



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

**"MODELAMIENTO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL CONSUMO
DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN SANTA ELENA A LO LARGO DEL
TIEMPO, ZONAS Y GRUPOS"**

INFORME DE MATERIA DE GRADUACIÓN

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO EN ELECTRICIDAD ESPECIALIZACIÓN POTENCIA

Presentado por:

MIGUEL JOEL LARA ORELLANA

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2015

AGRADECIMIENTO

Agradecer infinitamente a todos los que fueron mis profesores en esta prestigiosa unidad educativa, que impartieron sus conocimientos y son parte fundamental de mi formación como Ingeniero Eléctrico.

Especialmente al director, el Ing. Douglas Aguirre, por sus aportes, comentarios, sugerencias y por ser una guía para la realización de esta investigación.

DEDICATORIA

Dedico este proyecto primero a Dios por brindarme la sapiencia y paciencia sobre todo en los momentos más difíciles, para siempre hallar la solución a las dificultades presentadas en la realización de este proyecto.

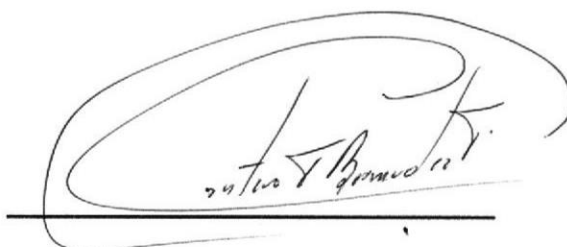
También dedico este proyecto a todas las personas que colaboraron con su realización, a mis compañeros, amigos y familiares, en especial a mis padres Rubén M. Lara O. y Elsa B. Orellana Ch. por al apoyo incondicional y por darme fortaleza para culminar con éxito este proyecto.

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



Ms. Douglas Aguirre H.

PROFESOR DE LA MATERIA DE GRADUACIÓN.



Ing. Gustavo Bermúdez F.

PROFESOR DELEGADO POR LA UNIDAD ACADÉMICA.

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de este Informe, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la Escuela Superior Politécnica del Litoral".

(Reglamento de graduación de la ESPOL).



Lara Orellana Miguel Joel

RESUMEN

El estudio que se realizó, analiza el comportamiento del consumo de energía eléctrica en la provincia de Santa Elena a lo largo del tiempo y por zonas. Consiste en la evaluación e interpretación de los datos obtenidos a partir de las curvas de carga de los usuarios residenciales tomando los datos registrados en 5 medidores totalizadores, con el objetivo de implementar un modelo matemático que permita describir el comportamiento de la carga y de las variables que influyen en el consumo de energía eléctrica.

Se utiliza el programa Microsoft Excel ® para hallar el modelo matemático que más se ajusta a las curvas características diarias y además para realizar una proyección estimada de la demanda, para posteriormente establecer las curvas de eficiencia energética de los consumos de energía en Santa Elena e identificar los posibles planes de ahorro de energía en los diferentes sectores y épocas del año en la provincia de Santa Elena.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO	II
DEDICATORIA	III
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	IV
DECLARACIÓN EXPRESA	V
RESUMEN	VI
ÍNDICE GENERAL	VII
ABREVIATURAS	XIV
ÍNDICE DE FIGURAS	XVI
ÍNDICE DE TABLAS	XVIII
INTRODUCCIÓN	XIX

CAPÍTULO 1

1.INFORMACIÓN GENERAL	1
-----------------------------	---

1.1. Sistema eléctrico de potencia.....	2
1.2. Componentes de un sistema eléctrico de potencia.....	4
1.2.1. Generadores.....	4
1.2.2. Transformadores.....	4
1.2.3. Líneas de transmisión.....	5
1.2.4. Cargas.....	6
1.3. Demanda de energía eléctrica.....	8
1.3.1. Demanda.....	8
1.3.2. Demanda o carga máxima.....	9
1.3.3. Carga instalada.....	9
1.3.4. Capacidad instalada.....	9
1.3.5. Curvas de carga diaria.....	10
1.3.6. Curvas de carga anual.....	10
1.3.7. Factor de demanda.....	11
1.3.8. Factor de carga.....	11
1.3.9. Factor de potencia.....	11
1.4. Factores que influyen en el pronóstico de demanda de energía eléctrica.....	12

1.4.1. Clima.....	12
1.4.2. Hábitos de consumo	13
1.4.3. Densidad de carga	13
1.4.4. Datos históricos	14
1.4.5. PIB	14
1.5. Potencia y Energía.....	15
1.5.1. Potencia.....	15
1.5.2. Energía	15
1.6. Eficiencia Energética	17
1.6.1. Normativa internacional de sistema de gestión energética ISO 50001.....	19
1.6.2. Importancia de la norma ISO 50001.....	19
1.6.3. Objetivos de la norma ISO 50001	20
1.7. Objetivos generales	21
1.8. Objetivos específicos	21
1.9. Resultados esperados	22

CAPÍTULO 2

2.INFORMACIÓN GENERAL	23
2.1. Situación actual del sector eléctrico ecuatoriano.....	23
2.2. Consumo del sector eléctrico	25
2.3. Antecedentes de la Eficiencia Energética en Ecuador.....	27
2.4. La provincia de Santa Elena.....	29
2.4.1. Ubicación	29
2.4.2. Población	29
2.4.3. Clima.....	30
2.4.4. Datos estadísticos de la estructura de la población económicamente activa.....	30
2.4.5. Tipos de viviendas en Santa Elena	34
2.4.1. Viviendas con servicio eléctrico.....	34

CAPÍTULO 3

3.PROPUESTA.....	40
3.1. Introducción a la propuesta	40
3.2. Información de los medidores totalizadores	37
3.3. Medidor totalizador.....	39
3.3.1. Función del medidor totalizador.....	39
3.3.2. Datos obtenidos de los medidores totalizadores.	39
3.4. Curvas obtenidas con el medidor E4S206506	41
3.5. Modelos y herramientas a utilizar.....	48
3.5.1. Modelo matemático.....	48
3.5.2. Coeficiente de determinación	48
3.5.3. Criterios de aceptación	49
3.5.4. Coeficiente de correlación	49
3.5.5. Modelo lineal	50
3.5.6. Modelos no lineales	51
3.5.7. Métodos de regresión simple.....	51

3.5.8. Regresión lineal.....	51
3.5.9. Regresión polinomial.....	54
3.6. Tendencia.....	57

CAPÍTULO 4

4. Análisis de resultados	60
4.1. Métodos de pronóstico.....	62
4.1.1. Pronóstico a corto plazo	63
4.1.2. Pronóstico a mediano plazo.....	63
4.1.3. Pronóstico a largo plazo	64
4.2. Proyección de la demanda	64
4.3. Datos de las subestaciones de mayor consumo en Santa Elena	66

CONCLUSIONES	71
---------------------------	-----------

RECOMENDACIONES	72
------------------------------	-----------

ANEXOS	74
BIBLIOGRAFÍA	103

ABREVIATURAS

ACAR	Conductor de aluminio con alma de aleación
ACSR	Conductor de aluminio con alma de acero
CONELEC	Consejo Nacional de Electricidad
D_{max}	Demanda máxima
D_{prom}	Demanda promedio
E	Energía
F_{dem}	Factor de demanda
INECEL	Instituto Ecuatoriano de Electrificación
INER	Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables
kBep	Miles de barriles equivalentes de petróleo
kVA	Kilovoltiamperio
kW	Kilovatio
kWh	Kilovatio – hora
MEER	Ministerio de Electricidad y Energía Renovable
MVA	Megavoltiamperio
MW	Megavatio

PEA	Población Económicamente Activa
PEI	Población Económicamente Inactiva
PET	Población en Edad de Trabajar
PT	Población Total
R ²	Coefficiente de determinación
®	Marca Registrada
t	Tiempo
VA	Voltiamperio
W	Vatio
WWF	World Wildlife Fund for Nature

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Configuración de un sistema de potencia [1].....	2
Figura 1.2: Etiquetado de Eficiencia de Energía Eléctrica [2].....	18
Figura 2.1: Distribución del consumo Eléctrico en Ecuador [3]	25
Figura 2.2: Distribución del consumo por categorías de consumo [3]	26
Figura 2.3: Curvas de demanda típicas por grupos de consumo [3].....	27
Figura 2.4: Porcentaje de ocupación por habitantes de Santa Elena [4]	32
Figura 2.5: Porcentaje de tipos de vivienda en Santa Elena [4]	34
Figura 3.1: Curva de demanda diaria muestreada cada 15 minutos [2]	42
Figura 3.2: Curva de demanda diaria superpuesta hora a hora [2].....	44
Figura 3.3: Curva de demanda máxima diaria hora a hora [2]	45
Figura 3.4: Curvas diarias promedios [2].....	46
Figura 3.5: Curva de la demanda máxima diaria [2]	47
Figura 3.6: Regresión Lineal [5].....	54
Figura 3.7: Regresión Polinomial [5].....	57
Figura 3.8: Curva de la tendencia de la demanda máxima [2]	58
Figura 3.9: Curva de proyección de la demanda máxima [2]	59
Figura 4.1: Curva de potencia activa del alimentador Chanduy [6].....	67
Figura 4.2: Curva de potencia del alimentador Colonche [6].....	68

Figura 4.3: Curva de potencia del alimentador Libertad [6]	68
Figura 4.4: Curva de potencia del alimentador Salinas [6]	69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Tipos de Energías Renovables.....	16
Tabla 2: Tipos de Energías no Renovables	17
Tabla 3: Fuentes de consumo de energía del ecuador 2012	24
Tabla 4: Población de la provincia de Santa Elena.....	29
Tabla 5: Estructura de la población económicamente activa	31
Tabla 6: Ocupación de los habitantes de Santa Elena	33
Tabla 7: Viviendas con servicio eléctrico.....	35
Tabla 8: Información de los medidores totalizadores	38
Tabla 9: Ecuaciones diarias de Consumo de Energía	62
Tabla 10: Ecuación de la proyección de la demanda	65
Tabla 11: Correlación de los medidores totalizadores	66
Tabla 12: Correlación de los alimentadores	70

INTRODUCCIÓN

En el primer capítulo se presenta la estructura del sistema de potencia, y una breve descripción de sus componentes más importantes y las definiciones que usaremos en el presente trabajo, además de la clasificación de las energías y las normas de eficiencia energética.

En el segundo capítulo se presenta la situación actual del sector eléctrico ecuatoriano, los antecedentes de eficiencia energética en el Ecuador y los datos estadísticos que influyen en el consumo de energía eléctrica en la provincia de Santa Elena.

En el tercer capítulo se detalla la propuesta del trabajo y las herramientas necesarias para encontrar los modelos matemáticos característicos de las curvas diarias de demanda eléctrica, además se muestran los datos descargados de los medidores totalizadores y las curvas de demanda semanales y diarias, y los datos proporcionados de los alimentadores de las Subestaciones de la provincia de Santa Elena.

En el cuarto capítulo se realiza la comparación de los resultados obtenidos de los medidores totalizadores y de los alimentadores de las subestaciones y se calcula la proyección de la demanda a corto plazo.

CAPÍTULO 1

1. INFORMACIÓN GENERAL

En este capítulo se hace una breve definición de los principales conceptos relacionados con el funcionamiento de un sistema eléctrico de potencia, sus componentes principales y como la energía eléctrica llega a los usuarios. Además se realiza una breve introducción de la Eficiencia Energética según su normativa ISO.

1.1. Sistema eléctrico de potencia

Un sistema eléctrico es el conjunto formado por las centrales generadoras de energía eléctrica, líneas de transmisión y distribución para la transportación de la energía eléctrica, subestaciones eléctricas que sirven para enlazar los diferentes niveles voltajes y la carga o consumidor final.

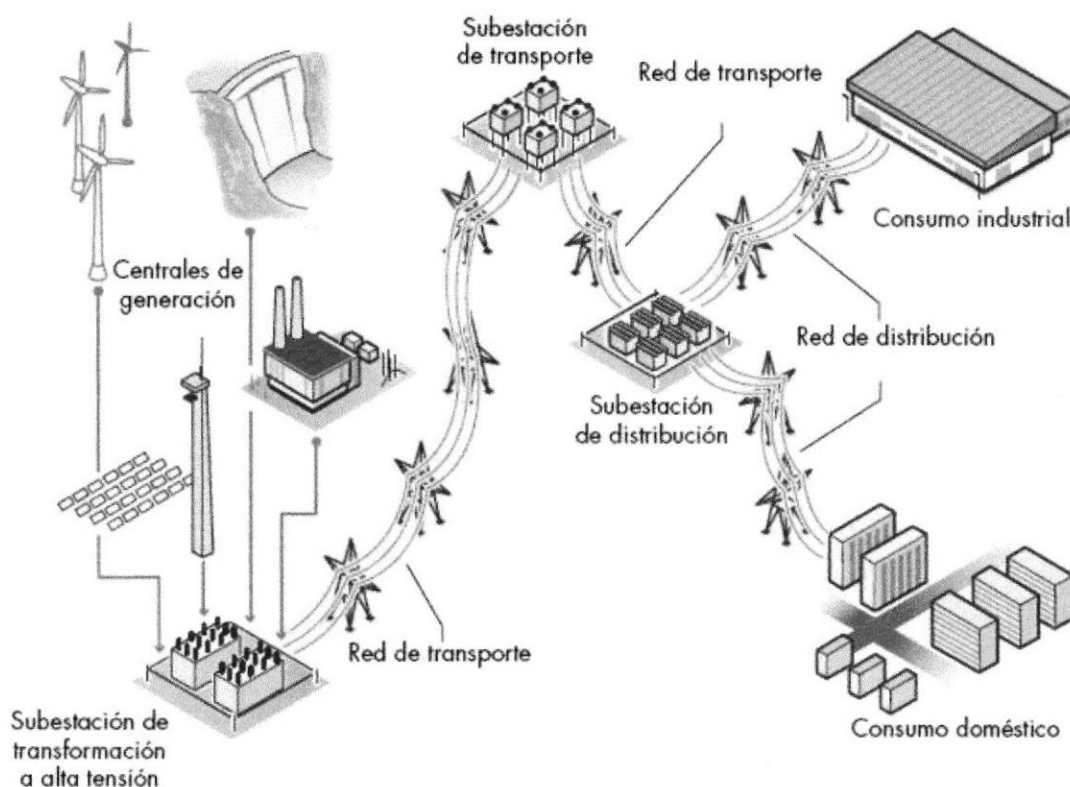


Figura 1.1: Configuración de un sistema de potencia [1]

Se subdivide en cuatro grandes etapas:

- Generación
- Transmisión
- Distribución
- Consumo

El grupo de generación es el que suministra la energía que requiere el sistema, esta energía pasa por la etapa de transmisión, conformado por líneas de alta tensión (líneas de transmisión) y subestaciones de alta tensión.

En la etapa de distribución, su principal objetivo es reducir el voltaje para ser utilizados en diferentes etapas.

En nuestro país la subtransmisión tiene un voltaje de utilización de 69kV y 13.8kV el valor de voltaje de distribución eléctrica, para finalmente la etapa de entrega de energía eléctrica al consumidor que puede ser de tipo residencial, industrial y comercial.

1.2. Componentes de un sistema eléctrico de potencia

Los principales elementos que conforman un sistema de potencia son:

- Generadores
- Transformadores
- Líneas de transmisión, subtransmisión y distribución
- Cargas

1.2.1. Generadores

Los generadores son los que suministran energía al sistema de potencia, mediante la transformación de la energía primaria (nuclear, hidráulica, térmica, eólica, solar, biomasa entre otras) en energía eléctrica.

1.2.2. Transformadores

La función principal del transformador es subir o bajar el nivel de voltaje en un circuito eléctrico, según el requerimiento y aplicación. El transportar la energía

eléctrica en alta voltaje se justifica porque se reducen las pérdidas de energía.

1.2.3. Líneas de transmisión

Son los componentes encargados de transmitir la potencia generada hasta los principales centros de carga. Se las divide según el voltaje que operan y están constituidas por un grupo de estructuras, conductores y accesorios que forman una o más ternas (circuitos). Entre los tipos de conductores más utilizados son:

- ACSR (Conductor de aluminio con alma de acero) que tiene un núcleo central de hilos de acero rodeados con capas de hilos de aluminio.
- ACAR (Conductor de aluminio con alma de aleación) que tiene un núcleo central de aluminio de alta resistencia rodeada por capas de conductores eléctricos de aluminio.

1.2.4. Cargas

Son todos los aparatos que funcionan con energía eléctrica, tales como televisores, refrigeradoras, motores, hornos industriales, etc.

Según la carga existen diferentes tipos de usuarios que se clasifican de acuerdo al tipo de aplicación de la energía eléctrica, tales como: residencial, comerciales e industriales.

1.2.4.1. Consumidor comercial

Persona natural o jurídica, pública o privada, que utiliza los servicios de energía eléctrica para fines de negocio, actividades profesionales o cualquier actividad con fines de lucro.

1.2.4.2. Consumidor industrial

Persona natural o jurídica, pública o privada, que utiliza los servicios de energía eléctrica para la

elaboración o transformación de productos por medio de cualquier proceso industrial. También se debe considerar dentro de esta definición a los agroindustriales, en los cuales existe una transformación de productos de la agricultura, ganadería, riqueza forestal y pesca. En productos elaborados.

1.2.4.3. Consumidor residencial

Corresponde al servicio eléctrico destinado exclusivamente al uso doméstico de los consumidores, es decir, en la residencia de la unidad familiar independientemente del tamaño de la carga conectada.

1.3. Demanda de energía eléctrica

1.3.1. Demanda

Es la cantidad de potencia que un consumidor utiliza en un periodo de tiempo. La demanda de una instalación eléctrica en los terminales, es tomada como un valor medio en un intervalo determinado. El período durante el cual se toma el valor medio se denomina intervalo de demanda. La duración que se fije en este intervalo dependerá del valor de demanda que se desee conocer. Para establecer una demanda es indispensable indicar el intervalo de demanda ya que sin él no tendría sentido práctico. La demanda se puede expresar en kVA, kW, kVAR, A, etc.

La variación de la demanda en el tiempo para una carga dada origina el ciclo de carga que es una curva de carga (Demanda vs tiempo) [2].

1.3.2. Demanda o carga máxima

Corresponde a la carga mayor que se presenta en un sistema o instalación en un intervalo de tiempo previamente establecido. Para establecer la demanda máxima se debe especificar el intervalo de demanda para medirla [2].

1.3.3. Carga instalada

Es la suma de potencias nominales de aparatos y equipos de consumo que se encuentran conectados a un sistema o a parte de él, se expresa generalmente en kVA, MVA, kW o MW [2].

1.3.4. Capacidad instalada

Corresponde a la suma de las potencias nominales de los equipos (transformadores, generadores), instalados a líneas que suministran la potencia eléctrica a las cargas o servicios conectados. Es llamada también capacidad nominal del sistema [2].

1.3.5. Curvas de carga diaria

Las curvas de carga diaria están formadas por los picos obtenidos en intervalos de una hora para cada hora del día. Las curvas de carga diaria dan una indicación de las características de la carga en el sistema, para el sector residencial, comercial o industrial y de la forma en que se combinan para producir el pico [2].

1.3.6. Curvas de carga anual

Las curvas de carga anual están formadas por los valores de la demanda a la hora pico en cada mes, permiten una visualización de los crecimientos y variaciones de los picos mensuales y anuales. El análisis de las causas de estas variaciones debe conducir a conclusiones prácticas sobre el comportamiento del sistema y los factores que lo afectan [2].

1.3.7. Factor de demanda

El factor de demanda en un intervalo de tiempo t , de una carga, es la razón entre la D_{max} y la carga total instalada. El factor de demanda por lo general es menor que 1. En el caso de máquinas eléctricas recibe el nombre de factor de uso o de utilización [2].

$$F_{dem} = \frac{D_{max}}{Carga\ instalada} \leq 1 \quad (1.1)$$

1.3.8. Factor de carga

Es la razón entre la D_{prom} en un intervalo de tiempo dado y la D_{max} observada en el mismo intervalo de tiempo.

$$F_c = \frac{D_{prom}}{D_{max}} \quad 0 < F_c \leq 1 \quad (1.2)$$

1.3.9. Factor de potencia

Es la relación entre la potencia activa (W, kW o MW) y la potencia aparente (VA, kVA, MVA), determinada en el sistema o en uno de sus componentes [2].

1.4. Factores que influyen en el pronóstico de demanda de energía eléctrica

Existen varios factores que influyen en el pronóstico de demanda de energía eléctrica, entre ellos podemos citar los más importantes:

1.4.1. Clima

Los factores climáticos influyen directamente en el comportamiento de la demanda de electricidad. Ecuador es un país climatológicamente diverso en sus regiones. Cada zona climática presenta sólo dos estaciones definidas: la húmeda y la seca. Tanto en la Costa como en el Oriente, la temperatura oscila entre los 20 °C y 33 °C, mientras que en la Sierra, esta oscila entre los 3 °C y 26 °C.

La estación húmeda se extiende entre diciembre y mayo en la costa, entre noviembre a abril en la Sierra y de enero a septiembre en la Amazonía. Galápagos tiene un clima templado y su temperatura oscila entre 22 y 32 °C, aproximadamente.

1.4.2. Hábitos de consumo

Este es uno de los factor que tiene mayor influencia en cuanto al comportamiento del consumo de electricidad de la población, depende mucho de la carencia de cultura de ahorro o consumo eficiente del servicio, frecuencia de utilización de electrodomésticos, dispositivos de cómputo y comunicación principalmente, también incluye el comportamiento de los consumidores en las diferentes épocas del año, como por ejemplo: días festivos, laborales, fines de semana, fines de semana con festivos, semana santa o vacaciones.

1.4.3. Densidad de carga

Este parámetro nos indica cuánta es la carga por unidad de área. Es frecuentemente útil para medir las necesidades eléctricas de un área determinada. Se puede medir en kVA por metro cuadrado y se define como la carga instalada por unidad de área; el término voltio-amperio por pie cuadrado es usado también al referirse a la densidad de la carga, sin embargo, es limitado a edificios comerciales o plantas

industriales. Conociendo la densidad de carga y el área de la sección en estudio, se puede conocer el valor de la carga instalada.

1.4.4. Datos históricos

La información histórica es de vital importancia en la proyección de demanda de electricidad pues con estos podemos generar patrones de consumo, analizar su comportamiento año tras año y proyectarlo al futuro.

1.4.5. PIB

El PIB que es una magnitud macroeconómica que indica el crecimiento económico de un país, el crecimiento del PIB provoca un aumento en la demanda de electricidad debido a la mejora en el status socio-económico los habitantes de un país y los hogares adquirieren nuevos artefactos eléctricos, en su mayoría electrodomésticos, dispositivos electrónicos y además aumentan la frecuencia de utilización de los mismos.

1.5. Potencia y Energía

1.5.1. Potencia

La potencia se define como el trabajo realizado en una unidad de tiempo. La unidad básica de la potencia en el sistema internacional es el vatio (W) [7].

1.5.2. Energía

La energía (E) se define como la capacidad para realizar un trabajo, para medir la energía eléctrica se emplea la unidad kilovatio - hora (kWh), que se define como el trabajo realizado durante una hora por máquina que tiene una potencia de un kilovatio (kW) [7].

La energía eléctrica se divide principalmente en: renovable y no renovable.

1.5.2.1. Energía renovable

Es la que se obtiene de los recursos naturales que son ilimitados o se regeneran naturalmente [7].

Tabla 1: Tipos de Energías Renovables

Energías renovables	
Solar	Transforma la energía solar en eléctrica
Hidráulica	Transforma la alta presión del agua para producir electricidad
Eólica	Transforma la energía del viento en electricidad
Biomasa	Transforma la energía producto de la materia orgánica en electricidad
Mareomotriz	La energía del mar, mediante las olas y las corrientes marinas es transformada en electricidad.
Geotérmica	Transforma la energía calorífica de la tierra en electricidad.

1.5.2.2. Energía no renovable

Es la que se obtiene de los recursos naturales que son limitados y no se regeneran naturalmente [7].

Tabla 2: Tipos de Energías no Renovables

Energías no renovables	
Térmica	Transforma el combustible derivado de los hidrocarburos fósiles, petróleo, gas natural y carbón para producir electricidad.
Química	Transforma componentes químicos que es generalmente uranio para producir electricidad.

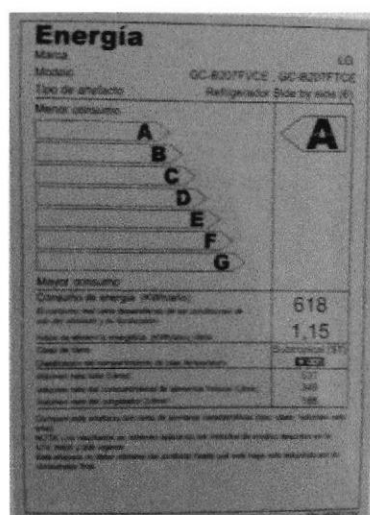
1.6. Eficiencia Energética

La eficiencia energética se define como las acciones realizadas para aprovechar de mejor manera la energía que requiere un componente

eléctrico para su funcionamiento y además reducir el consumo de la energía eléctrica y por ende su costo [7].

Por ejemplo, en el caso de una refrigeradora clase B es más eficiente que una de clase C.

Figura 1.2: Etiquetado de Eficiencia de Energía Eléctrica [2]



A++: Consumo de energía inferior al 30% (actualmente solo para frigoríficos).

A+: Entre el 30% y el 42% de la media (actualmente solo para frigoríficos).

A: Consumo de energía inferior al 55% de la media.

B: Entre el 55% y el 75% de la media.

C: Entre el 75% y el 90% de la media.

D: Entre el 90% y el 100% de la media.

E: Entre el 100% y el 110% de la media.

F: Entre el 110% y el 125% de la media.

G: Superior al 125% de la media.

1.6.1. Normativa internacional de sistema de gestión energética ISO 50001

La norma ISO 50001 establece un marco para las plantas industriales, instalaciones comerciales, institucionales y gubernamentales, y organizaciones enteras para gestionar la energía. Se estima que la norma, dirigida a una amplia aplicabilidad a través de los sectores económicos nacionales, podría influir hasta en un 60% del consumo de energía del mundo [5].

1.6.2. Importancia de la norma ISO 50001

Mejorar el rendimiento energético puede proporcionar beneficios rápidos a una organización, maximizando el uso de sus fuentes de energía y los activos relacionados con la energía, lo que reduce tanto el costo de la energía como el consumo [5].

1.6.3. Objetivos de la norma ISO 50001

- Ayudar a las organizaciones a aprovechar mejor sus actuales activos de consumo de energía.
- Crear transparencia y facilitar la comunicación sobre la gestión de los recursos energéticos.
- Promover las mejores prácticas de gestión de la energía y reforzar las buenas conductas de gestión de la energía.
- Ayudar a las instalaciones en la evaluación y dar prioridad a la aplicación de nuevas tecnologías de eficiencia energética.
- Proporcionar un marco para promover la eficiencia energética a lo largo de la cadena de suministro.
- Facilitar la mejora de gestión de la energía para los proyectos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.
- Permitir la integración con otros sistemas de gestión organizacional, como ser el ambiental, y de salud y seguridad.

El propósito de esta norma es permitir a las organizaciones a establecer los sistemas y procesos necesarios para

mejorar el rendimiento energético, incluyendo la eficiencia energética, uso y consumo. La aplicación de esta norma tiene la finalidad de conducir a reducciones en las emisiones de gases de efecto invernadero, el costo de la energía, y otros impactos ambientales relacionados, a través de la gestión sistemática de la energía [5].

1.7. Objetivos generales

Estudiar el comportamiento del consumo de energía eléctrica y familiarizarte con herramientas como Excel ® para el modelamiento y proyecciones.

1.8. Objetivos específicos

- Encontrar las características de consumo de energía eléctrica de los usuarios de Santa Elena.
- Establecer proyecciones de consumo de energía eléctrica.
- Identificar posibles planes de ahorro de energía.

- Establecer las curvas de eficiencia energética de los consumos de energía en Santa Elena.

1.9. Resultados esperados

- Entender el comportamiento del consumo de energía eléctrica en Santa Elena.
- Establecer un modelo del consumo de energía eléctrica, que alcance una confianza adecuada y un error aceptable.
- Que el modelamiento de consumo de energía eléctrico, sea capaz de proyectar la demanda para cada sector y época del año.

CAPÍTULO 2

2. INFORMACIÓN GENERAL

En este capítulo se realiza una descripción de la situación actual referente al consumo eléctrico de energía en el Ecuador según el Plan Maestro de Electrificación 2013 – 2022 obtenido del CONECEL. Además se citan los principales datos estadísticos de la provincia de Santa Elena tales como

2.1. Situación actual del sector eléctrico ecuatoriano

El sector eléctrico ecuatoriano, es considerado como estratégico debido a su influencia directa con el desarrollo productivo del país.

Los requerimientos energéticos en el Ecuador son abastecidos mayoritariamente por hidrocarburos fósiles, los que suplieron en el año 2012 el 79% de la demanda de energía, mientras que el 10% de la energía requerida fue abastecida por electricidad, un 6% de la energía requerida fue cubierta por no energéticos y un 5% fue cubierto por fuentes primarias (leña y productos de caña) [1].

Tabla 3: Fuentes de consumo de energía del ecuador 2012

Fuentes de consumo	kBep	%
Electricidad	8.578	10
Hidrocarburos	66.578	79
No Energético	4.865	6
Combustibles Renovables	3.928	5
TOTAL	83.950	100

En la tabla 3 se representa la participación de los sectores en el consumo energético total, es decir, tomando en cuenta electricidad y combustibles [1].

2.2. Consumo del sector eléctrico

Las empresas distribuidoras son las encargadas de distribuir y comercializar la energía, actualmente se cuenta con 11 empresas distribuidoras, incluida CNEEL - EP, conformada por 10 unidades de negocio. A continuación se muestra el consumo de energía de las 10 empresas distribuidoras y las 10 unidades de negocio [1].

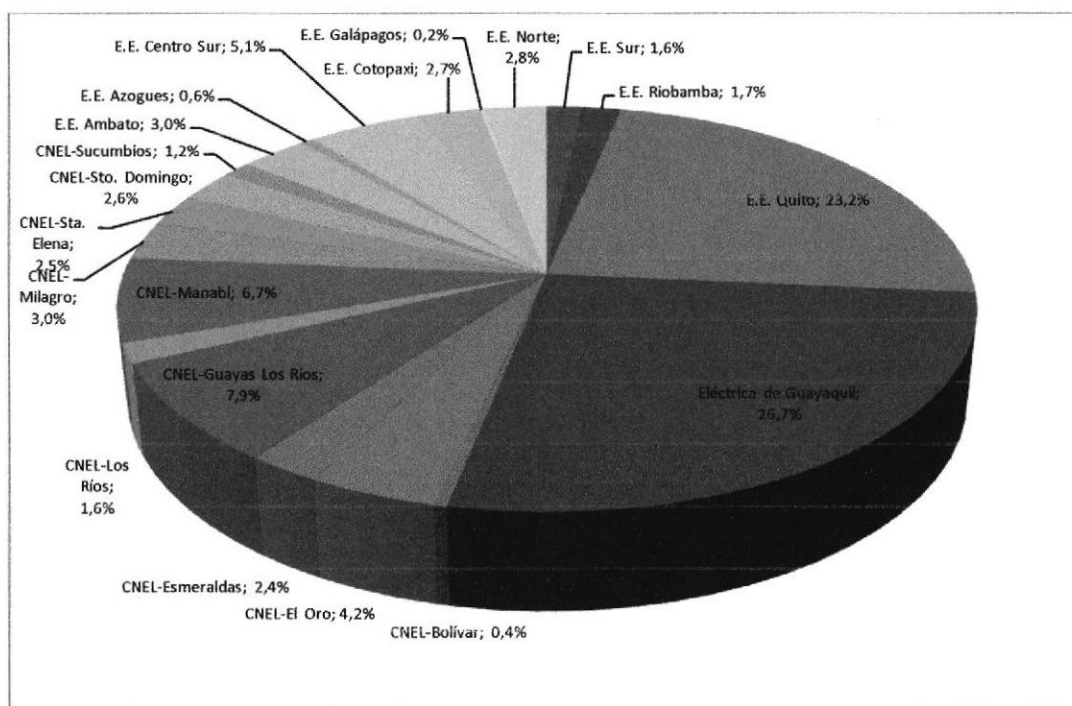


Figura 2.1: Distribución del consumo Eléctrico en Ecuador [3]

El consumo total de energía por categoría de consumo, se la presenta en la figura 2.2., en la que se puede observar que la categoría residencial representa un 35%, la categoría industrial un 31%, la categoría comercial un 20%, el servicio de alumbrado público general un 5%, y finalmente se agrupa al consumo de los subsectores (asistencia social, bombeo de agua, entre otros), el mismo que obedece al 9% del consumo eléctrico nacional.

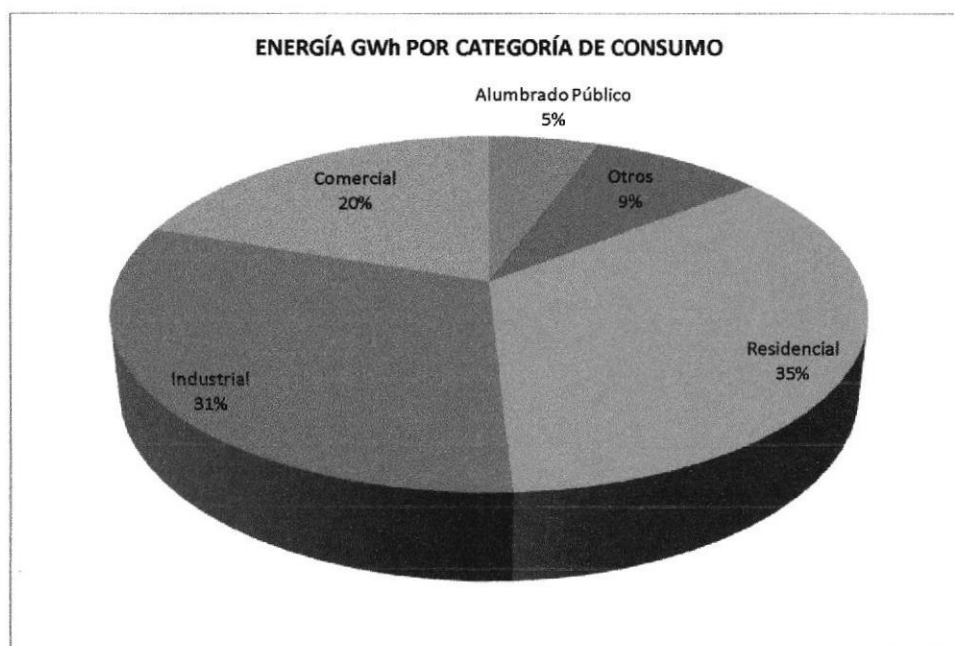


Figura 2.2: Distribución del consumo por categorías de consumo [3]

Se debe tener en cuenta el comportamiento de cada grupo de consumo, para poder determinar cuáles son los factores de responsabilidad sobre la demanda total [1].

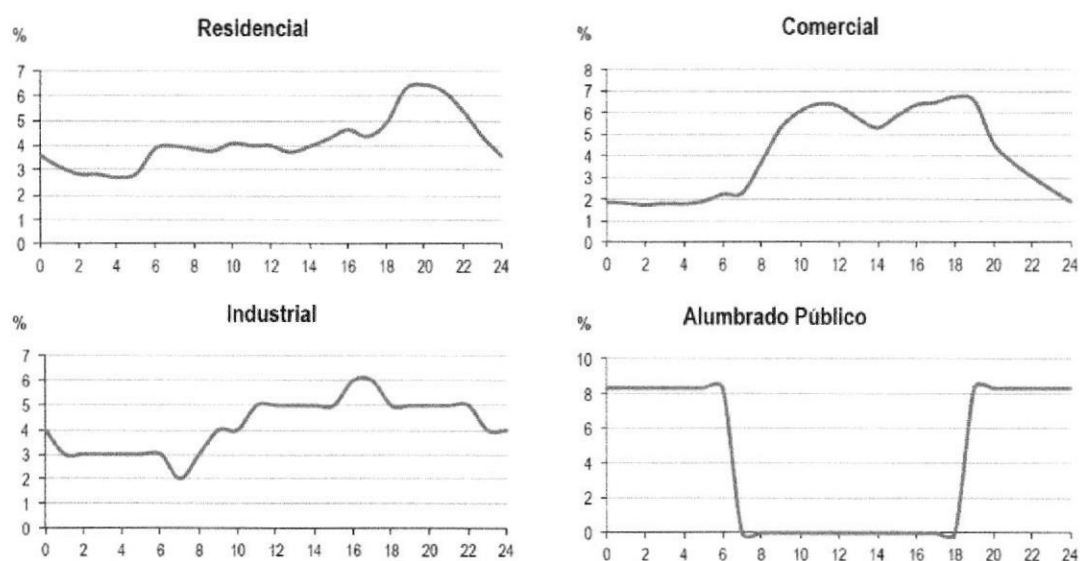


Figura 2.3: Curvas de demanda típicas por grupos de consumo [3]

2.3. Antecedentes de la Eficiencia Energética en Ecuador

En 1994, el INECEL da las primeras acciones y directrices basadas en la implementación del Programa de Administración de la Demanda y

Uso Eficiente de Energía Eléctrica, sin embargo, no se concentraron las acciones debido a su desaparición en el año 1998 [1].

A partir de 2000, el Ministerio de Energía y Minas con el apoyo del CONELEC, implementa programas de acciones educativas y publicitarias impulsando el uso de focos fluorescentes compactos.

En 2007 se creó el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, MEER, dentro del orgánico funcional del MEER, se cuenta con la Subsecretaría de Energía Renovable y Eficiencia Energética; y a su vez dentro de esta Subsecretaría, se creó la Dirección Nacional de Eficiencia Energética, que es la dependencia directamente a cargo de esta función.

En 2012 se creó por Decreto Ejecutivo el Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables - INER, como una instancia de apoyo científico - técnico al MEER, para el desarrollo de políticas y proyectos en el campo de la eficiencia energética, siendo de mucha trascendencia su misión de generadora de prototipos para la eficiencia. Reforzando la aplicación de nuevos proyectos para la educación y el fortalecimiento de capacidades de investigación e innovación de la Eficiencia Energética [1].

2.4. La provincia de Santa Elena

2.4.1. Ubicación

Santa Elena es una provincia de la costa de Ecuador creada el 7 de noviembre de 2007, su capital es la ciudad de Santa Elena; se encuentra ubicada en la parte occidental de la Provincia de Santa Elena, en la puntilla de Santa Elena, que es el extremo occidental del Ecuador continental (ver anexo A).

2.4.2. Población

Según el censo del 2010, la población de la provincia de Santa Elena es de 308.693 habitantes, la provincia consta con 3 cantones: La Libertad, Salinas y Santa Elena [6].

Tabla 4: Población de la provincia de Santa Elena.

Cantón	Población (2010)	Área (km²)
La Libertad	95.942	26
Salinas	68.675	97
Santa Elena	144.076	3.880

Entre sus poblaciones más destacadas constan:

La Libertad, Salinas, Santa Elena, Manglaralto, Montañita, Ancón, Anconcito, Atahualpa, Colonche, José Luis Tamayo, Chanduy, Simón Bolívar, entre otros.

2.4.3. Clima

La ciudad es de clima árido o desértico debido a un ramo de la corriente de Humboldt pasando por la península. Su promedio anual de precipitación es entre 125 a 150 mm, es así una de las ciudades ecuatorianas más secas. Tiene dos temporadas, la lluviosa y la seca. La temporada seca cae entre los meses de enero hasta abril y la lluviosa en los meses restantes. Las temperaturas oscilan entre los 20 y 35° C [6].

2.4.4. Datos estadísticos de la estructura de la población económicamente activa

Es importante conocer los datos estadísticos de los habitantes de la provincia de Santa Elena que influyen en el

consumo de energía eléctrica, como lo es la distribución de la población económicamente activa (tabla 5), el porcentaje de ocupación y ocupación de los habitantes de la provincia de Santa Elena (figura 2.5.).

Tabla 5: Estructura de la población económicamente activa

Distribución de la población económicamente activa	
Población Total (PT)	308.693
Población en Edad de Trabajar (PET)	237.679
Población Económicamente Activa (PEA)	108.930
Población Económicamente Inactiva (PEI)	128.749

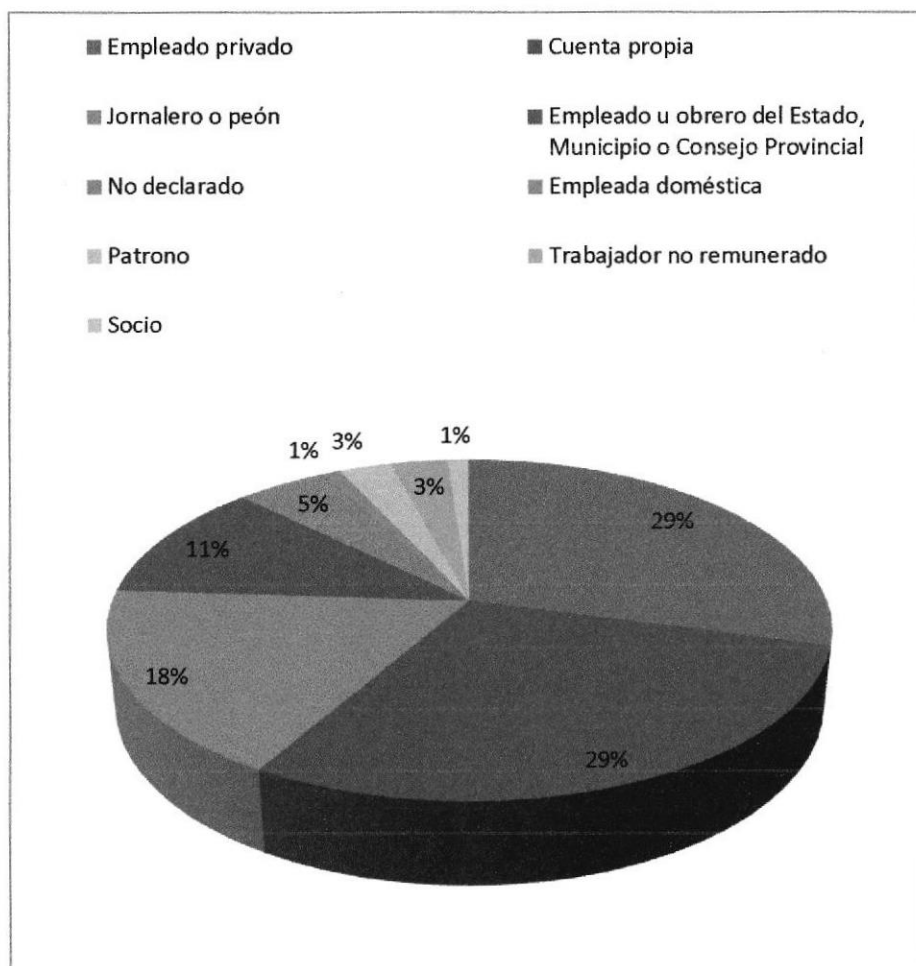
Figura 2.4: Porcentaje de ocupación por habitantes de Santa Elena [4]

Tabla 6: Ocupación de los habitantes de Santa Elena

Hombre	%	Mujer	%
Oficiales, operarios y artesanos	21,5	Oficiales, operarios y artesanos	6,5
Ocupaciones elementales*	18,2	Técnicos y profesionales del nivel medio	3,8
Trabajadores de los servicios y vendedores	17,6	Directores y gerentes	2
Agricultores y trabajadores calificados	16,1	Agricultores y trabajadores calificados	1,8
Operadores de instalaciones y maquinaria	8,3	Operadores de instalaciones y maquinaria	1,2
No declarado	5,8	Ocupaciones militares	0,1
Personal de apoyo administrativo	4	Trabajadores de los servicios y vendedores	30,1
Profesionales, científicos e intelectuales	3,1	Ocupaciones elementales*	23,1
Técnicos y profesionales del nivel medio	2,7	Profesionales, científicos e intelectuales	11,5
Ocupaciones militares	1,5	No declarado	10,2
Directores y gerentes	1,3	Personal de apoyo administrativo	9,8
*Se refiere a limpiadores, asistentes domésticos, vendedores ambulantes, peones agropecuarios, pesqueros o de minería, etc.			

2.4.5. Tipos de viviendas en Santa Elena

Según las estadísticas del censo del 2010, Santa Elena tiene un total de 101.893 viviendas particulares y colectivas.

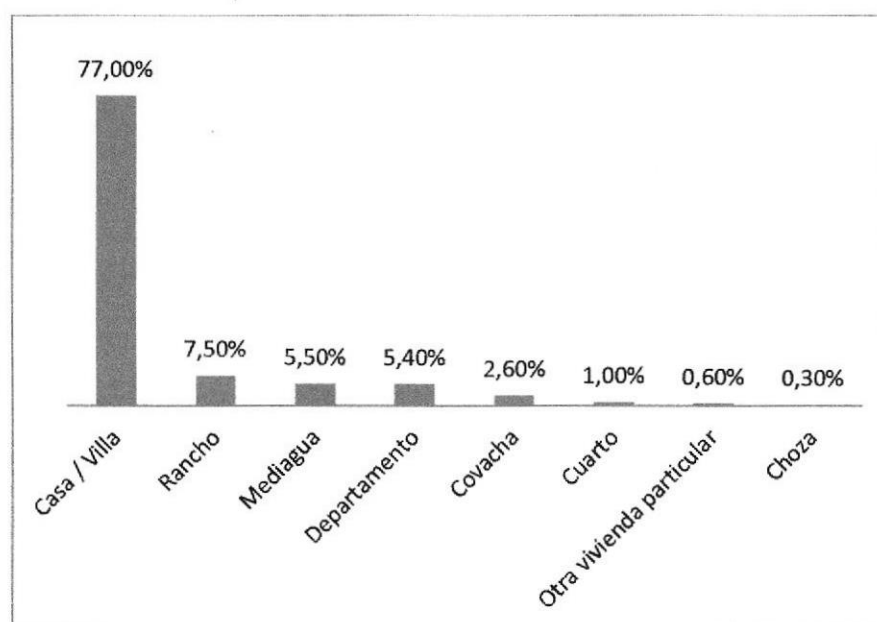


Figura 2.5: Porcentaje de tipos de vivienda en Santa Elena [4]

2.4.1. Viviendas con servicio eléctrico.

La tabla 8 muestra la cantidad de viviendas que poseen el servicio de electricidad.

Tabla 7: Viviendas con servicio eléctrico

Servicio eléctrico	
Con servicio eléctrico público	65.404
Sin servicio eléctrico y otros	8.911

CAPÍTULO 3

3. PROPUESTA

3.1. Introducción a la propuesta

La propuesta consiste en desarrollar un modelo matemático característico de la demanda eléctrica de la provincia de Santa Elena, mediante la información almacenada en cinco medidores totalizadores,

los cuales se encuentran ubicados en diferentes zonas de la provincia de Santa Elena.

A partir de los datos de los medidores graficar la demanda de energía eléctrica de cada medidor durante dos meses analizar el comportamiento del consumo diario, semanal y elegir un modelo matemático característico del consumo eléctrico y poder comparar los datos obtenidos entre los demás medidores evaluados.

3.2. Información de los medidores totalizadores

Para analizar el comportamiento del consumo de energía eléctrica en la provincia de Santa Elena se realizó la descarga de los datos almacenados en 5 medidores totalizadores, que se encuentran detallados en la tabla 9.

Tabla 8: Información de los medidores totalizadores

Medidor	Dirección/Ubicación	Coordenadas (Latitud, Longitud)	Subestación	Alimentador	No. de usuarios
4S206506	Av. 28 y calle 3 y 5 - La Libertad	-2.2367884802231712, -80.89654720192514	San Vicente	Suburbio	49
4S206507	Av. 27 y calle 3 y 5A - La Libertad	-2.235883774997769, -80.89670015536892	San Vicente	Suburbio	35
4S206508	Av. 27 y calle 3 y 7 - La Libertad	-2.235874616271427, -80.89513528113023	San Vicente	Suburbio	24
4S206513	Av. 29 y calle 3 y 5 - La Libertad	-2.237349435351513, -80.89698784623086	San Vicente	Suburbio	28
4S206595	Av. 13 calle 20 y 21 - La Libertad	-2.22884589143787, -80.90886884265632	Carolina	Municipio	35

Los medidores totalizadores almacenan los datos de potencia activa (P) durante 2 meses, registrados cada 15 minutos. Se descargó la información de los cinco medidores totalizadores mencionados en la tabla anterior en el intervalo de fechas desde el 14/Octubre/2014 hasta 13/Diciembre/2014.

La ubicación de los medidores totalizadores se encuentra descrita en la tabla 9. con las coordenadas de latitud y longitud, mientras que el gráfico de la ubicación geográfica se encuentra en el anexo B.

3.3. Medidor totalizador

Es el medidor que registra la energía total entregada a un predio o inmueble, en cuyo interior se ha instalado un conjunto de medidores.

[4]

3.3.1. Función del medidor totalizador

El Medidor Totalizador es aquel que realiza la medición integral de la potencia y la energía entregada por la Empresa a un edificio o conjunto de edificios ubicados en un predio y en el que existan múltiples usuarios del servicio eléctrico, asociados a su vez con otros medidores individuales [4].

3.3.2. Datos obtenidos de los medidores totalizadores.

Con la información de los medidores totalizadores, se obtuvieron las siguientes curvas de demanda, para realizar las gráficas por hora se tomó el valor de potencia máxima durante cada hora:

- Curva diaria de la demanda a lo largo del intervalo completo con registros cada 15 minutos.
- Curva diaria de la demanda a lo largo del intervalo completo con registros cada hora.
- Curva diaria de la demanda superpuestas, es decir solo se graficará en un día (las 24 horas, hora por hora) la potencia de todos los días del intervalo total.
- Curva de la demanda máxima diaria por hora, resultados de los picos de potencia de cada hora durante el intervalo total de días registrados.
- Curva semanal de la demanda a lo largo del intervalo completo con registros cada 15 minutos.
- Curva semanal de la demanda a lo largo del intervalo completo con registros cada hora.
- Curva de corriente hallada a partir de la potencia registrada cada 15 minutos, mediante la formula $I = \frac{P}{V}$, asumiendo un valor de voltaje fijo de 220 V.
- Curva diaria de la demanda promedio a lo largo del intervalo completo con registros cada hora.

- Curvas características de demanda de cada día de la semana, con su respectivo modelo matemático generado a partir de un modelo de regresión lineal de tipo polinomial de grado 6, que es el modelo que tiene mayor aproximación a la curva real.
- Curva de los valores máximos de potencia registrados en el día durante los dos meses, con su predicción aplicando un modelo de regresión de tipo lineal, se realizó una proyección de la demanda a un horizonte de 1 año.

3.4. Curvas obtenidas con el medidor E4S206506

Con los datos almacenados en el medidor totalizador 4S06506, se graficaron diferentes curvas relacionadas con el consumo de energía eléctrica. En la figura 3.1. se muestra la curva de demanda diaria medida cada 15 minutos en el medidor totalizador en el periodo completo, también se realizó el gráfico de esta misma curva pero registrando los valores máximos de potencia por hora (ver anexo K) en donde al haber menos valores muestreados la curva se suaviza.

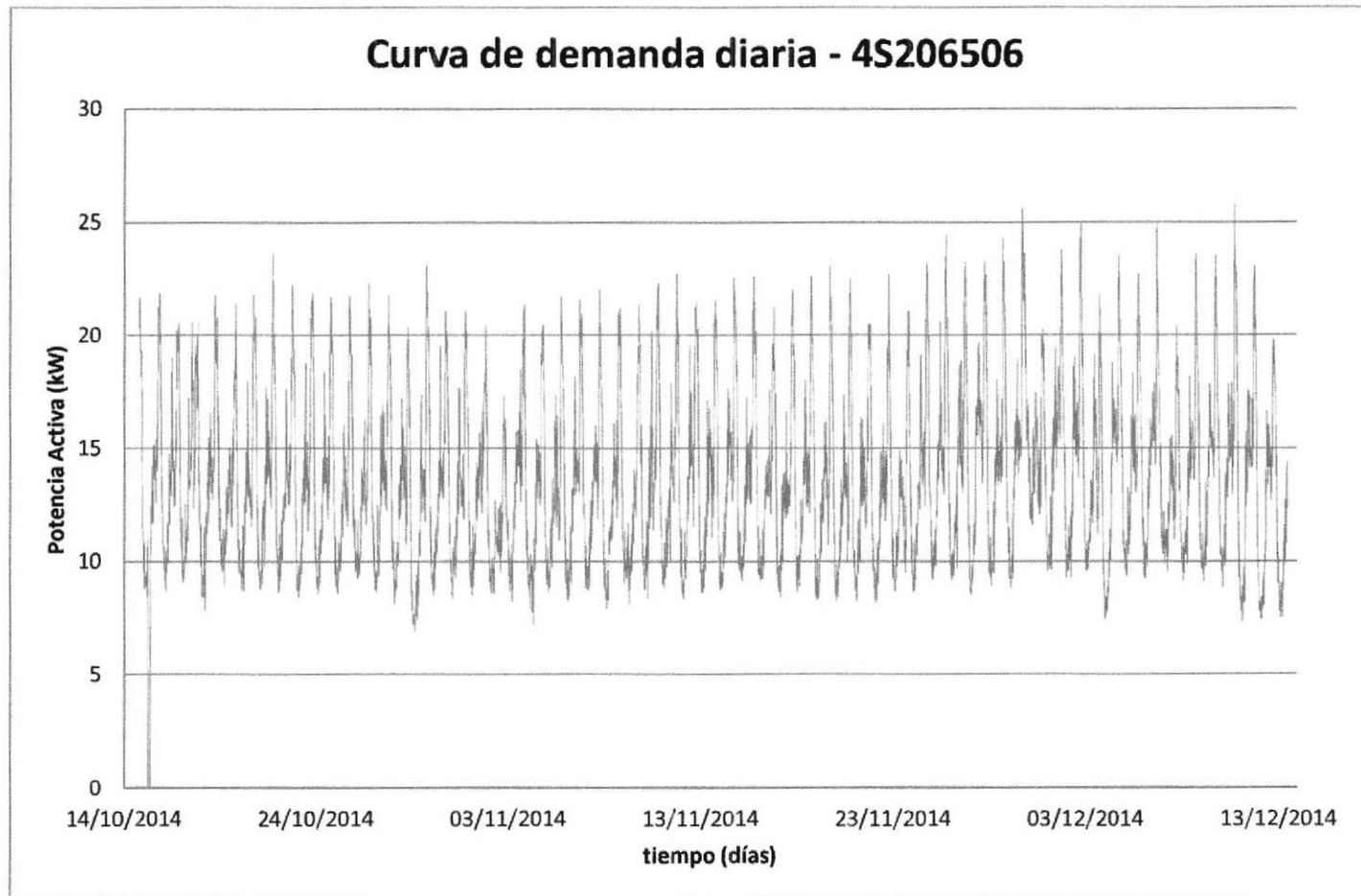


Figura 3.1: Curva de demanda diaria muestreada cada 15 minutos [2]

Se grafica la curva de energía con registros diarios por hora para tener una curva más suavizada y por ende poder hallar con más precisión la curva característica de demanda para este medidor. Adicionalmente se graficaron las curvas de demanda semanales con registros cada 15 minutos y también con los máximos en cada hora, siguiendo los mismos parámetros para suavizar la curva (ver anexo M y N).

Además se graficaron las curvas de demanda máxima por día superpuestas (figura 3.2), en donde se las 24 horas del día, la curva diaria de todo el intervalo muestreado, de igual manera se realizó la diferenciación del registro de datos cada 15 minutos y cada hora (ver anexo L). Se registró además la corriente que pasa por el medidor totalizador, se calculó un promedio entre todos los usuarios de este transformador de distribución al cual está conectado el medidor, y mediante la fórmula $I=P/V$, se calcula la corriente a partir de la potencia registrada cada 15 minutos, asumiendo un valor de voltaje fijo de 220 V.

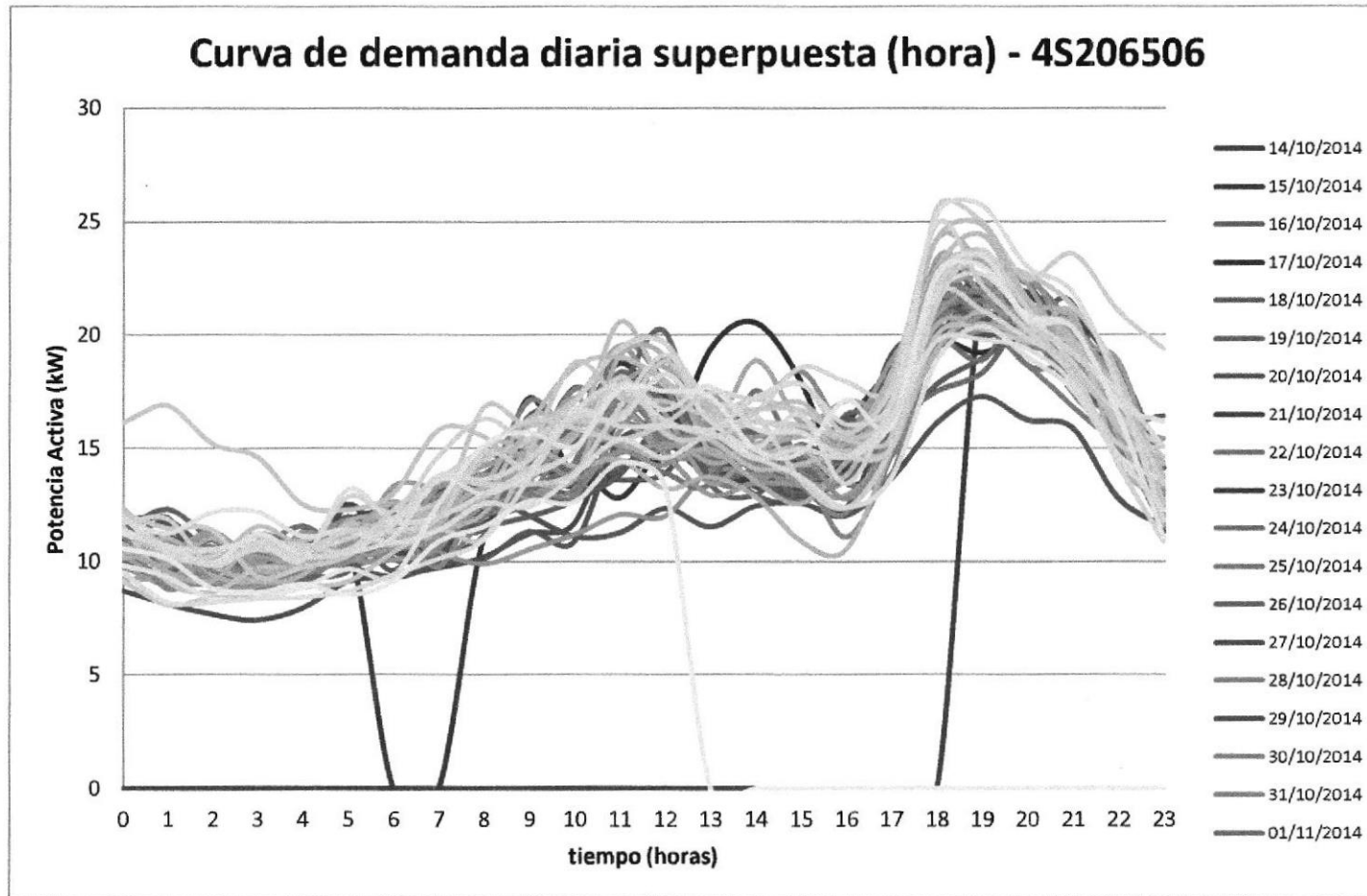


Figura 3.2: Curva de demanda diaria superpuesta hora a hora [2]

Se evaluó cada día registrado en el medidor totalizador en el intervalo completo y se determinó la demanda máxima por hora de cada día, esta gráfica se registró en la figura 3.3,

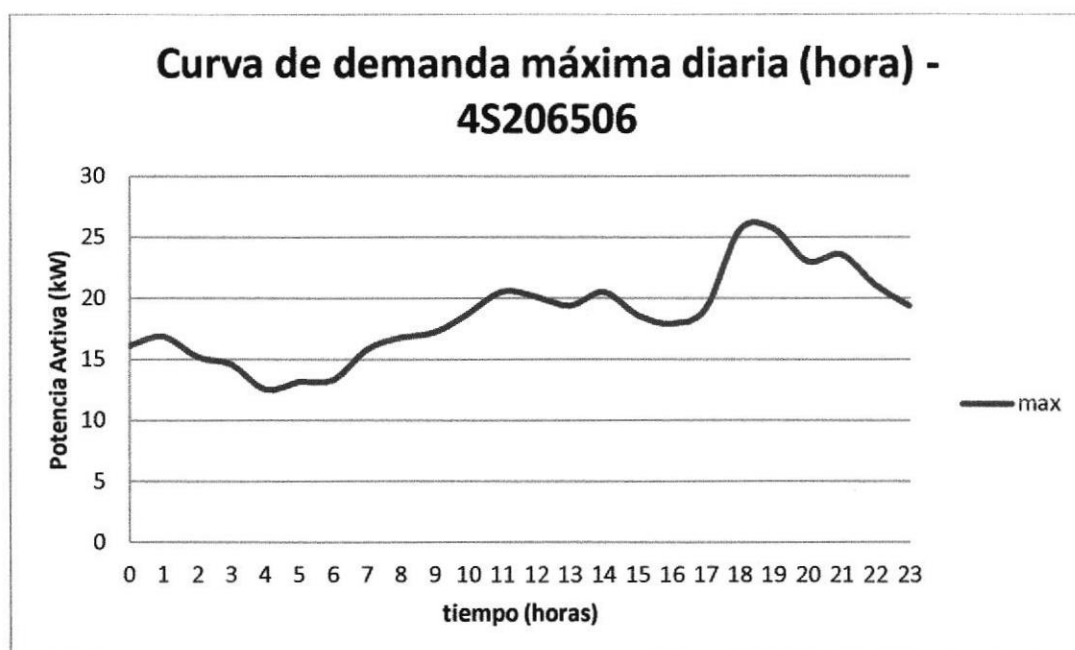


Figura 3.3: Curva de demanda máxima diaria hora a hora [2]

Se realizó un gráfico del comportamiento diario de la demanda, para determinar las características de cada día de la semana las similitudes y diferencia de patrones de consumo de energía eléctrica dependiendo de cada hora (figura 3.4).

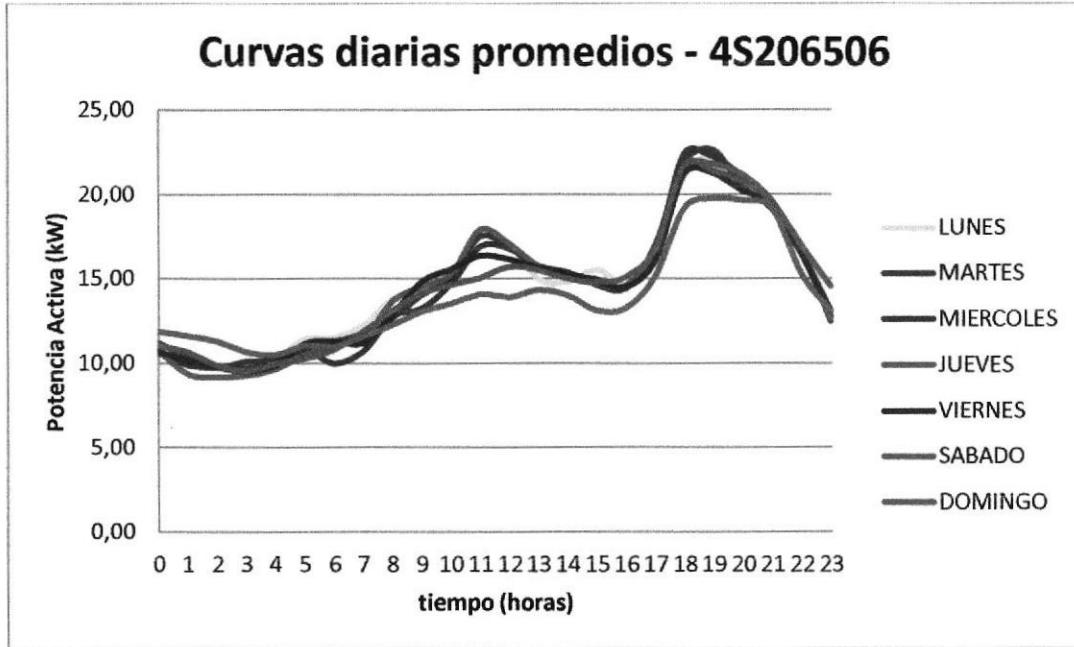


Figura 3.4: Curvas diarias promedio [2]

Además se graficó y se estima un modelo matemático generado a partir de un modelo de regresión lineal de tipo polinomial de grado 6, que es el modelo que tiene mayor aproximación a la curva real, luego se grafica la curva de los valores máximos de potencia registrados en el día durante los dos meses, con su predicción aplicando un modelo de regresión de tipo lineal, se realizó una proyección de la demanda a un año.

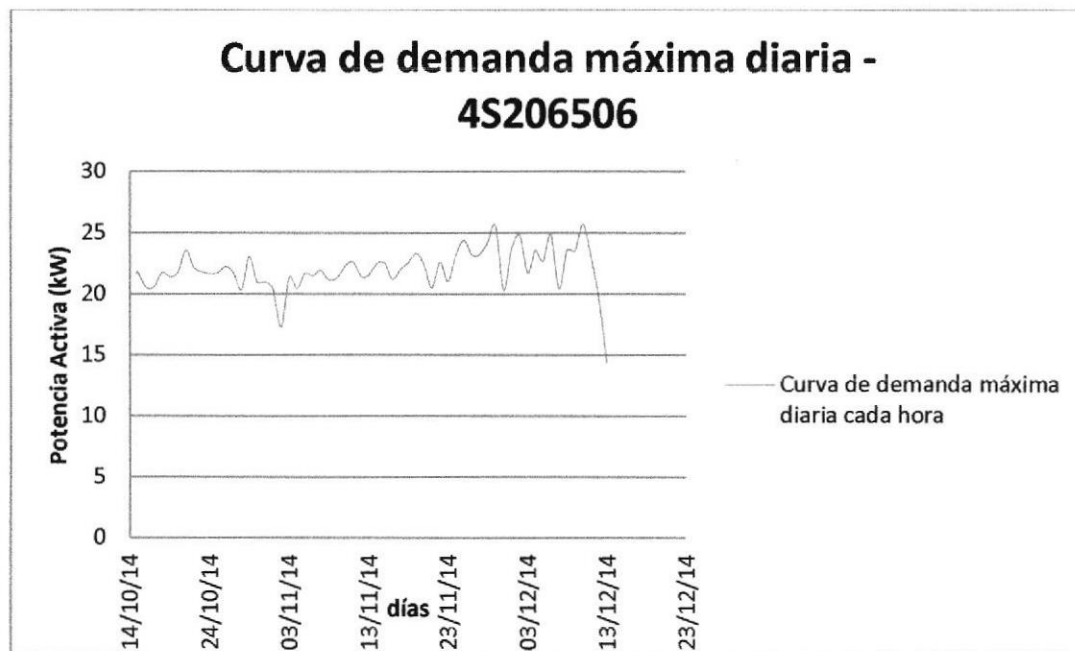


Figura 3.5: Curva de la demanda máxima diaria [2]

En la figura 3.5 se muestra la demanda máxima por día, se evaluó cada día y se tomó el mayor consumo de potencia y se graficó, esta curva nos sirve para realizar una proyección de la demanda en un horizonte de 1 año.

3.5. Modelos y herramientas a utilizar

3.5.1. Modelo matemático

Un modelo matemático es donde se emplea algún tipo de formulismo matemático para expresar parámetros, relaciones, variables, operaciones, etc. para estudiar comportamientos de sistemas complejos ante situaciones difíciles de observar en la realidad [3].

3.5.2. Coeficiente de determinación

Es el coeficiente que mide la proporción de cambio de una variable dependiente con respecto a las variables independientes, a través de un modelo de regresión. Entre más cercano a uno mejor es el ajuste. Se calcula de la siguiente forma:

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (3.1)$$

Dónde:

Y_i = Valor observado

\bar{Y} = Media

\hat{Y}_i = Valor estimado en la regresión

Toma el mismo valor cuando usamos a X para predecir a Y o cuando usamos a Y para predecir X.

3.5.3. Criterios de aceptación

Existen dos criterios básicos de aceptación:

- 1) El grado de ajuste de una función es aceptable cuando
$$R^2 \geq 0,8$$
- 2) Si varias funciones cumplen con esta condición se elige la que se más se aproxime a 1.

3.5.4. Coeficiente de correlación

En probabilidad y estadística, la correlación indica la fuerza y la dirección de una relación lineal y proporcionalidad entre

dos variables estadísticas. Se considera que dos variables cuantitativas están correlacionadas cuando los valores de una de ellas varían sistemáticamente con respecto a los valores de la otra, es decir si tenemos dos variables (A y B) existe correlación si al aumentar los valores de A lo hacen también los de B y viceversa.

En síntesis podemos definir el coeficiente de correlación de como un índice que puede utilizarse para medir el grado de relación entre dos variables que sean cuantitativas [3].

3.5.5. Modelo lineal

El modelo lineal está relacionado con la conexión con modelos de regresión y el término a menudo se toma como un sinónimo del modelo de regresión lineal. Sin embargo, también se considera un análisis de series de tiempo con un significado diferente. La denominación "lineal" es usada para identificar una subclase de modelos para los cuales la reducción en complejidad de la teoría estadística relacionada es posible [3].

3.5.6. Modelos no lineales

Existen modelos llamados modelos no lineales. De manera general existen tres tipos de modelos no lineales.

3.5.7. Métodos de regresión simple

Los modelos o métodos de regresión son una función matemática que intenta modelar probabilísticamente a una variable de estudio en relación a uno o más predictores de interés.

En el método de regresión simple hay solo una variable independiente y dependiente.

3.5.8. Regresión lineal

Una línea recta es el modelo gráfico más sencillo para relacionar una variable dependiente con una sola variable independiente. Este método consiste en encontrar la

ecuación de la recta que mejor se ajuste al conjunto de puntos de datos XY , es decir, calcula la suma de las distancias al cuadrado entre los puntos reales y los puntos definidos por la recta estimada a partir de las variables introducidas en el modelo, de forma que la mejor estimación será la que minimice estas distancias. A esta línea se le conoce como la línea de regresión [3].

$$Y = b_0 + b x + \varepsilon \quad (3.2)$$

Donde:

b_0 = Intersección en eje Y cuando

b = Pendiente de la recta, representa la cantidad de cambio en Y al incrementar X en una unidad.

ε = Diferencia entre el valor real y el valor estimado o pronosticado

El método empleado para determinar los valores de b_0 y b se conoce como Método de Mínimos cuadrados, este

encuentra la mejor relación lineal entre variable independiente y dependiente [3].

El cálculo de estos coeficientes se realiza así:

$$Y_i = \hat{b}_0 + \hat{b} X_i + \varepsilon_i \quad (3.3)$$

$$Y_i = \hat{Y}_i + \varepsilon_i \quad (3.4)$$

$$\sum \varepsilon_i^2 = \sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2 = \sum (Y_i - \hat{b}_0 - \hat{b} X_i)^2 \quad (3.5)$$

$$\min \sum \varepsilon_i^2 = \min \sum (Y_i - \hat{b}_0 - \hat{b} X_i)^2 \quad (3.6)$$

$$E = \sum (Y_i - \hat{b}_0 - \hat{b} X_i)^2 \quad (3.7)$$

$$\frac{\partial E}{\partial b_0} = 0 \quad \frac{\partial E}{\partial b} = 0 \quad (3.8)$$

Se deriva la anterior expresión con respecto a \hat{b}_0 y \hat{b} se iguala a cero respectivamente, se resuelven las ecuaciones y se encuentran los estimadores de los parámetros de la regresión:

$$b = \frac{n(\sum_{i=1}^n X_i Y_i) - (\sum_{i=1}^n X_i)(\sum_{i=1}^n Y_i)}{n(\sum_{i=1}^n X_i^2) - (\sum_{i=1}^n X_i)^2} \quad (3.9)$$

$$b_0 = \frac{(\sum_{i=1}^n Y_i) - b(\sum_{i=1}^n X_i)}{n} \quad (3.10)$$

Error residual = Valor observado - Valor pronosticado

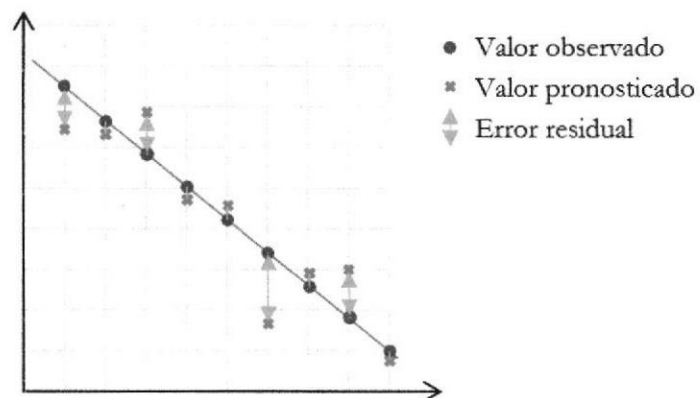


Figura 3.6: Regressão Linear [5]

3.5.9. Regressão polinomial

Describe a relação que existe entre a variável independente X e dependente Y , dicha relação não é linear, é de grau m .

El problema estriba en la determinación de los coeficientes $b_0, b_1, b_2, \dots, b_m$ por lo que se procede de la siguiente forma:

$$E = \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 \quad (3.11)$$

$$E = \sum_{i=1}^n (Y_i - b_0 - b_1 X - b_2 X^2 - \dots - b_m X^m)^2 \quad (3.12)$$

$$\frac{\partial E}{\partial b_i} = 0 \quad (3.13)$$

Las $(m + 1)$ ecuaciones con $(m + 1)$ incógnitas resultantes son:

$$\sum_{i=1}^n Y_i = nb_0 - b_1 \sum_{i=1}^n X_i + b_2 \sum_{i=1}^n X_i^2 + \dots + b_m \sum_{i=1}^n X_i^m \quad (3.14)$$

$$\sum_{i=1}^n Y_i X_i = b_0 \sum_{i=1}^n X_i + b_1 \sum_{i=1}^n X_i^2 + b_2 \sum_{i=1}^n X_i^3 + \dots + b_m \sum_{i=1}^n X_i^{m+1} \quad (3.15)$$

$$\sum_{i=1}^n Y_i X_i^{k-1} = b_0 \sum_{i=1}^n X_i^{k-1} + b_1 \sum_{i=1}^n X_i^k + b_2 \sum_{i=1}^n X_i^{k+1} + \dots + b_m \sum_{i=1}^n X_i^{k+m+1} \quad (3.16)$$

$$\sum_{i=1}^n Y_i X_i^m = b_0 \sum_{i=1}^n X_i^m + b_1 \sum_{i=1}^n X_i^{m+1} + b_2 \sum_{i=1}^n X_i^{m+2} + \dots + b_m \sum_{i=1}^n X_i^{2m} \quad (3.17)$$

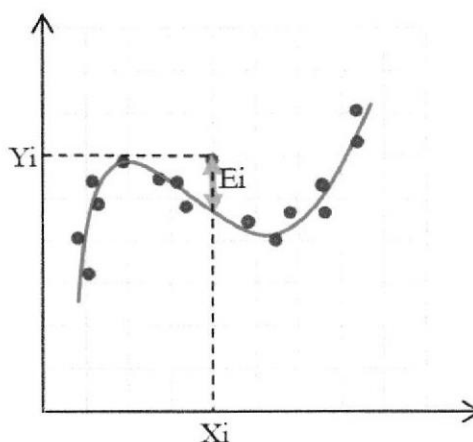
Las cuales deberán ser resueltas por cualquier método para ecuaciones algebraicas lineales para obtener los coeficientes $b_0, b_1, b_2, \dots, b_m$

$$\begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n X_i^0 & \sum_{i=1}^n X_i^1 & \sum_{i=1}^n X_i^2 & \dots & \sum_{i=1}^n X_i^m \\ \sum_{i=1}^n X_i^1 & \sum_{i=1}^n X_i^2 & \sum_{i=1}^n X_i^3 & \dots & \sum_{i=1}^n X_i^{m+1} \\ \sum_{i=1}^n X_i^2 & \sum_{i=1}^n X_i^3 & \sum_{i=1}^n X_i^4 & \dots & \sum_{i=1}^n X_i^{m+2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sum_{i=1}^n X_i^m & \sum_{i=1}^n X_i^{m+1} & \sum_{i=1}^n X_i^{m+2} & \dots & \sum_{i=1}^n X_i^{2m} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n Y_i X_i^0 \\ \sum_{i=1}^n Y_i X_i^1 \\ \sum_{i=1}^n Y_i X_i^2 \\ \vdots \\ \sum_{i=1}^n Y_i X_i^m \end{bmatrix} \quad (3.18)$$

$$\sum_{i=1}^n X_i^0 = n \quad (3.19)$$

Por otra parte el error de regresión está dado por la expresión:

$$E_{Y/X} = \sqrt{\frac{E}{n-(m+1)}} \quad (3.20)$$

Figura 3.7: Regresión Polinomial [5]

3.6. Tendencia

Es la componente que recoge el comportamiento de una serie a determinado plazo, requiere que la serie conste de un elevado número de observaciones, para de esta forma apreciar un movimiento creciente o decreciente o estacionalidad. En el caso de la demanda de energía eléctrica la tendencia se puede tomar en periodos semanales, mensuales o anuales y son movimientos lineales o exponenciales relacionado con el constante crecimiento de los usuarios [3].

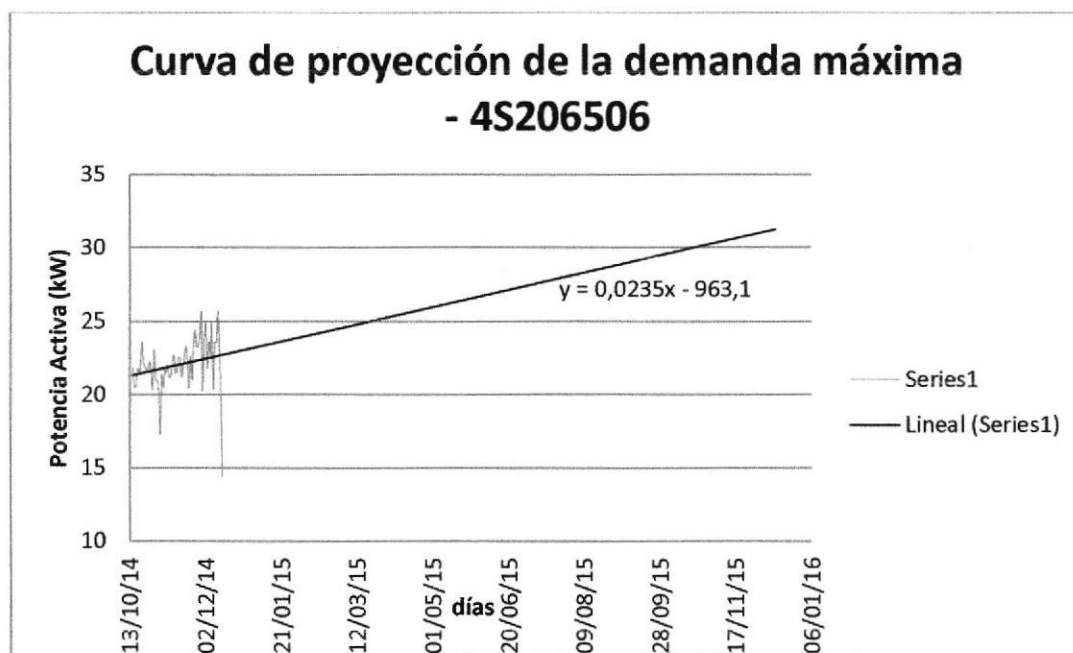


Figura 3.8: Curva de la tendencia de la demanda máxima [2]

En la figura 3.8 se graficó la potencia máxima en el intervalo y se proyectó el consumo de potencia a un horizonte de 1 año, hallando la ecuación característica aplicando una el modelo de regresión lineal, luego de ello se reemplazó en la ecuación característica el valor de X que sería el día 13 de diciembre del 2015 y el resultado fue 32.15 kW (figura 3.9)



Figura 3.9: Curva de proyección de la demanda máxima [2]

CAPÍTULO 4

4. Análisis de resultados

El medidor totalizador realiza el registro de la demanda cada 15 minutos, mediante medición indirecta y su factor de multiplicación es de 40.

El medidor totalizador registra la potencia activa cada 15 minutos, pero existe una variación significativa, por lo que se tomó la demanda máxima durante cada hora para su graficar las curvas de demanda diaria.

Debido a que este medidor totalizador registra datos únicamente de dos meses, el 14 de Octubre del 2014 existen datos a partir de las 18:30 horas y del 13 de Diciembre del 2014 hasta las 12:15.

El día 15 de Octubre/14 desde las 05:45 hasta las 08:15 horas, se registró una potencia de cero a causa de un apagón por el sector durante este periodo.

Durante este periodo se registró una potencia máxima de 25,736 (kW) y una mínima de 0 (kW) debido al apagón mencionado anteriormente.

Las curvas de demanda diaria mantienen la misma tendencia, con poca variación entre ellas, destacando el aumento del consumo eléctrico en las primeras horas de la madrugada del domingo hasta aproximadamente las 04:00, posteriormente es notable la disminución del consumo eléctrico en el resto del día hasta las 21:00 luego se mantiene la misma tendencia con respecto a los demás días de la semana.

Se halló el modelo para cada día de la semana, tomando el promedio de los datos muestreados por día (hora por hora).

Tabla 9: Ecuaciones diarias de Consumo de Energía

Días	Ecuación modelo	Coefficiente de determinación
Lunes	$y = -1693,2x^6 + 3776,3x^5 - 2756,9x^4 + 583,74x^3 + 110,29x^2 - 30,981x + 11,265$	$R^2 = 0,9065$
Martes	$y = -1798,1x^6 + 4190,8x^5 - 3360,5x^4 + 977,04x^3 + 2,0566x^2 - 22,406x + 11,274$	$R^2 = 0,8863$
Miércoles	$y = -2380x^6 + 5895,8x^5 - 5266,2x^4 + 1980,5x^3 - 241,7x^2 - 0,403x + 10,526$	$R^2 = 0,8959$
Jueves	$y = -2176,2x^6 + 5083,9x^5 - 4044x^4 + 1128,1x^3 + 24,258x^2 - 28,124x + 10,712$	$R^2 = 0,9142$
Viernes	$y = -1971,8x^6 + 4694,3x^5 - 3886,4x^4 + 1221x^3 - 50,659x^2 - 16,555x + 10,802$	$R^2 = 0,9138$
Sábado	$y = -1211,3x^6 + 2599,9x^5 - 1750,3x^4 + 233,89x^3 + 155,75x^2 - 35,19x + 11,403$	$R^2 = 0,9294$
Domingo	$y = -1714,6x^6 + 4079,4x^5 - 3435,2x^4 + 1173,5x^3 - 102,34x^2 - 11,118x + 12,063$	$R^2 = 0,9078$

4.1. Métodos de pronóstico

El pronóstico de demanda de energía eléctrica según su horizonte de tiempo se clasifica en corto, mediano y largo plazo, se dispone de esta manera de acuerdo a su aplicación en la operación de las unidades de

generación y el despacho económico, planeación del uso de energéticos y programación del mantenimiento de redes entre otras.

El pronóstico se basa en los datos históricos de demanda, existen diversos factores que influyen en el pronóstico, tales como la temperatura ambiente y la variación en las condiciones climáticas, nivel socioeconómico de los consumidores, hábitos de consumo, tarifas, etc.

4.1.1. Pronóstico a corto plazo

Considera la previsión de una carga futura en un tiempo real no muy lejano, como por ejemplo para la siguiente hora y con un horizonte de hasta una semana [2].

4.1.2. Pronóstico a mediano plazo

Corresponde al pronóstico mensual con un horizonte de hasta un año, se establece a partir de la demanda histórica de electricidad y la predicción variables, tales como el

crecimiento de la economía, variaciones en el clima, períodos vacacionales incremento de la carga, etc.

4.1.3. Pronóstico a largo plazo

Abarca un horizonte de uno hasta diez años; la predicción de la demanda en el largo plazo es usada para la planeación y expansión de la generación y de la transmisión.

El método a corto y mediano plazo es el que se utilizará para estimar la demanda en un intervalo de un año [2].

4.2. Proyección de la demanda

Debido a que tenemos más datos en la curva de cada 15 minutos que en la curva de cada hora, el coeficiente de determinación del modelo de la curva de 15 minutos es menor que el coeficiente de determinación del modelo de la curva por hora.

Para hallar la proyección de la demanda, se graficó los valores de demanda máxima de cada día, esto durante los dos meses de registro y mediante una proyección lineal utilizando Excel ® se estima la demanda máxima hasta el 13 de Diciembre del 2015.

Tabla 10: Ecuación de la proyección de la demanda

Proyección lineal de la demanda hasta el 13 de Diciembre 2015
$y = 0,0235x - 963,1$

Reemplazamos el valor de x en la ecuación de la recta característica y encontramos el valor de y. El resultado es el valor del consumo de la energía máxima en la fecha propuesta 13 de Diciembre del 2015.

Se obtiene el valor de 32,15 kW de potencia máxima comparándola con la potencia máxima en el periodo evaluado que correspondía a 25,74 kW, existe un incremento del 24,92% durante un año.

Finalmente se analiza correlación de los 5 medidores evaluados.

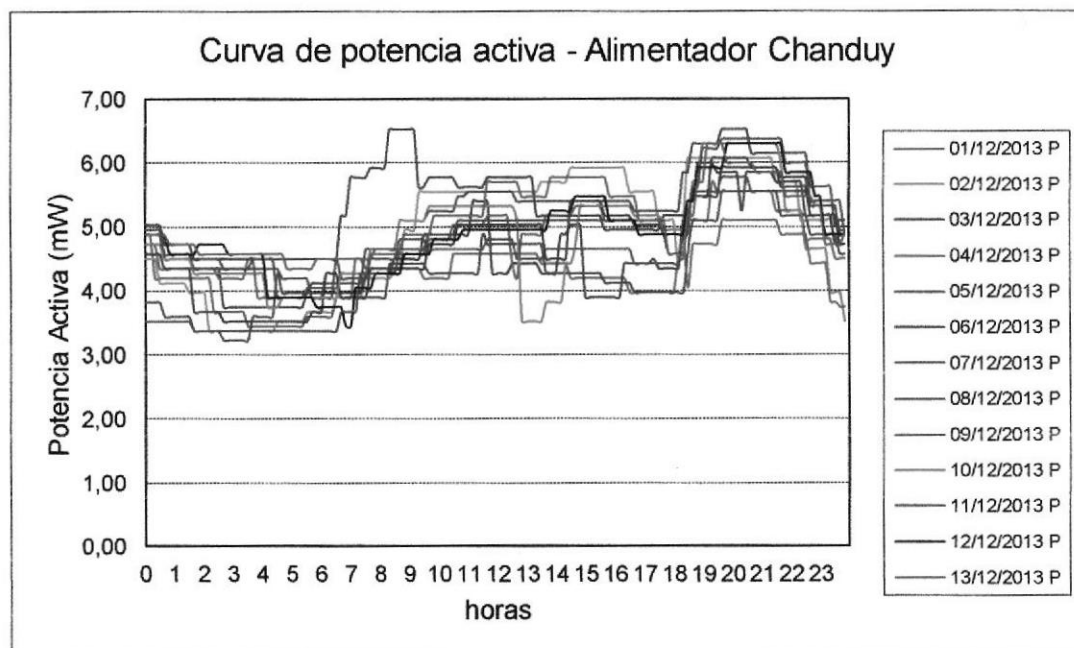
Tabla 11: Correlación de los medidores totalizadores

	E4S206506	E4S206507	E4S206508	E4S206513	E4S206595
E4S206506	1				
E4S206507	0,83885056	1			
E4S206508	0,72581446	0,89258752	1		
E4S206513	0,59436869	0,71978522	0,76530271	1	
E4S206595	0,80333176	0,77272231	0,72382783	0,60013842	1

Los medidores que tienen una mayor correlación son los E4S206507 y el E4S206508 con un coeficiente de correlación de 0,892, seguido de los medidores E4S206506 y E4S206507 con 0,838. Mientras que los medidores que tienen el menor coeficiente de correlación son E4S206506 y E4S206513 con 0,594.

4.3. Datos de las subestaciones de mayor consumo en Santa Elena

El próximo análisis se realizará comparando los datos obtenidos del consumo de los principales alimentadores de las Subestaciones de la provincia de Santa Elena.

Figura 4.1: Curva de potencia activa del alimentador Chanduy [6]

Se posee datos registrados de la potencia de las subestaciones Chanduy, Colonche, Libertad y Salinas durante el periodo 14 de Octubre del 2013 hasta el 13 de Diciembre del 2013, es decir un año previo a los datos descargados de los medidores totalizadores.

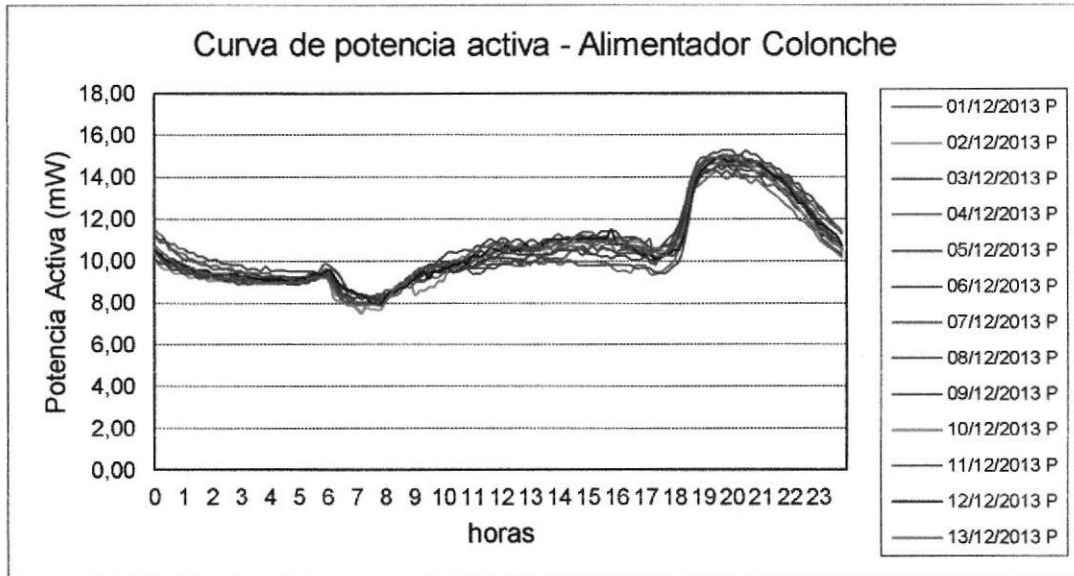


Figura 4.2: Curva de potencia del alimentador Colonche [6]

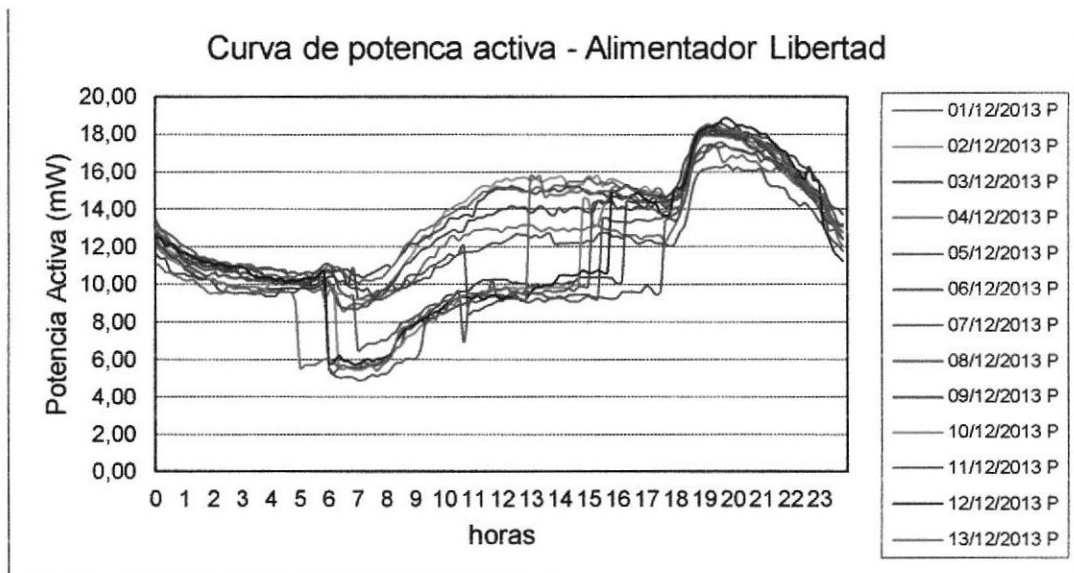
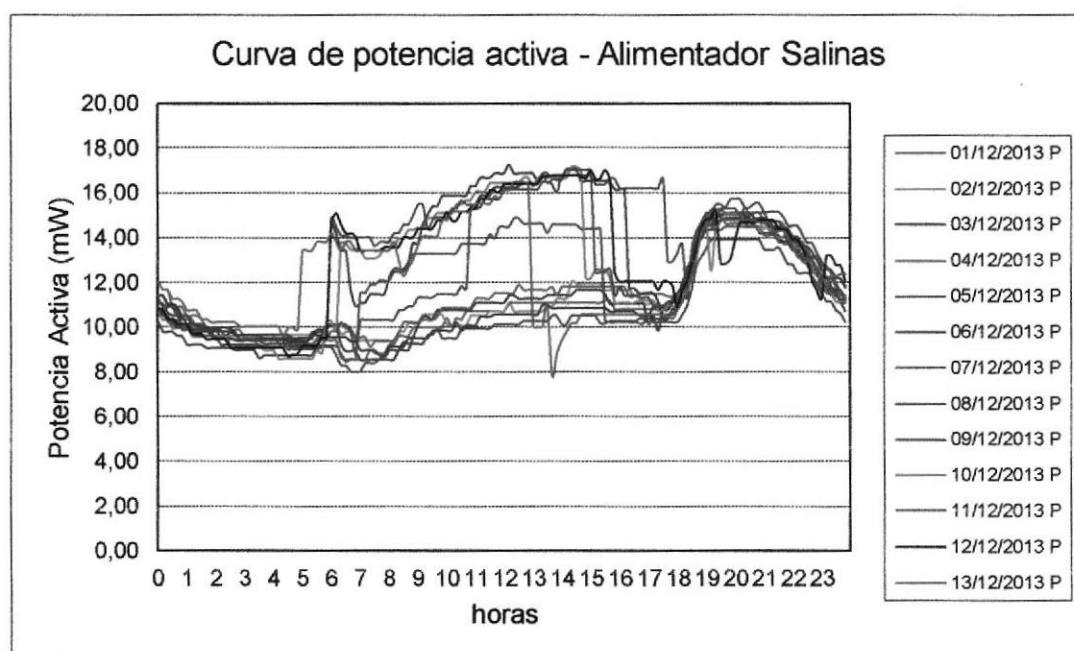


Figura 4.3: Curva de potencia del alimentador Libertad [6]

Figura 4.4: Curva de potencia del alimentador Salinas [6]

Observando las gráficas de los alimentadores se nota una variación significativa en cada una de los alimentadores analizados, por lo que se halla la correlación entre cada alimentador.

Tabla 12: Correlación de los alimentadores

	<i>CHANDUY</i>	<i>COLONCHE</i>	<i>LIBERTAD</i>	<i>SALINAS</i>
<i>CHANDUY</i>	1			
<i>COLONCHE</i>	0,72950498	1		
<i>LIBERTAD</i>	0,58013966	0,8334361	1	
<i>SALINAS</i>	0,62607708	0,57614113	0,15011921	1

Tal como se observó en los gráficos previos la correlación que tienen entre cada alimentador es muy baja, los alimentadores que mantienen una correlación más alta son Libertad y Colonche con un valor de correlación de 0,833.

CONCLUSIONES

1. Debido a la variación de los datos de los medidores totalizadores es de cada 15 minutos, existe una variación considerable, por ello se tomó la medición máxima en cada hora.
2. Se debe escoger el mejor modelo para tener una mayor aproximación con la realidad, la elección del modelo óptimo depende de la distribución de los datos. Debido a la variación por hora del consumo de energía el modelo óptimo es el polinomial de grado 6.
3. Se suavizan los gráficos obteniendo una curva con datos por hora, en el caso de que se tengan registros cada 10 minutos o cada 15 minutos, mediante el promedio o los valores máximos en cada hora.

RECOMENDACIONES

Se debe crear conciencia en el consumo de energía eléctrica y aplicar de manera responsable las siguientes recomendaciones para utilizar de manera eficiente la energía eléctrica y así reducir el consumo en la provincia de Santa Elena:

1. Usa focos ahorradores, que sean de bajo consumo eléctrico.
2. Apagar las luces y aparatos eléctricos cuando no se estén utilizando.
3. Tratar de aprovechar lo más posible la luz natural, abrir ventanas, cortinas y colocar tragaluces.
4. Al utilizar acondicionadores de aire se recomienda graduar el termostato a una temperatura agradable, la organización WWF recomienda fijar la temperatura de refrigeración en 25-26 °C si es verano, y 19-20 °C grados si es invierno.

5. Usar la lavadora cuando esté completamente llena, es decir aprovechar su capacidad máxima para ahorrar agua y electricidad.

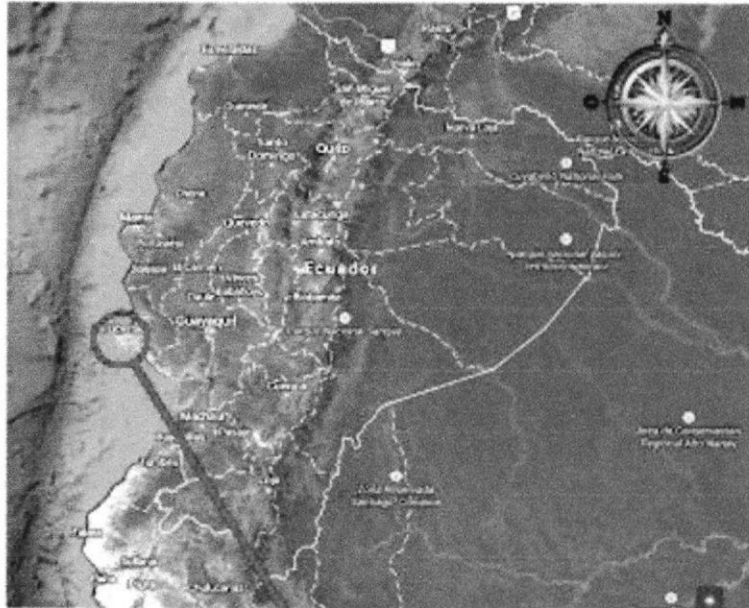
6. Sustituir el acondicionador de aire, refrigerador, televisor etc. de menor tecnología que generan un alto consumo eléctrico, por modernos de bajo consumo eléctrico.

7. Desconecta todos los aparatos eléctricos que no estés utilizando, al estar conectados consumen energía (aunque no estén encendidos).

ANEXOS

ANEXO A

"Datos descargados del medidor E4S206506"



Ubicación geográfica la provincia de Santa Elena

Fuente: Google Maps <https://maps.google.com/>

ANEXO B

“Ubicación geográfica de los medidores totalizadores

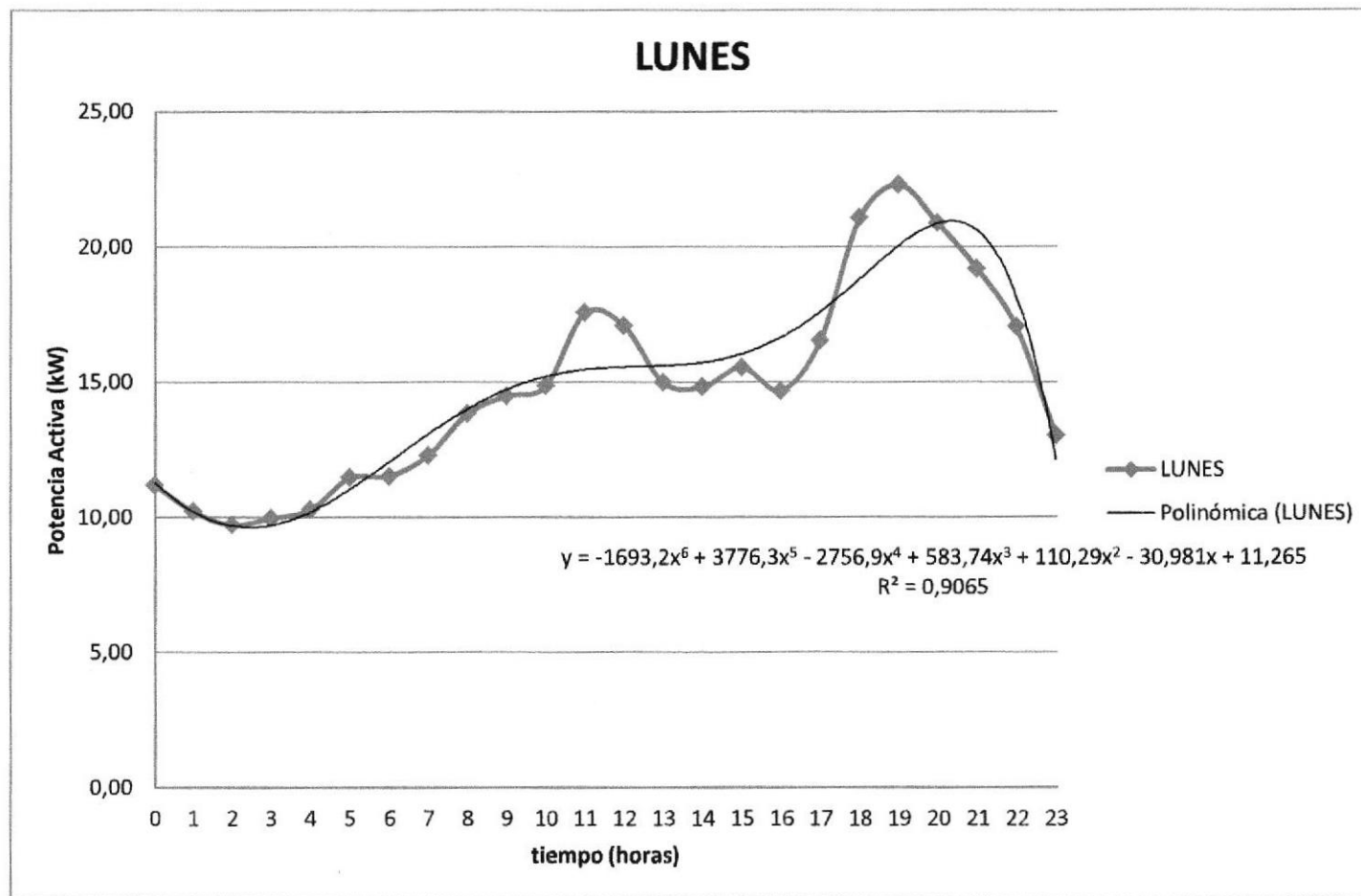


Ubicación geográfica de los medidores totalizadores en la provincia de Santa Elena

Fuente: Google Maps <https://maps.google.com/>

ANEXO C

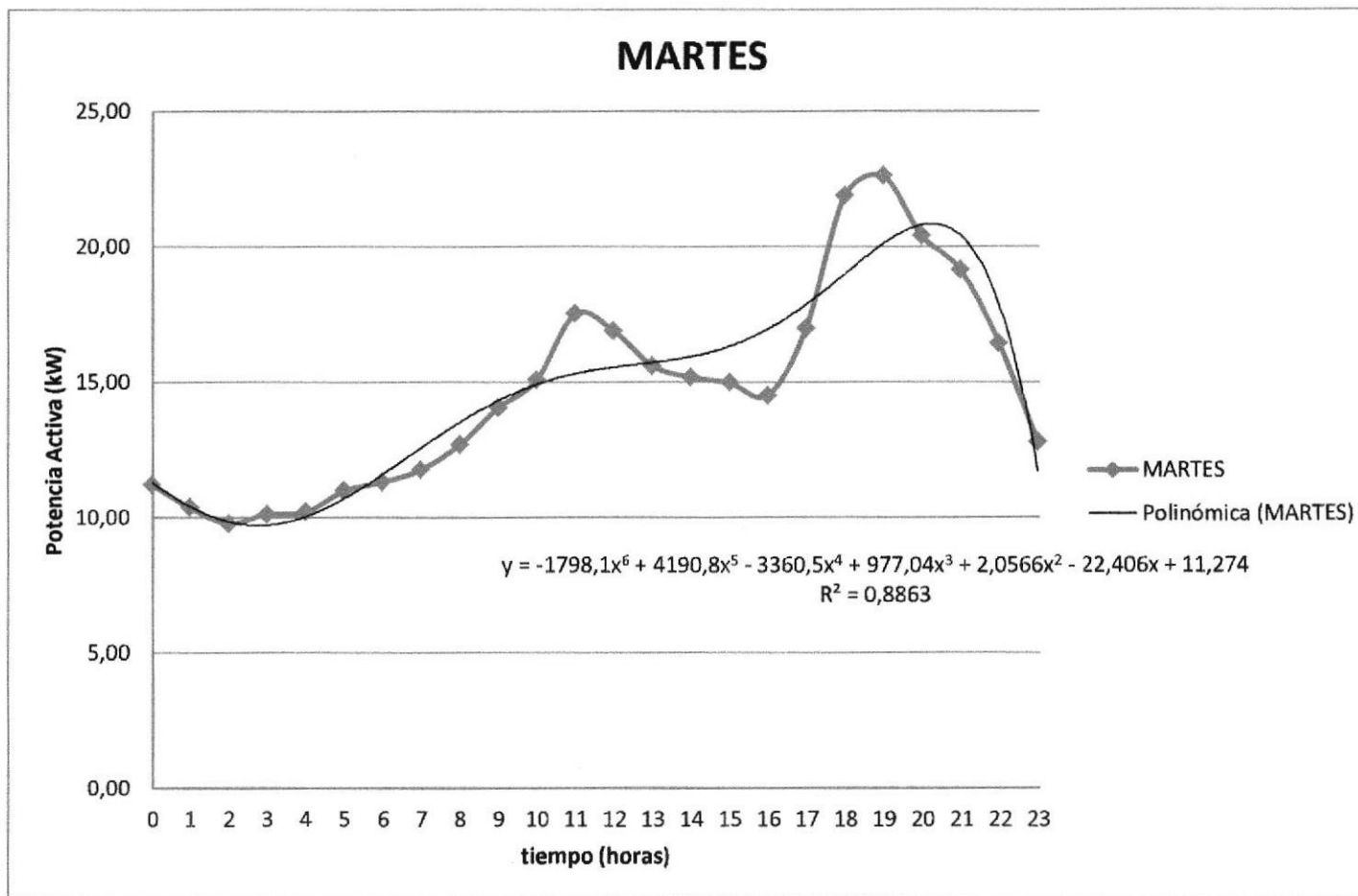
"Curva de demanda diaria correspondiente al día Lunes"



Curva de consumo de energía promedio del día Lunes en el Medidor E4S206506

ANEXO D

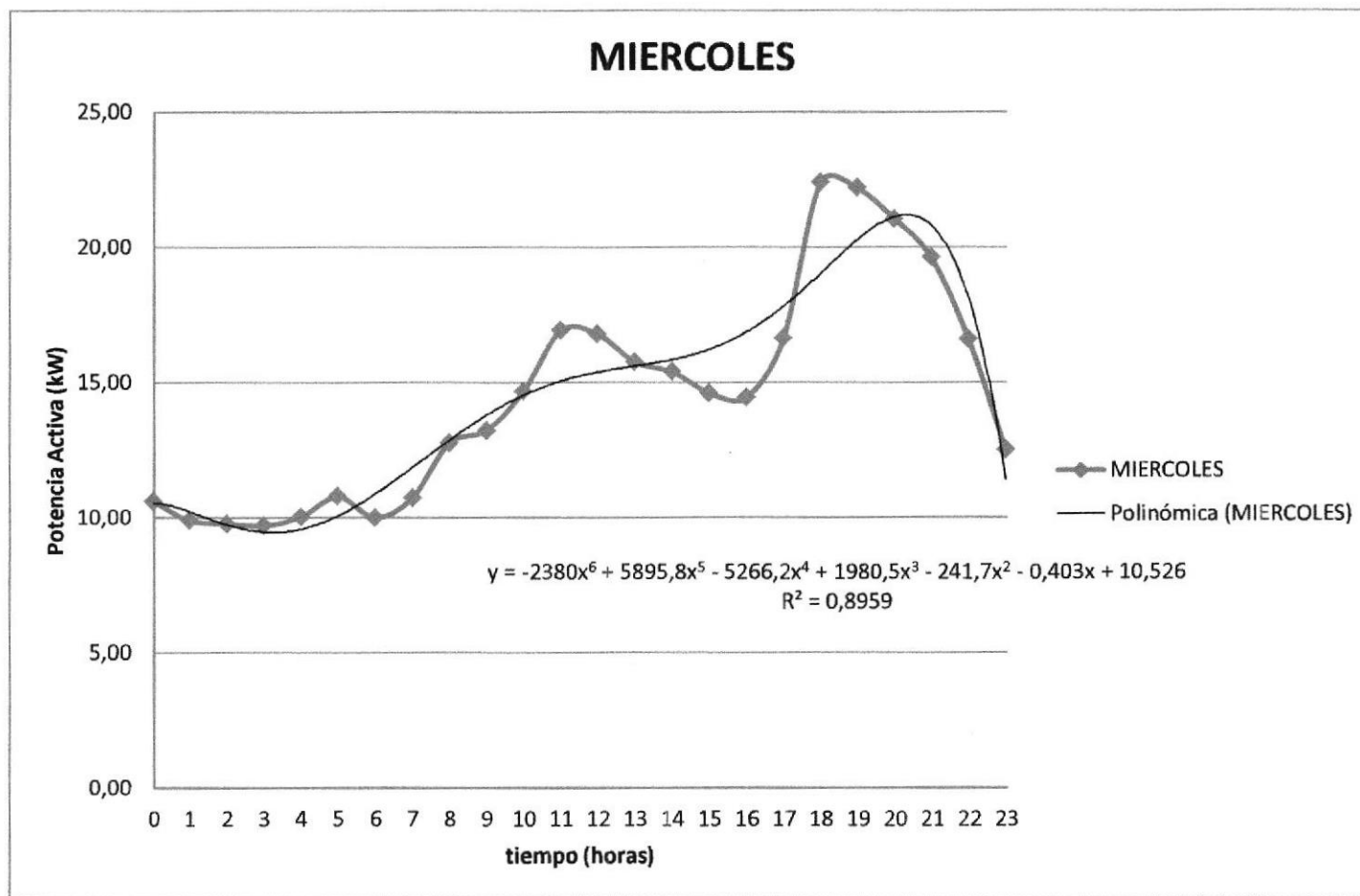
“Curva de demanda diaria correspondiente al día Martes”



Curva de consumo de energía promedio del día Martes en el Medidor E4S206506

ANEXO E

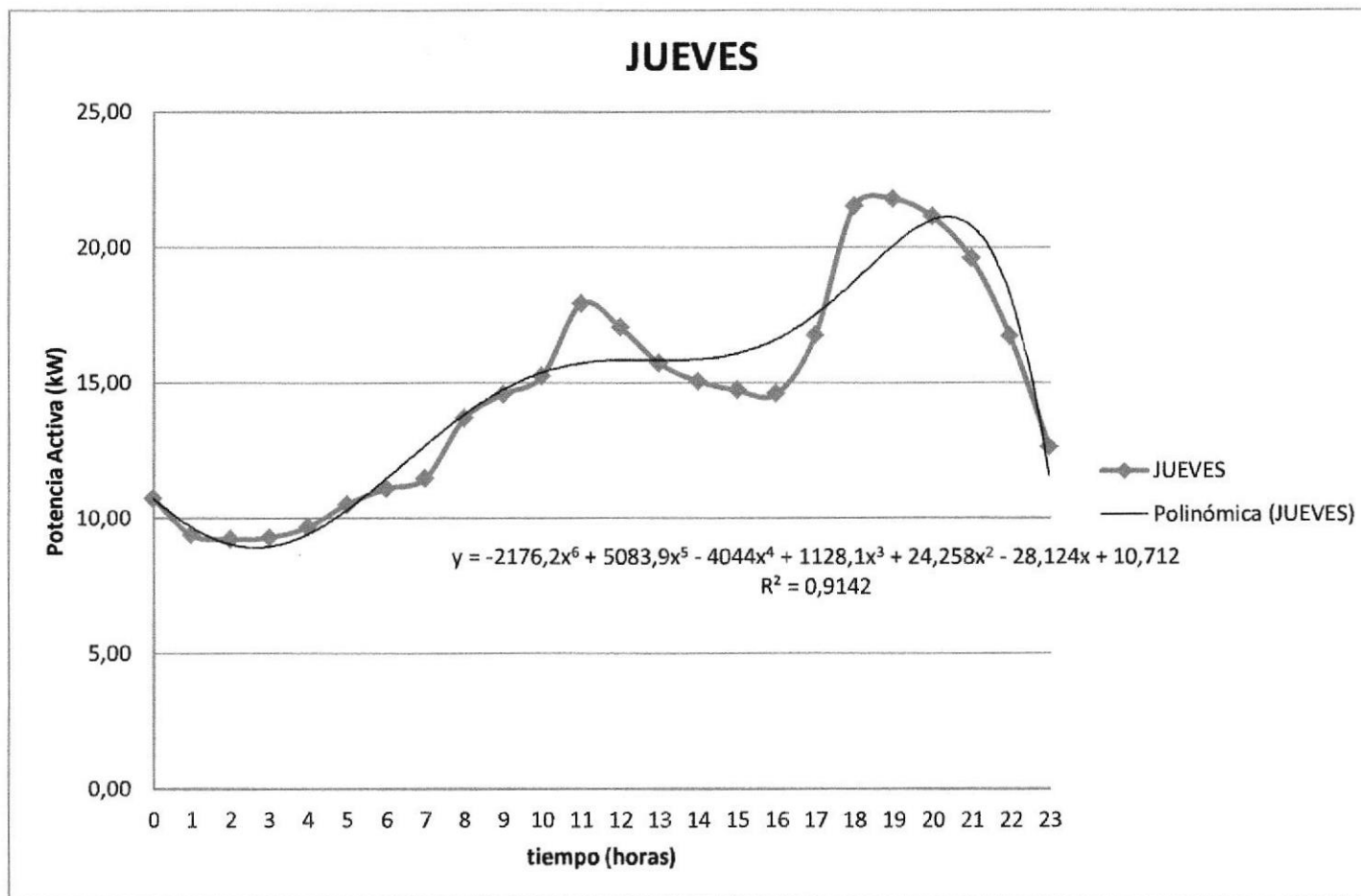
"Curva de demanda diaria correspondiente al día Miércoles"



Curva de consumo de energía promedio del día Miércoles en el Medidor E4S206506

ANEXO F

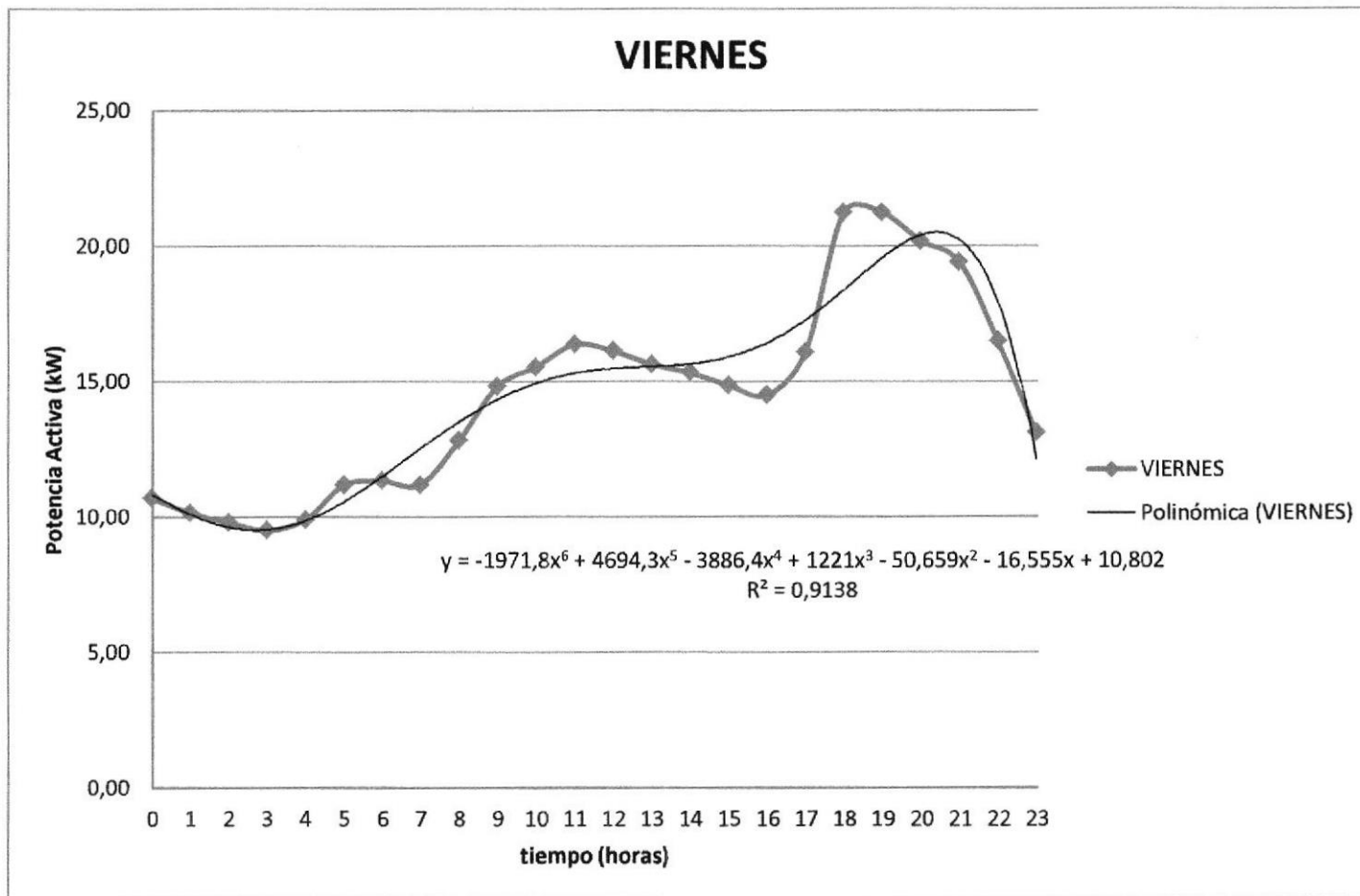
"Curva de demanda diaria correspondiente al día Jueves"



Curva de consumo de energía promedio del día Jueves en el Medidor E4S206506

ANEXO G

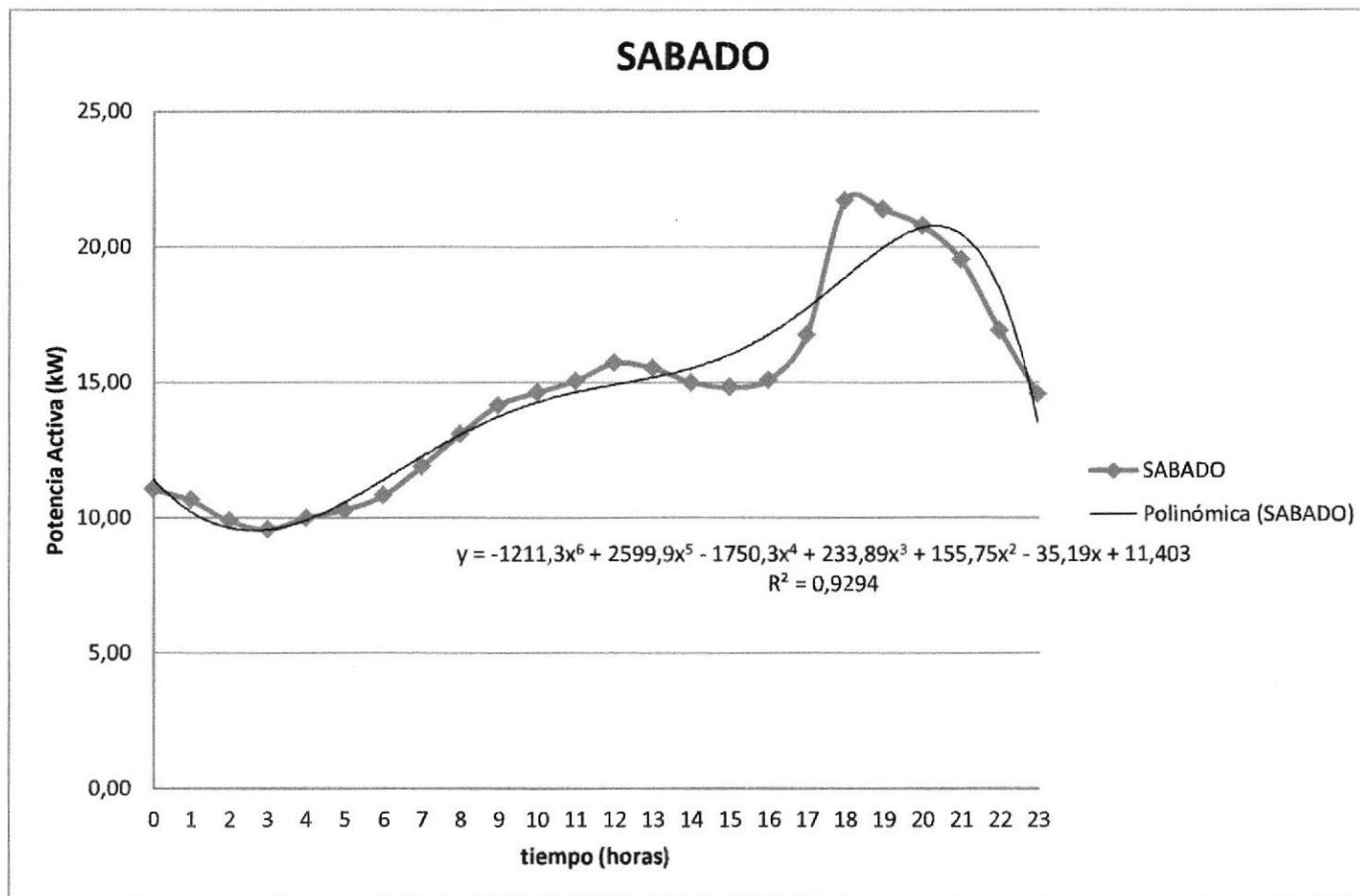
"Curva de demanda diaria correspondiente al día Viernes"



Curva de consumo de energía promedio del día Viernes en el Medidor E4S206506

ANEXO H

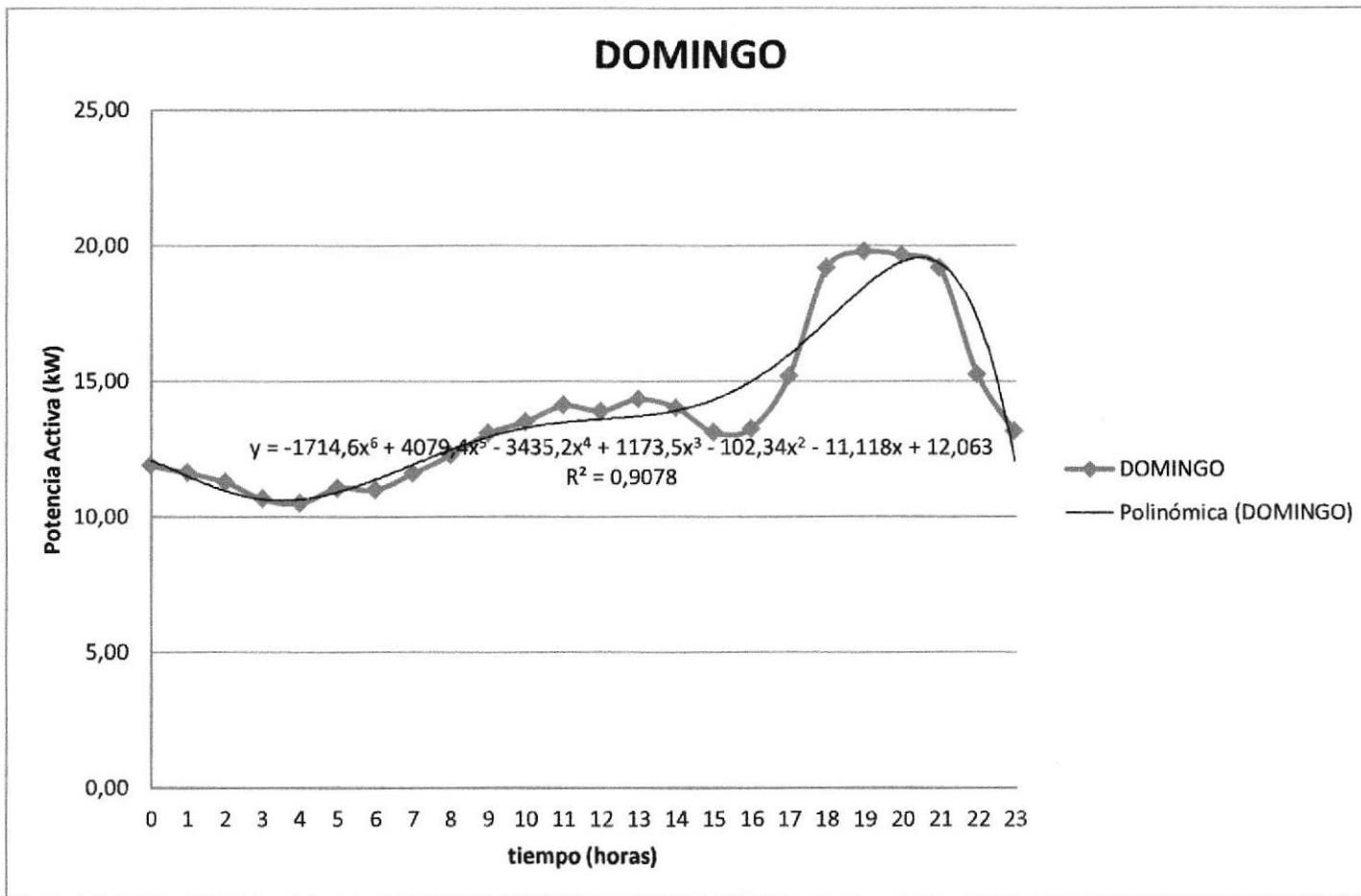
"Curva de demanda diaria correspondiente al día Sábado"



Curva de consumo de energía promedio del día Sábado en el Medidor E4S206506

ANEXO I

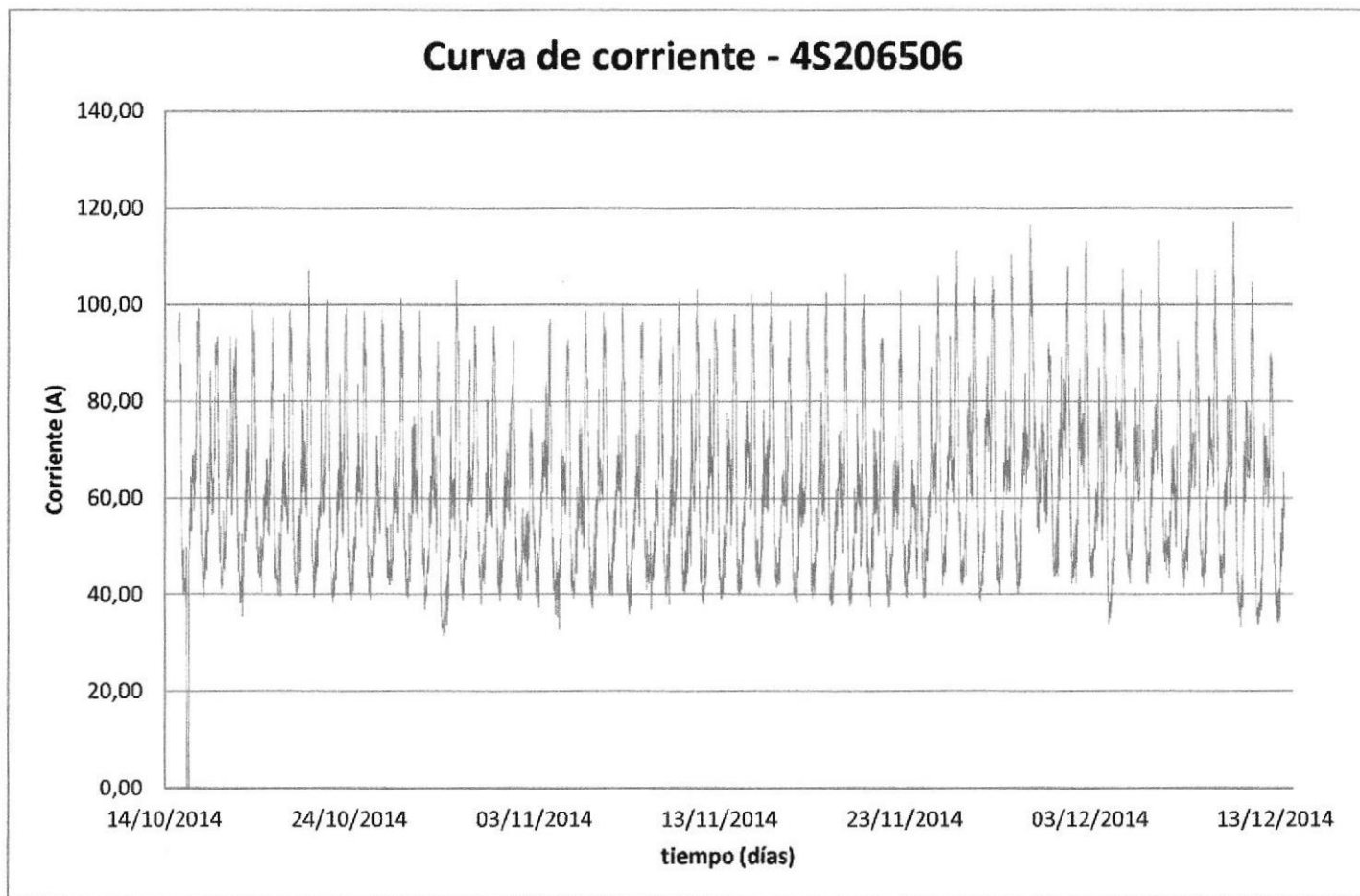
“Curva de demanda diaria correspondiente al día Domingo”



Curva de consumo de energía promedio del día Domingo en el Medidor E4S206506

ANEXO J

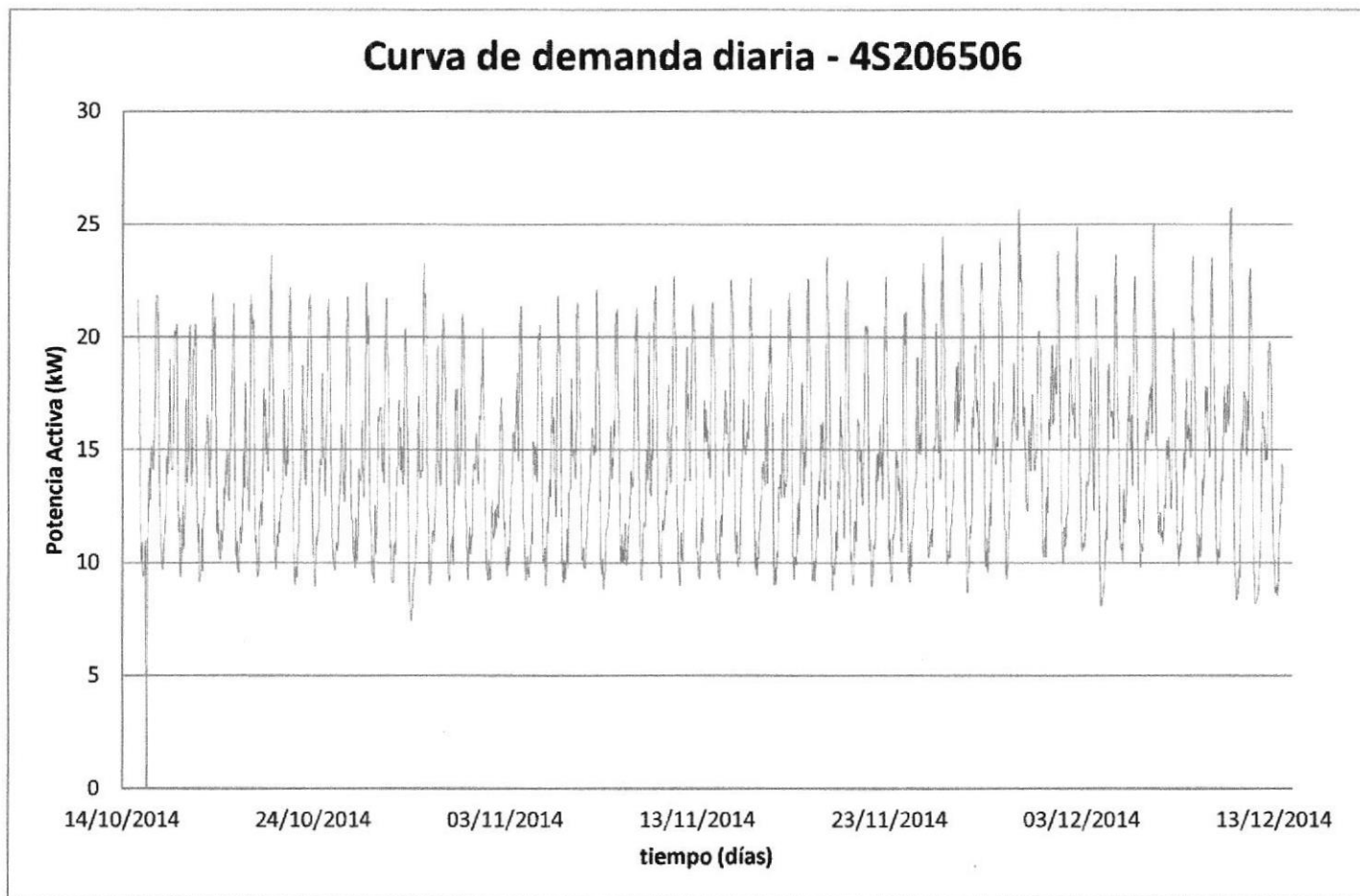
"Curva de corriente diaria en el intervalo completo"



Curva de corriente diaria acumulada medida cada 15 minutos

ANEXO K

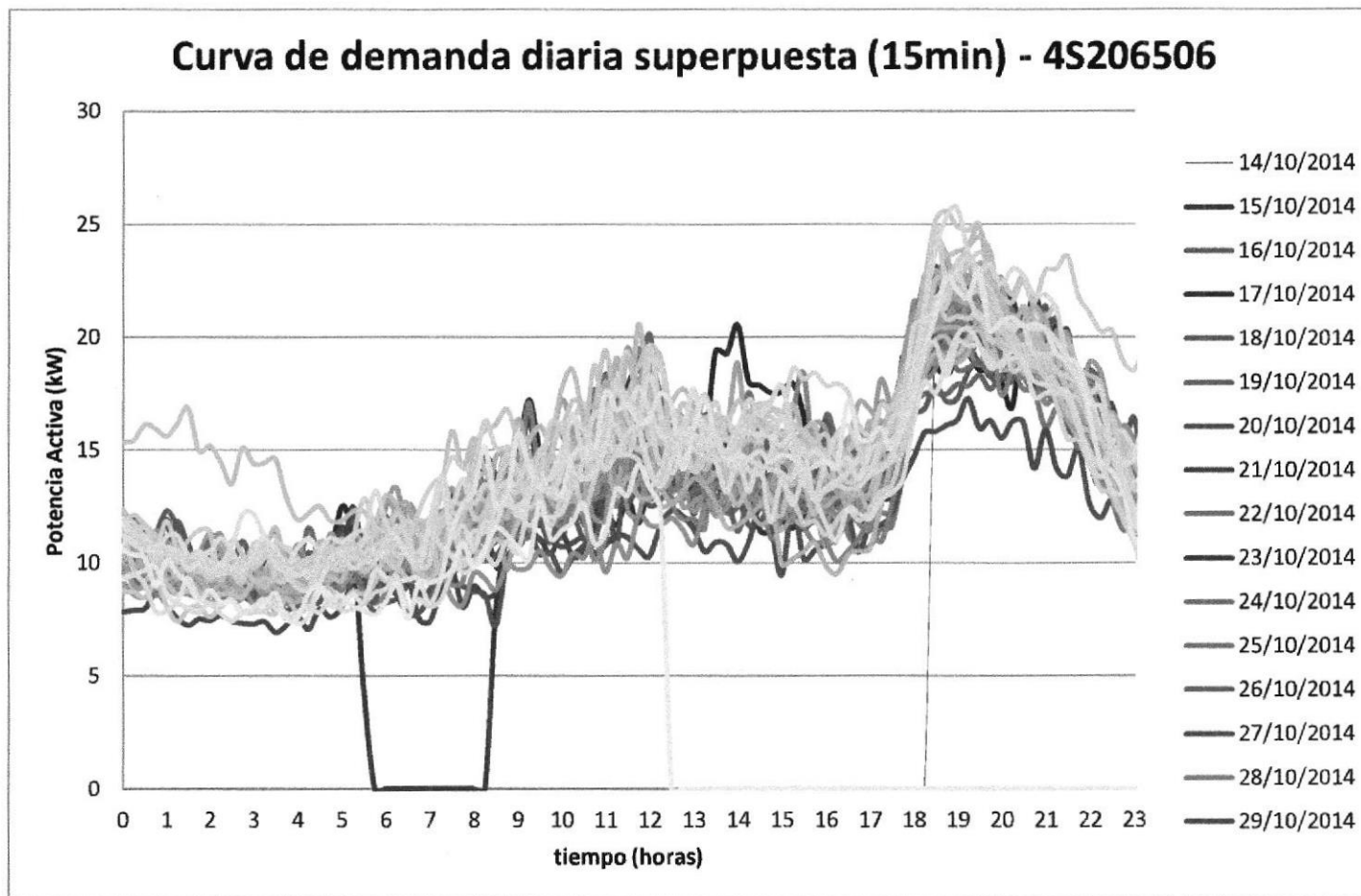
“Curva de demanda diaria en el intervalo completo medida cada hora”



Curva de demanda diaria cada hora

ANEXO L

“Curva de demanda diaria en el intervalo completo medida cada hora”

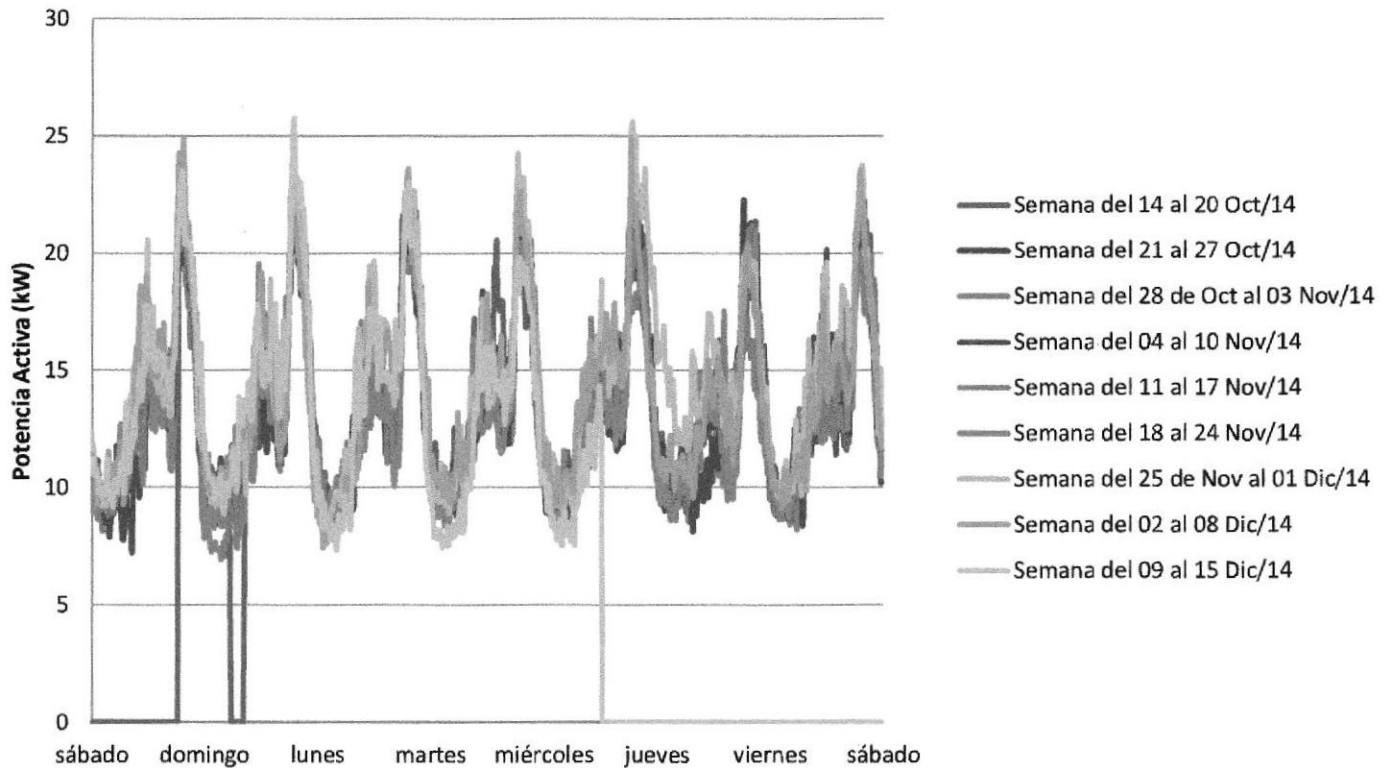


Curva de demanda diaria superpuesta muestreada cada 15 minutos

ANEXO M

“Curva de demanda semanal superpuesta muestreada cada 15 minutos”

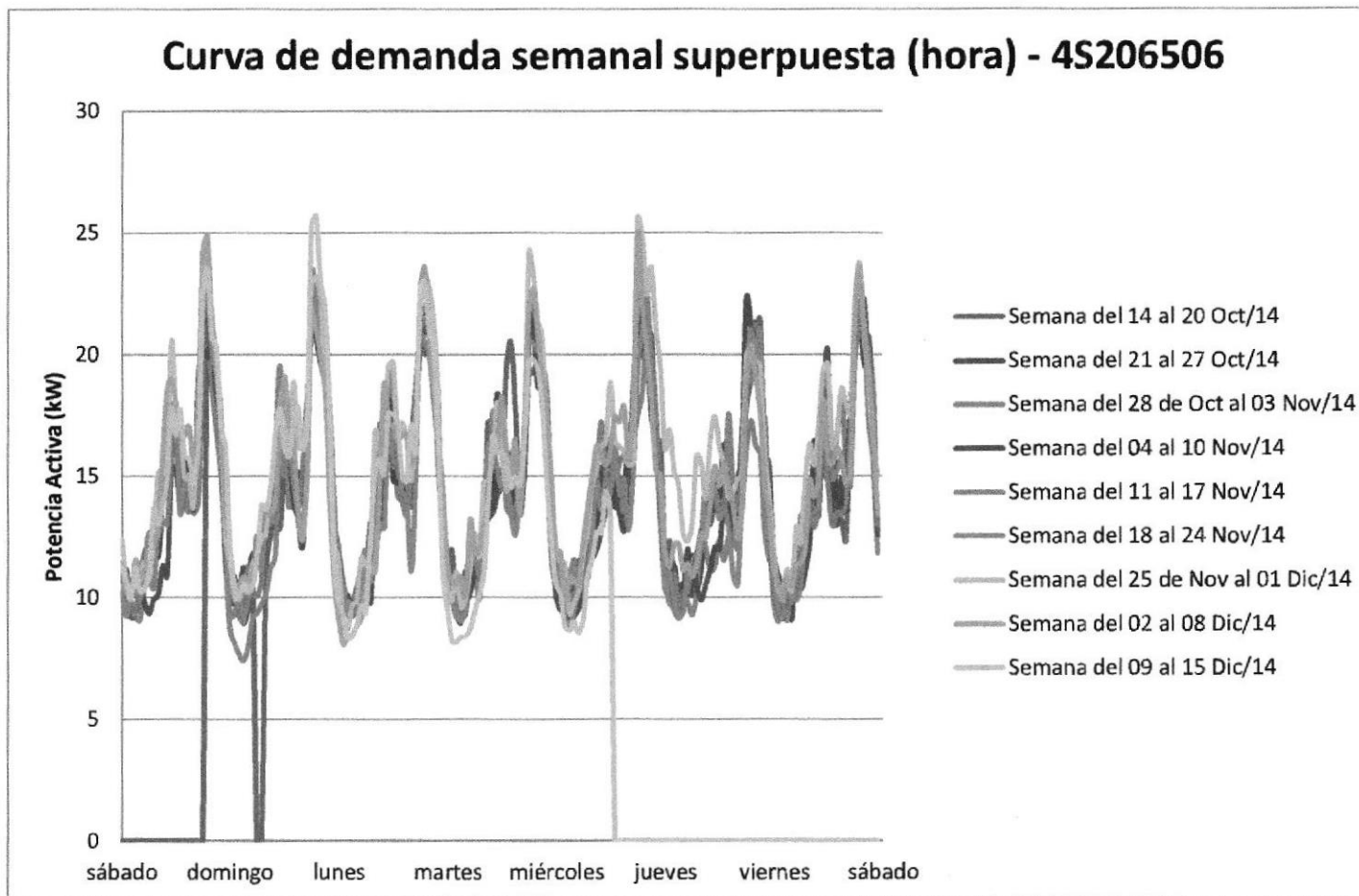
Curva de demanda semanal superpuesta (15min) - 4S206506



Curva de demanda semanal superpuesta muestreada cada 15 minutos

ANEXO N

“Curva de demanda semanal superpuesta muestreada cada hora”



Curva de demanda semanal superpuesta muestreada cada hora

BIBLIOGRAFÍA

- [1] ARCONEL, A. d. (20 de diciembre de 2014). *Plan Maestro de Electrificación 2013 – 2022*. Obtenido de <http://www.conelec.gob.ec/contenido.php?cd=10329>
- [2] Ariza, A. (2013). *MÉTODOS UTILIZADOS PARA EL PRONÓSTICO DE DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN*. Pereira: UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA.
- [3] Canavos, G. C. (1988). *PROBABILIDAD Y ESTADISTICA Aplicaciones y métodos*. México: Mc GRAW-HILL.
- [4] *Empresa Eléctrica Pública de Guayaquil, EP - NATSIM vigente - 2014*. (27 de diciembre de 2014). Obtenido de <http://www.electricaguayaquil.gob.ec/index.php/component/zoo/item/natsim-vigente-2014>

[5] *International Organization for Standardization*. (s.f.). Recuperado el 06 de diciembre de 2014, de ISO 50001 - Energy management:
<http://www.iso.org/iso/home/standards/management-standards/iso50001.htm>

[6] *Resultados de Censo 2010 de población y vivienda en el Ecuador*. (20 de diciembre de 2014). Obtenido de FASCÍCULO PROVINCIA DE SANTA ELENA: http://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Manualateral/Resultados-provinciales/santa_elena.pdf

(7) *Unidad 1*. (25 de noviembre de 2014). Obtenido de Conceptos eléctricos básicos: <http://www.mcgraw-hill.es/bcv/guide/capitulo/8448171578.pdf>

REFERENCIAS DE IMÁGENES

- (1) Unidad 1 (2014) *Conceptos eléctricos básicos* [Figura]. Recuperado de <http://www.mcgraw-hill.es/bcv/guide/capitulo/8448171578.pdf>.
- (2) Elaboración propia. Basada en los datos de medidores totalizadores
- (3) ARCONEL (2014) *Plan Maestro de Electrificación 2013 – 2022*. [Figura]. Recuperado de <http://www.conelec.gob.ec/contenido.php?cd=10329>.
- (4) Censo de población y vivienda (2010) *Fascículo Provincia de Santa Elena* [Figura]. Recuperado de http://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Manu-lateral/Resultados-provinciales/santa_elena.pdf
- (5) Canavos, G. (1988) *Probabilidad y Estadística* [figura]. Recuperado de *Probabilidad y estadística*.
- (6) CNEL (2014) *Unidad de Negocios Santa Elena* [figura]. Basada en datos del departamento de Planificación.