



**UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERIA INDUSTRIAL
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELEINFORMÁTICA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN TELEINFORMÁTICA**

**ÁREA
REDES INTELIGENTES**

**TEMA
“ANÁLISIS DE LA INTEGRACIÓN DE LA TECNOLOGÍA
SMART GRID EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DOMÉSTICOS”**

**AUTORA
GUAMÁN GUAMÁN ALLISON VANESSA**

**DIRECTORA DEL TRABAJO
ING. TELECOMUNICACIONES. TRUJILLO BORJA XIMENA FABIOLA, MG.**

GUAYAQUIL, ABRIL 2022



ANEXO XI.- FICHA DE REGISTRO DE TRABAJO DE TITULACIÓN



FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL CARRERA INGENIERÍA EN TELEINFORMÁTICA

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA			
FICHA DE REGISTRO DE TRABAJO DE TITULACIÓN			
TÍTULO Y SUBTÍTULO:			
ANÁLISIS DE LA INTEGRACIÓN DE LA TECNOLOGÍA SMART GRID EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DOMÉSTICOS			
AUTOR(ES) (apellidos/nombres):		GUÁMAN GUÁMAN ALLISON VANESSA	
REVISOR(ES)/TUTOR(ES) (apellidos/nombres):		ING. TELECOMUNICACIONES VEINTIMILLA ANDRADE JAIRO GEOVANNY, MG. / ING. TELECOMUNICACIONES TRUJILLO BORJA XIMENA FABIOLA, MG.	
INSTITUCIÓN:		UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL	
UNIDAD/FACULTAD:		FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL	
MAESTRÍA/ESPECIALIDAD:			
GRADO OBTENIDO:		INGENIERÍA EN TELEINFORMÁTICA	
FECHA DE PUBLICACIÓN:		22 DE ABRIL DEL 2022	NO. DE PÁGINAS: 74
ÁREAS TEMÁTICAS:		REDES INTELIGENTES	
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:		Smart Grid; consumo eléctrico; demanda eléctrica; panel solar, sistema convencional.	
RESUMEN/ABSTRACT (100-150 palabras): Resumen <p>El consumo de energía eléctrica es de vital importancia para el desempeño de las actividades cotidianas de un hogar, sin embargo, una mala gestión del mismo puede conllevar a generar gastos innecesarios que afectan directamente al bolsillo del consumidor. Por ello surge la necesidad de conocer como la integración de alguna tecnología inteligente puede optimizar la manera en la que se consume energía y disminuir los gastos por el consumo del servicio.</p> <p>Debido a esto, se desarrolló un análisis del sistema eléctrico actual con la integración de la tecnología Smart Grid en sistemas eléctricos domésticos, mediante la utilización de un modelo simulado en el software Vensim, que permita mostrar la forma en la que el usuario consume energía, determinar cuáles son los factores beneficiosos de la</p>			

implementación de esta tecnología en hogares, y conocer si con la integración de este sistema se logrará obtener el máximo beneficio de ahorro al consumidor.

Dicho análisis obtuvo como resultado que la integración de la Smart Grid en los hogares permitirá abaratar costos, de manera que se amenora el consumo generado gracias a la disminución continua del tiempo de uso y al reducido consumo que realizan los equipos en comparación al sistema convencional.

Abstract

Electricity consumption is of vital importance for the performance of the daily activities of a household, however, a poor management of it can lead to generate unnecessary expenses that directly affect the consumer's pocket. Therefore, the need arises to know how the integration of some intelligent technology can optimize the way in which energy is consumed and reduce the expenses for the consumption of the service.

Due to this, an analysis of the current electrical system with the integration of Smart Grid technology in domestic electrical systems was developed, through the use of a simulated model in Vensim software, which allows to show the way in which the user consumes energy, to determine which are the beneficial factors of the implementation of this technology in homes, and to know if the integration of this system will achieve the maximum benefit of savings to the consumer.

The result of this analysis was that the integration of the Smart Grid in homes will reduce costs, so that the consumption generated will be reduced thanks to the continuous reduction of the time of use and the reduced consumption of the equipment in comparison with the conventional system.

ADJUNTO PDF:	SI (X)	NO
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: 0960052549	E-mail: allison.guamang@ug.edu.ec
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN:	Nombre: Ing. Ramón Maquilón Nicola	
	Teléfono: 593-2658128	
	E-mail: direccionTi@ug.edu.ec	



**ANEXO XII.- DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y DE AUTORIZACIÓN DE
LICENCIA GRATUITA
INTRANSFERIBLE Y NO EXCLUSIVA PARA EL USO
NO COMERCIAL DE LA OBRA CON FINES NO ACADÉMICOS**



**FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
CARRERA INGENIERÍA EN TELEINFORMÁTICA**

**LICENCIA GRATUITA INTRANSFERIBLE Y NO COMERCIAL DE LA
OBRA CON FINES NO ACADÉMICOS**

Yo, **GUÁMAN GUÁMAN ALLISON VANESSA**, con C.C. No. **0923492227**, certifico que los contenidos desarrollados en este trabajo de titulación, cuyo título es “ANÁLISIS DE LA INTEGRACIÓN DE LA TECNOLOGÍA SMART GRID EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DOMÉSTICOS.” son de mi absoluta propiedad y responsabilidad, en conformidad al Artículo 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN*, autorizo la utilización de una licencia gratuita intransferible, para el uso no comercial de la presente obra a favor de la Universidad de Guayaquil.

GUÁMAN GUÁMAN ALLISON VANESSA
C.C. No. 0923492227

ANEXO VII.- CERTIFICADO PORCENTAJE DE SIMILITUD



FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL CARRERA INGENIERÍA EN TELEINFORMÁTICA



Habiendo sido nombrado ING. TELECOMUNICACIONES. TRUJILLO BORJA XIMENA FABIOLA, MG. tutor del trabajo de titulación certifico que el presente trabajo de titulación ha sido elaborado por GUÁMAN GUÁMAN ALLISON VANESSA, con mi respectiva supervisión como requerimiento parcial para la obtención del título de INGENIERO EN TELEINFORMÁTICA. .

Se informa que el trabajo de titulación: ANÁLISIS DE LA INTEGRACIÓN DE LA TECNOLOGÍA SMART GRID EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DOMÉSTICOS, ha sido orientado durante todo el periodo de ejecución en el programa Antiplagio URKUND quedando el 1% de coincidencia.



Link: <https://secure.urkund.com/view/125671735-984769-701908>



Firmado electrónicamente por:

**XIMENA FABIOLA
TRUJILLO BORJA**

Ing. Telecom. Trujillo Borja Ximena Fabiola, Mg
DOCENTE TUTOR
C.C. 0603375395
FECHA: 20/03/2022



**ANEXO VI. - CERTIFICADO DEL DOCENTE-TUTOR DEL
TRABAJO DE TITULACIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
CARRERA INGENIERÍA EN
TELEINFORMÁTICA**



Guayaquil, 24 de marzo del 2022

Sra.

Ing. Annabelle Lizarzaburu Mora, MG.

Directora de Carrera Ingeniería en Teleinformática / Telemática

**FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD DE
GUAYAQUIL**

Ciudad. -

De mis consideraciones:

Envío a Ud. el Informe correspondiente a la tutoría realizada al Trabajo de ANÁLISIS DE LA INTEGRACIÓN DE LA TECNOLOGÍA SMART GRID EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DOMÉSTICOS del estudiante GUÁMAN GUÁMAN ALLISON VANESSA, indicando que ha cumplido con todos los parámetros establecidos en la normativa vigente:

- El trabajo es el resultado de una investigación.
- El estudiante demuestra conocimiento profesional integral.
- El trabajo presenta una propuesta en el área de conocimiento.
- El nivel de argumentación es coherente con el campo de conocimiento.

Adicionalmente, se adjunta el certificado de porcentaje de similitud y la valoración del trabajo de titulación con la respectiva calificación.

Dando por concluida esta tutoría de trabajo de titulación, **CERTIFICO**, para los fines pertinentes, que el estudiante está apto para continuar con el proceso de revisión final.

Atentamente,



Firmado electrónicamente por:

**XIMENA FABIOLA
TRUJILLO BORJA**

Ing. Telecom. Trujillo Borja Ximena Fabiola, Mg

DOCENTE TUTOR

C.C. 0603375395

FECHA: 24/03/2022



ANEXO VIII.- INFORME DEL DOCENTE REVISOR
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
CARRERA INGENIERÍA EN TELEINFORMÁTICA



Guayaquil, 1 de abril de 2022

Sr (a).

Ing. Annabelle Lizarzaburu Mora, MG.

Director (a) de Carrera Ingeniería en Teleinformática / Telemática

FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL

Ciudad. -

De mis consideraciones:

Envío a Ud. el informe correspondiente a la REVISIÓN FINAL del Trabajo de Titulación “**ANÁLISIS DE LA INTEGRACIÓN DE LA TECNOLOGÍA SMART GRID EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DOMÉSTICOS**” del estudiante **GUÁMAN GUÁMAN ALLISON VANESSA**. Las gestiones realizadas me permiten indicar que el trabajo fue revisado considerando todos los parámetros establecidos en las normativas vigentes, en el cumplimiento de los siguientes aspectos:

Cumplimiento de requisitos de forma:

El título tiene un máximo de 13 palabras.

La memoria escrita se ajusta a la estructura establecida.

El documento se ajusta a las normas de escritura científica seleccionadas por la Facultad. La investigación es pertinente con la línea y sublíneas de investigación de la carrera.

Los soportes teóricos son de máximo 5 años.

La propuesta presentada es pertinente.

Cumplimiento con el Reglamento de Régimen Académico:

El trabajo es el resultado de una investigación.

El estudiante demuestra conocimiento profesional integral. El trabajo presenta una propuesta en el área de conocimiento.

El nivel de argumentación es coherente con el campo de conocimiento.

Adicionalmente, se indica que fue revisado, el certificado de porcentaje de similitud, la valoración del tutor, así como de las páginas preliminares solicitadas, lo cual indica el que el trabajo de investigación cumple con los requisitos exigidos.

Una vez concluida esta revisión, considero que la estudiante está apta para continuar el proceso de titulación. Particular que comunicamos a usted para los fines pertinentes.

Atentamente,



Firmado electrónicamente por:
JAIRO GEOVANNY
VEINTIMILLA
ANDRADE

ING. TELECOM. VEINTIMILLA ANDRADE JAIRO, MG

C.C:0922668025

FECHA: 1 de abril de 2022

Dedicatoria

El presente trabajo de grado va dedicado a Dios y a mi pareja Antony Villamar quienes fueron parte fundamental durante el proceso de mi carrera, bendiciéndome y dándome fuerzas para continuar con mi meta trazada sin desfallecer. A mis Padres que, con su apoyo incondicional, amor y confianza permitieron que logre culminar mi carrera profesional.

Agradecimiento

En este logro profesional agradezco a Dios por ser mi guía y acompañarme en el transcurso de mi vida, brindándome paciencia y sabiduría para culminar con éxito mis metas propuestas.

A mis padres por ser mi pilar fundamental y haberme apoyado incondicionalmente, pese a las adversidades e inconvenientes que se presentaron.

A mi pareja y compañero Antony Villamar siendo la mayor fuente de motivación en la culminación de esta tesis, fue el soporte perfecto para poder lograr alcanzar esta dichosa y muy merecida victoria a su lado. Te agradezco por tantas ayudas y tantos aportes no solo para el desarrollo de mi tesis, sino también para mi vida; eres mi inspiración y mi motivación.

A mi Tía Alexandra Guaman por haberme brindado sus consejos de aliento cuando más lo necesité y a mi Tío Diego Guaman solo me queda decirle que gracias a su motivación pude culminar con éxito lo prometido.

Índice General

N°	Descripción	Pág.
	Introducción	1

Capítulo I El problema

N°	Descripción	Pág.
1.1	Planteamiento del problema	3
1.1.1	Delimitación del problema	5
1.1.2	Formulación del problema	5
1.1.3	Sistematización del problema	5
1.2	Justificación e importancia	5
1.3	Objetivo General	7
1.4	Objetivos Específicos	7
1.5	Hipótesis	7
1.6	Alcance del trabajo de Titulación	8

Capítulo II Marco Teórico

N°	Descripción	Pág.
2.1	Antecedentes de Investigación	9
2.2	Fundamentación teórica	10
2.2.1	Centrales hidroeléctricas	10
2.2.2	Funcionamiento de una central hidroeléctrica	11
2.2.3	Centrales térmicas convencionales	11
2.2.4	Funcionamiento de una central térmica convencional	12
2.2.5	Centrales nucleares	12
2.2.6	Centrales con energías renovables	13
2.2.6.1	Tipos de energía renovable	13
2.2.6.1.1	Parques eólicos	13
2.2.6.1.2	Centrales solares fotovoltaicas	13
2.2.6.1.3	Centrales solares térmicas de alta temperatura	14
2.2.6.1.4	Centrales marinas	14

2.2.7	Funcionabilidad del Sistema Eléctrico Convencional	14
N°	Descripción	Pág.
2.2.8	Consumo Eléctrico de Electrodomésticos en los Hogares	15
2.2.8.1	Demanda Eléctrica	15
2.2.9	Estructura de un Sistema Eléctrico	16
2.2.10	Smart Grid	17
2.2.11	Características del Smart Grid	18
2.2.11.1	Escalabilidad	18
2.2.11.2	Confiabilidad	18
2.2.11.3	Seguridad energética	18
2.2.11.4	Sostenibilidad	18
2.2.11.5	Competitividad	18
2.2.12	Estructura de las Smart Grid	19
2.2.12.1	GIS (Sistema de información geográfica).	19
2.2.12.2	AMI (Infraestructura de medición avanzada)	19
2.2.12.3	OMS (Sistema de gestión de cortes)	20
2.2.12.4	SCADA (Sistema de adquisición, supervisión y control de datos)	20
2.2.12.5	DMS (Sistema de distribución de gestión)	20
2.2.12.6	DA (Automatización de distribución)	20
2.2.13	Smart Grid a nivel de los consumidores	21
2.2.14	Características del consumidor	22
2.2.15	Características de consumo de los electrodomésticos	23
2.3	Marco Legal	24

Capítulo III

Metodología

N°	Descripción	Pág.
3.1	Tipo de Investigación	26
3.1.1	Investigación Cuantitativa	26
3.1.2	Investigación bibliográfica	26
3.1.3	Investigación Descriptiva	27
3.1.4	Investigación experimental	27
3.1.5	Método hipotético Deductivo	27

3.2	Instrumentos	28
N°	Descripción	Pág.
3.2.1	Diagrama de Forrester	28
3.3	Análisis del Sistema Eléctrico Convencional	28
3.3.1	Situación actual del Sistema Eléctrico Convencional	28
3.3.2	Requerimientos del Sistema eléctrico convencional a nivel de usuario	29
3.4	Análisis del Sistema Smart Grid	30
3.4.1	Alcance del Smart Grid a nivel de usuario	30
3.4.2	Requerimientos del Smart Grid a nivel de usuario	30
3.4.3	Análisis Comparativo de sistema eléctrico convencional vs Smart Grid	31
3.4.3.1	Costos y control de consumo	31
3.5	Diagrama causal del modelo comparativo con el Sistema Eléctrico Convencional vs Smart Grid	32
3.6	Descripción de las variables utilizadas en el Sistema Dinámico	33
3.7	Formulas aplicadas en el modelo comparativo	35
3.8	Análisis del sistema convencional	36
3.8.1	Consumo diario sistema convencional	37
3.8.2	Consumo mensual sistema convencional	38
3.8.3	Costo mensual sistema convencional	39
3.9	Análisis Smart Grid	39
3.9.1	Consumo diario Smart Grid	41
3.9.2	Consumo mensual Smart Grid	44
3.9.3	Costo mensual Smart Grid	46
3.10	Análisis de Resultados	47
3.11	Prueba de Funcionalidad	50
3.12	Comprobación de la Hipótesis	52
3.13	Conclusiones	53
3.14	Recomendaciones	54
	Bibliografía	

Índice de Tablas

N°	Descripción	Pág.
1	Consumo de Equipos Eléctricos Domésticos	6
2	Definición de variables operacionales	8
3	Consumo de equipos	24
4	Descripción y relación de las variables	33
5	Fórmulas aplicadas al modelo	35
6	Consumo establecido por equipo convencional	36
7	Tiempo de uso diario de los equipos convencionales	37
8	Consumo diario equipos convencionales	37
9	Consumo establecido de los equipos inteligentes	39
10	Tiempo de uso diario de los equipos inteligentes mediante Smart Grid	40
11	Consumo diario Refrigerador inteligente	42
12	Consumo diario Smart TV	42
13	Consumo diario aire acondicionado inteligente	42
14	Consumo diario Lavadora Inteligente	43
15	Consumo diario foco ahorrador	43
16	Consumo mensual Smart Grid	46
17	Costo mensual Smart Grid	47
18	Análisis de resultados consumo diario	48
19	Análisis de resultados consumo mensual	49
20	Análisis de resultados costo mensual	49

Índice de Figuras

N°	Descripción	Pág.
1	La Central Hidroeléctrica Coca Codo Sinclair.	10
2	Conversión de energía en una Central Hidroeléctrica	11
3	Central Térmica Convencional	12
4	Funcionamiento de una Central Nuclear	12
5	Situación Actual de un SEP centralizado	14
6	Estructura de un sistema eléctrico	16
7	Sistema Smart Grid	17
8	Estructura del Smart Grid	19
9	Componentes de la Smart home	21
10	Consumo del Refrigerador	23
11	Diagrama de Forrester	28
12	Diagrama Causal del Sistema comparativo analizado	32
13	Grafica del consumo diario en el hogar	38
14	Grafica del consumo mensual en el hogar	38
15	Grafica del Costo mensual en el hogar	39
16	Grafica del Consumo diario en hogar con SG	44
17	Grafica del Consumo diario en hogar con SG	44
18	Grafica del Ahorro de consumo con SG	45
18	Grafica del Consumo Mensual con SG	46
20	Grafica del Costo Mensual con SG	47
21	Grafica de la variación de consumo diario	50
22	Grafica de la variación de ahorro de consume	50
23	Grafica de la variación de consumo diario final	51
24	Grafica de la variación de consumo mensual	51
25	Grafica de la variación de costo mensual	51

Índice de Ecuaciones

N°	Descripción	Pág.
1	Consumo diario sistema convencional	37
2	Consumo mensual sistema convencional	38
3	Costo mensual sistema convencional	39
4	Consumo diario Smart Grid	41
5	Consumo diario en hogar con SG	44
6	Cantidad de paneles solares	45
7	Consumo mensual Smart Grid	46
8	Costo mensual Smart Grid	47



ANEXO XIII.- RESUMEN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN (ESPAÑOL)



FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL CARRERA INGENIERÍA EN TELEINFORMÁTICA

“ANÁLISIS DE LA INTEGRACIÓN DE LA TECNOLOGÍA SMART GRID EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DOMÉSTICOS”

Autor: Guamán Guamán Allison Vanessa

Tutor: Ing. Telecom. Trujillo Borja Ximena Fabiola, MG.

Resumen

El consumo de energía eléctrica es de vital importancia para el desempeño de las actividades cotidianas de un hogar, sin embargo, una mala gestión del mismo puede conllevar a generar gastos innecesarios que afectan directamente al bolsillo del consumidor. Por ello surge la necesidad de conocer como la integración de alguna tecnología inteligente puede optimizar la manera en la que se consume energía y disminuir los gastos por el consumo del servicio.

Debido a esto, se desarrolló un análisis del sistema eléctrico actual con la integración de la tecnología Smart Grid en sistemas eléctricos domésticos, mediante la utilización de un modelo simulado en el software Vensim, que permita mostrar la forma en la que el usuario consume energía, determinar cuáles son los factores beneficiosos de la implementación de esta tecnología en hogares, y conocer si con la integración de este sistema se logrará obtener el máximo beneficio de ahorro al consumidor.

Dicho análisis obtuvo como resultado que la integración del Smart Grid en los hogares permitirá abaratar costos, de manera que se amenora el consumo generado gracias a la disminución continua del tiempo de uso y al reducido consumo que realizan los equipos en comparación al sistema convencional.

Palabras clave: Smart Grid; Consumo Eléctrico; Demanda Eléctrica; Panel Solar, Sistema Convencional.



ANEXO XIV.- RESUMEN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN (INGLÉS)



FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL CARRERA INGENIERÍA EN TELEINFORMÁTICA

“ANALYSIS OF THE INTEGRATION OF SMART GRID TECHNOLOGY IN DOMESTIC ELECTRICITY SYSTEMS”

Author: Guamán Guamán Allison Vanessa

Tutor: Ing. Trujillo Borja Ximena Fabiola, MG.

Abstract

Electricity consumption is of vital importance for the performance of the daily activities of a household, however, a poor management of it can lead to generate unnecessary expenses that directly affect the consumer's pocket. Therefore, the need arises to know how the integration of some intelligent technology can optimize the way in which energy is consumed and reduce the expenses for the consumption of the service.

Due to this, an analysis of the current electrical system with the integration of Smart Grid technology in domestic electrical systems was developed, through the use of a simulated model in Vensim software, which allows to show the way in which the user consumes energy, to determine which are the beneficial factors of the implementation of this technology in homes, and to know if the integration of this system will achieve the maximum benefit of savings to the consumer.

The result of this analysis was that the integration of the Smart Grid in homes will reduce costs, so that the consumption generated will be reduced thanks to the continuous reduction of the time of use and the reduced consumption of the equipment in comparison with the conventional system.

Keywords: Smart Grids; Electricity Consumption; Electricity Demand; Solar Panel, Conventional System.

Introducción

El consumo eléctrico ha aumentado con el paso de los años cada vez más, debido a que los usuarios incrementan constantemente la cantidad de electrodomésticos dentro de sus hogares para satisfacer sus necesidades y gustos, lo que ha dado paso a que exista inconformidad por parte del consumidor en lo que respecta al costo de facturación por el servicio.

Esto obliga a las empresas distribuidoras del servicio de energía eléctrica a crear nuevas herramientas, estrategias, y metodologías adecuadas que permitan que el sistema convencional cumpla efectivamente con los requerimientos del usuario, pero esto ha sido difícil de cumplir por parte del sistema tradicional que aún presenta falencias lo que impide ofrecer un buen servicio frente a la demanda eléctrica.

Como solución a esto se busca optimizar el consumo de energía eléctrica en un hogar, gracias a la integración de una red inteligente que permita a los usuarios visualizar el consumo diario que generan en el hogar, con el fin de que tomen medidas para reducir el tiempo de uso que le dan a cada equipo, lo que por consecuencia tendrá una disminución en el consumo generado.

Daki (2017) expresó que la integración de un Smart Grid busca solucionar los problemas o fallos que surgen en la actualidad, al integrar las TICs a las redes eléctricas y al agregar nuevos métodos a los usuarios para avalar una gestión sostenible, segura y de costo, mediante una fuente de alimentación rentable y eficiente.

La tecnología Smart Grid es la manera perfecta de marcar el comienzo de una nueva era de confiabilidad, disponibilidad y eficiencia, mejorando tanto la economía como el medio ambiente. Sin embargo, durante el período de transición, es necesario realizar evaluaciones, aplicar innovaciones tecnológicas, educar a los consumidores y desarrollar estándares y regulaciones para garantizar que los beneficios esperados de esta tecnología se hagan realidad.

Debido a esto se plantea un escenario comparativo virtual utilizando el software Vensim que a lo largo del análisis realizado permita mostrar el costo mensual, consumo mensual, y el consumo diario de los equipos electrodomésticos por cada uno de los sistemas mediante el uso de variables, para conocer si la integración del Smart Grid logrará disminuir el consumo de energía y costo mensual en el hogar.

Por esta razón, en el capítulo 1 de este trabajo de titulación, se detallan los objetivos, el problema, su justificación e importancia, el alcance del análisis investigativo y la hipótesis a comprobar. A continuación, en el capítulo 2, se realiza la investigación teórica

del proyecto y se justifica todos los conceptos relacionados con el análisis. Finalmente, en el capítulo 3, se describe la metodología empleada en el proyecto de investigación y se presenta el análisis realizado donde se comparó el sistema convencional y la integración del Smart Grid en hogares mostrando los resultados obtenidos, también se realizaron pruebas de funcionalidad donde se aplicó variaciones al modelo comparativo para observar su comportamiento y como última parte se presentaron las conclusiones y recomendaciones sobre el trabajo desarrollado.

Capítulo I

El Problema

1.1. Planteamiento del problema

Los sistemas eléctricos convencionales tienen un rol muy importante en la actualidad, debido a que permiten el suministro de energía en proporción adecuada a domicilios, comercios y plantas industriales, su funcionamiento consiste en generar energía mediante una central hidroeléctrica para luego ser transmitidas mediante líneas de alta tensión que llevan la electricidad desde las plantas generadoras hasta la ciudad.

Mantener un sistema eléctrico en condiciones de operación sin problemas es muy complejo, ya que una variedad de situaciones inusuales puede crear perturbaciones que causen problemas en el sistema. CNEL informa que solo en 2019 se atendieron 1.118 solicitudes relacionadas con la falta de calidad en la gestión y provisión de energía eléctrica pública domiciliaria y de los servicios de alumbrado público en general, aunque estos fueron atendidos, aún existe inconformidad en el tiempo que conlleva brindar una solución eficiente frente a los problemas que surgen. Muchos casos de estos se han reportado en el país, tal es el caso de los habitantes de la Provincia de Chimborazo que presentaron problemas con el servicio de energía eléctrica, tales como: falta de servicio, falta de fase, fluctuaciones de voltaje, cortocircuitos en la red, líneas rotas, que afectan el suministro de energía y ocasiona vulnerabilidad a los equipos eléctricos en el hogar (Eléctrica, 2021).

Estos problemas son provocados internamente en el sistema eléctrico principalmente por fallas tipo serie, las cuales se producen cuando las líneas de transmisión sufren una ruptura sin involucrar a tierra, los daños del tipo paralelo ocurren durante los cortocircuitos entre fases a tierra, y las fallas de simetría a menudo son causadas por aspectos atmosféricos o climáticos. Esto no permite satisfacer de manera segura, confiable y económica la demanda de potencia eléctrica requerida por los consumidores, la cual solo ha venido aumentando con el paso de los años.

Ecuador ha venido enfrentando un rápido crecimiento en la demanda de energía debido al alto consumo energético, informó (Energía, 2017). El Ecuador alcanzó una producción de energía de 22.963,44 GWh extraídos de 14.937,59 por generación hidroeléctrica; 6886,86 GWh de generación termoeléctrica y 1057,71 GWh por generación no convencional.

Todo este incremento en el consumo eléctrico también supone una alta demanda en la calidad del servicio, la cual no ha logrado satisfacer en su totalidad las necesidades de

los consumidores.

Considerando que, para el buen funcionamiento de aparatos electrodomésticos se requiere de una condición óptima en las instalaciones eléctricas en hogares, surge la problemática de que el sistema eléctrico actual no provee las condiciones adecuadas para evitar las variaciones de voltaje que afectan directamente a la operatividad de los artefactos. Estas alteraciones son causadas en mayor parte por una mala instalación eléctrica en el hogar, cables muy delgados, y contactos eléctricos desgastados o de mala calidad y como consecuencia se obtiene uno de los incidentes más comunes que son los apagones eléctricos, causados por una pérdida del suministro de energía de manera repentina, que puede llegar a causar fallas temporales en los electrodomésticos debido a la variación de fluido eléctrico que sufren. Por ejemplo, cuando el voltaje en los terminales de los equipos se aleja del valor de la placa de características de estos, el rendimiento y la vida de operación del equipo quedan afectados. Los efectos pueden ser menores o graves según las características del equipo y las desviaciones de voltaje de la placa de identificación, es decir, es posible que el daño del equipo no sea reparable.

Este problema puede generar desastres aún mayores, como catástrofes en hogares, debido a que llegan a ocurrir en cualquier momento y no muestran señales de alerta a las personas para que puedan tomar medidas de prevención y evitar desgracias. Como ejemplo de las fallas en el suministro de energía y sus consecuencias, se tiene que el 25% de los incendios domésticos en los últimos 10 años se deben a problemas de infraestructura eléctrica de las viviendas, en su mayor parte por la improvisación en las conexiones realizadas, ya que los usuarios optan por realizar ellos mismos las instalaciones, debido a los altos costos de los servicios eléctricos.

Además, existe desconcierto por parte de los usuarios debido al costo elevado de facturación por el suministro eléctrico utilizado, debido a que con este sistema convencional el usuario no puede ver en tiempo real el consumo diario que generan los aparatos electrodomésticos dentro del hogar, lo que genera malestar en la ciudadanía debido a que por falta de orientación de lo que consume diariamente cada equipo usado en los hogares, no logran concientizar el tiempo requerido por la falta de información. Estos problemas suceden básicamente porque este sistema eléctrico no brinda al consumidor la facilidad de obtener un medio digital que permita mostrar a detalle con cuanto está consumiendo de energía sus equipos.

Todo esto representa un problema que genera inconformidad en los usuarios, ya que los servicios con el que cuenta el sistema convencional no son suficientes para garantizar

un ambiente en el que se asegure una optimización del consumo y costo por el servicio.

1.1.1. Delimitación del problema

Se analizará el consumo de energía eléctrica a nivel de usuario en los hogares referente al tiempo de uso diario que se le da a los equipos y el costo excesivo que este puede generar.

1.1.2. Formulación del problema

¿En el sistema eléctrico actual existe un control de energía en el hogar que permita reducir el consumo generado en los aparatos eléctricos domésticos?

1.1.3. Sistematización del problema

- ¿En el sistema eléctrico actual existe una herramienta que pueda reducir el tiempo de uso de los equipos?
- ¿El sistema eléctrico actual permite visualizar a los consumidores la cantidad de energía eléctrica que está consumiendo en tiempo real?
- ¿Existe en la actualidad un sistema automático que logre optimizar el consumo de energía en equipos electrodomésticos?
- ¿Con la aplicación de una red inteligente en los hogares se logrará reducir el consumo eléctrico en los equipos eléctricos domésticos?

1.2. Justificación e importancia

El sistema eléctrico que existe en la actualidad fue diseñado para transportar y proporcionar energía eléctrica a distintos sitios, permitiendo el abastecimiento de este servicio básico a la mayoría de la población. A lo largo de los años ha cumplido esta misión de forma satisfactoria, pero a medida del avance tecnológico se tiene un incremento de consumo de energía, debido a la demanda de población que requieren este servicio, lo que ha provocado un aumento de consumo energético, el mismo que conlleva a presentar ciertos inconvenientes que perjudican directamente a los aparatos electrónicos domésticos por la vulnerabilidad en sus conexiones.

Se conoce que, dentro de un hogar se mantienen conectados o enchufados ciertos electrodomésticos sin imaginar que consumen energía pasivamente. En Ecuador, una casa en promedio consume 150 kWh al mes (Ecuatran, 2018). A continuación, se muestra la tabla 1, la cual describe el consumo de energía de algunos dispositivos que poseen una

alta demanda de energía eléctrica en hogares en estado activo e inactivo cuando están conectados a la fuente de energía.

Tabla 1. Consumo de Equipos Eléctricos Domésticos

Equipo electrodoméstico	Consume Apagado	Consume Encendido
Televisión	2,88 vatios	186 vatios
Cocina Eléctrica	4,21 vatios	340 vatios
Microondas	3,08 vatios	1433 vatios
Laptop	8,9 vatios	44 vatios
Equipo de música	1,66 vatios	6,8 vatios
Cargador de celular	0,26 vatios	3 vatios

Información tomada de Revista Universo. Elaborada por el autor

Debido a algunas situaciones como esta es que se presenta un alto consumo de energía en los hogares, la misma pudiera ser evitada si los usuarios estuvieran más informados y conscientes de esta problemática.

Para el año 2016, se registró un total de energía facturada a nivel nacional de 18.897,42 GWh, lo que representó un promedio de 140 kWh por hogar, obteniendo un precio medio para la energía facturada a clientes regulados de 10,23 USD ¢/kWh. Mientras que para el año 2019 el total de energía facturada a nivel nacional fue de 20.479,65 GWh, logrando un promedio de 150 kWh por hogar, y el precio medio para la energía facturada a clientes regulados fue de 10,28 USD ¢/kWh. Esto representó un incremento en el consumo eléctrico y de la energía facturada a clientes regulados y no regulados en comparación a los años anteriores, debido a la implementación de nuevos equipos electrónicos en el área doméstica (Arconel, 2019).

Afirmó Quishpe Gaibor (2018) con el avance de la tecnología y la creación de aparatos eléctricos la electricidad ha sido mal utilizada en los hogares, lo que ha llevado a la destrucción del medio ambiente, así como a la alta demanda de los consumidores en las facturas de electricidad situación que si no se considera, seguirá empeorando. Para evitar más desvíos de energía, se debe educar a los ocupantes de la casa sobre la conservación de la energía, no solo para optimizar su consumo, sino también para reducir la necesidad de energía no renovable.

Se cuenta con un sistema vulnerable que puede ocasionar fugas eléctricas, medidores alterados, apagones ocasionados por factores externos como el clima, el medio ambiente y aquellas provocadas por vandalismo, que ponen en peligro el funcionamiento adecuado

y el tiempo de vida útil de los aparatos eléctricos domésticos, además que ponen en riesgo la integridad física de los habitantes de un hogar.

Por otra parte, aún existen inconformidades en los usuarios, relacionados a los costos del servicio y a las deficiencias del sistema, las cuales provocan daños en los equipos. Según Arconel (2019) para finales de ese año se presentaron 867.880 usuarios del sector residencial con inconsistencias en el cobro de los cargos de energía eléctrica, lo que representó un 29% del total de usuarios de este sector, esto generó un total de \$2.526.419 en valores deficientes para el bolsillo de los usuarios.

Teniendo en cuenta lo antes mencionado es importante que los usuarios conozcan la problemática que existe en el sistema eléctrico actual y puedan concientizar sobre el uso eficiente de los recursos, para así mejorar no solo el rendimiento de los aparatos electrónicos domésticos, sino también evitar riesgos que puedan afectar contra su propia integridad.

1.3. Objetivo General

Analizar la integración de un sistema Smart Grid dentro de los sistemas eléctricos domésticos mediante un sistema simulado.

1.4. Objetivos Específicos

- Analizar los tipos de soluciones de la Smart Grid que pueden ser implementados en hogares.
- Determinar las funcionalidades de la Smart Grid dentro del hogar mediante una amplia investigación.
- Simular un escenario virtual utilizando el software Vensim, que permita mostrar el ahorro de energía al utilizar el sistema Smart Grid.

1.5. Hipótesis

Mediante un escenario simulado la integración de la Smart Grid permite al usuario un control de energía en el hogar, reduciendo a si su consumo de energía eléctrica y obteniendo un ahorro en el costo del servicio, gracias a que concede al usuario la visualización en tiempo real del consumo que realizan los equipos.

Tabla 2. Definición de variables operacionales

Variables	Tipo	Dimensión	Indicadores
Smart Grid	Variable independiente	-Ahorro	-Capacidad de paneles / Consumo generado
		-Costos	-Consumo generado con ahorro / Tarifa
		-Disminución de Consumo	-Consumo establecido / Tiempo de uso reducido
Consumo energético	Variable dependiente	-Consumo generado en equipos	-Consumo establecido / horas diarias de uso
		-Demanda eléctrica	-Cantidad de equipos activos
		-Operatividad de los equipos	-Tiempo de uso de los equipos

Información obtenida por la investigación. Elaborada por el autor.

1.6. Alcance del trabajo de Titulación

El desarrollo de este trabajo de grado consiste en realizar un análisis comparativo del sistema eléctrico actual con la integración de la tecnología Smart Grid en sistemas eléctricos domésticos mediante un modelo de variables simuladas en Vensim que permita determinar los factores beneficiosos a la hora de ser implementada esta tecnología en hogares.

Capítulo II

Marco Teórico

2.1. Antecedentes de Investigación

En base al tema se señalan algunos estudios relacionados con la temática investigada puesto que, aportan datos e información importante a ser considerados al momento de abordar este trabajo. La electricidad es el recurso de energía más requerido hoy en día en los hogares, de tal manera la energía relativamente es fácil de producir en grandes cantidades se puede transportar a largos metros de distancias y convertir recursos ambientales en otros tipos energía, para utilizar este recurso de forma aceptablemente limpia.

Mediante un análisis y búsqueda realizada en artículos a nivel nacional e internacional se ha encontrado temas que se enfocan a la problemática existente de los sistemas eléctricos de potencia y redes inteligente, se ha encontrado diferentes trabajos de investigación, los cuales se describe a continuación:

En el repositorio de temas investigativos de la Universidad de Cuenca se ha registrado un tema de investigación titulado "Diseño de un contador inteligente con funciones de respuesta a la demanda en infraestructura de medida avanzada", desarrollado por (Armijos Abril & Pesántez Alvarado, 2017). El proyecto consta de un sistema responsable de la medición eléctrica de manera inteligente, y su unidad de procesamiento está compuesta por un ADE7753 integrado responsable de la medición de fase simple; para verificar el funcionamiento del sistema, una simulación del sistema de distribución de energía y su método de gestión, además la implementación tiene la posibilidad de tomar decisiones en cuanto al consumo generado de energía. Por tal motivo, este trabajo propone el desarrollo de un medidor de consumo de energía, que integre comandos de respuesta a la demanda para optimizar la energía consumo de energía residencial. El propósito es optimizar la forma de consumir la electricidad y mejorar la eficiencia energética con el fin de reducir la gestión de la demanda.

Según el autor Arízaga (2016) en el proyecto analizó el tema “Eficiencia del Consumo Eléctrico en el Sector Residencial Urbano de Cuenca”. Para este análisis fue necesario revisar la situación energética actual en Ecuador y Planes de eficiencia energética aplicables al sector residencial, tales como: Sustitución de bombillas incandescentes por bombillas de bajo consumo, como el cambio de las refrigeradoras ineficientes que demanda gran cantidad de energía. Por esta razón, el objetivo de este trabajo consiste en incorporar estrategias para disminuir el consumo de energía del cliente

enfocado al centro residencial de la ciudad de centro sur, creando nuevas estrategias que proporcione un ahorro de energía eléctrica.

A continuación, se realizó un análisis técnico del uso final de la energía eléctrica en Cuenca. Una vez obtenidos estos datos, se determina el área de investigación de los clientes residenciales de centro sur, por este motivo se necesita situar el lugar con mayores habitantes en la zona para analizar el área de investigación en la parroquia urbana de Cuenca. Finalmente, se obtiene un porcentaje del consumo de energía eléctrica de cada hogar. Sin utilizar ningún tipo de eficiencia energética, la demanda energética media mensual de los clientes es de 317 kWh, mientras que la demanda energética mensual por aplicar conceptos de eficiencia energética y ahorro energético es de 224 kWh. Una vez obtenido los resultados se demostró que si es posible lograr una disminución en el suministro energético y una reducción en las emisiones de dióxido de carbono al medio ambiente.

2.2. Fundamentación teórica

2.2.1. Centrales hidroeléctricas

Una central hidroeléctrica es aquella que requiere energía hidráulica para generar energía eléctrica. La generación de energía de la central eléctrica se basa en la conversión de energía cinética de un determinado flujo de agua. El flujo de agua genera movimiento en la turbina, que se activa por el alternador y acoplado al eje de la turbina. (Endesa, 2017).



Figura 1. La Central Hidroeléctrica Coca Codo Sinclair. Información tomada de <https://www.americaeconomia.com>. Elaborada por el autor.

Las centrales hidroeléctricas contribuyen al país una parte de producción de energía eléctrica. Sin embargo, juegan un papel importante porque dada la flexibilidad de sus

operaciones, pueden adaptarse a los cambios en la demanda. Por lo tanto, una central hidroeléctrica es la respuesta para el equilibrio y seguridad del sistema eléctrico.

La industria hidroeléctrica requiere una gran cantidad de aporte de agua, aunque todo el flujo volverá al caudal de agua después de su uso como se observa en la figura 1, aunque puede ocurrir a cierta distancia del lugar donde ocurrió el funcionamiento. Por tanto, debido a los drásticos cambios en el caudal circulante del cauce del río, el funcionamiento característico de las centrales hidroeléctricas se enfrenta a una tremenda presión. Una central hidroeléctrica se puede definir como una instalación que puede utilizar la energía contenida en un cuerpo de agua ubicado a una altura específica para convertirla en energía eléctrica. Esto se logra dirigiendo el agua desde el nivel donde se ubica hacia el nivel inferior donde se ubican una o más turbinas hidráulicas, estas turbinas hidráulicas son accionadas por el agua y luego uno o más generadores generan electricidad.

2.2.2. Funcionamiento de una central hidroeléctrica

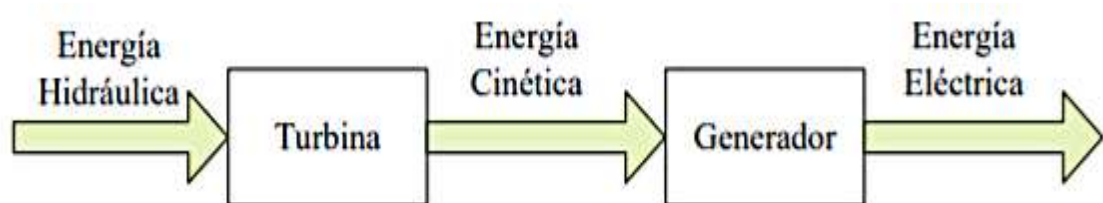


Figura 2. Conversión de energía en una Central Hidroeléctrica. Información tomada de <https://repositorio.flacsoandes.edu.ec>. elaborada por el autor

La electricidad se aprovecha por conversión de energía en una central hidroeléctrica, como se puede ver en la Figura 2. Por lo tanto, para tener claro el funcionamiento de una central de este tipo, es importante conocer el funcionamiento de la turbina y cómo funciona el generador. las turbinas son motores que giran cuando pasa un líquido de agua, y en su lugar, los generadores se accionan generando un campo magnético, convirtiendo la energía mecánica en energía eléctrica.

2.2.3. Centrales térmicas convencionales

Las centrales térmicas convencionales, también definidas como centrales térmicas convencionales, requieren de combustibles fósiles (gas natural, carbón o fuel oil) para generar electricidad a través del ciclo del calor (Endesa, 2017).

2.2.4. Funcionamiento de una central térmica convencional

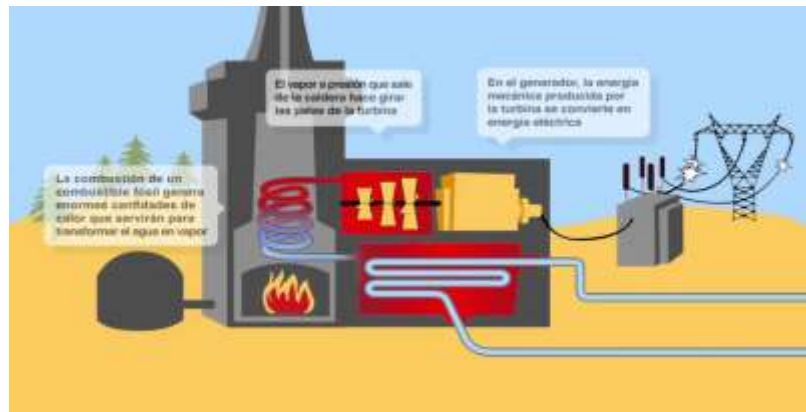


Figura 3. Central Térmica Convencional. Información tomada de <https://www.fundacionendesa.org>. Elaborada por el Autor

En una central térmica convencional como se muestra en la Figura 3, el combustible se quema en una caldera para generar calor, esta agua que es producida a presión, se convierte en vapor a muy alta opresión, que luego hace girar una gran turbina, produciendo la energía térmica en energía mecánica. Para luego transformase en energía eléctrica en el generador. La electricidad que pasa por un transformador aumenta la tensión y permite su transmisión, reduciendo así las pérdidas por efecto Joule. El vapor que surge de la turbina y se direcciona al condensador, donde se convierte en agua y se devuelve a la caldera para iniciar un nuevo ciclo de producción de vapor.

2.2.5. Centrales nucleares

Según (Rojo, 2017) “Una central nuclear tiene una instalación industrial en la que se genera electricidad a través de un reactor nuclear. Las centrales nucleares reúnen tecnologías para hacer posible el uso a gran escala de la enorme energía almacenada en los núcleos atómicos. A menudo se la denomina energía atómica, pero también se la conoce como energía nuclear, refiriéndose más precisamente a origen material”.



Figura 4. Funcionamiento de una Central Nuclear. Información tomada de <http://agrega.educacion.es>. Elaborada por el autor.

Es una tecnología de compleja aplicación debido a los fenómenos físicos en juego, los permisos conseguidos, los requisitos técnicos y las medidas de seguridad necesarias para garantizar en todo momento, la seguridad de los trabajadores, actividades y personas, así como protegiendo al medio ambiente. El funcionamiento de las centrales nucleares se basa en el uso de turbinas para el funcionamiento del vapor, que está relacionado con los generadores. Para obtener vapor de agua se utiliza como combustible uranio o plutonio, como se muestra en la figura 4

En las centrales nucleares, el combustible utilizado suele ser óxido de uranio, y en ocasiones se extrae uranio natural hasta en un 5% de uranio 235. El enriquecimiento de uranio natural es un proceso que utiliza tecnologías muy avanzadas y secretas, que son difíciles de obtener en la mayoría de los países. Otro posible combustible nuclear es el plutonio 239. Este combustible se caracteriza por contener energía nuclear, que se fracturará en las condiciones adecuadas.

2.2.6. Centrales con energías renovables

Las centrales con energías renovables provienen de la obtención de recursos naturales en donde la energía extraída es inagotable. Por otro lado, las fuentes de energía renovable están fácilmente disponibles en casi cualquier parte del mundo.

2.2.6.1. Tipos de energía renovable

A continuación, se detallan conceptos y descripciones de cada tipo de cada central de energía renovable existente:

2.2.6.1.1. Parques eólicos

Dado que la energía eólica se considera "energía limpia", porque no necesita generar residuos contaminantes ni destruir recursos naturales, un conjunto de aerogeneradores se ha popularizado en los últimos años.

2.2.6.1.2. Centrales solares fotovoltaicas

Los paneles solares fotovoltaicos convierten la radiación solar directamente en energía eléctrica. Una planta de energía solar fotovoltaica o central eléctrica consiste en un conjunto de paneles fotovoltaicos conectados en serie y/o en paralelo.

2.2.6.1.3. Centrales solares térmicas de alta temperatura

Utilizan la temperatura para la radiación solar donde se calientan los fluidos y producen vapor para impulsar los generadores, al igual que en una central térmica tradicional, pero el combustible es el sol.

2.2.6.1.4. Centrales marinas

Entre las centrales eléctricas instaladas en el mar, se puede distinguir: centrales mareomotrices, centrales undimotrices y centrales eléctricas que aprovechan las corrientes oceánicas. Las plantas de energía mareomotriz usan cambios en la altura de las mareas para mover turbinas, mientras que las plantas de energía undimotriz usan su movimiento para lograr el mismo propósito.

2.2.7. Funcionabilidad del sistema eléctrico convencional

En la misma se interconecta mediante anillos o barras a diferentes centrales de generación que transmiten desde cientos de Megavatios hasta algunos Gigavatios, operando a niveles de alta tensión desde 60-220 KV en donde aumenta su tensión mayor a 220 KV. La electricidad luego se reparte a las subestaciones que reducen el nivel de tensión a valores en el rango de alta tensión desde 60-140KV. Luego la electricidad llega a su destino de distribución, mediante topologías en árbol, para suministrar la energía a los usuarios finales.



Figura 5. Situación Actual de un SEP centralizado. Información tomada de <http://educacioneningenieria.org>. Elaborada por el autor.

Un sistema eléctrico se compone por una red primaria que conforman una serie de alimentadores con voltajes entre 6-30 km Kv, donde la energía se transporta mediante líneas de transmisión, se observa en la figura 5. Lo que resulta en una enorme pérdida provocada por la transmisión de energía ocasionada por el clima.

2.2.8. Consumo eléctrico de electrodomésticos en los hogares

El consumo eléctrico de los residentes representa una gran parte de la demanda energética, en donde se busca mejorar el uso de los recursos de energía, técnicas que sean capaces de otorgar estos datos a través de un sistema inteligente.

El aumento por año del consumo eléctrico enfocado en el área residencial, está relacionado con el crecimiento de la población, debido al aumento de compra artículos electrodomésticos, computadoras, teléfonos móviles, etc. Por tanto, cuanto mayor sea el crecimiento económico, mayor será el consumo de electricidad de estos productos básicos.

También se debe a la falta de concientización energética de las personas y a otros factores que provocan desperdicio de energía eléctrica, como la población no tiene conocimiento del consumo de energía, ni cómo opera durante el modo de espera o usar luz natural para reducir el consumo de energía durante la iluminación. Debido a la Falta de noción sobre la eficiencia energética de los electrodomésticos.

2.2.8.1. Demanda eléctrica

La demanda eléctrica se define como la cantidad de energía eléctrica requerida por una serie de consumidores para satisfacer sus necesidades. Por lo tanto, la demanda eléctrica nacional es la suma de la energía necesaria para brindar a todos los consumidores del país a nivel de industrias, empresas, oficinas, comercios, hogares, centros públicos, iluminación. La demanda eléctrica en una instalación o sistema de distribución de energía que se sitúa en la carga del terminal receptor que toma el valor promedio dentro de un cierto intervalo.

Con este concepto se entiende que la carga consiste en potencia (aparente, activa, reactiva o compleja) o intensidad de corriente, elemento clave para la industria, hogares etc. Permite optimizar el uso de la capacidad de un equipo instalado, en beneficio de los usuarios y suministradores de energía eléctrica que consiste en reducir o control de la demanda en Kw durante un periodo de tiempo, esto es sin afectar el proceso de producción obteniendo así un ahorro significativo en el costo.

2.2.9. Estructura de un sistema eléctrico

El sistema eléctrico se define como el conjunto de instalaciones, conductores y equipos necesarios para generar, transmitir y distribuir energía eléctrica.

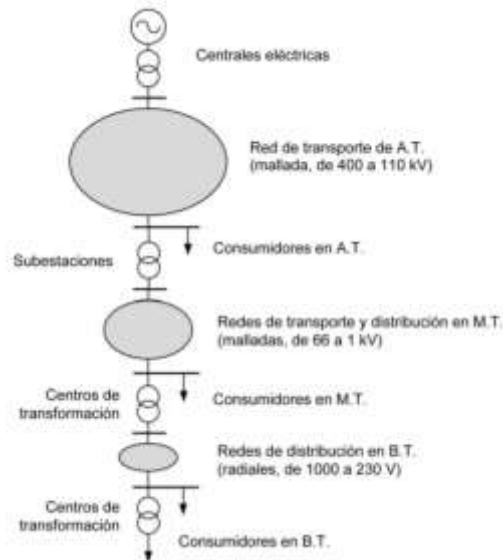


Figura 6. Estructura de un sistema eléctrico. Información tomada por <https://www.mheducation.es>. Elaborada por el autor

La gran parte de la energía se extrae de las centrales hidráulicas, térmicas, y nucleares, actualmente se utiliza el recurso de energías renovables, para que así compense la demanda de consumo energético de energías no renovables.

El alternador de la central genera energía de media tensión de 6 a 30 kV, que es impulsada por el transformador de salida de la central e inyectada a la red de transmisión. La frecuencia del sistema de CA generado es fija y estandarizada: 50 Hz en Europa y 60 Hz en la mayor parte de los Estados Unidos. La red de transmisión y distribución consta de líneas que entregan energía a los consumidores, se utiliza un voltaje de (400, 220 y 132-110 kV) para reducir pérdidas en la transmisión.

La red de alta tensión es la que permite un amplio alcance geográfico que trasciende las fronteras nacionales y está mallada, en los nodos de esta red las líneas están conectadas entre sí. Es la subestación donde se ubica el transformador, que cambia el nivel de tensión de la línea, componentes de control y protección, utilizados para manipular, proteger la red y elementos de medida, que proporciona conocer la operatividad del sistema y los valores de la variable más importante. Algunas de estas subestaciones dejan líneas de menor tensión para formar una red de distribución de media tensión (de 66 a 1 kV), con menos mallas, en el cual se ubican las subestaciones donde la tensión va disminuyendo paulatinamente a (400 y 230 V) para transportar así la energía a los consumidores finales.

Finalmente, están los consumidores de energía eléctrica producida por centrales eléctricas. Estos usuarios, también llamados cargas, están conectados a redes de alta tensión (grandes industrias, especialmente redes de distribución de media tensión), media tensión (redes de distribución industriales, urbanas y de baja tensión) y de baja tensión (la mayoría de consumidores, como las pequeñas industrias) y, en última instancia, los consumidores nacionales).

2.2.10. Smart Grid

Una red inteligente logra integrarse de manera eficiente, comprender el procedimiento y las acciones de todos los clientes. Operan de manera eficiente, sostenible y económica, asegurando el suministro de electricidad, buscan satisfacer las necesidades de los usuarios finales a través de la tecnología digital, que permite el monitoreo y control continuo de la transmisión de energía desde la fuente generadora; de esta manera, permite a los interesados controlar de manera efectiva el sistema. Es decir, los generadores, los operadores de redes, los usuarios finales y los mercados relacionados tienen como objetivo minimizar los costos y el impacto ambiental, al mismo tiempo mejoran la confiabilidad, flexibilidad y estabilidad del sistema.

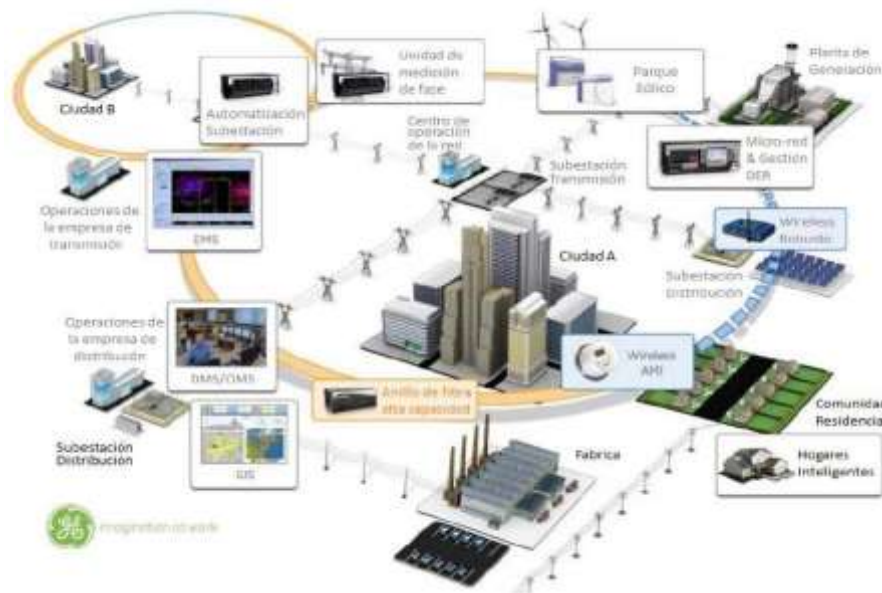


Figura 7. Sistema Smart Grid. Información tomada por <https://energiayredes.com>. Elaborada por el autor

Las redes inteligentes también pueden ayudar a mejorar la integración de las energías renovables, combine la información de la demanda de energía con los pronósticos meteorológicos, lo que alerta a los administradores de la red sobre la planificación de la generación de energía correctamente y en caso de deficiencia de radiación y/o viento. La

red inteligente también permite a los consumidores generar su propia energía y almacenar la energía restante producida por las energías renovables, como se mostró en la Figura 7.

2.2.11. Características del Smart Grid

Las redes inteligentes ayudan a prevenir y minimizar las fallas en los equipos, que se refieren a fallas causadas por errores humanos. Además, optimiza la capacidad instalada y los procesos de mantenimiento automatizados. Por lo tanto, reducir la pérdida en la transmisión y distribución de electricidad a través de la implementación de generación de energía distribuida, mejorando la eficiencia de consumo de los usuarios. En breve Se presentan las características del sistema inteligente:

2.2.11.1. Escalabilidad

Proporciona de forma eficiente y veloz a las demandas dinámicas, ofreciendo flexibilidad para reconfigurar y redirigir la corriente.

2.2.11.2. Confiabilidad

Disponibilidad de recursos relacionados con la gestión, seguimiento, operación y control del sistema. Confiabilidad en la respuesta del sistema y en los planes de precios.

2.2.11.3. Seguridad energética

Permitirá la integración de fuentes de energía renovables (solar, eólica, biomasa) y el almacenamiento de energía cuando exista un problema en el suministro de energía de fuentes tradicionales

2.2.11.4. Sostenibilidad

Uso y distribución plena y eficiente, gracias a los recursos energéticos para el ambiente.

2.2.11.5. Competitividad

Eficiencia en el consumo de energía, reducción de costos, capacidad de vender energía a otros países

2.2.12. Estructura de las Smart Grid

Una red eléctrica inteligente mejora su estructura y topología a medida del avance tecnológico, pero es importante conocer los componentes que maneja un Smart Grid. Se cuenta con un sistema de comunicación bidireccional que permite la conectividad entre medidores inteligentes y dispositivos que controlan la emisión de energía, lo cual es importante mantener controlado este servicio a larga distancia, en donde se obtiene la información en tiempo real del funcionamiento de la red inteligente.



Figura 8. Estructura del Smart Grid. Información tomada por <https://repository.udistrital.edu.com>. Elaborada por el autor

La estructura de una red inteligente como se observa en la figura 8 se compone de la siguiente manera:

2.2.12.1. GIS

La información recopilada en esta etapa debe ser precisa dado que no es conveniente tener información falsa en un sistema que maneja automáticamente el sistema de distribución eléctrica. Si ocurre un error en el sistema, puede causar problemas por un tiempo, causando pérdidas a los usuarios, por lo que el GIS debe tener una base de datos actualizada para obtener la relación correcta entre la instalación del cliente y el sistema eléctrico inteligente.

2.2.12.2. AMI

En el diseño de la red inteligente, se utiliza un medidor digital avanzado con dos vías de comunicación que conecta y desconecta su servicio de forma remota, registra formas de onda y controla el voltaje y la corriente. Este tipo de medidor puede proporcionar datos al centro operación y planificación para lograr una mayor confiabilidad y utilización de recursos (líneas, transformadores). Del mismo modo, proporcionan lecturas en tiempo real, lo que permite coincidir con el patrón de distribución de carga en el sistema.

2.2.12.3. OMS

Durante este periodo, la red inteligente tiene como objetivo identificar y restablecer los cortes de energía de manera flexible y eficiente. Un OMS no solo puede servir como una herramienta utilizada para operar los servicios públicos de la industria, sino que también puede ser útil para el servicio al cliente, la planificación y la gestión de activos, con herramientas que los departamentos de ingeniería y construcción pueden encontrar la información en su base de datos.

2.2.12.4. SCADA

El sistema proporciona toda la información generada en el proceso de producción a cada usuario, pudiendo brindar información en diferentes niveles del sistema, como supervisión, control de calidad, control de producción, almacenamiento de datos, etc. En definitiva, SCADA contiene diversas soluciones para capturar información de procesos o fábricas que no son necesariamente industriales, de manera que se pueden realizar análisis en tiempo real o investigaciones de seguimiento para obtener indicadores que permitan retroalimentar el proceso u operación.

2.2.12.5. DMS

La plataforma de gestión energética integrada desarrollará funciones domésticas avanzadas, para los consumidores, optimizando así el correcto funcionamiento de su sistema de distribución de energía además desarrollará funciones domésticas avanzadas para la gestión de energía de los consumidores, mejorando así el funcionamiento de sus sistemas de distribución de energía. La plataforma se integrará en la AMI como un portal de inicio, proporcionando respuesta a la demanda, automatización de ahorro de energía en el hogar, generación distribuida, almacenamiento y programación óptima de carga y control en el sistema de distribución de energía para despachar la distribución física. Este tipo de gestión energética permitirá a los consumidores controlar, automatizar la energía, y dar respuesta a necesidades según sus preferencias personales.

2.2.12.6. DA

Esta etapa es responsable de la supervisión, control y la función de comunicación está ubicado en el alimentador, situado en el interior del diseño. El equipo en esta etapa puede interrumpir la corriente de falla, monitorear la corriente y el voltaje, comunicarse con otros equipos similares y puede ser auto configurable. El sistema tiene el propósito

de restaurar el servicio al cliente y tiene la capacidad de ser flexible y reconfigurar rápidamente la red de alimentación, También requiere que el diseño del componente sea capaz de aceptar el traspaso y requiere que el sistema de protección aisle las falencias en la topología de reconexión.

2.2.13. Smart Grid a nivel de los consumidores

Para la implementación de Smart Grid a nivel de usuario, se necesita seguir los mecanismos por los cuales administran el consumo energético dentro del hogar. En la figura 9 se puede observar los componentes de una casa inteligente mediante la integración del Smart Grid.



Figura 9. Componentes de la Smart home. Información tomada por <https://www.redalyc.org.com>. Elaborada por el autor.

Una red doméstica permite que los dispositivos domésticos inteligentes se conecten a una red común. Esta red está compuesta de dispositivos clave que son los medidores inteligentes, la interfaz de servicio de energía (ESI) y el sistema de gestión de energía (EMS).

El dispositivo Smart meter se emplea para recopilar información sobre el uso de energía que permite gestionar servicios de control tales como la interrupción de circuitos. Por otra parte, acumula los datos del medidor internamente y también provee las comunicaciones bidireccionales entre el medidor y la empresa eléctrica.

ESI es una puerta de enlace, proporcionada principalmente por las empresas de servicios públicos, que permite que los datos viajen entre una HAN (home área network) y una red vecina (NAN). También se conoce que una red de área doméstica facilita la comunicación del cliente con las empresas de servicios públicos o cualquier otra organización que brinde servicios de energía. Por lo general, la puerta HAN está físicamente integrada en el medidor, pero lógicamente separada del medidor.

El tercer componente es el EMS, el mismo que controla y optimiza el rendimiento de generación, consumo y almacenamiento de energía en la red de área local, conlleva las funciones con ESI para impartir órdenes de control o eventos desde las empresas a los dispositivos inteligentes en donde agrupa todo tipo de datos de los dispositivos HAN. No obstante, para administrar esta red, la casa puede contar con un interfaz de usuario que le permitirá ver mediante una pantalla la conectividad de la red.

El IHD transmite una interface a la casa del cliente, con todos los dispositivos HAN conectados a ella. Esta propuesta permitirá reducir en gran cantidad el suministro de energía, logrando que el usuario tenga la posibilidad de ver su gasto diario de energía mediante tecnologías de la información que muestre el nivel de consumo obtenido, como otro punto beneficioso a nivel de usuario podrá optar por elegir el suministro eléctrico prepago cuando lo considere necesario ya que esto permitirá administrar su consumo y gasto obtenido, logrando un ahorro energético donde muestra al cliente su saldo disponible, incluye alarmas sonoras donde advierten cuando el saldo del cliente es bajo para que sea recargado nuevamente. En resumen, proporciona a los clientes herramientas que permitirán decidir cómo y cuándo consumir de forma consiente del suministro de energía

Este es el mecanismo que debe de seguir la red inteligente al momento de ser implementada dentro de una vivienda con el fin de lograr una correcta comunicación entre los equipos.

2.2.14. Características del consumidor

El usuario debe realizar ciertos cambios en la gestión del consumo de energía para que pueda contar con el nuevo sistema que será implementando dentro del hogar estos cambios deberán hacerse en los equipos electrónicos que el mismo hacia uso con el sistema tradicional, es de gran importancia realizar los siguientes cambios a mencionar ejemplos: focos convencional a bombillos ahorradores, refrigerador convencional a refrigerador inteligente, televisor LCD a Smart TV estos son algunos de los electrodomésticos que son comúnmente utilizados dentro del hogar y para que se pueda adaptar Smart Grid se prohíbe el uso de aparatos electrónicos de alto consumo, que no serán compatibles con esta tecnología.

Con la integración de esta tecnología en los hogares, es posible conocer la cuota de mercado de la demanda y desplazar su consumo a un periodo en el que los costes

energéticos son más baratos, obteniendo ahorros que se verán reflejados en el pedido mensual. Este cambio de comportamiento beneficia al usuario final a través de importantes ahorros y el sistema, al no tener picos de consumo, aplanan la necesidad de energía, que debe ser satisfecha con la producción adicional y en condiciones no controladas.

2.2.15. Características de consumo de los electrodomésticos.

Es importante conocer la forma en la que los electrodomésticos consumen energía, ya que eso marcará un punto importante para establecer los valores de tiempo diario de uso, consumo diario, consumo mensual y por ende costo mensual. Para ello se establece lo siguiente.

El refrigerador representó el equipo al que mayor énfasis se dio en conocer su forma consumo, debido a que comúnmente se piensa que consume energía durante las 24 horas del día por estar conectado de forma continua al flujo eléctrico. Según (C. Carr, 2019) el consumo de una refrigeradora es de forma intermitente, con ciclos de funcionamiento, lo cual indica que, aunque el equipo esté conectado las 24 horas del día no está consumiendo energía durante todo este tiempo. En este mismo estudio se hace mención de que al abrir y cerrar la puerta del equipo y sobrecargarlo de alimentos se producirá un incremento del consumo que este realiza. A continuación, se muestra gráficamente la forma de consumo del refrigerador.

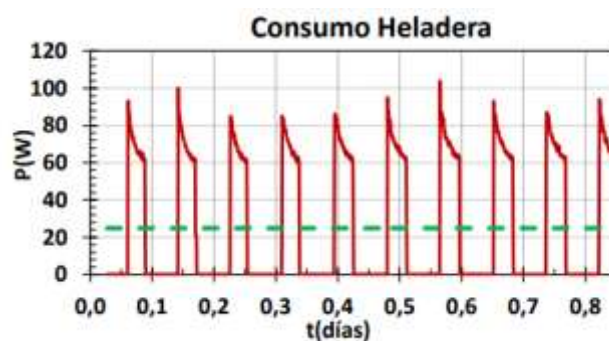


Figura 10. Consumo del Refrigerador. Información tomada de <https://www.academia.edu/>.
Elaborada por el autor

Como menciona (Recalde Salazar & Sánchez Medrano, 2018) en su estudio y en base a lo dicho anteriormente se estableció que el tiempo aproximado de consumo del refrigerador es de 8 horas al día y no de 24 horas como se cree habitualmente.

Para los demás equipos la forma de consumir es la misma, es decir, que consumen energía cuando se conectan al fluido eléctrico.

En la tabla 3 se muestra el consumo por kilowatt que genera cada equipo.

Tabla 3. Consumo de equipos

Electrodoméstico	Consumos establecidos (en kWh)
Refrigerador convencional	0.35
Televisor LCD	0.12
Aire acondicionado convencional	2
Lavadora convencional	0.72
Foco convencional	0.02

Información tomada de. <http://www.dspace.espol.edu.ec/>. Elaborada por el Autor.

2.3. Marco Legal

Para realizar esta investigación se debe de considerar las bases legales en la Constitución de la República del Ecuador y de la Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica como se detalla a continuación.

Los usuarios o consumidores del servicio público de energía están respaldados por la Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica, la cual tiene como objetivo proveerlos de un servicio de alta calidad, confiabilidad y seguridad, además de proteger sus derechos, y asegurar la igualdad y uso generalizado de los servicios e instalaciones.

Se determinó en el numeral 2 del artículo 133 de la Constitución de la República del Ecuador, donde se menciona que el servicio público y la estrategia de energía eléctrica es un derecho y una garantía constitucional y en el artículo 31 de la Constitución de la República del Ecuador. Establece que el estado sería responsable de prestar los servicios públicos de electricidad, entre otras cosas.

Detalladamente los consumidores del servicio tienen algunos derechos tales como recibir una factura de acuerdo a su consumo, reclamar a la empresa eléctrica en caso de inconformidades, contar con alumbrado público, y de ser indemnizado por los daños ocasionados por causas imputables a la calidad del servicio. Además, deben cumplir con algunas obligaciones como pagar oportunamente la factura de energía eléctrica, utilizar el servicio de forma eficiente, y cumplir las condiciones establecidas por la empresa eléctrica,

con lo determina la ley, las constituciones regulaciones, en cuanto al manejo de la energía eléctrica y al equipo del servicio público, tal como se determinó en los artículos 4 y 5 respectivamente de la Ley Orgánica del Servicio Público.

También se contempla que en el artículo 15 de la Constitución de la República del

Ecuador señala que corresponde al estado promover en el sector público y privado, la integración de nuevas tecnologías ambientalmente limpias optando por energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. Se menciona en el artículo 413 de la Constitución de la República del Ecuador donde se determina que el estado debe promover la eficacia energética, el desarrollo y manejo de actividades y tecnologías ambientalmente limpias y sanas, así como de energías renovables, diversificadas, un claro ejemplo la red inteligente.

En base a los artículos mencionados se tiene como objetivo dar a conocer los derechos de los usuarios al momento de hacer uso de un servicio energético, en donde se detallan los parámetros que deben de cumplir tanto el cliente como la empresa eléctrica, teniendo en cuenta que es un derecho de la ciudadanía contar con un sistema eléctrico seguro y confiable

Capítulo III

Metodología

3.1. Tipo de Investigación

La investigación científica se basa en una investigación de tipo fenomenológica con enfoque cuantitativo, de diseño experimental bajo el método hipotético deductivo con el uso de técnicas como la experimentación estadística que se hace con instrumentos como un software de simulación de variables.

3.1.1. Investigación cuantitativa

Para Galguerra & Alonso (2020) El enfoque cuantitativo, basado en la corriente del pensamiento del positivismo, contiene la descripción y medición de variables, considerando los significados subjetivos y la comprensión del contexto donde ocurre el fenómeno.

En la actual investigación, se usa el estudio cuantitativo siguiendo un patrón predecible y estructurado, es decir, es secuencial y probatorio. Este sigue fases que van desde la generación de la idea, el planteamiento del problema, la revisión de hechos antelados, elaboración de hipótesis, recolección de datos, desarrollo de un diseño de investigación, hasta llegar a la interpretación de resultados.

Dentro del marco del enfoque cuantitativo, se desarrolla un proceso sistemático para cada tipo de fenómeno investigado, así se dispone del desarrollo de los siguientes tipos de investigación aplicados en el presente estudio.

3.1.2. Investigación bibliográfica

Se hace uso de una investigación de tipo documental o bibliográfica con la cual se pretende reconstruir históricamente el problema de la manera más objetiva y exacta posible, a lo que de forma sistemática se recopiló información primaria de fuentes digitales y de estudios realizados que avalan los antecedentes de la investigación, con el fin de obtener conclusiones válidas que apoyen la hipótesis.

Se usa la investigación bibliográfica con la revisión de fuentes primarias y secundarias que sirven de forma informativa para la actual investigación, sometiendo una evaluación crítica de las teorías de otros autores, en donde es de vital importancia saber los mecanismos

que debe seguir Smart Grid para realizar su correcta integración dentro del hogar y a la vez conocer a nivel estructural sus componentes para poder desarrollar el análisis comparativo de ambos sistemas.

3.1.3. Investigación descriptiva

Según Vázquez (2021) la investigación descriptiva analiza cómo se ve un fenómeno y sus componentes. Lo describe al estudiarlo mediante la medición de una o más de sus propiedades, su propósito es delinear los hechos que conforman el problema de investigación.

Con este tipo de investigación se pretende describir de modo sistemático cómo se conforma un sistema Smart Grid mediante un sistema simulado, además, también se describirá los elementos y el gasto energético que procede con el uso de un sistema eléctrico convencional.

3.1.4. Investigación experimental

Según Vázquez (2021) el estudio experimental tiene por objetivo comprobar los efectos de una intervención específica, donde las variables son manipulables, de la manera más confiable, con relaciones de causa – efecto, donde los sujetos de la investigación se exponen a estímulos experimentales y se hace una comparación de los comportamientos de control entre un sujeto y otro.

En la presente investigación se va a experimentar con simulaciones realizadas al objeto de la investigación de manera que se pueda probar la hipótesis de que con un sistema Smart Grid en una red doméstica, tendría un consumo más eficiente de energía eléctrica en los aparatos domésticos, comparado a un sistema eléctrico convencional.

3.1.5. Método hipotético deductivo

Se utilizó el método deductivo debido a que enfoca un estudio de la realidad del fenómeno para luego comprobar o refutar la hipótesis dada, de manera que, si la hipótesis es verdadera, la conclusión también será la correcta.

Este tipo de método es hipotético deductivo porque valida o no la hipótesis de que con la integración de la Smart Grid en una red doméstica, el consumo energético disminuirá y permitirá reducir costos en comparación con un sistema eléctrico convencional.

3.2. Instrumentos

3.2.1. Diagrama de Forrester

Es un diagrama de flujos característico de la dinámica de sistemas, se trata de un diagrama de tipo causal que se traduce a un lenguaje de ecuaciones en el ordenador para así validar el modelo de un sistema, observar la evolución por tiempos de las variables, y efectuar un análisis de sensibilidad. El diagrama que se establece en breve es un ejemplo para estimar las variables:

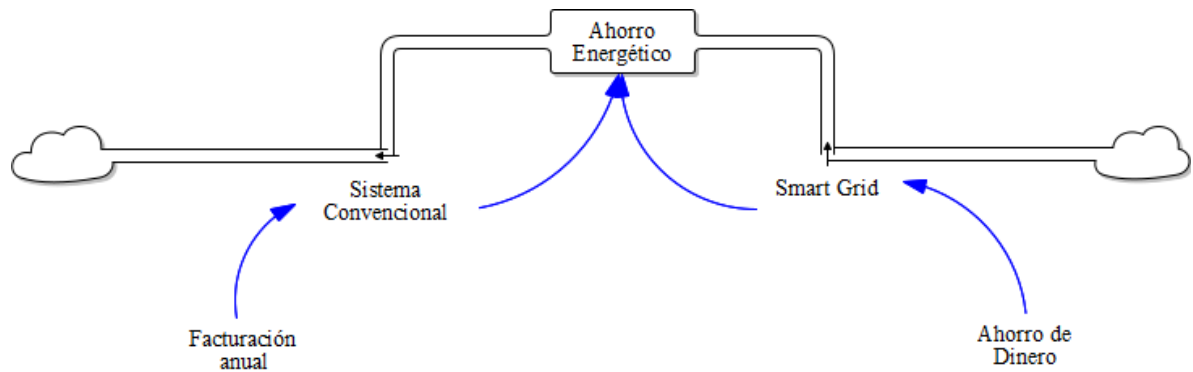


Figura 11. Diagrama de Forrester. Imagen pertenece a Vensim Ple 9.0, elaborado por Allison Guaman

Este es un diseño mental inicial, que con el desarrollo de los cálculos inferenciales se puede ir modificando, logrando que los niveles se mantengan constantes, siendo los niveles los elementos que muestran la situación del momento y varían en función de los flujos, que se representan por las nubes, mientras que las variables auxiliares y constantes son parámetros dados por los factores que condicionan el comportamiento de los flujos.

3.3. Análisis del Sistema Eléctrico Convencional

3.3.1. Situación actual del Sistema Eléctrico Convencional

La demanda de consumo eléctrico dentro de los hogares se ha incrementado con el pasar de los años debido a las nuevas necesidades que surgen dentro de las condiciones de comodidad de los usuarios, lo que claramente para el usuario resulta en mayores costos a cubrir por el consumo de la energía. Cabe recalcar que este incremento en los costos, en algunos casos no solo se debe a la mayor utilización del servicio, sino a falencias propias del mismo sistema dentro de los hogares y a las deficientes instalaciones efectuadas.

La veracidad del consumo eléctrico se ha visto manchada por errores de facturación, valores no detallados en un rubro de comercialización, incrementos fantasmas del consumo de energía por kilovatios, quejas técnicas con los medidores y otros factores que

incrementan el valor a pagar del consumidor.

El valor alto que el usuario termina pagando, no es el único factor que los afecta, pues también la desestabilización de energía con los relativos cortes que son provocados por fallas en la central eléctrica o mantenimiento de redes, más aún con errores en los generadores en épocas de lluvia, hacen que los electrodomésticos se dañen por cambios bruscos en el voltaje, lo que evidentemente representa inconformidad y pérdidas de dinero, sin contar con el hecho de que para hacer un reclamo se debe pasar por un proceso engorroso para que finalmente no se obtenga solución.

3.3.2. Requerimientos del Sistema eléctrico convencional a nivel de usuario

En la sociedad actual es fundamental contemplar las necesidades que los usuarios tienen y brindarles soluciones efectivas a sus requerimientos.

Dentro de un hogar se requiere que el sistema eléctrico aporte principalmente a la protección de riesgos, mantenimiento en su estabilidad de funciones, optimización de recursos económicos, y al control de consumo.

A continuación, se detallan cada uno de ellos: La protección de riesgos hace referencia a la seguridad que debe ofrecer el sistema eléctrico convencional a los usuarios sobre la conservación de sus electrodomésticos y su integridad física, esto relacionado a las fallas que pueda presentar el sistema, las cuales no dependan del usuario sino de situaciones externas que afectan directamente al cliente, tales como apagones, variaciones de voltaje, etc. Este requerimiento es uno de los más importantes ya que le asegura al cliente un estado de total conformidad y tranquilidad con el servicio que se está usando.

El mantenimiento en la estabilidad de sus funciones establece que el sistema opere de forma óptima, y que en caso de que exista algún inconveniente externo al usuario, pueda responder a tiempo.

La optimización de recursos económicos es sin duda una de las mayores necesidades del cliente, lo que se requiere es contar con un sistema estable que en base a su buen funcionamiento detalle el costo del consumo generado de una forma justa, en la cual no se perjudique al bolsillo del usuario. Para este caso se considera que el costo por el consumo energético en un hogar no será igual al de otro, sobretodo en edificaciones de diferente tamaño, por ejemplo, lo que consume una casa pequeña no resulta similar a lo que consume una casa mediana o una grande.

Dentro del sistema convencional de energía no existe una forma o herramienta en la que el usuario pueda llevar un control sobre lo que consumen a diario todos los aparatos

eléctricos que posee en su hogar, de esta manera no se incentiva directamente el ahorro de energía y por ende el ahorro de costos por consumo dentro de una vivienda.

3.4. Análisis del Sistema Smart Grid

3.4.1. Alcance del Smart Grid a nivel de usuario

La red inteligente pretende automatizar procesos mediante la aplicación de las tecnologías de la información y de la comunicación en donde permiten aumentar el confort del cliente, brindar mayor seguridad, ahorrar dinero, manejar información sobre el consumo de energía, y aportar a la sostenibilidad como proyección al futuro.

El usuario podrá acceder a través de su Smartphone, en donde podrá controlar la utilización de energía eléctrica de manera remota y automática. Por ejemplo, podrán programar el encendido y apagado de los artefactos eléctricos del hogar a la hora que lo requieran, obteniendo una reducción del consumo de energía lo cual permitirá un ahorro en el costo por facturación.

3.4.2. Requerimientos del Smart Grid a nivel de usuario

Una de las principales necesidades del usuario es la seguridad en sus equipos que ante un apagón espontáneo, puede presentar fallas al retorno por la variación del voltaje, pero la red inteligente va a permitir restablecer de forma rápida y confiable la energía eléctrica en los hogares, debido a la rapidez de respuesta del sistema ya que será controlado por los sensores de la red inteligente y el software, esto evitará los apagones de energía en los hogares los cuales ponen en riesgo a los equipos.

Por otra parte, el usuario requiere de un sistema que responda de manera inmediata ante los inconvenientes que pueda llegar a presentar el sistema. Las redes eléctricas inteligentes a través de su automatización e interconexión permiten responder a tiempo evitando la suspensión del servicio.

A su vez el usuario desea contar con un sistema que no maneje el corte y reconexión del suministro de forma manual debido a que la lectura puede presentar errores por no ser en tiempo real y confiable, por el contrario, Smart Grid adoptará medidores inteligentes en donde la toma de lectura, la suspensión del servicio y reconexión del mismo, se harán de manera remota, contará con monitoreo y si se llega a ser manipulado enviará una señal de alerta a la compañía.

La tarificación flexible es una oportunidad que ofrece un Smart Grid para optimizar el consumo de la energía debido a que el usuario podrá ver cuánto está consumiendo cada

equipo en tiempo real, reduciendo el tiempo de uso del electrodoméstico, dando como resultado concientizar al cliente, para que de forma correcta sepa darle un buen manejo de uso a cada equipo, con la finalidad de que pueda obtener un ahorro tanto en consumo y dinero, obteniendo así conformidad con el sistema integrado en su vivienda.

3.4.3. Análisis Comparativo de sistema eléctrico convencional vs Smart Grid

Para realizar una comparativa entre sistema eléctrico convencional y la Smart Grid dentro de un hogar, en este análisis se consideró parámetros que el usuario tiene a su alcance o que puede manejar, los cuales son el control de consumo diario y mensual, así como el costo que esto representará, dichos parámetros son parte importante de los requerimientos de los usuarios mencionados anteriormente.

3.4.3.1. Costos y control de consumo

En un sistema de energía ahorrativo una cualidad importante es que el cliente pueda conocer el consumo que está generando en tiempo real para así llevar un control sobre el mismo, lo cual le permitirá optimizar y reducir los costos que se generen por el consumo del fluido eléctrico.

La clave está en el control de uso de los equipos electrodomésticos y electrónicos del hogar, es ahí donde se marca la diferencia. Por el lado del sistema convencional el control de encendido o apagado que tiene el usuario como acceso a sus artefactos electrónicos es de forma manual, lo cual ante un olvido de desconexión o por el simple uso prologando de los equipos por parte del usuario ocasionará un aumento del consumo de energía ya que no lo permite controlar de forma remota.

A diferencia de una red inteligente la cual permite al usuario tener control de encendido o apagado de sus equipos, puesto que permite el acceso a un sistema inteligente donde mediante un Smartphone el usuario puede visualizar que equipo está encendido y consumiendo energía, para que el usuario pueda desconectarlo del fluido eléctrico cuando no se necesite de su uso, esto disminuye el consumo de energía dentro de la vivienda.

3.5. Diagrama causal del modelo comparativo con el Sistema Eléctrico Convencional vs Smart Grid

A continuación, se obtiene un diagrama que establece las relaciones entre las variables con respecto al sistema eléctrico convencional vs la integración de un Smart Grid en los hogares.

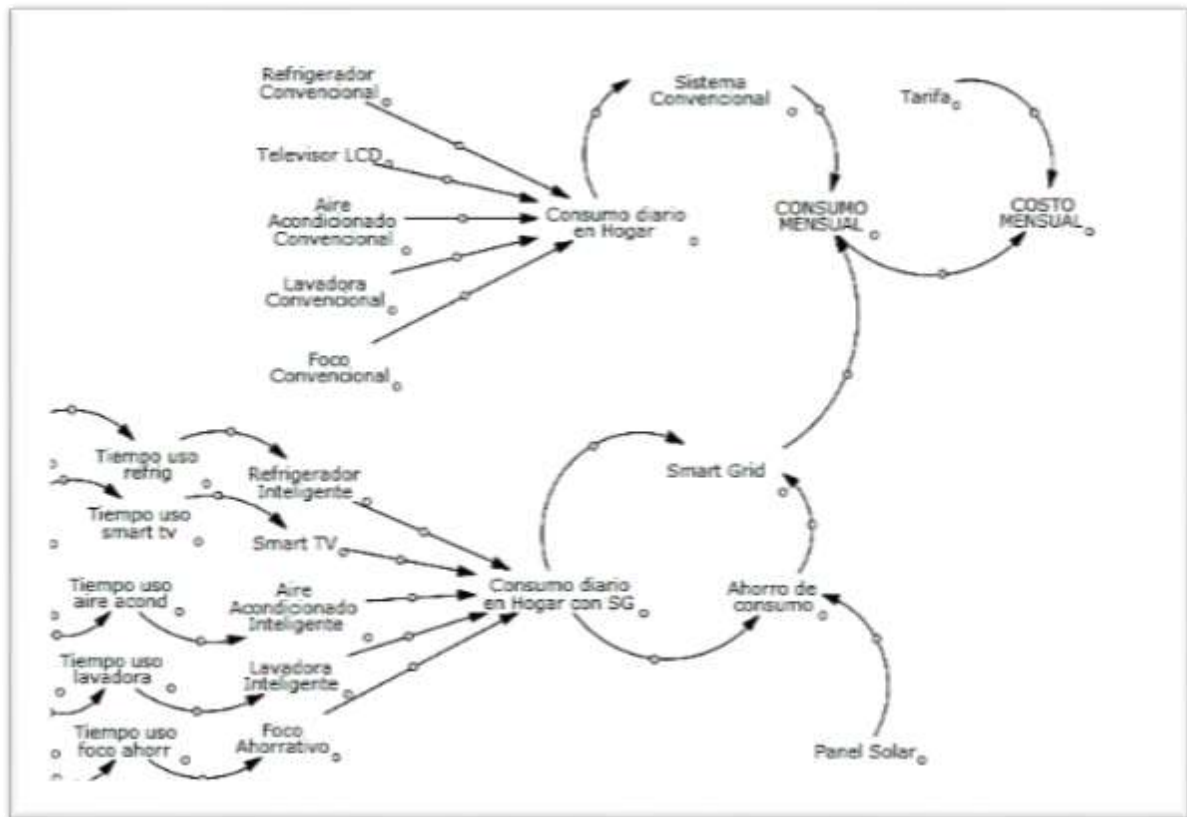


Figura 12. Diagrama Causal del Sistema comparativo analizado. Elaboración Propia utilizando Vensim PLE 9.11

El diagrama causal fue de vital importancia considerarlo dentro de este análisis investigativo, ya que recoge los elementos clave del Sistema Convencional vs Smart Grid y los agrupa en variables para obtener una solución o respuesta. Para ello, el conjunto de variables integradas al modelo permitirá la funcionalidad del mismo, gracias a las relaciones que serán establecidas entre ellas.

Después de conocer las variables del sistema y las relaciones causales entre ellas, se debe representar gráficamente. En la figura 12 que se mostró anteriormente, se observa las diferentes relaciones, las cuáles están representadas por flechas entre las variables a las que afectan.

3.6. Descripción de las variables utilizadas en el Sistema Dinámico

Tabla 4. Descripción y relación de las variables

Variables principales	
Costo Mensual	Representa el costo total a pagar por mes, depende del consumo mensual que se haya hecho y de la tarifa de costo por kilowatt consumido. Si el consumo aumenta, el costo por el servicio también lo hará, ya que mantienen una relación directa.
Consumo Mensual	Esta variable indica el total de kilowatts consumidos durante un periodo de tiempo, en este caso un lapso de 30 días. Depende del consumo diario que se haya hecho durante el periodo. Si el consumo diario baja y se mantiene esa tendencia durante todo el mes, el consumo mensual también lo hará, ya que están relacionados de forma directa.
Consumo diario total en hogar	Contiene la cantidad de kilowatts que se consume diariamente en el hogar, depende del consumo diario de cada equipo. Si se utiliza menos tiempo los equipos durante el día, el consumo diario total bajará.
Variables secundarias	
Consumo diario por equipo (agrupados Smart Grid)	Dentro de la simulación, esta variable almacena el consumo diario por cada equipo. Dependerá estrictamente del tiempo de uso diario que se les dé a los equipos y del consumo establecido por kWh. Si el tiempo de uso del equipo aumenta, el consumo diario de ese equipo también lo hará, ya que tienen una relación directa.

Sistema Convencional	<p>Esta variable almacena todo lo relacionado al consumo diario de los equipos en el sistema convencional y actúa como un Switch para efectos de simulación, donde se pueda mostrar los valores obtenidos.</p>
Smart Grid	<p>Almacena el consumo diario de los equipos en la Smart Grid y el ahorro obtenido con la implementación de los paneles solares, debido a la capacidad de almacenamiento de energía de los mismos, actúa de la misma manera que la variable anteriormente descrita.</p>
Ahorro de Consumo	<p>Esta variable tiene como objetivo demostrar el ahorro económico que tendrían los hogares con el panel solar y control de uso de los equipos gracias a la integración de una red inteligente. Debido a que muestra la diferencia de ahorro en watts gracias al almacenamiento de energía que hacen los paneles solares durante el día, lo que permite que durante la noche se pueda seguir usando la energía almacenada por los paneles para alimentar al hogar y que no se lo haga con la energía convencional. Se relaciona de forma inversa con el consumo diario, ya que si este aumenta el ahorro disminuirá, y si por el contrario el consumo diario disminuye, el ahorro aumentará.</p>
Panel Solar	<p>Dentro del modelo en general se incorporó el uso de energía renovable como lo es el panel solar, es gran importancia ya que logra cumplir con lo requerido</p>

	enfocándose a la eficiencia y disminución del consumo eléctrico dentro del hogar. Esta variable maneja un valor que involucra la cantidad de watts total que los paneles solares pueden proporcionar, y se relaciona directamente con el ahorro de consumo.
Consumo diario por equipo (agrupados convencional)	Contiene el consumo de los electrodomésticos. Se relaciona con el consumo diario del sistema convencional, aunque no varía en el tiempo.
Tarifa kWh	Valor establecido por parte de la empresa eléctrica, y es de aproximadamente (0,10 USD/kWh). Esto permite calcular el costo total a pagar durante cada mes.
Variable de sombras	
Tiempo de uso de los equipos (agrupados Smart Grid)	Esta variable representa la cantidad de horas que se usan los equipos a diario, la cual se relaciona con el consumo diario de los equipos, ya que si el tiempo de uso disminuye el consumo también lo hará.

Información tomada de análisis comparativo de los sistemas. Elaborada por el autor.

3.7. Formulas aplicadas en el modelo comparativo

Tabla 5. Fórmulas aplicadas al modelo

Variable Medible	Ecuación
Consumo diario en hogar	Televisor LCD+Refrigerador Convencional+Lavadora Convencional+Foco Convencional+Aire Acondicionado Convencional
Consumo mensual	Consumo diario en el hogar * Número de días del mes (30)
Costo Mensual	Consumo Mensual * Tarifa(kwh)

Sistema Convencional	1= Ecuación SC Activa 0= Ecuación SG desactivada
Consumo diario en Hogar Con SG	Aire Acondicionado Inteligente+Foco Ahorrativo+Lavadora Inteligente+Refrigerador Inteligente+Smart TV
Consumo diario por equipo (agrupados Smart Grid)	Consumo establecido de los equipos*tiempo de uso
Ahorro de consumo	Panel solar - Consumo diario en hogar con SG
Smart Grid	1= Ecuación SC Activa 0= Ecuación SG desactivada

Información tomada de análisis comparativo de los sistemas. Elaborada por el autor.

3.8. Análisis Sistema Convencional

Una vez establecido el comportamiento y relación de las variables entre sí, y las ecuaciones de cálculo, se pondrá a prueba el modelo mediante una simulación que permita obtener resultados acerca del consumo y el costo de servicio energético mensual dentro de un hogar.

Para ello se conocen los valores constantes referentes al consumo establecido que tienen los equipos convencionales, los cuáles se muestran en la tabla 6.

Tabla 6. Consumo establecido por equipo convencional

Electrodoméstico	Consumo establecidos (en kWh)
Refrigerador convencional	0.35
Televisor LCD	0.12
Aire acondicionado convencional	2
Lavadora convencional	0.72
Foco convencional	0.02

Información tomada de. <http://www.dspace.espol.edu.ec/>. Elaborada por el autor

En base a la investigación se conoce que el tiempo de uso diario promedio que se les da a los electrodomésticos convencionales no varía en casi su totalidad, por lo cual se consideró la siguiente valoración detallada en la tabla 7:

Tabla 7. Tiempo de uso diario de los equipos convencionales.

Electrodoméstico	Tiempo de uso diario promedio (en horas)
Refrigerador convencional	8
Televisor LCD	6
Aire acondicionado convencional	2
Lavadora convencional	1
Foco convencional	24 (por 4 focos en el hogar, 6 hr cada uno)

Información tomada de. <http://www.dspace.espol.edu.ec/>. Elaborada por el Autor

3.8.1. Consumo diario sistema convencional

Conociendo el consumo establecido que tiene cada equipo y el tiempo de uso diario que se le da, se puede obtener un cálculo del consumo diario que obtendrá cada uno de ellos. Para ello se utilizó la siguiente ecuación de cálculo:

$$\text{Consumo diario x equipo} = \text{Consumo establecido} * \text{Tiempo de uso} \quad \text{Ecuación 1}$$

De esta manera se obtuvo los siguientes resultados.

Tabla 8. Consumo diario equipos convencionales

Electrodoméstico	Ecuación de Cálculo	Consumo diario por equipo
Refrigerador convencional	0.35 Kwh*8H	2.8 Kw
Televisor LCD	0.12 Kwh*6H	0.72 Kw
Aire acondicionado convencional	2 Kwh*2H	4 Kw
Lavadora convencional	0.72 Kwh*1H	0.72 Kw
Foco convencional x4	(0.02 Kwh*6H)*4	0.48 Kw
Total		8.72 Kw

Información tomada de análisis comparativo de los sistemas. Elaborada por el autor.

El consumo diario se lo puede ver representado en la figura 13 que se obtiene gracias a la simulación desarrollada.

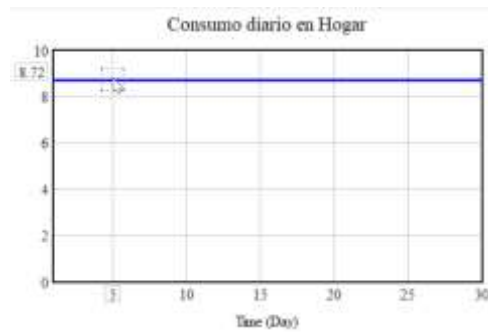


Figura 13. Grafica del consumo diario en el hogar. Elaboración Propia utilizando Vensim PLE 9.11

3.8.2. Consumo mensual sistema convencional

Para el sistema convencional se mantiene un consumo diario de todos los equipos que no varía, por lo cual se marca una tendencia en el consumo mensual de una forma constante, para calcularlo se tiene la siguiente ecuación de cálculo.

$$\text{Consumo mensual} = \text{Consumo diario por equipo} * \text{Días del mes} \quad \text{Ecuación 2}$$

(30)

Utilizando la ecuación mostrada se obtiene los siguientes resultados.

$$\begin{aligned} \text{Consumo mensual} &= 8.72 \text{ Kwh} * 30 \\ \text{Consumo mensual} &= 261.6 \text{ Kwh} \end{aligned} \quad \text{Ecuación 2}$$

En base al consumo diario que se realiza en el hogar, el cual no cambia, se marca una tendencia de consumo que no varía, obteniendo una línea recta en la gráfica de simulación, la cual se muestra a continuación mediante la figura 14.

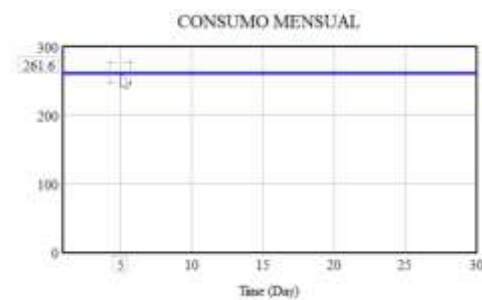


Figura 14. Grafica del consumo mensual en el hogar. Elaboración Propia utilizando Vensim PLE 9.11

Esto sucede debido a que, durante todo el mes, el tiempo de uso de los equipos es el mismo, por ejemplo, un televisor se lo usa 6 horas al día sin ninguna concientización sobre el consumo que tiene y el costo que por consecuencia tendrá al no disminuir su uso.

3.8.3. Costo mensual sistema convencional

Para calcular el costo mensual por el servicio, solo queda multiplicar el valor de consumo mensual por la tarifa de costo por kilowatt. Para ello se emplea la siguiente ecuación de cálculo.

$$\text{Costo mensual} = \text{Consumo mensual} * \text{Tarifa} \quad \text{Ecuación 3}$$

Empleando la ecuación mostrada, se obtiene el siguiente cálculo.

$$\text{Costo mensual} = 261.6 \text{ Kw} * 0.1 = \$26.16 \quad \text{Ecuación 3}$$

Mediante la simulación se obtiene la figura 15 que muestra el costo mensual para el sistema convencional.

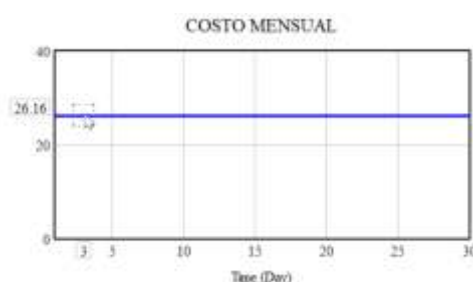


Figura 15. Grafica del Costo mensual en el hogar. Elaboración Propia utilizando Vensim PLE 9.11

Como resultado se obtiene que el valor a pagar será de \$26.16, el cual se pudo proyectar desde el principio del análisis del sistema convencional, ya que la tendencia nunca cambió.

3.9. Análisis Smart Grid

Para realizar el análisis del sistema Smart Grid, se debe partir desde conocer cuál es el consumo que realizan los equipos inteligentes y cuál es el tiempo de uso diario que se les da. Para ello se tiene que el consumo establecido por hora, que se muestra en la tabla 9.

Tabla 9. Consumo establecido de los equipos inteligentes.

Electrodoméstico	Consumo establecidos (en kWh)
Refrigerador inteligente	0.184
Smart TV	0.02
Aire acondicionado inteligente	0.84
Lavadora inteligente	0.20
Foco ahorrador	0.018

Información tomada de. <http://www.dspace.espol.edu.ec/>. Elaborada por el autor

Así mismo se debe conocer el tiempo de uso diario que se le da a cada electrodoméstico.

Gracias a la tecnología que ofrece el sistema Smart Grid, donde se puede ver el consumo que se está generando en tiempo real, permitirá que el usuario optimice el uso que le da a los equipos, y esto a su vez produzca que el tiempo de uso disminuya a diario poco a poco.

Por ejemplo, el usuario empieza usando un promedio de 6 horas al día su televisor, pero gracias a que puede ver en tiempo real el consumo que está generando dicho artefacto optará por tomar medidas para disminuir su consumo, entre ellas desconectar el equipo mientras no esté en uso ya que esto también genera un consumo, apagarlo cuando nadie esté viéndolo, y usarlo solo cuando sea esencialmente necesario.

Todo esto permitirá disminuir de a poco su lapso de utilización, hasta llegar a un punto donde se estabilice su tiempo de uso diario, lo que posibilitará optimizar el consumo del equipo.

Esta disminución continua del tiempo de uso de los equipos inteligentes se lo observa de mejor manera en la tabla 10.

Tabla 10. Tiempo de uso diario de los equipos inteligentes mediante Smart Grid.

Refrigeradora		Smart TV		Aire acondicionado		Lavadora		Foco ahorrador	
Día	Tiempo de uso	Día	Tiempo de uso	Día	Tiempo de uso	Día	Tiempo de uso	Día	Tiempo de uso
1	8	1	6	1	2	1	4	1	6
2	7.8	2	5.5	2	1.9	2	0	2	6
3	7.6	3	5.25	3	1.9	3	0	3	6
4	7.4	4	5.15	4	1.9	4	0	4	6
5	7.2	5	5	5	1.8	5	3.5	5	6
6	7	6	4.9	6	1.8	6	0	6	6
7	6.8	7	4.85	7	1.7	7	0	7	6
8	6.6	8	4.8	8	1.7	8	0	8	6
9	6.4	9	4.75	9	1.6	9	3.25	9	6
10	6.2	10	4.7	10	1.6	10	0	10	6
11	6	11	4.65	11	1.6	11	0	11	6
12	6	12	4.6	12	1.6	12	0	12	6

13	6	13	4.55	13	1.5	13	3	13	6
14	6	14	4.5	14	1.5	14	0	14	6
15	6	15	4.45	15	1.5	15	0	15	6
16	6	16	4.44	16	1.5	16	0	16	6
17	6	17	4.35	17	1.5	17	3	17	6
18	6	18	4.3	18	1.4	18	0	18	6
19	6	19	4.25	19	1.4	19	0	19	6
20	6	20	4.2	20	1.4	20	0	20	6
21	6	21	4.15	21	1.4	21	3	21	6
22	6	22	4.1	22	1.3	22	0	22	6
23	6	23	4.05	23	1.3	23	0	23	6
24	6	24	4	24	1.3	24	0	24	6
25	6	25	4	25	1.2	25	3	25	6
26	6	26	4	26	1.2	26	0	26	6
27	6	27	4	27	1.2	27	0	27	6
28	6	28	4	28	1.1	28	0	28	6
29	6	29	4	29	1.1	29	3	29	6
30	6	30	4	30	1	30	0	30	6

Información tomada de análisis comparativo de los sistemas. Elaborada por el autor.

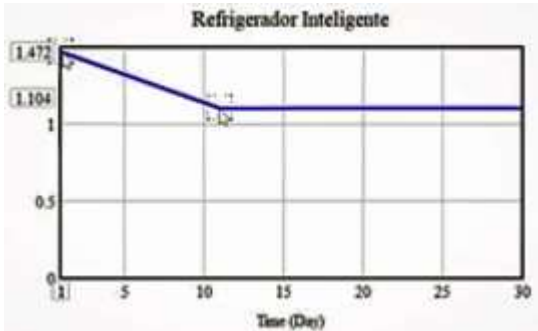
3.9.1. Consumo diario Smart Grid

Luego de conocer el consumo que realizan los equipos inteligentes y del tiempo de uso diario que tienen dentro del hogar, se puede calcular el consumo diario que tendrán en base a la siguiente ecuación de cálculo.

$$\text{Consumo diario x equipo} = \text{Consumo establecido} * \text{Tiempo de uso} \quad \text{Ecuación 4}$$

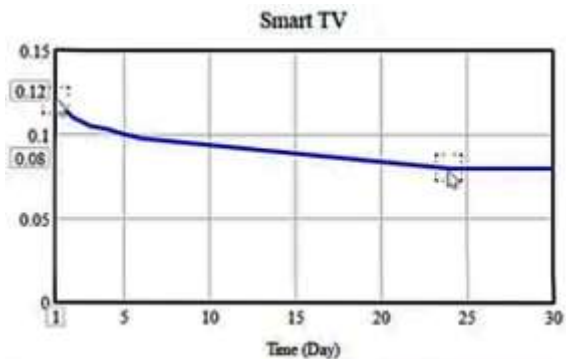
Donde se puede observar que el consumo diario por equipo disminuye día a día en algunos equipos, debido a que el tiempo de uso también lo hace, gracias a la tecnología que ofrece Smart Grid. A continuación se presenta la simulación por cada equipo para observar como varía la tendencia de consumo en cada uno de ellos.

Tabla 11. Consumo diario Refrigerador inteligente.

Consumo diario refrigerador inteligente	
	<p>La tendencia inicia con un valor de 1.472 KwH para un tiempo de uso de 8 horas al día, la misma va decreciendo a diario debido a que el tiempo de uso que se le da al equipo disminuye.</p> <p>Es así que en un punto del mes la tendencia se habrá establecido en un valor óptimo de consumo diario, donde el usuario haya encontrado el tiempo adecuado de uso del equipo (6 horas).</p>

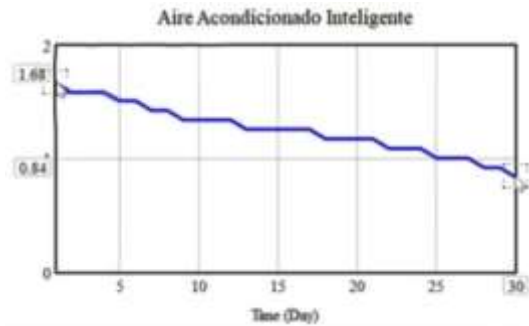
Información tomada del análisis del consumo diario de refrigerador. Elaborada por el autor.

Tabla 12. Consumo diario Smart TV.

Consumo diario smart tv	
	<p>La tendencia inicia con un valor de 0.12 KwH para un tiempo de uso de 6 horas al día, la misma va decreciendo a diario debido a que el tiempo de uso que se le da al equipo disminuye, hasta llegar al tiempo de uso más conveniente, el cuál será de 4 horas.</p>

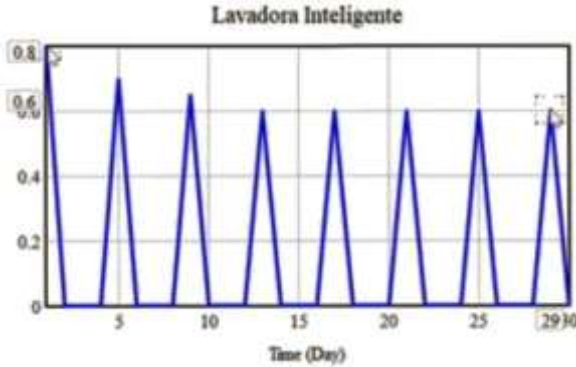
Información tomada del análisis del consumo diario de Smart Tv. Elaborada por el autor.

Tabla 13. Consumo diario aire acondicionado inteligente

Consumo diario aire acondicionado inteligente	
	<p>La tendencia de consumo inicia con un valor de 1,68 KwH para un tiempo de uso de 2 horas al día, de la misma forma la tendencia va disminuyendo a diario hasta llegar a un valor de 0.84, ya que el tiempo de uso va bajando poco a poco hasta usarse solo 1 hora al día el equipo.</p>

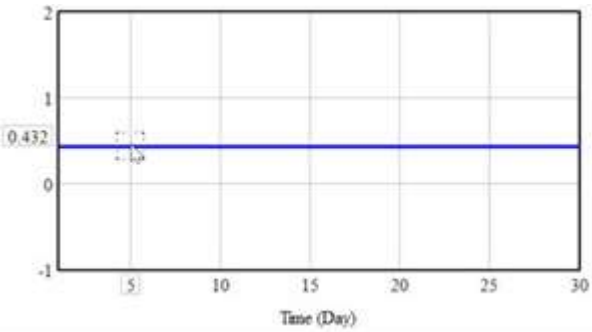
Información tomada del consumo diario de aire acondicionado smart. Elaborada por el autor.

Tabla 14. Consumo diario Lavadora Inteligente

Consumo diario lavadora inteligente	
	<p>Los picos que se muestran en la simulación representan los días en donde se usa la lavadora. Estos picos descienden por cada día de uso con la implementación del sistema Smart Grid, pasando de una tendencia inicial con un valor de 0.8 Kwh para un tiempo de uso de 4 horas por día, a una tendencia final de 0.6 Kwh, con uso de 3 horas por día de uso.</p>

Información tomada del consumo diario de la lavadora inteligente. Elaborada por el autor.

Tabla 15. Consumo diario foco ahorrador

Consumo diario foco ahorrador	
	<p>La tendencia de consumo de los focos ahorradores no cambia, ya que el tiempo de uso de los mismos se maneja de una forma constante, sin embargo gracias al consumo menor de potencia que realizan, es posible obtener valores de consumo diario bajos.</p>

Información tomada del consumo diario foco ahorrador. Elaborada por el autor.

Luego de obtener el consumo diario de cada uno de los equipos se puede conocer el valor total de consumo diario por todos ellos, aplicando la siguiente ecuación de cálculo.

Consumo diario en hogar con SG = Aire Acondicionado

Inteligente + Foco Ahorrativo + Lavadora Inteligente +

Refrigerador Inteligente + Smart TV

Ecuación 5

Dicho valor de consumo se muestra en la figura 16.

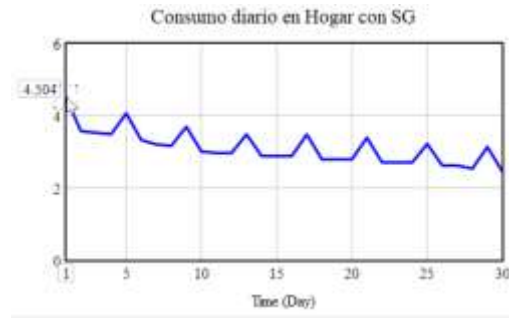


Figura 16. Grafica del Consumo diario en hogar con SG. Elaboración Propia utilizando Vensim PLE 9.11

Como se podía esperar, la tendencia de consumo diario baja cada día gracias a la disminución del tiempo de uso de los equipos, descendiendo consecutivamente desde un valor de 4.504 KWh hasta 2.546 KWh, como se lo muestra a continuación en la figura 17.

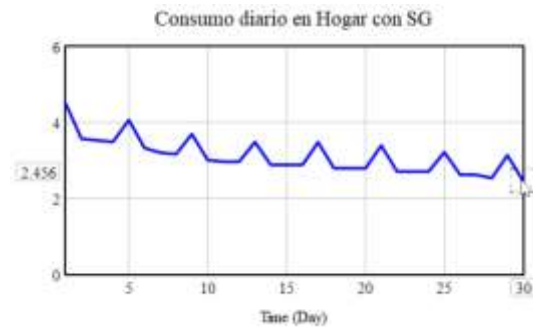


Figura 17. Grafica del Consumo diario en hogar con SG. Elaboración Propia utilizando Vensim PLE 9.11

3.9.2. Consumo mensual Smart Grid

Para la Smart Grid se obtiene un consumo eléctrico que diariamente está en descenso, debido a la tecnología que implementa el sistema, donde, por ejemplo, en un televisor día a día se reduce su tiempo de uso, gracias a que el usuario puede ver el consumo que está generando y de esa forma concientiza sobre el gasto que tendrá y opta por reducir su uso diario. Si de la misma forma se manejan a los demás equipos electrodomésticos la tendencia marcará puntos favorables a beneficio del cliente respecto al consumo mensual en kilowatts, lo que por consecuencia tendrá menor costo de facturación por el servicio.

Por otro lado, también se considera que, gracias a la implementación de los paneles solares se puede almacenar energía durante el día, la cual puede servir de uso para abastecer de energía eléctrica durante la noche. Esto permite que haya aún más ahorro en el consumo de energía y que en algunos casos el cliente obtenga valores a favor en su factura.

Para ello se debe conocer la cantidad de paneles solares que se necesitan para cubrir la demanda de consumo eléctrico, y en base a ello conocer el ahorro que se puede obtener. Es importante mencionar que la obtención del número de paneles solares dependerá de la demanda de energía a cumplir y de la capacidad misma del panel, como lo estableció en su estudio (Sanchez Gutierrez, 2019), todo esto se lo puede obtener mediante la siguiente ecuación.

$$\text{Cantidad de paneles} = \text{Demanda de consumo} / \text{Potencia de los paneles} \quad \text{Ecuación 6}$$

Considerando que en la actualidad los paneles más usados oscilan entre los 250W hasta los 500W en algunos casos, para este estudio se contempló paneles de 300W. Y conociendo la demanda de consumo diario en el hogar, el cual es de 4500W. Entonces la ecuación quedaría de la siguiente forma.

$$\text{Cantidad de paneles} = 4500 \text{ W} / (300) = 15 \text{ paneles} \quad \text{Ecuación 6}$$

Haciendo la instalación de los 15 paneles solares en el hogar se dispondría de una generación de energía de 4500W, lo cual con el pasar de los días será más que suficiente para cubrir la demanda de energía, esto permitirá obtener un ahorro diario cada vez mayor, ya que cada día se reduce constantemente el consumo, como se puede apreciar en la figura 18.

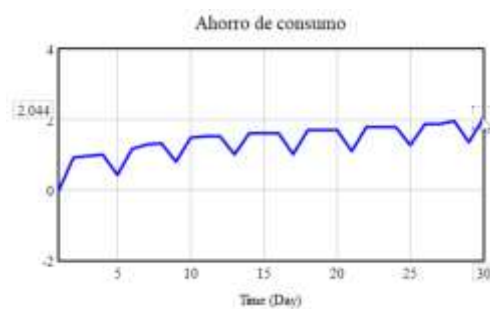


Figura 18. Grafica del Ahorro de consumo con SG. Elaboración Propia utilizando Vensim PLE 9.11

Luego de obtener el valor de ahorro y el consumo diario, se puede calcular el consumo mensual que tendrá el hogar mediante la siguiente ecuación de cálculo.

$$\text{Consumo mensual} = (\text{Consumo diario en Hogar con SG} - \text{Ahorro de consumo}) * \text{días del mes (30)} \quad \text{Ecuación 7}$$

Conociendo que, los valores de consumo diario varían durante el tiempo y de la misma forma también lo hará el ahorro de consumo, se obtiene los siguientes resultados numéricos y la gráfica de simulación con la tendencia de consumo eléctrico mensual, representados en la tabla 16 y la figura 19 respectivamente.

Tabla 16. Consumo mensual Smart Grid.

Consumo mensual Smart Grid									
Día 1	135.2	Día 7	57.4	Día 13	74.2	Día 19	32.8	Día 25	58.4
Día 2	79.3	Día 8	55.2	Día 14	38.1	Día 20	32.7	Día 26	22.4
Día 3	76.8	Día 9	86.9	Día 15	38.1	Día 21	68.7	Día 27	22.4
Día 4	74.5	Día 10	45.6	Día 16	38.0	Día 22	27.6	Día 28	17.4
Día 5	109.1	Día 11	43.3	Día 17	73.9	Día 23	27.5	Día 29	53.4
Día 6	64.8	Día 12	43.3	Día 18	32.8	Día 24	27.4	Día 30	12.3

Información tomada del análisis del consumo mensual en Smart Grid. Elaborada por el autor.

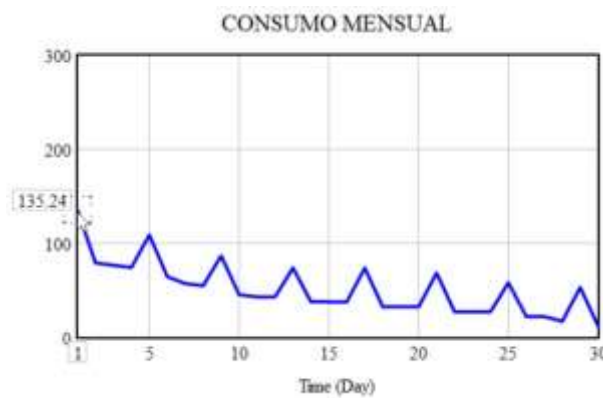


Figura 19. Grafica del consumo mensual con Smart Grid. Elaboración Propia utilizando Vensim PLE 9.11

Como se puede observar existe una reducción consecutiva del consumo eléctrico con el sistema Smart Grid respecto a cada uno de los días del mes. Los picos que se muestran en la simulación representan los días en donde se usa la lavadora, el cual es un tipo de electrodoméstico que no se usa todos los días. Aun así, esos picos descienden a medida que pasan los días con el uso del sistema Smart Grid, debido a que el usuario optimiza cada vez más el uso de los equipos. La tendencia de consumo desciende todos los días, es por esta razón que para saber el valor de consumo por el cual se efectuará el costo de facturación se promedia la tendencia de consumo de todos los días del mes, de esta manera se obtendrá dicho valor promedio para efectos de cálculos de costo, el cual es de 52,358 KWH.

3.9.3. Costo mensual Smart Grid

Se evaluó que, para calcular el costo mensual del servicio eléctrico, solo queda multiplicar el valor de consumo mensual por la tarifa de costo por kilowatt.

La ecuación 8 de cálculo está dada por lo siguiente.

$$\text{Costo mensual} = \text{Consumo mensual} * \text{Tarifa (KwH)} \quad \text{Ecuación 8}$$

Empleando la ecuación de cálculo se obtuvo los siguientes resultados.

Tabla 17. Costo mensual Smart Grid.

Costo mensual Smart Grid									
Día 1	\$13.5	Día 7	\$5.7	Día 13	\$7.4	Día 19	\$3.2	Día 25	\$5.8
Día 2	\$7.9	Día 8	\$5.5	Día 14	\$3.8	Día 20	\$3.2	Día 26	\$2.2
Día 3	\$7.6	Día 9	\$8.6	Día 15	\$3.8	Día 21	\$6.8	Día 27	\$2.2
Día 4	\$7.4	Día 10	\$4.5	Día 16	\$3.8	Día 22	\$2.7	Día 28	\$1.7
Día 5	\$1.1	Día 11	\$4.3	Día 17	\$7.3	Día 23	\$2.7	Día 29	\$5.3
Día 6	\$6.4	Día 12	\$4.3	Día 18	\$3.2	Día 24	\$2.7	Día 30	\$1.2

Información tomada del Costo Mensual del Smart Grid. Elaborada por el autor.

Mediante la simulación se obtiene la gráfica de la tendencia del costo mensual. A continuación, se la puede observar en la figura 20.

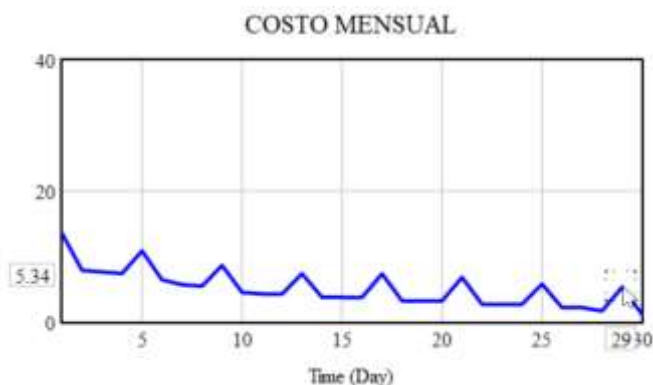


Figura 20. Gráfica del Costo Mensual con SG. Elaboración Propia utilizando Vensim PLE 9.11

El valor final del costo a pagar es obtenido de la ecuación planteada, donde, el consumo mensual promedio es de 52,358 KWH, y la tarifa es \$0.10 kWh, por tanto, se concluye que el costo mensual a pagar será de \$5,23.

3.10. Análisis de Resultados

Como se pudo observar en el análisis individual de consumo diario, consumo mensual y costo mensual, para cada uno de los sistemas que son objeto de estudio, existe una gran diferencia en los valores que resultan de cada uno de los ítems mencionados, debido a las características de funcionamiento propias de los sistemas dentro del hogar.

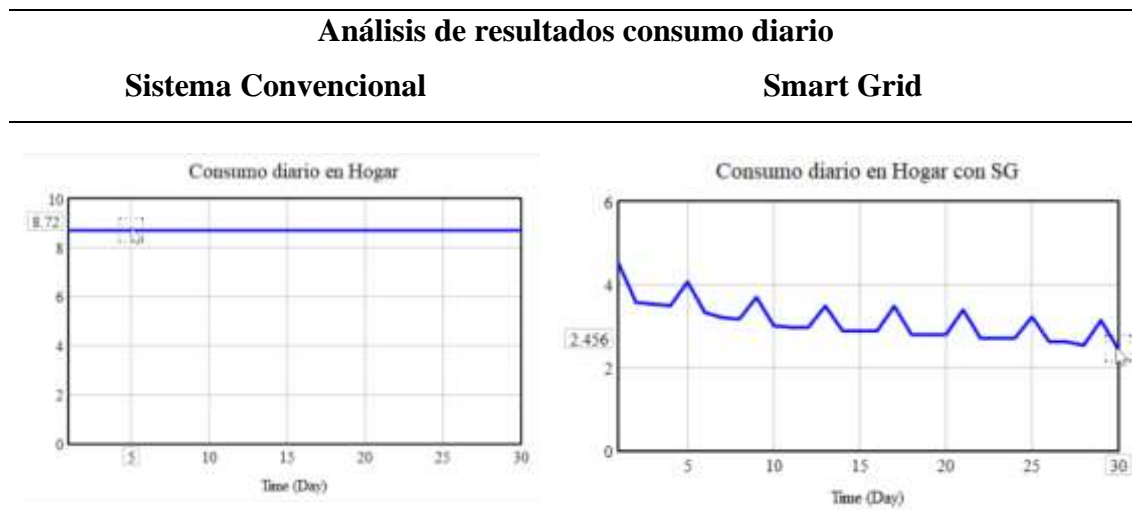
A continuación, se analizan los resultados obtenidos mediante una comparativa, para establecer si la Smart Grid ofrece mayores beneficios sobre el sistema convencional.

En el consumo diario en el Sistema Convencional no hay ninguna reducción en el consumo diario de energía durante todo el mes, debido a que se manejan valores constantes en el uso diario de los electrodomésticos, y no existe ninguna herramienta más que la concientización humana para poder cambiar eso.

Mientras que para la Smart Grid se obtiene una notable diferencia en el consumo generado de forma diaria durante todo el mes, gracias a que el usuario puede acceder a un software que le permite conocer su consumo en tiempo real y tomar acciones para reducirlo.

Para notar la ventaja que tiene la integración de la Smart Grid en hogares en el consumo diario generado, se muestra en la tabla 18 lo siguiente.

Tabla 18. Análisis de resultados consumo diario



Información tomada del Análisis de resultados de consumo diario. Elaborada por el autor.

Tal como se lo mencionó la tendencia de consumo diario que tiene la Smart Grid es mucho más baja durante todo el mes, esto permitió que también se reduzca el valor de otros aspectos importantes dentro de este análisis, como lo son el consumo mensual y el costo mensual, debido a que todos están relacionados de alguna manera.

Para el consumo mensual se obtiene que, en base a la tendencia marcada en el consumo diario con la integración del Smart Grid, se reduce a diario la proyección o tendencia del consumo eléctrico generado durante el mes, debido a que el cálculo del consumo mensual está directamente relacionado con el valor de consumo diario que realizan los equipos inteligentes dentro del hogar.

A esto se le suma que existe un ahorro de consumo en el hogar, debido al almacenamiento de energía eléctrica por parte de los paneles solares. Considerando todo lo mencionado se obtiene un consumo mensual mucho menor que el generado por el

sistema convencional. Otro punto a favor de la integración del Smart Grid en hogares.

Tabla 19. Análisis de resultados consumo mensual.



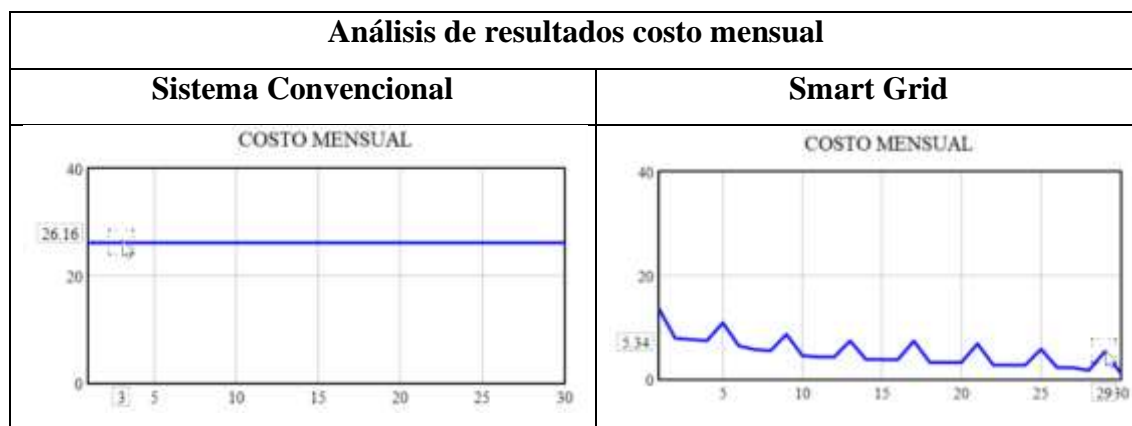
Información tomada del Análisis de resultados del consumo mensual. Elaborada por el autor.

Y de forma final se obtiene un costo mensual facturado por el servicio con una tendencia a beneficio del cliente, donde se muestra una reducción considerable entre el valor a pagar con el Sistema Convencional y la Smart Grid.

Esto se consigue gracias a que el valor de costo mensual se calcula con la utilización del valor de consumo mensual y la tarifa por kilowatt consumido, a la vez el consumo mensual depende del consumo diario que se realice en el hogar, y como todos estos ítems importantes han disminuido, el costo mensual también lo hará.

La reducción del valor a pagar por el servicio mensual marcará un gran punto a favor en la aceptación del Smart Grid en los usuarios, ya que esto es lo que el cliente quiere obtener de cualquier manera. A continuación, se muestra en la tabla 20 la disminución del costo mensual obtenida con Smart Grid.

Tabla 20. Análisis de resultados costo mensual.



Información tomada del Análisis de resultados del costo mensual. Elaborada por el autor.

3.11. Prueba de Funcionalidad

Para comprobar la funcionalidad del modelo se realizan variaciones en el tiempo de uso de los equipos inteligentes, con el fin de demostrar si existirá un ahorro, aunque el usuario no logre aprovechar la tecnología que ofrece la Smart Grid y siga usando la misma cantidad de tiempo los equipos como en el sistema convencional.

Para ello se emplea las siguientes variaciones:

El tiempo de uso de la refrigeradora se mantendrá en 8 horas, el del Smart tv en 6 horas, el aire acondicionado se usará por 2 horas diariamente, de igual forma la lavadora se usará 2 horas al día y los focos ahorradores se usarán durante 6 horas por día.

En base a aquella variación de tiempo de uso, y usando la misma ecuación de cálculo, se consigue el siguiente consumo diario detallado en la figura 21.

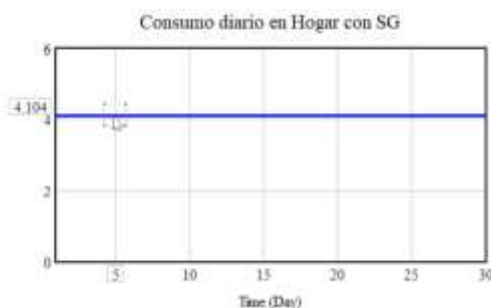


Figura 21. Grafica de la variación de consumo diario. Elaboración Propia utilizando Vensim PLE 9.11

La tendencia de consumo diario se mantiene en 4.104 Kwh, por lo cual para cubrir esa demanda se necesitarán 14 paneles solares que generarán 4.200 Kwh, esto permitirá tener un ahorro diario constante de 0.096 Kwh, el cual se puede ver en la figura 22 que se muestra a continuación.

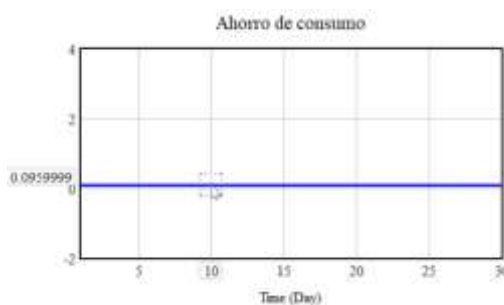


Figura 22. Grafica de la variación de ahorro de consumo. Elaboración Propia utilizando Vensim PLE 9.11

Con ello el consumo diario final disminuirá hasta 4.008 Kwh, como se lo muestra en la figura 23.

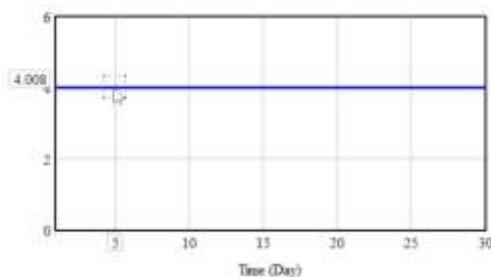


Figura 23. Gráfica de la variación de consumo diario final. Elaboración Propia utilizando Vensim PLE 9.11

Estableciendo el consumo diario que se tendrá, se puede calcular el consumo mensual, multiplicando el consumo diario por el número de días del mes. Entonces se tendrá que el valor de consumo mensual será de 120.24 kWh, como se lo puede ver en la figura 24.

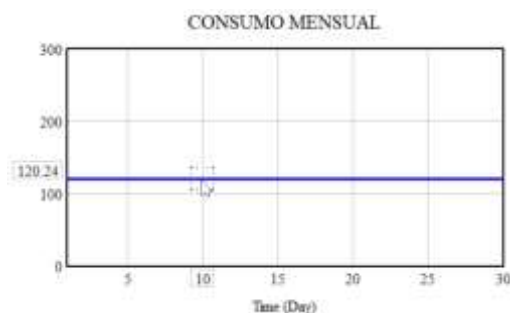


Figura 24. Gráfica de la variación de consumo mensual. Elaboración Propia utilizando Vensim PLE 9.11

Este valor se mantiene de forma constante durante todo el mes, por ello se puede conocer fácilmente el costo mensual que se deberá pagar por el servicio, este valor es de \$12.024 y se lo muestra en la figura 25.

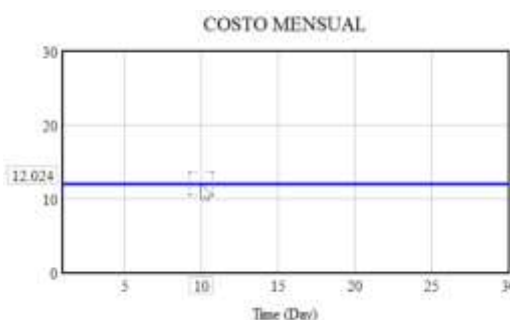


Figura 25. Gráfica de la variación de costo mensual. Elaboración Propia utilizando Vensim PLE 9.11

Como se observó, la integración de esta tecnología permitirá ahorrar consumo y costos en comparación al sistema convencional, aunque no se aproveche al máximo sus características. Con ello, se denota la importancia de que el usuario deba aprovechar al máximo las funcionalidades que ofrece la Smart Grid para obtener un máximo ahorro.

3.12. Comprobación de la Hipótesis

Gracias a la creación de un modelo comparativo desarrollado en el software Vensim se pudo comparar en un escenario simulado el sistema convencional vs Smart Grid, permitiendo demostrar que la integración de un sistema inteligente tiene una gran ventaja referente a las necesidades básicas de consumo eléctrico y costos dentro de un hogar a diferencia del sistema convencional, puesto que posibilita al usuario controlar el consumo energético en tiempo real. Pasando así de tener un valor de consumo de 261.6 kWh con un costo de \$26.16 en el sistema convencional, a un consumo con tendencia decreciente para obtener un valor promedio de 52,358 kWh, logrando un costo de \$5,23 con la integración del Smart Grid.

3.13. Conclusiones

En este trabajo de tesis se realizó un análisis comparativo entre el sistema eléctrico actual y la Smart Grid en donde se diferenció las características que tienen cada uno de ellos en aspectos importantes para el usuario, como lo son el consumo generado y costo por el servicio.

Con la integración de la Smart Grid en el modelo comparativo desarrollado en Vensim se logra disminuir el tiempo de uso de los equipos, gracias a que el usuario puede ver en tiempo real su consumo diario mediante las Tics.

La simulación de la integración de la Smart Grid permitió mostrar que también se disminuye de forma considerable el consumo mensual que genera un hogar, gracias al control del tiempo de uso de los equipos y al menor consumo que realizan los mismos en comparación a los del sistema tradicional.

Con la reducción del consumo generado gracias a la integración de la Smart Grid, también se disminuye el costo mensual del servicio, de esta manera existirá un ahorro de dinero por cada mes de consumo.

La implementación de un panel solar dentro del entorno simulado es de gran ayuda para los usuarios dado que este permite disminuir aún más el consumo generado por los equipos, debido a que logra almacenar la energía durante el día para ser utilizada por la noche, de esta manera no solo se estaría ahorrando significativamente el consumo energético, sino además se potencializa el uso de un recurso renovable que protege el cuidado del medio ambiente.

El diseño del modelo desarrollado en Vensim permitió presentar una simulación de las variables comparativas del análisis, lo que facilitó la comprobación de los resultados y se pueda manejar posibles variaciones para comprobar su funcionalidad.

Considerando todo lo demostrado anteriormente, se concluye también que la integración del Smart Grid en los hogares permitirá obtener un ahorro total tanto de consumo eléctrico, que aporta a mejorar el cuidado de algunos recursos inagotables en lo que respecta a la producción de energía, y en costo por servicio, lo cual beneficia directamente al bolsillo del consumidor y generará satisfacción del cliente con el servicio.

3.14. Recomendaciones

Debido a las limitaciones que tiene modelo actual en base al análisis del campo de aplicación, se puede corregir ciertas funciones del modelo para ampliar su alcance

Se recomienda incrementar el número de equipos para ser analizados en el modelo comparativo para obtener resultados más precisos en la simulación del análisis

Considerar la utilización de una base de datos dentro del software de simulación que almacene el consumo general de todos los equipos de uso diario en una vivienda, con el fin de optimizar la obtención de resultados

Se debe de considerar implementar planes de capacitación que aporten en mejorar el uso de la energía con un objetivo aun mayor que es crear consciencia en la persona sobre el ahorro y el uso de los recursos inagotables que se usa en la actualidad.

Bibliografía

- Arconel. (2016). Estadística-anual-y-multianual-sector-eléctrico-2016.
- Arconel. (2019). Estadística Anual y Multianual del Sector Eléctrico Ecuatoriano.
- Arconel. (2019). *Informe de actividades y gestión 2019*. Guayaquil: Regulación eléctrica.
- Arconel. (2020). *Pliegos tarifarios 2016-2020*. Obtenido de <http://www.eeq.com.ec:8080/servicios/pliego-tarifario>
- Arízaga, E. S. (2016). “*EFICIENCIA DEL CONSUMO ELECTRICO EN EL SECTOR RESIDENCIAL URBANO DE CUENCA*”. Cuenca. Obtenido de <https://library.co/document/y6xg0ggy-eficiencia-consumo-electrico-sector-residencial-urbano-cuenca.html>
- Armijos Abril, J. A., & Pesántez Alvarado, Á. D. (2017). *Repositorio Institucional Universidad de Cuenca*. Obtenido de Repositorio Institucional Universidad de Cuenca: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/24342>
- Bastis. (28 de septiembre de 2020). *La diferencia entre método y metodología*. (Bastis Consultores) Obtenido de Online Tesis: <https://online-tesis.com/la-diferencia-entre-metodo-y-metodologia/>
- C. Carr, R. E. (Septiembre de 2019). *PORTAL DE REVISTAS*. Obtenido de PORTAL DE REVISTAS: http://eprints.natura.unsa.edu.ar/796/1/Carr_C.pdf
- Corporación Nacional de Electricidad [CNEL]. (2021). *Estadística Anual y multianual del sector eléctrico ecuatoriano*. Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Renovables. Obtenido de <https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/08/Estadistica-2020-baja.pdf>
- Daki, H. E. (2017). *Gestión de Big Data en redes inteligentes: conceptos, requisitos e implementación*. Marruecos: Revista big data. Obtenido de <https://doi.org/10.1186/s40537-017-0070-y>
- Duque, M., & Romero, G. (2020). Smart Grid Contro Evironment for Ecuador Save Energy Alternative. *LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology*: , 20-22. Obtenido de <http://www.laccei.org/LACCEI2016-SanJose/RefereedPapers/RP252.pdf>
- Ecuatran. (2018). *DEONTOLOGIA APLICADA AL CONSUMO DE ELECTRICIDAD EN HOGARES DEL ECUADOR*. Quito: Caribeña de Ciencias Sociales. Obtenido de <https://www.eumed.net/rev/caribe/2018/09/deontologia-electricidad-ecuador.html>

- Eléctrica, E. (23 de Febrero de 2021). *Gob.ec*. Obtenido de <https://www.gob.ec/eersa/tramites/atencion-solicitud-fallas-servicio-energia-electrica>
- Endesa. (2017). *Fundación Endesa*. Obtenido de <https://www.fundacionendesa.org/es/centrales-renovables/a201908-central-hidroelectrica>
- Energía, C. N. (Octubre de 2017). *CENACE*. Obtenido de CENACE: <http://www.cenace.gob.ec>
- Fernández, C., & Cao, R. (2021). *Simulación estadística*. UNU. Obtenido de <https://rubenfcasal.github.io/simbook/Simulacion.pdf>
- Galguerra, L., & Alonso, C. (2020). *UCI universidad para la cooperación internacional*. Obtenido de UCI universidad para la cooperación internacional: <https://www.ucipfg.com/Repositorio/MATI/MATI-12/Unidad-01/lecturas/1.pdf>
- investigadores, L. (25 de Mayo de 2020). *Técnicas de Investigación*. Obtenido de <https://tecnicasdeinvestigacion.com/?s=citar>
- Quishpe Gaibor, J. S. (2018). “Deontología aplicada al consumo de electricidad en hogares del Ecuador”. *Revista Caribeña de Ciencias Sociales*(9), 1-9.
- Recalde Salazar, R., & Sánchez Medrano, C. A. (8 de Enero de 2018). *Repositorio Dspace*. Obtenido de Repositorio Dspace: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/42295>
- RLC, S. (2019). *ANÁLISIS AVANZADO DE SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA*.
- Rodriguez, D. (11 de Mayo de 2020). *Lifeder*. Obtenido de <https://www.lifeder.com/metodo-cientifico-experimental/>.
- Rojo, M. N. (2017). *DOCPLAYER*. Obtenido de DOCPLAYER: <https://docplayer.es/10495385-Todos-los-fenomenos-nucleares-involucran-un-intercambio-y-o.html>
- Salas Ocampo, D., & Mata Solís, L. D. (2020). *Investigalandia*. Obtenido de <https://investigaliacr.com/investigalia-sobre-nosotros/>
- Sanchez Gutierrez, L. A. (2019). *Repositorio Latinoamericano-UCHILE*. Obtenido de Repositorio Latinoamericano-UCHILE: <http://repositorio.usil.edu.pe/handle/USIL/8755>
- Universo, E. (2021). *El mejor ahorro de energía eléctrica es desconectar los electrodomésticos que no se usan*. La Revista. Obtenido de <https://www.eluniverso.com/larevista/tecnologia/el-mejor-ahorro-de-energia->

electrica-es-desconectar-los-electrodomesticos-que-no-se-usan-nota/

Vázquez, I. (2021). *Tipos de estudio y métodos de investigación*. Obtenido de <https://institutoculturalreforma.edu.mx/wp-content/uploads/2021/02/Tipos-de-estudio-2.pdf>

Vásquez Hidalgo, I. (2021). *Gestiopolis*. Obtenido de Gestiopolis: <http://www.gestiopolis.com/tipos-estudio-metodos-investigacion/>

Westreicher, G. (Febrero de 2012). *Economipedia*. Obtenido de <https://economipedia.com/definiciones/metodo-deductivo.html>