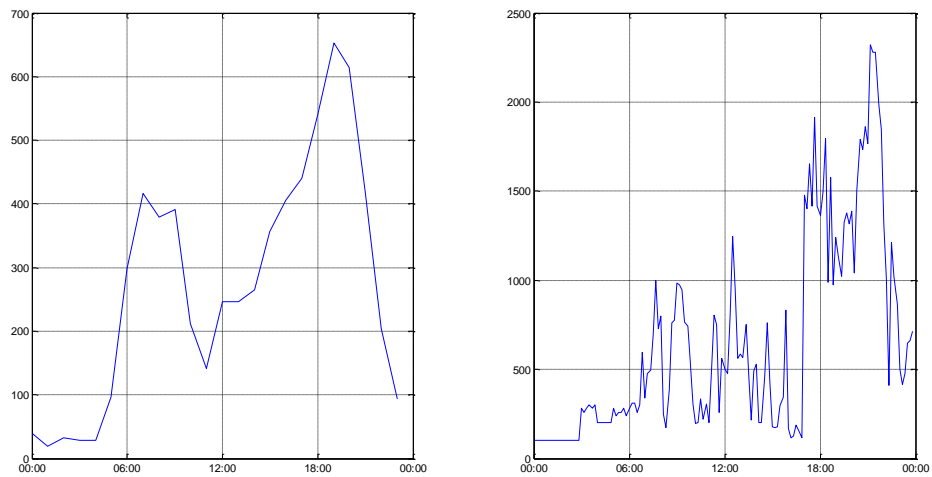
Antes de cualquier simulación con el modelamiento de la demanda eléctrica de la presente investigación se lo evalúa comparándolo con datos medidos expuestos en 2.3, para esto se realiza un nuevo Script en Matlab que sume las demandas residenciales que da la función MAIN el mismo número de días que la muestra medida, la programación se encuentra en anexo N, las figuras 4.1 y 4.2 muestran tres ejemplos de la comparación entre el modelo de demanda residencial basado en los datos medidos y el modelo realizado en Matlab, al ser un modelo basado en la aleatoriedad cada nueva simulación arroja un nuevo modelo sin embargo en las figuras se demuestra la similitud entre los valores del modelo y los medidos.

Como se observa en los dos ejemplos el comportamiento de la demanda es similar al comportamiento real medido en una residencia de estrato de consumo tipo B, pese a ser aleatorio por tanto el modelo se lo puede utilizar para obtener resultados de almacenamiento de energía que se analiza en 4.1.2.



**Figura 4.1:** Comparación de modelo medido y modelo simulado. Ejemplo 1.

Fuente: Autor.



**Figura 4.2:** Comparación de modelo medido y modelo simulado. Ejemplo 2.

Fuente: Autor.

#### 4.1.2 Comparación de energía diaria.

El modelo se compara con datos específicos de la encuesta del anexo A, por ejemplo de la encuesta número 183 con 5 ocupantes y 307 kWh al mes se tiene que la energía diaria aproximada es 91Ah por tanto se simula en la aplicación realizada en el capítulo 3 obteniendo los resultados que se muestran en la figura 4.3 en la cual se ingresa cero como potencia de referencia para saber la energía que consume al día, se obtiene como resultado 86.33 Ah similar al que se obtiene de la planilla de energía eléctrica, de la misma manera se procede a simular para el caso de la encuesta número 38 del anexo A de 4 habitantes y 220 kWh, se obtiene que la energía diaria



es 65.72 Ah, al correr el programa se obtiene 74 Ah como se muestra en la figura 4.4.

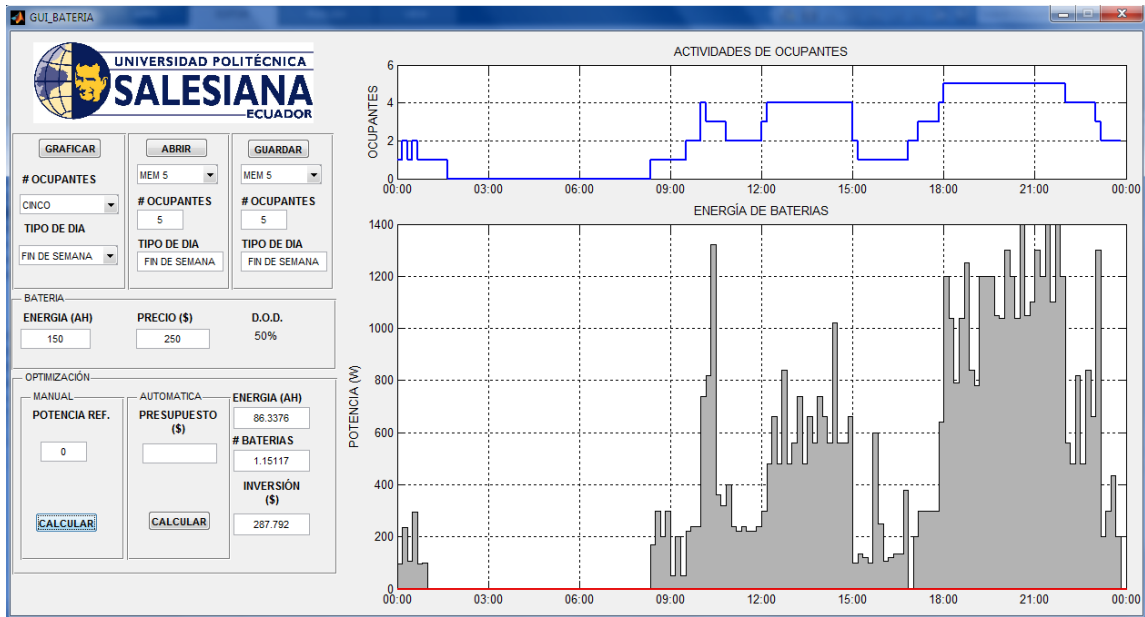


Figura 4.3: Comparación de energía diaria. Ejemplo 1.

Fuente: Autor.

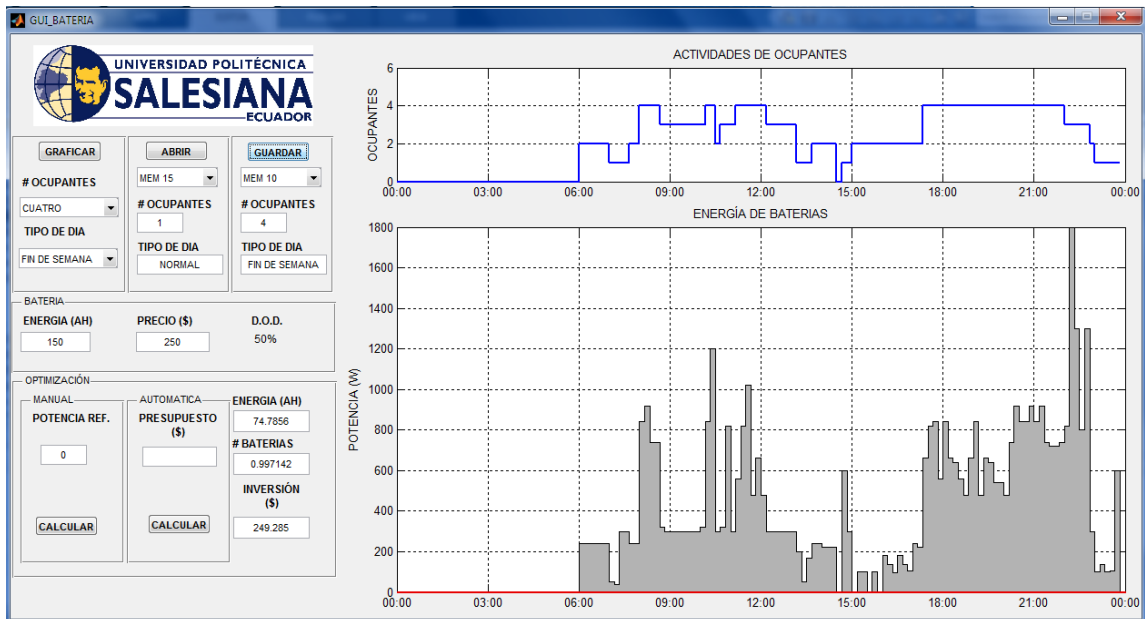


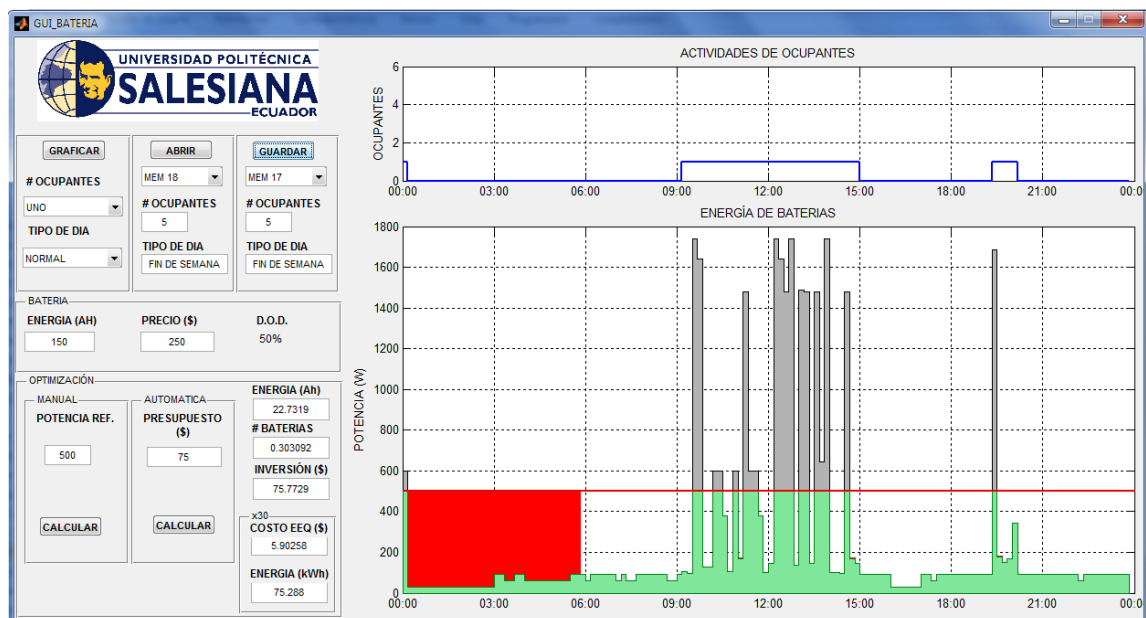
Figura 4.4: Comparación de energía diaria. Ejemplo 2.

Fuente: Autor.

### 4.1.3 Optimización de energía en horas pico.

La optimización de energía que propone el presente trabajo de investigación se basa en el almacenamiento de la misma en horas de la noche en que la demanda residencial es muy reducida, de esta forma en horas de demanda pico esta energía almacenada se ingresa a la red.

Se simuló un caso para cada número de habitantes que se puede disponer en el programa realizado en Matlab, en el primer caso se tiene una demanda residencial para un ocupante, la referencia se ubica en 500 W de tal forma que la energía que sobrepase este valor sea aportado por el banco de baterías y se almacene desde las cero horas en adelante hasta las seis de la mañana máximo por eso la importancia de evaluar los resultados con cada valor de referencia que se ingrese, el programa además tiene una sección en la cual se simula que este comportamiento de la demanda se mantendría a lo largo del mes por tanto la energía que está sobre la referencia en esa hora del día no aumenta la demanda del S.N.I. así la energía que se aporta a la red sobre la referencia es almacenada previamente en las primeras horas del día como muestra la figura 4.5, para este primer ejemplo reduciría 75 kWh al mes en horas pico de demanda.



**Figura 4.5:** Optimización de energía diaria. Ejemplo 1.

**Fuente:** Autor.

La figura 4.6 muestra los resultados para una simulación de dos ocupantes la referencia se la ubica a los 700 W para que el almacenamiento solo se lo realice en la noche, la energía que cambia de horario es 93 kWh al mes. La figura 4.7 muestra el modelamiento para tres ocupantes con una referencia de 700 W y la energía almacenada e insertada a la red es de 97 kWh, para el caso de la figura 4.8 que presenta el modelamiento para cuatro ocupantes la referencia es en los 700 W y la energía que optimiza es 108 kWh, para los cuatro primeros ejemplos la referencia es similar para la optimización lógicamente la energía optimizada aumenta a medida

que aumenta los ocupantes.

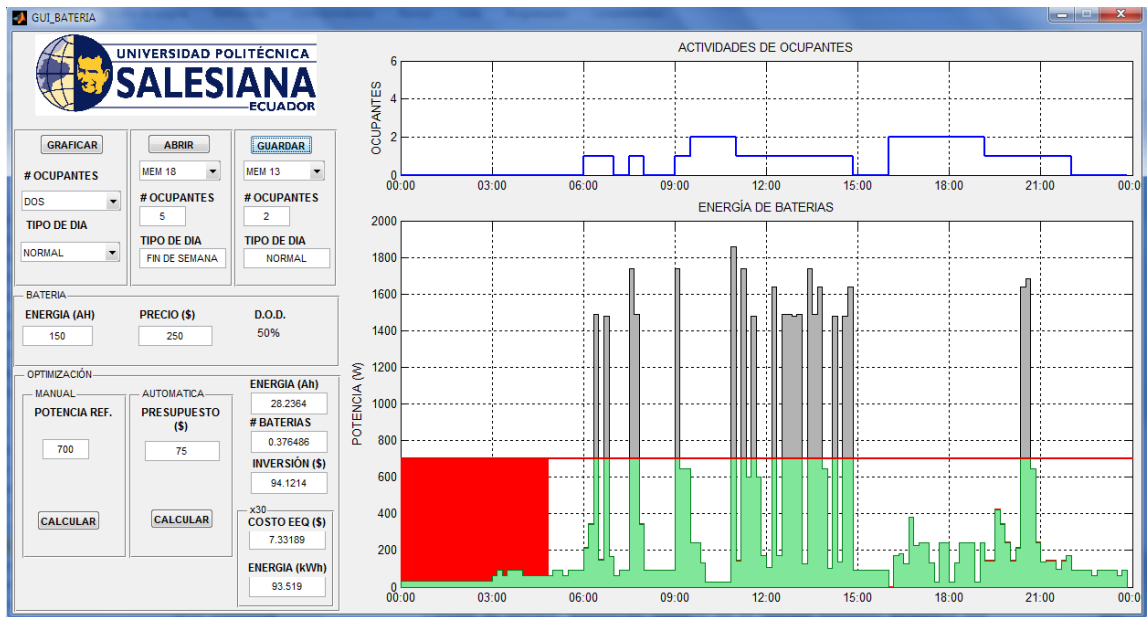


Figura 4.6: Optimización de energía diaria. Ejemplo 2.

Fuente: Autor.

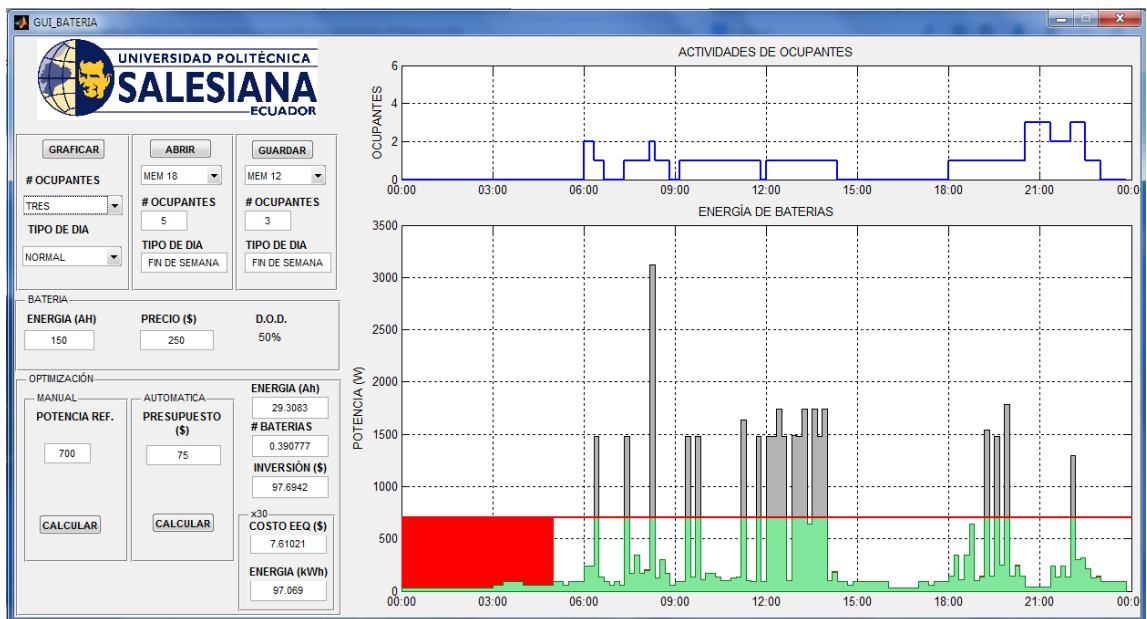


Figura 4.7: Optimización de energía diaria. Ejemplo 3.

Fuente: Autor.

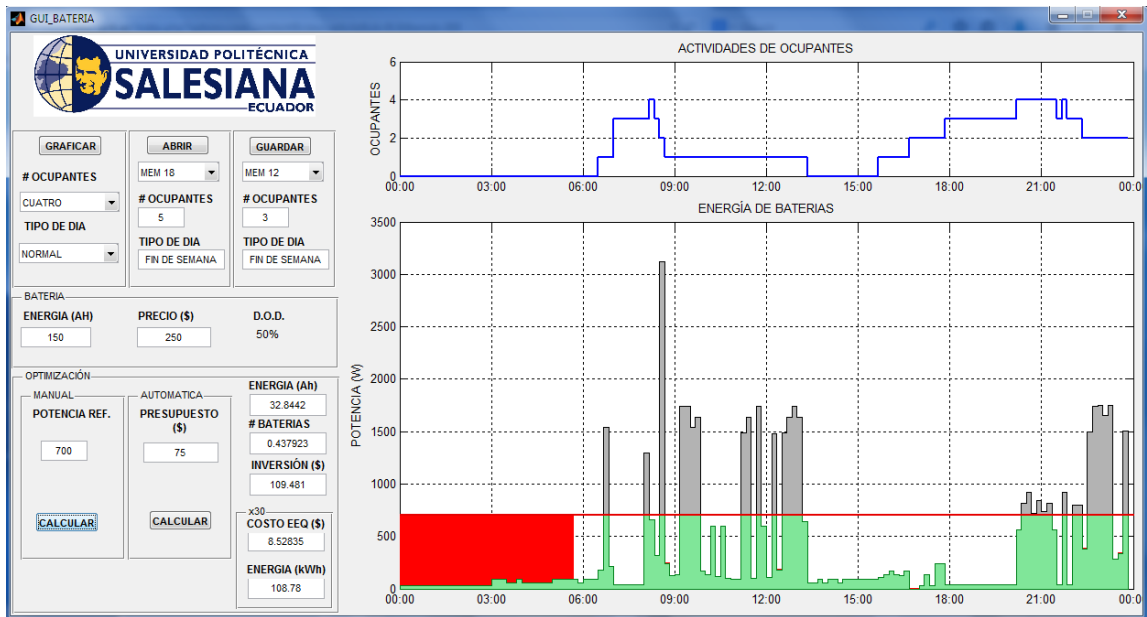


Figura 4.8: Optimización de energía diaria. Ejemplo 4.

Fuente: Autor.

La optimización para cinco ocupantes se presenta en la figura 4.9, la potencia de referencia se ubica a los 1300 W y la energía que se optimiza es 190.57 kWh.

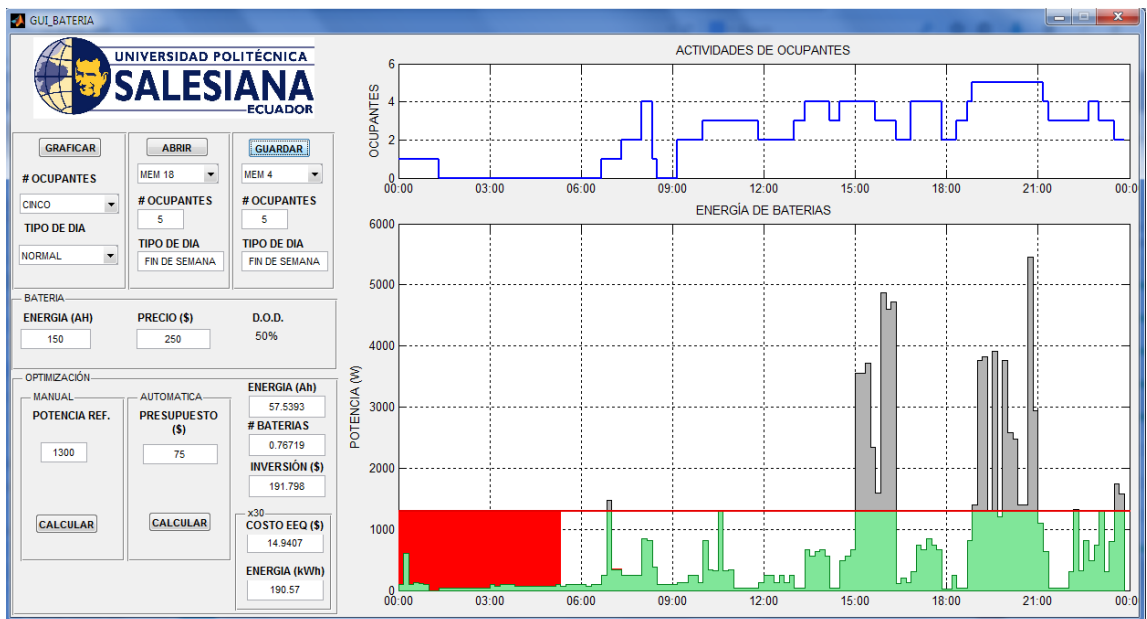


Figura 4.9: Optimización de energía diaria. Ejemplo 5.

Fuente: Autor.

## 4.2 Impacto en el sistema eléctrico.

La gestión de energía consiste en su optimización sin disminuir las prestaciones y considerando su uso racional y eficiente, en la presente investigación se optimiza

energía mediante un prototipo que almacene energía en horas de la noche y aporte a la red en horas pico de demanda, esta iniciativa produce impacto en varios aspectos uno de ellos es en el sistema eléctrico ya que la curva característica de la demanda cambiaría y con ella la gestión de las empresas distribuidoras.

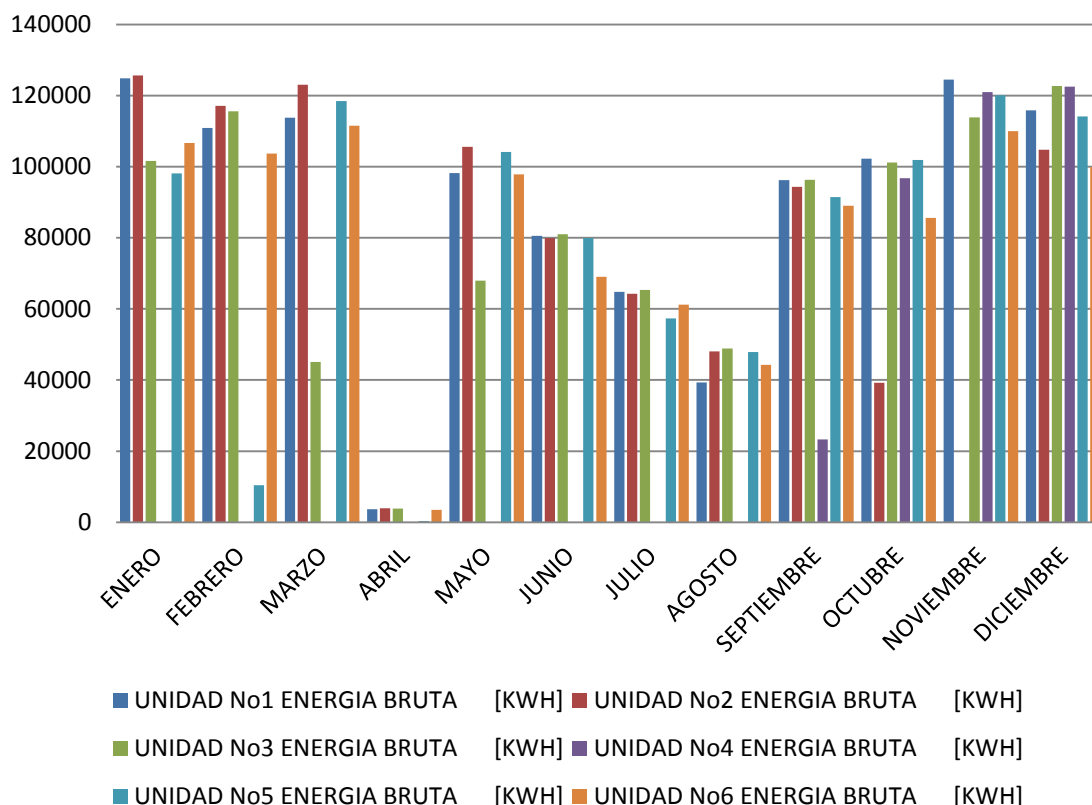
En base de lo expuesto anteriormente se realiza una comparación de los datos de la central termoeléctrica Gualberto Hernández, ubicada en la ciudad de Quito, gestionada por la Empresa Eléctrica Quito, posee una potencia de 34.2 MW con seis unidades de combustión interna, en el anexo digital CT\_G\_Hernandez.xlsx se encuentran los datos de generación de energía bruta promedio por día para las seis unidades de la central en cada mes del año como muestra la tabla 4.1 y la figura 4.10.

**TABLA 4.1:** *Generación promedio por día.*

	UNIDAD No1 ENERGIA BRUTA [KWH]	UNIDAD No2 ENERGIA BRUTA [KWH]	UNIDAD No3 ENERGIA BRUTA [KWH]	UNIDAD No4 ENERGIA BRUTA [KWH]	UNIDAD No5 ENERGIA BRUTA [KWH]	UNIDAD No6 ENERGIA BRUTA [KWH]
<b>ENERO</b>	124816,2053	125678,4859	101644,3478	0	98109,50396	106646,2872
<b>FEBRERO</b>	110865,5739	117098,7114	115568,888	0	10429,08782	103699,339
<b>MARZO</b>	113780,2246	123080,596	45114,11149	0	118418,176	111482,3619
<b>ABRIL</b>	3695,519129	3903,290379	3852,296268	0	347,6362608	3456,644634
<b>MAYO</b>	98239,33754	105610,8522	67974,97145	0	104149,6555	97800,75309
<b>JUNIO</b>	80556,12691	79927,25412	80975,36485	0	79938,2091	69001,65316
<b>JULIO</b>	64814,23852	64290,87697	65362,05599	0	57358,98517	61200,2056
<b>AGOSTO</b>	39314,74409	48084,39426	48832,13902	0	47860,59771	44285,00859
<b>SEPTIEMBRE</b>	96252,67975	94367,52484	96349,48519	23285,75775	91426,79734	89001,46776
<b>OCTUBRE</b>	102214,6512	39198,90293	101178,9006	96776,89427	101905,0811	85630,32688
<b>NOVIEMBRE</b>	124467,8826	0	113889,548	120999,3394	120108,9214	109955,0244
<b>DICIEMBRE</b>	115808,1534	104737,7559	122719,4237	122521,7377	114159,1225	99913,08703

**Fuente:** *Autor.*

## Central Termoeléctrica G. Hernández



**Figura 4.10:** Energía promedio por día.

**Fuente:** Autor.

La central no presenta mayor actividad en el mes de abril y un decrecimiento en su producción de mayo hasta agosto, en los meses de septiembre, octubre y diciembre se encuentran funcionando todas las unidades y su producción máxima se da en diciembre que a nivel nacional la demanda crece, el valor que se utilizara para el análisis es la energía promedio por día producida por la unidad dos en el mes de enero que es 125.678,49 kWh, se divide este valor para 6,35 kWh que se obtiene del modelamiento realizado en la figura 4.9 y es la energía que se reduce en horas de demanda pico mediante el prototipo propuesto para un hogar de cinco personas entre jóvenes y adultos, se tiene que para igualar la energía generada por la unidad dos de la central termoeléctrica Gualberto Hernández es necesario aplicar el sistema de almacenamiento mediante el prototipo propuesto en 19.792 hogares de cinco personas.

Según lo expuesto los 19.792 hogares son el 22,6 % de los 87.565 hogares censados con cinco habitantes, este valor se lo obtiene del anexo O.

**TABLA 4.1:** Total de personas de la vivienda.

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	0	129108	16,9	16,9	16,9
	1 persona	76503	10,0	10,0	26,9
	2 personas	110920	14,5	14,5	41,4
	3 personas	139537	18,3	18,3	59,7
	4 personas	149465	19,6	19,6	79,2
	5 personas	87565	11,5	11,5	90,7
	6 personas	38853	5,1	5,1	95,8
	7 personas	17804	2,3	2,3	98,1
	8 personas	7526	1,0	1,0	99,1
	9 personas	3557	,5	,5	99,6
	10	2280	,3	,3	99,9
	11	472	,1	,1	99,9
	12	249	,0	,0	100,0

**Fuente:** Autor.

Para el caso de hogares con cuatro habitantes la energía diaria que se optimiza es 3,63 kWh como se muestra en la figura 4.8 por tanto el número de hogares de cuatro habitantes que cubrirían la cantidad de una unidad de la central termoeléctrica analizada es 34.622 que equivale al 23% de los hogares de cuatro habitantes encuestados por el INEC, en hogares de tres ocupantes como muestra la figura 4.7 la energía diaria es de 3,23 kWh el por tanto el número de hogares de tres ocupantes que se aplicaría la optimización para igualar la cantidad promedio de energía diaria producida por una unidad de generación es 38.909 que corresponde al 27,89% de las viviendas encuestadas, en el caso de las viviendas habitadas por dos ocupantes la energía diaria es 3,12 kWh y el número de viviendas es 40.281 que corresponde al 36% del total de viviendas encuestadas en el censo del 2010, la energía expuesta en la figura 4.5 para viviendas de un solo habitante es 2,51 kWh, el número de viviendas es 50.071 que corresponde al 65,44% de las viviendas ocupadas por un habitante según la base de datos proporcionada por el INEC.

Los cinco ejemplos que proporciona el modelo presentan valores del 20 al 30 por ciento de viviendas de Quito para la aplicación del prototipo que igualan a la cantidad de energía producida por una unidad de generación de la central termoeléctrica Gualberto Hernández, excluyendo los valores para viviendas habitadas por un ocupante se tendría el valor de 4 unidades de generación aplicando el prototipo en el número de hogares analizados anteriormente.

Incluir al sistema eléctrico un prototipo como el que propone la investigación requiere considerar factores adicionales a parte de la energía que puede optimizar, como son la calidad de energía y la eficiencia del prototipo, estas consideraciones se tratan en 2.4.2.

### 4.3 Análisis económico.

Todo proceso de investigación debe pasar por un análisis económico para evaluar las posibilidades de su posterior implementación, evaluar el mercado al que se enfocará y proyectar los beneficios económicos que conllevará la investigación.

En el presente trabajo se dispone de dos evaluaciones la primera se enfocada a la implementación en usuarios residenciales de los ejemplos de 4.2, se parte por el precio aproximado que tendría la fabricación del prototipo basándose en el costo de materiales que hacen parte del mismo, cabe mencionar que al ser un modelamiento, el precio propuesto no incluye los gastos de protocolo de pruebas, diseño y fabricación del prototipo, estos valores serán asumidos por un porcentaje del costo de materiales total, en la tabla 4.2 se muestra el precio del prototipo para una potencia de 1600 W, con el que se trabajara para el análisis.

**TABLA 4.2:** Precio aproximado del prototipo.

ACTIVOS FIJOS				
EQUIPOS				
ITEMS	DETALLES	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
1	Inversor Cargador VICTRON ENERGY 1600W	1	1800	1800
2	Batería Ultracell UCG 150-12	1	310	310
3	Equipo de monitoreo	1	250	250
4	Equipo de control	1	200	200
6	Montaje y varios	1	1000	1000
	Subtotal Equipos			3560
MANO DE OBRA Y ASESORIA TÉCNICA				
7	Instalación	1	500	500
		TOTAL		4060

Fuente: Autor.

Partiendo que los clientes residenciales que entran en el presente modelamiento no se rigen al control de demanda debido a que ninguno de ellos supera los 10 kW de demanda dispuestos por el Pliego Tarifario para Empresas Eléctricas [58], se analiza la visión de inversión desde la empresa distribuidora tomando como dato los 19.792



hogares para el caso de viviendas de cinco ocupantes y el precio en combustible de un mes de un generador que es aproximadamente \$ 89.133,9167.

*“El valor actual neto es un indicador financiero que mide los flujos de los futuros ingresos y egresos que tendrá un proyecto, para determinar, si luego de descontar la inversión inicial, nos quedaría alguna ganancia el resultado tiene que salir positivo. La tasa interna de retorno de una inversión o proyecto es una tasa efectiva anual compuesto de retorno o tasa de descuento que hace que el valor actual neto de todos los flujos de efectivo (tanto positivo como negativos) de una determinada inversión igual a cero”.*<sup>2</sup>

Con los datos expuestos anteriormente se calcula el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR) para obtener analizar si el proyecto es favorable o no, para esto se utilizara (54) y (55)

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_o \quad (54)$$

Dónde:

V<sub>t</sub>= Flujo de caja en años determinados.

I<sub>o</sub>=Inversión inicial.

n=Número de años considerados.

k=Tasa de interés o descuento.

$$TIR = \sum_{t=0}^n \frac{Fn}{(1+i)^n} = 0 \quad (55)$$

Dónde:

F<sub>n</sub>=Flujo de fondos.

i=Periodo.

n=Vida útil del proyecto.

Para este primer caso de la inversión vista desde la empresa distribuidora con el interés bajo de 1%, los años considerados para el proyecto son 15, no se considera

---

<sup>2</sup> [60] A. G. B. C. Oscar Ivan Ortega Hidalgo, *PROCEDIMIENTO TÉCNICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE MICROCENTRALES ELÉCTRICAS UTILIZANDO PANELES FOTOVOLTAICOS*. 2013, p. 171.

egresos de mantenimiento del prototipo los resultados son los siguientes:

$$VAN = -65.525.362,77$$

$$TIR = -16\%$$

Con estos resultados, al tener un VAN con valores negativos se determina que el proyecto no es favorable si la inversión viene desde la empresa distribuidora ya que produciría pérdidas, por tanto al inclusión de este prototipo en viviendas residenciales no es posible si la inversión no viene desde el mismo consumidor que tenga proyectado instalar algún tipo de generación de energía.

Para los consumidores que su demanda sobrepasa los 10 kW se analizara como inversionista al cliente tomando en cuenta el flujo de caja con respecto a lo que paga de energía eléctrica y el costo del prototipo para esto se reacomodó el modelamiento para conseguir una curva de demanda que tenga estas características, el modelo se muestra en la figura 4.11, se considera que el cliente debe tener una demanda menor a 10 kW para que el recargo por demanda no influya en la planilla de energía eléctrica [58], para esto la referencia se la ubica en 9000 W para obtener cuanta energía es la que optimizará y cambiara de horario según lo recomienda el numeral 7 del documento Anexo a Pliego Tarifario EEQ [59], este procedimiento se muestra en la figura 4.12.

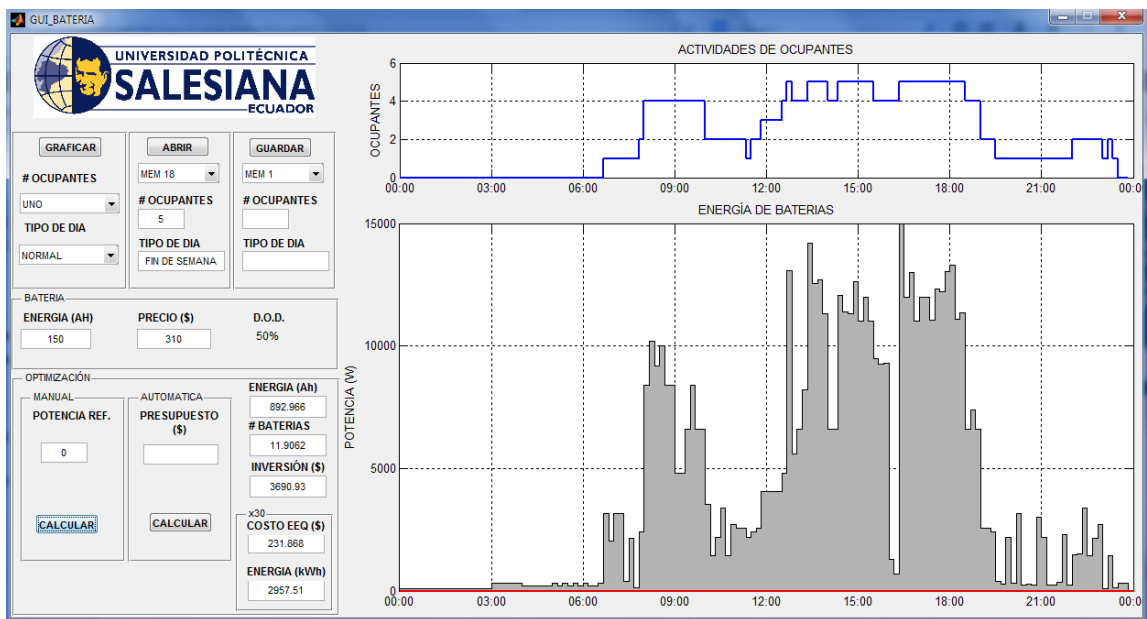


Figura 4.11: Modelo para cliente que excede los 10kW de demanda.

Fuente: Autor.

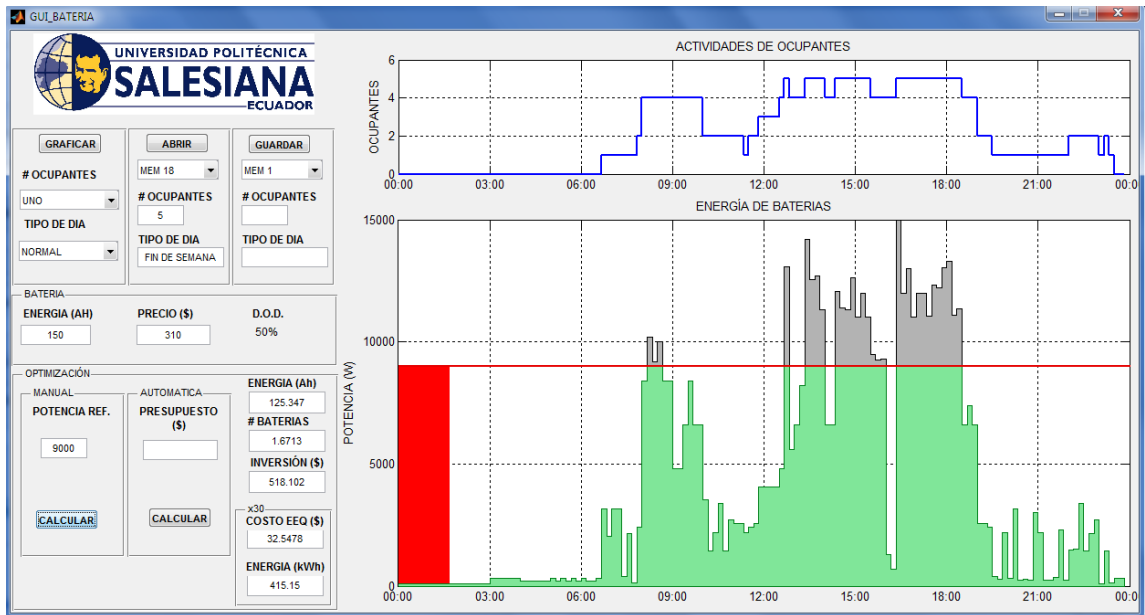


Figura 4.12: Modelo para cliente que excede los 10kW de demanda.

Fuente: Autor.

Para este ejemplo la cantidad que paga el cliente por el consumo de energía se calcula de la siguiente manera:

$$FC = DP/DM \quad (56)$$

FC=Factor de corrección.

DP=Demanda máxima registrada por el consumidor en las horas pico de la empresa distribuidora (18:00 a 22:00).

DM=Demanda máxima del consumidor en el mes.

Por tanto el recargo por demanda es  $FC \cdot DM$  que para el ejemplo se utilizaran los siguientes datos  $DM=15000$  W y  $DP=13000$  y se obtiene el valor a pagar de la siguiente forma:

$$FC = \frac{13000}{15000} = 0,867$$

$$\text{\$} = \text{valor demanda} + (FC * 4,129 * DM)$$

$$\text{\$} = 231,87 + (0,867 * 4,129 * 15)$$

$$\text{\$} = 284,68$$

El precio que pagaría el cliente por la energía a la empresa distribuidora una vez

optimizada la energía es únicamente el valor de la demanda sin el recargo por tanto ahorraría en un mes \$ 52,81.

Para aplicar (54) y (55) es necesario tener un nuevo precio del prototipo debido a las nuevas características de la demanda estos valores se encuentran en la tabla 4.3, los valores del VAN y TIR se muestran a continuación:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_0$$

$$VAN = 2.616,84$$

$$TIR = \sum_{t=0}^n \frac{Fn}{(1+i)^n} = 0$$

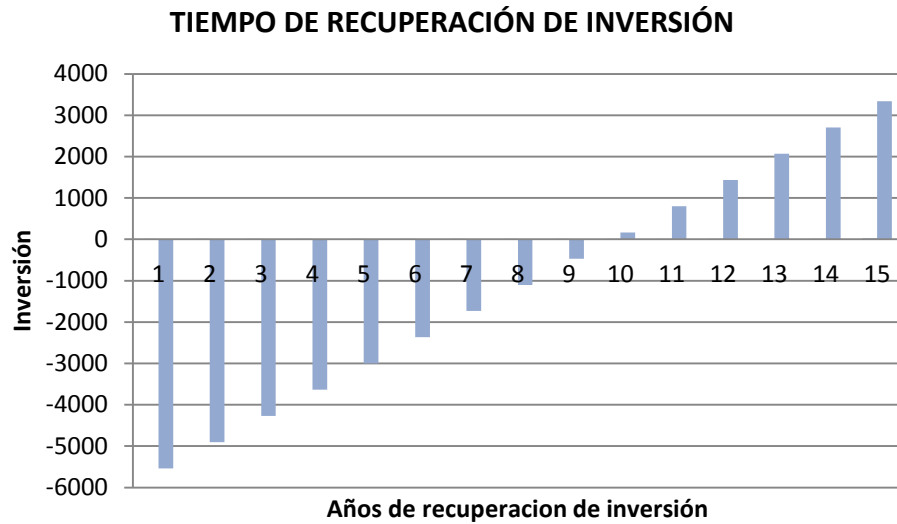
$$TIR = 6\%$$

**TABLA 4.3:** Precio aproximado del prototipo.

ACTIVOS FIJOS				
EQUIPOS				
ITEMS	DETALLES	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
1	Inversor Cargador VICTRON ENERGY 1600W	2	1800	3600
2	Batería Ultracell UCG 150-12	2	310	620
3	Equipo de monitoreo	1	250	250
4	Equipo de control	1	200	200
6	Montaje y varios	1	1000	1000
	Subtotal Equipos			5670
MANO DE OBRA Y ASESORIA TÉCNICA				
7	Instalación	1	500	500
		TOTAL		6170

**Fuente:** Autor.

Los datos del VAN y TIR muestran que el proyecto es rentable, en la figura 4.13 muestra los años de recuperación de inversión.



**Figura 4.13:** *Tiempo de recuperación de inversión.*

**Fuente:** *Autor.*

#### **4.4 Impacto social y ambiental.**

Como se demostró en el subcapítulo anterior para que el proyecto sea sustentable la inversión debe venir desde el cliente de la empresa distribuidora por tanto en la parte social el impacto que produce es favorable ya que el inversionista es el usuario de la energía y está al tanto de las ventajas económicas que trae el sistema de almacenamiento a su estilo de vida.

En la industria se influye en actividades del proceso de producción para controlar la demanda con buenos resultados, dependiendo de las actividades que realicen los usuarios comerciales o residenciales es complejo cambiar su estilo de vida drásticamente por tanto el sistema estudiado en este documento no influye mayormente en la parte social ya que el usuario no experimenta ningún cambio en sus actividades diarias debido a que el sistema automáticamente almacena y aporta energía a la red siguiendo las consideraciones del modelamiento visto a lo largo de la investigación.

El impacto ambiental que produce la inclusión de este prototipo radica en la disminución de energía consumida en horas pico de demanda por tanto el Sistema Nacional Interconectado no debe ingresar a la red energía proveniente de fuentes no renovables reduciendo la producción de CO<sub>2</sub>, dependiendo del número de usuarios

que utilicen el sistema, otro aporte de este sistema al medio ambiente es el uso de equipos relacionados con las energías renovables solar y eólica por tanto el usuario del sistema tiene la facilidad de proyectarse con mayor factibilidad al uso de un sistema de energía renovable como los antes mencionados.

## CONCLUSIONES:

- El modelamiento de la optimización de energía aplicado sobre la demanda realizada por el método de cadenas de Markov de un usuario residencial, permite la reducción de energía en consumida en horas de demanda pico mediante el almacenamiento de la misma en horas de la noche en que la demanda es mínima, esto conlleva a equilibrar la curva característica de demanda del usuario residencial.
- Las principales cargas que influyen en la demanda son: duchas eléctricas, planchas, computadores, televisiones, electrodomésticos para la cocción de alimentos y en bajo porcentaje la calefacción; esto se tomó en cuenta para la creación de matrices de probabilidades que se aplicó sobre los modelos de actividades de los ocupantes de una vivienda para el modelamiento de la demanda eléctrica residencial.
- El primer paso para la fabricación de un equipo es el modelamiento del mismo, por tanto con los datos obtenidos a partir de este trabajo se puede pasar a la línea de diseño, fabricación y protocolo de pruebas dependiendo al tipo de usuario que se lo aplique.
- El resultado del modelamiento muestra que la optimización de energía mediante el almacenamiento y aporte de energía en horas pico de demanda es favorable para consumidores cuya demanda sobrepasa los 10 kW para los cuales aplica el recargo por demanda contemplado en el Pliego Tarifario para Empresas Eléctricas dispuesto por el Consejo Nacional de Electrificación CONELEC, para estos casos resulta factible la inversión debido a los beneficios técnicos y económicos.
- El cuidado ambiental es un tema importante en el desarrollo de nuevas tecnologías, siguiendo esa lógica la presente trabajo es sostenible al reducir demanda en las horas pico por tanto la generación de energía puede dejar de utilizar fuentes de energía a base de combustibles fósiles en esa horas.

- El desarrollo de la tecnología aplicada en fuentes de energía limpia permite que el proceso de reutilización y reciclaje de los materiales utilizados sean debidamente tratados después de su vida útil como el caso de las baterías.
- Dentro del cambio de matriz productiva desarrollada por el estado ecuatoriano la fabricación e inclusión del prototipo puede generar un aporte importante en la parte técnica y en los hábitos sociales del uso eficiente de la energía en clientes comerciales, multifamiliares, hoteles y micro empresas.
- Una ventaja importante del prototipo modelado en este trabajo es que la optimización de energía no cambia en ningún momento los hábitos de consumo de los habitantes de una vivienda debido a que el control del mismo se encarga de almacenar o inyectar energía a la red.
- Las características de la demanda eléctrica residencial, no influyen en la aplicación del modelamiento ya que se basa en un margen de referencia para que el consumo no lo sobrepase y pueda evaluarse cualquier curva característica, sin embargo sumar las demandas individuales el resultado de la curva característica concuerda con el comportamiento de la demanda del lugar donde se realizó la muestra de datos.
- El modelamiento de la demanda residencial mediante el método de cadenas de Markov permite analizar la utilidad del prototipo, desde los casos más básicos de un cliente residencial hasta clientes que sobrepasan los márgenes de consumo del tipo residencial, además el modelamiento a partir de cadenas de Markov permite proyectar la casos particulares de los hábitos de consumo apoyándose en una encuesta realizada en el Distrito Metropolitano de Quito, y sensibilizando el modelo de la demanda a periodos de diez minutos mediante números aleatorios.



- Las características de las baterías recomendadas para el prototipo deben tener un amplio rango de factor de descarga (DOD) y deben ser libres de mantenimiento para que el prototipo no tenga que ser una carga considerable dentro de las actividades del usuario final.
  
- Los factores climáticos para el modelamiento que se realizó en la presente investigación no son un ente de cambio considerable en la proyección de la demanda eléctrica residencial.

## RECOMENDACIONES:

- En futuros trabajos a partir de la presente investigación se pueden basar en la inclusión al modelamiento de fuentes de energía no provistas por la empresa distribuidora, pueden incluirse fuentes de energía renovable como la solar o eólica.
- Partiendo del modelamiento presentado en este trabajo de investigación se recomienda trabajar sobre el diseño de los elementos que conforman el prototipo.
- Para incluir variables de entrada en el modelamiento es necesario tener un historial detallado de años anteriores acerca del comportamiento de la variable que se desee incluir y de los distintos cambios a los que es sometida. Además se recomienda que para cambiar cualquier línea de programación se debe guiar por el algoritmo que se expone para cada parte del programa.
- En futuros trabajos se puede cambiar la programación del modelamiento para que se visualice la curva característica de la potencia consumida de cada actividad y se permita encontrar nuevas formas de optimizar la energía. También se recomienda utilizar la información de la encuesta realizada para el presente trabajo para implementar nuevos modelos referentes a las actividades realizadas por un usuario residencial de distintos tipos de estrato de consumo.
- Partiendo del modelamiento realizado en este trabajo de investigación se recomienda como trabajo futuro la aplicación a sistemas comerciales e industriales para analizar la posibilidad de utilizar sistemas de almacenamiento y aporte de energía para optimizar energía.
- Una vez realizado el proceso de diseño del prototipo se recomienda reprogramar el modelamiento e ingresar variables de eficiencia de cada

elemento que lo compone para obtener valores más aproximados a la realidad acerca de la energía que ingresa y que aporta. Considerar también que para el modelamiento realizado en esta investigación se maneja la visión de influir lo menos posible en los hábitos sociales del usuario por tanto procurar automatizar cada proceso, para que en su funcionamiento no interfieran en mayor medida los ocupantes de la vivienda.

- Considerar para futuros trabajos la influencia de los equipos de refrigeración que en este proyecto no se incluyó debido a que no se tenía una base de datos firme con respecto a ese tema ya que influyen variables climáticas para modelar ese aspecto.

## REFERENCIAS:

- [1] A. J. Collin, G. Tsagarakis, S. Member, and A. E. Kiprakis, "Development of Low-Voltage Load Models for the Residential Load Sector," vol. 29, no. 5, pp. 2180–2188, 2014.
- [2] Consejo Nacional de Electricidad CONELEC, "PLAN MAESTRO DE ELECTRIFICACION 2009-2020," 2009, pp. 162–189.
- [3] A. G. Puerto, "MODELO DE PREVISIÓN GEOGRÁFICO Y TEMPORAL," UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS MADRID, 2011.
- [4] Consejo Nacional de Electricidad CONELEC, *PLAN MAESTRO DE ELECTRIFICACIÓN 2013-2022*. 2013, pp. 1–206.
- [5] Consejo Nacional de Electricidad CONELEC, "PLAN MAESTRO DE ELECTRIFICACION 2013-2022," 2013, pp. 1–157.
- [6] Empresa Eléctrica Quito S.A., *NORMAS PARA SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN*, vol. PARTE A. Quito, 2014, pp. 1–162.
- [7] Ministerio de Electricidad y Energia Renovable, "EFICIENCIA ENERGÉTICA-SECTOR RESIDENCIAL," 2014. [Online]. Available: <http://www.energia.gob.ec/eficiencia-energetica-sector-residencial/>. [Accessed: 30-Jul-2014].
- [8] Naciones Unidas, "Protocolo de kyoto de la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático," vol. 61702, pp. 1–24, 1998.
- [9] Instituto Ecuatoriano de Normalización, *REGLAMENTO TÉCNICO ECUATORIANO RTE INEN 073 : 2013 Primera edición*. 2013.
- [10] Instituto Ecuatoriano de Normalización, *NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2632:2012*, Primera., vol. 2632. Quito, 2012, pp. 1–31.
- [11] Ministerio de Electricidad y Energia Renovable, "EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL SECTOR PÚBLICO," 2014. [Online]. Available: <http://www.energia.gob.ec/eficiencia-energetica-en-el-sector-publico/>. [Accessed: 30-Jul-2014].
- [12] A. Zipperer, S. Suryanarayanan, D. Zimmerle, R. Roche, L. Earle, D. Christensen, and P. Bauleo, "Electric Energy Management in the Smart Home : Perspectives on Enabling Technologies and Consumer Behavior Preprint," no. August 2013.
- [13] H.-T. Lin, "The development of control and energy usage information modules for smart homes," *2012 Int. Conf. Control. Autom. Inf. Sci.*, pp. 236–240, Nov. 2012.

- [14] Instituto Tecnológico Hotelero, “LOS HOTELES APUESTAN POR LA GESTION ENERGÉTICA INTEGRAL COMO PRIMER PASO HACIA LA SOSTENIBILIDAD,” 2014. [Online]. Available: <http://www.ithotelero.com/noticias/los-hoteles-apuestan-por-la-gestion-energetica-integral-como-primer-paso-hacia-la-sostenibilidad/>. [Accessed: 30-Jul-2014].
- [15] Ministerio de Energía y Minas de Perú, “MEM IMPULSA PROYECTOS PARA AHORRAR ENERGÍA ELECTRICA EN LOS HOGARES PERUANOS,” 2014. [Online]. Available: <http://www.minem.gob.pe/descripcion.php?idSector=12&idTitular=5323>. [Accessed: 31-Jul-2014].
- [16] Gobierno Bolivariano de Venezuela, “EFICIENCIA ENERGÉTICA,” 2014. [Online]. Available: <http://www.mppee.gob.ve/>. [Accessed: 31-Jul-2014].
- [17] Ministerio de Energia Chile, “PORTAL MINISTERIO DE ENERGÍA,” 2014. [Online]. Available: <http://www.minenergia.cl/>. [Accessed: 31-Jul-2014].
- [18] Empresa Eléctrica Quito S.A., “CONSEJOS SOBRE MANEJO DE ENERGÍA,” 2014. [Online]. Available: <http://www.eeq.com.ec:8080/energia-renovable-y-eficiencia/consejos-para-reducir-consumo/consejos-sobre-manejo-de-energia>. [Accessed: 04-Aug-2014].
- [19] Presidente de la República Ec. Rafael Correa, “DECRETO EJECUTIVO N°1681,” pp. 1–2, 2009.
- [20] Ministerio de Electricidad y Energia Renovable, “EFICIENCIA ENERGÉTICA SECTOR INDUSTRIAL,” 2014. [Online]. Available: <http://www.energia.gob.ec/eficiencia-energetica-sector-industrial/>. [Accessed: 05-Aug-2014].
- [21] D. F. A. Rivera, *LEY DE REGIMEN DEL SECTOR ELÉCTRICO*. Ecuador, 1996, pp. 1–23.
- [22] Consejo Nacional de Electricidad CONELEC, “PLAN MAESTRO DE ELECTRIFICACION 2013-2022,” 2013, pp. 1–223.
- [23] Consejo Nacional de Electricidad CONELEC, “BALANCE NACIONAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA INFORMACIÓN ESTADÍSTICA ABRIL 2014,” 2014. [Online]. Available: <http://www.conelec.gob.ec/contenido.php?cd=10261&l=1>. [Accessed: 06-Aug-2014].
- [24] El Comercio, “KINROSS MANTIENE UN PEQUEÑO GRUPO DE TRABAJADORES EN FRUTA DEL NORTE,” 2014. [Online]. Available: <http://www.elcomercio.com.ec/actualidad/ecuador-kinross-negocios-mineria-fruta-norte.html>. [Accessed: 06-Aug-2014].

- [25] El Universo C.A., “CONFLICTO POR TERRENO PARA INFRAESTRUCTURA DE PLAN MINERO,” 2014. [Online]. Available: <http://www.eluniverso.com/noticias/2014/05/20/nota/2988251/conflicto-terreno-infraestructura-plan-minero>.
- [26] El Universo C.A., “UNIVERSIDAD YACHAY ABRE SUS PUERTAS,” 2014. [Online]. Available: <http://www.eluniverso.com/noticias/2014/03/31/nota/2549711/yachay-abre-sus-puertas-187-estudiantes-22-provincias>. [Accessed: 06-Aug-2014].
- [27] I. Enviar and R. Poveda, “INVERSION DE SECTORES ESTRATÉGICOS,” 2014. [Online]. Available: <http://www.energia.gob.ec/inversion-de-sectores-estrategicos-en-2013-en-favor-del-pais-supero-los-10-mil-millones-de-dolares/>. [Accessed: 06-Aug-2014].
- [28] E. Ministerio, “Programas / Servicios | Ministerio de Electricidad y Energía Renovable Programas / Servicios | Ministerio de Electricidad y Energía Renovable,” 2015. [Online]. Available: <https://www.energia.gob.ec/programas-y-servicios/>.
- [29] B. J. Johnson, M. R. Starke, O. a. Abdelaziz, R. K. Jackson, and L. M. Tolbert, “A MATLAB based occupant driven dynamic model for predicting residential power demand,” *2014 IEEE PES T&D Conf. Expo.*, pp. 1–5, Apr. 2014.
- [30] B. J. Johnson, M. R. Starke, O. a. Abdelaziz, R. K. Jackson, and L. M. Tolbert, “A method for modeling household occupant behavior to simulate residential energy consumption,” *Isgt 2014*, pp. 1–5, Feb. 2014.
- [31] I. A. Sajjad, G. Chicco, M. Aziz, and A. Rasool, “Potential of residential demand flexibility - Italian scenario,” 2014, pp. 1–6.
- [32] A. M. A. Ramírez, “MÉTODOS UTILIZADOS PARA EL PRONÓSTICO DE DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN SISTEMAS DE SISTRIBUCIÓN,” UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA, 2013.
- [33] T. Gönen, *ELECTRIC POWER DISTRIBUTION SYSTEM ENGINEERING*. 1986, p. 6.
- [34] W. Fang and W. Long, “Polynomial regression fitting analysis on influencing factors for printing ink transfer rate,” *2012 IEEE Int. Conf. Intell. Control. Autom. Detect. High-End Equip.*, pp. 9–13, Jul. 2012.
- [35] A. S. Williams, *ESTADÍSTICA PARA ADMINISTRACIÓN Y ECONOMÍA*, 10a. ed. México, D.F., 2008, p. 626.
- [36] Consejo Nacional de Electricidad CONELEC, *PLAN MAESTRO DE ELECTRIFICACIÓN 2013-2022*, 1st ed. 2013, pp. 1–85.

- [37] C. Reitsch, *PRONOSTICOS EN LOS NEGOCIOS*, 5a. ed. México, D.F., 1996, pp. 289–353.
- [38] J. D. R. L. Proaño, “MÉTODO PARA LA GENERACIÓN DE PERFILES DE DEMANDA EN COMUNIDADES AISLADAS Y PREDICCIÓN DE DEMANDA DE CORTO PLAZO, PARA MICRO-REDES BASADAS EN ENERGÍAS RENOVABLES,” UNIVERSIDAD DE CHILE, 2012.
- [39] A. B. K. Bowerman, Bruce L.; Richard T. O’Connell, *PRONÓSTICOS, SERIES DE TIEMPO Y REGRESIÓN: UN ENFOQUE APLICADO*, 4a. Ed ed. México, D.F., 2007, pp. 345–347.
- [40] Z. Bingliang, S. Yutian, L. Bingqiang, and L. Jianxiang, “A Modeling Method for the Power Demand of Electric Vehicles Based on Monte Carlo Simulation,” 2012, pp. 1–5.
- [41] X.-S. Yang, *Engineering Optimization*. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2010.
- [42] T. Wu, S. Member, X. Ai, W. Lin, S. Mem-, J. Wen, and L. Weihua, “Markov Chain Monte Carlo Method for the Modeling of Wind Power Time Series,” pp. 1–6, 2012.
- [43] D. P. M. Scollnik, “An introduction to markov chain monte carlo methods and their actuarial applications,” pp. 114–165.
- [44] O. Lucía, P. Maussion, E. J. Dede, and J. M. Burdío, “Induction Heating Technology and Its Applications : Past Developments , Current Technology , and Future Challenges,” *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 61, no. 5, pp. 2509–2520, 2014.
- [45] X. Liu and W. Wang, “VRLA battery system reliability and proactive maintenance,” *Intelec 2010*, pp. 1–7, Jun. 2010.
- [46] W. Peng, S. Member, Y. Baghzouz, and S. Member, “Dynamic Performance of Lead-Acid AGM Batteries,” no. I, pp. 1–6.
- [47] H. C. Dirani, E. Semaan, and N. Moubayed, “Impact of the current and the temperature variation on the Ni-Cd battery functioning,” *2013 Int. Conf. Technol. Adv. Electr. Electron. Comput. Eng.*, pp. 339–343, May 2013.
- [48] P. Kubalík and S. Mi, “Techno-economic Analysis of Different Battery Storage suitable for Off-Grid Systems,” 2014.
- [49] S. Iqbal, “Designing a 12Volt DC Power Supply of Lithium Ion Charge Controller,” pp. 978–979, 2012.
- [50] M. N. I. Khan, M. Z. Khan, D. F. Noor, A. Nahiyani, M. E. Haque, S. S. Saha, M. R. K. Rachi, and M. Z. R. Khan, “Modelling and simulation of an efficient

- Charge Controller for Photovoltaic System with Maximum Power Point Tracking,” *2014 3rd Int. Conf. Dev. Renew. Energy Technol.*, pp. 1–5, May 2014.
- [51] D. Ishak, “Deadbeat-based PI controller for stand-alone single-phase voltage source inverter using battery cell as primary sources,” *2011 IEEE Conf. Clean Energy Technol.*, pp. 87–92, Jun. 2011.
- [52] J. Diego and P. Iván, “Control de Potencia Monofásica por.”
- [53] T. Ikegami, Y. Iwafune, and K. Ogimoto, “Optimum operation scheduling model of domestic electric appliances for balancing power supply and demand,” *2010 Int. Conf. Power Syst. Technol.*, pp. 1–8, Oct. 2010.
- [54] I. Repository, “Domestic electricity use : a high-resolution energy demand model,” vol. 42, no. 10, pp. 1878–1887, 2010.
- [55] G. Tsagarakis, A. J. Collin, and A. Kiprakis, “Modelling the Electrical Loads of UK Residential Energy Users,” *2012 47th Int. Univ. Power Eng. Conf.*, pp. 1 – 6, 2012.
- [56] J. Widén and E. Wäckelgård, “A high-resolution stochastic model of domestic activity patterns and electricity demand,” *Appl. Energy*, vol. 87, no. 6, pp. 1880–1892, Jun. 2010.
- [57] a. J. Collin, I. Hernando-Gil, J. L. Acosta, and S. Z. Djokic, “An 11 kV steady state residential aggregate load model. Part 1: Aggregation methodology,” *2011 IEEE Trondheim PowerTech*, pp. 1–8, Jun. 2011.
- [58] Consejo Nacional de Electricidad CONELEC, *PLIEGO TARIFARIO PARA EMPRESAS ELÉCTRICAS*, 1st ed. 2014, pp. 1–16.
- [59] Empresa Eléctrica Quito S.A., “Anexo a Pliego Tarifario Diciembre 2014.” pp. 1–10, 2014.
- [60] A. G. B. C. Oscar Ivan Ortega Hidalgo, *PROCEDIMIENTO TÉCNICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE MICROCENTRALES ELÉCTRICAS UTILIZANDO PANELES FOTOVOLTAICOS*. 2013, p. 171.