

# Modelamiento de Eficiencia Energética en el Consumo de Energía Eléctrica en Santa Elena a lo Largo del Tiempo, Zonas y Grupos

Miguel Joel Lara Orellana, Douglas Aguirre Ms.  
Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación  
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)  
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral  
Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador  
jlara@espol.edu.ec; daguirr@espol.edu.ec

## 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. Posteriormente se comparan con las curvas de carga de 4 alimentadores de las subestaciones eléctricas en Santa Elena y finalmente identificar los posibles planes de ahorro de energía en los diferentes sectores y épocas del año en la provincia de Santa Elena.*

**Palabras Claves:** Santa Elena, modelo matemático, medidores totalizadores, curvas de carga.

## Abstract

*The study performed, analyzes the behavior of electrical energy consumption in the province of Santa Elena over time and by zones. The test consisted of the evaluation and interpretation of the data obtained from the charge curves of residential users taking the data registered in 5 totalizer meters, with the objective of implementing a mathematical model that will allow to describe the behavior of the charge and of the variables that influence in the consumption of electrical energy. Using the program Microsoft Excel to find the mathematical model that will adjust more to the daily characteristic curves and also to perform an estimated projection of the demand. Next, I will compare with the charge curves of 4 feeders from the substation in Santa Elena and finally identify the possible energy saving plans in the different sectors and times of the year in the province of Santa Elena.*

**Keywords:** Santa Elena, mathematical model, totalizer meters, charge curves.

## 1. Introducción

El presente documento corresponde al proyecto de graduación “Modelamiento de eficiencia energética en el consumo de energía eléctrica en Santa Elena a lo largo del tiempo, zonas y grupos”.

Donde se realiza el análisis de los datos almacenados en cinco medidores totalizadores ubicados en diferentes zonas y sectores la provincia de Santa Elena.

Posteriormente con los datos de los medidores se grafican las curvas diarias de demanda eléctrica para obtener las ecuaciones características mediante la herramienta Microsoft Excel.

Finalmente se comparan las curvas de los medidores totalizadores con las curvas de 4 alimentadores de las subestaciones eléctricas de la provincia de Santa Elena y además se realiza una proyección de la demanda a corto plazo.

## 2. Información de los medidores totalizadores

Se realizó la descarga de los datos almacenados en cinco medidores totalizadores ubicados en diferentes sectores de la provincia de Santa Elena.

**Tabla 1.** Ubicación de los medidores totalizadores

Medidor	Dirección/Ubicación	Coordenadas (Latitud, Longitud)
4S206506	Av. 28 y calle 3 y 5 - La Libertad	-2.2367884802231712, -80.89654720192514
4S206507	Av. 27 y calle 3 y 5A - La Libertad	-2.235883774997769, -80.89670015536892
4S206508	Av. 27 y calle 3 y 7 - La Libertad	-2.235874616271427, -80.89513528113023
4S206513	Av. 29 y calle 3 y 5 - La Libertad	-2.237349435351513, -80.89698784623086
4S206595	Av. 13 calle 20 y 21 - La Libertad	-2.22884589143787, -80.90886884265632

Los medidores totalizadores almacenan los datos de potencia activa (P) durante 2 meses, registrados cada 15 minutos. En el intervalo de fechas desde el 14/Octubre/2014 hasta 13/Diciembre/2014.

**Tabla 2.** Subestación y alimentador de los medidores totalizadores

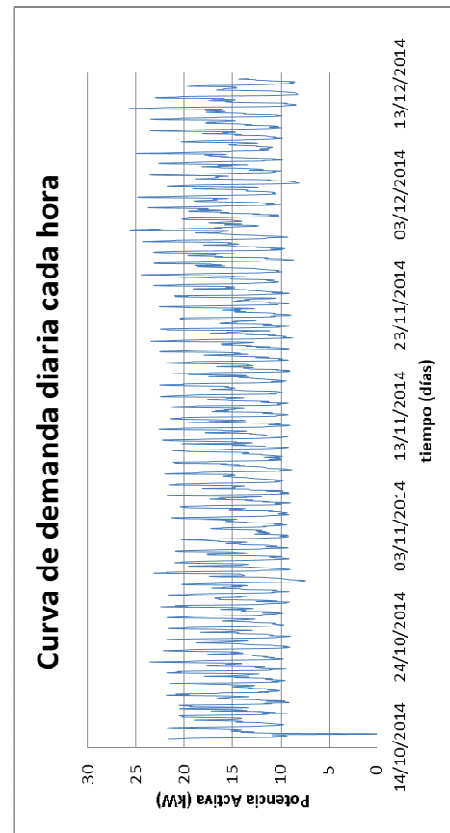
Medidor	Subestación	Alimentador	No. de usuarios
4S206506	San Vicente	Suburbio	49
4S206507	San Vicente	Suburbio	35
4S206508	San Vicente	Suburbio	24
4S206513	San Vicente	Suburbio	28
4S206595	Carolina	Municipio	35

### 2.1. Curvas obtenidas de los medidores totalizadores

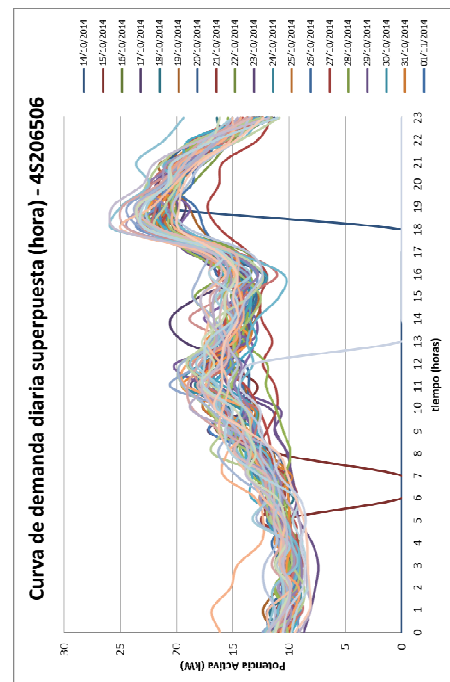
Con la información de los medidores totalizadores, se obtuvieron las siguientes curvas de demanda, para realizar las gráficas por hora se tomó el valor de potencia máxima durante cada hora:

- Curva diaria de la demanda a lo largo del intervalo completo con registros cada 15 minutos y por 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 y cada hora.



**Figura 1.** Curva de demanda diaria



**Figura 2.** Curva de demanda diaria superpuesta con registros de cada hora

- Curva diaria de la demanda promedio a lo largo del intervalo completo con registros cada hora.
- 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.
- 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.

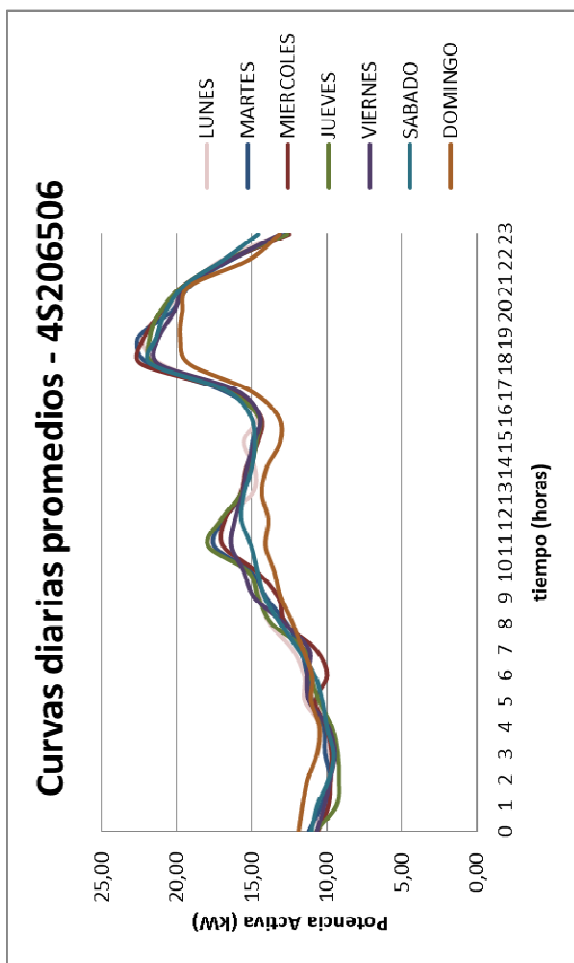


Figura 3. Curvas diarias promedios

El criterio de aceptación de un modelo matemático depende del coeficiente de determinación ( $R^2$ ), si este coeficiente es mayor igual a 0,8 el modelo es válido.

Mientras más se acerque a 1 el modelo es más aproximado a la realidad.

## 2.2. Modelo matemático del consumo de energía en los medidores totalizadores

Una vez obtenidas las curvas de demanda diarias promedio de los medidores totalizadores, se hallan las ecuaciones características de cada día, basando en el criterio de aceptación que si existen varias ecuaciones que el coeficiente de determinación es mayor o igual a 0,8, se escoge la que más se aproxime a 1.

El modelo matemático que se elige es de tipo polinomial de grado 6, ya que es el modelo que tiene mayor aproximación a la curva real.

Tabla 3. Ecuaciones del medidor 4S206506

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	$y = -1714,6x^6 + 4079,4x^5 - 3435,2x^4 + 1173,5x^3 - 102,34x^2 - 11,118x + 12,063$	$R^2 = 0,9078$

Tabla 4. Ecuaciones del medidor 4S206507

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	$y = -1714,6x^6 + 4079,4x^5 - 3435,2x^4 + 1173,5x^3 - 102,34x^2 - 11,118x + 12,063$	$R^2 = 0,9078$

Tabla 5. Ecuaciones del medidor 4S206508

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	$y = -1714,6x^6 + 4079,4x^5 - 3435,2x^4 + 1173,5x^3 - 102,34x^2 - 11,118x + 12,063$	$R^2 = 0,9078$

**Tabla 6.** Ecuaciones del medidor 4S206513

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	$y = -1714,6x^6 + 4079,4x^5 - 3435,2x^4 + 1173,5x^3 - 102,34x^2 - 11,118x + 12,063$	$R^2 = 0,9078$

**Tabla 7.** Ecuaciones del medidor 4S206595

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	$y = -1714,6x^6 + 4079,4x^5 - 3435,2x^4 + 1173,5x^3 - 102,34x^2 - 11,118x + 12,063$	$R^2 = 0,9078$

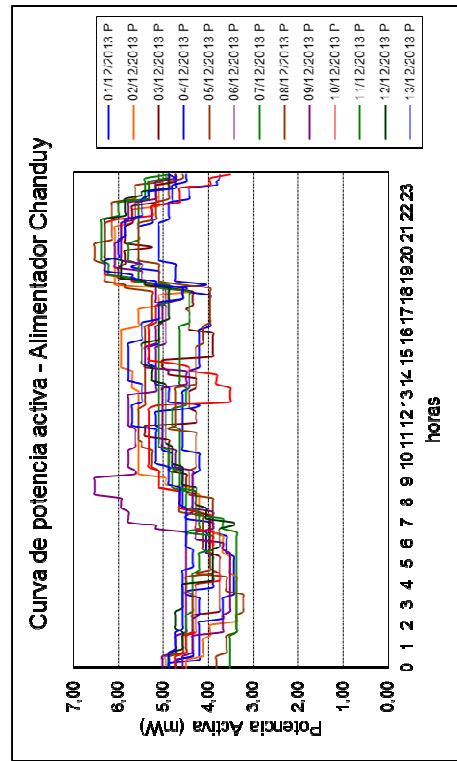
**Tabla 8.** Correlación de los medidores totalizadores

	M1	M2	M3	M4	M5
M1	1				
M2	0,839	1			
M3	0,726	0,893	1		
M4	0,594	0,720	0,765	1	
M5	0,803	0,773	0,724	0,600	1

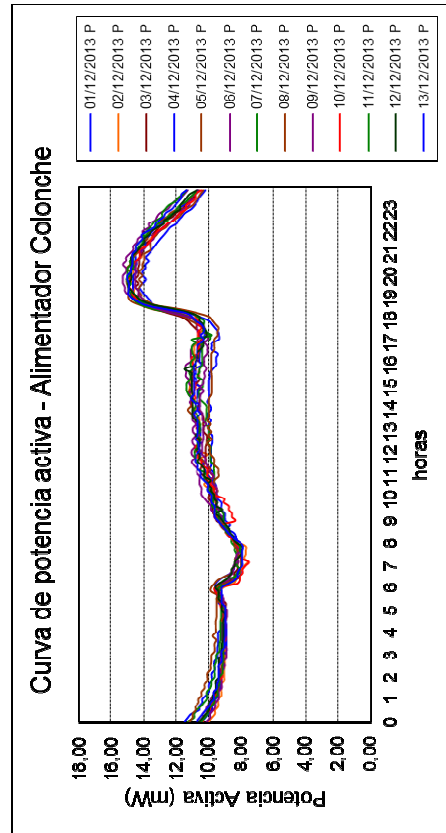
Los medidores que tienen una mayor correlación son los E4S206507 y el E4S206508 con un coeficiente de correlación de 0,892, seguido de los medidores E4S206506 y E4S206507 con 0,838. Mientras que los medidores que tienen el menor coeficiente de correlación son E4S206506 y E4S206513 con 0,594.

### 3. Datos de las subestaciones de mayor consumo en Santa Elena

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



**Figura 4.** Curva de potencia del alimentador Chanduy



**Figura 5.** Curva de potencia del alimentador Colonche

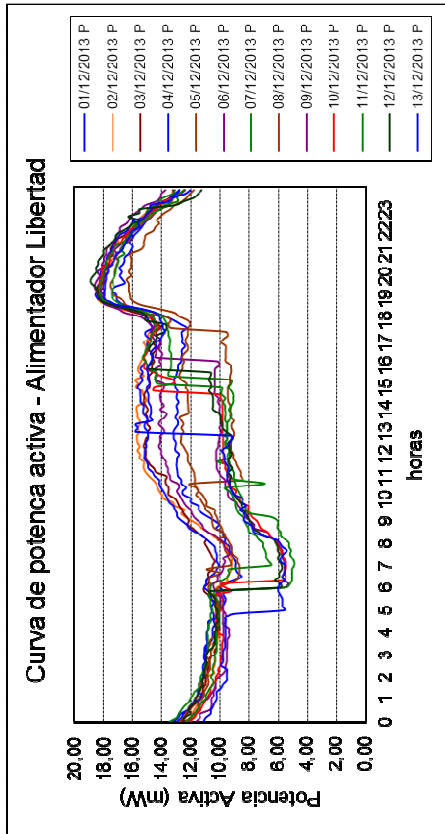


Figura 6. Curva de potencia del alimentador Libertad

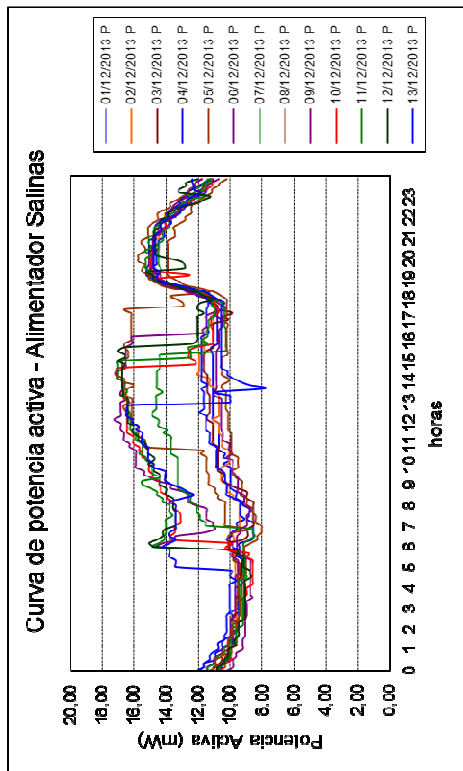


Figura 7. Curva de potencia del alimentador Salinas

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 9. Correlación de los alimentadores

	CHANDUY	COLONCHE	LIBERTAD	SALINAS
CHANDUY	1			
COLONCHE	0,730	1		
LIBERTAD	0,580	0,833	1	
SALINAS	0,626	0,576	0,150	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.

### 3. Proyección de la demanda

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.

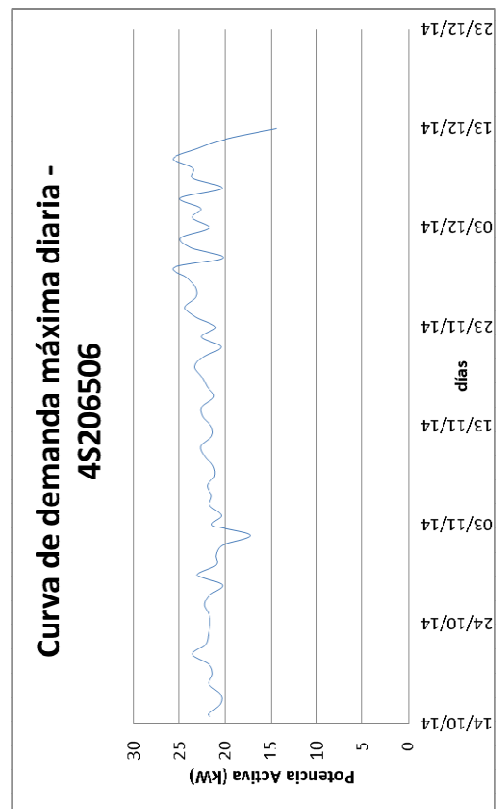
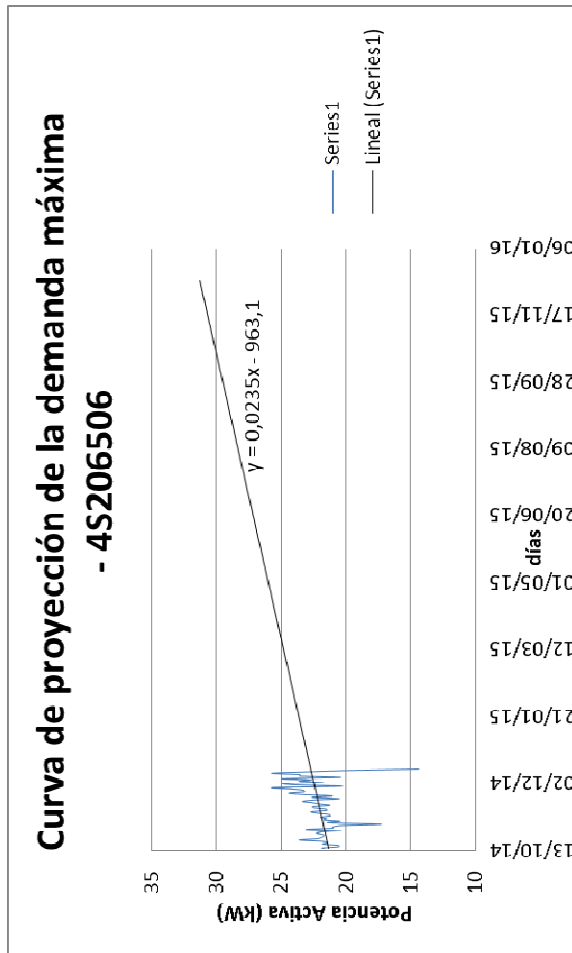


Figura 8. Curva de demanda máxima diaria

Se obtiene la ecuación característica  $y = 0,0235x - 963,1$ . Luego se reemplaza 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 horizonte.



**Figura 9.** Curva de proyección de la demanda

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.

#### 4. Conclusiones

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 de potencia máxima en cada hora.

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.

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.

#### 5. Agradecimientos

A Dios, por brindarme la sapiencia y paciencia sobre todo en los momentos más difíciles.

A todas las personas que colaboraron con la realización de este proyecto, compañeros, amigos y familiares, en especial a mis padres por al apoyo incondicional.

A la ESPOL y a todos los que fueron mis profesores, que impartieron sus conocimientos y son parte fundamental de mi formación profesional. En especial al Ms. Douglas Aguirre, por ser una guía para la realización de esta investigación.

#### 6. Referencias

- [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 Estadística 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/Manu-lateral/Resultados-provincia-les/santa\\_elena.pdf](http://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Manu-lateral/Resultados-provincia-les/santa_elena.pdf)
- [7] Unidad 1. (25 de noviembre de 2014). Obtenido de Conceptos eléctricos básicos: <http://www.mcgraw-hill.es/bcv/guide/capítulo/8448171578.pdf>