

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA Y ENERGÍA ELÉCTRICA
EN 4800 VOLT PARA LA PLANTA FÍSICA DE LA
UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA UBICADA
DENTRO DE LA CIUDAD UNIVERSITARIA DE CARACAS,
CON BASE AL HISTÓRICO 1995-2015.**

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
por la Br. Landaeta R., Ana G.
para optar al título de
Ingeniero Electricista

Caracas, 2017

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA Y ENERGÍA ELÉCTRICA
EN 4800 VOLT PARA LA PLANTA FÍSICA DE LA
UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA UBICADA
DENTRO DE LA CIUDAD UNIVERSITARIA DE CARACAS,
CON BASE AL HISTÓRICO 1995-2015.**

TUTOR ACADÉMICO: Ing. MSc. Alexander Cepeda Quintero

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
por la Br. Landaeta R., Ana G.
para optar al título de
Ingeniero Electricista

Caracas, 2017

CONSTANCIA DE APROBACIÓN

DEDICATORIA

A mis padres: *Ana J. Ruíz de Landaeta* y *Luis R. Landaeta R.*
Gracias por ser mis pilares, mi apoyo y guía en todo momento,
este logro también es de ustedes.
Los amo infinitamente.

A mi abuela, *María de Jesús Rodríguez R.*
Mi viejita, sé que desde el cielo estás muy orgullosa de mí.
Siempre te amaré.

AGRADECIMIENTOS

A mi tutor Alexander Cepeda, mil gracias por brindarme su apoyo, tiempo y conocimientos. Por su excelente disposición y dedicación en la admirable labor de enseñar.

A mi mamá, mi mejor amiga. Gracias por escucharme y aconsejarme siempre, por tanta motivación y apoyo que me das, y por ayudarme a dar cada paso para lograr todas las metas que me he propuesto. Eres la mejor.

A mi papá, por tu amor infinito, por consentirme y estar para mí en todo momento. Tú eres mi modelo a seguir. Gracias por, entre risas y regaños, guiar mi vida y hacerme crecer cada día. ¡Te amo pa!

A mi hermano, Luis. Estoy orgullosa de ti, mi doctor. Fortaleza siempre para cumplir tus metas, a pesar de los obstáculos. Estoy segura de que tú puedes y mereces lograr todo lo que te propongas. Siempre cuentas conmigo.

A mi novio, Ismael. Gracias por tanto amor y paciencia. Por estar a mi lado, por llenar de alegría mis días y siempre ayudarme a continuar avanzando en mis proyectos. Deseo que sigamos aprendiendo y creciendo juntos. Te amo enorme.

A mi amada casa de estudios, la Universidad Central de Venezuela, la casa que vence las sombras. Siempre fuiste la universidad de mis sueños, siempre deseé recorrer tus pasillos, estar en tus aulas y egresar de ellas, poder decir y sentir: ¡SOY UCVISTA! Hoy, se me llena el corazón de orgullo, porque puedo decir: ¡Lo logré!

A todos sus profesores, que a pesar de las dificultades, cada día siguen creyendo en la importante y difícil labor de educar y de ese modo contribuyen enormemente al futuro de nuestro país. Gracias por no desistir.

A Dios, por tantas bendiciones y por ayudarme a que esta meta se concretara.

Landaeta R., Ana G.

**ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA Y ENERGÍA ELÉCTRICA EN
4800 VOLT PARA LA PLANTA FÍSICA DE LA UNIVERSIDAD
CENTRAL DE VENEZUELA UBICADA DENTRO DE LA
CIUDAD UNIVERSITARIA DE CARACAS, CON BASE AL
HISTÓRICO 1995-2015.**

**Tutor Académico: Ing. MSc. Alexander Cepeda Quintero. Tesis. Caracas.
U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Eléctrica. Ingeniero
Electricista. Opción: Potencia. T.E.G 2017. 94 h. + anexos.**

Palabras Claves: Demanda; Energía Eléctrica; Universidad Central de
Venezuela; Pronóstico.

Resumen:

El estudio de demanda y de energía dentro de un sistema eléctrico, surge como estrategia para la planificación y el mantenimiento del mismo. Como consecuencia de esto, se presenta la actualización de las curvas históricas de la demanda y energía eléctrica de la Universidad Central de Venezuela (UCV), para la red de media tensión en 4,8kV, tomando como información base el histórico de facturación del servicio eléctrico, comprendido entre Diciembre 1995 y Diciembre 2015. Se consideró emplear tres métodos pronóstico: Método de Suavizado Exponencial de Holt-Winters, Método de Descomposición según el Modelo Aditivo y Método de Descomposición según el Modelo Multiplicativo, con base a estudios previos realizados en este nivel de tensión en la UCV, para generar nuevos pronósticos de corto y mediano plazo; así como se realizó la verificación de lo asertivo de la metodología y los criterios de validación de los pronósticos empleados en dichos trabajos anteriores realizados en la UCV, comparando estos pronósticos con el comportamiento del sistema de acuerdo a la facturación.

ÍNDICE GENERAL

CONSTANCIA DE APROBACIÓN.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
RESUMEN.....	vi
ÍNDICE GENERAL.....	vii
LISTA DE TABLAS.....	x
LISTA DE FIGURAS.....	xi
LISTA DE ANEXOS.....	xv
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I	
1.1 Planteamiento del Problema.....	3
1.2 Objetivos.....	4
1.2.1 Objetivo General.....	4
1.2.2 Objetivos Específicos.....	4
1.3 Justificación.....	5
CAPÍTULO II	
2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1 Demanda Eléctrica.....	7
2.2 Energía Eléctrica.....	7
2.3 Capacidad Instalada.....	8
2.4 Medición de la Demanda y la Energía Eléctrica.....	8
2.5 Demanda Máxima.....	11
2.6 Demanda Mínima.....	12
2.7 Demanda Promedio.....	12
2.8 Demanda Coincidente.....	12
2.9 Ciudad Universitaria de Caracas.....	13

2.10 Pronóstico.....	19
2.10.1 Proceso de Pronóstico.....	20
2.10.2 Importancia del Pronóstico de la Demanda y Energía Eléctrica.....	21
2.11 Métodos de Pronóstico.....	22
2.11.1 Métodos de Pronóstico Cuantitativo.....	24
2.11.2 Modelo de Series de Tiempo.....	25
2.11.2.1 Componentes de una Serie de Tiempo.....	26
2.11.2.2 Métodos de Suavizado.....	29
2.11.2.3 Métodos de Descomposición.....	32
2.12 Criterios para la Validación y Análisis de los Métodos de Pronóstico.....	35
2.12.1 Error Residual.....	35
2.12.2 Desviación Media Absoluta o MAD (del inglés Mean Absolute Desviation).....	35
2.12.3 Error Medio Cuadrático o RMSE (del inglés Root Mean Square Error).....	36
2.12.4 Porcentaje de Error Medio Absoluto o MAPE (del inglés Mean Absolute Percentage Error).....	36
2.13 Definición de los Escenarios de Estudio.....	37
2.14 Marco Legal.....	38
CAPÍTULO III	
3. MARCO METODOLÓGICO.....	43
3.1 Etapa 1: Recopilación y Revisión de la Información Base.....	43
3.2 Etapa 2: Revisión y/o actualización de las curvas históricas de demanda y consumo eléctrico.....	44
3.3 Etapa 3: Revisión y Análisis comparativo de la data histórica actualizada al 2015 versus los pronósticos realizados.....	47
3.4 Etapa 4: Determinación de las Curvas de Energía y Demanda de Electricidad a corto y mediano plazo, para los escenarios de estudio definidos.....	48
CAPÍTULO IV	
4. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	51
4.1 Curvas Históricas de Demanda y Energía Eléctrica.....	51

4.2 Comparación de las curvas históricas de demanda y energía eléctrica vs los pronósticos realizados en estudios previos.....	60
4.3 Pronósticos de Demanda y Energía Eléctrica a Corto y Mediano Plazo.....	65
4.3.1 Escenario de Crecimiento Vegetativo.....	65
4.3.2 Escenario de Crecimiento en Desarrollo o Nuevas Cargas....	70
CONCLUSIONES.....	84
RECOMENDACIONES.....	88
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	89
BIBLIOGRAFÍA.....	92
ANEXOS.....	94

LISTA DE TABLAS

TABLAS	Pág.
1. Resumen de Circuitos y Edificaciones de la CUC.....	15
2. Dimensiones eléctricas totales de la CUC	16
3. Dimensiones eléctricas de los alimentadores A5C1, A7 y A68.....	17
4. Periodo de datos y cantidad de muestras por alimentador en estudio.....	44
5. Valores de los coeficientes del Método de Suavizado Exponencial de Holt-Winters para el pronóstico local.....	55
6. MAD de los Pronósticos locales de Demanda y Energía vs los Históricos	59
7. RMSE de los Pronósticos locales de Demanda y Energía vs los Históricos	59
8. MAD de los Históricos de Demanda y Energía vs los Pronósticos realizados en estudios previos	60
9. RMSE de los Históricos de Demanda y Energía vs los Pronósticos realizados en estudios previos.....	61
10. Demanda máxima, mínima y promedio por cada alimentador	81
11. Demanda máxima y demanda mínima coincidente	82
12. Demanda promedio para en el año 2009 y 2015	83

LISTA DE FIGURAS

FIGURAS	Pág.
1. Medidor de energía electromecánico	9
2. Partes de un medidor de energía de tipo inducción.....	10
3. Medidor de energía electrónico.....	11
4. Vista interior de un medidor de energía electrónico	11
5. Plano de la Ciudad Universitaria de Caracas	13
6. Distribución física de los alimentadores A5-C1, A7, A6 y A8 en la CUC.....	17
7. Clasificación de los Métodos de Pronóstico	23
8. Componentes de una Serie de Tiempo.....	26
9. Componente estacional de una serie de tiempo	26
10. Componente cíclica de una serie de tiempo	27
11. Componente tendencial de una serie de tiempo.....	28
12. Componente aleatoria de una serie de tiempo.....	28
13. Comportamiento de un pronóstico realizado con el método de Suavizado Exponencial de Holt-Winters aditivo.....	30
14. Comportamiento de un pronóstico realizado con el método de Suavizado Exponencial de Holt-Winters multiplicativo	30
15. Media móvil centrada para una serie con período igual a 7 (días).....	33
16. Representación gráfica de la banda de valores permitidos para la serie de datos	46
17. Histórico de demanda de acuerdo a la facturación del alimentador A5-C1....	52
18. Histórico de demanda de acuerdo a la facturación del alimentador A7.....	52
19. Histórico de demanda de acuerdo a la facturación del alimentador A68.....	53
20. Histórico de Energía Promedio Diaria de acuerdo a la facturación del alimentador A5-C1	53

21. Histórico de Energía Promedio Diaria de acuerdo a la facturación del alimentador A7.....	54
22. Histórico de Energía Promedio Diaria de acuerdo a la facturación del alimentador A68.....	54
23. Histórico de Demanda Alimentador A7 con Pronóstico Local. Método de Suavizado Exponencial de Holt-Winters	56
24. Histórico de Energía Alimentador A7 con Pronóstico Local. Método de Suavizado Exponencial de Holt-Winters	56
25. Histórico de Demanda Alimentador A7 con Pronóstico Local. Método de Descomposición Aditiva	57
26. Histórico de Energía Alimentador A7 con Pronóstico Local. Método de Descomposición Aditiva	57
27. Histórico de Demanda Alimentador A7 con Pronóstico Local. Método de Descomposición Multiplicativa	58
28. Histórico de Energía Alimentador A7 con Pronóstico Local. Método de Descomposición Multiplicativa	58
29. Demanda Alimentador A7. Histórico vs Pronóstico (Oct 09 - Dic 15). Método de Suavizado Exponencial de Holt-Winters	62
30. Energía Alimentador A7. Histórico vs Pronóstico (Oct 09 - Dic 15). Método de Suavizado Exponencial de Holt-Winters	62
31. Demanda Alimentador A7. Histórico vs Pronóstico (Oct 09 - Dic 15). Método de Descomposición Aditiva	63
32. Energía Alimentador A7. Histórico vs Pronóstico (Oct 09 - Dic 15). Método de Descomposición Aditiva	63
33. Demanda Alimentador A7. Histórico vs Pronóstico (Oct 09 - Dic 15). Método de Descomposición Multiplicativa.....	64
34. Energía Alimentador A7. Histórico vs Pronóstico (Oct 09 - Dic 15). Método de Descomposición Multiplicativa.....	64
35. Pronóstico de Demanda Alimentador A7. Suavizado Exponencial de Holt-Winters. Escenario de Crecimiento Vegetativo	66

36. Pronóstico de Demanda Alimentador A7. Descomposición Aditiva. Escenario de Crecimiento Vegetativo.....	66
37. Pronóstico de Demanda Alimentador A7. Descomposición Multiplicativa. Escenario de Crecimiento Vegetativo	67
38. Pronóstico de Energía Alimentador A7. Suavizado Exponencial de Holt-Winters. Escenario de Crecimiento Vegetativo	68
39. Pronóstico de Energía Alimentador A7. Descomposición Aditiva. Escenario de Crecimiento Vegetativo.....	68
40. Pronóstico de Energía Alimentador A7. Descomposición Multiplicativa. Escenario de Crecimiento Vegetativo.....	69
41. Pronóstico de Demanda Alimentador A7. Suavizado Exponencial de Holt-Winters. Escenario de Nuevas Cargas	70
42. Pronóstico de Demanda Alimentador A7. Descomposición Aditiva. Escenario de Nuevas Cargas.....	70
43. Pronóstico de Demanda Alimentador A7. Descomposición Multiplicativa. Escenario de Nuevas Cargas	71
44. Pronóstico de Energía Alimentador A7. Suavizado Exponencial de Holt-Winters. Escenario de Nuevas Cargas	72
45. Pronóstico de Energía Alimentador A7. Descomposición Aditiva. Escenario de Nuevas Cargas.....	72
46. Pronóstico de Energía Alimentador A7. Descomposición Multiplicativa. Escenario de Nuevas Cargas	73
47. Pronóstico de Demanda Alimentador A7. Suavizado de Holt-Winters. Escenario de crecimiento vegetativo, con histórico 2009-2015.....	74
48. Pronóstico de Demanda Alimentador A7. Descomposición Aditiva. Escenario de crecimiento vegetativo, con histórico 2009-2015	75
49. Pronóstico de Demanda Alimentador A7. Descomposición Multiplicativa. Escenario de crecimiento vegetativo, con histórico 2009-2015.....	75
50. Pronóstico de Energía Alimentador A7. Suavizado de Holt-Winters. Escenario de crecimiento vegetativo, con histórico 2009-2015	76

51. Pronóstico de Energía Alimentador A7. Descomposición Aditiva. Escenario de crecimiento vegetativo, con histórico 2009-2015	76
52. Pronóstico de Energía Alimentador A7. Descomposición Multiplicativa. Escenario de crecimiento vegetativo, con histórico 2009-2015.....	77
53. Pronóstico de Demanda Alimentador A7. Suavizado Exponencial de Holt-Winters. Escenario de nuevas cargas, con histórico 2009-2015	78
54. Pronóstico de Demanda Alimentador A7. Descomposición Aditiva. Escenario de nuevas cargas, con histórico 2009-2015	78
55. Pronóstico de Demanda Alimentador A7. Descomposición Multiplicativa. Escenario de nuevas cargas, con histórico 2009-2015.....	79
56. Pronóstico de Energía. Alimentador A7. Suavizado Exponencial de Holt-Winters. Escenario de nuevas cargas, con histórico 2009-2015	79
57. Pronóstico de Energía Alimentador A7. Descomposición Aditiva. Escenario de nuevas cargas, con histórico 2009-2015	80
58. Pronóstico de Energía Alimentador A7. Descomposición Multiplicativa. Escenario de nuevas cargas, con histórico 2009-2015.....	80

LISTA DE ANEXOS

- Anexo n° 1 Información base y limpieza de data
- Anexo n° 2 Pronóstico local para el período Febrero 2002-Septiembre 2009
- Anexo n° 3 Cálculo de la Desviación Media Absoluta (MAD) y del Error Cuadrático Medio (RMSE) para el pronóstico local de demanda y de energía comparando vs histórico para Octubre 2009-Diciembre 2015
- Anexo n° 4 Cálculo de la Desviación Media Absoluta (MAD) y del Error Cuadrático Medio (RMSE) para el pronóstico de demanda y de energía realizado en estudios previos vs el histórico para Octubre 2009-Diciembre 2015
- Anexo n° 5 Pronóstico a corto y mediano plazo bajo el escenario de crecimiento vegetativo
- Anexo n° 6 Nuevas cargas UCV
- Anexo n° 7 Pronóstico a corto y mediano plazo bajo el escenario de crecimiento en desarrollo o nuevas cargas
- Anexo n° 8 Pronóstico a corto y mediano plazo bajo el escenario de crecimiento vegetativo, con base al histórico 2009-2015
- Anexo n° 9 Pronóstico a corto y mediano plazo bajo el escenario de crecimiento en desarrollo o nuevas cargas, con base al histórico 2009-2015
- Anexo n° 10 Código de la macro utilizada en Microsoft Excel para la inicialización del método de Suavizado Exponencial de Holt-Winters

INTRODUCCIÓN

La luz de “*La casa que vence la sombra*” comienza a brillar por allá en el año 1673, con la fundación del colegio Santa Rosa de Lima, por Antonio González Acuña e inaugurado el 29 de agosto de 1696 por Diego Baños Sotomayor y que tenía como nombre oficial Colegio Seminario de Santiago de León de Caracas, en la advocación de Santa Rosa de Lima, el 22 de diciembre de 1721, bajo cédula Real, que libra el Rey Felipe V de España, se crea la Universidad Real de Caracas y el 18 de diciembre de 1722, mediante Bula Apostólica del Papa Inocencio XIII, se convierte en pontificia y pasa a llevar oficialmente el nombre de Real y Pontificia Universidad de Caracas.

La sede oficial de la universidad era la Capilla del Seminario. Como dato histórico curioso: en esta misma capilla se declaró la Independencia de Venezuela el 5 de julio de 1811 y muchos de sus redactores y firmantes se formaron allí mismo. Actualmente este recinto sirve de Palacio Municipal de Caracas

En el año 1786 fue trasladada al convento de San Francisco (hoy en día El Palacio de las Academias) donde funciona hasta 1953, cuando pasa a la actual sede en la Ciudad Universitaria de Caracas. Decretada por el presidente Isaías Medina Angarita y proyectada arquitectónicamente por el maestro Carlos Raúl Villanueva y construida en gran parte en el gobierno del general Marcos Pérez Jiménez.

Se plantea así el gran problema, durante su funcionamiento y crecimiento hasta nuestros días, que es el crecimiento del consumo eléctrico, gracias a la utilización de aires acondicionados, iluminación, computación, entre otros, y el aumento acelerado de la matrícula estudiantil, las ampliaciones y remodelaciones de las distintas edificaciones, lo que lleva a la tarea de recuperación de la red primaria de distribución eléctrica, sustitución de puntos de transformación y

modificaciones en las cargas planificadas, limitadas principalmente por la saturación de los puntos de suministro (alimentadores) provenientes de la S/E Chaguaramos en el nivel de media tensión en 4,8kV. Es por esto que se tiene como objetivo principal la estimación de la demanda de energía eléctrica en los edificios de la Universidad Central de Venezuela (UCV), actualizando la curva histórica de dicha demanda y comparándola con la curva de demanda pronosticada en estudios previos realizados al respecto en la UCV, y construyendo la curva histórica de energía eléctrica, lo cual permite hacer estimaciones de pronósticos de la demanda y la energía a corto y mediano plazo, lo que favorecería la planificación de actividades futuras, como proyectos de ampliación y adecuación de distribución de cargas, así como la formulación de partidas presupuestarias.

Para ello, se deben abordar conceptos relevantes como: demanda eléctrica, energía eléctrica y capacidad instalada, conocer donde está ubicada y como está distribuida la planta física de la Ciudad Universitaria y así como las dimensiones de la red eléctrica que la conforma, lo que permitirá la elaboración de un pronóstico que reducirá el rango de incertidumbre que afecta la toma de decisiones con respecto al funcionamiento futuro del sistema eléctrico en estudio, por supuesto, también es relevante el conocimiento del marco legal, que establece parámetros de carácter regulatorios y obligatorios, a cumplir por los distintos entes, tanto privados como públicos, respecto al consumo y uso de la energía eléctrica. A su vez, se requiere de una metodología que permita la recopilación y revisión de los informes técnicos y los pronósticos de demanda realizados anteriormente, con base a los datos de facturación del servicio eléctrico comprendido entre diciembre de 1995 a diciembre del 2015, lo que permitirá la determinación de las curvas de energía y demanda eléctrica a corto y mediano plazo, utilizando los métodos de pronóstico: Suavizado Exponencial de Holt-Winters, Descomposición según el Modelo Aditivo y Descomposición según el Modelo Multiplicativo.

CAPÍTULO I

1.1 Planteamiento del problema

El crecimiento de la Ciudad Universitaria de Caracas desde su construcción ha sido acelerado y con ello el consumo eléctrico de cada una de las dependencias [1] [2] [3] [4]. La instalación y utilización de equipos de aires acondicionados e iluminación, dominado en el pasado por poco o ningún criterio técnico-económico o de confort respecto a su dimensionamiento, uso y mantenimiento así como el aumento en la cantidad de equipos de computación y el cambio de uso de los espacios por el creciente aumento de la matrícula estudiantil, experimentado durante las últimas décadas del siglo pasado, estuvo acompañado por un crecimiento acelerado en el consumo de la energía eléctrica de la Ciudad Universitaria de Caracas (CUC).

Adicionalmente a esa carga eléctrica actual, existen proyectos de ampliación y remodelación de las diferentes edificaciones que conforman la Ciudad Universitaria, enmarcadas dentro del plan original del Arquitecto Carlos Raúl Villanueva y otros proyectos, no solo en planta física sino también en bienes muebles de naturaleza eléctrica los cuales se han acometido de forma total o parcial sin disponer de capacidad de reserva útil en el sistema eléctrico de la CUC, a nivel de 4800V [5]. Sin embargo, con base a cifras e indicadores establecidos en trabajos de diagnóstico [3] y pronósticos de demanda eléctrica [5], se han ejecutado trabajos de adecuación de las instalaciones eléctricas y racionalización de la demanda y el consumo de energía. En primer término, y como alcance de una primera fase de Recuperación de la Red Primaria de Distribución de Energía Eléctrica [6], se ejecutó entre el 2009 y el 2011 un plan de sustitución de equipos mayores, que incluyó [7]: la sustitución de cableado alimentador colapsado o con

altos grados de deterioro u obsolescencia, la sustitución de elementos de protección existentes por interruptores seccionadores que mejoran las funciones de protección y desconexión programada y le agregan flexibilidad en la operación y logística de mantenimiento de la red de alta tensión, así como la sustitución de la mayor puntos de transformación colapsados, sobrecargados o con ausencia de reserva útil necesaria para atender la carga diferida y los aumentos de cargas planificados, limitados principalmente por la saturación de la capacidad instalada de suministro de la S/E externa a la UCV en 4,8kV.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Estimar la demanda y energía eléctrica en 4800 volt de las edificaciones de la Universidad Central de Venezuela (UCV), ubicadas dentro de la Ciudad Universitaria de Caracas (CUC), tomando como base histórica el período 1995-2015.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Actualizar la curva de demanda eléctrica de la UCV, con base a la facturación del servicio eléctrico registrada dentro del período diciembre de 1995 a diciembre de 2015.
- Determinar la curva histórica del consumo de energía eléctrica de la UCV, con base a la facturación del servicio eléctrico registrada dentro del período diciembre de 1995 a diciembre de 2015.
- Realizar Estimaciones de pronósticos de demanda y de energía a corto y mediano plazo, con base a: los históricos de demanda y consumo de

electricidad actualizado a diciembre de 2015; y a los proyectos de ampliación y remodelación de la planta física de la CUC de la UCV.

- Comparar la data histórica actualizada al 2015 con los pronósticos realizados.

1.3 Justificación

En la actualidad, y en el marco del uso racional y eficiente de la energía, es necesario actualizar los consumos y demandas asociadas al servicio eléctrico de la Universidad Central de Venezuela (UCV) y valorar el pronóstico de demanda realizados para la Ciudad Universitaria de Caracas (CUC) en anteriores estudios. En el año 2002 se realizó una primera aproximación a la determinación de la demanda eléctrica a corto y mediano plazo del sistema de 4800 Volt [3], considerando la facturación registrada dentro del período de tiempo comprendido entre diciembre de 1995 y enero de 2002. Como continuación del primer estudio, en [5] se actualizó la curva histórica de demanda con base a la facturación disponible hasta mayo de 2005.

El alcance del presente trabajo procurará actualizar el histórico de demanda hasta el 2015 con base a la facturación del servicio eléctrico de la UCV, a nivel de 4800 Volt, así como verificar lo asertivo de los pronósticos realizados en [3] y [5], con el fin de confirmar la validez de la metodología y criterios de pronósticos utilizados en las referencias precitadas, para posteriormente realizar nuevos pronósticos de corto y mediano plazo.

Lo anterior permitirá, en futuros trabajos y fuera del alcance de este trabajo especial de grado, planificar actividades, como las indicadas a continuación:

- i) Confirmación y/o Ajustes de los criterios y supuestos del Proyecto de Ingeniería Básica del nuevo centro de distribución de carga en 12,470kV [8] vista las restricciones de capacidad de demanda existente tanto en la red primaria de distribución interna de la UCV en 4,8kV como en la capacidad

firme de suministro de potencia disponible en la Subestación Eléctrica (S/E) Los Chaguaramos de la empresa CORPOELEC.

ii) Proposición de criterios para la formulación de partidas presupuestarias para el pago de servicios de electricidad.

iii) Validación o Revisión de criterios utilizados para el crecimiento o racionalización de la red primaria de suministro de energía eléctrica para la actualización del plan rector de recuperación, ampliación y conservación de la planta física de la CUC [6].

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Demanda Eléctrica

Es la cantidad de potencia eléctrica que un consumidor utiliza en un período de tiempo. La demanda de una instalación eléctrica en los terminales receptores, 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. La demanda eléctrica se puede expresar en Kilo Volt Ampere (kVA), Kilovatio (kW), Kilo Volt Ampere Reactivo (kVAR). 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). [9]

2.2 Energía Eléctrica

La energía eléctrica es una magnitud física que resulta de la existencia de una diferencia de potencial entre dos puntos, lo cual permite la circulación de una corriente eléctrica entre estos, si se colocan en contacto por medio de un conductor eléctrico. Se mide y se expresa en Vatio hora (Wh), o en sus múltiplos: Kilovatio hora (kWh), Megavatio hora (MWh), Gigavatio hora (GWh) o Teravatio hora (TWh). [9]

2.3 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. [9]

2.4 Medición de la Demanda y la Energía Eléctrica

La medición de la energía eléctrica se realiza mediante un instrumento llamado contador o medidor de consumo eléctrico o vatímetro. Generalmente, este instrumento está calibrado según las unidades de facturación, siendo la más común el kilovatio-hora [kWh].

Los medidores de energía eléctrica son relevantes dentro del sistema eléctrico, a nivel de los usuarios, ya que permiten contabilizar la energía utilizada por los mismos, para luego, aplicando las tarifas vigentes, generar la factura del servicio eléctrico.

Existen diferentes tipos de medidores de consumo eléctrico, los cuales pueden clasificarse según su construcción, según el tipo de energía que miden, o de acuerdo a la conexión que tengan a la red.

Según su construcción, pueden ser de tipo electromecánico o de tipo electrónico.

Los contadores de energía de tipo electromecánico, también llamados medidores de energía de tipo inducción, están constituidos por un núcleo de chapa magnética en el que va colocado sobre dos bobinas, una de ellas, en serie con el conductor, por el que circula la corriente principal, y que se denomina bobina de corriente, y otra bobina en derivación o paralelo, sobre los dos conductores, denominada bobina de tensión. Los flujos magnéticos producidos por ambas bobinas están desfasadas 90° y actúan sobre un disco rotor de aluminio.

Estos flujos magnéticos producen un par de giro, que, como consecuencia, provoca un movimiento de rotación del disco de aluminio a una velocidad angular proporcional a la potencia registrada. El disco de aluminio es, además, frenado por un imán (freno de corrientes parásitas), cuya finalidad es controlar la velocidad de giro del disco para hacerla proporcional al consumo. El aparato está completado por un registrador, que acumula el número de vueltas del disco y lo presenta por medio de cilindros rotulados con números, que van girando para indicar los kilovatios-hora consumidos. [10]



Figura 1. Medidor de energía electromecánico

Un medidor de energía de tipo inducción está constituido por las siguientes partes:

1. Bobina de tensión
2. Bobina de corriente
3. Imán de frenado
4. Regulación fina
5. Regulación gruesa
6. Disco
7. Sistema de Transmisión

8. Terminales de conexión

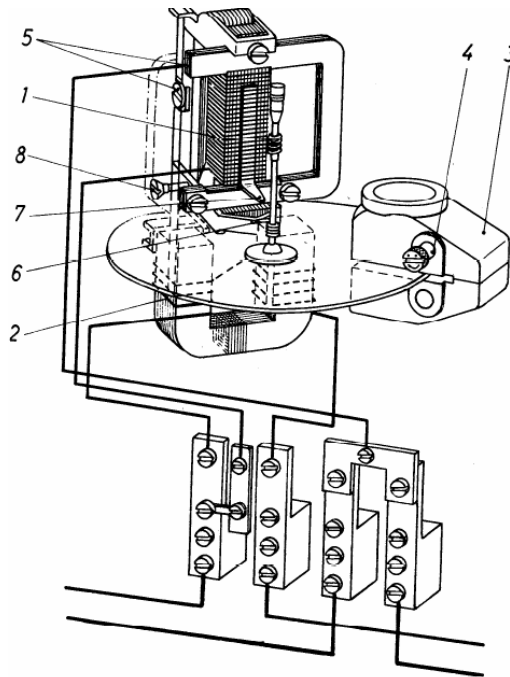


Figura 2. Partes de un medidor de energía de tipo inducción

Los medidores de energía electrónicos o digitales, no utilizan partes móviles, así que también se les conoce como medidores estáticos de energía eléctrica. El funcionamiento de estos instrumentos es controlado mediante un circuito integrado. Además, están compuestos por un transformador de tensión, un transformador de corrientes, circuitos analógicos y convertidores analógico-digitales. La medición se indica en una pantalla led ubicada en la parte frontal del aparato.

Este tipo de medidores, tienen la capacidad de realizar mediciones de energía activa, energía reactiva, tensión de línea, corriente, factor de potencia, demanda máxima, entre otras características de la red. [11]



Figura 3. Medidor de energía electrónico



Figura 4. Vista interior de un medidor de energía electrónico

2.5 Demanda Máxima

La demanda máxima en una instalación eléctrica, se entiende como el mayor valor de demanda registrado en un período de tiempo determinado. [9]

2.6 Demanda Mínima

La demanda mínima en una instalación eléctrica, se entiende como el menor valor de demanda registrado en un período de tiempo determinado. [9]

2.7 Demanda Promedio

La demanda promedio se define como el valor medio de la demanda eléctrica registrada en una instalación en un período de tiempo definido, tal como un día, un mes o un año.

Matemáticamente puede definirse como:

$$Demanda\ promedio = \frac{\sum_{i=1}^n X_{i(t)}}{n} \quad (2.1)$$

donde

X_i : Valor de la lectura de demanda eléctrica, en el período de tiempo t .

n : Número de lecturas

2.8 Demanda Coincidente

La demanda coincidente es la suma de las demandas de cada alimentador, en un intervalo de tiempo particular. Valores típicamente relevantes para el dimensionamiento o para la supervisión del funcionamiento de una instalación eléctrica son la demanda máxima coincidente, siendo esta la suma de las demandas máximas de cada alimentador o cada carga, en un período de tiempo definido; y la demanda mínima coincidente, que es la suma de las demandas mínimas de cada alimentador de interés.

2.9 Ciudad Universitaria de Caracas (C.U.C)

La Ciudad Universitaria de Caracas, es el principal campus de estudio de la Universidad Central de Venezuela (UCV). Está localizada a 870mts sobre el nivel del mar y posee un área de construcción de 164,2203 hectáreas (1,64 km²) y terrenos que alcanzan los 2,02 km². Está localizada en la Parroquia San Pedro del Municipio Libertador de Caracas, Venezuela.

Actualmente, la UCV cuenta con 11 facultades, y aproximadamente ochenta y nueve edificaciones (89), destinadas a diversos usos, como aulas de clases, laboratorios, centros de investigación, auditorios, bibliotecas, entre otros. [12]

En la Figura 5, se presenta el plano de la CUC, con la identificación de las diversas edificaciones que la conforman.

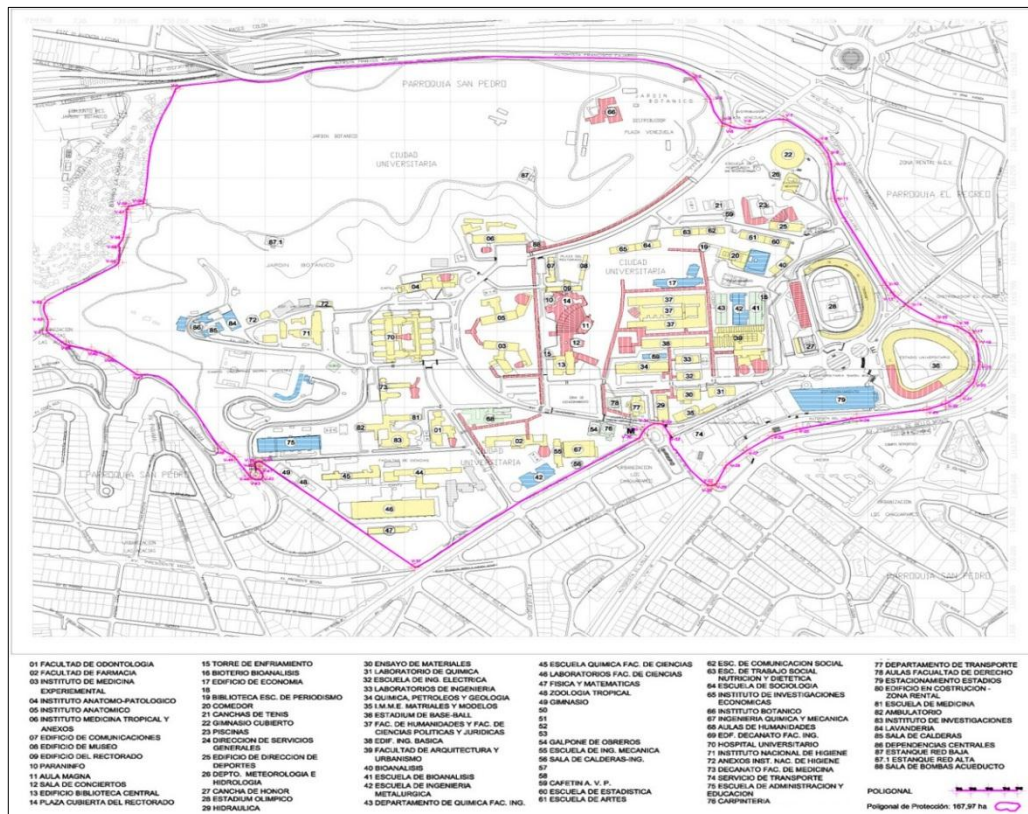


Figura 5. Plano de la Ciudad Universitaria de Caracas

La red eléctrica de la CUC está alimentada en niveles de media tensión. Dicha red está constituida por el nivel de 12470V, proveniente de la Subestación Eléctrica (S/E) Bandera, y el nivel de 4800V, suministrado por la S/E Chaguaramos.

El sistema de interés para este estudio está conformado únicamente por la red primaria de distribución eléctrica en el nivel de tensión de 4800V (4,8kV). Dicho sistema eléctrico de la Ciudad Universitaria de Caracas, está integrado por los circuitos alimentadores denominados A4, A5, A6, A7 y A8, provenientes de la S/E Chaguaramos de la antigua Electricidad de Caracas (EdeC), actualmente, perteneciente a la Corporación Eléctrica Nacional (CORPOELEC), a través de tres (3) puntos de suministro, los cuales poseen un número de identificación de suministro (NIS).

El alimentador A4, sirve al Hospital Universitario de Caracas (HUC). Dicho alimentador fue considerado fuera del alcance de este estudio, ya que el pago del servicio eléctrico es de responsabilidad extra universitaria. [3]

El circuito 1 del alimentador A5 (A5-C1) y los alimentadores A6, A7 y A8, suministran energía a todas las dependencias adscritas administrativamente a la Universidad Central de Venezuela.

El alimentador A5, sirve de respaldo al HCU y alimenta un circuito correspondiente al Decanato de Medicina (bajo un régimen de administración externo a la UCV) y sólo uno de sus circuitos, denominado A5-C1, alimenta a la Facultad de Ciencias de la UCV, a través del punto de suministro de CORPOELEC (NIS: 55 01 51 101.5). [3]

El alimentador A7, sirve a la Facultad de Arquitectura y a la Facultad de Ingeniería. Presenta un enrutamiento importante fuera de la CUC, a lo largo de la Avenida Los Ilustres, desde la S/E Chaguaramos hasta una tanquilla de entrada ubicada en las cercanías del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME). Este alimentador contradice el concepto original de su diseño, que data de 1968, concebido como una solución provisional como consecuencia de una

falla eléctrica en un ramal del circuito 4 del alimentador 8 (A8-C4) que alimentaba las cargas antes descritas; por ello, el alimentador A7 no posee caseta de medición ni protecciones independientes de las ubicadas en la S/E Chaguaramos y tiene asignado el NIS: 55 01 27 001.8. [3]

Los alimentadores A6 y A8 van desde la S/E Chaguaramos hasta la S/E de distribución interna, denominada S/E UCV, la cual se encuentra ubicada en los alrededores del Edificio de Medicina Tropical. Actualmente, los equipos de medición de la S/E UCV se encuentran fuera de servicio, por lo cual, el registro del consumo se realiza directamente en la S/E Chaguaramos, a través del NIS: 55 01 50 101.0 [3]. Estos alimentadores surten de energía al resto de las instalaciones de la CUC conectadas en 4,8kV.

En la Tabla 1, se presenta un resumen de las dependencias de la CUC asociadas a cada circuito alimentador [3].

Tabla 1. Resumen de Circuitos y Edificaciones de la CUC

Alimentador	Circuito	Edificaciones que surte de energía
A4		Hospital Clínico Universitario (HCU).
A5	C1	Facultad de Ciencias.
	C2	HCU (alimentador de respaldo). Decanato de Medicina.
A6	C1	Escuela de Administración y Contaduría (Transbordo). Escuela de Educación.
	C2	Facultad de Ciencias Económicas y Sociales. Dirección de Deportes. Casona Ibarra Gimnasio Cubierto y Cuerpo de Bomberos.
A7		Escuelas de Ingeniería Eléctrica, Petróleo, Geología, Química y ala norte de Hidráulica. Edificio de Aulas de la Facultad de Ingeniería. Decanato, Biblioteca y Auditorium de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Laboratorio de Química de la Facultad de Ciencias. IMME. Edificio del CPD de Ingeniería. Sistema de Producción de Agua Helada del Centro Directivo Cultural (SPAH-CDC).
A8	C1	Desconectado y sin carga (se presume antiguo circuito de alimentación del HCU o de los Estadios de la UCV)

	C2	Instituto de Medicina Tropical. Instituto de Inmunología. Polideportivo Sierra Maestra. Escuela de Medicina. Facultad de Odontología. Instituto de Investigaciones Oncológicas. Sala de Calderas de la CUC.
	C3	Cancha de Tenis. Alumbrado público. Escuela de Trabajo Social e Instituto “Rodolfo Quintero”. Edificio R1, sede de las Escuelas de Antropología, Comunicación Social y Nutrición. Edificio R2, sede de las Escuelas de Artes, Estadística y Ciencias Actuariales. Comedor de estudiantes (ala vieja). Edificio R3, sede de la Escuela de Bioanálisis y sección nueva del Comedor Universitario. Facultad de Humanidades. Facultad de Ciencias Jurídicas y Políticas. Galpones de Ingeniería, Ciencias Jurídicas y Políticas y de la Cátedra de Fisiología de la Escuela de Bioanálisis. Jardín Botánico. Sala de Bombas I.
	C4	Aula Magna I. Instituto de Medicina Experimental. Facultad de Farmacia. Alumbrado de los pasillos de Ingeniería. Escuela de Derecho. Escuela de Ingeniería Sanitaria. Escuela de Ingeniería Hidráulica (IMF).
	C5	Sala de Bombas I, sistema de agua potable de la CUC.
	C6	Edificio del Rectorado. Edificio Museo. Edificio de la FCU y Centro de Comunicaciones. Aula Magna II. Instituto Anatómico. Galpones de Farmacia. Escuela de Ingeniería Mecánica y galpones. Biblioteca Central.

Las dimensiones eléctricas totales de la CUC, se pueden apreciar en la Tabla 2, presentada a continuación:

Tabla 2. Dimensiones eléctricas totales de la CUC

Capacidad Instalada [kVA]	30.000
Cantidad de transformadores [nº]	77
Cable de media tensión [km]	36
Tanquillas o Puntos de derivación [nº]	90

Para fines de este estudio, se tomarán en cuenta sólo el alimentador A5, Circuito 1 (A5-C1), el alimentador A7 y los alimentadores A6 y A8, que por poseer el mismo punto de medición en la S/E Chaguaramos, se denominará alimentador A68.

En la Tabla 3, se presentan las dimensiones eléctricas en el nivel de tensión de 4,8kV de los alimentadores en estudio:

Tabla 3. Dimensiones eléctricas de los alimentadores A5C1, A7 y A68

	A5-C1	A7	A68
Capacidad Instalada [kVA]	2963	3700	16413
Cantidad de transformadores [nº]	7	9	45
Cable de media tensión [km]	1,5	1,5	7,3

La ruta de los alimentadores A5, A7 y A8 en la Ciudad Universitaria de Caracas, se presenta en la Figura 6.

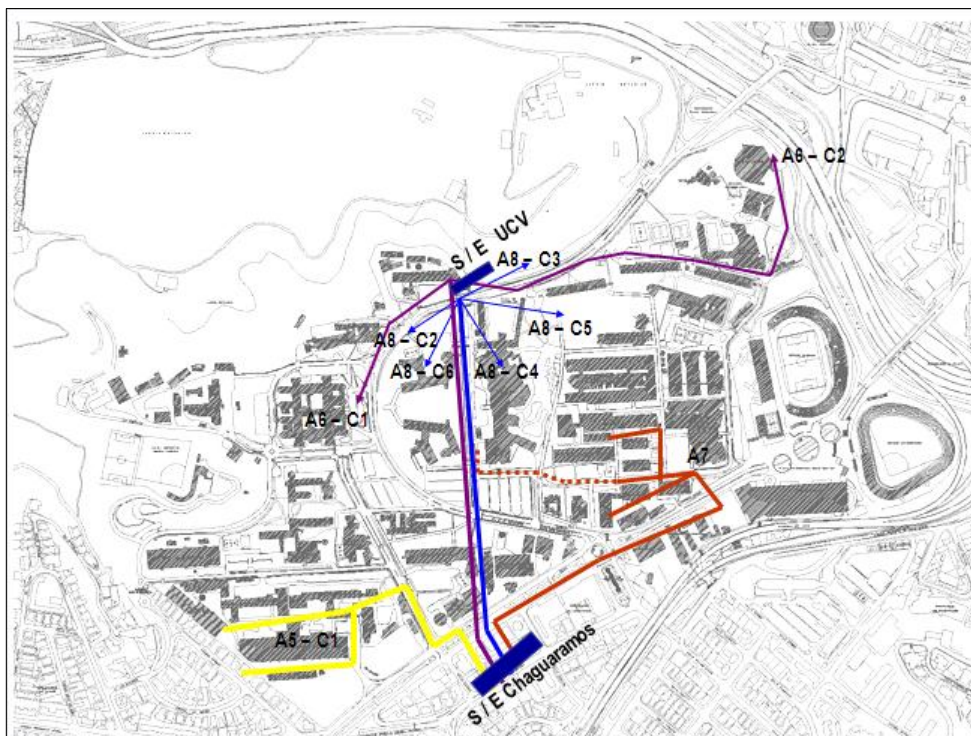


Figura 6. Distribución física de los alimentadores A5-C1, A7, A6 y A8 en la CUC

Es necesario presentar el concepto original de alimentación de las instalaciones de la Universidad Central de Venezuela, tal como se interpreta a partir de los distintos trabajos de levantamiento llevados a cabo por el Departamento de Potencia de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la UCV [3]:

1. La acometida (incluidas dentro de los alimentadores A6 y A8) fue proyectada para seguir una ruta directa desde la S/E proveedora hasta un único centro neurálgico de distribución, ubicado dentro de la CUC (S/E UCV).
2. La S/E UCV fue concebida como punto de entrega del servicio eléctrico o de llegada de las acometidas, con funciones de registro de energía, medición, protección y transferencia de carga, con la finalidad de asegurar la confiabilidad y flexibilidad del sistema eléctrico de distribución interno.
3. La custodia, operación y mantenimiento de las acometidas hasta el punto de medición es a cuenta y riesgo del proveedor de energía, siendo el cliente el custodio, operador y mantenedor del resto del sistema eléctrico (desde el punto de suministro), en este caso la UCV. Este concepto sigue vigente en la actual Ley Orgánica del Sistema y Servicio Eléctrico (LOSSE) [13]; por esto, el punto de suministro de energía era en la S/E UCV.

Con base a lo expuesto anteriormente, es de importancia destacar las modificaciones realizadas, que van en detrimento de las ventajas que ofrecía el concepto original, en cuanto a los indicadores de confiabilidad, flexibilidad y responsabilidad:

1. Dispersión de los puntos de medición y supervisión de la red eléctrica: actualmente, los tres (3) puntos de suministro en 4,8kV se encuentran fuera de la S/E UCV, externos a la CUC.

2. Desmantelamiento de las funciones de la S/E UCV: en la actualidad, las funciones de registro de energía, medición y protección se realizan en la S/E Chaguaramos.
3. Las modificaciones en la ubicación del punto de medición han convertido acometidas en alimentadores. En consecuencia, la S/E UCV pierde sus funciones originales como centro de protección y medición, operando sólo como un centro de derivaciones de circuitos ramales; además, implica que la responsabilidad de la UCV ha sido extendida hasta la S/E del proveedor (S/E Chaguaramos), transfiriéndole indebidamente la custodia, operación y mantenimiento preventivo y correctivo de las acometidas que están canalizadas en áreas de dominio público y de alta densidad de tránsito automotor y peatonal. Se presenta el caso más grave en el alimentado A7, ya que no presenta, ni siquiera a nivel de proyecto, un punto de medición ubicado dentro de la S/E UCV, por lo que es técnica y jurídicamente, un circuito alimentador cuya responsabilidad recae en la UCV. Sin embargo, es de hacer notar que esta situación es completamente irregular, por el hecho de que la ruta seguida es de dominio público, lo que contradice cualquier criterio técnico y jurídico de pertenencia física de la instalación fuera de la Ciudad Universitaria de Caracas.

En [8] se presenta un proyecto para la corrección de la mayoría de las observaciones arriba planteadas.

2.10 Pronóstico

Realizar pronósticos consiste en predecir eventos, mediante el empleo de métodos y herramientas matemáticas y estadísticas destinadas a tal fin. Las predicciones y pronósticos constituyen los datos básicos para la planificación, ya que cualquier decisión futura se basa en alguna especie de predicción o

pronóstico. La predicción está asociada con la integración de información objetiva y subjetiva para hacer estimaciones a futuro. En cambio, los pronósticos se refieren al uso de técnicas estadísticas que permiten estimar un evento futuro, teniendo como base para dicha estimación, los datos pasados.

La finalidad principal de un pronóstico consiste en reducir el rango de incertidumbre dentro del cual se toman las decisiones que afectan el funcionamiento del sistema en estudio y con esto, a todas las partes involucradas. Los pronósticos se emplean para facilitar la planificación, ya que en base a esto, se adecúan estrategias para corregir o para favorecer el comportamiento requerido, esto implica que la programación de las operaciones o acciones futuras, depende de la combinación entre las condiciones actuales de demanda y energía eléctrica del sistema y la visión de lo que se espera que ocurra.

Es de resaltar que:

- Los pronósticos siempre presentarán un grado de incertidumbre asociada.
- Los pronósticos serán más inciertos en la medida que se proponga pronosticar en períodos de tiempo más lejanos.

Esto es debido a que las técnicas de pronóstico no son capaces de eliminar por completo el error asociado al comportamiento del histórico de datos, pero bien se puede predecir la magnitud de dichos errores. Estas técnicas son sólo herramientas, por tanto, es indispensable tomar en consideración las distintas condiciones o escenarios posibles para el sistema en estudio, para la correcta elaboración de los pronósticos de interés. [14]

2.10.1 Proceso de Pronóstico

El proceso general para realizar el pronóstico de cualquier variable, se puede resumir en los siguientes aspectos:

1. **Formulación del problema y recolección de datos:** Estos dos elementos se tratan como un único paso ya que la delimitación del problema determina la selección adecuada de los datos. Si no se dispone de los datos adecuados el problema tendría que redefinirse o se tendría que acudir a un método puramente cualitativo.
2. **Manipulación y limpieza de datos:** Es posible tener muchos o pocos datos, datos irrelevantes, datos desactualizados, datos muy alejados de la tendencia, etc. Por ellos es necesario realizar cierto procesamiento o manipulación de la data para obtener los datos necesarios y adecuados, lo cual permite reducir el error asociado al pronóstico requerido.
3. **Construcción y evaluación del modelo:** Implica emplear los datos en varios modelos de pronósticos y determinar cuál resulta más adecuado para el sistema en estudio, tomando como criterio la minimización del error de pronóstico.
4. **Aplicación del modelo:** Consiste en aplicar el método de pronóstico que resultó más adecuado.
5. **Evaluación del pronóstico:** Implica comparar los valores del pronóstico con los valores históricos reales. Frecuentemente, el examen de los patrones de errores lleva al analista a modificar el procedimiento de pronósticos.

2.10.2 Importancia del Pronóstico de Demanda y Energía Eléctrica

El objetivo principal de un sistema eléctrico de potencia es suministrar el servicio de energía de manera continua, segura y confiable, por esta razón deben realizarse modificaciones en dicho sistema, de acuerdo a la demanda y el consumo

de energía eléctrica. Sin embargo, los sistemas eléctricos no son sistemas adaptativos y para suplir dicha demanda, se requiere contar con un estimado del valor demandado por el sistema para poder efectuar las modificaciones necesarias para así cumplir con las exigencias del servicio.

La importancia de realizar pronósticos de demanda y de consumo de energía eléctrica radica en que ello permite prever y planificar las futuras modificaciones en las redes eléctricas debido a nuevos requerimientos de la instalación, lo cual implica en algunos casos, cambio de los transformadores, líneas de transmisión, entre otros elementos del sistema. Además, esto posibilita estimar con anticipación los gastos asociados a dichas modificaciones. Sin una adecuada estimación de las necesidades futuras, como los problemas relacionados con capacidad insuficiente de suministro de energía, puede representar un costo considerablemente elevado. Adicionalmente, hacer pronósticos permite tomar medidas para el ahorro y uso eficiente de la energía eléctrica, conforme lo establecido en el marco de la Ley Orgánica del Sistema y Servicio Eléctrico [13] y la Ley de Uso Racional y Eficiente de la Energía Eléctrica [15].

2.11 Métodos de Pronóstico

Existen dos técnicas fundamentales en las cuales se basan los métodos de pronóstico: las técnicas de tipo cuantitativas y las técnicas cualitativas.

Las técnicas cuantitativas consisten en procesos basados en estadísticas convencionales (análisis de regresión y series de tiempo). En cambio, las técnicas cualitativas consisten en la opinión y conocimientos de expertos (técnica subjetiva).

Los métodos cuantitativos de pronóstico se pueden utilizar cuando existan tres condiciones:

- La data o información previa esté disponible.

- La información pueda ser cuantificada en forma numérica.
- Cuando se pueda asumir algunos aspectos de patrones pasados para continuar en el futuro.

Los métodos de pronóstico cualitativos se emplean cuando no se cuenta, o cuando existe muy poca información cuantitativa, es decir, cuando se cuenta con pocos o nulos datos históricos, lo cual implica que el pronóstico depende del juicio, conocimiento y experiencia (característica cualitativas) de quien lo realiza, ya que no se emplean modelos específicos, por lo que distintos individuos pueden emplear el mismo método y obtener resultados diferentes. [16]

En la Figura 7, se presenta una clasificación de los métodos de pronóstico.

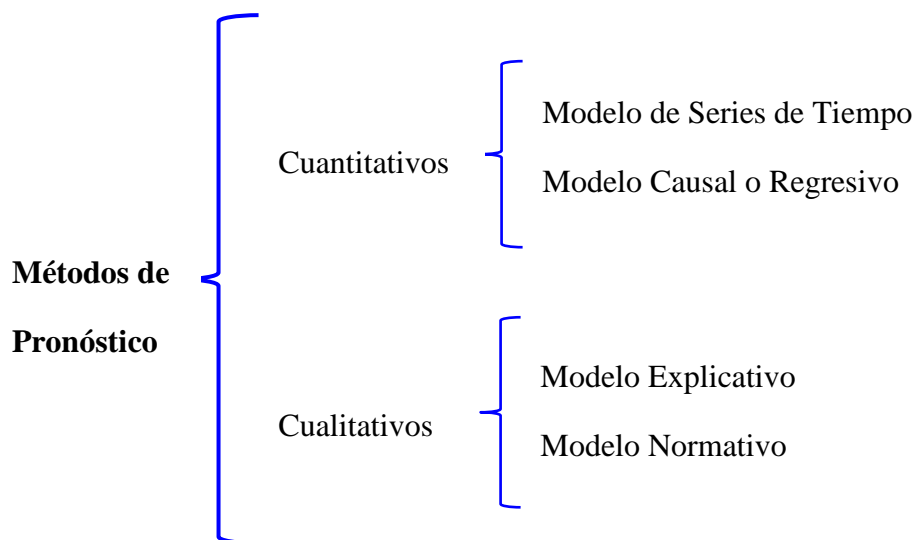


Figura 7. Clasificación de los Métodos de Pronóstico

Algunas de las variables a considerar, al momento de seleccionar la técnica o método de pronóstico más adecuado, son:

- El contexto del pronóstico.
- La relevancia y disponibilidad de datos históricos.

- El grado de exactitud deseado.
- El periodo de tiempo que se desea pronosticar.

Un factor importante que influye en la selección de una técnica de pronóstico es identificar y entender los patrones históricos de los datos.

2.11.1 Métodos de Pronóstico Cuantitativo

Los métodos de carácter cuantitativo presentan una característica importante: constan de expresiones matemáticas, lo cual permite establecer de forma precisa cómo se realiza el pronóstico, además de proporcionar la versatilidad de hacer modificaciones o ajustes sistemáticos para mejorar los resultados de dicho pronóstico.

Los métodos cuantitativos están comprendidos por dos grandes modelos: modelo de serie de tiempo y modelo causal o regresivo.

En el modelo de series de tiempo, la predicción del futuro se basa en valores pasados. El objetivo del modelo de series de tiempo es descubrir el patrón en el histórico de datos a extrapolar dicho patrón al futuro.

Por otro lado, los modelos causales suponen que el factor a pronosticar presenta una relación causa – efecto, con una o más variables independientes. [17]

Debido a que las variables en estudio para este trabajo son la energía y la demanda eléctrica, se considera que deben emplearse métodos cuantitativos, ya que son características que varían en el tiempo (serie de tiempo). Esto permite la aplicación de distintas técnicas de series temporales para la realización del pronóstico de la demanda y de la energía futura en la UCV, basado en los datos históricos disponibles.

Para examinar una serie de tiempo, se grafican sus valores, lo que permite realizar un análisis completo de los mismos, ya que de este modo, es posible detectar algunas irregularidades, e incluso valores atípicos, en caso de que estén presentes; dentro de los que se destaca la aparición de cambios periódicos,

efectos estacionales, valores fuera de tendencia, entre otros. Los cambios o discontinuidades dentro de la serie de tiempo, pueden ser fundamentales para el análisis de los datos por intervalos. Dentro del estudio de las series de tiempo, es primordial analizar sus componentes y de ser necesario realizar transformaciones para eliminarlas o modificarlas.

2.11.2 Modelo de Series de Tiempo

Una serie de tiempo consiste en una secuencia ordenada de valores de una variable, en intervalos de tiempo periódicos y consecutivos.

La aplicación de estos modelos permite generar pronósticos mediante la extrapolación del comportamiento anterior, presente en los valores de la serie en estudio.

El objetivo es identificar en la serie de datos históricos los diversos patrones de comportamiento, ya que esto posibilita la proyección futura de la variable deseada. [17]

La representación matemática general de una serie de tiempo está determinada según [16] por:

$$A_t = f(I_t, T_t, C_t, E_t) \quad (2.2)$$

donde

A_t : Valor actual de la serie de tiempo en el período t

I_t : Componente Estacional

T_t : Componente Tendencial

C_t : Componente Cíclica

E_t : Componente Aleatoria o Error.

2.11.2.1 Componentes de una Serie de Tiempo

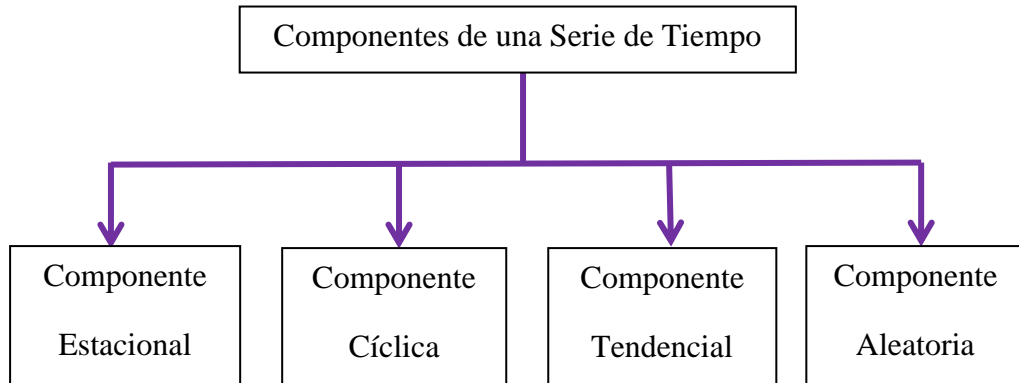


Figura 8. Componentes de una Serie de Tiempo

De acuerdo a la Figura 8, existen 4 tipos de patrones en los cuales se puede descomponer una serie de tiempo:

- **Componente Estacional:** Son movimientos ascendentes y descendentes de la serie (patrones sistemáticos) que se repiten periódicamente. Al tiempo entre dos picos consecutivos se le denomina periodo estacional, y puede ser diario, semanal, mensual, anual, etc. [16] [17] [18] [19]

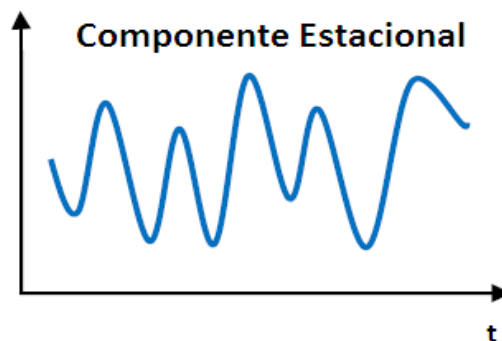


Figura 9. Componente estacional de una serie de tiempo

- **Componente Cíclica:** El efecto cíclico se define como la fluctuación en forma de onda alrededor de la tendencia. Esta componente refleja comportamientos recurrentes, aunque no tienen por qué ser exactamente periódicos. [16] [17] [18] [19]

La diferencia entre un comportamiento estacional y uno cíclico, consiste en que la estacionalidad es de longitud constante y repetitiva en base a un período de tiempo regular; mientras que patrón cíclico, no es periódico. [16]

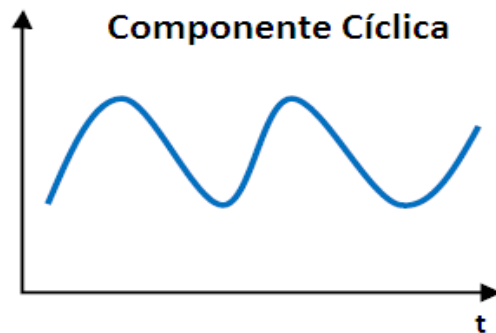


Figura 10. Componente cíclica de una serie de tiempo

- **Componente Tendencial:** Es la componente que refleja el comportamiento de la serie (creciente, decreciente, etc). Para poder determinar dicho comportamiento, se requiere que la serie conste de un elevado número de observaciones, para de esta forma poder apreciar un movimiento creciente o decreciente o estacional. 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. [16] [17] [18] [19]

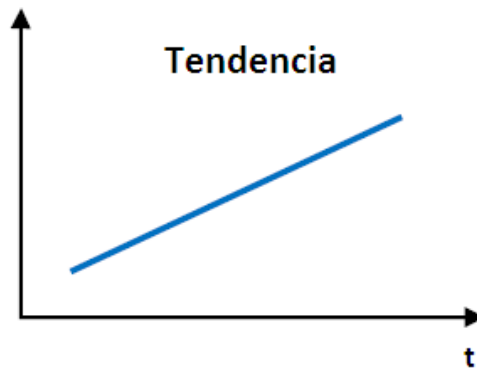


Figura 11. Componente tendencial de una serie de tiempo

- **Componente Aleatoria:** Estas variaciones no responden a ningún patrón de comportamiento, más bien son consecuencia de la presencia de factores aleatorios que inciden de manera aislada y no permanente en la serie. [16] [17] [18] [19]

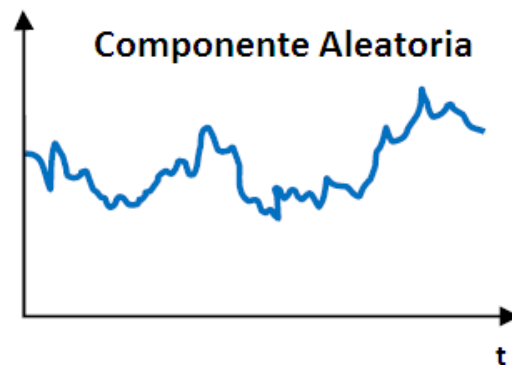


Figura 12. Componente aleatoria de una serie de tiempo

Si se pueden reconocer patrones de tendencia, cíclicos, estacionarios y aleatorios, pueden seleccionarse técnicas capaces de extrapolarlos de manera eficaz. Muchas series de datos están conformadas por combinaciones de dichos patrones. Los métodos de pronóstico son capaces de distinguir cada patrón y de separar sus componentes, en caso de ser necesario.

2.11.2.2 Métodos de Suavizado

Los métodos de pronóstico de suavizado, son técnicas que resultan adecuadas para obtener resultados satisfactorios, incluso cuando no se disponen de un gran número de datos históricos.

Se basan en el concepto de que cuando existe un patrón presente en la serie de datos en estudio, dicho patrón puede ser separado de la aleatoriedad al suavizar o promediar los valores pasados. La finalidad de realizar dicho suavizado es eliminar o reducir la aleatoriedad presente, obteniendo así sólo el patrón de la serie de datos, que será utilizado para realizar el pronóstico.

Según [16], existen diversos métodos de suavizado como: Método de Suavizado Exponencial Simple, Método de Suavizado Exponencial Doble o Suavizado de Holt, Método de Suavizado Exponencial Triple o de Winters. Sin embargo, para este estudio se considerará el Método de Suavizado Exponencial de Holt-Winters, siendo éste una combinación de los métodos de suavizado exponencial doble y triple.

- Método de Suavizado Exponencial de Holt-Winters.

El método de suavizado exponencial de Holt-Winters, toma en cuenta tres variables: el suavizado, la tendencia y la estacionalidad de la serie. Estas variables dependen de parámetros separados que pueden ser ajustados con valores comprendidos entre 0 y 1, mediante las constantes α , β , γ . [16]

Este método presenta dos variantes, el método de Suavizado Exponencial de Holt-Winters aditivo y el método de Suavizado Exponencial de Holt-Winters multiplicativo.

En las figuras 13 y 14, se presentan ejemplos de los comportamientos esperados para pronósticos realizados con el método de Suavizado Exponencial de Holt-Winters aditivo y el método de Suavizado Exponencial de Holt-Winters multiplicativo.

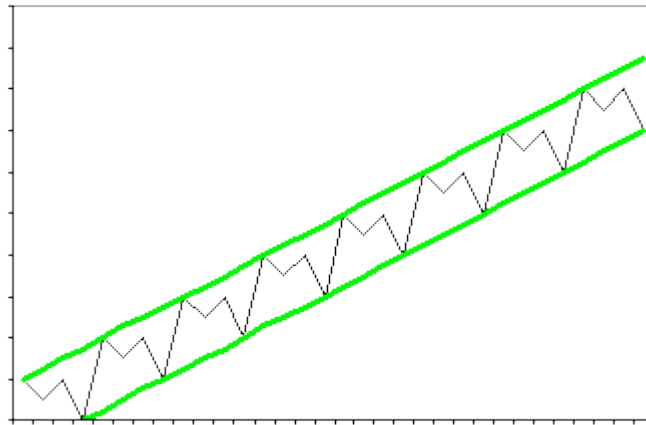


Figura 13. Comportamiento de un pronóstico realizado con el método de Suavizado Exponencial de Holt-Winters aditivo

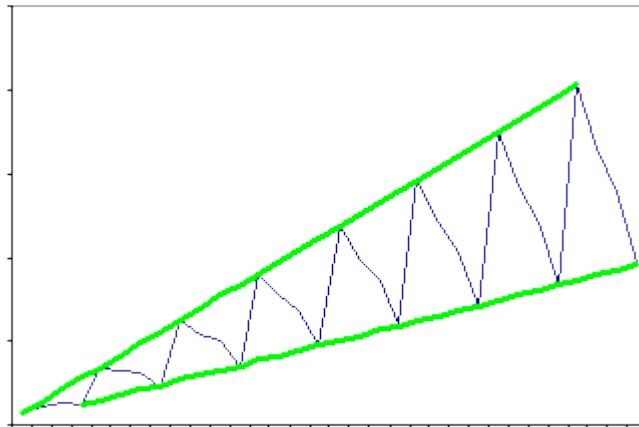


Figura 14. Comportamiento de un pronóstico realizado con el método de Suavizado Exponencial de Holt-Winters multiplicativo

A continuación se presentan las ecuaciones correspondientes al método de Suavizado Exponencial de Holt-Winters aditivo y multiplicativo, según [16]:

✓ Método de Suavizado Exponencial de Holt-Winters aditivo

$$\text{Valor suavizado: } S_t = \alpha \cdot (A_t - I_{t-L}) + (1-\alpha) \cdot (S_{t-1} + b_{t-1}) \quad (2.3)$$

$$\text{Tendencia suavizada: } b_t = \gamma \cdot (S_t - S_{t-1}) + (1-\gamma) \cdot b_{t-1} \quad (2.4)$$

$$\text{Estacionalidad suavizada: } I_t = \beta \cdot (A_t - S_t) + (1-\beta) \cdot I_{t-L} \quad (2.5)$$

$$\text{Valor estimado: } F_{t+m} = S_t + b_t \cdot m + I_{t-L+m} \quad (2.6)$$

donde:

A_t : Valor actual

L : Longitud de la estacionalidad

α : Constante de suavización

β : Constante de estacionalidad

γ : Constante de tendencia

F_{t+m} : Valor estimado (pronóstico) para m períodos adelante.

✓ Método de Suavizado Exponencial de Holt-Winters multiplicativo

$$\text{Valor suavizado: } S_t = \alpha \cdot \left(\frac{A_t}{I_{t-L}}\right) + (1-\alpha) \cdot (S_{t-1} + b_{t-1}) \quad (2.7)$$

$$\text{Tendencia suavizada: } b_t = \gamma \cdot (S_t - S_{t-1}) + (1-\gamma) \cdot b_{t-1} \quad (2.8)$$

$$\text{Estacionalidad suavizada: } I_t = \beta \cdot \left(\frac{A_t}{S_t}\right) + (1-\beta) \cdot I_{t-L} \quad (2.9)$$

$$\text{Valor estimado: } F_{t+m} = (S_t + b_t \cdot m) \cdot I_{t-L+m} \quad (2.10)$$

La implementación de estas técnicas o métodos de pronóstico, requiere un proceso de inicialización, en el cual se deben proporcionar valores iniciales para la componente de suavizado, de tendencia y de estacionalidad. Existen múltiples maneras de realizar la elección de estos parámetros iniciales, pero una de las más sencillas, es tomar como referencia los valores iniciales locales, es decir, basados en los primeros datos de la serie de tiempo en estudio. Para ello, es recomendable utilizar al menos un período completo de la serie de tiempo de interés para estimar los valores inicialización. [16] [20]

Dichos valores iniciales se calculan según las siguientes expresiones:

$$S_0 = A_1 \quad (2.11)$$

$$b_0 = \frac{(A_2 - A_1)}{L} \quad (2.12)$$

$$I_{t-L} = \frac{A_t}{A_1}, \quad t = 1, \dots, L \quad (2.13)$$

La estimación o pronóstico que se obtendrá empleando este método, depende principalmente del ajuste de las constantes α , β , γ . Es deseable fijar los valores de estos parámetros de modo que se obtenga un pronóstico con el menor error posible. Para ello es necesario emplear criterios de validación o análisis de pronósticos, que permitan cuantificar el error asociado a dicho pronóstico. Estos criterios se presentan posteriormente en este capítulo.

Así mismo, es importante destacar que mientras más cercano a 1 sea el valor de las constantes α , β , γ , mayor importancia o peso tendrán las observaciones o los datos más recientes.

2.11.2.3 Métodos de Descomposición

Esta técnica supone que la serie histórica o serie de datos de una variable puede ser descompuesta en los cuatro patrones fundamentales: tendencia, ciclo, estacionalidad y componente aleatorio, los cuales, una vez aislados pueden extrapolarse individualmente hacia el futuro. Constituye uno de los enfoques más antiguos y comúnmente empleados, existiendo diversos procedimientos para descomponer la serie de tiempo.

Para la aplicación los métodos de descomposición, en primer lugar se busca eliminar la estacionalidad y la componente aleatoria; esta última se atenúa o se elimina realizando la sustitución de cada observación o de cada valor de la data, por una media de lo ocurrido anteriormente (media móvil anterior); la estacionalidad se reemplaza mediante un proceso de promedio móvil centrado o media móvil centrada.

Este último procedimiento suaviza cada observación tomando la media de igual número de valores anteriores y posteriores a la misma. El orden de la media móvil centrada, es decir, el número total de observaciones que generará cada media móvil centrada, generalmente es igual al período de la serie. En cualquier caso, debe ser tal que no incluya más observaciones de una unidad de

período que las demás, esto quiere decir que si la serie tiene periodicidad semanal, en la media móvil centrada no deben estar incluidos los valores correspondientes a dos lunes, si no se incluyen también dos veces los del resto de los días de la semana.

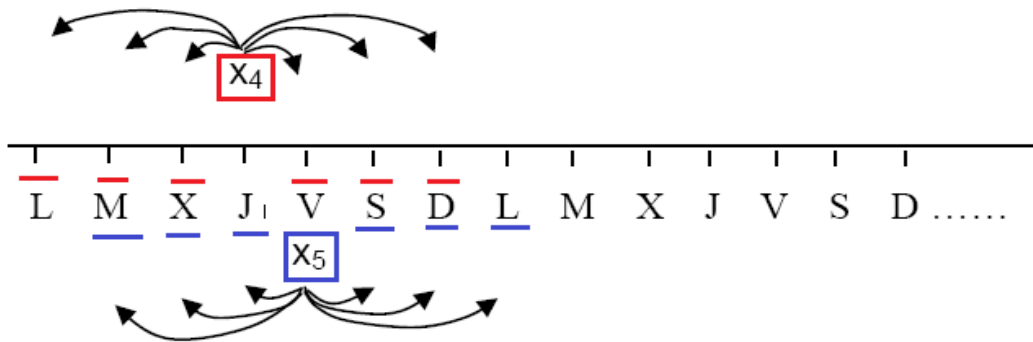


Figura 15. Media móvil centrada para una serie con período igual a 7 (días)

Una vez eliminadas la estacionalidad y el ruido, se obtiene una serie que únicamente está formada por la tendencia y el ciclo:

$$M_t = C_t \cdot T_t \quad (2.14)$$

A continuación, eliminando la tendencia y el ciclo de la serie de inicial, se consigue una serie compuesta solo por la estacionalidad y la aleatoriedad:

$$\frac{A_t}{M_t} = E_t \cdot I_t \quad (2.15)$$

Luego, para estimar el factor estacional, a partir de esta última serie, se realiza la media de todos los datos disponibles de cada unidad de período (por ejemplo, cada mes de un año), de esta forma, la serie del factor estacional estará conformada por los valores de estas medias, esto quiere decir, que será una serie que repetirá constantemente los mismos valores en cada unidad de período.

Finalmente, tras estimar el factor estacional, se obtiene el error, haciendo:

$$\frac{A_t}{M_t \cdot I_t} = E_t \quad (2.16)$$

- Método de Descomposición según el Modelo Aditivo.

Las expresiones matemáticas generales para este método, según [16], están representadas por:

$$\text{Valor estimado:} \quad F_t = (I_t + T_t + C_t) + E_t \quad (2.17)$$

$$\text{Componente cíclica:} \quad C_t = \frac{M_t}{T_t} \quad (2.18)$$

$$\text{Componente estacional:} \quad I_t = \frac{A_t}{M_{(t)}} \quad (2.19)$$

donde:

A_t : Valor actual de la serie de tiempo en el período t

I_t : Componente Estacional

T_t : Tendencia

C_t : Componente Cíclica

E_t : Componente Aleatoria o Error.

M_t : Promedios móviles de los datos correspondientes a la estacionalidad

- Método de Descomposición según el Modelo Multiplicativo.

De acuerdo con [16], la representación matemática de este método está dada por:

$$\text{Valor estimado:} \quad F_t = (I_t \cdot T_{(t)} \cdot C_t) \cdot E_t \quad (2.20)$$

2.12 Criterios para la Validación y Análisis de los Métodos de Pronóstico

Estos indicadores o criterios sirven para comparar la efectividad de los diferentes modelos de pronóstico utilizados. Siempre se busca el valor menor en los indicadores. [16] [19]

2.12.1 Error Residual

Se define error residual como la diferencia entre el valor del pronosticado y lo que realmente ocurrió en dicho período. A partir del concepto que la demanda tiene un componente aleatorio, todos los pronósticos contienen con certeza algún error.

$$e_t = A_t - F_t \quad (2.21)$$

donde

A_t : Valor actual o real

F_t : Valor pronosticado o estimado

2.12.2 Desviación Media Absoluta o MAD (del inglés Mean Absolute Deviation)

Es una medida del error global del pronóstico para un modelo, esta se calcula al sumar los valores absolutos de los errores individuales del pronóstico, y dividiéndolos entre el número de periodos, esta información resulta de gran utilidad cuando se desea medir el error de pronóstico en las mismas unidades de la serie original.

$$MAD = \frac{\sum_n |A_t - F_t|}{n} \quad (2.22)$$

donde

A_t : Valor actual
 F_t : Valor estimado
 n : Cantidad de datos

2.12.3 Error Medio Cuadrático o RMSE (del inglés, Root Mean Square Error)

Cada error o residual se eleva al cuadrado; luego, estos valores se suman y se divide entre el mismo número de observaciones. Este enfoque penaliza los errores mayores de pronóstico ya que eleva cada uno al cuadrado. Esto es importante pues en ocasiones pudiera ser preferible una técnica que produzca errores moderados a otra que por lo regular tenga errores pequeños, pero que ocasionalmente arroje algunos en extremo grandes. Idealmente, se desea que el resultado del RMSE sea igual a cero, lo que indicaría un pronóstico perfecto. En general, mientras más pequeño sea el valor del RMSE, mejor es el modelo de pronóstico.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_n (A_t - F_t)^2}{n}} \quad (2.23)$$

2.12.4 Porcentaje de Error Medio Absoluto o MAPE (del inglés Mean Absolute Percentage Error)

En ocasiones, resulta más útil calcular los errores de pronóstico en términos de porcentaje y no en cantidades. El Porcentaje de Error Medio Absoluto se calcula encontrando el error absoluto en cada período, dividiendo éste entre el valor real observado para ese período y después promediando estos errores absolutos de porcentaje. Este enfoque es útil cuando el tamaño o magnitud de la variable de pronóstico es importante en la evaluación de la precisión del pronóstico. El MAPE proporciona una indicación de qué tan grandes son los errores de pronóstico comparados con los valores reales de la serie. También se

puede utilizar el MAPE para comparar la precisión de la misma u otra técnica sobre dos series completamente diferentes.

$$MAPE = \frac{\sum_n \frac{|A_t - F_t|}{F_t}}{n} \quad (2.24)$$

2.13 Definición de los Escenarios de Estudio

Un escenario de estudio es la descripción de un futuro potencialmente posible, consecuencia de un conjunto de eventos o acciones que lo llevarían a cabo, es decir, un escenario de estudio busca suponer una imagen de lo que sucederá a futuro, partiendo de las condiciones actuales del sistema. Es una herramienta que permite ordenar las alternativas futuras a partir de las cuales las decisiones pueden ser tomadas. [21]

La determinación de los escenarios de estudio no es el único aspecto a considerar para la construcción de los históricos de demanda y energía eléctrica, también es necesaria la definición de los horizontes de pronósticos.

Los horizontes de pronóstico se refieren al período de tiempo para el cual se realizará el pronóstico de las variables de interés. Estos horizontes pueden dividirse en tres categorías:

- Corto plazo
- Mediano plazo
- Largo plazo

En la determinación del período de tiempo que engloba cada una de estas categorías influye el sistema o el proceso de interés. Corto plazo, para planificación de ventas de un producto, puede estar comprendido por un período de 3 meses hasta 1 año, mientras que para un sistema eléctrico, tal vez este

período de tiempo es muy corto, ya que dependiendo de la índole de los requerimientos, puede llegar a ser complicada la ejecución de las modificaciones necesarias de dicho sistema dentro de ese lapso de tiempo.

Lo mismo ocurre para mediano y largo plazo. Para una empresa o un proyecto, se podría considerar mediano plazo entre 2 y 4 años, mientras que para otro caso de estudio, se puede entender como mediano plazo, al horizonte entre 6 meses y 1 año.

A su vez, también debe considerarse la longitud de la serie de tiempo tomada como información base para la realización de los pronósticos, es decir, el período histórico con el que se cuenta, ya que esto servirá como guía para la determinación de los plazos de tiempo a pronosticar.

Según lo anteriormente expuesto, el horizonte de pronóstico de corto plazo, puede interpretarse como entre 1 y 3 datos posteriores al período histórico que se tiene, es decir, si el período histórico se presenta en forma de datos mensuales, el corto plazo correspondería entre 1 a 3 meses posteriores a la información base. Para mediano plazo entre 4 y 6 datos posteriores y largo plazo no debería exceder la mitad de la longitud del histórico disponible.

En general, los pronósticos a corto plazo tienden a ser más precisos que los de largo plazo. Esto se debe a que los factores que influyen en la demanda cambian constantemente, por tanto, en la medida que el horizonte de tiempo se alarga, es más probable que la precisión del pronóstico disminuya. Es por ello que debe hacerse la revisión y corrección periódica de estos pronósticos.

2.14 Marco Legal

El marco legal de la República Bolivariana de Venezuela, contempla leyes, decretos y resoluciones de carácter regulatorio y obligatorio, las cuales

establecen parámetros a cumplir por las distintas entidades, públicas, privadas y gubernamentales, respecto al consumo y al uso de la energía eléctrica.

La resolución n° 77 (emitida por el Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica y publicada en la Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 36.694 del 13/06/2011), establece un conjunto de medidas de orden técnico y administrativo, para continuar con la orientación en materia de uso racional y eficiente de energía eléctrica por parte de los organismos públicos (Artículo 1).

La Ciudad Universitaria de Caracas y específicamente, la Universidad Central de Venezuela se encuentra dentro de la categoría de organismos públicos, por tanto es de relevancia el conocimiento y cumplimiento de esta resolución.

En el artículo 2, se establece conformar y mantener un Grupo de Gestión de Energía Eléctrica que tendrá bajo su responsabilidad la ejecución y seguimiento de las acciones dirigidas a la reducción del consumo de energía eléctrica en sus respectivos organismos. A tal fin, contarán con la asesoría técnica del Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica y de la Corporación Eléctrica Nacional (CORPOELEC). Dicho Grupo desempeñará las siguientes funciones:

1. La elaboración de una auditoría energética de las edificaciones e instalaciones de su órgano o ente.
2. La elaboración de un plan para la reducción del consumo de energía eléctrica, de acuerdo a los lineamientos, asesorías y orientaciones que indique el Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica.
3. La definición de las estrategias comunicacionales de concientización al personal en materia de uso racional y eficiente de la energía eléctrica.

4. La verificación de la ejecución del mantenimiento integral de los sistemas acondicionadores de aire, refrigeración, iluminación, bombeo de agua,, elevación y transporte, equipos de oficina y computación, así como los calentadores de agua, con el fin de reducir y mantener valores eficientes, tanto su demanda como su consumo de energía eléctrica.
5. La comprobación de la ejecución de la sustitución de los equipos eléctricos de baja eficiencia por equipos de alta eficiencia energética.
6. Seguimiento y control de las estadísticas de consumo y demanda de energía eléctrica.
7. El control y seguimiento de los indicadores de gestión energética, ajustados al tipo de actividad que caracteriza al organismo o ente.
8. El seguimiento y control, en el cumplimiento de las acciones previstas en este Resolución.
9. La entrega de la información referente a la ejecución de estas acciones y cualquier otra que le sea requerida por el Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica, relacionada con el uso racional y eficiente de la energía eléctrica.

Como puede observarse en el punto 6 del artículo 2 de esta resolución, es de carácter mandatorio el seguimiento y control de las estadísticas de consumo y demanda de energía eléctrica, lo cual es posible mediante el análisis del histórico de demanda y de energía eléctrica del sistema eléctrico de la CUC; así como realizar los pronósticos de dichas variables en estudio es de notable relevancia, ya que permitirá abordar de manera oportuna, diversas estrategias relacionadas con el uso de la energía eléctrica, las cuales favorecerán el cumplimiento de la resolución

citada, y a su vez, de las leyes vigentes relacionadas con esta materia, como son la Ley de Uso Racional y Eficiente de la Energía Eléctrica [15] y la Ley Orgánica del Sistema y Servicio Eléctrico. [13]

El objetivo principal de la Ley de Uso Racional y Eficiente de la Energía Eléctrica (publicada en la Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 39.823 del 19/12/2011), está orientado a la concienciación del tema de todos los ciudadanos y ciudadanas de la República Bolivariana de Venezuela.

Entre sus objetivos específicos se encuentra: Promover el uso racional y eficiente de la energía en los grandes usuarios, tanto del sector público como del privado, mediante la supervisión del cumplimiento del marco regulatorio vigente y la asistencia técnica especializada en materia de Uso Racional de la Energía Eléctrica. Así como, ejecutar políticas y acciones en materia educativa, comunicacional y tecnológica para promover la concienciación sobre el uso racional y eficiente de la energía en todos los sectores de la sociedad Venezolana, trabajadores y trabajadoras de CORPOELEC, en conjunto con las organizaciones del poder popular y otros entes del Estado venezolano. [22]

La Ley del Sistema y Servicio Eléctrico [13] (publicada en la Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 39.573 del 14/12/2010), establece las disposiciones que regularán el sistema eléctrico y la prestación del servicio eléctrico nacional, así como los intercambios internacionales de energía, a través de las actividades de generación, transmisión, despacho del sistema eléctrico, distribución y comercialización. Esta ley se aplica al órgano rector del sistema y servicio eléctrico nacional; el operador y prestador de servicio; los usuarios; los municipios; las organizaciones del Poder Popular; los trabajadores y trabajadoras del prestador de servicio; y las demás personas que intervienen en la prestación del servicio eléctrico. El Artículo 40 establece explícitamente que “las instituciones de educación superior y los centros de investigación apoyarán al Ministerio del Poder Popular con competencia en materia de energía eléctrica, al operador y prestador del servicio eléctrico...”, para lograr cumplir con su propósito.

Por tanto, al ser la Universidad Central de Venezuela una institución de educación superior y ser usuario del servicio eléctrico, también le compete el conocimiento y cumplimiento de dichas leyes.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

La metodología empleada para abordar la solución del problema se dividió en las siguientes etapas:

3.1 Etapa 1: Recopilación y Revisión de la Información Base.

La información base está conformada por informes técnicos o equivalentes realizados sobre Históricos y Pronóstico de Demanda en la Ciudad Universitaria de Caracas, así como la facturación del Servicio Eléctrico de la UCV, en el nivel de tensión de 4,8kV.

Como primera estrategia en esta etapa, se contempló la recopilación y análisis de la información y documentación relacionada con pronóstico, los métodos en estudio y las características propias de cada uno, así como también la importancia de realizar estudios de demanda y energía en un sistema eléctrico, con el fin de sustentar teóricamente este trabajo, orientar la ejecución del mismo y proveer un marco de referencia para interpretar los resultados obtenidos.

Así mismo, se efectuó la recopilación de los datos de facturación del servicio eléctrico, la cual se dividió en tres fases: El período comprendido entre Diciembre 1995 – Enero 2002, que se encontró anexo a los informes técnicos en relación a Pronóstico de Demanda Eléctrica en la CUC, realizados en 2002 [3] y 2005 [5]. Para el período Enero 2002 – Diciembre 2015, se realizó la procura de la información ante la Dirección de Mantenimiento de la UCV, obteniendo en dicha procura sólo el período de facturación correspondiente a Octubre 2009 – Diciembre 2015.

Por último, se solicitó al Vicerrectorado Administrativo de la UCV el período Enero 2002 – Diciembre 2015, con la finalidad de obtener el período de información faltante (Febrero 2002 – Septiembre 2009), sin embargo, esta procura resultó sin éxito, debido a diversos factores, como la antigüedad de los documentos, así como la necesidad de designar un equipo especial de trabajadores adscritos al Vicerrectorado Administrativo, a la ardua labor de ubicar dicha facturación en el depósito de “archivos muertos” de la UCV.

Como consecuencia de esta situación, se ideó una estrategia para favorecer el avance y correcta realización de este trabajo, la cuál consistió en realizar una interpolación de la data a fines de completar el histórico de facturación, para su posterior estudio y análisis. Esta interpolación se ejecutó empleando los métodos de pronóstico de interés para este trabajo, ajustando las constantes necesarias, de forma heurística, ya que se conoce el valor final del período Diciembre 1995 – Enero 2002 y el inicio de lapso Octubre 2009 – Diciembre 2015.

En la Tabla 4, se presenta un resumen sobre la información base utilizada para el estudio.

Tabla 4. Periodo de datos y cantidad de muestras por alimentador en estudio

Alimentador	Inicio del Periodo [MM-AAAA]	Final del Periodo [MM-AAAA]	Cantidad de datos [n]
A5-C1	12-1995	12-2015	241
A7	12-1995	12-2015	241
A68	12-1995	12-2015	241

3.2 Etapa 2: Revisión y/o actualización de las curvas históricas de demanda y consumo eléctrico de la UCV.

En primer lugar, con fines de uniformizar los valores de energía eléctrica, se calcularon los kWh/mes promedios, lo cual se define como treinta (30) veces el cociente entre los kWh facturados y la cantidad de días comprendidos entre las

fechas inicial y final de la facturación. Esto genera lo definido como kWh promedio mensual o consumo equivalente kWh.

Seguidamente, se procedió a analizar detenidamente la información de facturación, tanto de demanda como de energía eléctrica, con la finalidad de disminuir los errores asociados al pronóstico. A dicha información base, se le llamó data cruda.

Para realizar la limpieza de esta data, se descartaron los valores o datos que se consideraron fuera de la tendencia natural de la serie de datos en estudio, utilizando como criterio la desviación estándar:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{t=0}^n (A_t - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (3.1)$$

donde:

A_t : Valor actual

n : Cantidad de datos

\bar{X} : Promedio simple

El promedio simple se define matemáticamente como:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{t=0}^n A_t}{n} \quad (3.2)$$

Así mismo, se calculó el valor promedio, para el caso de la demanda, como la media aritmética determinada con los dos datos inmediatamente continuos al valor bajo estudio (media por dos puntos); y para el caso de la energía por la media aritmética con los datos inmediatamente continuos al valor bajo estudio incluyendo el valor bajo estudio (media por tres puntos).

Las expresiones matemáticas de dichas medias aritméticas se definen como:

Media por dos puntos:

$$X' = \frac{\sum_{t=0}^n A_{t-1} + A_{t+1}}{n} \quad (3.3)$$

Media por tres puntos:

$$X' = \frac{\sum_{t=0}^n A_{t-1} + A_t + A_{t+1}}{n} \quad (3.4)$$

donde

A_t : Valor actual

A_{t-1} : Valor inmediato anterior al valor actual

A_{t+1} : Valor inmediato posterior al valor actual

Una vez determinados estos parámetros, se tomó en consideración una banda de valores definida como dos veces el valor de la desviación estándar alrededor del valor promedio correspondiente, para así evaluar cada dato (valor actual) de la serie como:

$$X' - 2\sigma \leq A_t \leq X' + 2\sigma \quad (3.5)$$

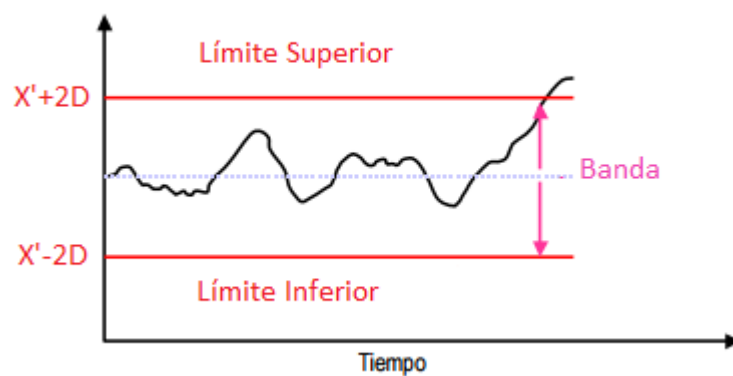


Figura 16. Representación gráfica de la banda de valores permitidos para la serie de datos

Si, el valor actual se encuentra fuera de la banda, se sustituye por el valor extremo de la misma.

Este procedimiento se realizó para cada alimentador en estudio, tanto para demanda como para energía, generando así, la denominada data limpia, la cual se consideró como la serie de datos a utilizar para el estudio de los diversos métodos de pronóstico.

Una vez realizada esta limpieza de la data, se procedió a realizar las gráficas de Demanda vs Tiempo y Energía vs Tiempo, para cada alimentador, obteniendo así las curvas históricas de consumo y de energía eléctrica correspondiente al período de tiempo en estudio (Diciembre 1995 - Diciembre 2015).

3.3 Etapa 3: Revisión y Análisis comparativo de la data histórica actualizada al 2015 versus los pronósticos realizados.

Esta etapa de análisis consistió en la comparación entre los pronósticos realizados en los estudios previos y los datos de facturación del servicio eléctrico correspondiente al período Octubre 2009 – Diciembre 2015, con el fin de verificar lo asertivo de dichos pronósticos.

Para el sistema en estudio, la red eléctrica en media tensión en 4,8kV de la Ciudad Universitaria de Caracas, se dispone de la información histórica conformada por la facturación de la empresa EdeC y CORPOELEC, desde Diciembre 1995 hasta Diciembre 2015, por tal motivo, y tomando como referencia los trabajos previos realizados sobre pronóstico de demanda eléctrica en la Universidad Central de Venezuela [3] y [5], se consideró emplear técnicas de tipo cuantitativas, específicamente los siguientes métodos de pronóstico [16]: Suavizado Exponencial de Holt-Winters, Descomposición según el Modelo Aditivo y Descomposición según el Modelo Multiplicativo.

Se utilizó específicamente el método de Suavizado Exponencial de Holt-Winters multiplicativo, debido a que este fue el método que se empleó en los estudios previos realizados [3] y [5].

Para la inicialización del método de Suavizado Exponencial de Holt-Winters, se hizo uso de una macro, en las hojas de cálculo de Microsoft Excel®, correspondientes a este método. La programación de dicha macro se encuentra en el Anexo n° 10.

Como criterio de comparación se utilizaron la Desviación Media Absoluta (MAD) y el Error Medio Cuadrático (RMSE), siendo considerado como el método de pronóstico más acertado para este caso de estudio aquel que arrojó menores valores de MAD y RMSE.

3.4 Etapa 4: Determinación de las curvas de energía y demanda de electricidad a corto y mediano plazo, para los escenarios de estudio definidos.

En primer lugar, se establecieron dos escenarios de estudio, para la obtención de las curvas históricas de demanda y de energía pronosticadas, especificados a continuación:

- Escenario de crecimiento vegetativo: Parte de la información base generada únicamente de la facturación de energía y demanda sin considerar la incidencia de posibles desarrollos futuros dentro de la Ciudad Universitaria de Caracas.
- Escenario de crecimiento en desarrollo o nuevas cargas: Toma en consideración el pronóstico determinado por el crecimiento vegetativo al cual se le suma, el escalón determinado por la demanda eléctrica asociada al crecimiento futuro reportado por el COPRED; los cuales se resumen en el Anexo N° 6: Nuevas Cargas UCV.

Además, con base a los dos escenarios anteriormente definidos, y a la información expuesta en el marco teórico, se establecieron dos (2) horizontes de pronóstico:

- Corto plazo: 2 años (año 2017)
- Mediano plazo: 5 años (año 2020)

Una vez establecidos estos parámetros, se procedió a realizar las curvas de pronóstico de demanda y de energía eléctrica para cada alimentador de interés, con cada método de pronóstico: Suavizado Exponencial de Holt-Winters, Descomposición según el Modelo Aditivo y Descomposición según el Modelo Multiplicativo.

En el caso del escenario de crecimiento en desarrollo, se adicionaron las nuevas cargas al principio de cada período de interés, es decir, las cargas a incorporar a corto plazo, se agregaron al iniciar el año 2017 y las de mediano plazo, al comienzo del año 2020.

También, se consideró necesario determinar valores de interés para una instalación eléctrica, tales como demanda máxima, demanda mínima y demanda promedio para cada alimentador en estudio, dentro del período histórico 1995-2015, así como considerar el valor de demanda máxima coincidente y de demanda mínima coincidente dentro del mismo lapso de tiempo.

Para esto, se evaluaron los datos históricos de demanda por alimentador, y se consideró el mayor valor y el menor valor, tomando estos como demanda máxima y demanda mínima, respectivamente.

En cuanto a la demanda máxima coincidente, se tomó el dato de demanda máxima del alimentador A68 como referencia, es decir, se consideró que la demanda máxima coincidente ocurrió en el período temporal de demanda máxima de este alimentador, ya que al tener la mayor carga conectada de la CUC, es el

alimentador que mayor demanda posee, y se realizó la suma de las demandas de los tres alimentadores de interés en dicho lapso de tiempo.

La misma consideración se tomó en cuenta para la demanda mínima coincidente, se ubicó el período de demanda mínima del alimentador A68 y se fijó como punto de demanda mínima coincidente, y se procedió a sumar las demandas de los tres alimentadores para ese período de tiempo.

Adicionalmente, se evaluó el comportamiento de la demanda del sistema eléctrico de la CUC del año 2015, en comparación a lo ocurrido en el año 2009, con la finalidad de determinar si la UCV cumple con las regulaciones nacionales vigentes establecidas, respecto al Uso Racional y Eficiente de la Energía Eléctrica.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Para la implementación de los métodos de pronóstico, se empleó como herramienta de trabajo una hoja de cálculo en Microsoft Excel®, la cual contiene la información de la facturación del Servicio Eléctrico de la Universidad Central de Venezuela en el nivel de tensión de 4,8kV, comprendido entre Diciembre 1995 y Diciembre 2015, para los alimentadores A5-C1, A7 y A68, descritos en el capítulo II.

En el Anexo N° 1, se presenta dicha facturación (demanda y energía eléctrica) para cada alimentador bajo estudio.

4.1 Curvas Históricas de Demanda y Energía Eléctrica

De la Figura 17 a la Figura 22, se presentan las curvas históricas de demanda y de energía (data cruda y data limpia, respectivamente), construidas de acuerdo a la información de facturación suministrada por las diversas dependencias de la UCV.

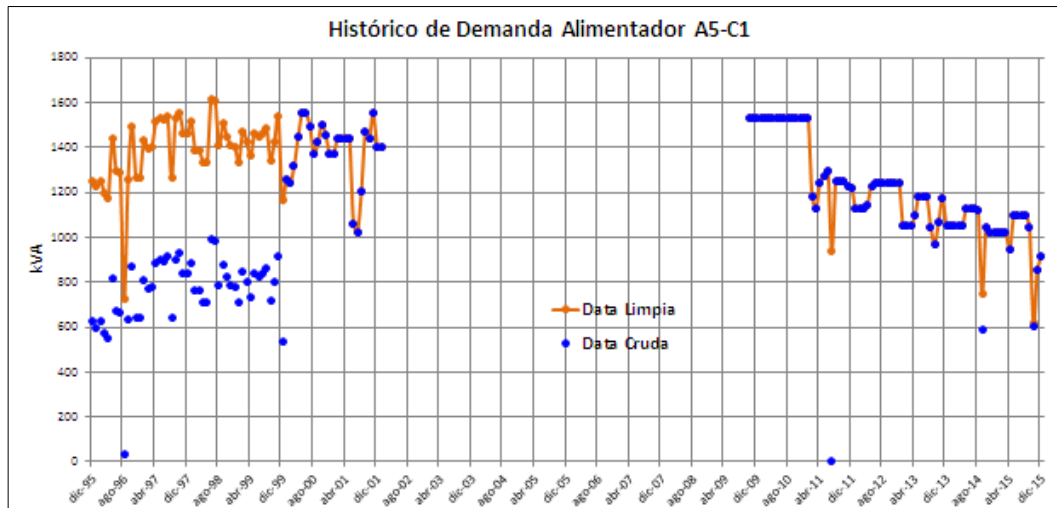


Figura 17. Histórico de demanda de acuerdo a la facturación del alimentador A5-C1

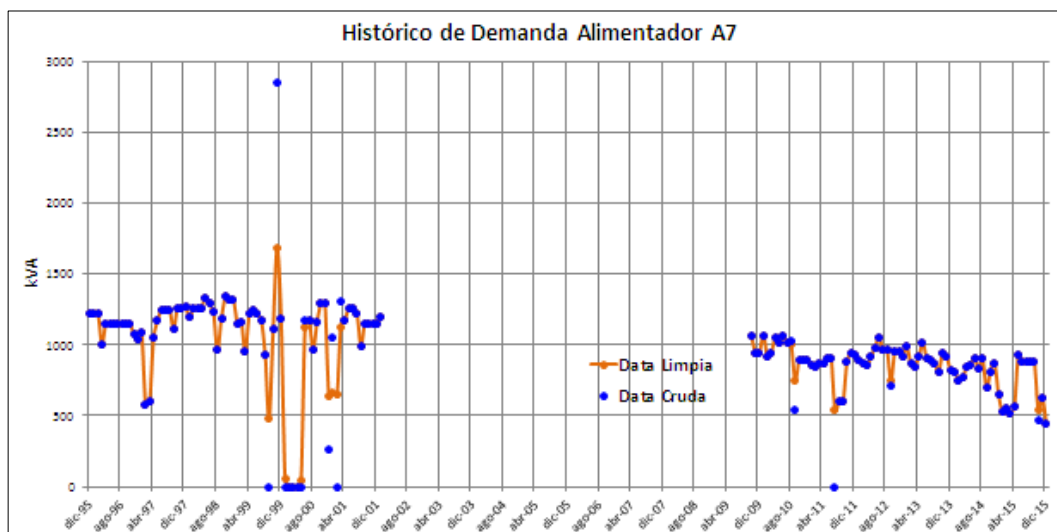


Figura 18. Histórico de demanda de acuerdo a la facturación del alimentador A7

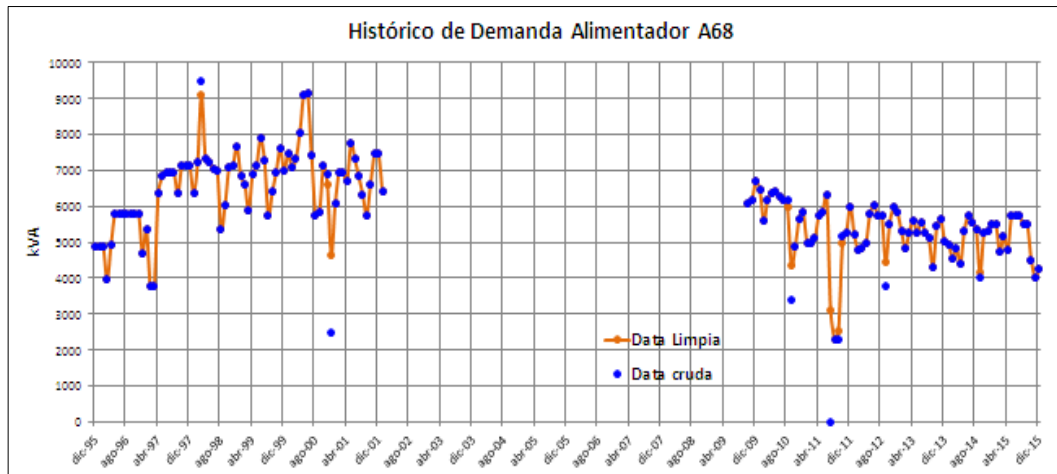


Figura 19. Histórico de demanda de acuerdo a la facturación del alimentador A68

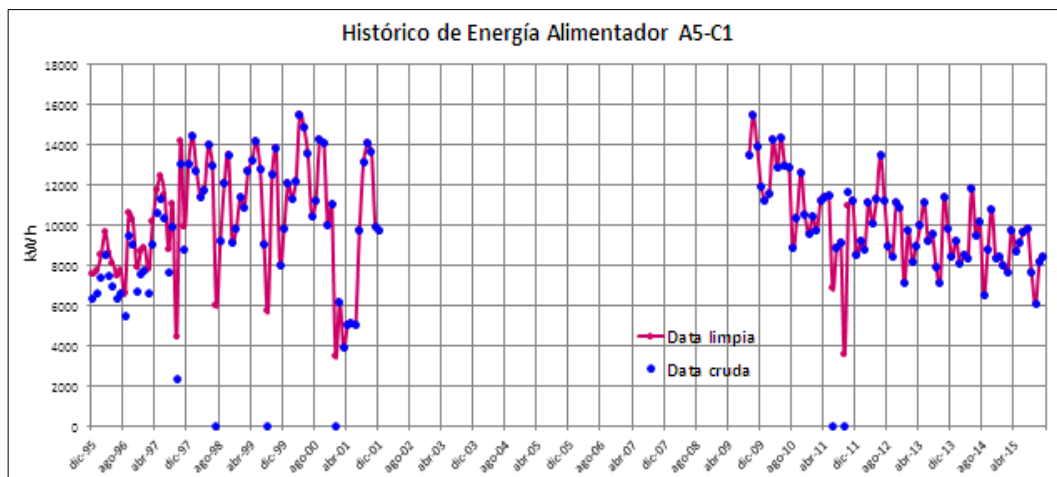


Figura 20. Histórico de Energía Promedio Diaria de acuerdo a la facturación del alimentador A5-C1

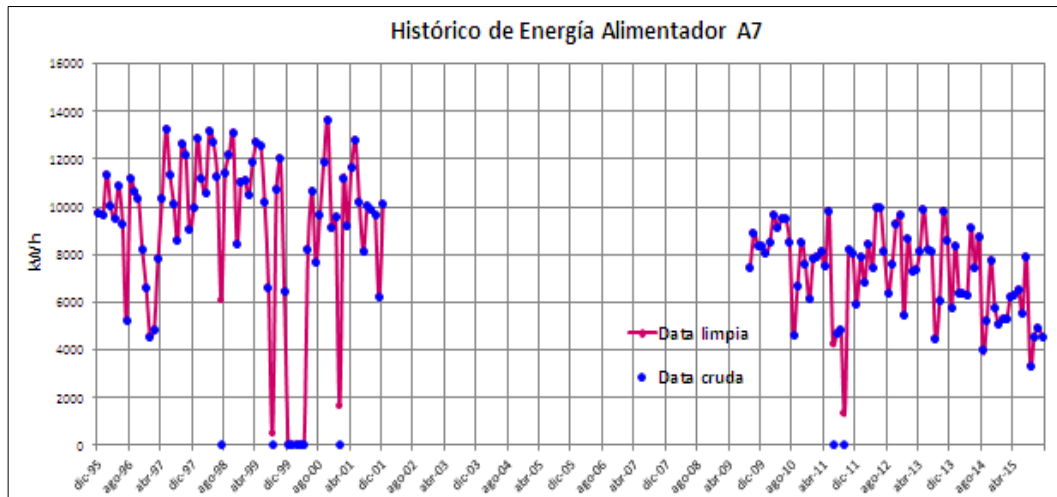


Figura 21. Histórico de Energía Promedio Diaria de acuerdo a la facturación del alimentador A7

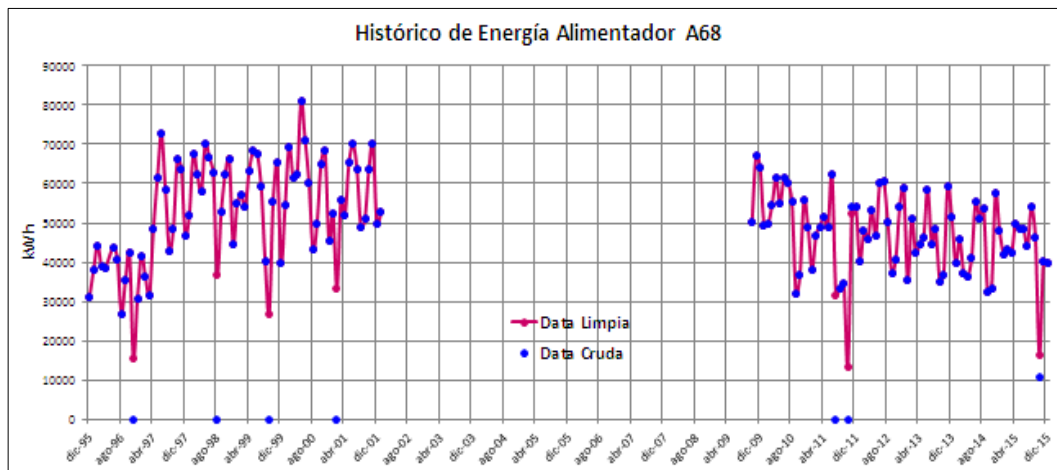


Figura 22. Histórico de Energía Promedio Diaria de acuerdo a la facturación del alimentador A68

En la figura 15, correspondiente al histórico de demanda del alimentador A5-C1, durante aproximadamente los 4 primeros años, se puede observar una considerable limpieza de la data. Esto se debe a que durante esos años, la compañía prestadora del servicio eléctrico reportó un error en la conexión de los equipos de medición asociados a este circuito, lo cuál ocasionó una lectura y facturación errada de la demanda en dicho alimentador. Esta situación fue posteriormente solventada por la empresa prestadora del servicio eléctrico.

Como puede apreciarse de la figura 15 a la 20, no se cuenta con la información de facturación correspondiente al período Febrero 2002 – Septiembre 2009.

Se consideró la realización de una interpolación local en dicho período de tiempo, la cuál se denominó “pronóstico local”, ya que, con fines académicos, se contempló utilizar los tres métodos de pronóstico relevantes para este estudio como herramientas para efectuar dicha interpolación en el período de tiempo cuya información no se encuentra disponible. Los cálculos asociados a los pronósticos locales, se presentan en el Anexo N°2.

Para el Método de Suavizado Exponencial de Holt-Winters, se ajustaron los coeficientes α , β y γ , de modo que el valor correspondiente al principio de la interpolación (Marzo 2002) tuviese correspondencia con el valor final del período Diciembre 1995 – Febrero 2002, del mismo modo que el valor final del pronóstico local (Septiembre 2009) fuese acorde con el valor inicial de la facturación correspondiente al lapso Octubre 2009 – Diciembre 2015.

En la Tabla 5 se presentan los valores de ajuste para los coeficientes α , β y γ , para demanda y energía en cada alimentador de interés.

Tabla 5. Valores de los coeficientes del Método de Suavizado Exponencial de Holt-Winters para el pronóstico local

	Alimentador	α	β	γ
Demanda	A5-C1	0,52	0,70	-
	A7	0,30	0,35	-
	A68	0,30	0,30	-
Energía	A5-C1	0,61	0,70	-
	A7	0,01	0,10	-
	A68	0,01	0,11	-

En la tabla anterior, se puede observar que en todos los casos, el valor del coeficiente γ es nulo, esto se debe a que la tendencia de la serie de datos, cambia constantemente, por tanto, se consideró tomar como nulo el parámetro relacionado con este comportamiento.

Una vez realizado el ajuste de los coeficientes correspondientes al método en estudio, se procedió a graficar nuevamente el histórico de demanda y de energía eléctrica para cada alimentador.

A fines de facilitar la visualización de este trabajo, se tomarán como ejemplo las gráficas correspondientes al alimentador A7, sin embargo, las gráficas de los tres alimentadores de interés se presentan en los anexos correspondientes.

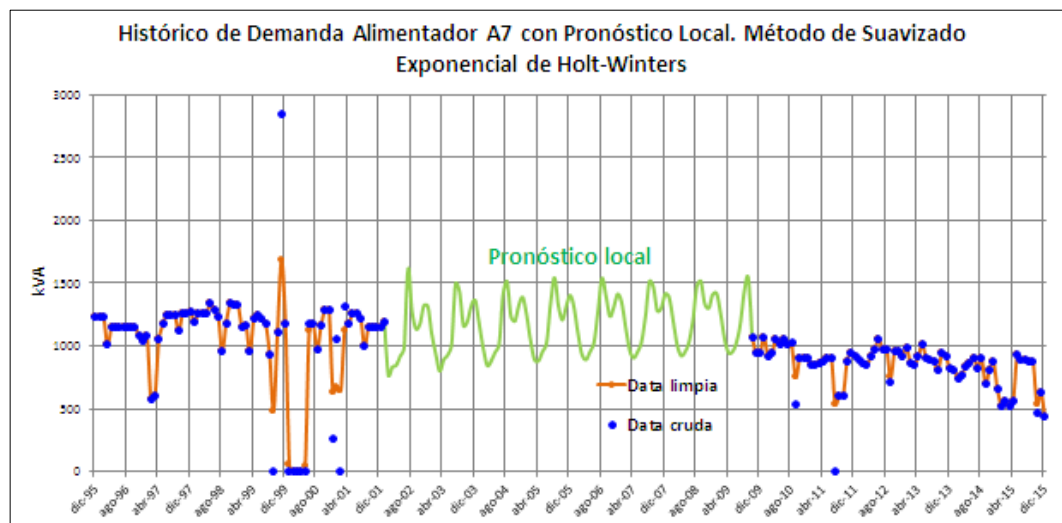


Figura 23. Histórico de Demanda Alimentador A7 con Pronóstico Local. Método de Suavizado Exponencial de Holt-Winters

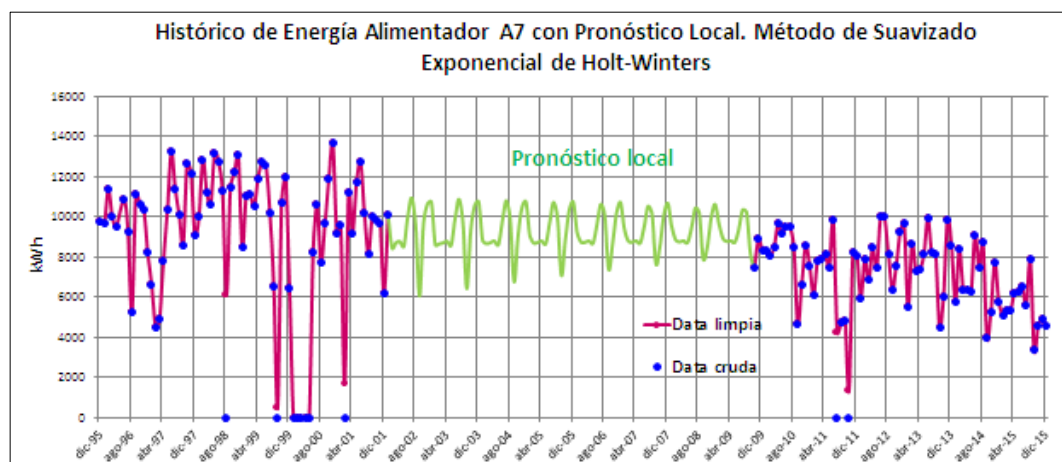


Figura 24. Histórico de Energía Alimentador A7 con Pronóstico Local. Método de Suavizado Exponencial de Holt-Winters

Luego, se realizaron los pronósticos locales correspondientes a demanda y energía con el Método de Descomposición según el Modelo Aditivo y según el Modelo Multiplicativo.

De este modo, se obtuvieron las curvas históricas de demanda y de energía de cada alimentador, con el Método de Descomposición según el Modelo Aditivo, figuras 23 y 24, y con el Método de Descomposición según el Modelo Multiplicativo, figuras 25 y 26.

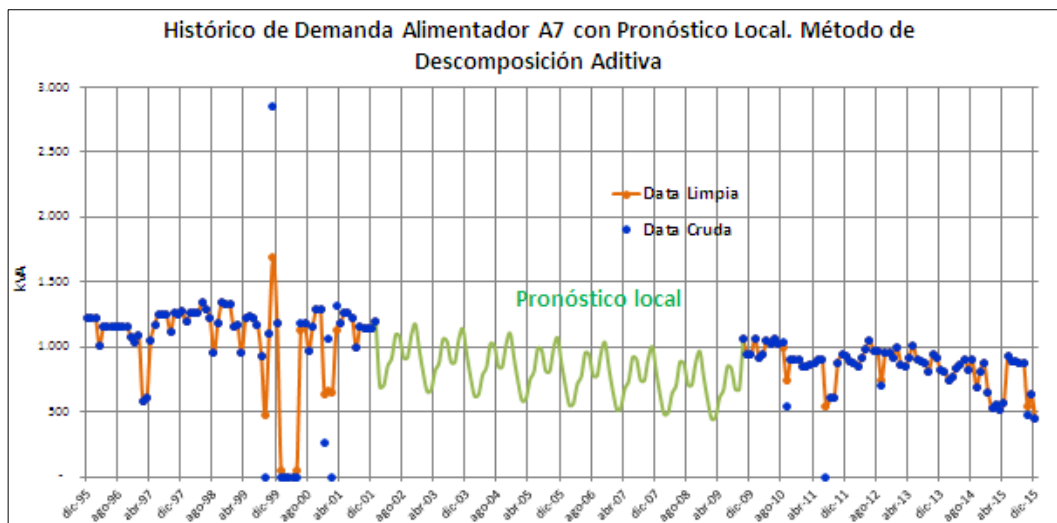


Figura 25. Histórico de Demanda Alimentador A7 con Pronóstico Local. Método de Descomposición Aditiva

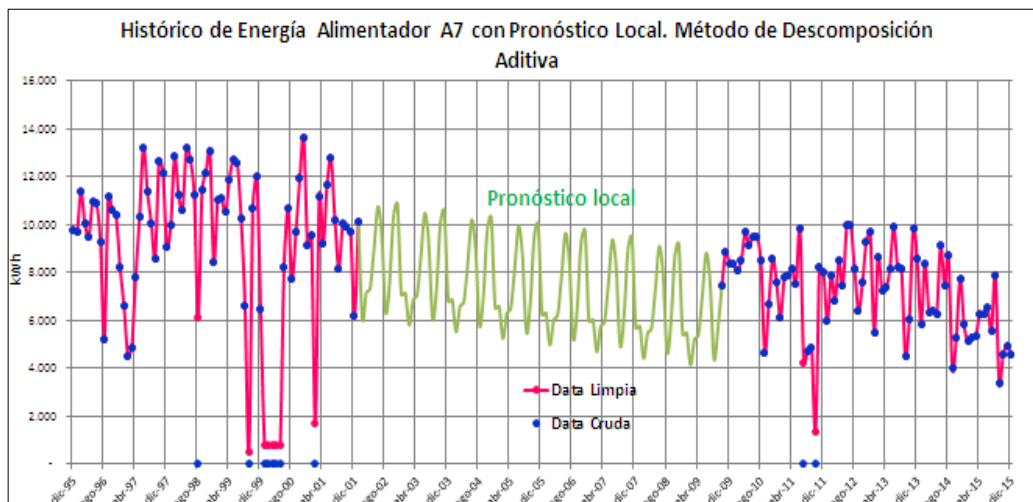


Figura 26. Histórico de Energía Alimentador A7 con Pronóstico Local. Método de Descomposición Aditiva

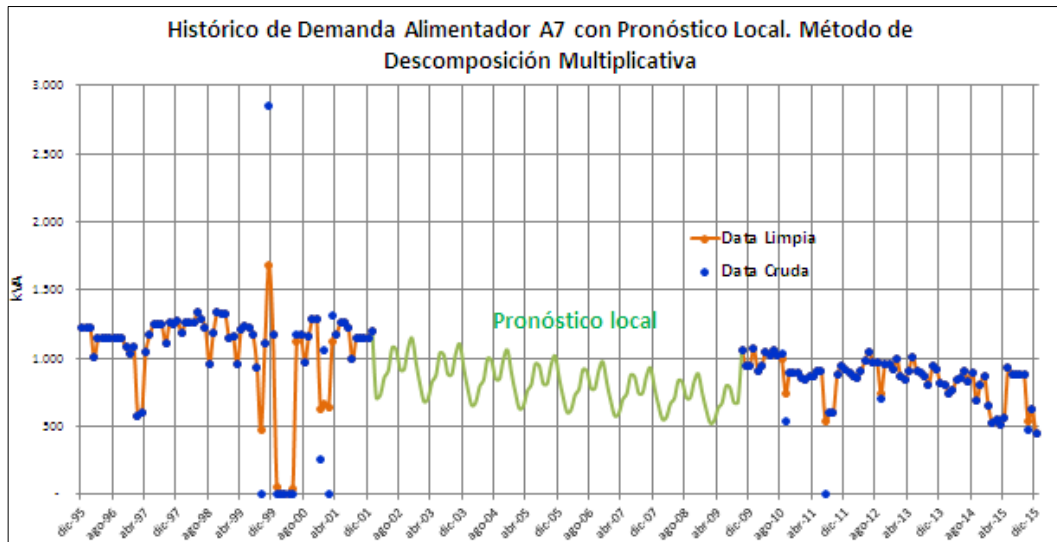


Figura 27. Histórico de Demanda Alimentador A7 con Pronóstico Local. Método de Descomposición Multiplicativa

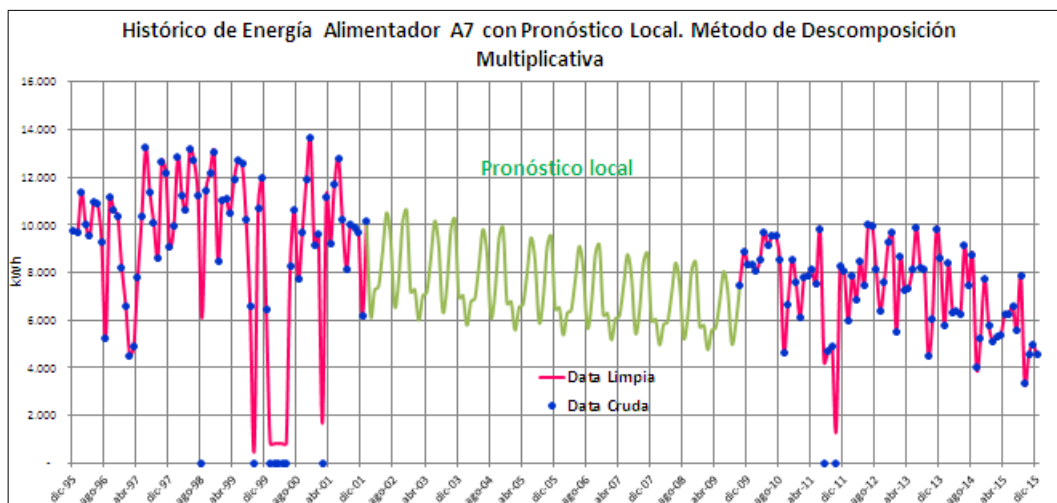


Figura 28. Histórico de Energía Alimentador A7 con Pronóstico Local. Método de Descomposición Multiplicativa

Tras la realización de estos pronósticos locales, con los tres métodos de pronóstico en estudio, se requirió seleccionar uno de ellos, como pronóstico local definitivo para cada uno de los alimentadores, tanto para demanda como para energía eléctrica.

Para la realización de esta selección, se estimaron los criterios de Desviación Media Absoluta (MAD) y Error Cuadrático Medio (RMSE), para cada pronóstico local obtenido versus el histórico de facturación, en el período Octubre 2009 - Diciembre 2015.

Estos los resultados de dichos criterios se presentan en las tablas 6 y 7. En color verde se resaltaron los valores que presentaron menor indicador de MAD y menor RMSE para cada caso. Los detalles de cálculo asociados a estos criterios de encuentran en el Anexo N°3.

Tabla 6. MAD de los Pronósticos locales de Demanda y Energía vs los Históricos

	Alimentador	MAD		
		Holt-Winters	Aditivo	Multiplicativo
Demanda	A5-C1	313	149	152
	A7	444	305	307
	A68	1704	5403	5234
Energía	A5-C1	22963	3590	3621
	A7	2296	2325	2171
	A68	8783	53217	51422

Tabla 7. RMSE de los Pronósticos locales de Demanda y Energía vs los Históricos

	Alimentador	RMSE		
		Holt-Winters	Aditivo	Multiplicativo
Demanda	A5-C1	361	201	204
	A7	518	323	339
	A68	1924	5501	5394
Energía	A5-C1	24133	4200	4293
	A7	2832	2833	2563
	A68	11610	55277	54663

Según lo presentado en las tablas anteriores, para la demanda, resultó ser más acertado el Método de Descomposición el Modelo Aditivo, obteniendo 4 de 6 veces el menor valor. Por ello, se consideró tomar como pronóstico local, las curvas de demanda obtenidas con este método, para el período Febrero 2002– Septiembre 2009.

En el caso de la energía, el estudio de los criterios de MAD y RMSE no resultó concluyente, debido a que cada método de interés arroja 2 de 6 veces el menor valor. Por tanto, se decidió utilizar el Método de Suavizado Exponencial de Holt-Winters como curvas de pronóstico local de energía, ya que al poder realizar modificaciones en los parámetros α , β y γ , es posible realizar con mayor facilidad el ajuste de las curvas deseadas, de acuerdo a las condiciones de los datos iniciales y finales que determinan el período donde se requiere la realización del pronóstico local.

4.2 Comparación de las curvas históricas de demanda y energía eléctrica vs los pronósticos realizados en estudios previos

Seguidamente, se procedió a realizar la comparación entre estos históricos de demanda y energía y los pronósticos presentados en [3] y [5], utilizando los criterios de MAD y RMSE, con el fin de verificar que tan acertados resultaron estos pronósticos de trabajos previos en relación al comportamiento real o facturado del sistema eléctrico en estudio.

En la Tabla 8 y Tabla 9, se presenta un resumen de estos indicadores o criterios de validación. En color verde se resaltaron los valores que presentaron menor indicador de MAD y menor RMSE para cada caso.

Tabla 8. MAD de los Históricos de Demanda y Energía vs los Pronósticos realizados en estudios previos

		MAD		
	Alimentador	Holt-Winters	Aditivo	Multiplicativo
Demanda	A5-C1	264	226	226
	A7	7192	465	465
	A68	1711	2039	1886
Energía	A5-C1	1936	6576	6620
	A7	1774	4312	4317
	A68	12622	19549	18162

Tabla 9. RMSE de los Históricos de Demanda y Energía vs los Pronósticos realizados en estudios previos

	Alimentador	RMSE		
		Holt-Winters	Aditivo	Multiplicativo
Demanda	A5-C1	303	262	264
	A7	9365	490	491
	A68	1889	2178	2075
Energía	A5-C1	2355	6060	6074
	A7	2311	4728	4744
	A68	15909	21876	20103

En los estudios de pronóstico de demanda en la UCV [3] y [5], se utilizó el Método de Descomposición según el Modelo Aditivo, por presentar menor valor RMSE.

Al evaluar mediante el criterio de RMSE y de MAD el comportamiento de estos pronósticos previos versus el histórico, correspondiente al período Octubre 2009 – Diciembre 2015, resultó que el Método de Descomposición según el Modelo Aditivo obtuvo 4 de 6 veces, el menor valor, de lo cual se puede concluir que fue acertada la selección del Método de Descomposición según el Modelo Aditivo, para la realización de los pronósticos a corto, mediano y largo plazo, presentados en los estudios previos [3] y [5]. Los cálculos asociados a estos criterios de validación se encuentran en el Anexo N° 4.

Para la energía, el Método de Suavizado Exponencial de Holt-Winters, resultó con el menor valor, todas las veces.

Así mismo, se consideró la representación gráfica de esas curvas históricas de demanda y de energía vs los pronósticos realizados en los estudios previos [3] y [5], con el Método de Suavizado Exponencial de Holt-Winters.

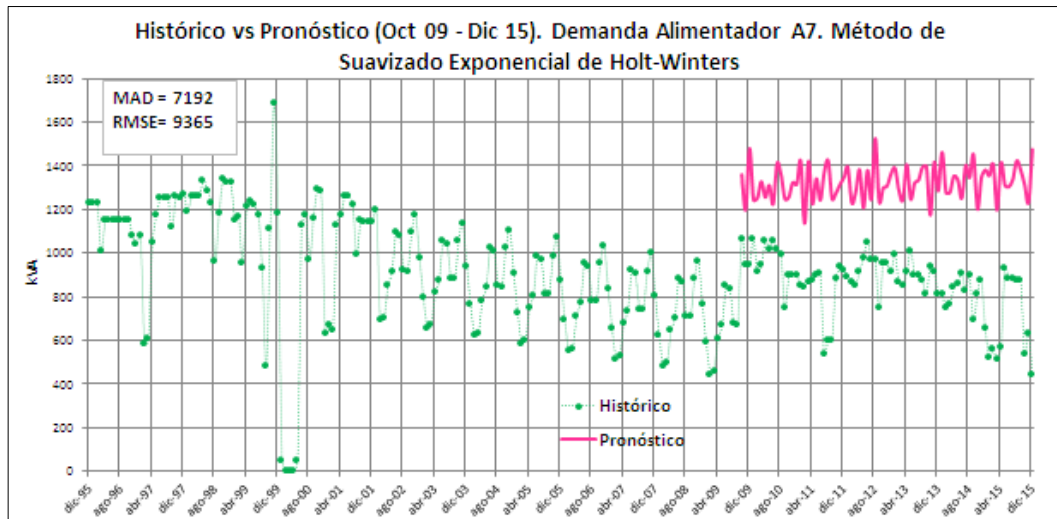


Figura 29. Demanda Alimentador A7. Histórico vs Pronóstico (Oct 09 - Dic 15). Método de Suavizado Exponencial de Holt-Winters

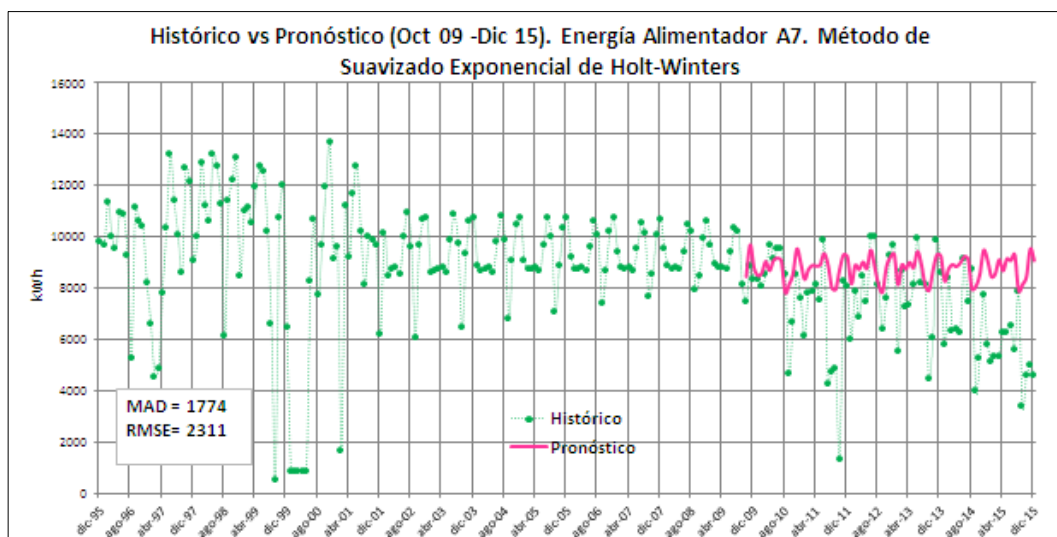


Figura 30. Energía Alimentador A7. Histórico vs Pronóstico (Oct 09 - Dic 15). Método de Suavizado Exponencial de Holt-Winters

Del mismo modo, se realizó lo propio para demanda y para energía eléctrica, con los métodos de descomposición de interés para este estudio, representados, para el Método de Descomposición Aditivo y para el Método de Descomposición Multiplicativo.

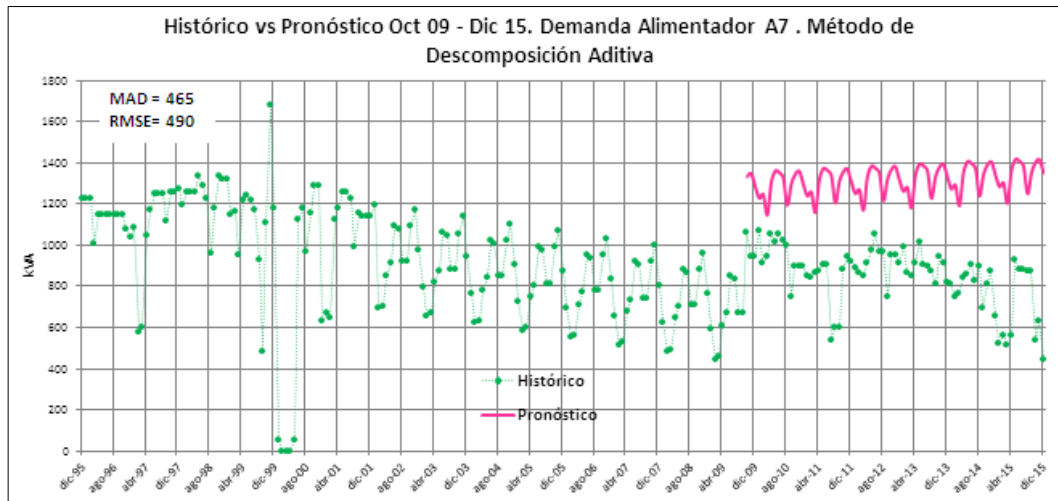


Figura 31. Demanda Alimentador A7. Histórico vs Pronóstico (Oct 09 - Dic 15). Método de Descomposición Aditiva

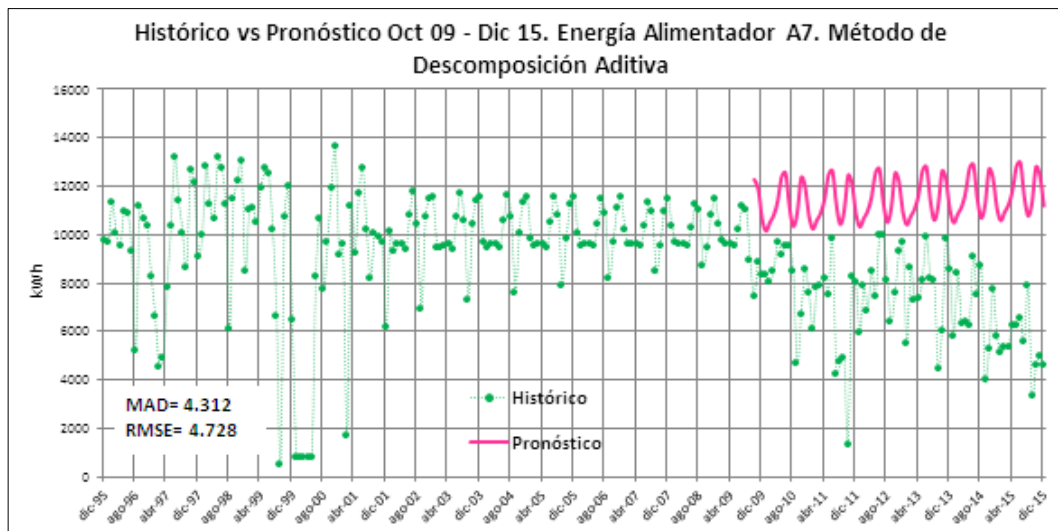


Figura 32. Energía Alimentador A7. Histórico vs Pronóstico (Oct 09 - Dic 15). Método de Descomposición Aditiva

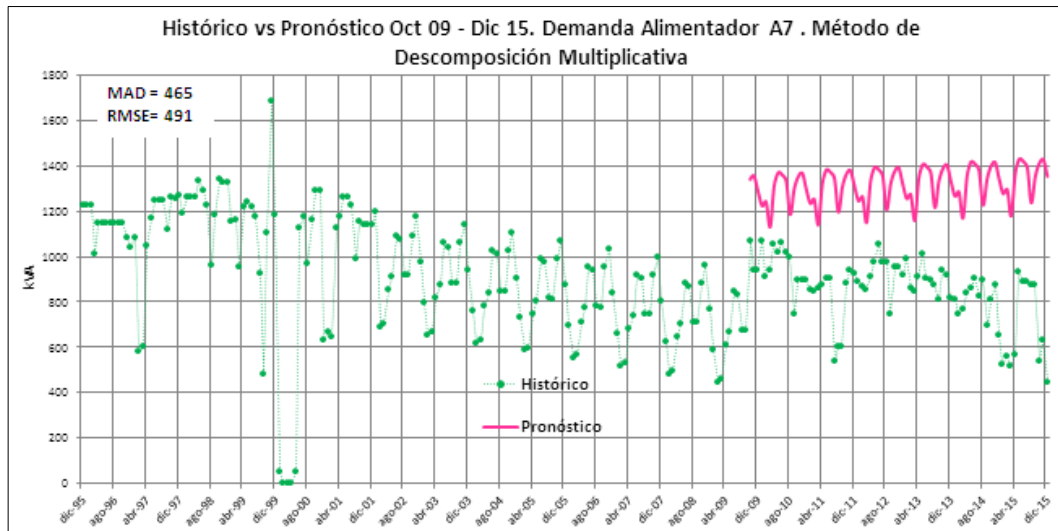


Figura 33. Demanda Alimentador A7. Histórico vs Pronóstico (Oct 09 - Dic 15). Método de Descomposición Multiplicativa

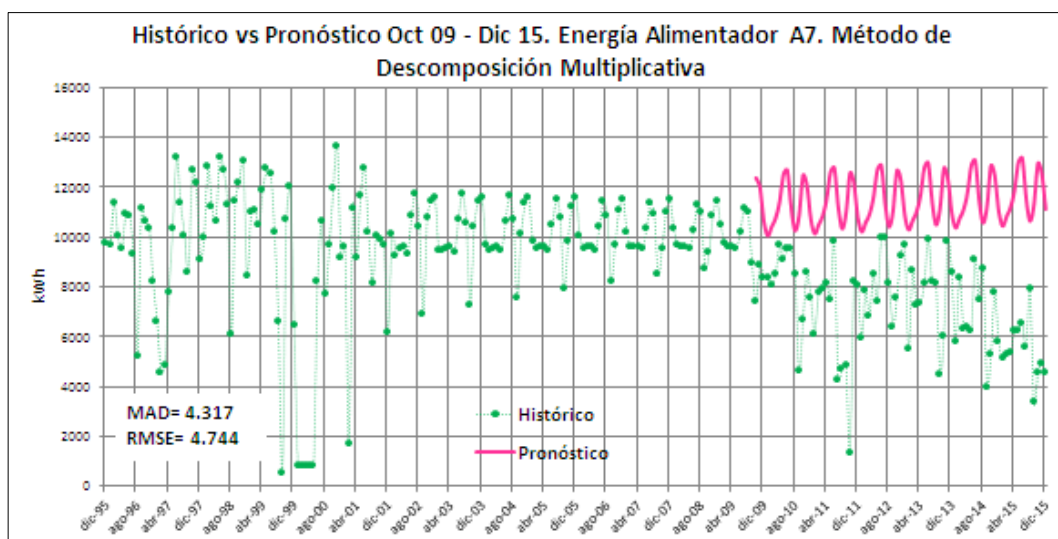


Figura 34. Energía Alimentador A7. Histórico vs Pronóstico (Oct 09 - Dic 15). Método de Descomposición Multiplicativa

4.3 Pronósticos de Demanda y Energía Eléctrica a Corto y Mediano Plazo

Posteriormente, se procedió a realizar el pronóstico a corto (año 2017) y mediano plazo (año 2020) de demanda y energía, de cada alimentador en estudio, con los tres métodos de pronóstico de interés, bajo la premisa de los dos escenarios planteados en el capítulo III.

La memoria de cálculo y todas las gráficas asociadas a estos pronósticos, se presentan en el Anexo N° 5: Pronóstico a corto y mediano plazo bajo el escenario de crecimiento vegetativo y Anexo N° 7: Pronóstico a corto y mediano plazo bajo el escenario de crecimiento en desarrollo o nuevas cargas.

4.3.1 Escenario de Crecimiento Vegetativo

Para este escenario de estudio, se considera sólo la información de la facturación de energía y demanda comprendida en el período Diciembre 1995 – Diciembre 2015. Con base a esto, se realizaron los pronósticos de corto y mediano plazo de demanda y de energía eléctrica para los alimentadores A5-C1, A7 y A68, con los tres métodos de pronóstico de interés para este trabajo.

Dichos pronósticos de demanda, se presentan de la figura 35 a la 37, y los pronósticos de energía, de la figura 38 a la 40.

- Pronósticos de Demanda Eléctrica

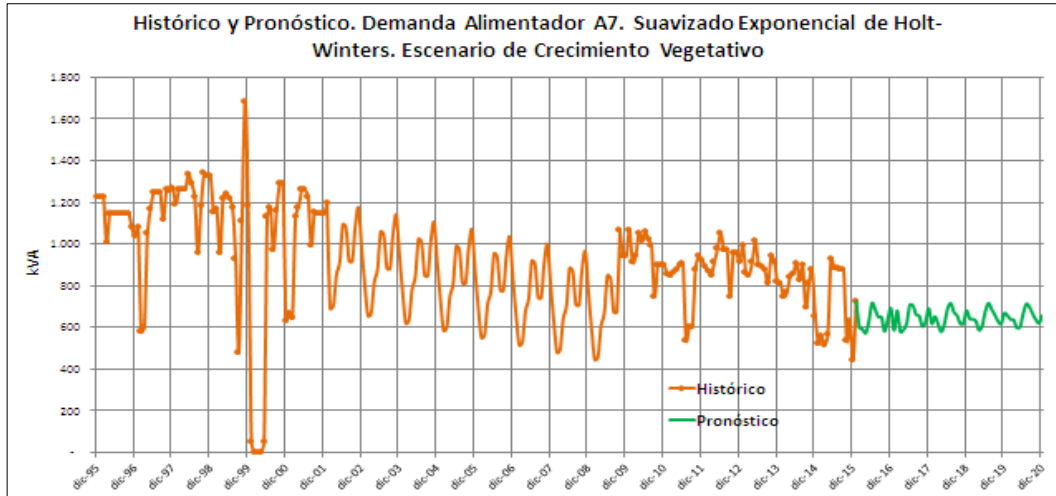


Figura 35. Pronóstico de Demanda Alimentador A7. Suavizado Exponencial de Holt-Winters. Escenario de Crecimiento Vegetativo

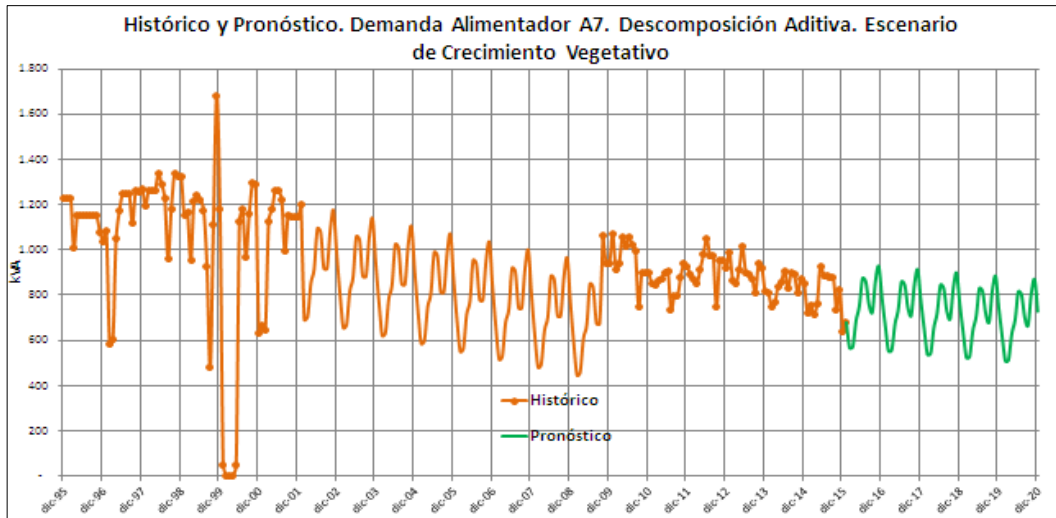


Figura 36. Pronóstico de Demanda Alimentador A7. Descomposición Aditiva. Escenario de Crecimiento Vegetativo

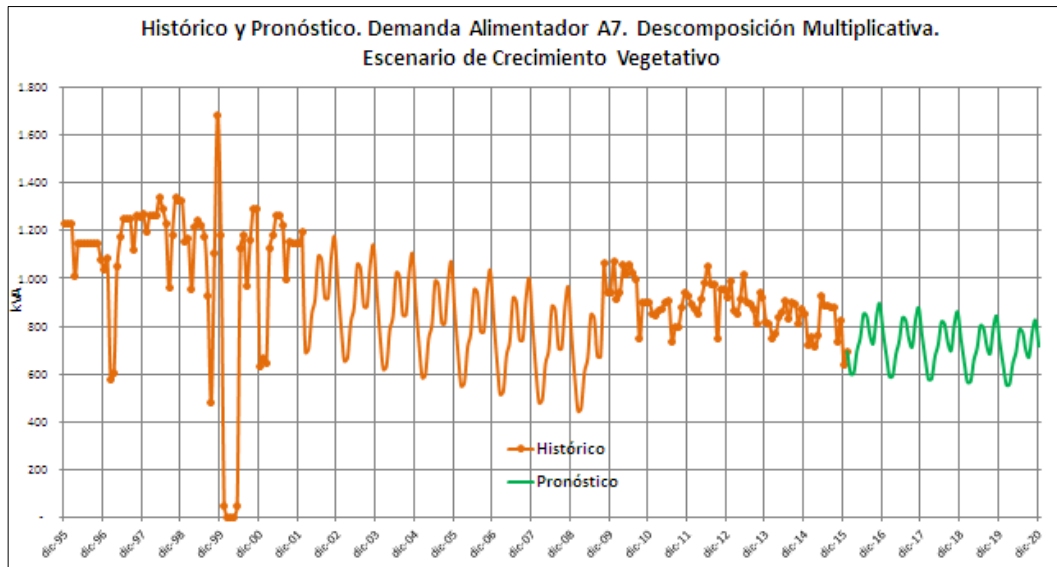


Figura 37. Pronóstico de Demanda Alimentador A7. Descomposición Multiplicativa. Escenario de Crecimiento Vegetativo

En las figuras correspondientes al pronóstico de la demanda eléctrica, se obtuvieron 2 tipos de comportamientos.

Con el Método de Suavizado Exponencial de Holt-Winters, en todos los alimentadores, se observa un comportamiento con tendencia ligeramente creciente.

En cuanto a los alimentadores A7 y A68, los pronósticos realizados con los métodos de descomposición, tanto aditiva como multiplicativa, se obtuvieron pronósticos con tendencia decreciente, correspondiendo esto al comportamiento observado en el período histórico Octubre 09 - Diciembre 15, para ambos alimentadores.

Para el alimentador A5-C1, con ambos métodos de descomposición, se observa una tendencia estacionaria, es decir, que el comportamiento no tiende a aumentar ni a disminuir, sino que se mantiene constantemente alrededor de un valor promedio, el cual, en este caso, es aproximadamente de 1480kVA.

- Pronósticos de Energía Eléctrica

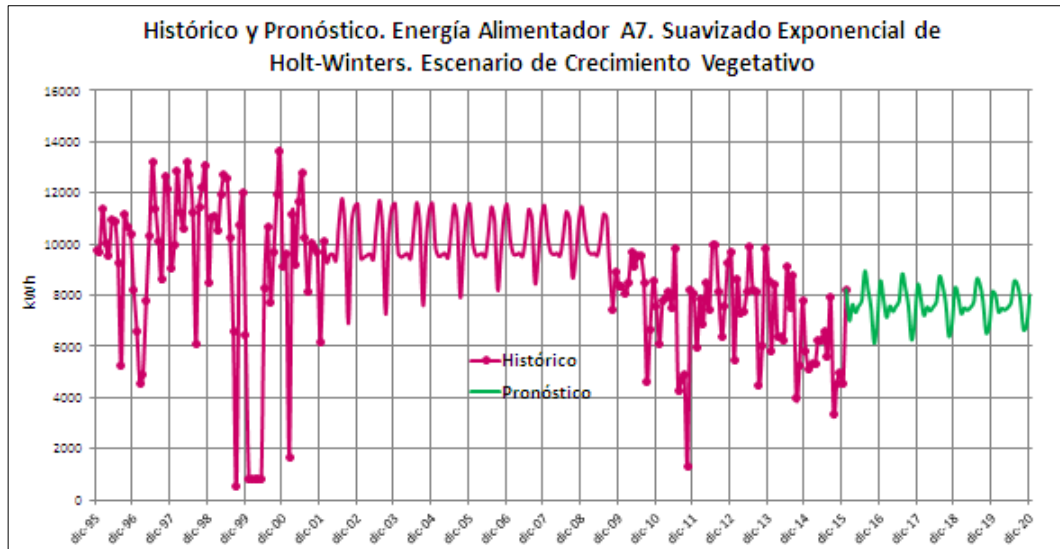


Figura 38. Pronóstico de Energía Alimentador A7. Suavizado Exponencial de Holt-Winters. Escenario de Crecimiento Vegetativo

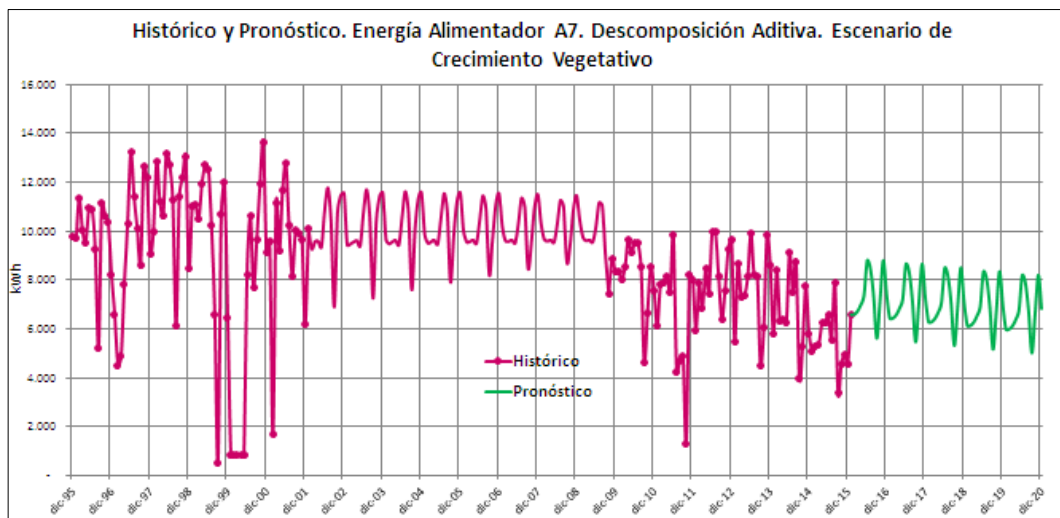


Figura 39. Pronóstico de Energía Alimentador A7. Descomposición Aditiva. Escenario de Crecimiento Vegetativo

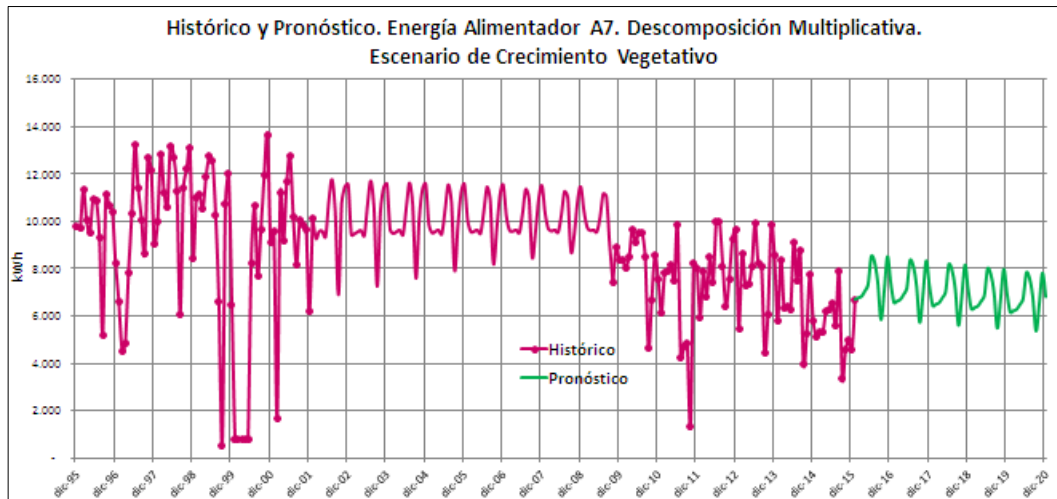


Figura 40. Pronóstico de Energía Alimentador A7. Descomposición Multiplicativa. Escenario de Crecimiento Vegetativo

Para el alimentador A5-C1, se obtuvo que el pronóstico de energía realizado con el Método de Suavizado Exponencial de Holt-Winters, presenta tendencia de crecimiento, mientras que los pronósticos estimados con los métodos de descomposición, demuestran tendencia estacionaria.

Al observar las figuras correspondientes a los alimentadores A7 y A68, se encontraron dos tipos de comportamientos.

Con los métodos de descomposición, la tendencia de los pronósticos de energía es decreciente. Esto puede estar determinado por el comportamiento presente en la serie histórica durante los últimos 4 años de la misma (2011-2015).

Mientras que los pronósticos efectuados con el método de Suavizado Exponencial de Holt-Winters, presentan tendencia creciente.

4.3.2 Escenario de Crecimiento en Desarrollo o Nuevas Cargas

- Pronóstico de Demanda Eléctrica

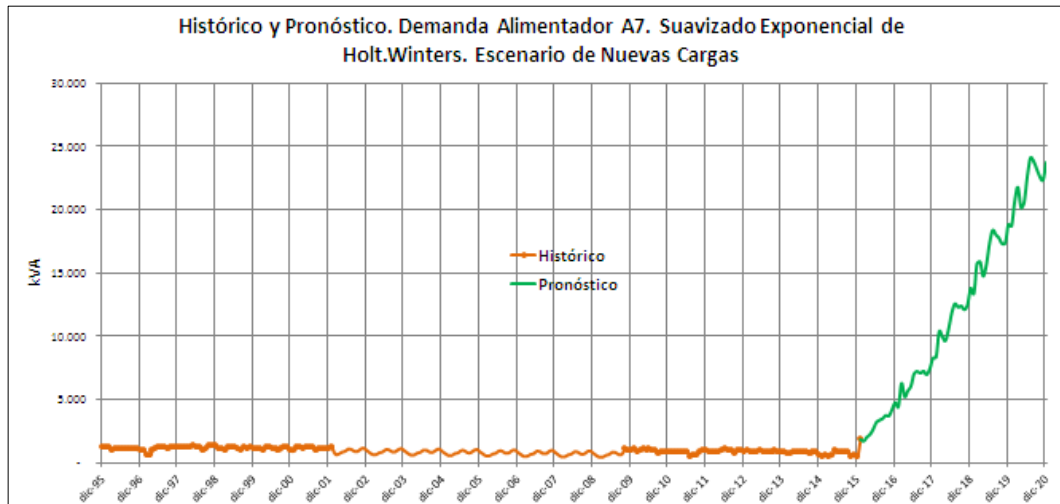


Figura 41. Pronóstico de Demanda Alimentador A7. Suavizado Exponencial de Holt-Winters. Escenario de Nuevas Cargas

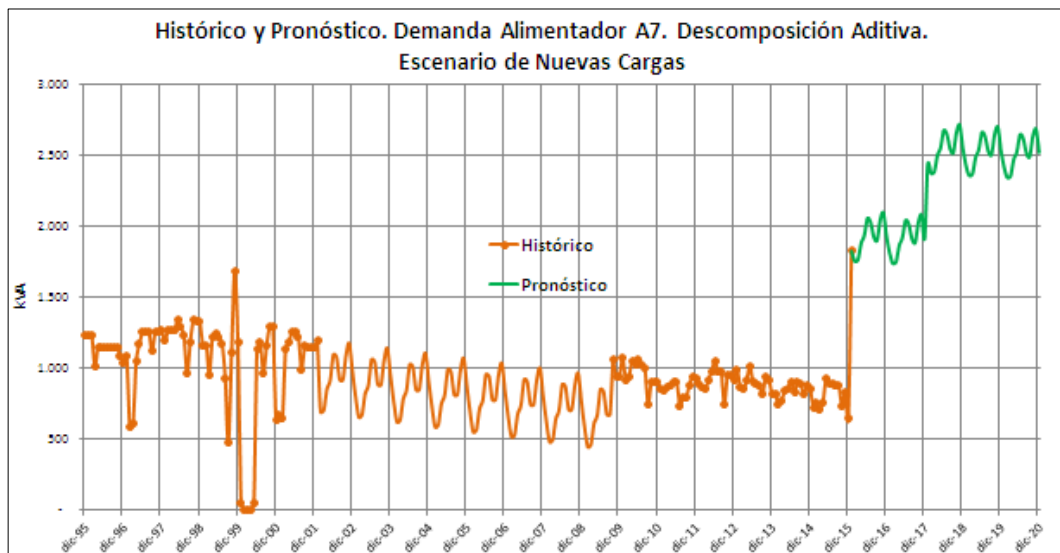


Figura 42. Pronóstico de Demanda Alimentador A7. Descomposición Aditiva. Escenario de Nuevas Cargas

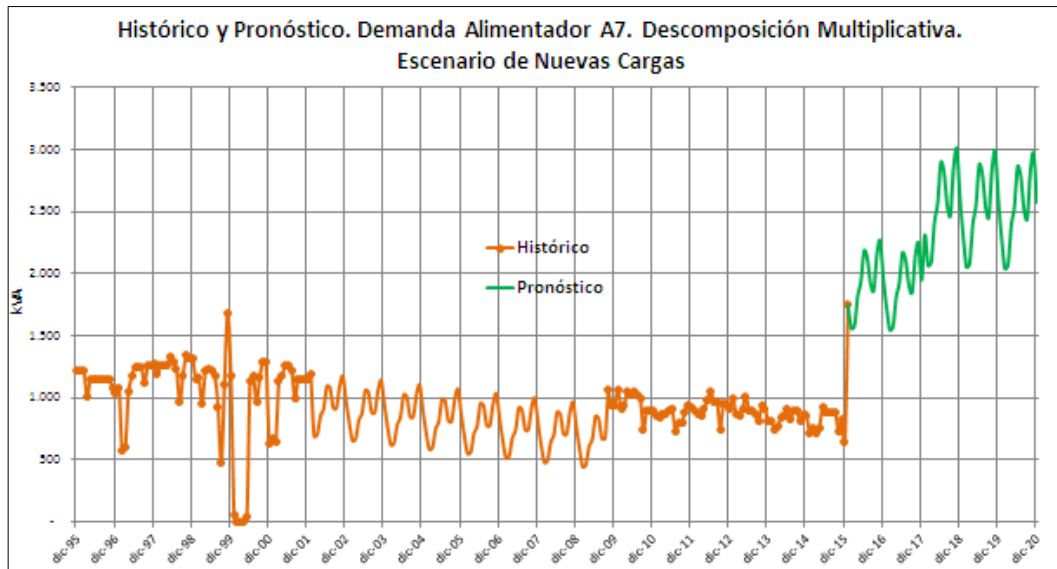


Figura 43. Pronóstico de Demanda Alimentador A7. Descomposición Multiplicativa. Escenario de Nuevas Cargas

En los pronósticos de demanda obtenidos para el alimentador A7, bajo el escenario de nuevas cargas, con el método de Descomposición Multiplicativa y de Descomposición Aditiva, se puede observar un comportamiento estacionario, con dos niveles o escalones, debido a la incorporación de las cargas nuevas, al comienzo de cada período, representadas por 1.143kVA para corto plazo, correspondientes al Sistema de Climatización Núcleo de edificios Rectorado - Aula Magna - Sala de Conciertos y Biblioteca Central, y luego 648kVA, a mediano plazo, del Edificio Sede de los estudios de Postgrado de la Facultad de Ciencias Jurídicas y Sociales.

Con el método de Suavizado Exponencial de Holt-Winters, el pronóstico obtenido presenta una tendencia claramente creciente. Esto se debe a que el modelo matemático correspondiente a este método, es recursivo, es decir, toma en cuenta el valor anterior para el cálculo del valor actual, por tanto, al elevar el valor anterior, este comportamiento se replica para los valores sucesivos.

- Pronóstico de Energía Eléctrica

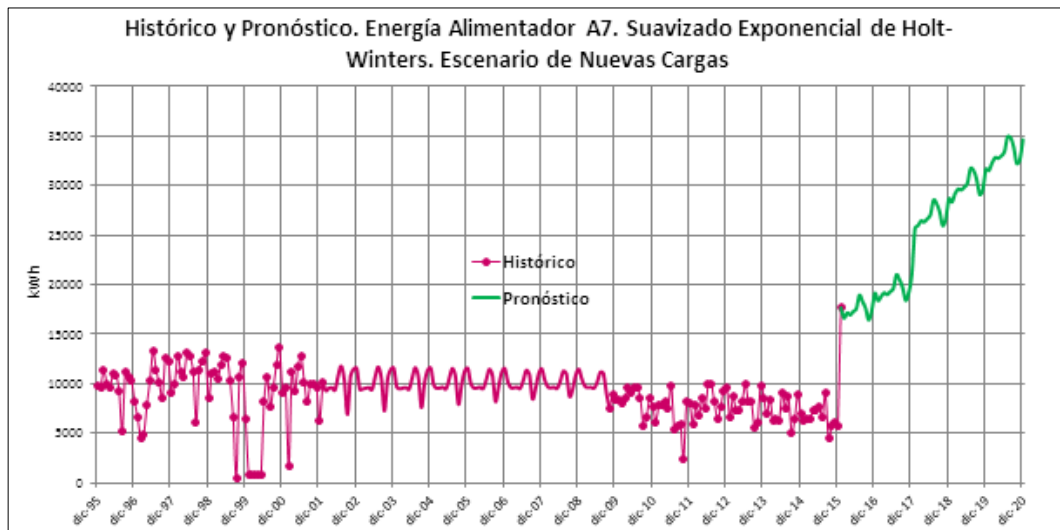


Figura 44. Pronóstico de Energía Alimentador A7. Suavizado Exponencial de Holt-Winters. Escenario de Nuevas Cargas

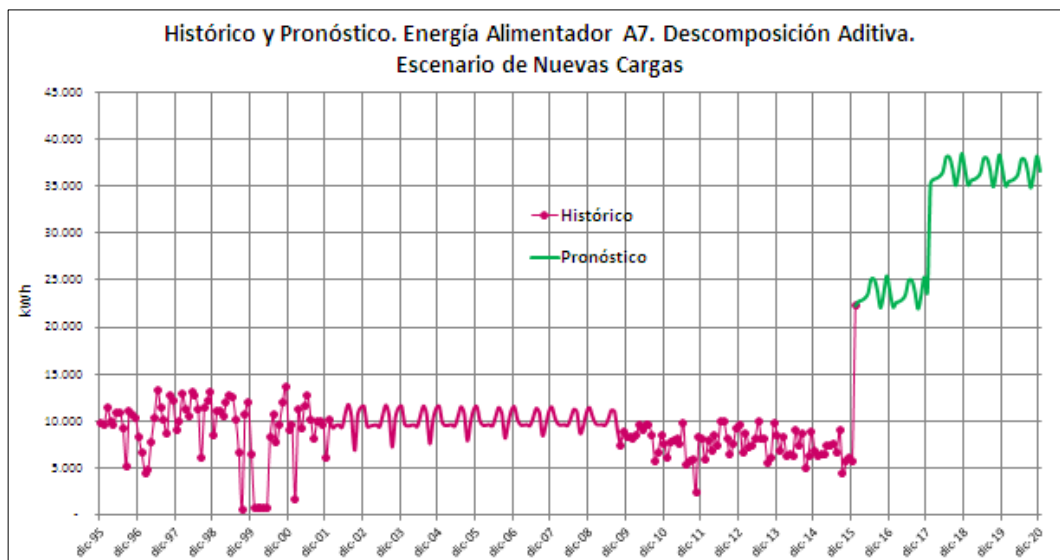


Figura 45. Pronóstico de Energía Alimentador A7. Descomposición Aditiva. Escenario de Nuevas Cargas

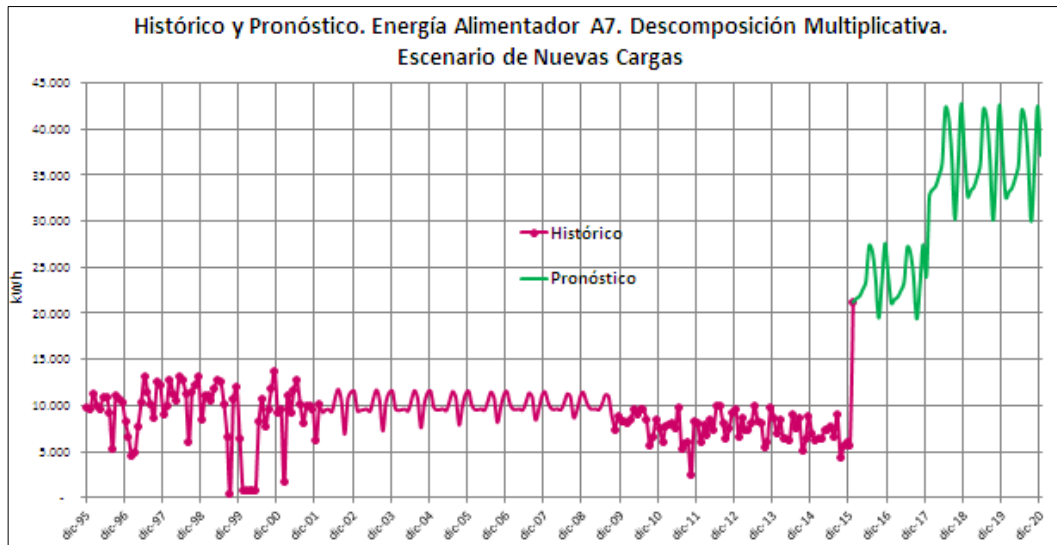


Figura 46. Pronóstico de Energía Alimentador A7. Descomposición Multiplicativa. Escenario de Nuevas Cargas

Del mismo modo que ocurrió para la demanda, con los métodos de descomposición, tanto aditiva como multiplicativa, se obtuvo un comportamiento estacionario, con escalones determinados por la incorporación de las nuevas cargas a corto y mediano plazo. Para el método de Suavizado Exponencial de Holt-Winters, se obtuvo una tendencia creciente.

El estudio de nuevas cargas, se realizó solo para el alimentador A7, ya que las nuevas cargas planteadas para ser incorporadas al alimentador A68, están planificadas a largo plazo y el alcance de este trabajo no comprende el pronóstico para ese horizonte temporal. Para el alimentador A5-C1, no se tiene estimada la incorporación de nuevas cargas.

Al evaluar los pronósticos generados, tanto para el escenario de crecimiento vegetativo como para el escenario de incorporación de nuevas cargas, se observa en la mayoría de los casos, tendencias estacionarias o de crecimiento, lo cual no concuerda con el comportamiento de decrecimiento esperado, determinado por los últimos años del período histórico (2009-2015), lo cual indica que posiblemente el comportamiento de crecimiento o estacionario obtenido está

siendo regido por el período 1995-2009, siendo este período temporal más extenso que el lapso de tiempo donde las variables de demanda y de energía eléctrica decrecen.

A raíz de esto, se contempló la generación de nuevos pronósticos de demanda y de energía, tomando como serie de tiempo histórica sólo el período correspondiente a Octubre 2009 – Diciembre 2015.

Esta nueva serie temporal, cuenta con menor cantidad de datos, en comparación al periodo 1995-2015, por lo cual, es necesario, redefinir los horizontes de corto y de mediano plazo, con base a los lineamientos establecidos en el marco teórico.

Por ello, se determinó como nuevo período de corto plazo, 1 año (2016) y como horizonte de mediano plazo, 2 años (2017).

A continuación se presentan las gráficas correspondientes, para el alimentador A7. Los detalles de cálculo y gráficas asociadas a los tres alimentadores de interés para este estudio, se presentan en el Anexo N° 9: Pronósticos a corto y mediano plazo, bajo escenario de crecimiento vegetativo, con base al histórico 2009-2015 y en el Anexo N° 10: Pronósticos a corto y mediano plazo, bajo escenario de nuevas cargas, con base al histórico 2009-2015.

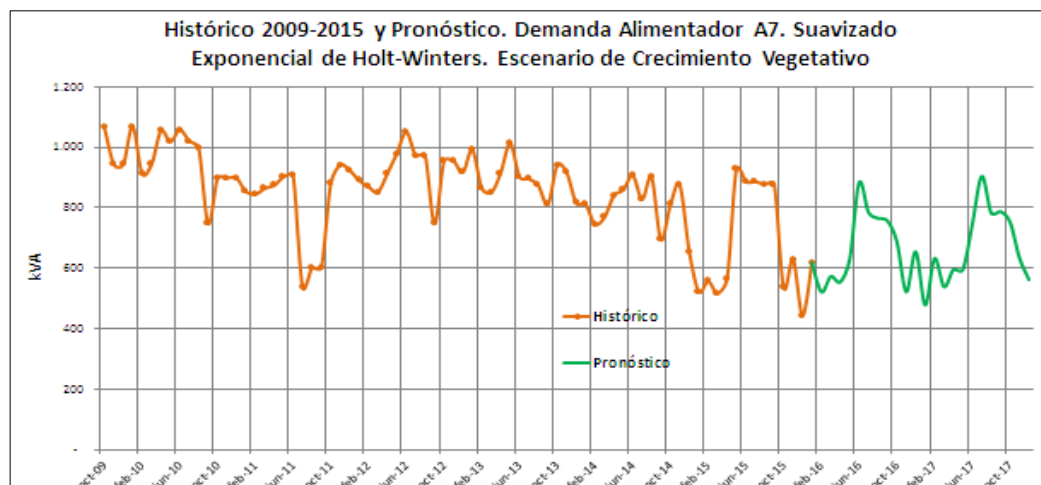


Figura 47. Pronóstico de Demanda Alimentador A7. Suavizado de Holt-Winters. Escenario de crecimiento vegetativo, con histórico 2009-2015

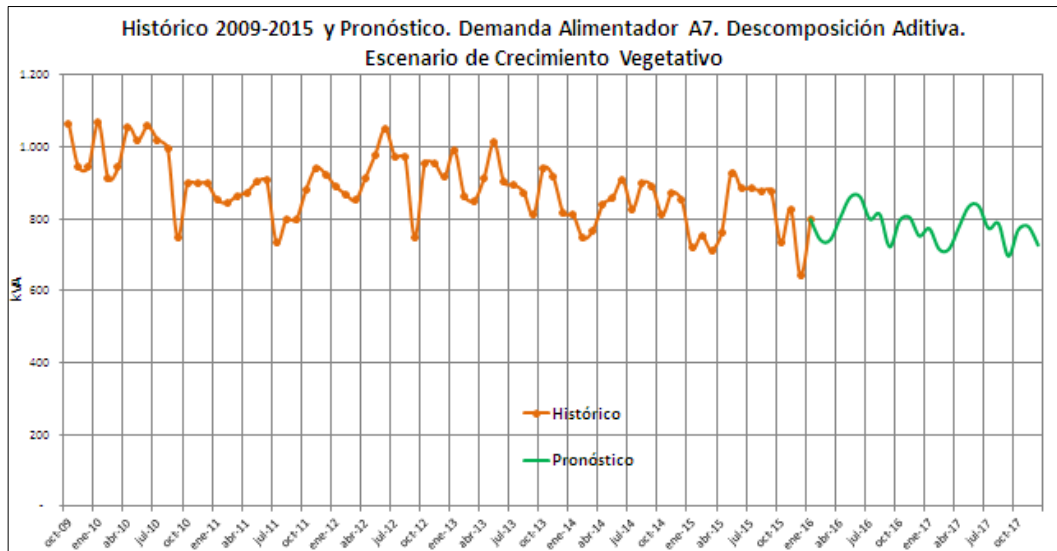


Figura 48. Pronóstico de Demanda Alimentador A7. Descomposición Aditiva. Escenario de crecimiento vegetativo, con histórico 2009-2015

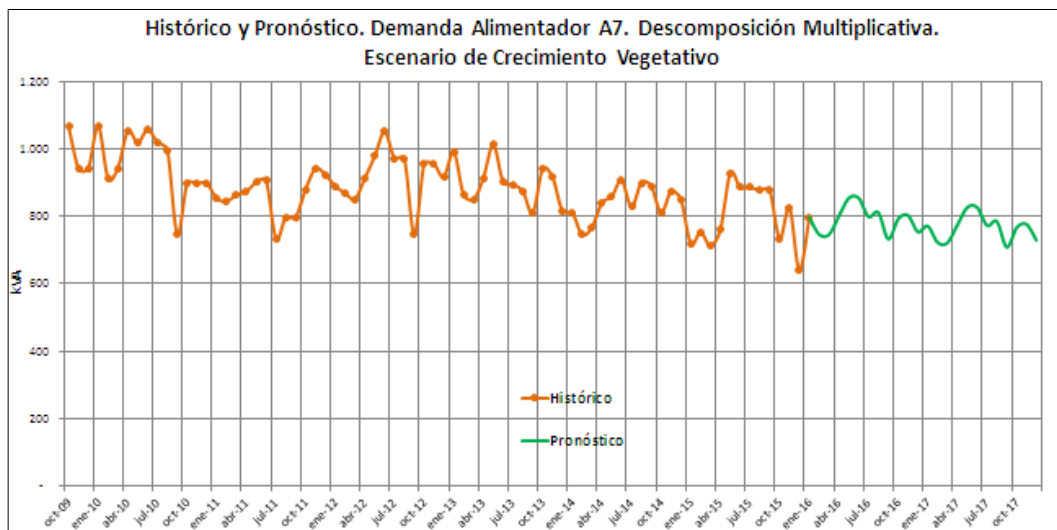


Figura 49. Pronóstico de Demanda Alimentador A7. Descomposición Multiplicativa. Escenario de crecimiento vegetativo, con histórico 2009-2015

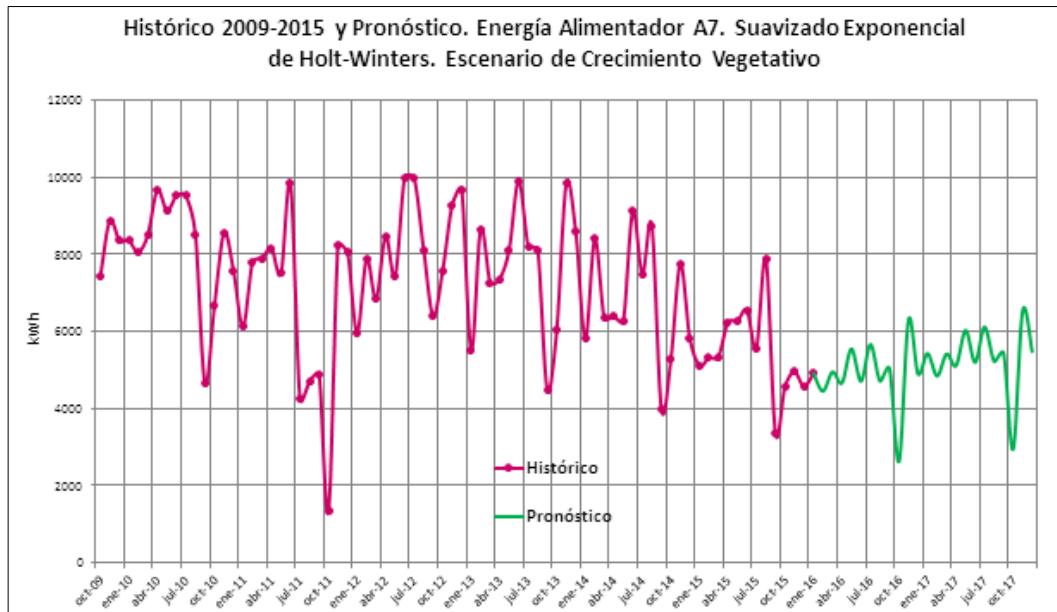


Figura 50. Pronóstico de Energía Alimentador A7. Suavizado de Holt-Winters. Escenario de crecimiento vegetativo, con histórico 2009-2015

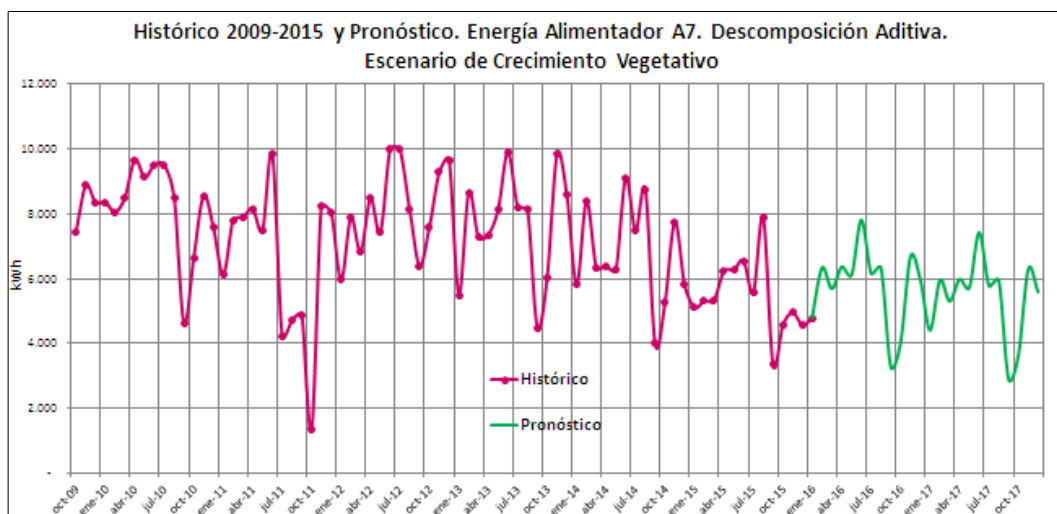


Figura 51. Pronóstico de Energía Alimentador A7. Descomposición Aditiva. Escenario de crecimiento vegetativo, con histórico 2009-2015

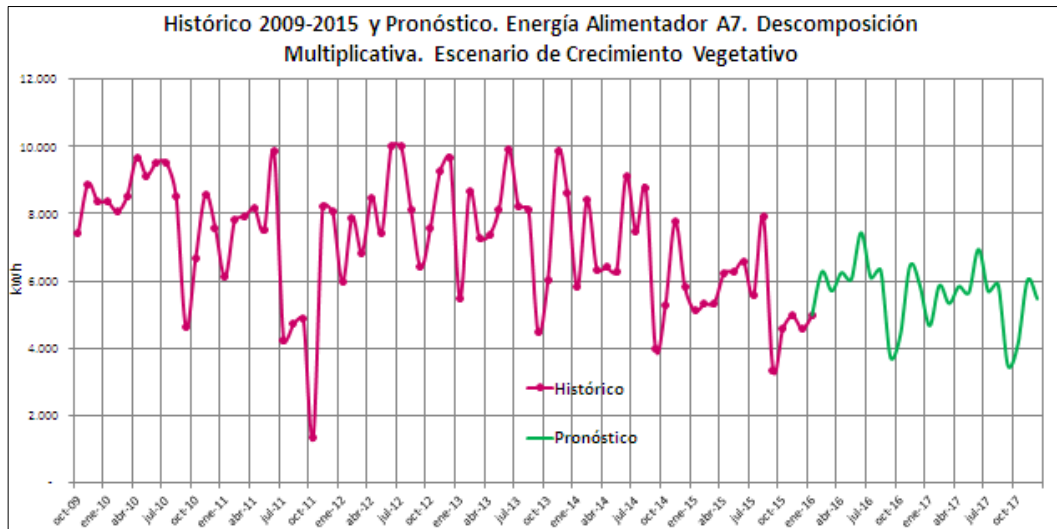


Figura 52. Pronóstico de Energía Alimentador A7. Descomposición Multiplicativa. Escenario de crecimiento vegetativo, con histórico 2009-2015

Al considerar como período histórico sólo los datos correspondientes a 2009-2015, se obtuvo el comportamiento decreciente esperado en los tres alimentadores de interés, con los métodos de descomposición, tanto aditivo como multiplicativo.

Se observó que los pronósticos realizados con el método de Suavizado Exponencial de Holt-Winters multiplicativo, en todos los alimentadores, para demanda y para energía eléctrica, resultaron con tendencia creciente.

Esto se debe a que una característica del método de Holt-Winters multiplicativo es que sin importar el comportamiento del histórico, siempre se obtendrá un comportamiento estacional creciente utilizando este método, debido que en las ecuaciones matemáticas propias de este método, se divide entre el factor estacional, determinando así la tendencia creciente.

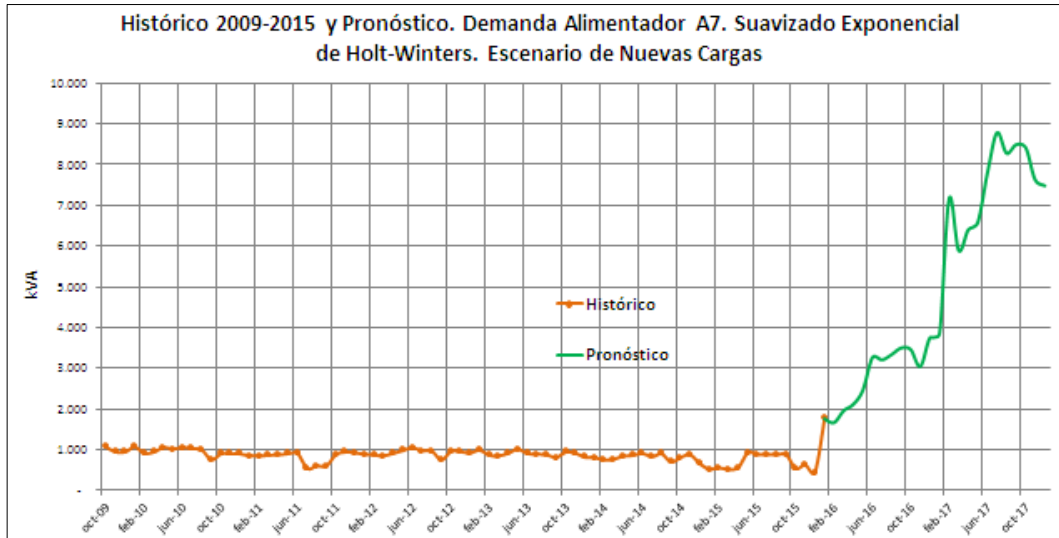


Figura 53. Pronóstico de Demanda Alimentador A7. Suavizado Exponencial de Holt-Winters. Escenario de nuevas cargas, con histórico 2009-2015

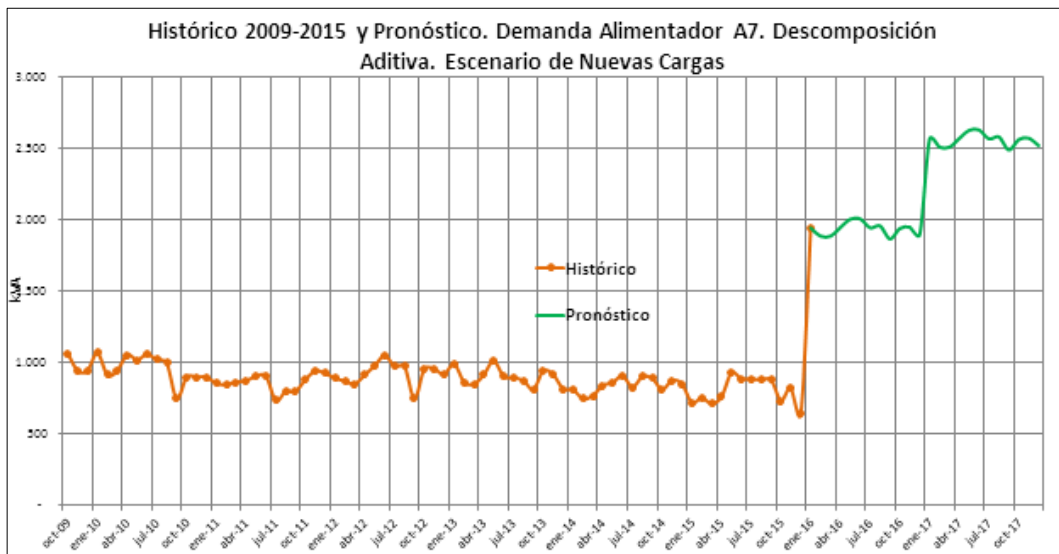


Figura 54. Pronóstico de Demanda Alimentador A7. Descomposición Aditiva. Escenario de nuevas cargas, con histórico 2009-2015

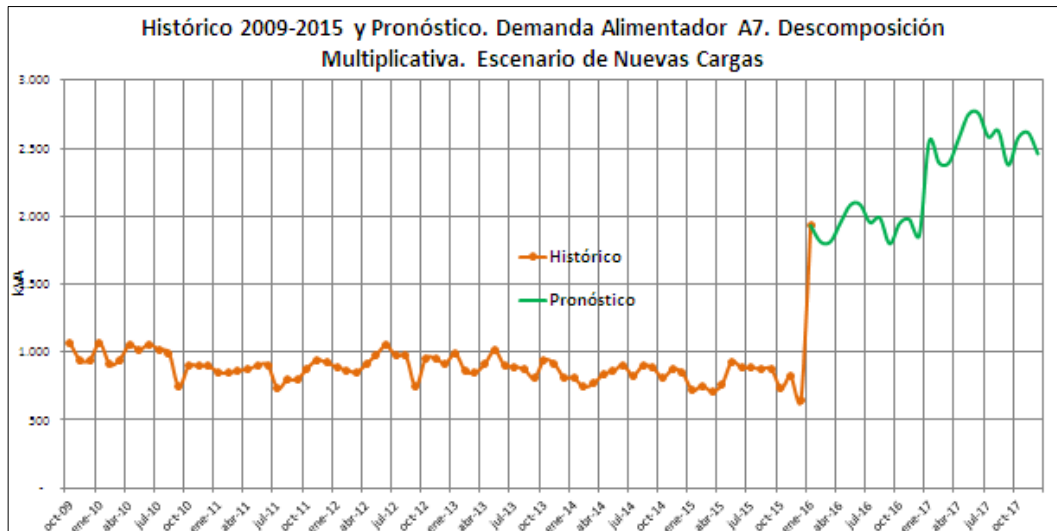


Figura 55. Pronóstico de Demanda Alimentador A7. Descomposición Multiplicativa. Escenario de nuevas cargas, con histórico 2009-2015

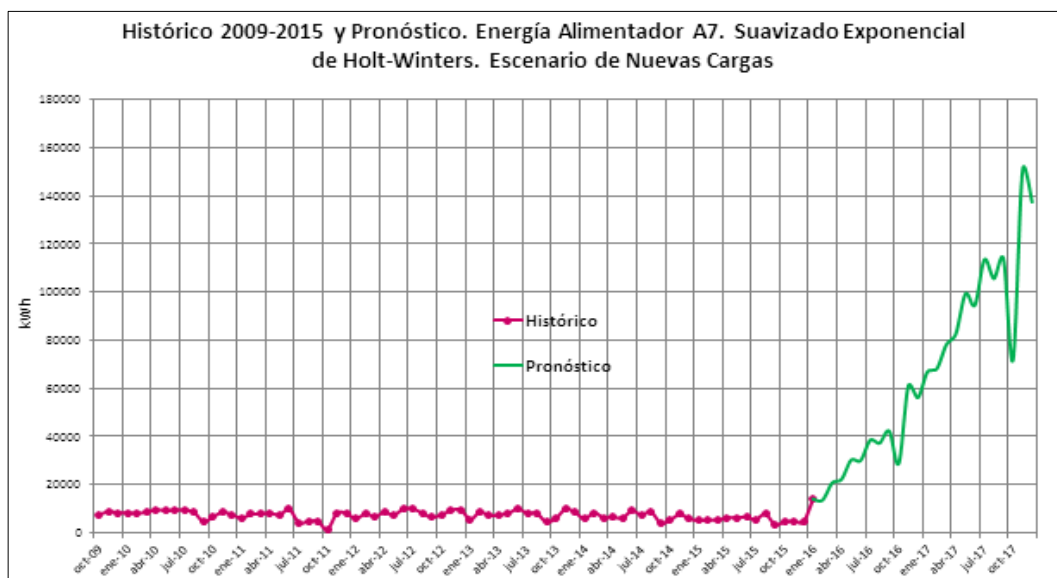


Figura 56. Pronóstico de Energía. Alimentador A7. Suavizado Exponencial de Holt-Winters. Escenario de nuevas cargas, con histórico 2009-2015

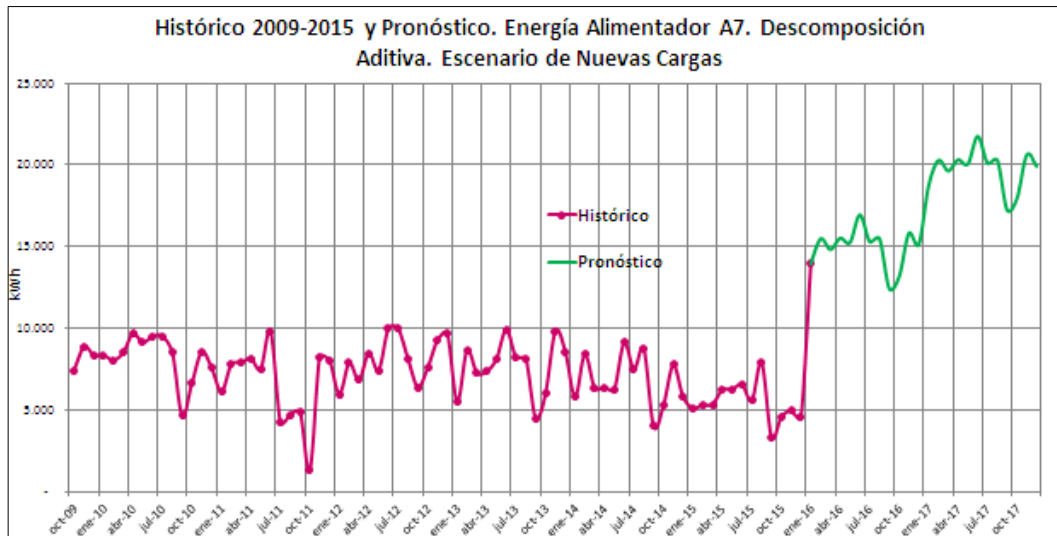


Figura 57. Pronóstico de Energía Alimentador A7. Descomposición Aditiva. Escenario de nuevas cargas, con histórico 2009-2015

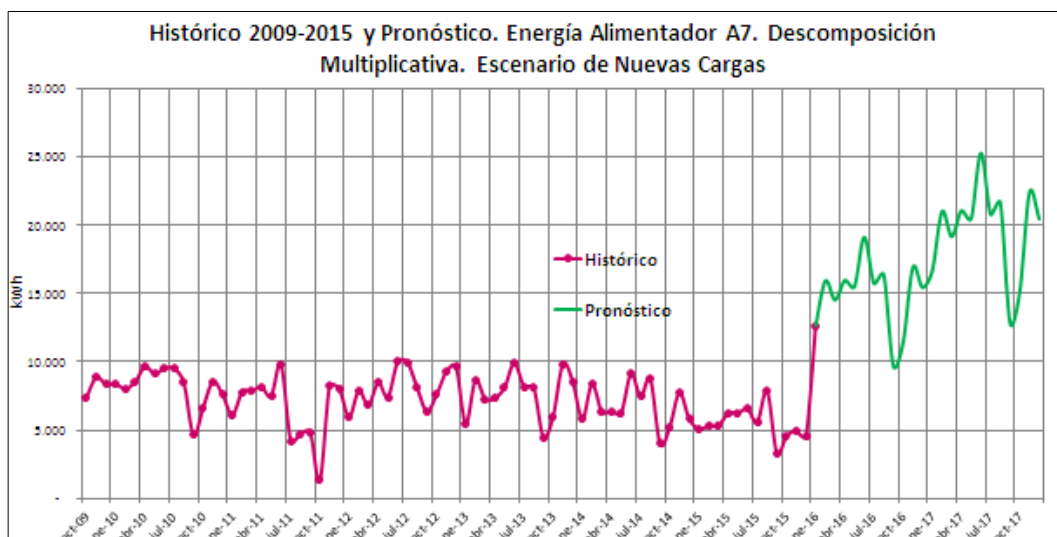


Figura 58. Pronóstico de Energía Alimentador A7. Descomposición Multiplicativa. Escenario de nuevas cargas, con histórico 2009-2015

En los pronósticos de demanda y energía bajo el escenario de nuevas cargas con el histórico desde 2009 hasta 2015, con los métodos de descomposición, se obtuvieron pronósticos con tendencia creciente, aunque de igual modo que en el caso en el que se consideró el histórico desde 1995, se

aprecian los escalones ocasionados por la incorporación de las nuevas cargas al alimentador A7.

Con el método de Holt-Winters, se obtuvo una tendencia abruptamente creciente, en comparación con los pronósticos obtenidos con los otros dos métodos.

El comportamiento creciente presente en estos pronósticos corresponde con lo esperado, ya que al suponer que se agregará más carga al alimentador, resulta lógico que se genere un pronóstico con tendencia de crecimiento.

Luego de realizar los pronósticos de interés para este trabajo, se consideró la estimación de diversos indicadores de la demanda, tales como demanda máxima, demanda mínima y demanda promedio de cada alimentador y demanda máxima y demanda mínima coincidente.

Estos indicadores se resumen en las tablas 10 y 11.

Tabla 10. Demanda máxima, mínima y promedio por cada alimentador

	Demanda Máxima		Demanda Mínima		Demanda Promedio
	[kVA]		[kVA]		[kVA]
Alimentador A5-C1	1.616	Jun-98	616	Oct-15	1.366
Alimentador A7	1.683	Nov-99	444	Dic-15	1.040
Alimentador A68	9.107	May-00	2.552	Sep-11	6.296

Tabla 11. Demanda máxima y demanda mínima coincidente

	Demanda Máxima Coincidente [kVA]		Demanda Mínima Coincidente [kVA]	
Alimentador A5-C1	1.384	Mar-98	1.250	Sep-11
Alimentador A7	1.262		602	
Alimentador A68	9.097		2.552	
TOTAL	11.743		4.404	

Inicialmente, se consideró como punto de demanda máxima coincidente, Mayo-2000, ya que es donde ocurre la demanda máxima del alimentador A68, pero al ubicar los valores de demanda correspondientes a ese mes en los alimentadores A5-C1 y A7, se observó que la contribución de este último alimentador no fue realmente significativa, así que se procedió a ubicar el segundo punto de demanda máxima del alimentador A68, resultando éste en el mes de Marzo-1998, y al realizar la suma de los aportes de demanda de los tres alimentadores, se obtuvo una demanda mayor a la del mes de Mayo del año 2000, por tanto, se tomó Marzo-1998 como punto de demanda máxima coincidente.

Así mismo, se estimó la demanda promedio del sistema eléctrico en estudio para el año 2009 y para el año 2015, a fines de evaluar si el comportamiento del mismo cumple con las regulaciones relacionadas al Uso Racional y Eficiente de la Energía Eléctrica.

Estas demandas promedio de interés se presentan en la tabla 12:

Tabla 12. Demanda promedio para en el año 2009 y 2015

Año	Demanda promedio [kVA]		
	Alimentador A5-C1	Alimentador A7	Alimentador A68
2009	1.503	1.148	6.820
	9.471		
2015	985	686	5102
	6.773		

CONCLUSIONES

Toda red eléctrica requiere una constante supervisión y mantenimiento, para lo cual, se necesita el empleo y manejo de distintas herramientas para facilitar la planificación, ya que de este modo, se pueden adecuar estrategias para corregir o para favorecer el comportamiento deseado, implicando esto, que la programación de las operaciones o acciones futuras dependa de la combinación entre las condiciones actuales de demanda y energía eléctrica del sistema y la visión de lo que se espera que ocurra, entendiéndose que las decisiones que se tomen, afectarán el funcionamiento del sistema eléctrico y con esto, a quienes hacen uso de él. Es por esto que se consideró relevante la realización de un estudio de demanda y energía eléctrica para la red de 4,8kV de la Universidad Central de Venezuela (UCV), ubicada dentro de la Ciudad Universitaria de Caracas (CUC), tomando como información base, la facturación del servicio eléctrico de esta institución, para el lapso de tiempo comprendido entre Diciembre 1995 y Diciembre 2015, buscando así, realizar estimaciones de demanda y energía a corto y mediano plazo.

Al existir una extensa cantidad de métodos de pronóstico, fue necesario seleccionar algunos para este estudio. Al igual que para los trabajos realizados en 2002 y 2005, se emplearon tres métodos de pronóstico: Método de Suavizado Exponencial de Holt-Winters multiplicativo, Método de Descomposición según el Modelo Aditivo y Método de Descomposición según el Modelo Multiplicativo.

El conocimiento y cumplimiento de las regulaciones legales vigentes, referentes al servicio eléctrico, establecidas por el Estado Venezolano, es de relevancia para la UCV, siendo este un importante usuario de este servicio. Estas regulaciones, conformadas por leyes, como la Ley de Uso Racional y Eficiente de la Energía Eléctrica y la Ley del Sistema y Servicio Eléctrico, además, de diversas

resoluciones que establecen parámetros a cumplir por las distintas entidades, públicas, privadas y gubernamentales. Si bien, la Universidad Central de Venezuela, por ser una institución que se ubica dentro de la categoría de educación, se encuentra exenta de la reducción de al menos 20% de la demanda, en comparación al año 2009, como dicta la resolución n° 77, aplicable para instituciones públicas, el deber moral llama a, de igual modo, colaborar con esta causa de ahorro energético, siendo este un ejemplo a seguir por demás instituciones públicas. En base a esto, se estimó que en año 2009, la UCV, en el nivel de 4,8kV, presentaba una demanda de 9.471kVA y para el año 2015, de 6.773kVA, representando esto una disminución de 28,48%, por lo cual, puede afirmarse que la Universidad Central de Venezuela cumple con las regulaciones nacionales vigentes, relacionadas con el Uso Racional de la Energía Eléctrica. En esta reducción de la demanda, pudo influir infinidad de factores, como desconexión de cargas, disminución de la matrícula estudiantil y/o administrativa, concientización del uso de equipos como aires acondicionados y computadoras, modernización de equipos de laboratorio, entre otros.

No se obtuvo la información de la facturación del servicio eléctrico de la UCV para la red de 4,8kV, correspondiente al período 2002-2009. A razón de esto, se realizó una interpolación, denominada “Pronóstico local”, con los tres métodos de pronóstico de interés para este estudio.

Se compararon de los pronósticos o estimaciones, efectuados en el año 2002 y 2005 en informes técnicos, con el comportamiento real o facturado que presentó este sistema eléctrico, obteniendo, mediante el empleo de los criterios o indicadores de validación de pronósticos: Desviación Media Absoluta (MAD) y Error Cuadrático Medio (RMSE), que el pronóstico que resultó más cercano al comportamiento real, fue el generado con el Método de Descomposición según el Modelo Aditivo, para la demanda, lo cual confirma la validez de los resultados obtenidos en los informes previamente citados. Para energía eléctrica, el pronóstico más acertado fue el obtenido con el Método de Suavizado Exponencial de Holt-Winters, al presentar mayor número de veces un valor menor de MAD y

RMSE en comparación a los otros dos métodos de pronóstico de interés, dentro del período Octubre 2009 y Diciembre 2015.

Luego de realizar los nuevos pronósticos de demanda y de energía eléctrica para cada uno de los alimentadores de interés, bajo el escenario de crecimiento vegetativo y bajo el escenario de nuevas cargas, para corto (año 2017) y mediano plazo (año 2020), se pudo observar que mayormente el comportamiento resultó estacionario o de crecimiento, lo cual llevó a inferir que en los pronósticos obtenidos predominó la tendencia presente entre 1995 y 2009, sin embargo, se esperaba que en los pronósticos prevaleciera la tendencia mayormente decreciente, presentada entre 2009 y 2015.

Al tomar como período histórico sólo los datos correspondientes a 2009-2015, y modificando los horizontes de pronóstico, estableciendo como corto plazo, el año 2016 y mediano plazo, el año 2017, se generaron nuevos pronósticos, bajo ambos escenarios de estudio (vegetativo y nuevas cargas), en los cuales, se obtuvo el comportamiento decreciente esperado en los tres alimentadores de interés, con los métodos de descomposición, tanto aditivo como multiplicativo.

Se observó que los pronósticos realizados con el método de Suavizado Exponencial de Holt-Winters multiplicativo, resultaron con tendencia creciente, tanto demanda como para energía. Esto es consecuencia de que dicho método de pronóstico presenta implícitamente esta característica de tendencia, es decir, que sin importar el comportamiento del histórico, siempre se obtendrá un comportamiento estacional creciente utilizando este método, por ello, la selección de métodos de pronóstico con comportamiento aditivo o multiplicativo, como en el caso del método de Suavizado Exponencial Holt-Winters, está sujeta al comportamiento tendencial (creciente o no) de los valores históricos, con particular atención a los más recientes, afirmando así que el método de Suavizado Exponencial de Holt-Winters no es válido para emplearlo como herramienta de pronóstico, cuando el comportamiento de la serie de tiempo utilizada como histórico presenta tendencia predominantemente decreciente.

Se planteó considerar sólo los horizontes de corto y mediano plazo para este estudio, debido a que con los métodos de Descomposición según el Modelo Aditivo, según el Modelo Multiplicativo y el método de Suavizado Exponencial de Holt-Winters se obtienen pronósticos más precisos cuando se utilizan en estimaciones de corto y mediano plazo, es decir, que a medida que se desee pronosticar horizontes temporales mas lejanos, se obtendrá mayor margen de error.

Se determinaron los valores de demanda máxima, demanda mínima y demanda promedio para cada alimentador, resultando, para el alimentador A5-C1 una demanda máxima de 1.616kVA en Junio-98, una demanda mínima de 616kVA en Octubre-15 y una demanda promedio de 1.366kVA; para el alimentador A7, una demanda máxima de 1.683kVA en Noviembre-99, una demanda mínima de 444kVA en Diciembre-15 y una demanda promedio de 1.040kVA; y el alimentador A68, presenta una demanda máxima de 9.107kVA en Mayo-00, una demanda mínima de 2.552kVA en Septiembre-11 y una demanda promedio de 6.296kVA durante el período 1995-2015. También se estimó la demanda máxima coincidente del sistema, siendo igual a 11.743kVA en Marzo-98 y la demanda mínima coincidente, de 4.404kVA en Septiembre-11.

RECOMENDACIONES

Tras la realización de este estudio, se considera pertinente lo siguiente:

- Hacer seguimiento y prosecución del estudio de estimación de demanda y energía eléctrica en la red de 4,8kV de la Universidad Central de Venezuela.
- Procurar conseguir la información de la facturación del servicio eléctrico en el nivel de 4,8kV, correspondiente al período Febrero 2002 – Septiembre 2009, ya que en este lapso temporal ocurre el cambio de tendencia histórica creciente a decreciente.
- Implementar otros métodos de pronóstico y comparar estos resultados con los obtenidos empleando los métodos de Suavizado Exponencial de Holt-Winters multiplicativo, Descomposición según el Modelo Aditivo y Descomposición según el Modelo Multiplicativo.
- Realizar estudios de pronóstico de demanda y de energía eléctrica para la red de 12,47kV de la Universidad Central de Venezuela.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Ivonne López, "Actualización y análisis de la Red Primaria de Distribución Eléctrica de la UCV," Caracas, 1993.
- [2] Héctor Arcia, "Actualización, Análisis y Digitalización de la Red Eléctrica de Distribución Primaria en 4,8kV de la CUC de la UCV," Caracas, Tesis I2001 A 674 V.1, 2001.
- [3] Alexander Cepeda Q. y otros, "Estudio de Medición y estimación a mediano plazo de la demanda eléctrica de la CUC de la UCV. TOMO I," Departamento de Potencia, Escuela de Ingeniería Eléctrica "Melchor Centeno V.", Caracas, Producto Técnico Documento No. 010209-P-R0802, agosto de 2002.
- [4] César Yajure, "Rediseño de la Subestación Eléctrica de la CUC de la UCV. Trabajo Especial-Postgrado," Caracas, Tesis-I-2002, 2002.
- [5] Alexander Cepeda Q. y otros, "Pronóstico de la demanda y energía eléctrica consumida por la CUC, en el nivel de suministro de 4.800 Volt, 2001-2020," Caracas, P05EL007, 2005.
- [6] Alexander Cepeda Q. (2009) Plan de Recuperación de la Red Primaria de Suministro de Energía (Equipos Mayores – ver. 2.51).
- [7] Alexander Cepeda Q., "Programa de Recuperación de la Red Primaria de Suministro de Energía Eléctrica de la CUC-UCV (Fase I). Renglón: Transformadores de Potencia," Asesoría, Consejo de Preservación y Desarrollo (COPRED), Caracas, Informe Técnico 2012.
- [8] Julio C. Molina, "Diseño de la Subestación de Distribución de Energía Eléctrica en 12,47 kV (S/E UCV II) para la Ciudad Universitaria de Caracas," Potencia, Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la UCV, Caracas, Técnico 2008.
- [9] S Ramírez, *Redes de Distribución de Energía*. Universidad de Colombia, Colombia, 2004, 2004.

- [10] Colegio de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos Chimborazo - EERSA, Curso: Electricista Básico de Redes Eléctricas.
- [11] Energías Alternativas. [Online]. <http://energiasrh.blogspot.com/2015/03/un-medidor-electronico-de-energia-eem.html>
- [12] Universidad Central de Venezuela. Universidad Central de Venezuela. [Online]. <http://www.ucv.ve/organizacion/rectorado/direcciones/consejo-de-preservacion-y-desarrollo-copred/la-ciudad-universitaria-de-caracas-cuc.html>
- [13] LOSSE, *Ley Orgánica del Sistema y Servicio Eléctrico (LOSSE)*. Caracas, Venezuela, 2010.
- [14] Universidad de las Américas de Puebla. México. Universidad de las Américas de Puebla. [Online]. http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/mepi/nava_n_g/capitulo2.pdf
- [15] UREE, *Ley de Uso Racional y Eficiente de la Energía Eléctrica*. Caracas, 2011.
- [16] Steven Wheelwright and Spyros Makridakis, *FORECASTING: Methods and Applications.*: John Wiley & Sons, 1983, MAKRIDAKIS, Spyros y WHEELWRIGHT, Steven. *FORECASTING: Methods and Applications.*Second Edition. John Wiley & Sons. 1983.
- [17] John Hanke and Arthur Reitsch, *Pronósticos en los negocios*. México: Pearson Educación (Traducción), 2000.
- [18] Damodar Gujarati, *Econometría Básica.*: McGraw-Hill, 2003.
- [19] Bruce Bowerman and Richard y Koehler, Anne. O'Connell, *Pronósticos, series de tiempo y regresión: Un enfoque aplicado*. México: Internacional Thomson Editores, 2007.
- [20] C. Chatfield and M Yar, *Holt-Winters Forecasting: Some Practical Issues*, 37th ed., 1988.
- [21] Thomas Chermack, Lynham S., and W. Ruona, "A Review of Scenario Planning Literature," *Future Research Quarterly*, 2001.

[22] (CORPOELEC) Corporación Eléctrica Nacional S.A. Corporación Eléctrica Nacional S.A. [Online]. <http://corpoelec.gob.ve>

BIBLIOGRAFÍAS

Acevedo, Rubén. “Análisis de la evolución del marco legal del servicio eléctrico venezolano en el período 2000 al 2010”. Revista Gestión y Gerencia, Vol. 5, Nº 3. Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado", Venezuela, 2011.

Anderson, David; Sweeney, Dennis; Williams, Thomas. “Estadística para administración y economía”. 10ma edición. Editorial CENGAGE Learning. México, 2008.

Apuntes. “Estimación de la demanda: pronósticos. Gestión de la Producción I”. Universidad Simón Bolívar. Venezuela.

Apuntes. “Tema 5: Series Temporales”. Facultad de Ciencias de la Empresa. Universidad Politécnica de Cartagena. Colombia.

Calvo, Luis. “Comparación de demandas de diseño en sistemas eléctricos de distribución. Aplicación al área urbana de Quito”. Tesis de Grado. Escuela Politécnica Nacional. Ecuador, 1980.

Catalán, Cecilia. Series Temporales. Laboratorio de Estadística. Instituto de Economía y Geografía. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. España.

González, Christian. Guía para el Uso Racional y Eficiente de la Energía Eléctrica para el Sector Público. Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica. Venezuela, 2015.

Islas, Juan Francisco; Heras, Miguel. Curso de Econometría de Series de Tiempo. Facultad de Economía. Universidad Autónoma de México. México, 2012.

Mateos del Pino, Mainer. Previsión de ventas en una gran cadena de tiendas. Facultad de Matemáticas y Estadística. Universidad Politécnica de Cataluña. España, 2009.

Murillo, Joaquín; Trejos, Álvaro; Carvajal, Patricia. Estudio del pronóstico de la demanda de energía eléctrica, utilizando modelos de series de tiempo. Revista Scientia et Technica Año IX, No 23, Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia, 2003.

Torres, María de Jesús. Pronósticos, una herramienta clave para la planeación de las empresas. Instituto Técnico de Sonora, México.

Velázquez, Anislei; Nápoles, Julio; Rodríguez, Daniel; García Jaime. Pronóstico de consumo de energía eléctrica usando redes neuronales artificiales. TLATEMOANI, Revista Académica de Investigación. Universidad Autónoma de San Luis de Potosí, México, 2014.

<http://albazamora.blogspot.com/2010/04/carga-y-demanda-unidad-iii.html>

https://prezi.com/o51err0krp_u/modelo-de-holt-winters-aditivo/

ANEXOS