

## TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

# METODOLOGÍA PARA EL PRONÓSTICO DE LA DEMANDA ELECTRICA EN EL SISTEMA ELÉCTRICO DE DISTRIBUCIÓN DE CADAFE. PERÍODO: CORTO, MEDIANO Y LARGO PLAZO

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
por el Br. Uris V., Luis A.  
para optar al Título de  
Ingeniero Electricista

Caracas, 2009

## TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

### METODOLOGÍA PARA EL PRONÓSTICO DE LA DEMANDA ELECTRICA EN EL SISTEMA ELÉCTRICO DE DISTRIBUCIÓN DE CADAFE. PERÍODO: CORTO, MEDIANO Y LARGO PLAZO

Prof. Guía: Ing. Vanessa Carlson  
Tutor Industrial: Ing. Eduardo Jiménez

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
por el Br. Uris V., Luis A.  
para optar al Título de  
Ingeniero Electricista

Caracas, 2009

## CONSTANCIA DE APROBACIÓN

Caracas, 17 de diciembre de 2009

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Eléctrica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Bachiller Luis A. Uris V., titulado:

**“METODOLOGÍA PARA EL PRONÓSTICO DE LA DEMANDA ELÉCTRICA EN EL SISTEMA ELÉCTRICO DE DISTRIBUCIÓN DE CADAFE. PERIODO: CORTO, MEDIANO Y LARGO PLAZO”**

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Electricista en la mención de Potencia, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.



Prof. Alexis Rivero  
Jurado



Prof. Julio Molina  
Jurado



Prof. Vanessa Carlson  
Prof. Guía

## DEDICATORIA

Al Eterno, por darme la vida, salud y conocimiento. Por darme todo lo que amo y quiero en este mundo. Estás a mi lado día y noche, iluminando El Camino, protegiéndome de la oscuridad y dándome aliento para seguir.

A mi Padre y mi Madre, me vieron nacer y crecer, cuidaron de mi cuando era indefenso, y cuidan de mí, día a día, noche a noche. Me dieron todo. Son mis grandes amigos. Los amo mucho.

A Yanelly, mi pareja, mi compañera y mi amiga. La mujer que está a mi lado, en las buenas y en las malas, me apoya, me da amor y cariño. Con ella, mi vida cambió. La mujer que amo con todo mi corazón, caminando juntos pude lograr este sueño. Gracias Leina por estar conmigo Te Amo.

A mi Abuelo y mi Abuela, mis Hermanos, mis Tíos y mis Primos. Gracias al Eterno tengo una familia que llenaría de amor todo un planeta, sin los momentos que he vivido al lado de ellos, mi vida hubiese ido en otro rumbo.

*Salmo 51:1 “Ten piedad de mí, oh Dios, conforme a tu misericordia;  
Conforme a la multitud de tus piedades borra mis rebeliones”  
Salmo 51:10 “Crea en mí, oh Dios, un corazón limpio,  
Y renueva un espíritu recto dentro de mí”.*

## **AGRADECIMIENTO**

A mi Profesora Guía Ing. Vanessa Carlson, su perseverancia y constancia por mejorar, llevan a muchos estudiantes a perfeccionar sus conocimientos y actitudes ante las dificultades.

A todos aquellos Ingenieros y personal Administrativo de la Empresa de CADAPE, que prestaron su colaboración para hacer realidad este Trabajo Especial de Grado quiero agradecer en especial a mi tutor, Ing. Eduardo Jiménez, su labor incansable por la búsqueda de nuevos horizontes, su esfuerzo por abrir brechas y caminos para mejorar la empresa a favor del país.

A mis amigos que me acompañaron en este camino, muchos desde antes de ingresar a la carrera, otros dentro y fuera de ella.

**Luis A. Uris V**

**METODOLOGÍA PARA EL PRONÓSTICO DE LA DEMANDA ELÉCTRICA EN EL SISTEMA ELÉCTRICO DE DISTRIBUCIÓN DE CADAPE. PERÍODO: CORTO, MEDIANO Y LARGO PLAZO**

**Tutor Académico: Ing. Vanessa Carlson. Tutor Industrial: Ing. Eduardo Jiménez. Tesis. Caracas. U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Eléctrica. Ingeniero Electricista. Opción: Potencia. Institución: CADAPE. 2009. 127 hojas+ anexos**

**Palabras Claves:** Demanda Eléctrica, Pronósticos de Demanda Eléctrica, Métodos de Pronósticos, Localización de la demanda, Sistema de Información Geográfica

**Resumen.** Se presenta una propuesta de metodología para el pronóstico de la demanda eléctrica en el sistema eléctrico de distribución de CADAPE, basado en diversos métodos existentes en el campo de la predicción de demanda. La construcción de la metodología contempla la revisión documental de la evolución de los modelos de pronósticos, desde sus inicios hasta las tendencias actuales, como también los métodos utilizados por CADAPE. Para el área de planificación de sistemas de distribución, el pronóstico busca proyectar la demanda eléctrica con suficiente antelación a fin de expandir el sistema a tiempo sin afectar la calidad del servicio. La estructura de las metodologías de pronóstico en el campo de distribución debe tener dos (2) aspectos fundamentales: predicción de la magnitud y la localización geográfica de la demanda, los cuales permiten obtener información correcta para el proceso de planificación de distribución. Los primeros modelos de pronósticos se enfocaron en prever únicamente la magnitud de la demanda, actualmente tales modelos incluyen también la localización. Entre las metodologías que incluyen información de la ubicación se tienen los métodos de uso de la tierra. La localización de la demanda depende del modelo urbanístico que se utilice y para ello la introducción de herramientas como los Sistemas de Información Geográfica y Procesos de Jerarquía Analítica junto a la Evaluación de Multicriterio, hacen que sea dinámico y objetivo el proceso de ubicar y visualizar los modelos urbanísticos de la región. El trabajo concluye con un estudio de pronóstico a una región de CADAPE, para poner en práctica la metodología propuesta, con el objeto de visualizar la fortaleza de construir métodos que empleen los aspectos mencionados anteriormente (magnitud y localización), a fin de cumplir con el primer paso del proceso de planificación de los sistema eléctricos de distribución.

## ÍNDICE GENERAL

<b>CONSTANCIA DE APROBACIÓN.....</b>	<b>III</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>IV</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>V</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>VI</b>
<b>ÍNDICE GENERAL.....</b>	<b>VII</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>XI</b>
<b>ÍNDICE DE GRÁFICOS.....</b>	<b>XII</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>XIV</b>
<b>ABREVIATURAS.....</b>	<b>XV</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>CAPITULO I</b>	
<b>1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y OBJETIVOS</b>	
1.1 Planteamiento del Problema.....	3
1.2 Objetivo General.....	4
1.3 Objetivos Específicos.....	4
1.4 Justificación del Problema.....	5
1.5 Antecedentes de la empresa.....	5
1.6 Visión.....	6
1.7 Misión.....	7
1.8 Organización empresarial.....	7
<b>CAPITULO II</b>	
<b>2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE CADAFE</b>	
2.1 Conceptos básicos sobre Sistema de Distribución.....	8
2.1.1 Sistema Eléctrico de Potencia.....	8
2.1.2 Demanda.....	8
2.1.3 Predicción de demanda.....	8
2.1.4 Demanda Coincidente.....	9
2.1.6 Demanda pronosticada.....	9

2.1.7 Factor de Carga.....	9
2.1.8 Factor de coincidencia.....	9
2.1.9 Tasa de crecimiento promedio .....	10
2.2 Ordenamiento Territorial por Sistemas de CADAPE.....	10
2.3 Descripción de los Sistemas de CADAPE.....	12
2.3.1 Sistema Eléctrico de Generación y Transmisión.....	12
2.3.2 Sistema Eléctrico de Distribución.....	15
2.4 Planificación en sistemas de distribución.....	15
2.4.1 Tipos de planificación.....	16

### **CAPITULO III**

#### **3 MÉTODO DE PRONÓSTICO DE DEMANDA**

3.1 Antecedentes .....	17
3.2 Pronóstico de demanda en sistemas de distribución.....	18
3.2.1 Factores que influyen en el pronóstico de la demanda de energía.....	19
3.2.2 Clasificación de los métodos de pronóstico de demanda.....	21
3.3 Diversos métodos tendenciales monovariantes existentes.....	23
3.3.1 Métodos de series de tiempo.....	23
3.3.1.1 Promedio simple.....	23
3.3.1.2 Media Móvil Simple y Media Móvil Ponderada.....	24
3.4 Diversos métodos tendenciales multivariantes existentes.....	26
3.4.1 Método de Agrupamiento de Patrones Similares.....	27
3.4.2 Métodos de Polos Urbanos.....	29
3.5 Diversos métodos de simulación existentes.....	30
3.5.1 Métodos de Uso de la Tierra.....	31
3.5.2 Métodos por Sistemas Expertos .....	36
3.5.3 Métodos de Lógica Difusa.....	36
3.6 Diversos métodos híbridos existentes.....	38
3.6.1 Pronóstico Espacial de la Carga mediante Sistema de Información Geográfica.....	38
3.7 Comparación entre los diferentes métodos utilizados para el pronóstico de demanda y planificación de la red primaria de distribución.....	41
3.8 Metodologías implementadas en CADAPE.....	45
3.8.1 Modelo de Predicción de Demanda del SAD.....	45
3.8.2 Método de Tendencia Histórica e Inferencia en Áreas Vacantes.....	46
3.8.3 Programa de análisis de redes de distribución (PADEE).....	54
3.9 Conclusiones sobre los métodos de pronósticos.....	57

### **CAPITULO IV**

#### **4 PROPUESTA DE METODOLOGÍA PARA EL PRONOSTICO DE DEMANDA EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE CADAPE**

4.1 Introducción.....	60
-----------------------	----



4.2 Construcción de la Metodología.....	60
4.3 Proceso de Pronóstico.....	62
4.3.1 Etapa 0: Escenario Global.....	62
4.3.1.1 Pronóstico general de la región.....	62
4.4 Etapa uno (1): Datos requeridos.....	64
4.5 Etapa dos (2): Procesamiento de datos.....	64
4.5.1 Cálculos en Variables Eléctricas.....	65
4.5.1.1 Depuración de los datos históricos.....	65
4.5.1.2 Procesamiento de los datos obtenidos.....	65
4.5.1.3 Demanda de Saturación.....	67
4.5.2 Cálculos en variable urbanísticas-espaciales.....	70
4.5.2.1 Ponderación y normalización de información espacial de la región.....	71
4.5.3 Cálculo y Estimación futura mediante la función matemática que modela la curva tipo Sigmoidal o Curva “S” .....	71
4.5.4 Construcción del modelo urbanístico: Proceso de Jerarquía Analítica ..	72
4.6 Etapa tres (3): Aplicación de los métodos de pronóstico.....	73
4.6.1 Tendencia Histórica con inferencia en Áreas Vacantes (Procedimiento tradicional por demanda de saturación).....	75
4.6.2 Tendencia Histórica con Inferencia en áreas vacantes con distancia de polos urbanos.....	75
4.6.3 Tendencia Histórica con inferencia en Áreas Vacantes con Modelo Urbanístico.....	76
4.7 Etapa cuatro (4): Resultados finales.....	79
4.7.1 Inclusión de proyectos especiales.....	79
4.7.2 Resultados finales.....	79

## **CAPITULO V**

### **5 APLICACIÓN DE LA PROPUESTA DE METODOLOGIA EN UNA REGIÓN DE CADAFE**

5.1 Proceso de Pronóstico.....	80
5.2 Etapa 0: Escenario Global.....	80
5.2.1 Pronóstico general de la región.....	81
5.3 Etapa uno (1): Datos requeridos.....	83
5.3.1 Variables Eléctricas.....	83
5.3.2 Variables Urbanísticas.....	83
5.4 Etapa dos (2): Procesamiento de Datos.....	85
5.4.1 Cálculos en Variables Eléctricas.....	85
5.4.1.1 Depuración de los datos históricos.....	85
5.4.1.2 Procesamiento de los datos obtenidos.....	87
5.4.1.3 Demanda de Saturación.....	88
5.4.2 Cálculos en variable urbanísticas-espaciales.....	92
5.4.2.1 Ponderación y normalización de información espacial de la región.....	92
5.4.3 Cálculo y Estimación futura mediante la función matemática que modela la curva tipo Sigmoidal o Curva “S” .....	92

5.4.4 Construcción del modelo urbanístico: Proceso de Jerarquía Analítica...	92
5.5 Etapa tres (3): Aplicación de los métodos de pronóstico.....	93
5.6 Etapa cuatro (4): Resultados finales.....	98
5.6.1 Inclusión de proyectos especiales.....	98
5.6.2 Resultados finales.....	98
5.7 Análisis de la aplicación de la metodología propuesta.....	112
5.8 Comparación entre los procedimientos aplicados en la metodología propuesta.....	115
5.9 Aplicación de los pronósticos en el área de planificación.....	116
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>117</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>119</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>120</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>123</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>127</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 2.1 Capacidad Nominal del Sistema CADAPE.....	12
Tabla N° 2.2 Resumen del Sistema de Generación de CADAPE.....	13
Tabla N° 2.3 Resumen del Sistema de Transmisión de CADAPE .....	14
Tabla N° 2.4 Resumen del Sistema de Distribución de CADAPE.....	15
Tabla N° 3.1 Criterios usados, expresión lingüística, función de permanencia en un caso de modelación de parámetro urbanístico.....	38
Tabla N° 3.2 Comparación entre metodologías existentes para el pronósticos de demanda de potencia y energía.....	42
Tabla N° 3.3 Opciones de PADEE para el pronóstico de demanda.....	55
Tabla N° 3.4 Metodologías utilizadas por CADAPE en el pronóstico de demanda.....	56
Tabla N° 3.5 Disponibilidad y requerimiento de datos por método de pronóstico.....	57
Tabla N° 3.6 Plazos de pronósticos de los métodos.....	58
Tabla N° 3.7 Evaluación de los distintos métodos de pronóstico.....	59
Tabla N°4.1. Tabulador para comparar aspectos cualitativos.....	72
Tabla N° 4.2 Prioridad de asignación según zonificación.....	78
Tabla N° 5.1 División de la superficie del área bajo estudio.....	81
Tabla N° 5.2 Registro Históricos por Subestación y Transformador, Demandas Máximas No coincidentes.....	86
Tabla N° 5.3 Registro Histórico de Circuitos, Demanda Máxima No Coincidente.....	87
Tabla N° 5.4-1 Densidad de carga (kVA/Ha) por zonificación y uso de parcelas –La Grita-Edo. Táchira. Estudio de estimación de demanda año 1982	89
Tabla N° 5.4-2 Densidad de carga (kVA/Ha) por zonificación y uso de parcelas –Colon-Edo. Táchira. Estudio de estimación de demanda año 1982	89
Tabla N° 5.4-3 Densidad de carga en (kVA/Ha) por zonificación utilizada por la C.A EDC-por similitud según su densidad a la zonificación de CADAPE.	90
Tabla N° 5.4-4 Densidad de carga por categoría [5].....	90
Tabla N° 5.4-5 Densidad de carga en (kVA/Ha) por zonificación utilizada por la C.A EDC-por similitud según su densidad a la zonificación de CADAPE....	91
Tabla N° 5.4-6 Densidad de carga por zonificación de CADAPE.....	91
Tabla N° 5.5. Matriz producto del Proceso de Jerarquía Analítica.....	93
Tabla N° 5.6 Pronósticos por circuito bajo el método A.....	104
Tabla N° 5.7 Pronósticos por circuito bajo el método B.....	105
Tabla N° 5.8 Pronósticos por circuito bajo el método C.....	106

## ÍNDICES DE GRÁFICOS

Gráfica N° 5.1 Pronóstico global en la región bajo estudio, el sur de Anzoátegui.....	82
Gráfica N° 5.2 Tasa de crecimiento promedio del área bajo estudio, sur de Anzoátegui.....	82
Gráfica N° 5.3 Zonificación del área bajo estudio.....	84
Gráfica N° 5.4 Ordenamiento de las cuadrículas por subestaciones.....	84
Gráfica N° 5.5 Registro histórico de los transformadores de las S/E El Tigre II y S/E El Tigre III.....	85
Gráfica N° 5.6 Registro histórico de los transformadores de las S/E El Esfuerzo y S/E Guanipa.....	86
Gráfica N° 5.7 Distribución Espacial de carga para el año 2009.....	88
Gráfica N° 5.8 Diferencial existente entre el pronóstico no coincidente del área bajo estudio y el comportamiento total de las microáreas.....	94
Gráfica N° 5.9 Distribución espacial de la demanda para el año 2019 método A	95
Gráfica N° 5.10 Disposición espacial de los polos de desarrollo y la influencia según la distancia.....	96
Gráfica N° 5.11 Distribución espacial de la demanda en el año 2019. Método B y Método C.....	97
Gráfica N° 5.12 Comparación de la distribución espacial de la demanda para el año 2009 y el pronóstico para 2019.....	99
Gráfica N° 5.13 Visualización del pronóstico para 2019 y la distribución por zonificación.....	100
Gráfica N° 5.14 Pronóstico de demanda de la cuadrícula cuya posición coordenadas bajo la planimetría utilizada es BR, BI, A.....	101
Gráfica N° 5.15 Tasa de crecimiento promedio de la Cuadrícula cuya posición coordenadas bajo la planimetría utilizada es BR, BI,A.....	101
Gráfica N° 5.16 .Pronóstico de demanda de la cuadrícula cuya posición coordenadas bajo la planimetría utilizada es BR, BI, D.....	102
Gráfica N° 5.17 Tasa de crecimiento promedio de la cuadrícula cuya posición coordenadas bajo la planimetría utilizada es BR, BI, D.....	103
Gráfica N° 5.18 Tasa de crecimiento promedio respecto año 2009 de los Circuitos del Tr 1: Av.Peñalver, 1era Carrera, Revenga, Inter. Norte- S/E El Tigre II.....	108
Gráfica N° 5.19 Tasa de crecimiento promedio respecto al año 2009 de los Circuitos del Tr 2: Inter. Sur, Matadero, Ciudad Tablita, Calle 21 - S/E El Tigre II.....	108
Gráfica N° 5.20 Tasa de crecimiento promedio respecto al año 2009 de los Circuitos asociados a Tr 1: Las Delicias, Flint, El Canal, Alameda- S/E El tigre III.....	109
Gráfica N° 5.21 Tasa de crecimiento promedio respecto al año 2009 de los Circuitos asociados a Tr 2: Las Brisas, Guarepera, Villa Rosa S/E El tigre III	109
Gráfica N° 5.22 Tasa de crecimiento promedio respecto al año 2009 de los	

Circuitos asociados a Tr 1: Vista al Sol, Basquero- S/E El Esfuerzo.....	110
Gráfica N° 5.23 Tasa de crecimiento promedio respecto al año 2009 de los	
Circuitos asociados a Tr 2: California S/E El Esfuerzo.....	110
Gráfica N° 5.24 Tasa de crecimiento promedio respecto al año 2009 de los	
Circuitos asociados a Tr 1: Salida 1, Salida 3, Salida 5- S/E Guanipa.....	111
Gráfica N° 5.25 Subestación El Tigre II.....	113
Gráfica N° 5.26 Subestación Guanipa.....	113
Gráfica N° 5.27 Subestación El Tigre III.....	114
Gráfica N° 5.28 Subestación El Esfuerzo.....	114

## ÍNDICES DE FIGURAS

Figura N° 1.1. Organigrama de CADAPE.....	7
Figura N° 2.1. Ciclo de Carga Eléctrica.....	8
Figura N° 2.2. Distribución definitiva de las regiones de competencia CADAPE.....	11
Figura N° 3.1. Factores que influyen en el pronóstico de la demanda.....	20
Figura N° 3.2. Clasificación de los métodos de pronóstico según su tipo de estructura.....	23
Figura N° 3.3. Gráfica resultado del proceso de Agrupamiento de Patrones Similares. [7].....	28
Figura N° 3.4 Radio de influencia de un polo de desarrollo. [5].....	30
Figura N° 3.5 Estructura de los métodos de simulación.....	31
Figura N° 3.6. Flujograma característico de los métodos de uso de la tierra. [1]..	35
Figura N° 3.7. Ejemplificación de las diferencias entre la visión de lógica difusa y la lógica clásica. [18].....	37
Figura N° 3.8 Representación típica de un SIG.....	39
Figura N° 3.9 Flujograma de Modelo de Predicción de Demanda del SAD.....	46
Figura N° 3.10 Comportamiento real de la carga por microárea.....	48
Figura N°. 3.11 Flujograma del método de Tendencia Histórica e Inferencia en Áreas Vacantes.....	49
Figura N° 3.12 Procedimiento del Método de tendencia histórica e inferencia en aéreas vacantes.....	50
Figura N° 4.1 Metodología propuesta.....	63
Figura N° 4.2.Ejemplo demostrativo de la inferencia del tipo de uso de la tierra según plano catastral y el plano de la red eléctrica.....	70
Figura N° 4.3 Composición de la demanda de una cuadrícula en un período T...	73
Figura N° 4.4 Escenario previo al aplicar los métodos de inferencias en áreas vacantes.....	74
Figura N° 4.5. Procedimiento para calcular el valor de asignación a las cuadrículas.....	77
Figura N° 5.1 Replanteamiento de las subestaciones, actual y nuevas, según los centros de carga.....	116

## **ABREVIATURAS**

APS: Agrupamientos de Patrones Similares

ARIMA: Proceso autorregresivo integrado media móvil.

ARMA: Proceso autorregresivo y de media móvil.

CADAFE: Compañía Anónima de Administración y Fomento Eléctrico.

CORPOELEC: Corporación Eléctrica Nacional.

CNG: Centro Nacional de Gestión.

EDELCA: Electrificación del Caroní, C.A.

ELUFANT: Electric Utility Futures Analysis Tool

DEPESE: Dirección Ejecutiva de Planificación de Expansión del Sistema Eléctricos

PADEE: Programa de Análisis de Redes de Distribución

PARP: Programa de Análisis de Sistemas de Redes Primarias

PIB: Producto Interno Bruto

PPDZO: Predicción de demanda por zonas

SAD: Sistema de Administración de Distribución

SEN: Sistema Eléctrico Nacional.

SIG: Sistema de Información Geográfica

TOTCAR: Programa de Totalización de Cargar

TOTENE: Programa de Totalización de Energía

## INTRODUCCIÓN

Los Sistemas Eléctricos de Distribución son la infraestructura capaz de llevar la energía eléctrica hacia los centros de consumo, el crecimiento planificado de los sistemas de distribución, garantiza al usuario la continuidad y calidad del servicio público, así como la optimización de los recursos financieros y el talento humano dentro de la empresa responsable de proporcionar dicho servicio. De esta manera es posible el desarrollo sustentable, en cuanto al aprovechamiento y fomento del uso de la energía eléctrica.

El proceso de planificación tiene dos (2) actividades fundamentales, la primera se trata del Análisis del Sistema Presente, cuya actividad se deriva de los procesos operativos actuales, tales como mantenimiento y correctivos de fallas. La segunda actividad, Pronóstico de Demanda, se utiliza principalmente para la planificación a Mediano Plazo, con el propósito de establecer esquemas futuros de subestaciones. Junto con el análisis del sistema actual, el pronóstico de demanda y la planificación a mediano plazo, se construye la planificación a corto plazo.

El pronóstico de demanda tiene como objetivo fundamental ubicar la magnitud y localización geográfica, tanto presente, como futura, para estudiar las diferentes alternativas respecto al mejoramiento y ampliación del sistema, garantizando un servicio público de calidad al país.

Este trabajo está organizado en cinco capítulos enunciados de la siguiente manera:

El CAPITULO I, comprende el planteamiento del problema, el objetivo general, los objetivos específicos y la justificación del problema. La información institucional, antecedentes históricos de CADAPE, la misión, visión y la estructura organizacional.



El CAPÍTULO II, presenta aspectos teóricos sobre el pronóstico de demanda. Y la descripción del sistema eléctrico de CADAFE, los sistemas de generación, transmisión y distribución bajo su competencia.

El CAPÍTULO III, se describen los diferentes métodos en el campo de pronóstico de la demanda eléctrica, y aquellos utilizados por CADAFE en el pasado.

En el CAPITULO IV, se establece un procedimiento metodológico para elaborar el pronóstico de la demanda eléctrica en los sistemas de distribución.

El CAPÍTULO V, muestra la implementación y el análisis del procedimiento metodológico propuesto, en el presente estudio, aplicado en una de las Regiones atendida CADAFE.

Finalmente se plantean las conclusiones y recomendaciones generales, extraídas del análisis del conjunto de actividades desarrolladas y se incluyen los anexos necesarios para la completa comprensión del trabajo realizado.

## CAPITULO I

### 1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y OBJETIVOS

#### 1.1 Planteamiento del Problema

La Compañía Anónima De Administración y Fomento Eléctrico, CADAFE, durante la década de los años 70, carecía de la planificación articulada de los sistemas de distribución, la misma se realizaba mediante esfuerzos aislados para concebir un plan de expansión en áreas que para el momento presentaban expectativas de crecimiento, durante esta década. Los primeros esfuerzos para orientar la ejecución de los estudios de planificación a nivel nacional se inician con la realización de los Modelos Normativos de Distribución y la implantación de la metodología denominada Sistema de Administración de Distribución (SAD).

En la década de los años 80, se extendió la aplicación de la metodología SAD, con la conclusión de 15 estudios de planificación en igual número de zonas de CADAFE, a partir de ese momento se realizan iniciativas a los fines de consolidar la ejecución de los estudios de planificación a nivel nacional, con actividades y funciones para sustentar el proceso de planificación a través del tiempo, en tal sentido, se diseñaron programas de computación con aplicaciones específicas y se investigaron nuevas metodologías de planificación, además, se establecieron criterios y políticas en aquellas áreas donde no existían, y se normalizaron valores limitantes de la calidad del servicio a prestar por el sistema de distribución.

A partir de Noviembre del 2007, se le asigna a la Dirección Ejecutiva de Planificación de Expansión del Sistema Eléctricos (DEPESE), a través de la Gerencia de Planificación de 115 kV/Distribución, la dirección y el seguimiento del Plan de Expansión del Sistema de Subtransmisión y Distribución (115, 34,5 y 13,8 kV) para corto, mediano y largo plazo, definiendo la infraestructura y equipamiento necesarios

para la distribución de energía eléctrica. En el análisis realizado se ha determinado la falta de uniformidad en la metodología utilizada para realizar el pronóstico de la Demanda Eléctrica en Sistemas Eléctricos de Distribución para corto, mediano y largo plazo y su aplicación en las diferentes Regiones de CADAPE.

## **1.2 Objetivo General**

Estudiar las metodologías utilizadas para realizar los pronósticos de la Demanda Eléctrica en Sistemas Eléctricos de Distribución para el corto, mediano y largo plazo y su aplicación en la diferentes Regiones de CADAPE.

## **1.3 Objetivos Específicos**

1. Recopilar las características del Sistema Eléctrico de CADAPE
  - a) Sistema Eléctrico de Generación y Transmisión
  - b) Sistema Eléctrico de Subtransmisión y Distribución.
2. Estudiar las diferentes metodologías utilizadas por CADAPE para realizar el pronóstico de la demanda eléctrica en sistemas eléctricos de distribución
3. Estudiar las diferentes metodologías existentes en el campo del pronóstico de la demanda eléctrica en sistemas de distribución
4. Establecer el procedimiento metodológico adecuado para la implementación de las metodologías para realizar el pronóstico de la demanda eléctrica en sistemas eléctricos de distribución y su aplicabilidad en las distintas regiones de CADAPE.
5. Implementar el procedimiento metodológico para realizar el pronóstico de la demanda eléctrica en sistemas eléctricos de distribución en una (1) Región de CADAPE.
6. Evaluar los procedimientos aplicados hasta el presente y el procedimiento implantado.

#### **1.4 Justificación del problema**

La planificación de los Sistemas Eléctricos de Distribución en los últimos años ha cobrado mayor importancia, debido fundamentalmente al crecimiento en los niveles de inversión, el cual representa, aproximadamente, del 40% de la inversión total de los Sistemas de Potencia, esto refleja la necesidad del conocimiento de la carga que debe ser entregada en un punto dado, así como la predicción de la demanda que será requerida al sistema de potencia a lo largo del tiempo, dando importancia a la racionalización de las inversiones de acuerdo a un plan estrechamente ajustado a variaciones de la demanda.

A través del conocimiento de la evolución de la carga, es posible mantener la operación continua de los sistemas de distribución, tomando acciones correctivas inmediatas que garantizan la continuidad, flexibilidad y confiabilidad del servicio de energía eléctrica, por otro lado, la predicción de la demanda permite determinar los planes de expansión del sistema eléctrico de distribución a corto, mediano y largo plazo, así como las inversiones requeridas.

La predicción de demanda requiere del conocimiento de la magnitud y localización geográfica actual y futura con el detalle suficiente para estudiar alternativas de aumentos de capacidad, localización e interconexión, de manera tal, que la calidad y precisión de la predicción de demanda influye de manera determinante y definitiva en el equipamiento futuro requerido.

#### **1.5 Antecedentes de la empresa**

La Compañía Anónima De Administración y Fomento Eléctrico (CADAFE), fue creada en 1958 con el fin de optimizar la administración y la operación de las empresas de electricidad dependientes del Estado Venezolano que estaban repartidas en todo el país.

Desde ese momento, desarrolló una infraestructura eléctrica en Generación, Transmisión y Distribución y logró un alto grado de electrificación en Venezuela, lo cual le permite atender, hoy en día a más del 80 por ciento del territorio nacional.

Gracias a su presencia a nivel nacional, se ha hecho posible el funcionamiento de empresas vitales y estratégicas para el país, como la industria siderúrgica, metalmecánica, del aluminio, manufacturera, alimentos, petroquímica y telecomunicaciones, entre otras.

Además, presta un servicio público, ya que suministra electricidad a hogares, hospitales, centros de enseñanzas, sistemas de protección, seguridad ciudadana, investigaciones científicas, entretenimiento y alumbrado público, garantizando la calidad de vida de los venezolanos. Prácticamente está presente en todas las actividades del ser humano.

El 31 de Julio de 2007 mediante el Decreto Presidencial N° 5.330 se crea la Corporación Eléctrica Nacional (CORPOELEC), encargada de las actividades de generación, transmisión, distribución y comercialización de potencia y energía eléctrica, la corporación tiene plazo hasta el 2010, para fusionar a CADAFE junto a todas las empresas del sector eléctrico en una sola persona jurídica.

## **1.6 Visión**

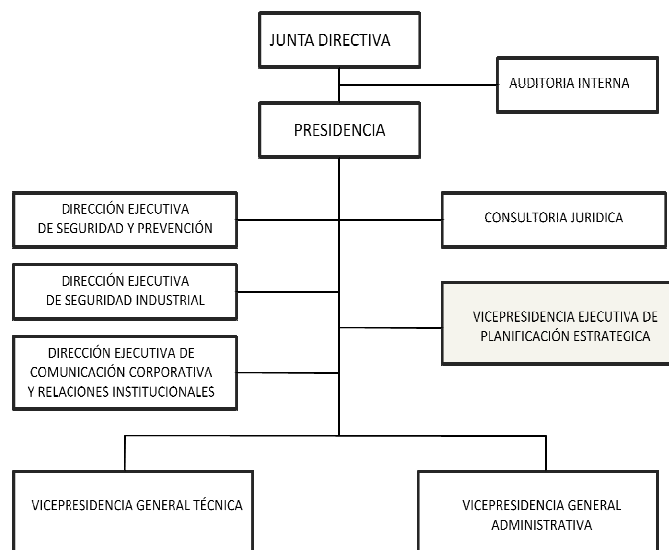
“Ser una empresa estratégica posicionada en la prestación del servicio de energía eléctrica, con tecnología de punta y un personal calificado, comprometido con el desarrollo económico y social del país, ofreciendo servicios de calidad a sus usuarios, con una gestión transparente y una sostenibilidad financiera”.<sup>[1]</sup>

## 1.7 Misión

“Prestar un servicio público de energía eléctrica de calidad, con un personal comprometido en la gestión productiva, para satisfacer necesidades de los usuarios, hacer uso eficiente de los recursos, en una Gestión que garantice ingresos suficientes, necesarios a la sostenibilidad financiera de la organización y en concordancia con un Proyecto País expresado en políticas sociales y de desarrollo”.<sup>[1]</sup>

## 1.8 Organización empresarial

Figura N° 1.1. Organigrama de CADAFE



El presente trabajo se realiza bajo la Vicepresidencia Ejecutiva de Planificación Estratégica en la Dirección Ejecutiva de Planificación de Expansión del Sistema Eléctrico en la Gerencia de Planificación 115kV Distribución

<sup>1</sup> [www.cadafe.com.ve](http://www.cadafe.com.ve)

## CAPITULO II

### 2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE CADAFE

#### 2.1 Conceptos básicos sobre Sistemas de Distribución

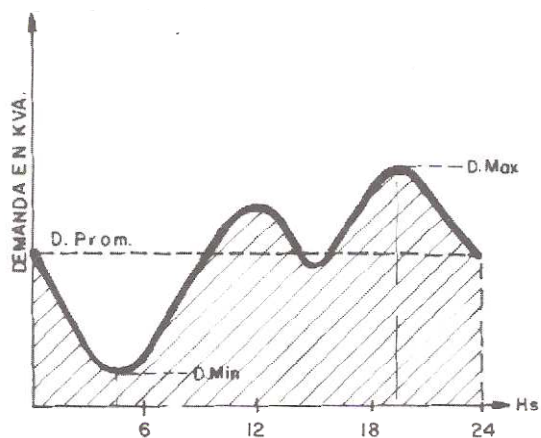
##### 2.1.1 Sistema Eléctrico de Potencia

Un sistema eléctrico de potencia, es el conjunto de centros de generación eléctrica, líneas de transmisión interconectadas mediante centros de transformación (subestaciones) y redes de distribución eléctrica.

##### 2.1.2 Demanda

Es la potencia en kVA o kW que se utiliza durante cierto tiempo. Se acostumbra a representar la demanda diaria en gráficos, tal como se muestra en la figura N° 2.1, donde se puede apreciar en un periodo, igual a 24 horas el ciclo de carga. Se puede observar el valor de la demanda máxima (Dmax), la mínima (Dmin) y la demanda promedio (Dprom). [20]

**Figura N°2.1. Ciclo de Carga Eléctrica**



Demanda Máxima, se refiere al requerimiento máximo de potencia neta de un sistema, de un área, o de una subestación. La máxima demanda es expresada en unidades apropiadas del tipo de carga a ser considerada tal como, kilovatios, kilovolts ampers, kilovolts ampers reactivos, u otras unidades aplicables. [21].

### 2.1.3 Predicción de Demanda

Consiste en la determinación de la magnitud de la demanda en el futuro, generalmente con predicciones que varían entre 8 y 20 años según el método utilizado. [23]

### 2.1.4 Demanda Coincidente

Es la suma de la demanda de dos o más cargas, en el mismo instante de tiempo. En otras palabras, es la suma de contribución de las demandas individuales, para la demanda diversificada. Demanda pico coincidente, es el máximo valor alcanzado por la demanda conjunta de una subestación, región o sistema. [21]

### 2.1.5 Demanda pronosticada

Máxima potencia que se espera sea requerida por un área, sistema o porción de estos, en un tiempo determinado, en el futuro. [21]

### 2.1.6 Factor de Carga

Es una relación para los tipos de cargas no uniformes, como sucede en la mayoría de los casos en la práctica, durante cierto tiempo. Siempre será menor que la unidad ( $FC \leq 1$ ). [20]

$$F_C = \left( \frac{\text{Energía consumida}[Wh]}{N^{\circ} \text{horas} * \text{Demanda}_{Max}[W]} \right) = \left( \frac{P_{promedio}}{P_{maxima}} \right) \quad (\text{Ec.2.1})$$



### 2.1.7 Factor de coincidencia

Es la relación entre la demanda total del sistema eléctrico o de un grupo de consumidores, y la suma de las demandas máximas individuales de cada uno de los consumidores. [21]

$$F_{COINC} = \left[ \frac{\text{Demanda máx del sistema [MW]}}{\sum \text{Demanda máx sub/ sistema [MW]}} \right] \quad (\text{Ec.2.2})$$

### 2.1.8 Tasa de crecimiento promedio

Se define como, el indicativo de crecimiento promedio ocurrido en el período de análisis a considerar, en otras palabras cuanto crece en promedio la serie durante cada uno de los períodos considerados. Sí la tasa ofrece un reporte negativo, esto es indicativo de una caída en el nivel de la serie. La expresión a considerar para el cálculo se expresa a continuación:

$$T_{tcp} = \left( \frac{Y_n}{Y_o} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \quad (\text{Ec 2.3})$$

Donde:

: Tasa de crecimiento promedio

$Y_n$ : Corresponde a la cantidad del último período de de estudio;

$Y_o$ : Se considera la cantidad correspondiente al primer período considerado en estudio;

$n$ : es el número de años que van del primero al último período. [22]

## 2.2 Ordenamiento Territorial por Sistemas de CADAFE

El sistema CADAFE se divide en tres sistemas, Oriente, Centro y Occidente y que a su vez están conformadas por regiones. Con la creación de CORPOELEC se reunificaron todas las empresas del sector eléctrico y se crearon nueve regiones constituidas por estados, para atender el servicio en todo el país, bajo un esquema de

mayor flexibilidad operativa, desconcentración de su funcionamiento operativo y un control más eficiente. Las regiones establecidas sobre el territorio nacional están definidas de la siguiente manera:

- a) Región 1: Anzoátegui y Sucre
- b) Región 2: Delta Amacuro y Monagas
- c) Región 3: Apure y Guárico
- d) Región 4: Aragua y Miranda
- e) Región 5: Cojedes, Portuguesa y Barinas
- f) Región 6: Carabobo y Yaracuy
- g) Región 7: Mérida, Táchira y Trujillo
- h) Región 8: Bolívar y Amazonas
- i) Región 9: Falcón

Actualmente, debido la nueva reorganización de CORPOELEC, las regiones uno (1), dos (2), tres (3), cinco (5) y siete (7), quedan bajo responsabilidad operativa de CADAFE.

**Figura N° 2.2. Distribución definitiva de las regiones de competencia CADAFE**



## 2.3 Descripción de los Sistemas de CADAFE

### 2.3.1 Sistema Eléctrico de Generación y Transmisión

El sistema de generación que está bajo competencia de CADAFE posee una capacidad nominal 4.479,65 MW, conformado por 27 plantas. En la Tabla N° 2.1 se presenta la capacidad nominal por sistemas CADAFE actualizado en Mayo del 2009 según Boletín Mensual del CNG.

**Tabla N°2.1. Capacidad Nominal del Sistema CADAFE**

<b>Sistema</b>	<b>Capacidad Nominal (MW)</b>
OCCIDENTE	<b>1167,4</b>
CENTRO	<b>2740,25</b>
ORIENTE	<b>587,00</b>
<b>TOTAL</b>	<b>4.479,65</b>

El sistema CADAFE Occidente cuenta con Capacidad Nominal de 1167,4 MW, este sistema destaca la presencia de tres tipos de generación Turbo-gas, Distribuida e Hidroeléctrica, en la que destacan las plantas de generación hidroeléctrica son: José A. Páez, Leonardo Ruiz Pineda, Masparro y Juan A. Rodríguez.

El Sistema CADAFE Oriente consta de 17 plantas de generación de las cuales 14 de ellas son del tipo distribuida, aportan una Capacidad Nominal al sistema de 227 MW y tres plantas del tipo Turbo Gas, aportan una Capacidad Nominal de 360 MW.

El Sistema CADAFE Centro generan al sistema CADAFE una capacidad Nominal de 2.740,25 MW, destacan Planta Centro, Coro, Dabajuro, Pedro Camejo,

Punto Fijo y San Fernando, también cuenta con plantas de generación distribuida como Guanapa I y II

En la Tabla N° 2.2, muestra un resumen del sistema de generación de CADAFE (Occidente, Centro y Oriente):

**Tabla N°2.2. Resumen del Sistema de Generación de CADAFE**

Sistema	Planta	Capacidad Nominal (MW)	Tipo	Und.	Tipo de Combustibles
Occidente	José Antonio Páez	240	Hidroeléctrica	4	-
	Juan A. Rodríguez	80	Hidroeléctrica	2	-
	Leonardo Ruiz Pineda	300	Hidroeléctrica	2	-
	Masparro	25	Hidroeléctrica	2	-
	Guanapa I y II	30	Distribuida	2	Gas-Oil
	Coloncito	15	Distribuida	1	Gas-Oil
	Caño Zancudo	15	Distribuida	1	Gas-Oil
	Punto Fijo II	15	Distribuida	1	Gas-Oil
	La Fría I y II	30	Distribuida	2	Gas-Oil
	Ureña	10	Distribuida	1	Gas-Oil
	Termobarracas II	150	Turbo Gas	1	Gas
Planta Táchira		217,40	Turbo Gas	8	Gas, gas-Oil
		40	Distribuida		
Centro	Planta Centro	2000	Turbo Vapor	5	Gas/ Fuel-Oil
	Coro	71.25	Turbo Gas	4	Gas
	Dabajuro	20	Turbo Gas	1	Gas-Oil
	Pedro Camejo	300	Turbo Gas	2	Gas
	Camaguán	15	Distribuida	1	Gas-Oil
	Guanapa I y II	30	Distribuida	2	Diesel
	Achaguas	15	Distribuida	1	Gas-Oil
	Punto Fijo	199	Turbo Gas	8	Gas, Gas-Oil
San Fernando		60	Turbo Gas	4	Gas, Gas-Oil
		30	Distribuida		
Oriente	Alfredo Salazar	210	Turbo Gas	3	Gas
	Guanta	140	Turbo Gas	2	Gas
	Tucupita	10	Turbo Gas	1	Gas-Oil
	Clarines	15	Distribuida	1	Gas-Oil

	Boca de Río	15	Distribuida	1	Gas-Oil
	Los Millánes	15	Distribuida	1	Gas-Oil
	Puerto Ayacucho	15	Distribuida	1	Gas-Oil
	Cadafe Oriente	60	Distribuida	1	Gas-Oil
	Universidad	20	Distribuida	1	Gas-Oil
	Barranca del Orinoco	10	Distribuida	1	Gas-Oil
	El Cuartel	15	Distribuida	1	Gas-Oil
	Caripito	8	Distribuida	1	Gas-Oil
	Cruz Peraza	8	Distribuida	1	Gas-Oil
	Temblador	8	Distribuida	1	Gas-Oil
	Aragua de Barcelona	8	Distribuida	1	Gas-Oil
	Rincón	15	Distribuida	1	Gas-Oil
	Cantarrana	15	Distribuida	1	Gas-Oil

El sistema de transmisión de CADAFE se resume en la Tabla N° 2.3, que componen todo el sistema bajo sus competencias en niveles de tensión hasta 115 KV, incluyen subestaciones elevadoras, transformadores elevadores y reductores y líneas de transmisión en 400 kV, 230 kV y 115 kV.

**Tabla N°2.3. Resumen del Sistema de Transmisión de CADAFE**

<b>Sistema de Transmisión</b>	<b>CADAFE Occidental</b>	<b>CADAFE Centro</b>	<b>CADAFE Oriental</b>	<b>CADAFE Total</b>
Subestaciones	43	126	68	237
Transformadores	15	59	33	107
Capacidad instalada de transformación	1.135	8.884	3.336	13.355
Longitud de Línea 400 Kv [km]	0	1.558,13	145	1.703,13
Longitud de Línea 230Kv [km]	1.283	2.711,86	1.741	5.735,86
Longitud de Línea 115 Kv [km]	2.188,30	5.027,28	2.300,54	9.516,12
Total de Longitud de línea [km]	3.471,30	9.297,27	4.186,54	16.955,11

### 2.3.2 Sistema Eléctrico de Distribución

El sistema eléctrico de distribución de CADAFE se muestra en resumen en la tabla N° 2.4.

**Tabla N°2.4. Resumen del Sistema de Distribución de CADAFE**

<b>Sistema de Distribución</b>	<b>CADAFE Occidente</b>	<b>CADAFE Centro</b>	<b>CADAFE Oriente</b>	<b>CADAFE Total</b>
Subestaciones de 34,5 kV y 13,8 kV	78	96	79	253
Estaciones subtransformadoras para 115/34,5 kV	2	6	5	13
Estaciones subtransformadoras para 115/13,8 kV	11	39	35	85
Longitud de línea para 34,5 kV [km]	2.811,74	4.774,19	3.554,85	11.140,78
Longitud de línea para 13,8 kV [km]	22.190,23	18.893,73	15.385,46	56.469
Longitud de línea total [km]	25.001,97	23.667,92	18.940,31	67.609,78
Circuitos de 34,5 kV	69	98	57	224
Circuitos de 13,8 kV	480	773	328	1.581

### 2.4 Planificación en sistemas de distribución

El objetivo fundamental de la planificación de un sistema de distribución es presentar planes y proyectos a corto, mediano y largo plazo para poder suplir y atender el crecimiento de la demanda de manera eficiente, sostenible y sustentable.

A nivel de distribución es fundamental la precisión de los pronósticos y es parte de cualquier metodología la predicción de la localización de la carga. Las diversas metodologías aplicables para distribución se basan en microáreas.

Las microáreas, permiten la predicción de la cantidad y la localización del crecimiento futuro de la carga eléctrica de una forma conveniente para la planificación del sistema de distribución. El procedimiento se basa en la división de un área de servicio para uso general en un número suficientemente de “pequeñas áreas” y proyectando la carga futura en cada una [5]. Las microáreas pueden ser: retículas uniformes; o retículas irregulares como son las áreas de influencia del equipo; áreas que corresponden a las áreas del alimentador o de la subestación.

#### **2.4.1 Tipos de Planificación**

##### **a) Planificación a mediano y largo plazo**

Una vez concluida la predicción de demanda, se realiza el diseño del sistema para el último período disponible de predicción, el cual será de  $t+8$  años a mediano plazo o  $t+20$  años para largo plazo. Este plan a mediano o largo plazo se realiza con el fin de tener una óptica más amplia de la expansión del sistema y asegurar la plena utilización de los equipos durante su vida útil, de forma tal que sirva para orientar las inversiones a corto plazo hacia ese objetivo. [23]

##### **b) Planificación a corto plazo.**

Consiste en el diseño de un sistema eléctrico para un período de hasta  $t+5$  años, el cual se implementará mediante un plan de inversiones interanuales. Para hacer el diseño de este sistema deberá contarse con los resultados de la predicción de demanda, el análisis del sistema presente y la planificación a mediano y largo plazo. [23]

## CAPITULO III

### 3 MÉTODOS DE PRONÓSTICO DE DEMANDA

#### 3.1 Antecedentes

En la década de los años 50, los pronósticos de la demanda se fundamentaban en la experiencia del planificador, por ejemplo, era de uso frecuente el método de “coloring book” [5], donde se identificaban mediante colores, diferentes densidades de cargas en una determinada área en estudio.

Para la década de los años 60, aparecían los primeros métodos fundamentados en algoritmo matemáticos, el comportamiento de la demanda futura se modelaba con curvas de todo tipo: lineales, polinómicas, logarítmicas; también se utilizaban modelos matemáticos de regresión lineal monovariables de tendencia, o multivariables, que incluían registros de datos históricos eléctricos y económicos, que en la actualidad son utilizados frecuentemente para los pronósticos económicos y financieros.

En la década de los 70, el desarrollo de las computadoras permitió manejar mayor cantidad de datos, y los métodos fundamentados en algoritmos matemáticos adquieren una dimensión más compleja. Apareció el método de Uso de la Tierra, con el cual se obtiene la magnitud y localización espacial de la demanda, este método se fundamenta en variables urbanísticas, adicionalmente, permite dividir el área de estudio en pequeñas unidades de superficie de menor dimensión, denominadas microáreas [1] para una mejor localización de la estimación de la demanda. Como resultado de los estudios realizados utilizando la combinación de los métodos, se concluye que el crecimiento de la demanda puede ser modelada como una función matemática cuya gráfica tiene forma de “S” [5], permitiendo simular el comportamiento aproximado de la demanda. Luego aparecen los primeros programas



informáticos tales como el ELUFANT (Electric Utility Futures Analysis Tool) realizado por H.L. Willis, donde se agrupó todos los avances obtenidos para la década [5].

Durante los años 80, se mantienen las metodologías de los años 70 y se incluyen procesos para resolver problemas como: estimaciones de demanda en áreas inicialmente sin cargas, transferencias de cargas entre subestaciones, transformadores y alimentadores; se aplica la metodología de inferencia en áreas vacantes.

En la década de los 90, surge otro tipo de métodos con procesos de simulación para modelar mejor el comportamiento de la demanda, los cuales se basan en algoritmos más complejos y que requieren de un mayor volumen de información. Estos métodos toman en consideración el desarrollo urbanístico del área en estudio y su interrelación con la demanda, por ejemplo: el método de la lógica difusa, los sistemas expertos, y el desarrollo de la geometría computacional como herramienta para los pronósticos y optimización de las redes eléctricas.

En la actualidad, el desarrollo alcanzado en los Sistemas de Información Geográfica (SIG) permite su utilización en el proceso de pronóstico de la demanda, mediante la relación de la información de los sistemas eléctricos de distribución y los desarrollos urbanísticos, con el uso de algoritmos matemáticos para robustecer las metodologías del tipo tendencial y demás metodologías existentes.

### **3.2 Pronóstico de demanda en sistemas de distribución**

El sistema de distribución se encarga de que la energía eléctrica proveniente de las subestaciones de transmisión llegue a los usuarios finales, por lo tanto está sometido a la evaluación constante por parte de los mismos, y se conforma de la siguiente manera:

- Subestación de distribución.
- Alimentadores o circuitos primarios.
- Transformadores de distribución.
- Red secundaria de distribución o baja tensión.
- Acometida y equipo de medición.

El pronóstico de la demanda eléctrica es fundamental para la planificación y diseño del sistema eléctrico de distribución, de ellos se generan los planes de expansión del sistema para plazos de tiempos definidos:

- Corto Plazo, espacio de tiempo comprendido entre 0 a 5 años.
- Mediano Plazo, está comprendido entre los 5 y 10 años.
- Largo Plazo, espacio de tiempo comprendido entre 10 y 20 años.

Una inadecuada predicción de demanda tiene como consecuencia la planificación deficiente de la infraestructura eléctrica requerida en generación, transmisión y distribución, afectando así la calidad del servicio, o provocando un sobre equipamiento que ocasionaría la construcción de instalaciones innecesarias.

### **3.2.1 Factores que influyen en el pronóstico de la demanda de energía**

Existen múltiples factores que influyen en el pronóstico de la demanda, en la Figura N° 3.1 se indican algunos de ellos.

#### **Factor Geográfico:**

Las limitaciones o condiciones geográficas del área en estudio, tales como, montañas, ríos, o mares, inciden en la localización y el desplazamiento de los futuros centros de consumo.

**Figura N° 3.1. Factores que influyen en el pronóstico de la demanda**



#### **Factor de uso de la tierra:**

El uso de la tierra influye en el crecimiento de la carga, debido a la relación que existe entre los sectores residencial, comercial e industrial. El ordenamiento urbano y rural promovido por el Estado estratifica los diferentes usos de la tierra.

#### **Factor de planes de desarrollo**

Cada región cuenta con una dinámica y un plan propio de desarrollo, los entes públicos nacionales, regionales y locales, tienen planes a corto, mediano y largo plazo, con desarrollo de índole habitacional y urbanístico, con la construcción de teatros, plazas, escuelas, hospitales, y planes de industrialización que inciden de manera directa en el sector residencial y comercial. En general toda infraestructura

planificada o no planificada de las ciudades, motiva el crecimiento de la población, incide en el aumento del comercio y otros sectores de la economía.

### **Factor de densidad de la Carga**

El factor de densidad indica cómo se distribuye la carga dentro de los límites geográficos, bajo las condiciones actuales de zonificación y áreas desarrolladas u ocupadas.

### **Factor del crecimiento de la población**

El crecimiento natural de la población, junto al crecimiento poblacional por concepto de inmigración, contribuye al aumento de la demanda de potencia y energía.

### **Factor de la historia de la carga**

Los diferentes registros históricos de la carga nos permiten analizar el comportamiento del área en estudio y construir un modelo de crecimiento, los registros pueden ser a distintos niveles, mientras más cercanos estén de los usuarios finales los resultados obtenidos serán más precisos.

## **3.2.2 Clasificación de los métodos de pronóstico de demanda**

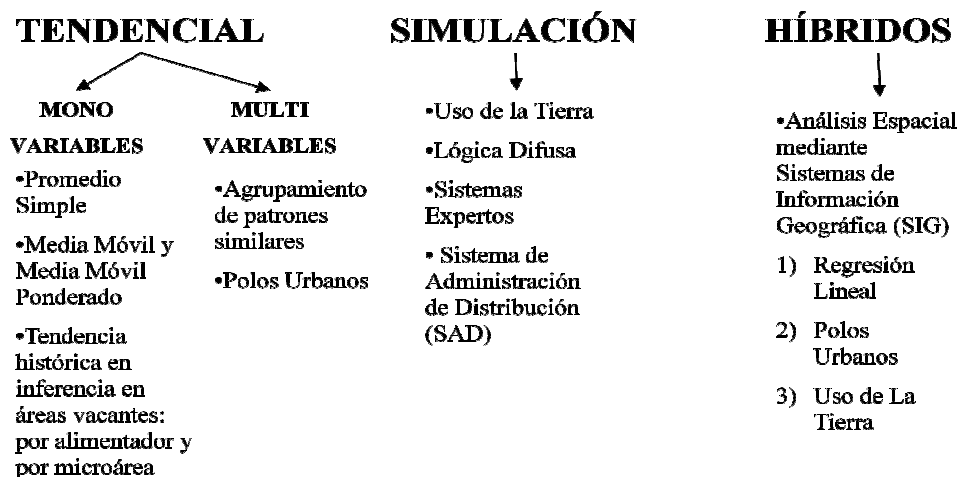
Existen diversos métodos de pronóstico de la carga que se han aplicado en el campo. La mayoría son variaciones de dos tipos básicos: tendencial, que implica el extrapolar los registros históricos de la demanda en el futuro, o del tipo de simulación, que consiste en modelar el proceso propio del crecimiento de la demanda. Los métodos de pronóstico se pueden clasificar según su estructura de la siguiente manera:

- 1) **Métodos tendenciales** trabajan con los datos históricos de diversos tipos de la carga como carga máxima de los circuitos, extrapolando con regresiones lineales o no lineales, las estructuras de crecimiento de los últimos registros hacia el futuro.

Existen dos tipos de **métodos tendenciales**:

- 1.1) **Monovariables**, su estructura se basa en la construcción de un modelo de tendencia con una variable referente a los registros históricos máximos del sistema y subsistemas.
  - 1.2) **Multivariables**, su estructura se basa en la interrelación de más de una variable, mediante técnicas de regresión, lineales o no-lineales, u otros algoritmos matemáticos. Las variables adicionales son registros numéricos de información sobre la región y su desarrollo, por ejemplo, P.I.B, población, números de fábricas, que en general influyen sobre la demanda y su comportamiento.
- 2) **Métodos de la simulación** analizan el proceso por el cual existen cambios de la demanda eléctrica en cuanto a la localización y el tiempo, modelan el comportamiento espacial del crecimiento de la demanda, y la tendencia de la misma según sus registros históricos.
  - 3) **Métodos híbridos**, consisten en construir un método con partes significativas de ambas estructuras para obtener un modelo completo tomando las ventajas y beneficios de cada estructura.

**Figura N° 3.2. Clasificación de los métodos de pronóstico según su tipo de estructura.**



### 3.3 Diversos métodos tendenciales monovariantes existentes

Los métodos tendenciales monovariantes se fundamentan en la extrapolación de una variable, construye la estructura de crecimiento mediante registros históricos.

#### 3.3.1 Métodos de series de tiempo.

Los métodos de series de tiempo, se basan en la suposición fundamental que la historia predice el futuro de manera razonable. A continuación se describen algunos de ellos.

##### 3.3.1.1 Promedio simple

Este modelo considera que todas las demandas de los períodos anteriores tienen el mismo peso relativo, y que el promedio hace que las demandas elevadas tiendan a ser equilibradas por demandas bajas de otros períodos, reduciendo de esta

manera el error que pueda cometerse al dejarse llevar por fluctuaciones aleatorias que puedan ocurrir en un período [16]. Para calcularlo se aplica la ecuación 3.1:

$$\text{Promedio Simple} = \sum_{i=1}^k \frac{d_i}{k} \quad \text{Ec. 3.1}$$

Donde,

$d_i$ : demanda de todos los períodos anteriores

$k$ : número de períodos.

No es aplicable para la proyección de demandas de potencia y energía eléctrica, debido a que presenta un comportamiento lineal, mientras que los registros históricos de carga evidencian que el comportamiento de la demanda no es lineal.

### 3.3.1.2 Media Móvil Simple y Media Móvil Ponderada

La Media Móvil Simple se construye calculando la media de los registros históricos de datos de un período determinado. El término móvil se debe a que cada vez que se calcula se utiliza el último período. La media móvil es una suavización de la tendencia para un seguimiento más claro, se eliminan las fluctuaciones bruscas en los registros históricos de datos.

En su aplicabilidad, el promedio se traslada en el tiempo, la demanda más antigua se descarta y es reemplazada por la demanda para el período más reciente, superando así la principal limitación del modelo del promedio simple [16], se calcula aplicando la ecuación 3.2:

$$\text{Media Móvil Simple} = \sum_{t=1}^n \frac{D_t}{n} \quad (\text{Ec. 3.2})$$

Donde,

$D_t$  : Demanda de cada uno de los  $n$  períodos anteriores.

$t$ : Varía desde 1 hasta  $n$  períodos del intervalo de estudio.

Los resultados dependen de la buena elección de los períodos, así como del criterio y la experiencia del planificador.

La Media Móvil Ponderada, permite asignar un peso relativo a cada valor del registro de la demanda en función de la importancia que le concede el analista, siendo la técnica más utilizada asignar pesos mayores a medida que sean más actuales los registros.

$$\text{Media Móvil Ponderada} = \sum_{t=1}^n C_t \times D_t \quad (\text{Ec. 3.3})$$

$$\sum_{t=1}^n C_t = 1; \quad 0 < C_t < 1$$

Donde,

$D_t$  : Demanda de cada uno de los  $n$  períodos anteriores.

$t$ : Varía desde 1 hasta  $n$  períodos del intervalo de estudio.

$C_t$ : Coeficientes de ponderación de cada dato correspondiente a un determinado período

Se tiene que seleccionar o evaluar algunos criterios, para ubicar los valores de los coeficientes que logren el éxito del modelo.

En resumen, tanto la Media Móvil y Media Móvil Ponderada corrigen las limitaciones del Promedio Simple, y el resultado final, no es uniforme y ni lineal, y limita la información utilizada en los pronóstico para proyecciones a corto plazo; también pueden ser utilizadas en el suavizado de registro históricos de datos que presentan fuertes variaciones.



Las ventajas de los métodos de tendencia monovariables consisten en que utilizan una cantidad mínima de datos, en nuestro caso los registros históricos de la demanda. Emplean algoritmos directos y sencillos. Además, se utiliza para suavizar curvas de registros históricos donde se presenta crecimiento o decrecimiento bruscos debido a transferencia de cargas, u operaciones del sistema.

Como desventaja, estos modelos no toman en cuenta factores de índole urbanística que permiten localizar las futuras cargas del sistema y diversos escenarios urbanísticos. Algunos tienden a la sobreextrapolación y tienen la incapacidad de realizar la predicción en áreas sin registro histórico de datos o en áreas vacantes. Se necesitan algoritmos más complejos para reducir sus limitaciones.

### **3.4 Diversos métodos tendenciales multivariantes existentes**

Estos métodos modelan la evolución de la carga de las microáreas con el uso de diversas variables, como son: demanda, tipos de usuarios, número de usuarios, o cualquier otro tipo de variables que considere necesario el planificador.

El algoritmo se identifica con una función matemática, generalmente muy compleja, que modela la interacción entre variables, como se muestra en la ecuación 3.4.

$$l_k(t + 1) = f(l_k(t), V_1(t), V_2(t) \dots V_n(t)) \quad (\text{Ec. 3.4})$$

Donde,

$l_k(t)$ : Función que modela la carga o datos históricos de la carga.

$V_1(t), V_2(t) \dots V_n(t)$ : Funciones de cada variable que forma parte del proceso.

Los métodos tendenciales multivariantes son usados como medio de investigación, ya que permiten un estudio metodológico y detallado de la carga. Sin

embargo, no constituyen una herramienta práctica ya que presentan las siguientes limitaciones:

- Requieren de una gran cantidad de datos.
- Utilizan procedimientos matemáticos complejos.
- Requieren de un “modelo urbanístico” para el control de las variables adicionales si quieres incluir factores urbanísticos. [2]

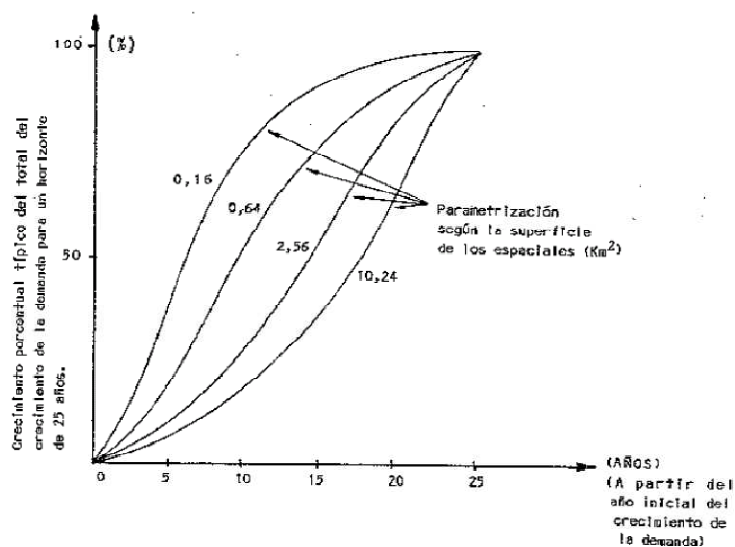
Se requiere personal capacitado en el área de ciencias matemáticas para modelar las interrelaciones de las variables del área bajo estudio mediante algoritmos o ecuaciones. Entre algunos métodos tendenciales multivariados tenemos:

#### **3.4.1 Método de Agrupamiento de Patrones Similares (APS)**

Es un método de tendencia multivariados que a nivel de microárea, no hace aplicación de regresiones, ni ajustes a curvas normales, es un complemento a los métodos tendenciales como el de área vacante en la ubicación de patrones. En general mantiene seguimiento a diversas variables asociadas a las ubicaciones de patrones de demanda entre otras regiones.

En la Figura N° 3.3, se muestra cuando el tamaño de los espacios es reducido, la tendencia del crecimiento medio de la demanda presenta un comportamiento menos suave, esta hipótesis da origen a curvas pronunciadas del tipo "S"[7], estas se caracterizan por un rápido crecimiento inicial, seguidas de un crecimiento suave para los años posteriores. El crecimiento de la demanda del área total es generalmente suave, debido a que en los momentos en que ocurren los crecimientos iniciales de las microáreas que componen el área total difieren entre ellas, por lo que el resultado global está dado por una curva envolvente que atenúa los efectos individuales.

**Figura N° 3.3. Gráfica resultado del proceso de Agrupamiento de Patrones Similares. [7]**



El método de APS no extrapola el crecimiento de la demanda en cada microárea, lo hace por conjuntos de similar comportamiento histórico relativo, que responden a curvas con patrones comunes, tipos de zonificación y área, o similar población con patrones de crecimiento distinto a las curvas tipo S. El carácter específico del comportamiento de las curvas "S", definidos por su perfil y duración, y su relación con el crecimiento del promedio depende de factores propios de cada región. Cada curvas "S" será diferente, pero se comportarán, en promedio, de manera similar. A continuación se describe el procedimiento para aplicar el método APS. [7]

Paso 1: Fase de análisis inicial: emplea un rápido algoritmo de agrupamiento para establecer un conjunto de formas de curvas de crecimiento promedio a nivel de las microáreas. Esta fase analiza las curvas de demandas históricas de todas las microáreas, las cuales no necesariamente deben ser crecientes.

Paso 2: Extrapola el crecimiento futuro de cada microárea, asignándolo a la curva promedio que mejor se ajusta. La proyección en el tiempo de esta curva patrón,

determina un pronóstico inicial, en el mismo habrá algún error implícito debido a que un conjunto reducido de curvas de agrupamiento puede que no represente en forma exacta cada una de las curvas de las microáreas; sin embargo, este error es considerablemente menor al que se puede presentar al efectuar el pronóstico sólo en base a curvas de regresión. [7]

### **Aplicaciones en el pronóstico de demanda.**

Como resultado de la aplicación del método se obtienen curvas patrones que se pueden desplazar en el tiempo para microáreas sin datos o pocos datos históricos, sólo con obtener patrones similares urbanos y/o poblacionales.

#### **3.4.2 Métodos de Polos Urbanos**

Es un método tendencial multivariable, hace seguimiento al menos de dos (2) variables: los registros históricos de la demanda y la distancia a futuros polos urbanos, para representar la tendencia observable del desarrollo de la ocupación del área bajo estudio.

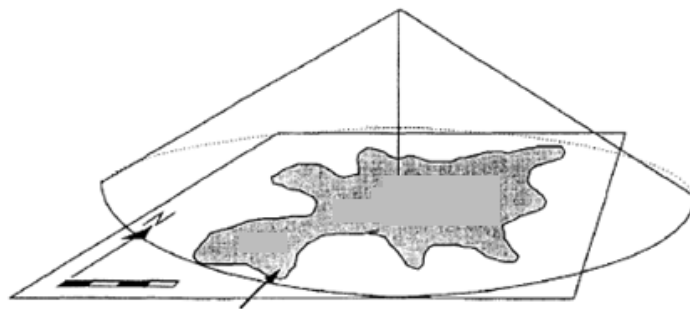
Los centros de la actividad son concentraciones de instalaciones residenciales, industriales o comerciales que son significativas para formar las localizaciones del desarrollo circundante de la ocupación del terreno. La Figura N° 3.4, representa la influencia que tiene el centro de una ciudad, el cual se modela concentrando fuertemente en su centro de actividad, tendiendo a disminuir su esta influencia a cero en la medida que nos alejamos hacia sus límites exteriores. La influencia del centro de actividad se modela con una función de disminución de distancia, de cierta manera puede ser lineal, exponencial, o cualquier otro tipo.

El polo urbano se interpreta y se aplica como el modelo de la preferencia en la utilización del suelo cercano al centro de la actividad, cada comercio, cada dueño

de casa o apartamento, quisiera idealmente estar en el mismo centro de la actividad, sin embargo, excepto algunos casos, deben ajustar sus preferencias al hecho de que no puedan encontrar la tierra que se adapte a sus necesidades o que su ubicación permita una gran aproximación al centro de actividades. [5]

La dinámica propia del desarrollo hace que en cada región exista uno o varios centros de actividad como motor de la espiral del crecimiento de la demanda, que conlleva el aumento de la población, el comercio y la industria.

**Figura N° 3.4 Radio de influencia de un polo de desarrollo. [5]**



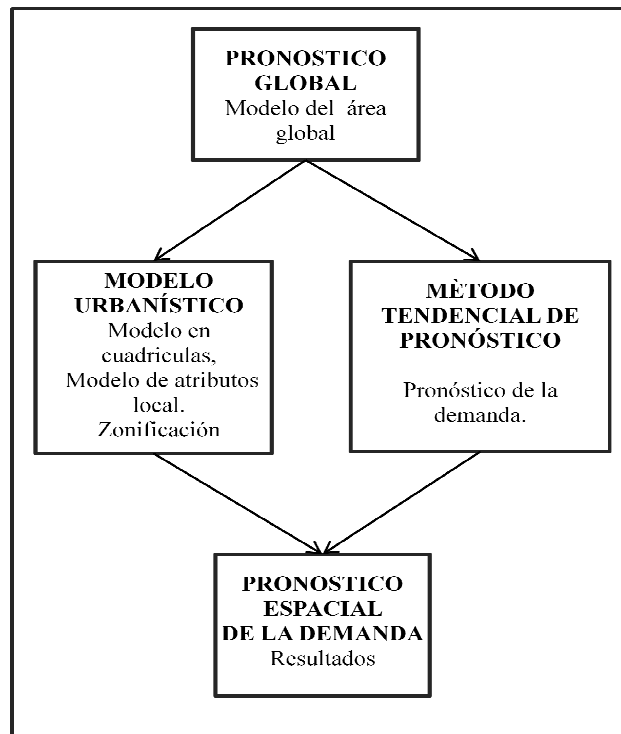
Como desventajas, existe imprecisión si se suavizan las condiciones de identificación de estos polos urbanos, y si se simplifican al extremo los criterios y modelos de distancia y radios de influencia.

### **3.5 Diversos métodos de simulación existentes**

Estos métodos se basan en la interacción de diversas variables que modelan el comportamiento del crecimiento y la expansión de la demanda de potencia y energía eléctrica, incluyen registros históricos de la carga, datos de naturaleza urbanística como el tipo de utilización del suelo, información geográfica, vialidad, transporte y demografía sobre la base de una microárea, que afectan el crecimiento de la carga. La diferencia entre los métodos tendenciales multivariantes y estos métodos

radica en la naturaleza de las variables, los de simulación incluyen variables de índole de localización espacial. Existe una estructura que representa la mayoría de los métodos de simulación, y se muestra en la Figura N°3.5.

**Figura N° 3.5 Estructura de los métodos de simulación**



Los métodos de simulación permiten estudiar y modelar distintos escenarios. Por la cantidad de información requieren mayores recursos para su implementación, tienen a su favor que ofrecen precisión y análisis del crecimiento de la demanda. A continuación algunos métodos de simulación.

### **3.5.1 Método de Uso de la Tierra**

Este método se caracteriza por calcular, como paso previo a la estimación de la demanda, la predicción del uso de la tierra o su evolución para la localización espacial de la misma. El método divide los factores de crecimiento de la carga en dos

partes, una parte se refiere al cambio en el uso de la electricidad por el usuario, y la otra a los cambios en la cantidad y localización de los usuarios [1]. El uso de la tierra está asociado al modelo de oferta y el modelo de la demanda.

El **Modelo de Demanda**, se basa en la espiral del crecimiento producto de la instalación de industrias que influyen en los sectores residencial y comercial. La presencia de medios de transporte y el acceso a la vialidad contribuye a fortalecer el desarrollo de todos los sectores.

El **Modelo de Oferta**, relaciona los diversos patrones de conveniencia de las parcelas basado en la intuición del usuario, refleja los estudios de evaluación de las zonas con datos intuitivos sobre los desarrollos, maneja la disposición de ciertos parámetros urbanísticos para el futuro desarrollo de ciertas parcelas también llamados zonificaciones [1]. También está asociado a los proyectos que promueven los organismos encargados de realizar el ordenamiento urbano y rural de una localidad o región, tanto residenciales, comerciales e industriales.

Cuando se disponen y aplican los modelos anteriores, se predice la distribución geográfica espacial de los sectores residenciales, comerciales, industriales, áreas vacantes, zonas sin carga, etc., para un año futuro o año horizonte, para cada cuadrícula o microárea.

Los métodos de uso de la tierra son del tipo simulación, incluyen análisis de la distribución por área, las clases de usuarios (residencial, comercial, industrial, público) y los proyectan como paso intermedio del pronóstico de demanda.

En general, estos métodos siguen tres pasos fundamentales, cada uno puede ser efectuado de distintas maneras, la combinación de las formas en que se considera cada uno de los pasos da origen a los distintos métodos de pronóstico [6]:

### **Paso A**

Análisis de los patrones de emplazamiento: Está dirigido al concepto del "lado de la ciudad que crece" o cercanía de polos de desarrollo, esto se realiza de una de las tres formas básicas siguientes:

- **Paso A1:** El patrón de crecimiento futuro se supone idéntico al patrón del crecimiento observado hasta el presente, incrementándolo en el tiempo.
- **Paso A2:** El patrón de crecimiento es calculado en base a señales desarrolladas a partir del análisis de la distancia en línea recta desde cada microárea a uno o más polos de desarrollo, las áreas cercanas a uno o más polos son más factibles que se desarrollen más que las áreas más alejadas.
- **Paso A3:** Para determinar el patrón se usa un modelo de variables múltiples que incluye modelos de transporte urbano, interacciones sociales y económicas de segmentos de la ciudad o región, etc.

### **Paso B**

Se efectúa un análisis de los hábitos o comportamientos de los usuarios en uno de los tres niveles siguientes:

- **Paso B1:** No se efectúa análisis alguno.
- **Paso B2:** Combinación de las preferencias de los usuarios, incluye datos de zonificación y de uso de suelos.
- **Paso B3:** Preferencia de los usuarios por medio de los patrones de reconocimiento del uso que localmente se le da al suelo, se analiza el uso pasado y presente del suelo para identificar patrones tales como la tendencia de emplazamiento de centros comerciales y su relación con la ubicación de intersecciones con las principales vías de circulación, etc. Estos patrones se usan para evaluar las zonas con potencial de crecimiento futuro.



### **Paso C**

Los pasos A) y B) dan como resultado una proyección de densidad por área de futuros usuarios de la energía eléctrica, separados por clases para las microáreas. Estas proyecciones son llevadas a parámetros eléctricos, para estimar la demanda de potencia y energía eléctrica usando una de las tres siguientes categorías de uso del suelo para modelar la función de demanda de energía eléctrica:

- **Paso C1:** Se usa un factor de demanda para cada clase de consumidor para convertir en demanda de energía eléctrica la densidad de los usuarios proyectada. El proceso se efectúa para cada una de las microáreas.
- **Paso C2:** Para cada microárea se definen grupos de consumidores mediante el análisis de la coincidencia de sus curvas de demanda de períodos de 24 horas.
- **Paso C3:** Para calcular la demanda de cada microárea, se utiliza un modelo de uso final de la energía eléctrica, en base a la curva de carga diaria de cada clase de usuarios. También se usan las curvas de carga mensual, o anual.

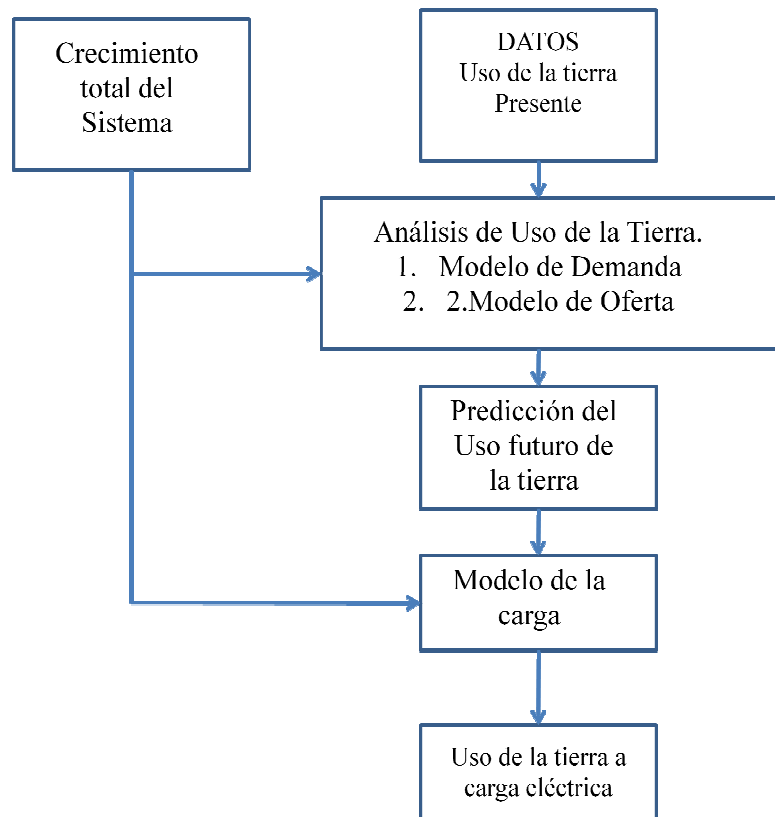
Las combinaciones mas usadas por los métodos de uso de suelos depende de la disponibilidad de información y/o criterios del planificador, a continuación se presentan las combinaciones más utilizadas:

- **Método A1-B1-C1:** El pronóstico de demanda es totalmente dependiente de las decisiones de los consumidores.
- **Método A2-B1-C1:** Para cada clase de consumidor se necesitan datos de distribución actual del uso del suelo y las demandas totales históricas.
- **Método A2-B2-C1:** Requiere de los datos del método de proyección de consumidores, más una subclasificación de las zonas de la microárea.
- **Método A2-B3-C2:** Requiere datos del uso actual del suelo de cada microárea, datos regionales, información de planificación vial, férrea, canales y datos de áreas de uso restringido, tales como reservas para áreas verdes,

zonas de esparcimiento infantil, cementerios, campos deportivos, etc. También requiere datos de demanda histórica por clase de usuario [7].

La figura N° 3.6 muestra la estructura típica de los métodos de predicción de carga por el uso de la tierra.

**Figura N° 3.6. Flujograma característico de los métodos de uso de la tierra. [1]**



Los métodos de uso de la tierra presentan las siguientes ventajas:

- Se puede utilizar para la planificación a largo plazo.
- Usan predicciones totales del comportamiento de la carga relacionadas con los tipos de usuarios.
- Localiza los crecimientos futuros de la carga y polos futuros de desarrollo.

Como desventaja, se necesita un gran volumen de información, que en su mayoría no dependen de la empresa eléctrica, aún cuando esta situación puede motivar la creación de un registro propio de información para solventar dicha limitación y fortalecer el papel de planificación dentro de la empresa eléctrica.

### **3.5.2 Método por Sistemas Expertos**

Son métodos que han emergido como resultado de avances en el campo de la inteligencia artificial que permiten modelar el conjunto de hechos que influyen en el comportamiento de la carga mediante algoritmos.

Para construir este modelo, es necesario un ingeniero programador extraiga el conocimiento de un ingeniero de planificación sobre el tema de pronóstico, este se representa con relaciones lógicas de programación del tipo condicional “*if-then*”, que forman un conjunto de reglas que modelan los cambios en la carga del sistema, el crecimiento de usuarios, y los cambios de uso de la tierra, que influyen en el comportamiento del uso de la energía. El conjunto se utiliza diariamente para generar los pronósticos, algunas de las reglas no cambian en un cierto plazo, mientras que otras tienen que ser actualizadas día a día continuamente.

Las variables típicas utilizadas en los sistemas expertos son: el crecimiento de la carga y sus registros históricos por época del año, día de la semana, y por tipo de usuario. Se debe desarrollar herramientas computacionales complejas para construir los modelos y matrices que forman parte de dichos procesos.

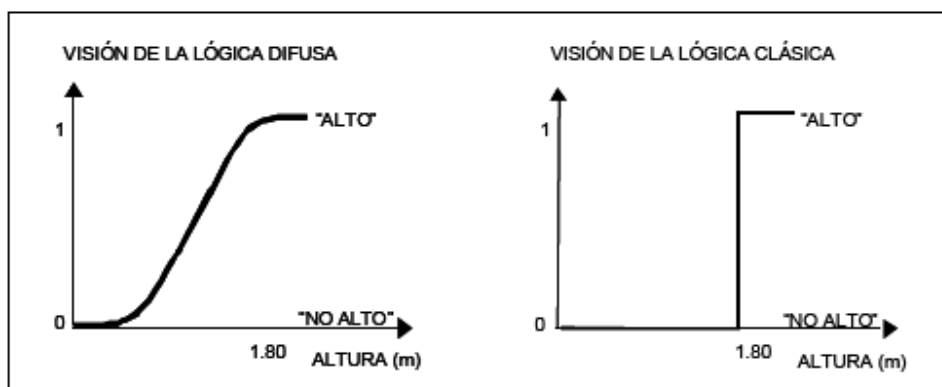
### **3.5.3 Métodos de Lógica Difusa**

Este método permite modelar el proceso de razonamiento humano para tener una adaptación más real de los sistemas bajo de estudio. Permite modelar nuestros criterios de diseño, razonamientos y análisis que permiten la toma de decisiones.

La clave de la lógica difusa, está en el lenguaje de procesamiento de información, esta se basa en comprender los cuantificadores de nuestro razonamiento. La lógica difusa se basa en reglas heurísticas, al igual que los sistemas expertos, de la forma condicional “*if-then*”.

Para cada conjunto difuso, existe asociada una función de pertenencia para sus elementos que indican en qué medida el elemento forma parte de ese conjunto difuso. Las formas de las funciones de pertenencia o membrecía más típicas son trapezoidal, sigmoideal, y lineal [18], se muestra la Figura N° 3.7 como ejemplo.

**Figura N° 3.7. Ejemplificación de las diferencias entre la visión de lógica difusa y la lógica clásica. [18]**



El resultado es un área final, fruto de un conjunto de áreas solapadas entre sí (cada área es resultado de una regla de inferencia). Para ubicar una solución, el método más usado es el del centroide, en el que la salida final será el centro de gravedad del área total resultante. [18].

En la Tabla N° 3.1 se muestra una modelación de un área, donde se obtienen las funciones de pertenencia que definen el urbanismo o el uso de la tierra, que pueden relacionarse con la distribución de la carga, población, o lo que considere

pertinente el planificador. La interacción constante de expertos en la materia de sistemas computacionales eleva el costo de implementación.

**Tabla N° 3.1 Criterios usados, expresión lingüística, función de permanencia en un caso de modelación de parámetro urbanístico. [19]**

Criterio	Expresión Lingüística	Función de permanencias
Red primaria de vialidad	Distancia: Corta (x) Larga (x)	$Larga(x) = \begin{cases} 0, & \text{si la distancia}(x) < 700 \\ \frac{\text{distancia}(x)-700}{600}, & \text{si } 700 \leq \text{la distancia}(x) \leq 1300 \\ 1, & \text{si la distancia}(x) > 1300 \end{cases}$
Red Secundaria de vialidad	Distancia: Corta (x) Larga (x)	$Larga(x) = \begin{cases} 0, & \text{si la distancia}(x) < 600 \\ \frac{\text{distancia}(x)-600}{800}, & \text{si } 600 \leq \text{la distancia}(x) \leq 1400 \\ 1, & \text{si la distancia}(x) > 1400 \end{cases}$
Puertos y Aeropuertos	Distancia: Corta (x) Larga (x)	$Larga(x) = \begin{cases} 0, & \text{si la distancia}(x) < 800 \\ \frac{\text{distancia}(x)-800}{400}, & \text{si } 800 \leq \text{la distancia}(x) \leq 1200 \\ 1, & \text{si la distancia}(x) > 1200 \end{cases}$

### 3.6 Diversos métodos híbridos existentes

Los métodos híbridos consisten en fundamentar su proceso en la unificación de partes de la estructuras de los métodos tendenciales y métodos de simulación para robustecer las metodologías de pronóstico de demanda, con el objetivo de mejorar la precisión tanto en magnitud como en localización.

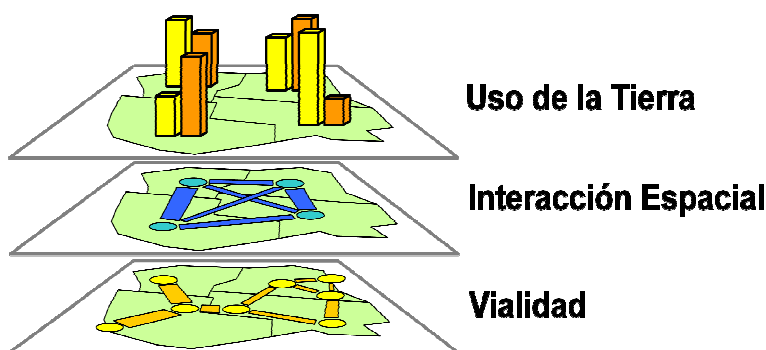
#### 3.6.1 Pronóstico Espacial de la Carga mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Un Sistema de Información Geográfica (SIG) se describe como un conjunto de mapas de una misma porción de territorio, donde la información se encuentra estratificada en capas, cada una consta de un mapa con objetos gráficos (polígonos, líneas y puntos) que representan un determinado tipo de datos (censo de población, censo de comercios, infraestructuras, consumos eléctricos, etc.) o de resultados

(proyección de población futura, previsión de demanda eléctrica, etc.), cada objeto gráfico tiene una 'clave' que lo identifica y que permite vincularlo a datos de atributo del objeto definidos en una base de datos, esta posibilidad de vincular tablas procedentes de bases de datos a objetos espaciales (gráficos) hace posible obtener una representación espacial simple e intuitiva de los datos contenidos en dichas tablas, lo que facilita el análisis y comprensión de los mismos. [14]

Un modelo construido a base de los SIG, sirve para relacionar los datos del sistema de distribución de energía con datos de utilización del suelo y del desarrollo, esto permite ubicar y reflejar las condiciones reales de la región bajo estudio, localizar los nuevos desarrollos, y la adición de nuevas cargas al sistema eléctrico de distribución. La Figura N° 3.8, muestra una representación general de un SIG.

**Figura N° 3.8 Representación típica de un SIG**



### **Implantación de varios métodos de pronóstico de la demanda con un Sistema de Información Geográficas**

La implantación de los métodos de pronóstico de la demanda se ve simplificada gracias a la potencialidad de los (SIG), la digitalización y limpieza de mapas son operaciones que se simplifican enormemente con la utilización de herramientas automatizadas o semi-automatizadas que permiten la captura de

entidades gráficas (polígonos, líneas y puntos) y su asociación a una clave identificativa. Seguidamente, se explican tres (3) métodos, que utilizan los (SIG). [10]

### **Sistema de Información Geográfica y el Método de regresión lineal**

Se fundamenta en la extrapolación de los picos de demanda históricos para obtener el futuro pico de demanda, el ajuste lineal se obtiene con la ecuación siguiente:

$$L_j(t) = a_j \cdot t + b_j \quad (\text{Ec. 3.5})$$

Donde:

$L_j(t)$ : Es el pico anual de demanda previsto en el área  $j$  para el año  $t$ .

$j$ : Índice de cada área;

$t$ : Año o período de pronóstico;

$a_j, b_j$ : Coeficientes de la función que modela la interacción entre las dos variables en cada área  $j$ , se determinan con los registros históricos.

La implementación en un SIG es sencilla, solo basta vincular una tabla de valores con los máximos picos históricos anuales a una capa de datos del SIG, y calcular luego mediante regresión lineal los máximos picos anuales futuros, vinculando los resultados a otra de las capas del SIG. Para realizar los cálculos se puede vincular con las capas del SIG una hoja de cálculo.

### **Sistema de Información Geográfica y el Método de polos urbanos**

El método se basa en la proyección de la población futura para pronosticar la demanda de energía eléctrica futura, para ello, se manejan datos de la demanda de energía eléctrica histórica y datos históricos del censo de población del área en estudio.

Un polo urbano representa la distribución de la población y tiene forma de cono, toda la población se distribuye en el interior en función de su distancia al centro de la ciudad, en el centro del cono la densidad de población es máxima (zona saturada), y fuera del cono la población se considera nula, bajo estas consideraciones, si la población crece, el volumen del cono crecerá en la misma proporción, aumentando la superficie de su base, pero manteniendo constante la altura del mismo.

Se calcula la demanda de energía eléctrica base por habitante, la máxima densidad de población en cada área, y las distancias de cada área al centro del cono, así es posible definir los parámetros de los conos de población para finalmente obtener la demanda de energía eléctrica futura.

### **Sistema de Información Geográfica y el Método de uso del suelo**

Este modelo híbrido maneja datos de la demanda de energía eléctrica histórica, datos históricos del censo de población, del censo comercial, datos de infraestructuras y ordenación urbana. El método consiste en realizar tener una proyección global de cierta variable asociada al crecimiento de la demanda para redistribuir en microáreas según índices de acogidas producto de la interacción de diversos factores por ejemplo una proyección global de la población y la capacidad de acogida de población por parte de las microáreas según diversos factores como son (vialidad, grado de saturación de la población, proximidad al centro) que son necesarios calcular y ponderar en cada área. [11]

### **3.7 Comparación entre los diferentes métodos utilizados para el pronóstico de demanda**

A continuación se muestra en la Tabla N° 3.2 la comparación entre las diferentes metodologías analizadas, utilizadas para el pronóstico de demanda de potencia y energía, así como para la planificación de la red primaria de distribución.



<b>Tabla N° 3.2 Comparación entre metodologías existentes para el pronósticos de demanda de potencia y energía</b>				
<b>MÉTODO</b>	<b>BREVE DESCRIPCIÓN</b>	<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>	<b>ÁREAS DE INTERÉS PARA PROPUESTA DE METODOLOGÍA</b>
<b>TENDENCIAL MONOVARIABLES</b>	Pronostica con base de datos históricos disponibles. Metodología usada para corto plazo.	Bajo costo de aplicación, utiliza poca cantidad de datos, y algoritmo sencillos	Tiende a la sobreextrapolación, baja resolución de localización de la demanda	Utilización de datos históricos disponibles
<b>TENDENCIAL MULTIVARIABLES</b>	Maneja diversos datos entre ellos económicos, empleo, población. Metodología usada para largo plazo	Incluye variables que modifican el patrón de desarrollo de la demanda	Utiliza procesos matemáticos complejos, por lo general su implementación tiene alto costo financiero	La inclusión de todas las variables al proceso que puedan tener incidencia en el comportamiento de la demanda
<b>AGRUPAMIENTO DE PATRONES SIMILARES</b>	Metodología para corto y mediano plazo del tipo tendencial multivariable. Maneja mínimo dos variables, las proyecciones de tendencias de ciertos sectores y crea patrones de crecimiento para diversas situaciones.	Bajo costo de implementación. Aumenta la precisión con respecto a metodologías tradicionales de tendencia.	Las regiones pueden tener comportamiento alejados de los patrones asociados.	Se puede tener en cuenta al no tener registros confiables y se pueden asociar a regiones con características similares.
<b>POLOS URBANOS</b>	Método del tipo tendencial multivariable. Estudia la influencia de los centros de actividad que lleva la dinámica de la región bajo estudio. Mantiene dos variables: el crecimiento de demanda y la influencia de la distancia a los polos urbanos.	Bajo costo de implementación. Ubica en el contexto de la planificación la importancia de los centros de actividad como causa del crecimiento de la demanda.	Pierden precisión a la medida que se relaja los modelos de identificación de los centros de actividad o polos de desarrollo.	Se utiliza para asignar la demanda en el proceso de Inferencia en Áreas Vacantes, según la medida de la distancia al polo de desarrollo.

Cont. Tabla N° 3.2 Comparación entre metodologías existentes para el pronósticos de demanda de potencia y energía				
MÉTODO	BREVE DESCRIPCIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS	ÁREAS DE INTERES PARA PROPUESTA DE METODOLOGIA
SIMULACIÓN	Aquellos que tienen un estructura básica de incluir un modelo espacial urbanístico que describe el comportamiento de la demanda	Mayor confiabilidad en los resultados en cuanto a magnitud y localización espacial de la demanda.	Se requiere mayor cantidad de variables, registros e información que se traduce en mayor tiempo de aplicación y recursos.	La estructura básica: Pronostico global, espacial y temporal de la demanda es fundamental para obtener un modelo más completo.
USO DE LA TIERRA	Utiliza información urbanística para estimar la densidad de demanda eléctrica. Metodología usada para mediano y largo plazo.	Alta resolución en la localización de la demanda, alta confiabilidad de resultados	Su implementación requiere muchas información, alto costo de implementación	Uso de información urbanística asociada a los usos de la tierra
SISTEMA EXPERTO	Crea una matriz basada en el conocimiento de expertos en el área para utilizar diversos algoritmos para toma de decisiones. Metodología usada para largo plazo.	Resultado confiables y más precisos ya que introduce el conocimiento de expertos en la dinámica de la metodología	Necesita proceso y algoritmo de elevada complejidad, alto costo de implementación y mantenimiento. Necesita talento humano especializado para mantener dicho sistema	Para este tipo de estudio no es aplicable bajo las condiciones actuales
LOGICA DIFUSA	Crea matrices basadas en puntos intermedios de los extremos cuantitativos y cualitativos, usando algoritmos matemáticos. Metodología usada para largo plazo.	Elevada precisión .introduce datos subjetivos basados en valores intermedios entre puntos extremos de los análisis. Puede generar escenarios.	Algoritmo y sistema de computación de alto nivel. Elevados costo de implementación.	Para este tipo de estudio no es aplicable bajo las condiciones actuales.

<b>Cont. Tabla N° 3.2 Comparación entre metodologías existentes para el pronóstico de demanda de potencia y energía</b>				
<b>MÉTODO</b>	<b>BREVE DESCRIPCIÓN</b>	<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>	<b>ÁREAS DE INTERÉS PARA PROPUESTA DE METODOLOGIA</b>
HIBRIDOS	Se construyen con partes de las estructuras de los métodos tendenciales y los de simulación,	Fortalece los pronósticos complementan las virtudes de ambos modelos. Se adapta a las necesidades y requerimiento del grupo de planificación	Requiere mayor cantidad de variables y registros, eleva los tiempos de recolección de datos.	La estructura central del método propuesto se basa en un modelo híbrido.
SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA (SIG)	Herramienta que se utiliza para fortalecer otras metodologías. Se utiliza en metodología para corto, mediano y largo plazo.	Aumenta la precisión para localizar la demanda.	Requiere seguimiento de patrones urbanísticos de la región aumentando los costos operativos.	Cubre las necesidades del conocimiento de toda la región bajo estudio

### **3.8 Metodologías implementadas en CADAPE**

#### **3.8.1 Modelo de Predicción de Demanda del Sistema de Administración de Distribución (SAD)**

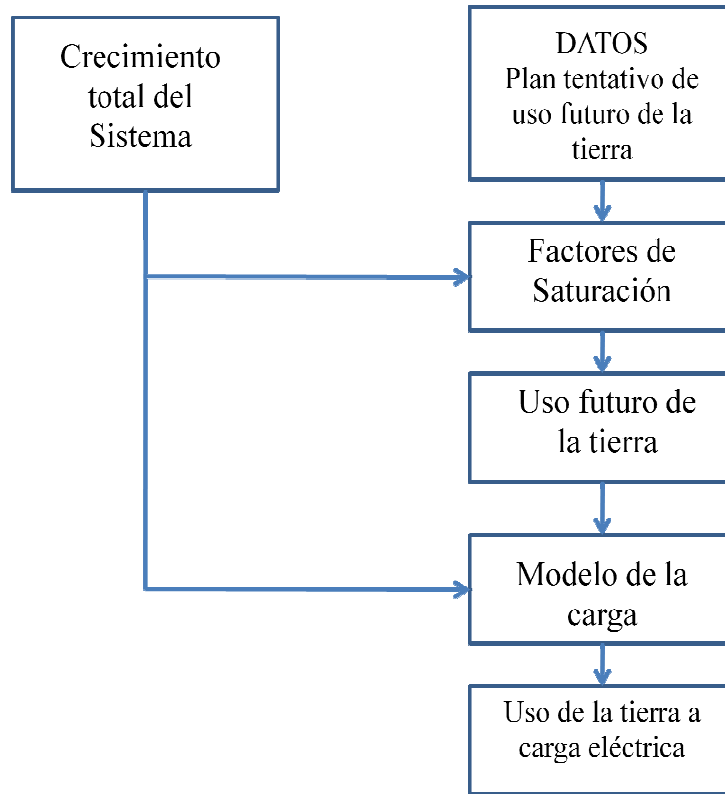
Este modelo, se basaba en planes de uso futuro de la tierra como la base fundamental para la estimación de demanda de potencia y energía, se diferencia del método tradicional de uso de la tierra, en la utilización del uso presente de la misma. El modelo SAD cumple con la estructura básica de los métodos de simulación.

Los planes de uso futuro de la tierra se obtienen del Plan Rector del área sometida a estudio, y son realizados por los entes regente de los proceso de planificación y desarrollo del país, sin embargo, el Plan Rector no refleja el uso de la tierra futuro propiamente dicho, más bien reflejan la conformación de las zonificaciones planificadas del área por clases de uso permitida para el año horizonte, esto quiere decir que si en un área determinada, aparece una zonificación donde la clase de uso permitido es residencial, no significa que estará completamente desarrollada con viviendas familiares en el año horizonte.

En la Figura N° 3.9 se muestra el flujograma del Modelo de Predicción de Demanda utilizado por el SAD. Los factores de saturación se basan en predicciones de variables urbana, tales como población totales para la microárea en cuestión, área cubierta por cada tipo de zonificación, vialidad, etc., llevados a una resolución de microárea de forma intuitiva, partiendo de los valores iniciales por cuadrícula en el año presente.

Diversos estudios realizados en CADAPE concluyen que el SAD maneja mucha información con elevado contenido intuitivo que hace que el modelo se base más en suposiciones del planificador que de datos reales en el proceso de estimación y por ende se descarta por la incertidumbre y los altos costos de implementación.

**Figura Nro. 3.9 Flujograma de Modelo de Predicción de Demanda del SAD**



### **3.8.2 Método de Tendencia Histórica e Inferencia en Áreas Vacantes**

Es un método tendencial monovariable que mantiene la estructura de ubicar un comportamiento de crecimiento asociado a un área según los registros históricos.

Diversos estudios realizados en el campo de pronósticos de demanda, se ha comprobado que el proceso de crecimiento de la carga se debe a desarrollos rápidos experimentados en microáreas, de un estado sin carga a un valor de saturación en un pequeño intervalo de tiempo. Sin embargo, el crecimiento total es mucho más suave ya que estos rápidos desarrollos no ocurren todos al mismo tiempo, frecuentemente este crecimiento por microáreas puede ser representado por curvas del tipo “S”, de formas diversas de modelación, tales como las que se muestran a continuación:

$$D_j(t) = a_0 t^{-1} + a_1 t^0 + a_2 t^1 + a_3 t^2 + a_4 t^3 \quad (\text{Ec. 3.5-(a)})$$

$$D_j(t) = a_0 t^0 + a_1 t^{1/2} + a_2 t^1 + a_3 t^2 + a_4 t^3 \quad (\text{Ec. 3.5-(b)})$$

$$D_j(t) = a_0 \log t + a_1 \log t^2 + a_2 \log t^3 \quad (\text{Ec. 3.5-(c)})$$

$$D_j(t) = \frac{Ds_j}{1 + e^{-a_0 - a_1 X_j - a_2 X_j^2}} \quad (\text{Ec. 3.5-(d)})$$

$$D_j(t) = a_0 + a_1 * \tanh(a_2 * t + a_3) \quad (\text{Ec. 3.5-(e)})$$

Donde,

$D_j$ : Carga en la microárea “j” en el año “t”

$a_0, a_1, a_2, \dots$ : Constantes que dependen de los datos históricos de carga de la microárea.

$Ds_j$ : Demanda de Saturación de la cuadrícula o microárea

En los tipos de curvas modeladas mediante las Ec.3.5-a, b y c presentan las siguientes desventajas:

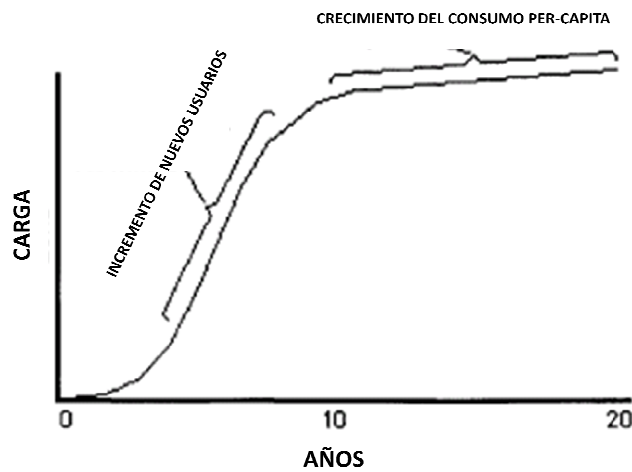
1. Son incapaces de predecir carga en áreas previamente vacantes.
2. Sobre extrapolación de la predicción.
3. En caso de usar microáreas relacionadas con alimentadores, la periódica transferencia de carga entre ellos afectan los datos históricos.
4. Son incapaces de predecir cambios grandes en el comportamiento de la carga debidos a condiciones externas, como pudieran ser económicas, o cambios de zonificación.
5. No pueden producir escenarios múltiples por lo tanto no son recomendados para planificación a largo plazo.

La curva representada por la Ec. 3.5-d, representa la mejor aproximación del comportamiento natural de crecimiento de la demanda, gracias a diversos estudios realizados, en especial por H. Lee Willis, en la Figura N° 3.10, se muestra cómo se

relaciona los patrones de consumo e incrementos de usuarios con la aproximación de la tendencia de la demanda eléctrica a la curva logística.

Similar al modelo de la curva representada mediante la Ec. 3.5-d, la curva modelada mediante la Ec. 3.5-e, se construye con menos datos históricos.

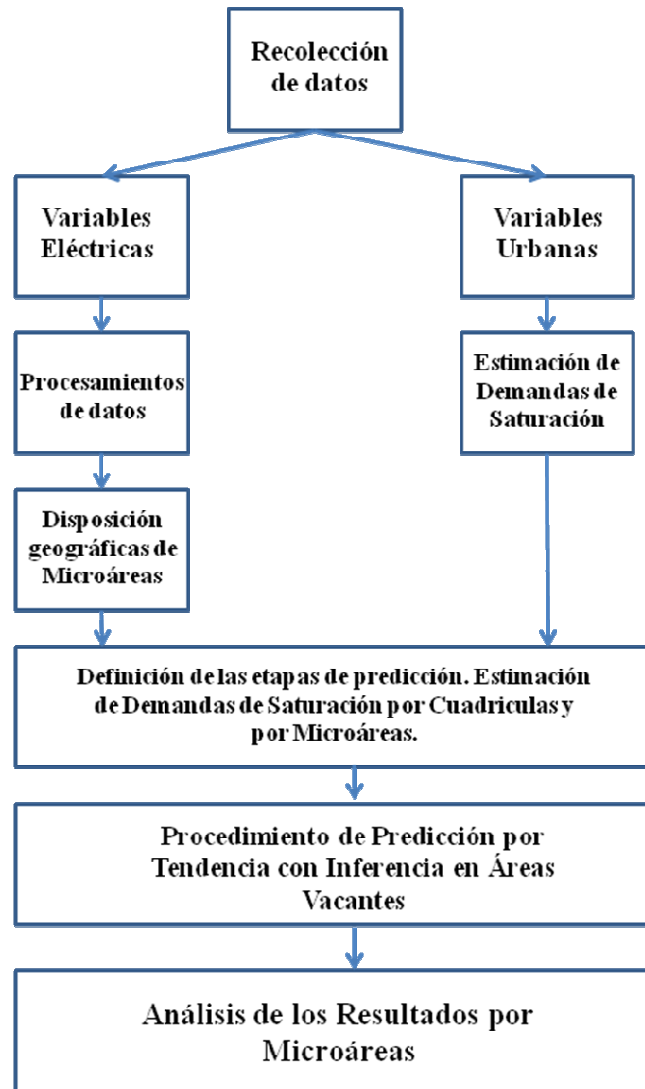
**Figura N° 3.10 Comportamiento real de la carga por microárea**



La curva de Sigmoidal, modela el comportamiento natural de saturación relacionado con el crecimiento de la demanda en una microárea. Se necesitan el valor de saturación para la estimación de la curva y su aplicación en las áreas vacantes, generalmente, el valor de saturación se conoce como demanda de saturación o valor estimado de carga en un año horizonte.

Existen diversas metodologías para estimar la carga en los años horizonte, entre ellas se pueden mencionar: métodos basados en el uso de saturación de aparatos eléctricos, proyecciones de índices de consumo, métodos de uso de la tierra o estimaciones intuitivas basadas en experiencias previas y/o conocimiento regional o local del personal a cargo del sistema de distribución. En la Figura N° 3.11, se presenta el flujograma de este método de pronóstico.

**Figura N°. 3.11 Flujograma del método de Tendencia Histórica e Inferencia en Áreas Vacantes.**



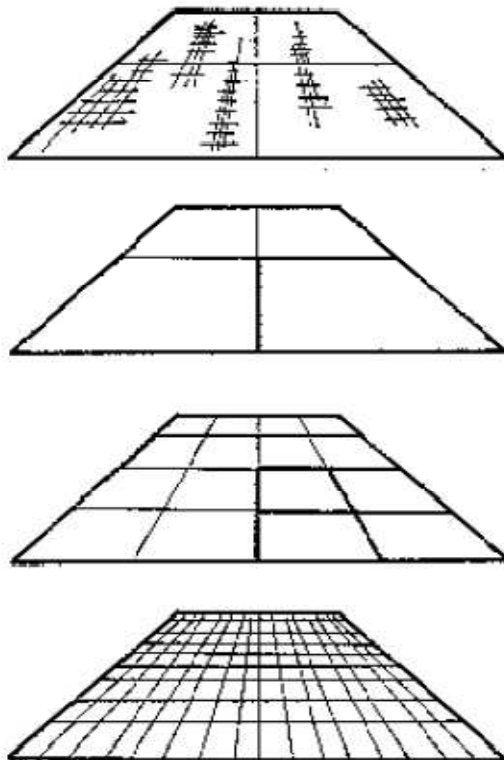
El procedimiento empleado para el cálculo de la carga en el año horizonte se basa en la obtención del índice “kVA/Ha” para cada zonificación o tipo de uso de la tierra considerado en el año horizonte, con estos índices se determina la carga de la microárea en el año horizonte multiplicando el índice (kVA/Ha) por la superficie (Ha) que en ella ocupa cada clase de uso de la tierra, para luego sumar éstas contribuciones [1], adicionalmente, se calcula la densidad de carga residencial, comercial e industrial usando los datos históricos de las diversas planillas de



recopilación de datos, en el caso CADAFE las planillas “SUS-50” que contiene el número de suscriptores promedio anual y su consumo en MWh. Se extrapola usando mecanismo como series lineales, logarítmicas, exponenciales o a curvas logísticas.

La Figura N° 3.12, muestra el procedimiento de este método, el cual se inicia en el área total de estudio, dividiéndolo en cuadrantes y determinando el pronóstico para cada uno de ellos, a la vez que se ajusta la serie de puntos obtenidos y se extrapola con una curva que modela el comportamiento, como las que representan las Ec. 3.5, utilizando como valor de saturación la suma de la carga en el año horizonte de todas las microáreas.

**Figura N° 3.12 Procedimiento del Método de tendencia histórica e inferencia en aéreas vacantes**



**Primer Paso:** Sumar las demandas de todos las microáreas y extrapolar el total

**Segundo Paso:** Subdividir, sumar la demanda histórica de cada cuadrante y determinar su tendencia. Ajustarla para los cuatro subcuadrante dependiendo el criterio.

**Tercer Paso:** Similar, subdividir y determinar la tendencia en cada subcuadrante. Ajustar.

**Resultado por microáreas**

En los ajuste sucesivos que se hacen, después que se divide el área total en cierta cantidad de cuadrículas y microáreas, se extrapola la tendencia de cada una de ellas, luego se compara la sumatoria y las cargas obtenidas en estas cuadrículas con el valor estimado de carga en el área para el año “t” de predicción, Ec 3.6 (a).

$$L(t) = \sum_{k=1}^N l_k(t) \quad L(t) - \sum_{k=1}^N l_k(t) \quad \text{Ec. 3.6 (a) y 3.6 (b)}$$

Donde:

$L(t)$ : Carga obtenida para la subárea o región total en el año “t” de predicción.

$\sum_{k=1}^N l_k(t)$ : Carga obtenida para la cuadrícula “k” en el año “t” de predicción.

Se presenta tres (3) casos producto de interrelacionar el pronóstico para la subárea o región total y la sumatoria del pronóstico por cuadrícula.

Primer caso, cuando la ecuación 3.6 (b) es mayor a cero, lo cual nos indica que se debe ajustar el pronóstico por cuadrícula distribuyendo la diferencia entre las cuadrículas que integran la región o subárea, esta dispone dos criterios: el criterio de grado de desarrollo y el criterio de áreas vacantes.

Segundo caso, cuando la ecuación 3.6 (b) es igual a cero, muestra que el pronóstico para la región es acertado y no requiere mayor ajuste.

Tercer caso, cuando la ecuación 3.6 (b) es menor a cero, se refiere a la sumatoria de los pronósticos por cuadrícula es mayor al pronóstico de la región o subárea, el ajuste se lleva a cabo bajo el criterio de rata de crecimiento

En general, el proceso de ajustes de las demandas en el año “t” de las cuadrículas, si es que se requiere, se hace siguiendo los criterios de:

- a. Inferencia en áreas vacantes.
- b. Grado de desarrollo
- c. Rata de crecimiento

**Criterio de inferencia en áreas vacantes** se aplica, si ocurre que:

$$L(t) > \sum_{k=1}^N l_k(t) \quad (\text{Ec. 3.7})$$

Existen cuadrículas que contienen sólo microáreas vacantes, la diferencia de carga se reparte entre las cuadrículas que contienen sólo áreas vacantes, proporcionalmente a su demanda de saturación o valor estimado de carga en el año horizonte. Este ajuste se hace según la ecuación:

$$l_k(t) = \left[ L(t) - \sum_{j=1}^N l_j(t) \right] \times \frac{Ds_k}{\sum_{j=1}^M Ds_j} \quad (\text{Ec. 3.8})$$

Donde:

$Ds_k$ ; demanda de saturación de la cuadrícula “k”

$M$ ; número de cuadrículas que contienen sólo microáreas vacantes.

**Criterio de grado de desarrollo**, se refiere a la cercanía de la magnitud de carga en el año “t” a la carga de saturación o carga estimada para el año horizonte. En base a este concepto la diferencia, se repartirá entre las cuadrículas inversamente proporcionales al grado de desarrollo, es decir, a las cuadrículas que más se acerquen a su demanda de saturación se le asigna menos carga de la diferencia, que aquellas que se alejen de la saturación. Este ajuste se hace utilizando la ecuación:

$$l_k(t) = l_k(t) + \left[ L(t) - \sum_{i=1}^N l_i(t) \right] \times \frac{Ds_k - l_k(t)}{\sum_{i=1}^N (Ds_i - l_i(t))} \quad (\text{Ec. 3.9})$$

$$k = 1, 2, 3, 4 \dots N$$

Donde K: es el número de cuadrículas

Por el contrario si ocurre que:

$$L(t) < \sum_{k=1}^N l_k(t) \quad (\text{Ec. 3.10})$$

Se aplica el **criterio de crecimiento interanual**, esto se debe a un aumento interanual exagerado de la carga de alguna de las cuadrículas. Con base en esto, la diferencia se le subtrae a cada cuadrícula proporcionalmente al crecimiento interanual entre el año considerado y el anterior, según la ecuación:

$$l_k(t) = l_k(t) + \left[ \sum_{i=1}^N l_i(t) - L(t) \right] \times \frac{l_k(t) - l_k(t-1)}{\sum_{i=1}^N (l_i(t) - l_i(t-1))} \quad (\text{Ec. 3.11})$$

$$k = 1, 2, 3, 4 \dots N$$

Donde K: es el número de cuadrículas

Este método evita la sobreextrapolación con el uso del año horizonte y utiliza el concepto de inferencia de áreas vacantes para mejor resolución en la predicción de carga. También disminuye el error introducido en los datos históricos por las transferencias de carga, cuando se usan áreas relacionadas con influencia de equipos. Esto ocurre ya que dichas transferencias generalmente se realizan entre alimentadores geográficamente adyacentes, lo que implica que sus tendencias serán sumadas y ajustadas en conjunto.

Este proceso de extrapolación de tendencia, división en cuadrículas y ajustes de curvas se repite para cada cuadrícula, hasta llegar en las continuas subdivisiones a la resolución de microáreas, con lo cual se habrá finalizando el proceso.

### **3.8.3 Programa de análisis de redes de distribución (PADEE)**

El PADEE no califica como método de pronóstico por ser parte de un programa de análisis de sistema de distribución. Este programa mantiene la ubicación de los equipos de la red primaria, secundaria y los puntos de consumo, además puede asociar diversas características a los equipos como una carga o picos de demandas.

Se utiliza como herramienta computacional para diferentes cálculos y análisis dentro de los estudios de sistema de distribución mediante una serie de subprogramas, que pueden realizar las siguientes actividades:

- a. Calcular la demanda inicial por cuadrícula a través de los análisis del sistema de redes primarias (PARP), mediante el cual se totaliza la demanda asignada a los transformadores de una cuadrícula.
- b. Totalizar la energía de los consumidores por cuadrícula utilizando el subprograma PPDCM y la interrelación que se hizo en el Programa de Abonados asociando los consumidores a sus respectivos postes o estructuras.
- c. Extrapolar la carga mediante análisis de una zona en particular si se conoce de proyectos especiales cambios en el uso de la zonificación.
- d. El uso sistemático de los subprogramas antes mencionados permite al usuario obtener las variables más importantes para comenzar a realizar la predicción de la demanda. Los programas del PPDCM facilitan las tareas del trabajo de planificación y dejan abierta la posibilidad al ingeniero de aplicar los métodos que mas guste según los datos que se dispongan.

Podemos nombrar diversas opciones que presenta PADEE para el pronóstico de demanda.

**Tabla N° 3.3. Opciones de PADEE para el pronóstico de demanda**

Opción	Descripción
<b>Programa de Totalización de Energía (TOTENE)</b>	Programas para la totalización de energía por cuadrícula o microárea. Regenera o crea una base de datos con los datos históricos disponible.
<b>Programa de Totalización de Cargar (TOTCAR)</b>	Programas para la totalización de carga por cuadrícula o microárea. Regenera o crea una base de datos con los registros disponible.
<b>Predicción de demanda por zonas (PPDZO)</b>	Este módulo permite totalizar la demanda de los transformadores de una zona y luego multiplicarla por un factor de crecimiento dado. Es útil cuando no se poseen datos para realizar la predicción de la demanda, permite hacer crecer el área de influencia de una subestación utilizando métodos históricos simples.

Se muestra más como una herramienta georeferenciada para ubicar y calcular la carga en una región que como un método de pronósticos de demanda. El método de pronóstico se denota en el cálculo del factor de crecimiento que debe proporcionar el planificador para poder multiplicar en la zona bajo estudio. No muestra claramente qué papel juega las áreas vacantes. En general, dentro de PADEE no maneja ninguna metodología clara en el pronóstico de demanda, son diversas herramientas que facilitan al planificador obtener información del sistema de distribución bajo estudio.

<b>Tabla N° 3.4 Metodologías utilizadas por CADAFE en el pronósticos de demanda</b>					
<b>MÉTODO</b>	<b>BREVE DESCRIPCIÓN</b>	<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>	<b>AREAS DE INTERES PARA PROPUESTA DE METODOLOGIA</b>	
SISTEMA DE ADMINISTRACION DE DISTRIBUCION (SAD)	Metodología basada en un método de simulación de uso de la tierra Metodología usada para corto y mediano plazo. Forma parte de los métodos de simulación.	Incluye variables económicas y uso de la tierra dentro de su proceso	Al tener una componente fundamental dentro de su proceso netamente intuitivo sus resultados eran poco confiables. También era costoso con relación a otras metodologías que obtenían un mejor resultado	Debido a estudios anteriores se descarto el uso de esta metodología porque tiene muchos factores que dependen de la intuición	
TENDENCIA HISTORIA E INFERENCIA EN AREAS VACANTES POR INFLUENCIA DE CIRCUITOS	Es un método tendencial monovariable y se combina con áreas que no tienen registros históricos y zonas que se consideran desarrollables. Metodología usada para corto y mediano plazo.	Mejora la resolución de localización de la demanda eléctrica. Bajo costo de implementación. Algoritmos sencillos. Incluye zonas que no tienen data histórica	A la hora de asignar registro de demanda a áreas vacantes, lo reparte equitativamente en función de variable del Modelo de Oferta	Algoritmo implementado con reticulado uniforme. Procedimiento para el cálculo de los factores de saturación.	
PROGRAMA DE PREDICCIÓN DE DEMANDA DE PADEE	No es una metodología. Es un grupo de herramientas que pueden ser utilizadas en cualquier metodología	Las herramientas manejan información de gran utilidad para el desarrollo de las metodologías propias o existentes	La herramienta que existe para el pronóstico de la demanda actualmente solo es aplicar una formula de tasa de crecimiento.	Uso de las herramientas para la distribución de la demanda de los circuitos por cuadrícula.	

### 3.9 Conclusiones sobre los métodos de pronósticos

Los métodos de pronósticos se diferencian entre sí por distintas características que influyen a la hora que el planificador escoger el modelo a implementar, dentro de las características consideradas para su selección se muestran continuación.

- a. **Exactitud y aplicabilidad:** La exactitud del pronóstico del crecimiento y la localización de la demanda es la consideración primaria en la selección de un método, a medida que se incluyan mayor cantidad de variables, mejora la exactitud y aumenta la dificultad en su aplicabilidad.
- b. **Plazos de pronóstico:** Indica el horizonte del tiempo a proyectar. Cada método tiene un período donde sus resultados son óptimos y confiables.
- c. **Disponibilidad y requerimiento de datos:** Cada modelo tiene una cantidad de datos que requiere para completar el proceso de pronóstico.
- d. **Costos de implementación:** El seguimiento, registro y recolección de datos, de variables e información respecto a la región tiene como consecuencia el incremento de los recursos financieros y talento humano.
- e.

**Tabla N° 3.5 Plazos de pronósticos de los métodos**

Método de pronóstico	Plazo de pronóstico
1-Métodos Tendenciales Tradicionales: Promedio Simple, Media Móvil, Media Móvil Ponderado	Corto Plazo
2-Agrupamiento de Patrones Similares	Corto Plazo
3-Polos urbanos	Mediano Plazo
4-Tendencia Histórica e inferencia en áreas vacantes 4.1 Por alimentador 4.2 Por cuadrícula	Mediano Plazo
5-Usos de la tierra	Mediano y Largo Plazo
6-Pronóstico espacial de la carga mediante Sistemas de Información Geográfica 6.1 Regresión Lineal 6.2 Polos Urbanos 6.3 Uso de la Tierra	Corto, Mediano y Largo Plazo
7-Sistemas expertos	Corto, Mediano y Largo Plazo
8-Lógica Difusa	Corto, Mediano y Largo Plazo



En la Tabla N° 3.5, se refiere a plazo del pronóstico de los métodos para la cual los resultados que se obtienen son óptimos y confiables. La Tabla N° 3.6 muestra la cantidad y el tipo de variables que requiere cada método.

**Tabla N° 3.6 Disponibilidad y requerimiento de datos por método de pronóstico**

<b>Métodos de pronóstico</b>											
TIPOS DE DATOS	1	2	3	4		5	6			7	8
				4.1	4.2		6.1	6.2	6.3		
Picos de demanda por alimentador	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Picos de demanda por subestaciones	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Ubicación geográfica de las S/E						X			X	X	X
Baja resolución de planos		X	X								
Alta resolución de planos				X	X	X			X	X	X
Curvas de Cargas						X				X	X
Picos de Demanda por suscriptor	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X
Posición geográfica de la vialidad						X	X		X	X	X
Usos de la Tierra		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Digitalización del Sistema Eléctrico de Distribución					X	X	X		X	X	X
Censo de Población y demografía						X		X	X	X	X

**1-Métodos Tendenciales Tradicionales:** Promedio

Simple, Media Móvil, Media Móvil Ponderado

**2-Agrupamiento de Patrones Similares**

**3-Polos urbanos**

**4-Tendencia Histórica e inferencia en áreas**

**vacantes**

4.1 Por alimentador      4.2 Por cuadrícula

**5-Usos de la tierra**

**6-Pronóstico espacial de la carga mediante SIG**

6.1 Regresión Lineal      6.2 Polos Urbanos

6.3 Uso de la Tierra

**7-Sistemas expertos**

**8-Lógica Difusa**

En la Tabla N° 3.7, se indica la evaluación de los distintos métodos, el grupo de planificación mediante criterios cualitativos analiza y concluye que el nivel de preferencia está relacionado al conjunto de características que hacen un método sea integral, que cumplan con los requerimientos bajo sus limitaciones en cuanto a recursos financieros, disponibilidad de talento humano, el requerimiento y registro de variables. La ponderación en la escala de uno (1) a cinco (5) se utiliza para medir las respuestas de los integrantes del grupo, aun cuando se hiciera de manera informal recoge las diversas opiniones que a lo largo del periodo de trabajo se pudo recolectar en las distintas mesas de trabajos, que dieron a lugar el estudio del Plan de Expansión del Sistema Eléctrico de CADAFE 2014-2019.

**Tabla Nro. 3.7. Evaluación de los distintos métodos de pronóstico**

<b>Caract.</b>	<b>Exactitud y aplicabilidad</b>	<b>Plazo de pronóstico</b>	<b>Disponibilidad y requerimientos de datos</b>	<b>Costos</b>	<b>Requerimiento de talento humano</b>	<b>Aplicabilidad en CADAFE</b>
<b>Métodos Analíticos</b>						
1-Métodos Tendenciales Tradicionales	2	2	1	1	1	1
2-Agrup. de Patrones Similares	3	2	2	1	1	1
3-Polos urbanos	3	2	2	2	1	2
4.1 IAV Por alimentador	3	3	3	2	3	3
4.2 IAV Por cuadrícula	3	3	3	2	3	4
5-Uso de la tierra	4	4	4	4	3	3
6.1 SIG-Regresión Lineal	4	3	3	3	2	3
6.2 SIG-Polos Urbanos	4	4	3	3	3	4
6.3 SIG-Uso de la Tierra	5	5	4	3	3	4
7-Sistemas expertos	5	5	5	5	4	1
8-Lógica Difusa	5	5	5	5	4	1

**4-Tendencia Histórica e inferencia en áreas vacantes. IAV**

**6-Pronóstico espacial de la carga mediante Sistemas de Información Geográfica-SIG**

Escala: 1-Nivel Bajo, 2-Nivel Medio-Bajo, 3-Nivel Medio, 4-Nivel Medio-Alto, 5-Nivel Alto

## CAPITULO IV

### 4 PROPUESTA DE METODOLOGÍA PARA EL PRONÓSTICO DE LA DEMANDA

#### 4.1 Introducción

El presente capítulo tiene como objetivo fundamental presentar la metodología construida que permita al planificador realizar los pronósticos de la demanda de las regiones atendidas por CADAPE; para ello, se utiliza como referencia las características y ventajas de los distintos métodos ya revisados y analizados para crear una metodología propia.

#### 4.2 Construcción de la Metodología

Para la construcción, se consideran características y ventajas de métodos tales como: Método de Tendencia Histórica con Inferencia en Áreas Vacantes, Método del Uso de la Tierra, Método de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), Proceso de Jerarquía Analítica (PJA) y Proceso de Evaluación Multicriterio (EMC). Las características más resaltantes de cada método a utilizar se mencionan a continuación:

- **Método de Tendencia Histórica con Inferencia en Áreas Vacantes:**  
Ventajas:
  - Toma en cuenta el análisis del área en estudio por microáreas.
  - Toma en cuenta la saturación de la demanda por microárea, a través de una función en forma de “S”.
  
- **Método del Uso de la Tierra:**  
Ventajas:
  - Utiliza los conceptos de Modelo de Demanda, de Oferta y de Carga.

- El desarrollo de las microáreas responde a la evolución de la carga existente y a parámetros urbanísticos de oferta y demanda.
  - Se emplea la demanda de saturación como parámetro de oferta.
- **Métodos de los Sistemas de Información Geográfica (SIG):**  
Ventajas:
    - Construye un modelo con acceso sistemático y progresivo de los registros de las variables y parámetros propios de la región en estudio.
    - Monitorea variables urbanísticas tales como: vialidad, zonificación, lagunas, ríos, población; así como las variables y parámetros eléctricos, tales como redes eléctricas de distribución primaria y secundaria.
    - Introduce conceptos y procesos matemáticos como el proceso de análisis de cuadrícula y ponderar a través de capas que relacionan parámetros de índole urbanístico y eléctrico.
- **Proceso de Jerarquía Analítica (PJA):**  
Ventajas:
    - Se determina un peso para cada capa que modela urbanísticamente la región y pondera su influencia en el comportamiento de la cuadrícula al momento de acoger demanda adicional. Dichos pesos se obtienen bajo la evaluación de cualidades cuantitativas y cualitativas, ver Anexo C-6.
- **Proceso de Evaluación de Multicriterios (EMC):**  
Ventajas:
    - Normaliza cada una de las capas consideradas y aplicar Método Sumatoria Lineal Ponderada.
    - El resultado obtenido indica que porcentaje del diferencial de demanda le corresponde adicionar a cada cuadrícula.

La combinación de los métodos anteriores, permite la toma de decisiones a través del cálculo de coeficientes que modelan un área en estudio dividido en cuadrículas, donde se integran variables de tipo urbanísticas con variables eléctricas, para obtener el pronóstico de la demanda, en magnitud y su localización espacial.

### **4.3 Proceso de Pronóstico**

Este proceso se resume en la Figura N° 4.1, donde se muestra el flujograma de la metodología propuesta la cual puede dividirse en cuatro (4) etapas que se describen a continuación.

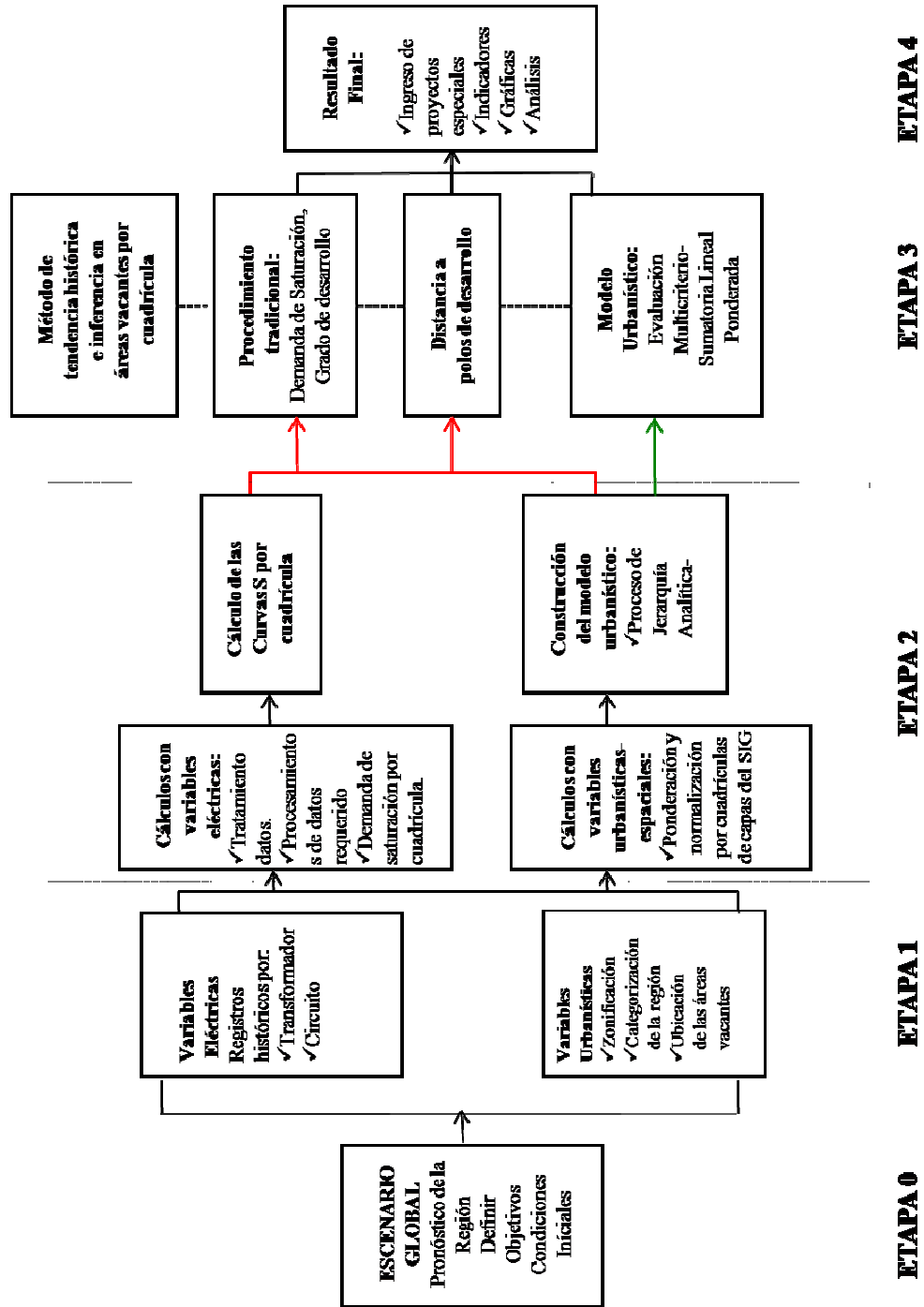
#### **4.3.1 Etapa 0: Escenario Global.**

Se describe y delimita el área de estudio, con el objeto de ubicar el contexto urbanístico y de desarrollo que presenta.

##### **4.3.1.1 Pronóstico general de la región.**

Actualmente, CADAFE dispone dentro de su estructura interna del Grupo de Estudios de Demanda, adscrito a la Gerencia de Planificación de Generación/Transmisión de la Dirección Ejecutiva de Planificación de Expansión del Sistema Eléctrico. En este grupo recae la responsabilidad de realizar los pronósticos de potencia y energía en los distintos subsistemas que conforman el sistema eléctrico de CADAFE, siendo el nivel mínimo de pronóstico el realizado por subestaciones a 115kV. La metodología utilizada para realizar los pronósticos de demanda por subestación 115 kV es el Análisis de Series de Tiempo, utilizando la Metodología de Box-Jenkins para obtener los Modelos ARIMA, también se emplean técnicas de suavizamiento; se procede a la depuración de cada una de las series resultantes a través de las Gráficas de Control mediante bandas, lo que permite determinar la presencia de puntos atípicos de la serie.

Figura N° 4.1 Metodología propuesta



Los resultados obtenidos, representa el pronóstico global del área a estudiar, y significa el punto de inicio para realizar el pronóstico de la demanda a nivel de distribución divididos por microárea.

#### **4.4 Etapa uno (1): Datos requeridos**

Se recoge toda la información requerida por la metodología como entradas, incluye registros de variables eléctricas y variables urbanísticas tales como:

##### Variables Eléctricas:

- Registros históricos de carga y energía de elementos que conforman el sistema de distribución, como: líneas de transmisión, transformadores, subestaciones y circuitos.
- Registros históricos de número de usuarios, tipificado por sector.
- Factor de Carga, Factor de Potencia y Factor de Coincidencia.
- Topología de la Red tanto en Alta y Media Tensión, en la medida se debe incorporar los registros por punto de consumo como elemento esencial para aumentar la precisión de la localización de la demanda futura.

##### Variables Urbanísticas:

- Plan de Ordenamiento Territorial del Área en estudio.
- Plan de Ordenamiento Urbano. Zonificación

#### **4.5 Etapa dos (2): Procesamiento de datos**

En esta etapa se aplican todos los procedimientos necesarios para analizar y depurar los datos de las diferentes variables de naturaleza eléctrica y urbanística que serán ingresadas a los distintos métodos de pronósticos.

#### **4.5.1 Cálculos con variables eléctricas**

Se someten a un proceso de análisis y depuración los registros históricos de los circuitos, transformador y subestaciones que forman parte del sistema eléctrico del área en estudio, con la finalidad de reducir la incertidumbre que introducen las transferencias de carga u otros eventos propios de la operación del sistema eléctrico, siendo ideal, que el planificador regional registre las eventualidades y determine las magnitudes de cargas asociadas a cada una de las maniobras, además debe supervisar y controlar la toma de datos.

##### **4.5.1.1 Depuración de los datos históricos**

Se analizan los registros históricos de datos para de determinar variaciones bruscas de cargas e inconsistencias. A tal efecto, se utilizan métodos de tendencia para depurar y suavizar los registros históricos. Se puede considerar el Promedio Móvil o Media Móvil Ponderada como método utilizado para suavizar y depurar.

Al final de este proceso se obtienen los registros históricos por circuitos, transformadores y subestaciones de distribución a utilizar en la metodología y su objetivo de construir la estructura de evolución de la demanda por cuadrícula.

##### **4.5.1.2 Procesamiento de los datos obtenidos**

Los registros históricos por circuitos se distribuye de manera proporcional entre cada uno de los transformadores de distribución conectados a ellos, el factor de proporcionalidad utilizado relaciona la capacidad individual de cada banco de transformación entre la capacidad nominal total instalada en el circuito respectivo. Para ello se utiliza la Ec 4.1.



$$C_{maxTr_{ij}} = \frac{C_{maxCr_i}}{Fc} \times \frac{kVA_{inst_j}}{\sum_1^N kVA_{inst_m}} \quad (Ec.4.1)$$

Donde

$C_{maxTr_{ij}}$  : Carga Máxima del transformador  $j$  asociado al circuito  $i$

$C_{maxCr_i}$  : Carga Máxima del circuito  $i$

$Fc$  : Factor de coincidencia asociado al sistema circuito-transformador de distribución asociados al circuito

$kVA_{inst_j}$  : Capacidad Instalada en kVA del transformador  $j$  asociado al circuito  $i$

$\sum_1^N kVA_{inst_m}$  : Sumatoria de la Capacidad Instalada en kVA de los transformadores de distribución  $j$  a conectados lo largo del circuito  $i$ .

Es indispensable contar para cada año del registro histórico, con la planimetría donde se represente la configuración del sistema de distribución para el momento de la toma de datos. Se cuenta con la herramienta computacional PADEE para realizar las redistribuciones de cargas.

Al concluir el proceso de redistribución por transformador de distribución, se procede a determinar la carga máxima por cuadrícula, para lo cual se realiza la sumatoria de la carga máxima asignada a los transformadores de distribución localizados en las cuadrículas mediante la ecuación Ec. (4.2). El proceso se repite para cada período que conforman el registro histórico. El producto final es un registro histórico de carga por cuadrícula para su uso posterior en la metodología.

$$C_{maxCu_{ij}} = \sum_1^M C_{maxTr_k} \quad Ec (4.2)$$

Donde

$C_{maxCu_{ij}}$  : Carga máxima de la cuadrícula  $ij$

: Carga máxima del transformador  $k$  dentro de la cuadrícula  $ij$

Es importante resaltar que para los cálculos a nivel de microárea se supone que el factor de coincidencia es igual a uno (1), esto obedece a que el pronóstico se enfoca en la carga máxima en cada una de las cuadrícula, utilizando los valores de carga máxima por circuito y transformadores como valores intermedios en el proceso de pronóstico de la demanda. El proceso inverso, para obtener la demanda de grandes áreas o subáreas no produce resultados válidos, siendo necesario considerar los factores de coincidencia para la planificación de la red primaria y secundaria, y en especial en el dimensionamiento de transformadores y subestaciones.

#### **4.5.1.3 Demanda de saturación.**

La demanda de saturación es el valor que indica la máxima demanda que puede alcanzar una cuadrícula en un tiempo y características urbanísticas determinadas. El valor de la demanda de saturación se puede calcular de tres (3) maneras diferentes:

##### **1. Demanda de Saturación por Estimaciones de densidades de cargas:**

Estima la demanda de saturación considerando las densidades de cargas para el año horizonte (T+25 años), manteniendo la zonificación actual y proyectando al año horizonte la densidad de carga. Se definen variables como: el área neta utilizada para cada zonificación, estimaciones de número de habitantes por hectáreas, estimaciones de números de comercios e industrias, valores de densidad de población ajustado a la zonificación y los porcentajes neto o grado de ocupación de la tierra en cada tipo de zonificación, para el cálculo de la densidad de carga, se utilizan las ecuaciones mostradas en el Anexo C-3, luego de conocidos los valores de densidad de carga para cada zonificación y el aprovechamiento neto de cada una de éstas,

se estima la demanda de saturación o valor estimado de carga en el año horizonte para cada microárea según la Ec (4.3)

$$D_{sat_k} = \frac{\sum_{i=1}^P (Dc_i \times UT_{ki} \times (\sum_{j=1}^M \%A_{ij}))}{V_{ll} \times \sqrt{3}} \quad \text{Ec (4.3)}$$

$$K = 1, 2, 3, 4, \dots, N$$

Donde:

**N**: Número de microáreas o nodos conceptuales considerados

**$D_{sat_k}$** : Demanda de saturación o valor estimado de carga para el año horizonte en la microárea “k”. [A]

**P**: Número de tipos de zonificación en cada microarea.

**$Dc_i$** : Densidad de carga en [Kva/Ha] para la zonificación “i”

**$UT_{ki}$** : Uso de la tierra en hectáreas [Ha] de la zonificación “i” en la microárea “k”

**$\%A_{ij}$** : Porcentaje de aprovechamiento neto “j” de la zonificación “i”.

**$V_{ll}$** : Tensión línea a línea de los alimentadores considerados. [Kv]

**M**: Tipos de aprovechamiento neto de la zonificación “i”.

Para calcular la demanda de saturación de las áreas vacantes se procede a ubicar o asignar el posible uso o zonificación que pueda tener y asociar una demanda de saturación o densidad de carga similar a sus características urbanísticas.

## 2. Demanda de saturación por redistribución de cuadrícula:

Redistribuye la estimación de la demanda total del área bajo estudio a las cuadrículas para el año horizonte en T+25, utilizando la configuración del sistema eléctrico actual de distribución, el cual es utilizado para redistribuir la

demanda entre los distintos transformadores de distribución conectados a la red.

Para calcular la demanda de saturación del área vacante, se considera que ésta es un promedio simple de la demanda de saturación de las áreas cercanas, y se toman como criterio que la evolución de la cuadrícula está relacionada al desarrollo de cuadrículas vecinas.

### **3. Demanda de saturación por patrones de densidad de carga:**

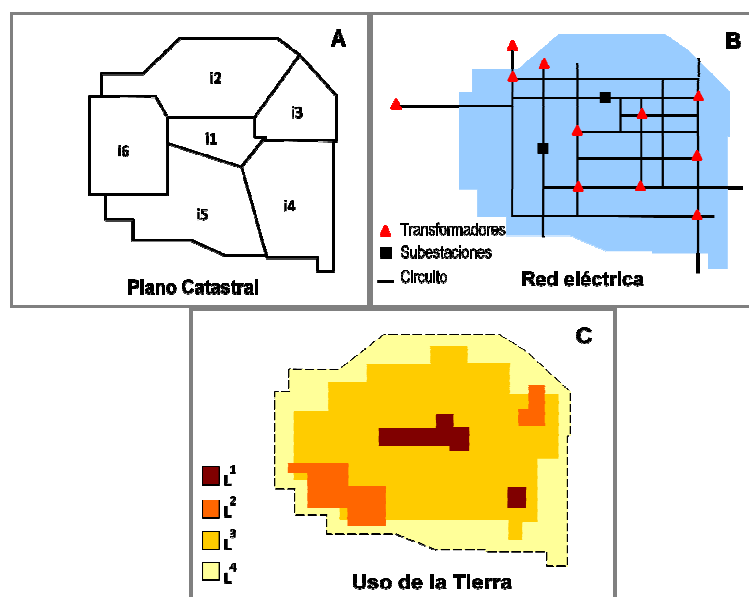
Clasifica el tipo de usuarios y el área máxima que se puede desarrollar bajo los parámetros urbanísticos actuales, según valores normalizados o registros del pasado, como resultado se obtienen densidades de carga por tipo de clasificación, el método permite inferir el uso de la tierra o el tipo de zonificación, según la clasificación de CADAFE, al utilizar el plano catastral junto con la red eléctrica y proceder a tener un plano de zonificación tentativo para la estimación de la demanda de saturación por patrones de densidad de carga.

La Figura N° 4.2, indica que el área bajo estudio debe contar con un plano catastral y un plano de la red eléctrica para poder inferir el uso de la tierra.

Después de obtener el uso de la tierra y las densidades se procede a ubicar la contribución por cada cuadrícula la densidad de cada tipo de usuario. En caso alternativo se ubica el posible uso mayoritario según la información extraída de los planos catastrales y de la red eléctrica dentro de la planimetría y se multiplica la densidad de carga asociada a ese uso por el tamaño de la cuadrícula considerado.

Al finalizar el cálculo de la demanda de saturación, por cualquiera de los tres (3) métodos, y de acuerdo a la información disponible, se combina con los valores obtenidos del registro histórico de carga por cuadrícula, para modelar el comportamiento de cada una de las microáreas.

**Figura N° 4.2 Ejemplo demostrativo de la inferencia del tipo de uso de la tierra según plano catastral y el plano de la red eléctrica**



#### 4.5.2 Cálculos con variables urbanísticas-espaciales

En esta etapa se analiza la zona bajo estudio, se debe contar con la siguiente información: catastro de la zona en estudio, zonificación obtenida desde el Plan de Ordenamiento Territorial o el Plan de Ordenamiento Urbano, conocimiento de proyectos de desarrollos, y fundamentalmente con visitas al sitio, como resultado de la conjugación todas estas variable se detectan áreas de potencial desarrollo, grado de desarrollo del área en estudio, áreas vacante susceptibles a desarrollo, áreas vacantes no desarrollables.

#### 4.5.2.1 Ponderación y normalización de la información espacial de la región

Con el objeto de construir un modelo urbanístico, se requiere la ponderación y normalización de la información espacial, que significa preparar las variables para su eventual entrada a procedimiento de la Sumatoria Lineal Ponderada. Según la ecuación 4.4, se obtienen la normalización de las respectivas ponderaciones de cada capa de información espacial que se toman en cuenta.

$$m_{ij} = \frac{X_{ij}}{\max X_{ij}} \quad \text{Ec.(4.4)}$$

Donde:

$m_{ij}$ : Valor de la cuadrícula  $i$  normalizada de la capa  $j$

$X_{ji}$ : Valor de la cuadrícula  $i$  a normalizar de la capa  $j$

$\max X_{ij}$ : Valor máximo de las cuadrículas en la capa  $j$

#### 4.5.3 Cálculo y Estimación futura mediante la función matemática que modela la curva tipo Sigmoidal o Curva “S”

En este paso se procede a calcular la serie de puntos para construir el modelo matemático que representa el comportamiento de demanda de las cuadrículas, combinando los registros históricos de cada microárea y la demanda de saturación. Entre las posibles funciones que modelan ese comportamiento, se recomienda la curva que depende de la función tangente hiperbólica por tener mayor sencillez de cálculo y representa al modelo matemático simula el comportamiento de saturación de las cuadrículas.

Se obtienen los pronósticos por año para cada una de las cuadrículas con registro histórico, luego se ajustan las estimaciones para asignar demanda a las áreas vacante o microáreas que son aptas para desarrollarse. En el anexo C-7, se muestra el proceso de cálculo de la curvas S mediante la función hiperbólica.

#### 4.5.4 Construcción del modelo urbanístico: Proceso de Jerarquía Analítica

Por medio del Proceso de Jerarquía Analítica se obtienen los factores de pesos de cada una de las capas que representan las características del modelo urbanístico utilizado para evaluar la región, esto permite integrar datos estadísticos, geográficos y/o registros históricos, con el objetivo de asignar a las cuadrículas porcentajes de demanda, adicionales a la demanda inicial que se le asigna a las cuadrículas, con la finalidad de redistribuir el bloque de demanda de la diferencia existente entre el pronóstico global del área de estudio y las sumatoria del comportamiento individual de cada cuadrícula, incluyendo la asignación a las áreas vacantes.

Se emplea el tabulador mostrado en la Tabla N° 4.1 para construir la matriz que genere los factores de peso. En el Anexo C-6 se muestra el procedimiento detallado para la construcción de la matriz, y se utiliza un programa en línea para obtener el resultado del PAJ (en sus siglas en inglés AHP). <http://www.isc.senshu-u.ac.jp/~thc0456/EAHP/AHPweb.html>

**Tabla N°4.1 Tabulador para comparar aspectos cualitativos**

<b>Intensidad</b>	<b>Definición</b>	<b>Explicación</b>
1	Igual	Dos actividades contribuyen de igual forma al cumplimiento del objetivo. Siempre ocurre en los elementos de la diagonal de la matriz A.
3	Moderadamente Dominante	La experiencia y el juicio del experto favorecen levemente a un criterio sobre otro
5	Fuertemente Dominante	La experiencia y el juicio del experto favorecen fuertemente un criterio sobre otro.
7	Muy fuertemente Dominante	Un criterio es mucho más favorecido que otro, según el experto; su predominancia se demostró en la práctica.
9	Extremadamente Dominante	La experiencia y el juicio del experto favorecen una actividad sobre la otra, es absoluta y totalmente clara.
2, 4, 6, 8	Valores Intermedios	Cuando se necesita un compromiso de las partes entre valores adyacentes.

#### 4.6 Etapa tres (3). Aplicación de los métodos de pronóstico.

Previo a la aplicación de los métodos de pronóstico, se asume que el desarrollo de una cuadrícula se puede definir por la Ec. (4.5), representado esquemáticamente en la Figura N° 4.3, donde se visualiza el modelo matemático que representa el comportamiento de la cuadrícula.

$$Li_{(t+k)} = \Delta Li_{(t+k)} + LiS_{(t+k)} + LiPS_{(t+k)} \quad (\text{Ec 4.5})$$

En donde:

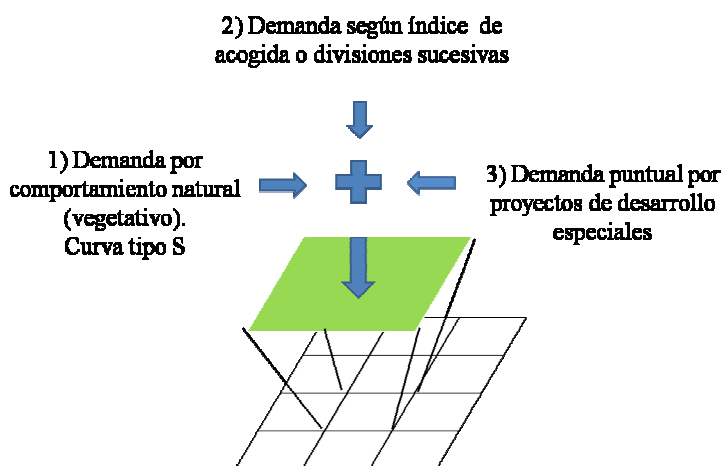
$Li_{(t+k)}$ : Es el valor de la demanda en el periodo  $t+k$

$\Delta Li_{(t+k)}$ : Es el valor adicional de la demanda que depende de los índices de acogida.

$LiS_{(t+k)}$ : Es el valor de la demanda producto del comportamiento de curva S en el periodo  $t+k$ .

$LiPS_{(t+k)}$ : El valor de la demanda producto de los proyectos especiales que ingresan en el período  $t+k$

**Figura N° 4.3 Composición de la demanda de una cuadrícula en un período T.**

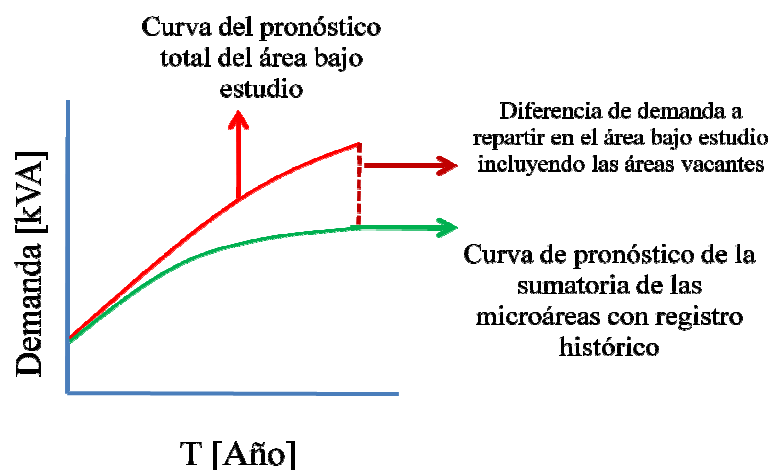




Bajo la definición anterior, se procede a distribuir el diferencial de demanda existente entre la proyección inicial del área bajo estudio y las sumatoria total de la demanda por cuadrícula. En la figura N° 4.4 se muestra de manera visual el excedente a distribuir entre todas las cuadrículas consideradas en el pronóstico. Para realizar la distribución se utiliza el método de tendencia histórica e inferencia en áreas vacantes según tres (3) ópticas:

- 1) La demanda de saturación de las cuadrículas, con divisiones sucesivas y tres (3) criterios de asignación.
- 2) La distancia de los polos de desarrollo, que incluye la identificación y agrupando las cuadrículas que son parte del polo de desarrollo a base de la demanda máxima producto del pronóstico inicial por cuadrículas.
- 3) El modelo urbanístico, que utiliza un Sistema de Información Geográfica simplificado para ubicar las variables y mediante el Proceso de Jerarquía Analítica y Análisis de Decisiones Multicriterio para ubicar el nivel de acogencia de cada cuadrícula.

**Figura N° 4.4 Escenario previo al aplicar los métodos de inferencias en áreas vacantes.**



#### **4.6.1 Tendencia Histórica con inferencia en Áreas Vacantes (Procedimiento tradicional por demanda de saturación)**

Este método está descrito en el capítulo 3, es un método de divisiones sucesivas con ajuste mediante la demanda de saturación basado idealmente en las zonificaciones de cada sector de la cuadrícula.

#### **4.6.2 Tendencia Histórica con Inferencia en áreas vacantes con distancia de polos urbanos**

Como paso inicial se identifican el o los polos de desarrollos existentes en el área de bajo estudio, generalmente, el centro de la ciudad o el centro de población principal en una región rural será un polo de desarrollo también pueden ser parques industriales o zona de centros comerciales.

El conocimiento de un plan nacional o plan rector facilita la ubicación de posibles polos de desarrollo urbano. Luego de identificado los polos de desarrollo, se procede a la ubicación de polos urbanos en el pronóstico de la demanda eléctrica, para lo cual se aplican las siguientes reglas [5]:

1. Como polo urbano se puede considerar cualquier centro de actividad (residencial, comercial o industrial) que este a un recorrido de más de diez (10) min. de cualquier otro polo, y tiene más de diez por ciento del área bajo estudio; dentro de un diámetro del recorrido de diez (10) min.
2. El radio de influencia de un polo urbano se basa generalmente en la regla de “45 minutos”; estudios del transporte han confirmado que 80% de todos los viajeros toman 45 minutos, o menos, en cada viaje, para hacer vida en la comunidad. Según lo anterior, el radio recomendado de cada polo urbano igual a  $R/0,894$ , donde la distancia  $R$  se estima que es la distancia que puede ser recorrida desde el centro de la actividad en 45 minutos. [5]

3. Se pueden utilizar funciones lineales de la distancia para visualizar los polos de desarrollo para trabajar adentro de las regiones.
4. Los polos urbanos son adimensionales, según lo aplicado, solamente relativo en materia de los valores, [5] se normaliza 1,0 como valor máximo. Se puede considerar la normalización de la demanda actual por cuadrícula como criterio para ubicar polos urbanos en base de la unión de cuadrículas que cumplen con un nivel de normalización.

Después de ubicar los polos urbanos, se calcula la distancia mínima de cada cuadrícula hacia los polos, como resultado, se obtiene un cuadrículado que representa las distancias de cada una de las cuadrículas al polo de desarrollo más cercano, esta información, combinada con la información de la zonificación, y la información de las áreas vacantes se pondera y se normaliza, para que finalmente se redistribuya el diferencial de demanda utilizando la Sumatoria Lineal Ponderada.

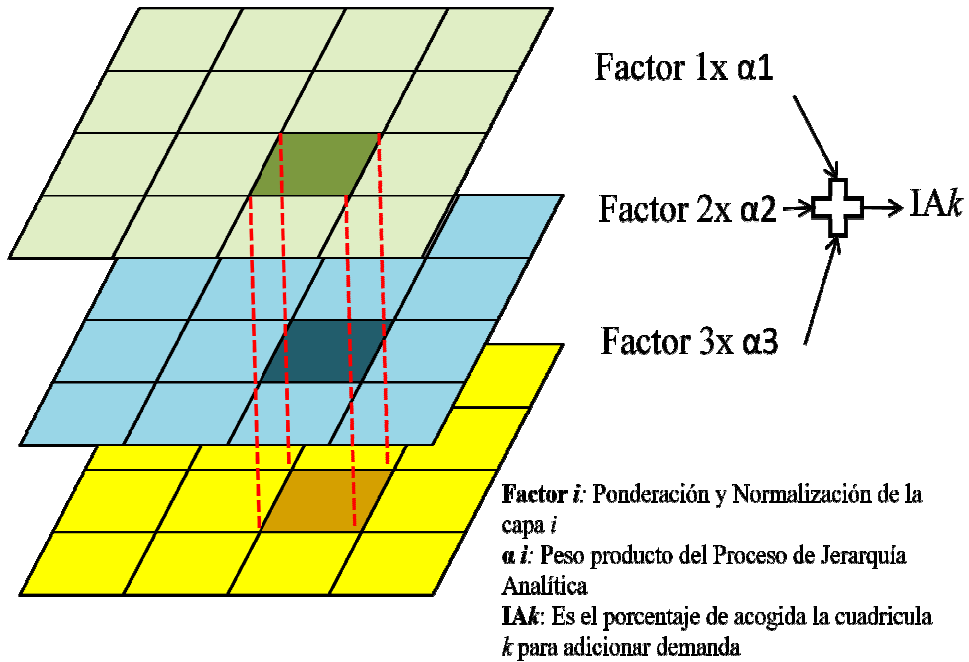
#### **4.6.3 Tendencia Histórica con inferencia en Áreas Vacantes con Modelo Urbanístico**

Para redistribuir el diferencial de la demanda entre las cuadrículas y las áreas vacantes, se propone utilizar el criterio de asignación con base a un modelo de demanda que abarca criterios de índole urbanística como pueden ser la cercanía a la vialidad, a instalaciones de media y baja tensión o zonas industriales. Estos criterios definen el grado de desarrollo de las microáreas y se puede determinar la factibilidad de acoger más demanda.

Para determinar la influencia de cada criterio se utiliza el Proceso de Jerarquía Analítica (calculado al principio de la etapa tres) y el Análisis de Decisiones Multicriterio, como ilustra la Figura N° 4.5. Para objeto del procedimiento se necesita ubicar los parámetros urbanísticos dentro de un marco de cuadrículas y definir los

pesos de cada uno, para su normalización y aplicar Método Sumatoria Lineal Ponderada, aplicando la ecuación (4.6).

**Figura N° 4.5 Procedimiento para calcular el valor de asignación a las cuadrículas**



Sumatoria Lineal Ponderada

$$r_i = \sum_{j=1}^n w_j * v_{ij} \quad (\text{Ec.4.6})$$

Donde:

$r_i$  es el porcentaje de acogida de la cuadrícula  $i$  para adicionar demanda

$w_i$  es el peso del criterio  $j$

$v_{ij}$  es el valor ponderado de la alternativa  $i$  en el criterio  $j$

La determinación de los parámetros y su consecuente peso y características depende de los planificadores de las regiones y su cálculo mediante el Proceso de Jerarquía Analítica, para el cual se sugiere los siguientes parámetros:

- 1) **Grado de desarrollo (modelo de demanda):** Las microáreas acogen más demanda del diferencial en la medida que su grado de saturación es menor. Es la diferencia entre la demanda del período que se quiere el análisis tomado del desarrollo de las curvas S y la demanda de saturación.
- 2) **Distancia de Zonas Industriales-Comerciales (modelo de demanda):** De forma general las cuadrículas con mayor demanda tienen el centro de actividad más cerca que genera la espiral de desarrollo. Se toma la distancia más corta por cuadrícula hacia los polos de desarrollo.
- 3) **Zonificación-demanda de saturación (modelo de oferta):** El uso de la tierra incide en los índices de acogida de nueva demanda, debido que existe un plan de ordenamiento urbano en cada región que sectoriza según su utilización. Incluye el valor de demanda de saturación de la cuadrícula. Se normaliza la demanda de saturación por cuadrícula.
- 4) **Prioridad de asignación según la Zonificación (modelo de demanda):** La zonificación está ligada con el comportamiento en el crecimiento de la demanda, en las áreas vacantes tienen mayor prioridad al momento de asignar la demanda del diferencial debido a su ingreso al sistema eléctrico de distribución, según la zonificación esa prioridad decrece. Se propone una escala de 1 a 0 donde se ubique la prioridad de asignación según la zonificación. Como modelo experimental se sugiere la siguiente escala.

**Tabla N° 4.2 Prioridad de asignación según zonificación**

<b>Zonificación</b>	<b>Prioridad de Asignación</b>
Área vacante	1
UBI	0,75
R3	0,25
R3-C3	0,25
Industrial	0,15
R2	0,125
R1	0,125

La ecuación 4.4, representa el valor de demanda que se debe adicionar a cada cuadrícula producto de la distribución del diferencial ( $\Delta L_{global}$ ) según el índice de acogida producto del análisis anterior.

$$\Delta Li_{(t+k)} = IAi_{(t+k)} * \Delta L_{global_{(t+k)}} \quad (\text{Ec.4.4})$$

En donde,

$\Delta Li_{(t+k)}$ : Es el valor adicional de la demanda para la cuadrícula  $i$  que depende de la sumatoria de los modelos urbanísticos.

$IAi_{(t+k)}$ : Es el porcentaje de acogida que tiene la cuadrícula  $i$  para adicionar demanda del modelo de carga.

$\Delta L_{global} (t+k)$ : Diferencia entre el pronóstico global del área bajo estudio y la sumatoria del pronóstico de cada cuadrícula según desarrollo de la curva S.

#### **4.7 Etapa cuatro (4). Resultados.**

##### **4.7.1 Inclusión de proyectos especiales**

Esta etapa se debe incluir puntualmente en las cuadrículas asociadas la demanda de proyectos especiales tales como fábricas, planes especiales de desarrollos, conjuntos residenciales u otro proyecto especial.

##### **4.7.2 Resultados finales**

Al concluir los resultados se analizan y se presenta un informe sobre el crecimiento y los escenarios a corto y mediano plazo, dando un panorama inicial para el escenario a largo plazo. Se obtiene la estimación y localización de la demanda por cuadrículas para su organización en distintos indicadores y los siguientes pasos de la planificación. Dichos indicadores varían según el requerimiento del planificador.

## **CAPITULO V**

### **5 APLICACIÓN DE LA PROPUESTA DE METODOLOGÍA EN UNA REGIÓN DE CADAFE**

#### **5.1 Proceso de Pronóstico**

Se aplicó la metodología descrita en el capítulo N° 4, para cumplir con las expectativas de obtener pronósticos de demandas a nivel de microáreas que permitan la planificación de los sistemas eléctricos de distribución.

#### **5.2 Escenario global**

El área total en estudio abarca una superficie de 562 km<sup>2</sup>, con una población aproximada de 133 mil habitantes, donde se destacan las ciudades de El Tigre, San José de Guanipa y San Tomé, municipio Freites del estado Anzoátegui, definida por CADAFE para la prestación del servicio como Región 01, Zona Anzoátegui.

#### **Caracterización de la Región**

El área bajo estudio está dedicada a las actividades agrícola, pecuaria y fuertemente a la actividad petrolera, estando en San Tomé la sede de la Estatal Petrolera PDVSA en la Zona, Municipio Freites.

El área conforma la segunda mayor concentración urbana del Estado Anzoátegui, adicionalmente, soportará el desarrollo de la Faja Petrolífera del Orinoco, puesto que El Tigre está ubicado equidistantemente de los principales campos de extracción de petróleo y es el asiento de las más importantes empresas tanto de perforación, explotación como producción.

La carga máxima registrada en la Región 01 para el 2008 fue de 1.962 MW (estados Anzoátegui y Sucre), correspondiendo 951 MW al estado Anzoátegui, [24], mientras que en el área en estudio se registró una carga máxima de 115 MW, los cuales fueron cubiertos a través de cuatro (4) subestaciones: S/E El Tigre II, S/E El Tigre III, S/E El Esfuerzo y S/E Guanipa. Para el presente estudio sólo se tomaron en cuenta subestaciones con patios de 115 kV/13,8kV y los patios de 34,5kV/13,8 kV.

En el Anexo (A-1) se muestra el Plano del Sistema Eléctrico de Distribución asociado al área total en estudio, con una superficie total de 562 km<sup>2</sup>, definidas la Tabla en N° 5.1.

**Tabla N° 5.1 División de la superficie del área bajo de estudio**

<b>Definición de Área</b>	<b>Superficie (km<sup>2</sup>)</b>
Área Desarrollada Urbanísticamente al año 2009	113
Área a Desarrollar Urbanísticamente al año 2019 (Áreas Vacantes)	24,5
Área No Desarrollables dentro de período de estudio	424
<b>Total Área en Consideración</b>	<b>562</b>

La inclusión de posibles áreas vacantes tiene como objeto considerar futuros desarrollos, con la información de las zonificaciones para su uso dentro del pronóstico, lo cual está fundamentado en los Planes de Ordenamiento Urbano (desarrollados por las Alcaldías) y los Planes de Ordenamiento Territorial (desarrollado por el Ministerio del Poder Popular para las Obras Públicas y Vivienda), adicionalmente se toman en cuenta la experticia del planificador y conocimiento del área sometida a estudio.

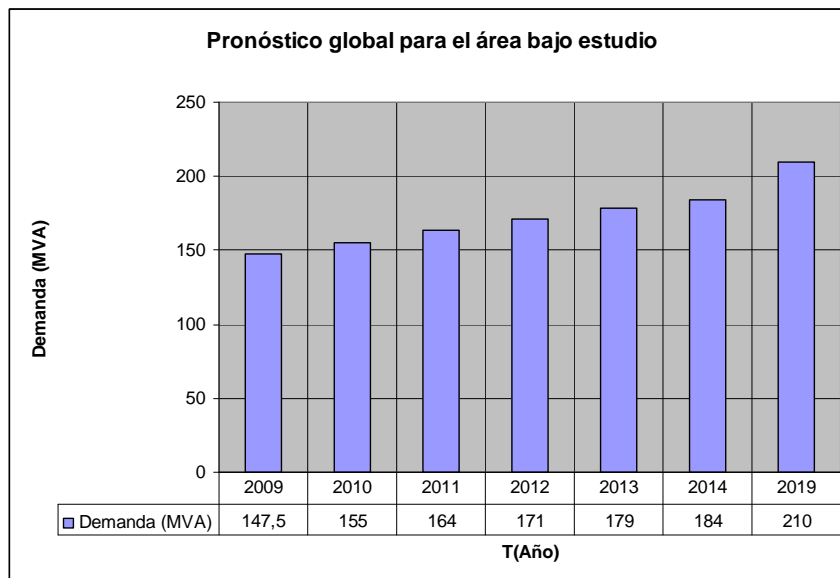
### **5.2.1 Pronóstico General de la región**

Los pronósticos de las subestaciones provienen de la Dirección de Transmisión, obtenidos mediante métodos tendenciales tradicionales como ARIMA o Media Móvil, de igual manera para el pronóstico global de la región bajo estudio



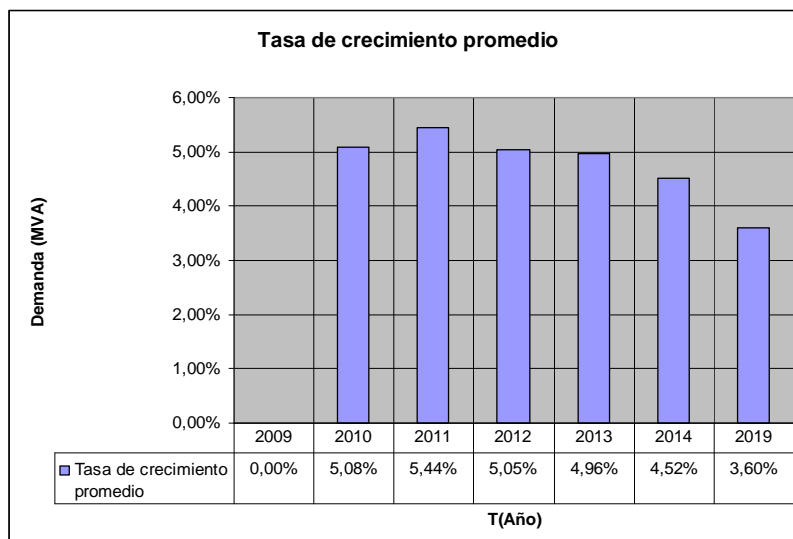
como se muestra en las Gráfica N° 5.1 y Gráfica N° 5.2 que indica el crecimiento términos totales y por la tasa de crecimiento promedio anual.

**Gráfica N° 5.1. Pronóstico global en la región bajo estudio, el sur de Anzoátegui.**



**Informe de Presentación de Estrategias para la Expansión del Sistema Distribución de El Tigre 2009-2019.**

**Gráfica N° 5.2 Tasa de crecimiento promedio del área bajo estudio, sur de Anzoátegui.**



### **5.3 Etapa uno (1): Datos requeridos**

#### **5.3.1 Variables Eléctricas**

##### **Registros históricos de subestaciones y circuitos**

En el anexo (A-12) se suministran los pronósticos de la demanda máxima por subestaciones de 115 kV de la región 01 de CADAFE. A nivel de circuitos y transformadores de distribución se presentan en los anexos (A-13), (A-14) y (A-15).

#### **5.3.2 Variables Urbanísticas**

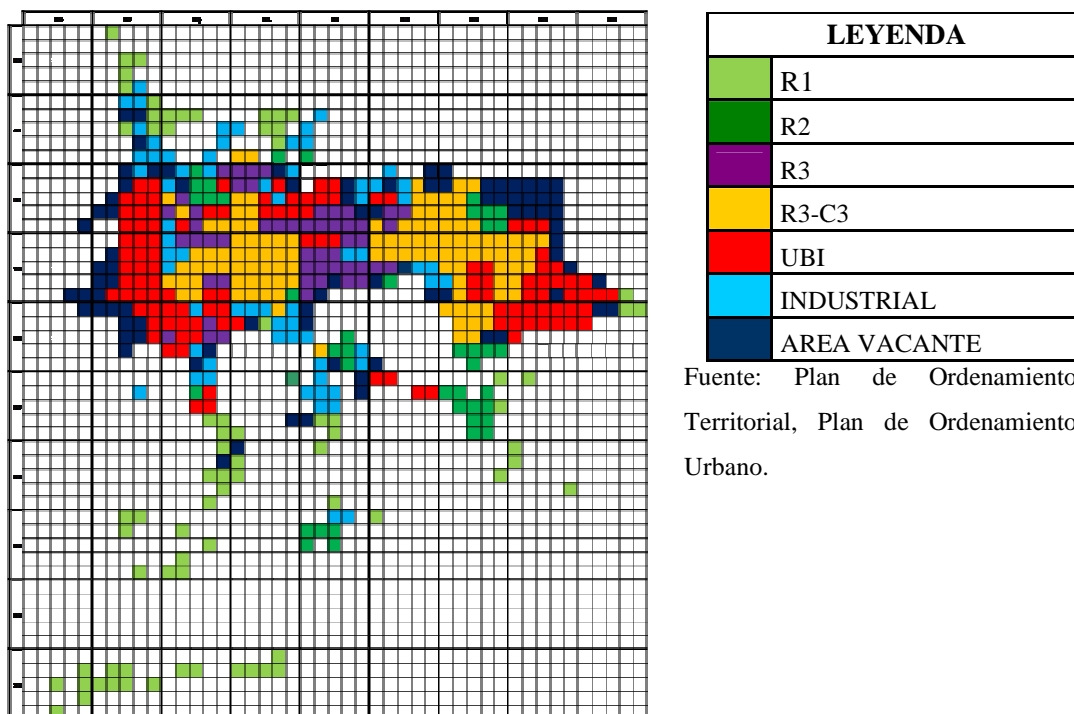
##### **Registro del Sistema de Distribución.**

El anexo (A-1), se presenta el plano en AutoCAD del sistema de distribución eléctrica de la zona bajo estudio, con el propósito de desagregar la información de los registros históricos por circuito hacia las cuadrículas. Este proceso se realiza para los años 2007, 2008 y 2009, pero se utilizó sólo con la actualización al 2009 debido a que no se disponía con los planos digitalizados del 2007 ni del 2008.

##### **Registro de Ordenamiento Urbano**

Las características de las zonificaciones están bajo la descripción utilizadas por CADAFE. Para señalar la zonificación por cuadrícula se procedió a ubicar en el plano en AutoCAD que contiene el Plano catastral y el Plano del sistema eléctrico de distribución de la región, identificaciones del tipo de usuario predominantes en cada cuadrícula que indicara características propias que fueran compatibles con la descripción de las zonificaciones de CADAFE. La Gráfica N° 5.3 muestran las zonificación por cuadrícula.

**Gráfica N° 5.3 Zonificación de la región bajo estudio.**

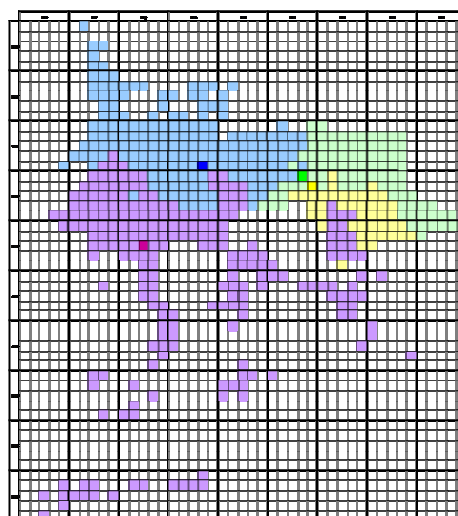
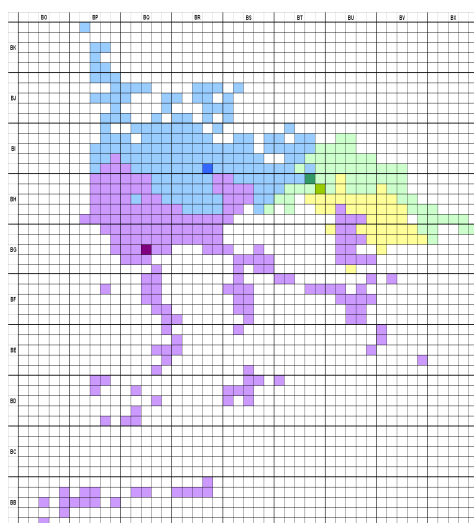


En la Gráfica N° 5.4 se presenta la asociación de las cuadrículas en función a la subestación de 115 kV actual de la región.

**Gráfica N° 5.4 Ordenamiento de las cuadrículas por subestaciones**

**2009**

**2014 - 2019**



Cuad. Asociadas	S/E	Posición. Geográfica	2009 (km2)	2014-2019 (km2)
	El Tigre II		39,50	44,25
	El Tigre III		28,00	33,75
	El Esfuerzo		15,00	22,25
	Guanipa		9,75	10,75

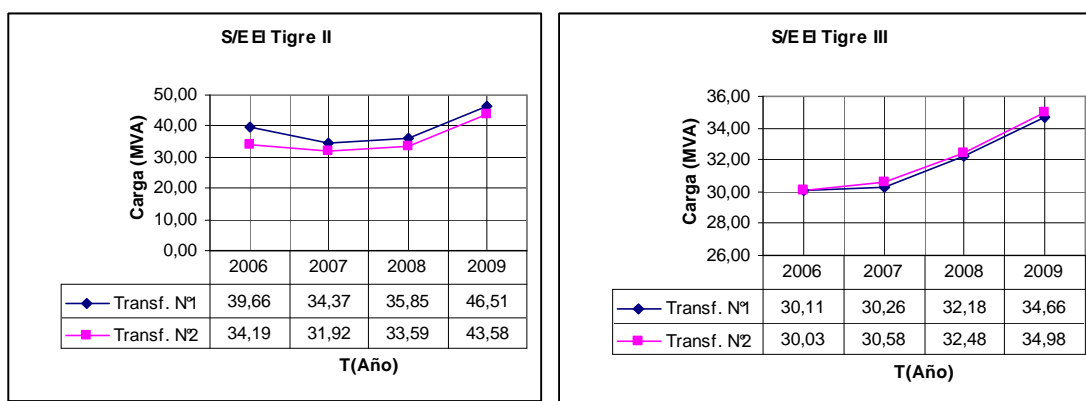
## 5.4 Etapa dos (2): Procesamiento de Datos

### 5.4.1 Cálculos en las variables eléctricas

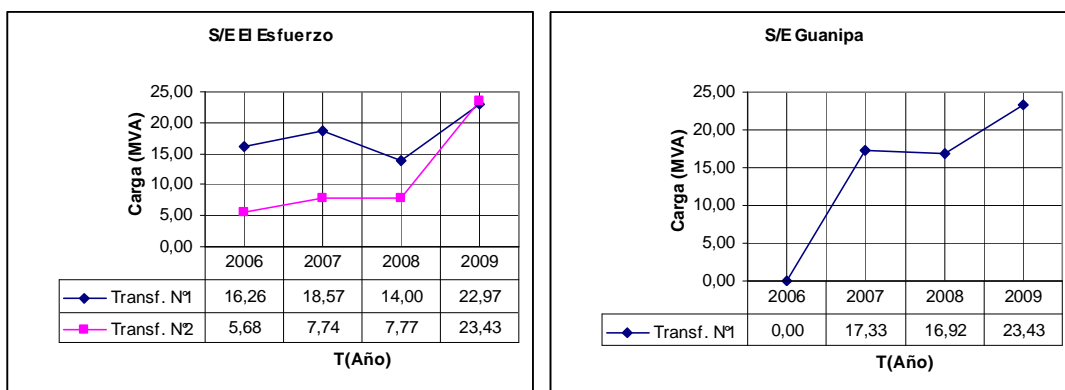
#### 5.4.1.1 Depuración de los datos históricos

Los registros históricos suministrados por las regiones pasaron por un proceso de acondicionamiento de curva que corrige el comportamiento dinámico producto de transferencia de cargas y otros eventos asociados a registros suaves y crecientes, se utilizó el método de Media Móvil para reestructurar los registros. Los resultados se muestran en su conjunto en las Tablas N° 5.2 y N° 5.3.

**Gráfica N° 5.5. Registro histórico de los transformadores de las S/E El Tigre II y S/E El Tigre III**



**Gráfica N° 5.6. Registro histórico de los transformadores de las S/E El Esfuerzo y S/E Guanipa**



**Tabla N°5.2 Registro Histórico por Subestación y Transformador, Demandas Máximas No coincidentes.**

Subestación	N° Tr	Relación Tr	Cap. (MVA)	Carga Máxima 2006 (MVA)	Carga Máxima 2007 (MVA)	Carga Máxima 2008 (MVA)	Carga Máxima 2009 (MVA)
TIGRE II	Tr1	115/13,8 kV	36	39,66	34,37	35,85	46,51
	Tr2	115/13,8 kV	36	34,19	31,92	33,59	43,58
	Total Instalado 13,8 kV		72	73,84	66,29	69,44	90,09
			-	103%	92%	96%	125%
TIGRE III	Tr1	115/13,8 kV	30	30,11	30,26	32,18	34,66
	Tr2	115/13,8 kV	30	30,03	30,58	32,48	34,98
	Total Instalado 13,8 kV		60	60,14	60,83	64,66	69,65
			-	100%	101%	108%	116%
EL ESFUERZO	Tr1	115/13,8 kV	20	16,26	18,57	14,00	22,97
	Tr3	34,5/13,8 kV	20	5,68	7,74	7,77	23,43
	Total Instalado 13,8 kV		40	21,94	26,31	21,77	46,39
			-	55%	66%	54%	116%
GUANIPA	Tr1	34,5/13,8 kV	20	-	17,33	16,92	23,43
	Total Instalado 13,8 kV		20	-	17,33	16,92	23,43
			-	-	87%	85%	117%

**Tabla N° 5.3 Registro Histórico de Circuitos, Demanda Máxima No Coincidente**

Subestación	N° Tr	Relación Tr	Cap. (MVA)	Circuitos	Carga Máxima 2007 (A)	Carga Máxima 2008 (A)	Dmax P. 2009 (A)
<b>TIGRE II</b>	Tr1	115/13,8 kV	36	Av Peñalver	452,83	426,92	524,20
				Iera Carrera	382,58	386,83	474,98
				Revenga	363,00	390,67	479,69
				Intercomunal Norte	368,17	382,08	469,15
	<b>Total Alimentadores</b>				<b>1566,58</b>	<b>1586,50</b>	<b>1948,02</b>
	Tr2	115/13,8 kV	36	Intercomunal Sur	371,00	343,67	471,40
				Matadero	263,00	297,75	408,42
				Ciudad Tablita	346,67	379,58	520,66
				Calle 21 Sur	289,75	309,92	425,10
	<b>Total Alimentadores</b>				<b>1270,42</b>	<b>1330,92</b>	<b>1825,58</b>
<b>TIGRE III</b>	Tr1	115/13,8 kV	30	Las Delicias	329,17	344,92	332,84
				Flint	380,17	403,50	389,37
				El Canal	370,42	379,75	366,46
				Alameda	358,83	376,50	363,32
	<b>Total Alimentadores</b>				<b>1438,58</b>	<b>1504,67</b>	<b>1451,99</b>
	Tr2	115/13,8 kV	30	Las Brisas	358,17	339,00	479,98
				Guarapera	285,17	312,75	442,81
				Villa Rosa	365,67	383,17	542,51
<b>Total Alimentadores</b>				<b>1009,00</b>	<b>1034,92</b>	<b>1465,30</b>	
<b>EL ESFUERZO</b>	Tr1	115/13,8 kV	20	Vista al Sol	324,50	320,42	443,90
				El Basquero	355,83	374,00	518,13
	<b>Total Alimentadores</b>				<b>680,33</b>	<b>694,42</b>	<b>962,04</b>
	Tr3	34,5/13,8 kV	20	California	245,58	314,50	285,63
<b>Total Alimentadores</b>				<b>245,58</b>	<b>314,50</b>	<b>285,63</b>	
<b>GUANIPA</b>	Tr1	34,5/13,8 kV	20	Salida 1	342,58	315,42	436,97
				Salida 2	19,00	0,00	0,00
				Salida 3	320,75	352,17	487,89
				Salida 5	42,75	40,67	56,34
				<b>Total Alimentadores</b>			

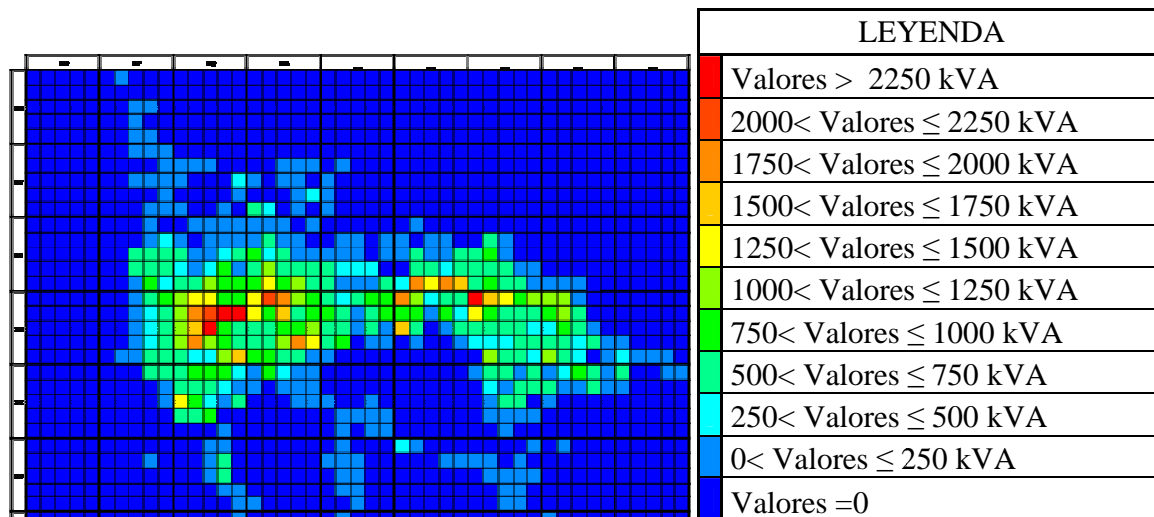
#### 5.4.1.2 Procesamiento de los datos obtenidos

Se construye el registro histórico por cuadrícula distribuyendo los registros de los circuitos mostrados en la Tabla N° 5.3, aplicando la ponderación por la

capacidad instalada por cuadrícula descrita en el capítulo 4 y la ecuación 4.1. Este procedimiento se realiza mediante el PADEE. A nivel de cuadrículas no se emplean los factores de coincidencia debido al interés en ubicar la demanda máxima para cada una y el enfoque de los métodos de pronóstico en función de microáreas. Para pronósticos válidos de subáreas grandes o la región completa es necesaria e imprescindible considerar los factores de coincidencia igualmente para el diseño de la red primaria y secundaria.

En el Anexo (A-4) se muestra la distribución de carga por cuadrículas en el 2009, de igual manera se muestra en el Gráfico N° 5.7 una distribución espacial de carga, utilizando los registros por cuadrículas obtenidos. Adicionalmente los resultados de la distribución de carga por cuadrícula para años anteriores 2007 y 2008 se presentan en los Anexos A-2, A-3 y A-4.

**Gráfica N°5.7 Distribución Espacial de Carga para el año 2009**



#### 5.4.1.3 Demanda de Saturación

Se procedió a inferir la densidad de carga y la demanda de saturación por cuadrícula con la información sobre las zonificaciones, patrones de carga de dos (2)

estudios de estimación de demanda realizados en diferentes áreas del país, la Norma de estimación de cargas y constantes del Departamento de Distribución de la Electricidad de Caracas que agrupa un conjunto de zonificaciones y densidades de carga; y patrones de carga tomado del Libro “*Spatial Electric Load Forecasting. Second Edition*” de Willis, H. Lee. Cap 11.

Los Anexos C-7, y C-8 muestran las tablas completas correspondientes a las densidades de cargas en zonas residenciales y comerciales utilizadas por el Departamento de Distribución de la Electricidad de Caracas.

En las Tablas N° 5.4-1 y 5.4-2, muestra es valor de la densidad de carga por zonificación producto del estudio de estimación de demanda para el año 1982 realizado por CADAFE en la región de La Grita y Colon del Estado Táchira.

**Tabla N° 5.4-1. Densidad de carga (kVA/Ha) por zonificación y uso de parcelas – La Grita-Edo. Táchira. Estudio de estimación de demanda año 1982**

Zonificación	Residencial	Comercial	Industrial	Vialidad
R1	18,97	-	-	3,38
R2	25,92	-	-	3,38
R3	127,03	-	-	3,38
R3-C	127,03	46,66		3,38
UBI	13,80	-	-	3,38
I	-	-	116,91	3,38

**Tabla N° 5.4-2. Densidad de carga (kVA/Ha) por zonificación y uso de parcelas – Colon-Edo. Táchira. Estudio de estimación de demanda año 1982**

Zonificación	Residencial	Comercial	Industrial	Vialidad
R1	28,74	-	-	3,38
R2	37,49	-	-	3,38
R3	183,68	-	-	3,38
R3-C	183,68	42,36		3,38
UBI	19,97	-	-	3,38
I	-	-	190,78	3,38



**Tabla N° 5.4-3. Densidad de carga en (kVA/Ha) por zonificación utilizada por la C.A EDC-por similitud según su densidad a la zonificación de CADAFE.**

Zonificación (EDC / CADAFE)	Densidad de carga (kVA/Ha)	Densidad de carga (kVA/km <sup>2</sup> )
R1 / R1	27,00	2000,00
R2 / R2	35,00	3.000,00
R7 / R3	303,00	27.774,00
C2-R7 / R3-C	572	57.477,00
R4-1 / UBI	176	12.500,00
I	-	-

En la Tabla N° 5.4-3, se ubica los patrones de densidad de carga utilizados por la Compañía Anónima Electricidad de Caracas (EDC) que por similitud en el tipo de zonificación pueden asociarse a las zonificación de CADAFE. Cabe destacar que la EDC utiliza mayor número de zonificaciones debido que poseen mayor control y seguimiento de las variables urbanísticas que permiten construir los modelos de desarrollo y estimar patrones de carga para un número importante de tipo de usuarios. Igualmente para los patrones de carga que considera Willis, H. Lee en su estudio y se recopila en la Tabla N° 5.4-4.

**Tabla N°5.4-4 Densidad de carga por categoría [5]**

	kVA/Ac [5]	kVA/Ha
<b>Residencia 1</b>	2,87	7,09
<b>Residencia 2</b>	11,18	27,60
<b>Apartament/ Town House</b>	16,75	41,36
<b>Retail Comercial</b>	41,36	102,12
<b>Office</b>	109,00	269,14
<b>High-Rise</b>	192,00	474,07
<b>Industry</b>	20,00	49,38
<b>Warehouse</b>	12,00	29,63
<b>Municipal</b>	64,00	158,02
<b>Heavy Industria</b>	240,00	592,59

[5] Tomado del Libro Spatial Electric Load Forecasting, Willis H. Lee Cap 11.

En la Tabla N° 5.4-5 se muestra el posible apareamiento entre los tipos de usuarios por parte del auto Willis H. Lee y las zonificaciones de CADAFE con el propósito de tener patrones de densidad de carga para nuestro estudio.

**Tabla N° 5.4-5. Densidad de carga en (kVA/Ha) por zonificación utilizada por la C.A EDC-por similitud según su densidad a la zonificación de CADAFE.**

Zonificación (Willis, H. Lee / CADAFE)	Densidad de carga (kVA/Ha)	Densidad de carga (kVA/km <sup>2</sup> )
Residencia 1 / R1	7,09	650,45
Apart-Town House / R2	41,36	948,62
High Rise (70%) / R3	331,8	30.440,36
High Rise (70%)-Retail Comercial (30%) / R3-C	362,49	33.255,96
UBI	-	-
I	592,59	54.366,05

Para el cálculo de la demanda de saturación se obtienen patrones de densidad de carga para cuadrículas de área 0,25 km<sup>2</sup>, en la Tabla N° 5.4-6 se indica los valores de la demanda de saturación resultantes de comparar las distintas tablas N° 5.4-1, 5.4-2, 5.4-3, 5.4-4 y 5.4-5. Para propósitos de obtener un valor de demanda de saturación para las áreas vacantes se utilizó el valor correspondiente a una zonificación tipo UBI, el valor real puede variar dependiendo su uso.

**Tabla N° 5.4-6 Densidad de carga por zonificación de CADAFE**

	kVA/Ha	kVA/km <sup>2</sup>	Demanda de saturación total cuadrícula 0,25 km <sup>2</sup> (kVA)
<b>R1</b>	27	2.000,00	500,00
<b>R2</b>	35	3.000,00	750,00
<b>R3</b>	303	27.774,00	6.943,50
<b>R3-C3</b>	572	57.477,00	14.369,25
<b>UBI</b>	176	12.500,00	3.125,00
<b>I1</b>	592,59	54.366,05	13.592,00
<b>I2</b>	49,38	4.530,20	1.132,55

## **5.4.2 Cálculos en variables urbanísticas-espaciales**

### **5.4.2.1 Ponderación y normalización de información espacial de la región**

Se procedió aplicar la ecuación 4.4 presentada en el capítulo 4 para obtener la normalización de la información espacial de la región que se empleó para la Evaluación Multicriterio y su método de análisis de Suma Lineal Ponderada. En la serie de anexos (A-7), (A-8), (A-9) y (A-10) se muestran la información espacial normalizada. En la construcción del modelo urbanístico se presenta otro tipo de información espacial como es la distancia a los polos de desarrollo.

### **5.4.3 Cálculo y Estimación futura mediante la función matemática que modela la curva tipo Sigmoidal o Curva “S”**

Se calculó el pronóstico por cuadrículas que presentan registros históricos mediante la extrapolación, usando la función tangente hiperbólica. En el Anexo C-6 se presenta el detalle sobre el proceso de extrapolación. Cabe destacar que fue un paso previo al pronóstico final de la región, debido a que en este paso no se incluyen las áreas vacantes.

El período del pronóstico es  $T+25$  años, donde  $T$  es el año donde se ubica el período actual (en nuestro caso el año 2009), criterio considerado para abarcar un espacio en tiempo amplio que incluye predicciones y escenarios de corto, mediano y largo plazo.

### **5.4.4 Construcción del modelo urbanístico: Proceso de Jerarquía Analítica**

Para la construcción de la matriz del Proceso de Jerarquía Analítica se tomaron los siguientes aspectos que influyen en el pronóstico de la demanda:

- A. Distancia de Zonas Industriales-Comerciales (modelo de demanda)
- B. Zonificación-demanda de saturación (modelo de oferta)
- C. Grado de desarrollo (modelo de demanda)
- D. Prioridad de asignación (modelo de demanda)

Los atributos junto con el tabulador descrito en el capítulo 4 permiten construir la matriz. Las relaciones entre variables se hacen mediante apreciaciones cualitativas.

**Tabla N° 5.5 Matriz producto del Proceso de Jerarquía Analítica**

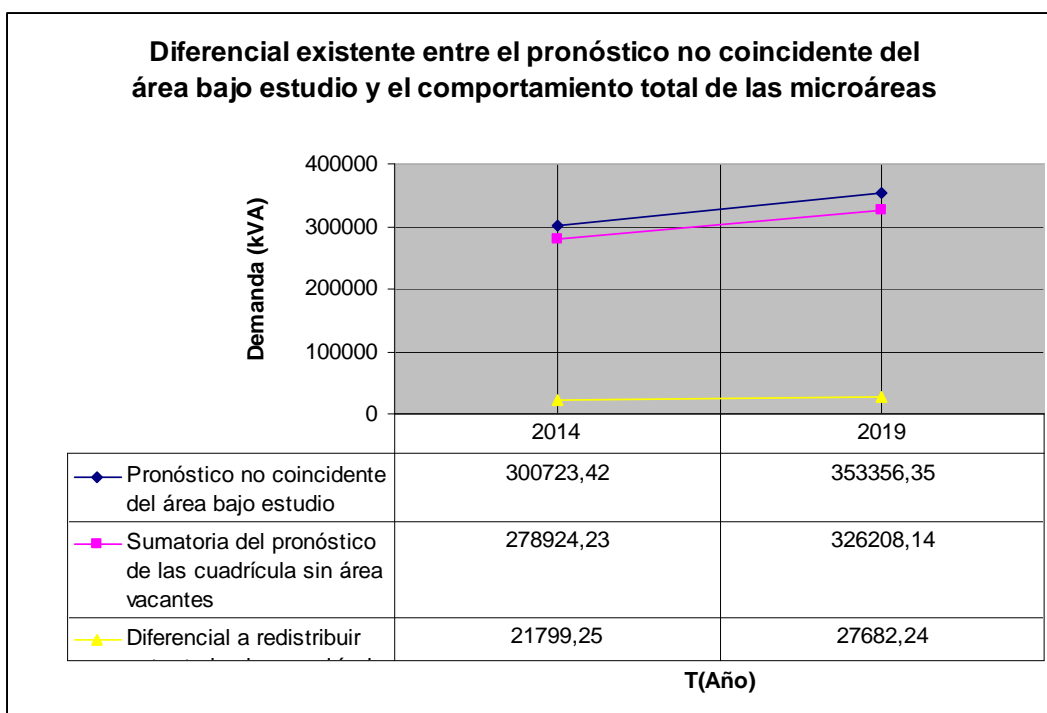
<b>Atributo</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>Pesos (Autovectores)</b>
<b>A</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>1/5</b>	<b>0,18036</b>
<b>B</b>	<b>1/2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1/6</b>	<b>0,10924</b>
<b>C</b>	<b>1/3</b>	<b>1/2</b>	<b>1</b>	<b>1/6</b>	<b>0,07125</b>
<b>D</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>1</b>	<b>0,63915</b>

Utilizando el programa de acceso libre en Internet (<http://www.isc.senshu-u.ac.jp/~thc0456/EAHP/AHPweb.html>), se obtiene los pesos (Autovectores) y también el Índice de Análisis de Consistencia (CI) (para mayor detalle ver Anexo (C-5)) que nos indica la calidad de los juicios cualitativos expresados en la matriz. EL CI del Proceso de Jerarquía Analítica es 0.0350941, el cual se considera bueno.

### **5.5 Etapa tres (3): Aplicación de la metodología propuesta**

En la Gráfica N° 5.8 se muestra el diferencial existente entre el pronóstico no coincidente del área bajo estudio y el comportamiento total de las microáreas, el cual se distribuye según los distintos métodos para complementar el pronóstico por cuadrícula incluyendo las áreas vacantes que consideradas.

**Gráfica N° 5.8 Diferencial existente entre el pronóstico no coincidente del área bajo estudio y el comportamiento total de las microáreas**



Como fue descrito anteriormente la propuesta tiene tres (3) métodos a implementar.

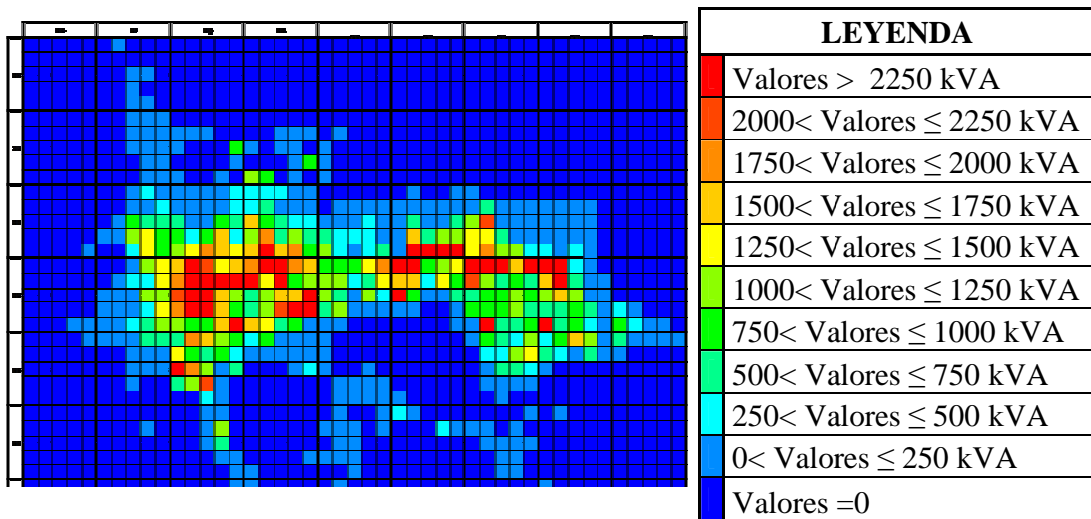
**Método A:** Se aplicó el procedimiento del algoritmo presentado en el capítulo 3, que consiste en redistribuir el pronóstico inicial en sub-áreas llamadas microáreas según tres (3) criterios, incluyendo las áreas vacantes. Para éste método se utilizó la demanda de saturación producto de la redistribución por cuadrícula del pronóstico T+25 de la región y su distribución por cuadrícula.

Para tales fines, se implementó un programa formulado por el autor junto con el grupo de planificación, que fue de utilidad tanto para este trabajo y los pronósticos utilizados para las región 1, en el casco central y el Tigre y la verificación

de San Fernando de Apure correspondiente al Plan de Expansión del Sistema de Distribución de CADAPE período 2009-2019.

En el Anexo (A-5), se muestra la redistribución en microáreas de la demanda de saturación utilizados para el método tendencia histórica e inferencias en áreas vacantes tradicional incluyendo los factores utilizados para las áreas vacantes.

**Gráfica N° 5.9 Distribución espacial de la demanda para el año 2019 método A**

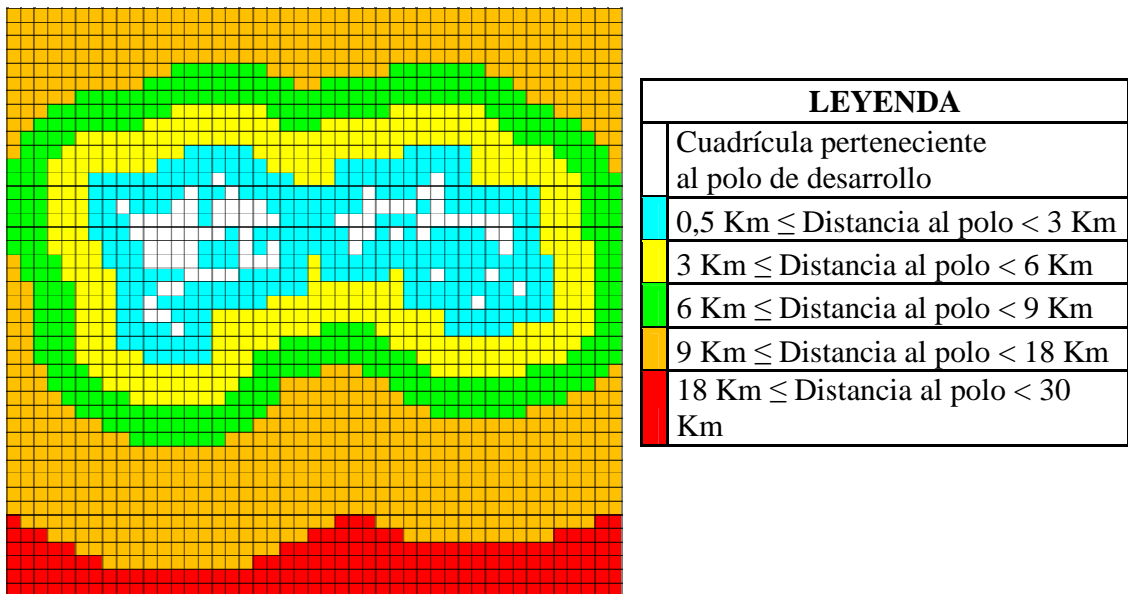


**Método B:** Se implementa la distribución según la distancia al polo de desarrollo. Se visualizaron dos (2) polos en el área bajo estudio producto de ubicar y unir las cuadrículas que tienen mayor demanda, según su normalización. Toda cuadrícula que para el año 2009 representa una demanda mayor a 1000 kVA se consideró parte del polo de desarrollo y se identificó con el color blanco. En el Gráfica N° 5.10 se presenta el resultado.

Se calculó la distancia de cada cuadrícula al polo de desarrollo, suponiendo que la distancia entre cuadrículas es la distancia entre dos puntos en un plano. Se normalizó la distancia y se ponderó su peso según la distancia y prioridad como se

muestra el Anexo (A-7) y (A-8). El producto total indica el porcentaje de demanda adicional que pueden acoger del diferencial entre el pronóstico localizado global y el comportamiento de las microáreas. Para este método se utilizó la demanda de saturación según los patrones de densidad de carga.

**Grafica N° 5.10 Disposición espacial de los polos de desarrollo y la influencia según la distancia**



**Método C:** Consiste en la distribución según el modelo urbanístico asociado. El modelo urbanístico se construyó al relacionar las capas de atributos propios del área, asignándole un factor de peso producto del Proceso de Jerarquía Analítica y la Evaluación Multicriterio. En el Anexo (A-6), se muestra la demanda de saturación producto de las densidades de cargas tomadas como patrón para inferir las mismas, que fueron utilizadas para los métodos de polos de desarrollo y modelo urbanístico.

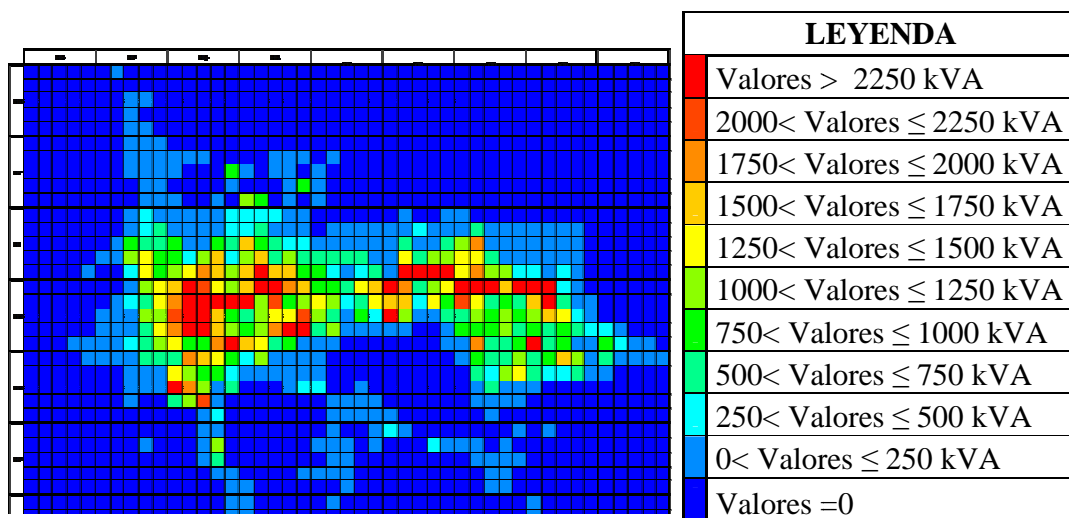
Los anexos A-7, A-8, A-9 y A-10 muestran las capas del modelo urbanístico del área. Se aplicó la Sumatoria Lineal Ponderada multiplicando la normalización de cada capa por el peso anteriormente calculado y se obtuvo el porcentaje del diferencial de demanda que le corresponde a cada cuadrícula del total a distribuir

indicado la Gráfica N° 5.8, finalmente se sumó dicho resultado al comportamiento en curva S calculado previamente obteniendo la serie de puntos que conforman el pronóstico.

En la Grafica N° 5.11, se muestra la distribución espacial de la demanda en el año 2019, la misma representa el resultado producto de los métodos B y C, la escala presentada contiene una baja resolución para visualizar las leves diferencias entre los métodos. Se presentan la serie de anexos B donde se evidencian la distribución espacial por métodos para los años 2014, y el 2019, y se constata la diferencia entre métodos.

**Gráfica N° 5.11 Distribución espacial de la demanda en el año 2019.**

**Método B y Método C**



Al tener los tres (3) escenarios se procedió a desagregar los resultados para obtener los pronósticos por circuito y subestación para tener la información necesaria para la planificación a corto y mediano plazo, junto con la visión del sistema presente, que permite generar los planes necesarios para mejorar el servicio eléctrico a nivel de distribución.



## **5.6 Etapa cuatro (4). Resultados finales**

### **5.6.1 Inclusión de proyectos especiales**

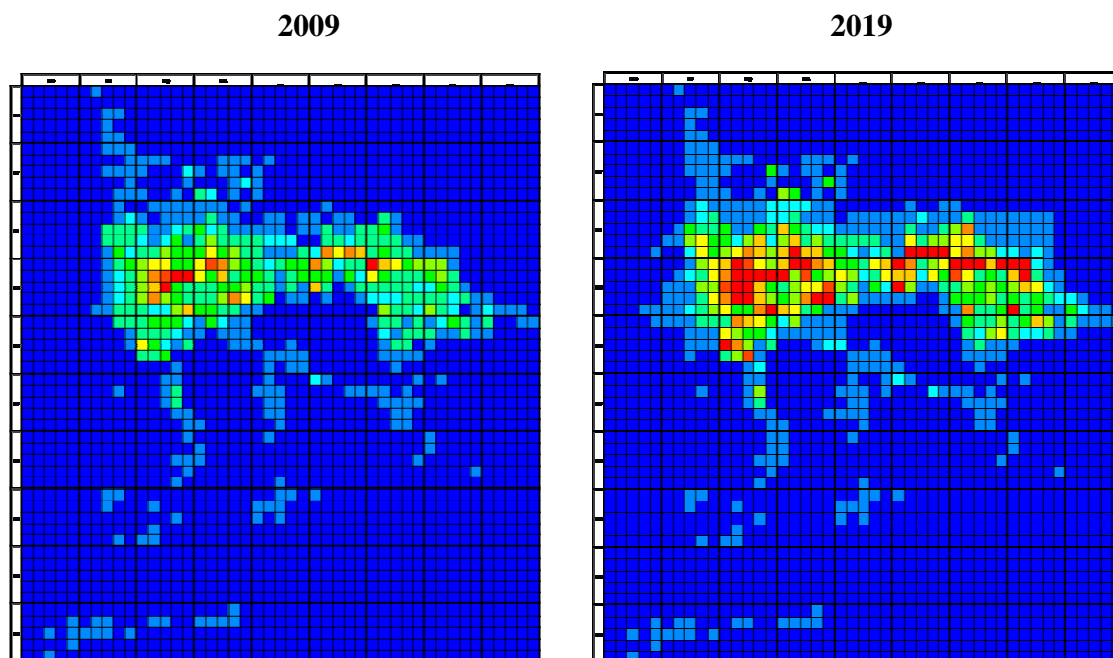
Los proyectos especiales se incluyen en el pronóstico del año del posible ingreso, puntualmente en las cuadrículas asociadas al mismo. Esto se debe a que dichos proyectos no forman parte del crecimiento vegetativo que caracteriza cada cuadrícula, que es la base para el pronóstico. En este trabajo no se pudo incluir proyectos especiales debido a la falta de información para el momento del estudio.

### **5.6.2 Resultados Finales**

Los resultados se presentan bajo diversos formatos, empezando por el total por cuadrículas que se presentó en los anexos de la serie B, que refleja los resultados por cada método. En la Gráfica N° 5.12, se muestra el escenario para el 2009 de la distribución espacial y el pronóstico para el 2019 bajo el modelo C, que integran características del modelo B y C.

Se evidencia que el crecimiento de la demanda se concentra en los polos de desarrollo mostrados en la Gráficas N° 5.10. Esta crece alrededor de los mismos sugiriendo enfocar los esfuerzos a consolidar el sistema de distribución hacia los polos de desarrollo y sus alrededores cercanos. Se evidencia que hacia el oriente de la Ciudad, específicamente hacia San José de Guanipa se presenta un crecimiento hacia los límites urbanos que van a influenciar a mediano plazo el incremento de nuevas áreas vacantes con posibilidad de desarrollo, adicionalmente, que hacia el sur de San José de Guanipa el crecimiento es disperso.

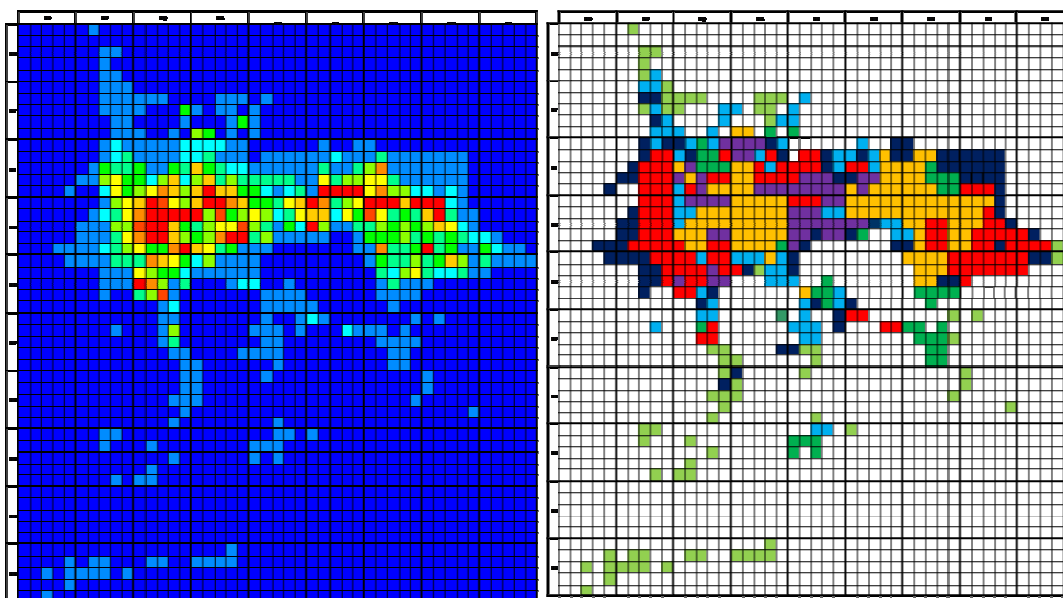
**Gráfica N° 5.12 Comparación de la distribución espacial de la demanda para el año 2009 y el pronóstico para 2019.**



LEYENDA	
	Valores > 2250 kVA
	2000 < Valores ≤ 2250 kVA
	1750 < Valores ≤ 2000 kVA
	1500 < Valores ≤ 1750 kVA
	1250 < Valores ≤ 1500 kVA
	1000 < Valores ≤ 1250 kVA
	750 < Valores ≤ 1000 kVA
	500 < Valores ≤ 750 kVA
	250 < Valores ≤ 500 kVA
	0 < Valores ≤ 250 kVA
	Valores =0

En la Gráfica N° 5.13, se visualiza que las cuadrículas cuya zonificaciónes son R3-C3 concentran la mayor demanda y mayor crecimiento, hacia San José de Guanipa al oriente del área bajo estudio, se concentran las zonificaciones R3-C3, y como se dijo anteriormente el crecimiento es disperso en especial al sur de San José de Guanipa y demás límites de la ciudad.

**Gráfica N° 5.13 Visualización del pronóstico para 2019 y la distribución por zonificación.**

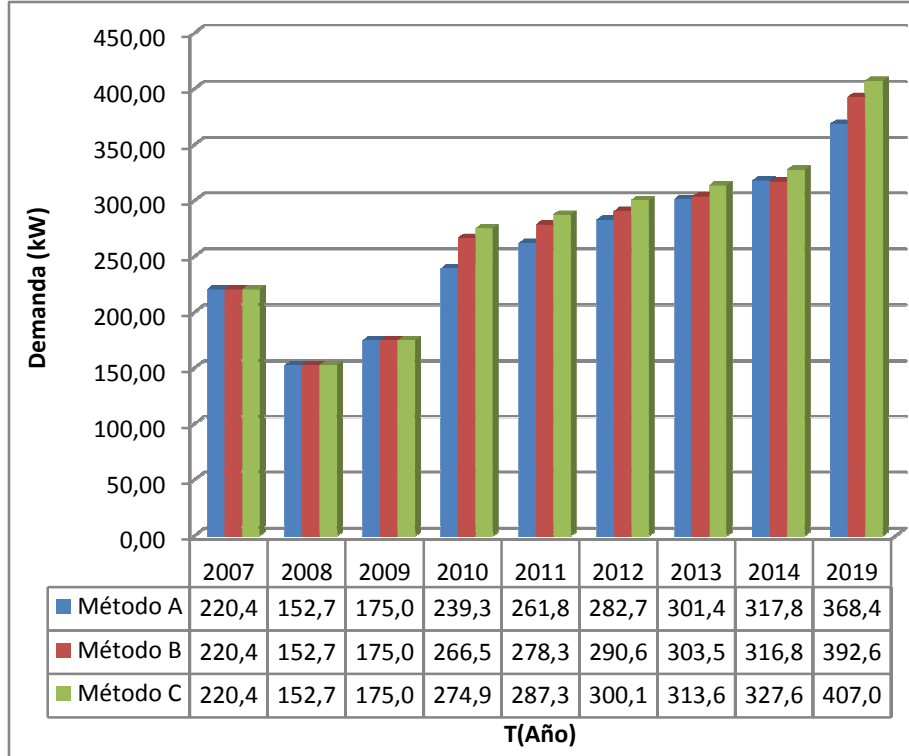


Leyenda	
	Valores > 2250 kVA
	2000 < Valores ≤ 2250 kVA
	1750 < Valores ≤ 2000 kVA
	1500 < Valores ≤ 1750 kVA
	1250 < Valores ≤ 1500 kVA
	1000 < Valores ≤ 1250 kVA
	750 < Valores ≤ 1000 kVA
	500 < Valores ≤ 750 kVA
	250 < Valores ≤ 500 kVA
	0 < Valores ≤ 250 kVA
	Valores =0

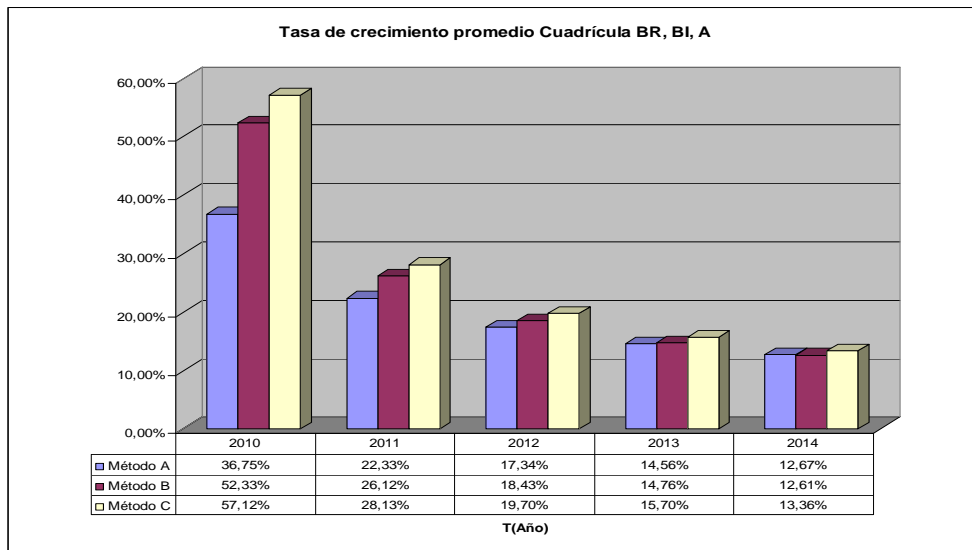
Leyenda	
	R1
	R2
	R3
	R3-C3
	UBI
	INDUSTRIAL
	AREA VACANTE

Para visualizar el comportamiento de las cuadrículas, se toma una muestra por cuestión de espacio. En la Gráfica N° 5.14 y Gráfica N° 5.15, se estudia la cuadrícula con ubicación según la disposición de la planimetría utilizada es (BR, BI, A) cuya zonificación en R3-C3, puede verse como la tasa de crecimiento de la demanda va decreciendo al transcurrir los años, significando que el grado de desarrollo aumenta bajo las condiciones urbanísticas actuales.

**Gráfica N° 5.14 Pronóstico de demanda de la cuadrícula cuya posición coordinadas bajo la planimetría utilizada es BR, BI, A**

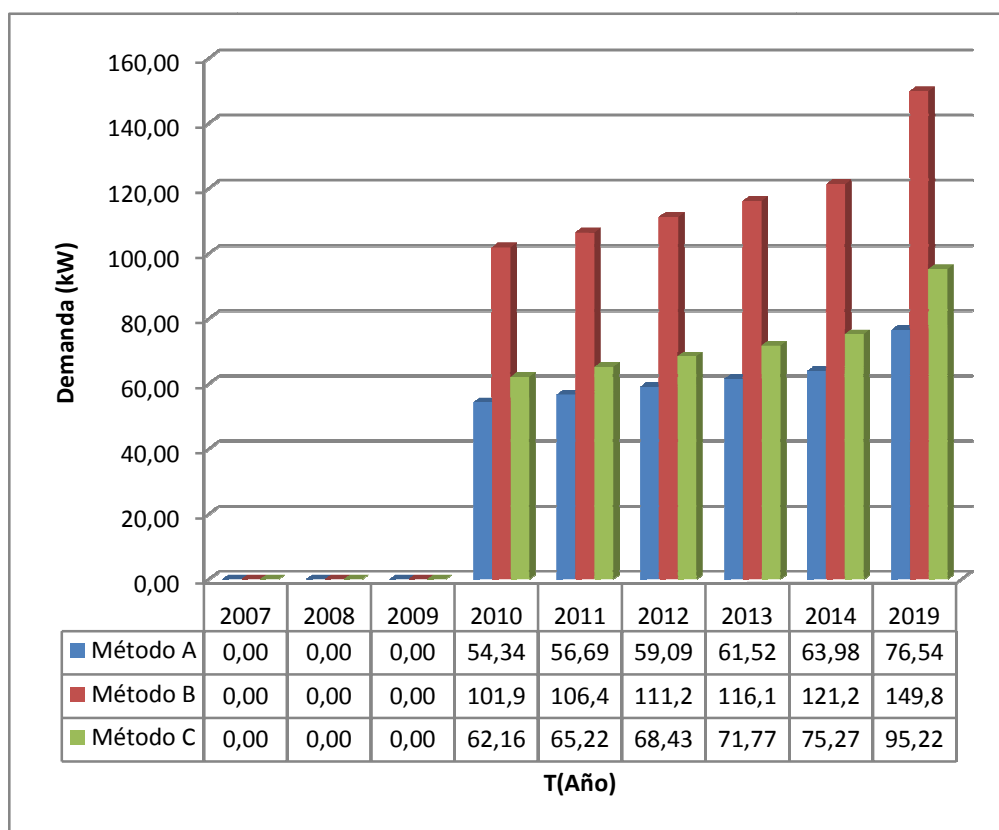


**Gráfica N° 5.15 Tasa de crecimiento promedio de la Cuadrícula cuya posición coordinadas bajo la planimetría utilizada es BR, BI, A**

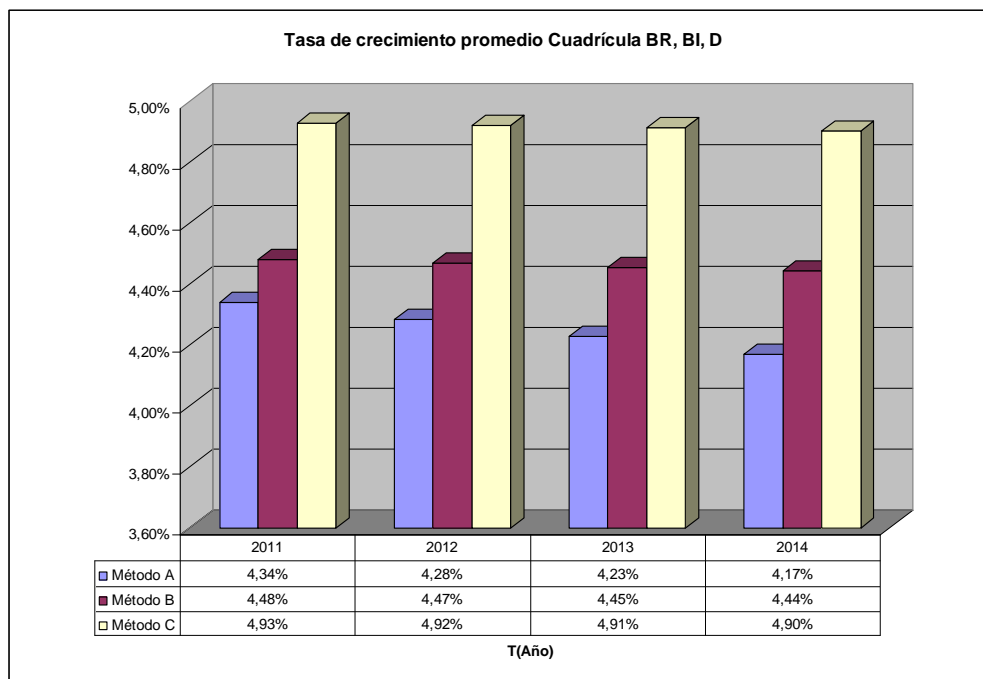


En las cuadrículas descritas como áreas vacantes, se tomó como muestra la cuadrícula cuyas coordenadas según la disposición de la planimetría utilizada es (BR, BI, D). Se muestran las Gráficas N° 5.16 y N°5.17, en las cuales se evidencia que empieza a tener estimación de demanda desde el año 2010, y su tasa de crecimiento promedio va disminuyendo, el incremento de la demanda se hace lento esperando los fuertes incrementos de la demanda en cortos períodos como se describe en el capítulo 4 el comportamiento de una cuadrícula en curva S a lo largo del tiempo.

**Gráfica N° 5.16 .Pronóstico de demanda de la cuadrícula cuya posición coordenadas bajo la planimetría utilizada es BR, BI, D**



**Gráfica N° 5.17 Tasa de crecimiento promedio de la cuadrícula cuya posición coordinadas bajo la planimetría utilizada es BR, BI, D**



Después de revisar los resultados por cuadrícula, el siguiente nivel a estudiar es los pronósticos a nivel de circuito. En la Tabla N° 5.6, Tabla N° 5.7 y Tabla N° 5.8 se muestran los pronósticos por circuito bajo el método A, B y C respectivamente. Cabe destacar que para obtener la serie de pronósticos del año 2010-2013 a nivel de circuitos se utilizó el mismo procedimiento aplicado para desagregar los registros históricos en el cual se obtienen la sumatoria de las cuadrículas asociadas por subestación y se desagrega hasta llegar a los circuitos. Para el escenario por cuadrícula se aplicó una regresión utilizando la función tangente hiperbólica con los pronósticos obtenidos para el año 2014 y 2019 para construir la curva que modela el comportamiento de cada cuadrícula entre 2010-2013.

Subestacion	N° Tr	Circuitos	METODO A										Tasa de Crecimiento Promedio apartir de año 2009			
			Carga Máxima 2007 (A)	Carga Máxima 2008 (A)	Dmax 2009 (A)	Dmax 2010 (A)	Dmax 2011 (A)	Dmax 2012 (A)	Dmax 2013 (A)	2010	2011	2012	2013			
TIGRE II	Tr1	Av Peñalver	452,83	426,92	524,20	541,38	579,15	614,33	646,56	3,28%	5,11%	5,43%	5,38%			
		Iera Carrera	382,58	386,83	474,98	481,23	514,80	546,07	574,72	1,31%	4,11%	4,76%	4,88%			
		Revenga	363,00	390,67	479,69	501,28	536,25	568,82	598,66	4,50%	5,73%	5,85%	5,70%			
	Tr2	Intercomunal Norte	368,17	382,08	469,15	481,23	514,80	546,07	574,72	2,57%	4,75%	5,19%	5,20%			
		Intercomunal Sur	371,00	343,67	471,40	481,25	514,79	546,05	574,69	2,09%	4,50%	5,02%	5,08%			
		Matadero	263,00	297,75	408,42	407,21	435,60	462,04	486,28	-0,29%	3,27%	4,20%	4,46%			
		Ciudad Tablita	346,67	379,58	520,66	536,78	574,19	609,06	641,00	3,10%	5,01%	5,37%	5,34%			
		Calle 21 Sur	289,75	309,92	425,10	425,72	455,39	483,04	508,38	0,15%	3,50%	4,35%	4,57%			
		Las Delicias	329,17	344,92	332,84	370,52	402,12	429,96	453,85	11,32%	9,92%	8,91%	8,06%			
		Flint	380,17	403,50	389,37	434,96	472,05	504,74	532,78	11,71%	10,11%	9,04%	8,15%			
TIGRE III	Tr1	El Canal	370,42	379,75	366,46	402,74	437,09	467,35	493,32	9,90%	9,21%	8,44%	7,72%			
		Alameda	358,83	376,50	363,32	402,74	437,09	467,35	493,32	10,85%	9,68%	8,76%	7,95%			
		Las Brisas	358,17	339,00	479,98	536,45	582,07	622,43	657,12	11,77%	10,12%	9,05%	8,17%			
	Tr2	Guarapera	285,17	312,75	442,81	487,69	529,15	565,85	597,39	10,13%	9,32%	8,52%	7,77%			
		Villa Rosa	365,67	383,17	542,51	601,48	652,62	697,88	736,78	10,87%	9,68%	8,76%	7,95%			
		Vista al Sol	324,50	320,42	443,90	377,07	432,76	477,65	512,33	-15,06%	-1,26%	2,47%	3,65%			
		El Basquero	355,83	374,00	518,13	442,65	508,02	560,72	601,43	-14,57%	-0,98%	2,67%	3,80%			
		California	245,58	314,50	285,63	334,42	383,85	423,72	454,39	17,08%	15,93%	14,05%	12,31%			
		Salida 1	342,58	315,42	436,97	406,20	465,00	514,95	554,91	-7,04%	3,16%	5,63%	6,16%			
		Salida 2	19,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%			
EL ESFUERZO	Tr1	Salida 3	320,75	352,17	487,89	451,33	516,67	572,17	616,57	-7,49%	2,91%	5,46%	6,03%			
		Salida 5	42,75	40,67	56,34	54,16	62,00	68,66	73,99	-3,87%	4,90%	6,82%	7,05%			
GUANIPA	Tr1															

Tabla N° 5.6 Resultados del pronóstico por circuito Método A

Subestacion	Nº Tr	Circuitos	Carga Máxima 2007 (A)	Carga Máxima 2008 (A)	Dmax 2009 (A)	METODO B					Tasa de Crecimiento Promedio apartir de año 2009			
						Dmax 2010 (A)	Dmax 2011 (A)	Dmax 2012 (A)	Dmax 2013 (A)	2010	2011	2012	2013	
TIGRE II	Tr1	Av Peñalver	452,83	426,92	524,20	526,90	548,28	570,33	592,95	0,52%	2,27%	2,85%	3,13%	
		Iera Carrera	382,58	386,83	474,98	468,36	487,36	506,96	527,07	-1,39%	1,29%	2,20%	2,64%	
		Revenga	363,00	390,67	479,69	487,87	507,67	528,08	549,03	1,71%	2,87%	3,26%	3,43%	
	Tr2	Intercomunal Norte	368,17	382,08	469,15	468,36	487,36	506,96	527,07	-0,17%	1,92%	2,62%	2,95%	
		Intercomunal Sur	371,00	343,67	471,40	468,40	487,35	506,95	527,10	-0,64%	1,68%	2,45%	2,83%	
		Matadero	263,00	297,75	408,42	396,34	412,37	428,96	446,01	-2,96%	0,48%	1,65%	2,23%	
		Ciudad Tablita	346,67	379,58	520,66	522,45	543,58	565,45	587,92	0,34%	2,18%	2,79%	3,08%	
		Calle 21 Sur	289,75	309,92	425,10	414,35	431,12	448,46	466,28	-2,53%	0,70%	1,80%	2,34%	
TIGRE III	Tr1	Las Delicias	329,17	344,92	332,84	406,45	420,62	435,16	450,10	22,12%	12,41%	9,35%	7,84%	
		Flint	380,17	403,50	389,37	477,14	493,77	510,84	528,37	22,54%	12,61%	9,47%	7,93%	
		El Canal	370,42	379,75	366,46	441,80	457,19	473,00	489,24	20,56%	11,70%	8,88%	7,49%	
	Tr2	Alameda	358,83	376,50	363,32	441,80	457,19	473,00	489,24	21,60%	12,18%	9,19%	7,72%	
		Las Brisas	358,17	339,00	479,98	588,43	608,88	630,03	651,60	22,59%	12,63%	9,49%	7,94%	
		Guarapera	285,17	312,75	442,81	534,93	553,53	572,76	592,36	20,80%	11,81%	8,96%	7,55%	
		Villa Rosa	365,67	383,17	542,51	659,75	682,69	706,40	730,58	21,61%	12,18%	9,20%	7,72%	
		Vista al Sol	324,50	320,42	443,90	509,44	522,16	535,26	548,75	14,76%	8,46%	6,44%	5,44%	
EL ESFUERZO	Tr1	El Basquero	355,83	374,00	518,13	598,04	612,97	628,35	644,18	15,42%	8,77%	6,64%	5,59%	
		California	245,58	314,50	285,63	451,70	463,10	474,83	486,55	58,15%	27,33%	18,46%	14,24%	
	Tr3	Salida 1	342,58	315,42	436,97	538,51	553,41	568,48	584,13	23,24%	12,54%	9,17%	7,53%	
		Salida 2	19,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	
		Salida 3	320,75	352,17	487,89	598,35	614,89	631,65	649,03	22,64%	12,26%	8,99%	7,40%	
GUANIPA	Tr1	Salida 5	42,75	40,67	56,34	71,80	73,79	75,80	77,88	27,45%	14,44%	10,39%	8,43%	

Tabla N° 5.7 Resultados del pronóstico por circuito Método B



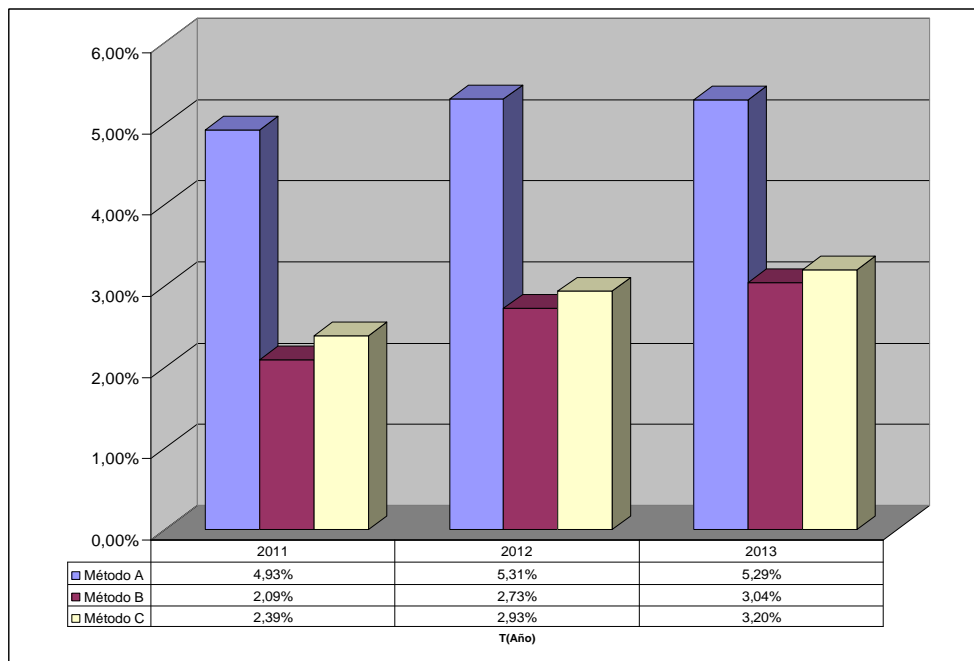
Subestacion	N° Tr	Circuitos	Carga Máxima 2007 (A)	Carga Máxima 2008 (A)	Dmax 2009 (A)	METODO C					Tasa de Crecimiento Promedio apartir de año 2009		
						Dmax 2010 (A)	Dmax 2011 (A)	Dmax 2012 (A)	Dmax 2013 (A)	2010	2011	2012	2013
TIGRE II	Tr1	Av Peñalver	452,83	426,92	524,20	529,73	551,45	573,72	596,80	1,06%	2,57%	3,06%	3,30%
		1era Carrera	382,58	386,83	474,98	470,87	490,17	509,98	530,49	-0,87%	1,59%	2,40%	2,80%
		Revenga	363,00	390,67	479,69	490,49	510,60	531,23	552,59	2,25%	3,17%	3,46%	3,60%
	Tr2	Intercomunal Norte	368,17	382,08	469,15	470,87	490,17	509,98	530,49	0,37%	2,22%	2,82%	3,12%
		Intercomunal Sur	371,00	343,67	471,40	470,91	490,18	510,00	530,48	-0,10%	1,97%	2,66%	3,00%
TIGRE III	Tr1	Matadero	263,00	297,75	408,42	398,46	414,77	431,54	448,86	-2,44%	0,77%	1,85%	2,39%
		Ciudad Tablita	346,67	379,58	520,66	525,24	546,74	568,85	591,69	0,88%	2,47%	2,99%	3,25%
		Calle 21 Sur	289,75	309,92	425,10	416,57	433,62	451,16	469,27	-2,01%	1,00%	2,00%	2,50%
		Las Delicias	329,17	344,92	332,84	404,91	419,08	433,72	448,65	21,65%	12,21%	9,23%	7,75%
		Flint	380,17	403,50	389,37	475,33	491,96	509,15	526,68	22,08%	12,40%	9,35%	7,84%
	Tr2	El Canal	370,42	379,75	366,46	440,12	455,52	471,43	487,66	20,10%	11,49%	8,76%	7,41%
		Alameda	358,83	376,50	363,32	440,12	455,52	471,43	487,66	21,14%	11,97%	9,07%	7,64%
		Las Brisas	358,17	339,00	479,98	586,22	606,81	627,96	649,52	22,13%	12,44%	9,37%	7,86%
		Guarapera	285,17	312,75	442,81	532,92	551,65	570,87	590,47	20,35%	11,61%	8,84%	7,46%
		Villa Rosa	365,67	383,17	542,51	657,27	680,36	704,08	728,25	21,15%	11,99%	9,08%	7,64%
EL ESFUERZO	Tr1	Vista al Sol	324,50	320,42	443,90	500,77	513,49	526,40	552,99	12,81%	7,55%	5,85%	5,65%
		El Basquero	355,83	374,00	518,13	587,86	602,79	617,94	649,16	13,46%	7,86%	6,05%	5,80%
	Tr3	California	245,58	314,50	285,63	444,17	455,39	466,78	478,51	55,51%	26,27%	17,79%	13,77%
		Salida 1	342,58	315,42	436,97	538,51	553,59	569,05	584,69	23,24%	12,56%	9,20%	7,55%
		Salida 2	19,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
GUANIPA	Tr1	Salida 3	320,75	352,17	487,89	598,35	615,10	632,28	649,66	22,64%	12,28%	9,03%	7,42%
		Salida 5	42,75	40,67	56,34	71,80	73,81	75,87	77,96	27,45%	14,46%	10,43%	8,46%

Tabla N° 5.8 Resultados del pronóstico por circuito Método C

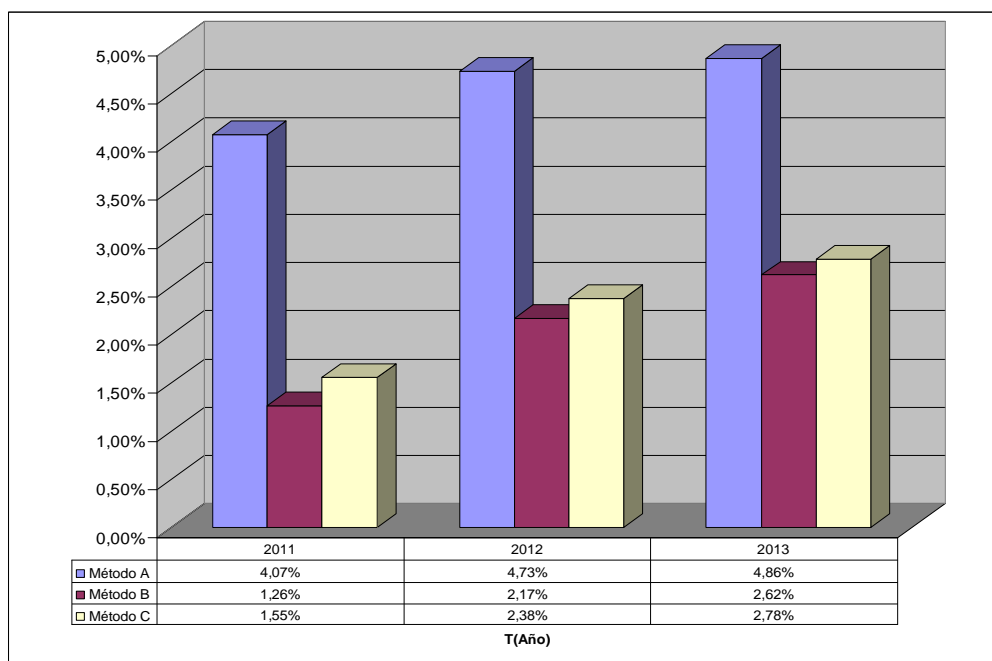
En las Gráficas N° 5.18, N° 5.19, N° 5.20 y N°5.21, se muestra la tasa de crecimiento promedio por conjunto de circuitos asociados a la Subestación El Tigre II y El Tigre III. Para la Subestación El Tigre III, se observan que crece la tasa de crecimiento promedio pero un valor bajo dando indicativo de que la zona sigue expandiéndose de manera más leve, mientras que los circuitos asociados a la Subestación El Tigre III presentan una tasa de crecimiento promedio mayor pero en decrecimiento. Adicionando ambos resultados da fuertes indicios que se necesita inversión a nivel de circuitos para atender la demanda y las áreas de crecimiento. Esta información complementará la labor del planificador en la fase de diseño de las redes de distribución, proyectos de expansión junto al levantamiento de nuevas infraestructura, en cuanto a circuitos y subestaciones.

En las Gráficas N° 5.22, N° 5.23 y N° 5.24, se muestra la tasa de crecimiento promedio por conjunto de circuitos asociados a la Subestación El Esfuerzo y Guanipa. Se nota que en la Subestación El Esfuerzo, el circuito California tiene mayor tasa de crecimiento promedio dando información que lleva mucho peso en el crecimiento de la demanda de la zona de influencia de la S/E El Esfuerzo que indica que hacia el suroeste de San José de Guanipa, igual hacia el norte de San José de Guanipa cuyo circuito que lleva la energía corresponde al circuito El Basquero. En cuanto a los circuitos asociados a la Subestación Guanipa cuya área de influencia en el sur de San José de Guanipa, se note que para el Método A sugiere un crecimiento sostenido a corto plazo mientras que para los Método B y C presenta un decrecimiento a corto plazo, a ubicar en el plano espacial del pronóstico mostrado en la Gráfica N° 5.12 se nota que el crecimiento del sur de San José de Guanipa es muy disperso a comparación de lo concentrado del crecimiento que distribuye los circuitos asociados a la S/E El Esfuerzo.

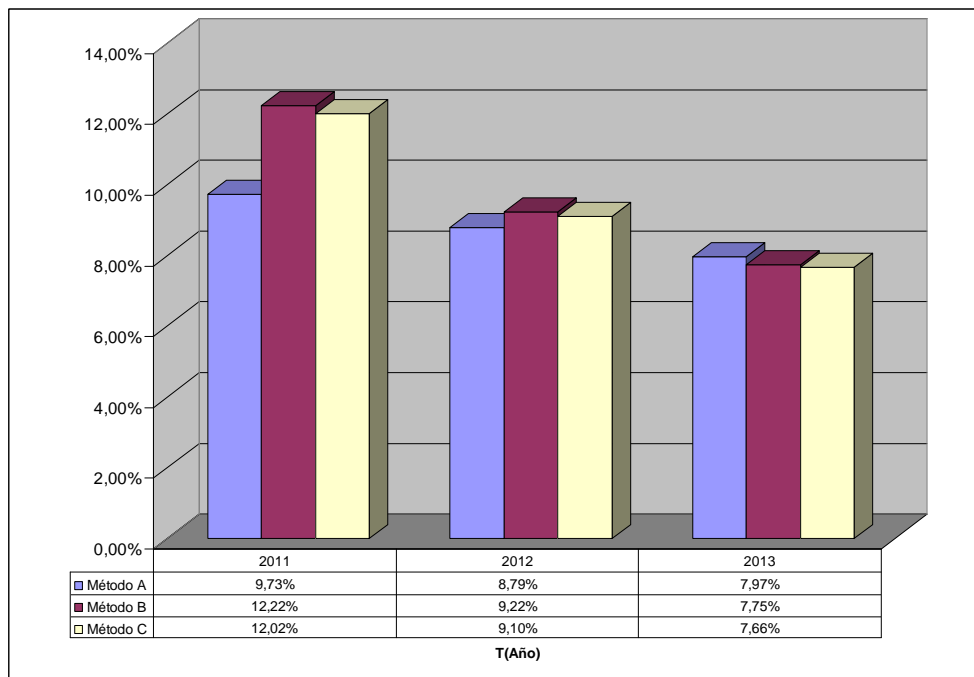
**Gráfica N° 5.18 Tasa de crecimiento promedio respecto año 2009 de los Circuitos del Tr 1: Av.Peñalver, 1era Carrera, Revenga, Inter. Norte- S/E El Tigre II**



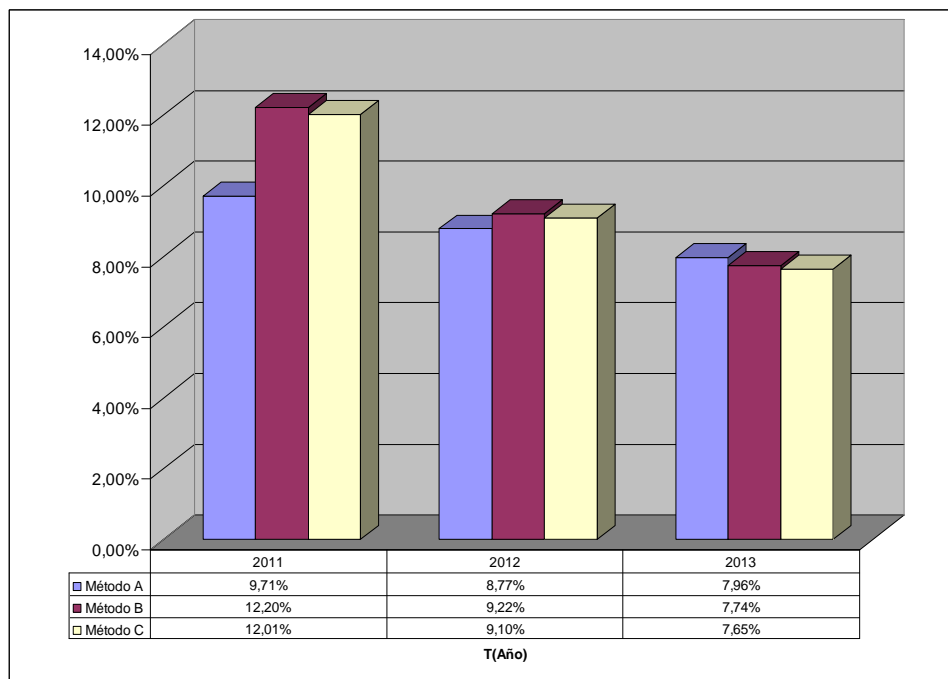
**Gráfica N° 5.19 Tasa de crecimiento promedio respecto al año 2009 de los Circuitos del Tr 2: Inter. Sur, Matadero, Ciudad Tablita, Calle 21 - S/E El Tigre II**



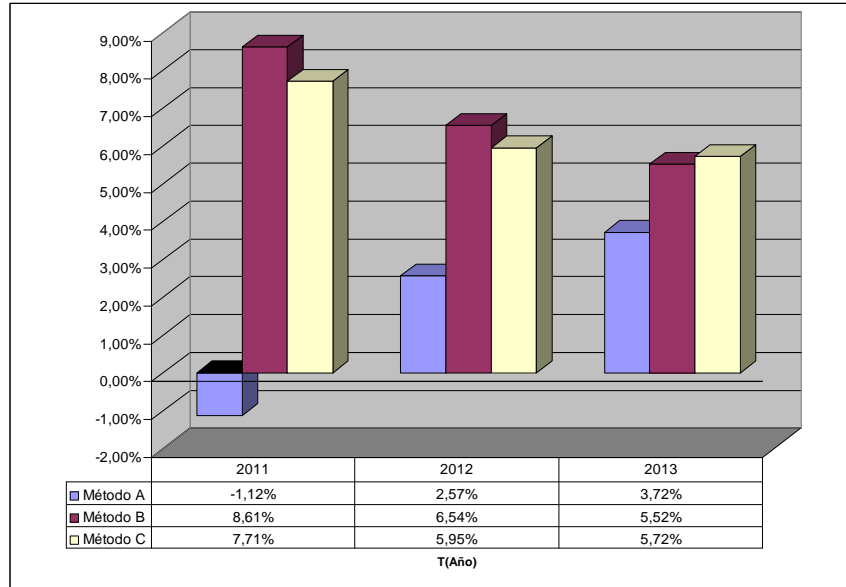
**Gráfica N° 5.20 Tasa de crecimiento promedio respecto al año 2009 de los Circuitos asociados a Tr 1: Las Delicias, Flint, El Canal, Alameda- S/E El tigre III**



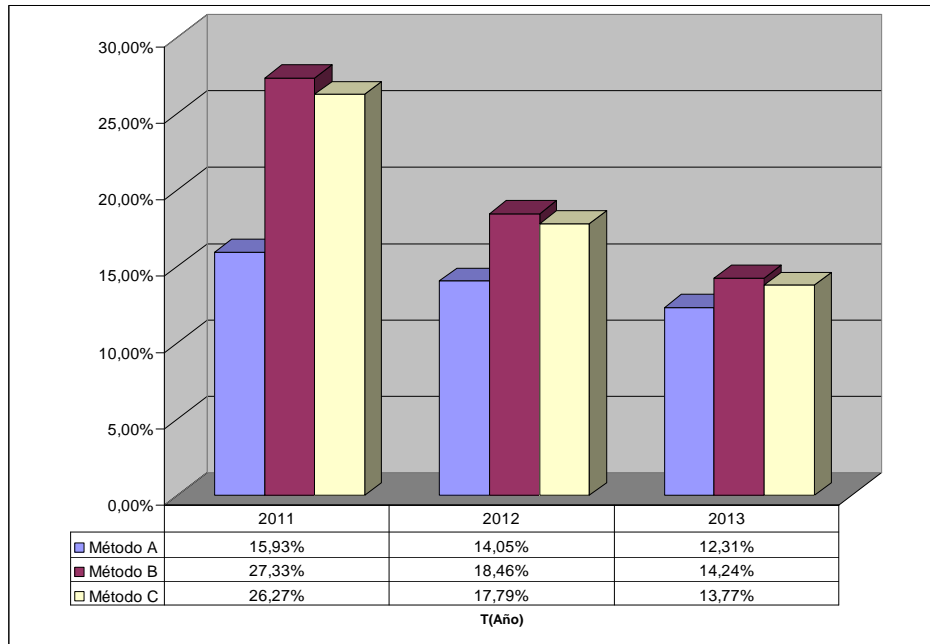
**Gráfica N° 5.21 Tasa de crecimiento promedio respecto al año 2009 de los Circuitos asociados a Tr 2: Las Brisas, Guarepera, Villa Rosa S/E El tigre III**



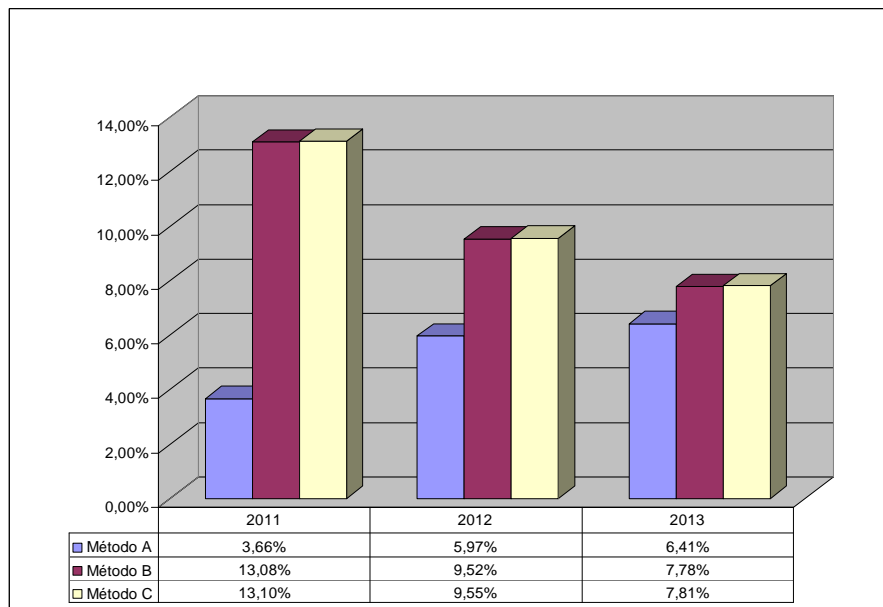
**Gráfica N° 5.22 Tasa de crecimiento promedio respecto al año 2009 de los Circuitos asociados a Tr 1: Vista al Sol, Basquero- S/E El Esfuerzo**



**Gráfica N° 5.23 Tasa de crecimiento promedio respecto al año 2009 de los Circuitos asociados a Tr 2: California S/E El Esfuerzo**



**Gráfica N° 5.24 Tasa de crecimiento promedio respecto al año 2009 de los Circuitos asociados a Tr 1: Salida 1, Salida 3, Salida 5- S/E Guanipa**



Con la información, registro y resultados obtenidos, se pueden construir diferente tipo de indicadores producto del pronóstico con solo relacionar diferentes capas ya expuestas, dichos indicadores pueden ser:

- Pronósticos en niveles de [MVA] por tipo de zonificación,
- Información sobre la región en términos de [MVA/km<sup>2</sup>]
- Información sobre la región en términos de [MVA/km<sup>2</sup>] por subestación.
- Factor de utilización de la capacidad actual instalada por cuadrícula, por circuito, por transformador o por subestación respecto a los pronósticos obtenidos.
- Centro de carga por poligonal, por subestación, por grupos de cuadrículas o por microárea irregulares.
- Cualquier indicador necesario para los siguientes pasos en el proceso de planificación y diseños de los sistemas de distribución.

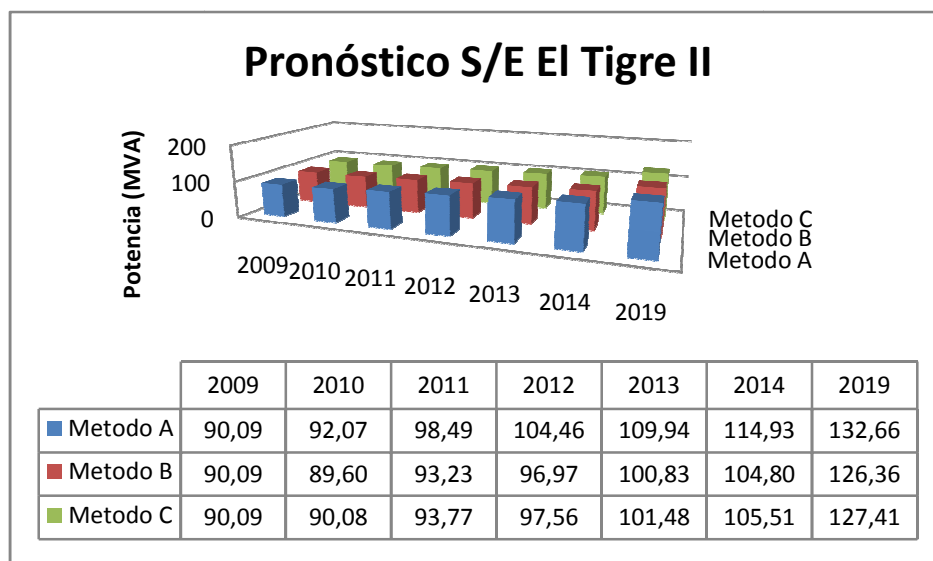
### **5.7 Análisis de la aplicación de la metodología propuesta.**

Se observó que existen diferencias leves en la asignación de demanda hacia las áreas vacantes, en los métodos B y C la asignación es mayor debido que el proceso lo controla un modelo que incluye atributos propios de la región y no bajo un algoritmo basado en divisiones sucesivas.

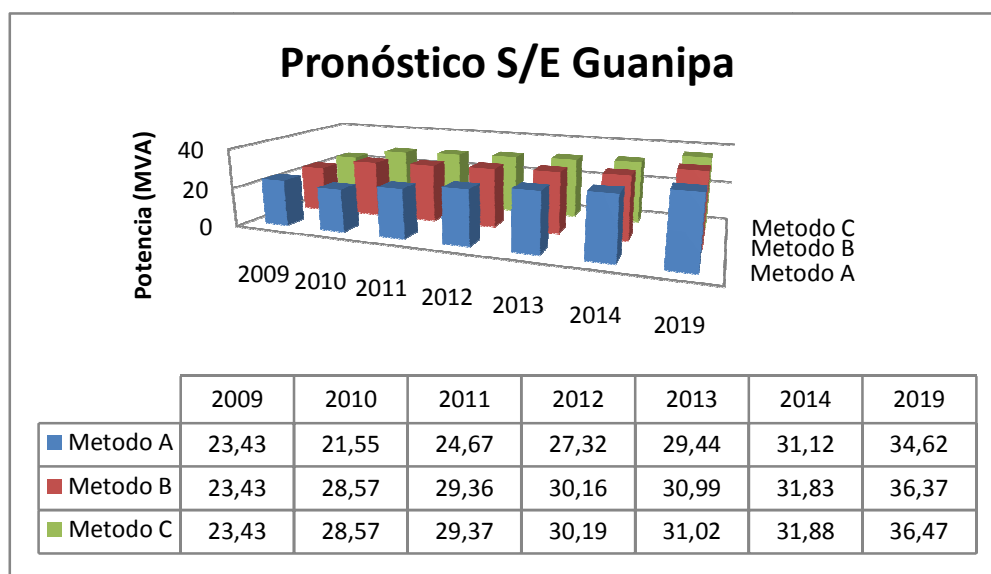
A nivel de subestaciones como muestras las Graficas N° 5.25, 5.26, 5.27 y 5.28 solo presentan leves diferencias entre métodos en las S/E Guanipa y S/E El Esfuerzo debido que en la zona donde están ubicadas hay mayor cantidad de áreas vacantes y los métodos B y C le dan prioridad de asignación a las áreas vacantes, esta diferencia incluye en las otras dos (2) subestaciones ya que en términos generales el procedimiento distribuye el pronóstico global de la región. En las tablas N° 5.8, N°5.9 y N°5.10 se observa que los circuitos de las S/E El Esfuerzo y S/E Guanipa tienen grandes tasas de crecimiento comparados con los circuitos de la S/E El Tigre II, en cuanto a los circuitos de la S/E El Tigre III tiene un crecimiento alto por tener un área de influencia grande e incluye un número considerable de áreas vacantes.

Los modelos B y C distribuyen según el modelo que se implementó, el modelo de polos de desarrollo mantenía como atributo esencial la distancia a los polos de desarrollo mientras el modelo C se complementa con mayor número de atributos que modelan la región. Se pudo constatar que para la zona ubicada en las S/E Guanipa y S/E El Esfuerzo la demanda eléctrica tiene un crecimiento importante debido que la ciudad está creciendo hacia la zona San José de Guanipa, en especial se concentra el crecimiento al oeste y norte de San José de Guanipa y un crecimiento disperso hacia el sur y este de San José de Guanipa. Las S/E El Tigre II y El Tigre III mantienen el crecimiento de la ciudad del El Tigre debido que ésta amplía sus horizontes, en especial al oeste, norte y el centro de El Tigre.

**Gráfica N° 5.25 Subestación El Tigre II**

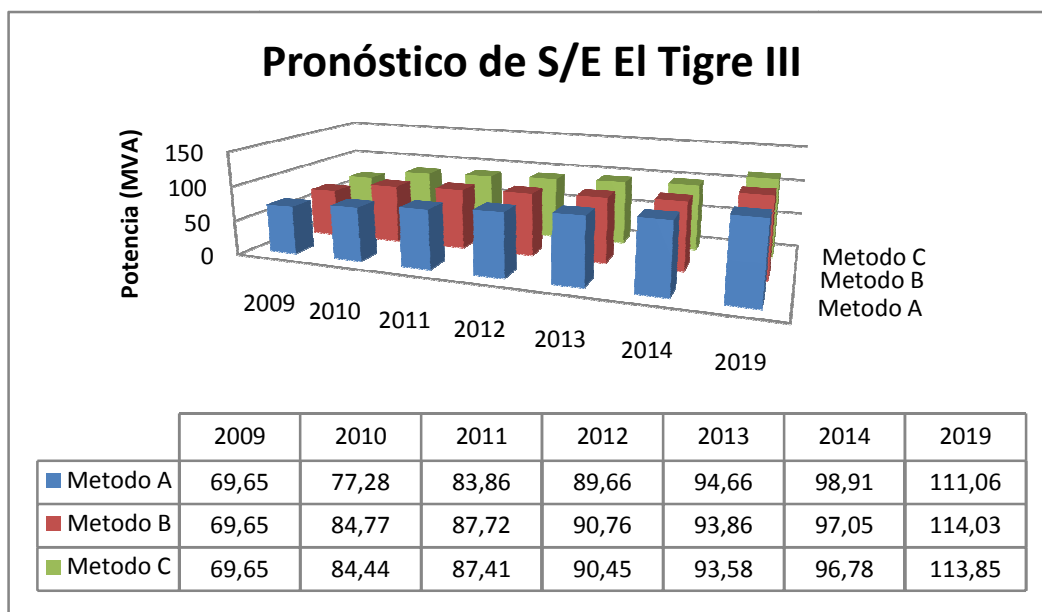


**Gráfica N° 5.26 Subestación Guanipa**

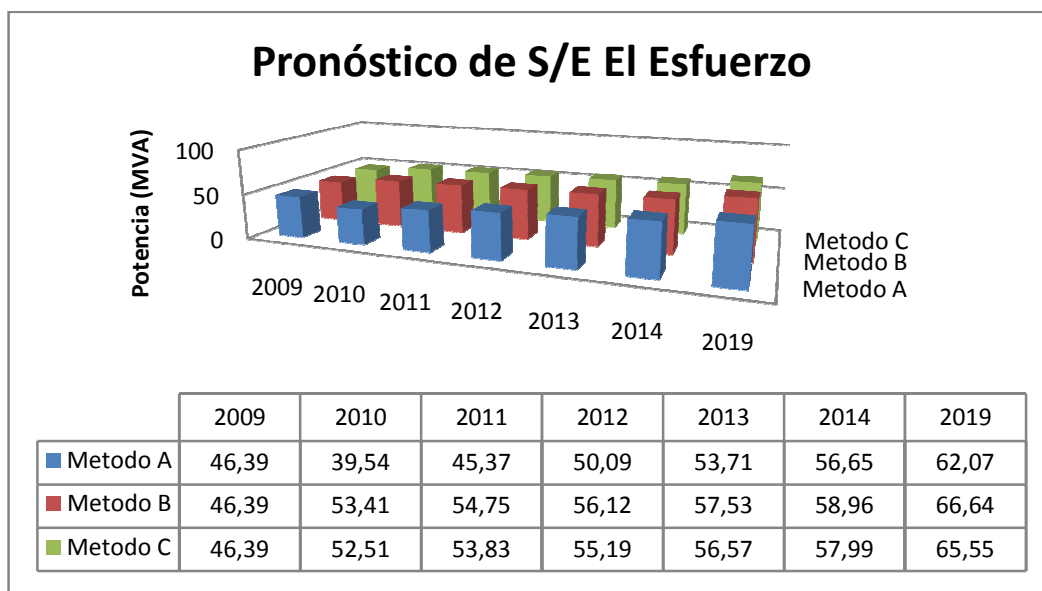




**Gráfica N° 5.27 Subestación El Tigre III**



**Gráfica N° 5.28 Subestación El Esfuerzo**



Los métodos cumplen con su objetivo de asignar demanda aquellas áreas que están próximas a desarrollarse. Se cumple con proveer información sobre los pronósticos necesarios para las siguientes fases del proceso de planificación a corto y mediano plazo. En el proceso del diseño de las redes de distribución se ajustan para adecuar a las normas y estándares propios de CADAFE. Para la planificación de ampliaciones y/o construcción de nuevas subestaciones, las cuadrículas son la base de la red conceptual que permite estudiar las posibles soluciones y planes de expansión.

En el área del pronóstico de demanda se necesitan valores reales de cada periodo para poder comparar y formular ecuaciones de sensibilidad de cada método, dicho estudio trasciende el objetivo del presente trabajo pero se retoma la necesidad de profundizar en el área de pronóstico para construir metodologías robustas junto con el desarrollo de programas para manejar gran cantidad de datos.

### **5.8 Comparación entre los procedimientos aplicados en la metodología propuesta.**

Todos los métodos comparten la estructura tendencial que modela el comportamiento de las cuadrículas según la curva S, y difiere en la asignar la demanda producto del diferencial existente entre el pronóstico no coincidente del área bajo estudio y la sumatoria de las cuadrículas.

El método A, realiza la distribución de manera sistemática mediante divisiones sucesivas y tres (3) criterios, se obtiene buenos resultados, su implementación es sencilla, y los requerimientos de datos son mínimos.

En cambio en el método B, la asignación se produce según la distancia a los polos urbanos ofreciendo resultados poco confiables en cuanto a la magnitud de la demanda futura, pero mejora en cuanto a su localización.

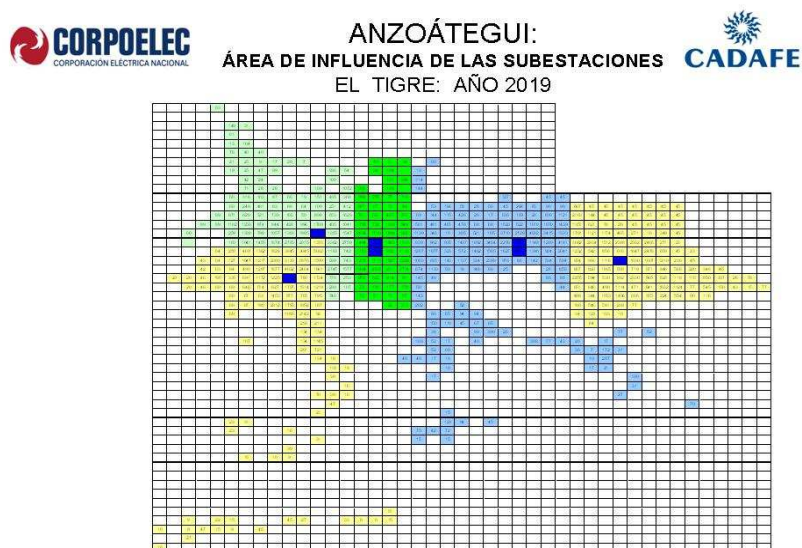
El método C basado en modelos urbanísticos, acarrea siempre resultados más precisos en magnitud y localización de la demanda eléctrica futura, a costa de una mayor complejidad en su implantación, y mayores requerimientos de datos.

### 5.9 Aplicación de los pronósticos en el área de planificación

Las ventajas de realizar los pronósticos de demanda bajo conceptos de microárea uniformes (cuadrículas), son las siguientes: La planificación a mediano y corto plazo según procesos y algoritmos de optimización basado en nodos conceptuales; y la ubicaciones futuras subestaciones basados en los centros de carga, mediante el momento eléctrico de las cuadrículas con la subestaciones actuales.

La Figura N° 5.1 muestra la utilización de los centros de carga para presentar la propuesta en materia de ubicación de nuevas subestaciones, en el Plan de Adecuación y Expansión- período 2014-2019 región 1.

**Figura N° 5.1 Ubicación de las subestaciones según los centros de carga.**



Fuente: CADAFE 2009, Plan de Adecuación y Expansión período 2014-2019, región 1.

## CONCLUSIONES

En el presente proyecto se estudiaron las diversas maneras utilizadas para la construcción de metodologías para el pronóstico de demanda eléctrica en sistema de distribución eléctrica, incluidos aquellos utilizados en el pasado en los diversos estudios de planificación el Sistema Eléctrico de Distribución de CADAPE.

Con la propuesta metodológica propuesta se articularon las mejores prácticas empleadas en el pasado en la empresa de CADAPE, con lo que se cumplía las expectativas, objetivos y lineamientos requerido en la planificación de los sistemas de distribución eléctrica.

Dicha metodología, basada en microáreas, pretende ser económica, viable, actualizable, segura, confiable y eficiente, y puede ser empleada en las diferentes regiones de CADAPE.

De manera práctica la metodología propuesta se implementó en la región Sur del Estado Anzoátegui, en específico en la ciudad de El Tigre durante el período 2009-2019. El mayor beneficio del trabajo consistió en que se pudo visualizar gráficamente (Planos de la ciudad dividida por cuadrículas de 0,25 km<sup>2</sup>) la magnitud de la demanda en los años extremos, adicionalmente se generó para el resto de los años un conjunto de gráficos. En la referida distribución espacial se observó un desplazamiento mayor de la demanda hacia los extremos de Este-Noreste y Oeste-Suroeste de la ciudad.

En los actuales momentos la zona Este-Noreste es atendida por la S/E Guanipa y la S/E El Esfuerzo, mientras que la zona Oeste-Sureste está alimentada por la S/E El Tigre III. En el presente trabajo se constató para el corto plazo (período 2010-2013) la tasa de crecimiento promedio anual que soportaría los circuitos de distribución primarios de cada S/E.

El análisis permitió confirmar que para el período en estudio, que la tasa de crecimiento promedio anual de la demanda atendida por los circuitos primarios más importantes es la siguiente: Todos los circuitos de la S/E Guanipa tiene una tasa de alrededor del 9%, el circuito California de la S/E El Esfuerzo, con alrededor del 14% y todo los circuitos de la S/E El Tigre III, con un 8%.

Otro aspecto evaluado en el presente trabajo, consistió en la determinación de la tasa de crecimiento promedio anual en el mediano plazo (período 2010-2019) de las S/E antes mencionadas, obteniendo los siguientes resultados. S/E EL Tigre III con un 4,8%, S/E Guanipa con un 4,5%, S/E El Esfuerzo 2,9% y la S/E El Tigre II (atendiendo la zona NorOeste de la Ciudad) con un 3,7%.

Como conclusión relevante, se puede destacar de la predicción de demanda a nivel de distribución debe perseguir como meta el obtener la magnitud y la localización de los nuevos requerimientos de potencia y en tal sentido mientras más acertados sean dichos pronósticos, la planificación y la ejecución de planes y proyectos de distribución serán más eficientes y óptimos.

Como conclusión final se puede resaltar que el conjunto de actividades contempladas en los estudios de planificación, inician con el pronóstico de la demanda de una región, para su eventual uso en las siguientes etapas donde se diseñan las redes primarias y secundarias del sistema de distribución.

## RECOMENDACIONES

Una vez concluida la tesis, en aras de complementar una sólida, dinámica, eficiente y eficaz metodología para el pronóstico de la demanda eléctrica en el sistema eléctrico de distribución de CADAFE, se recomienda:

1. Mantener los registros históricos de datos actualizados como también la información de los circuitos, subestaciones, transformadores (incluyendo transferencias de carga), así como los planes de mantenimiento y registros de fallas.
2. Complementar los registros históricos por punto de consumo: datos de usuarios, caracterización, consumo histórico de energía, ubicación geográfica por transformador y poste, y registro de usuarios por legalizar.
3. Construir y mantener un registro de las variables urbanísticas que influyen en el pronóstico de la demanda como son: número de usuarios residenciales, comerciales e industriales, infraestructura pública (escuelas, hospitales junto con su posición geográfica), plan de ordenamiento territorial, plan de ordenamiento urbano, y zonificaciones, entre otras.
4. Normalizar el método de ajuste y suavización del tratamiento de datos que incluyen eventos como transferencias de cargas y otras actividades asociadas a la operación de los circuitos y transformadores, que pueden generar información no precisa en cuanto a los máximos de demanda que ocurren. Una opción podría ser el uso de los promedios móviles.

5. Aplicar la metodología propuesta en otras regiones de CADAFE y comparar los resultados con los pronósticos obtenidos en el Plan de Expansión 2009-2019.
6. Desarrollar un programa asociado al Método de Tendencia Histórica e Inferencia en Áreas Vacantes para su aplicación en los estudios de planificación de CADAFE, buscando la innovación tecnológica, promoviendo el talento nacional y la formación de herramientas adecuada, esto puede significar un camino nuevo a métodos más sofisticados en el área de predicción de demanda.
7. Desarrollar y mantener un Sistema de Información Geográfica (SIG) capaz de recopilar todos los registros tanto eléctricos y urbanísticos, asociados a las regiones de competencia de CADAFE que permitirá tomar decisiones más acertadas en cuanto a la ubicación de las áreas vacantes y zonas de alta probabilidad de desarrollo. La disponibilidad de un SIG permite la construcción de los modelos urbanísticos propios de cada región.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] **Barrios, Guillermo.** Sistema Interactivo de computación para la predicción de demanda en Distribución. Informe de Pasantía, Universidad Central de Venezuela, Caracas, 1983.

[2] **Yáñez, Fernando.** Predicción de demanda en distribución. Parte I. Modelos de Predicción. Artículo presentado en las jornadas técnicas de profesionales de CADAFE, Caracas, 1983.

[3] **Yáñez, Fernando.** Predicción de demanda en distribución. Parte II. Análisis del modelo de predicción de demanda (MPD) del SAD. Artículo presentado en las jornadas técnicas de profesionales de CADAFE, Caracas, 1983.

[4] **Yáñez, Fernando.** Predicción de demanda en distribución. Parte III. Método de tendencia histórica e inferencia en áreas vacantes. Artículo presentado en las jornadas técnicas de profesionales de CADAFE, Caracas, 1983.

[5] **Willis, H. Lee.** Spatial Electric Load Forecasting. Second Edition, Marcel Dekker Inc, New York, 2002.

[6] **Davor Skrlec, Slavko Krajcar y Snjezana Blagajac.** Application of gis technology in electrical distribution network optimization, 1994. [Documento en Línea]. Disponible: <http://libraries.maine.edu/Spatial/gisweb/spatdb/egis/eg94210.html> [Consulta: 2009, Febrero 20]

[7] **Bravo G, Alejandro.** Desarrollo de un método temporal y espacial para el pronóstico de demanda en sistemas eléctricos de distribución. Tesis de Grado, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago de Chile, 1988.



- [8] **Noonan, Jessica.** Spatial Load Forecasting: Bringing GIS to T&D Asset Management. Portland, USA, 2004.
- [9] **Navarro, Espinosa.** Planificación de redes de distribución: aproximación vía clustering, diagramas de voronoi y búsqueda tabú. Tesis para optar al grado de Magister en Ciencias de la Ingeniería. Pontificia Universidad Católica de Chile, 2007.
- [10] **Ramírez C, Samuel.** Redes de Distribución de Energía Tercera. Tercera Edición. Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales, 2004.
- [11] **Zabalza, I., Dominguez, J., Bernal, J. y Yusta, J.** Aplicación de los SIG a la Previsión de la Demanda Eléctrica. Universidad de Zaragoza, 2001.
- [12] **Gönen, Turan.** Electric Power Distribution System Engineering. Universidad of Missouri at Columbia, 2007.
- [13] **Montagnon, Francois.** Planificación de la expansión de sistemas de distribución vía algoritmo genéticos. Tesis de Grado, Pontificia Universidad Católica de Chile, 1999.
- [14] **Alfares, H. y Nazeeruddin, M.** Electric load forecasting: literature survey and classification of methods. International Journal of Systems Science, volumen 33, número 1, pag 23-24. 2002.
- [15] **Bosque, Sendra.** “Sistemas de información geográfica”, Ediciones Rialp, S.A., pp. 293. Madrid, España, 1997.

[16] **Paredes R, Jorge.** Planificación y control de la producción, Universidad de de Azuay, Ecuador, 2001.

[17] **Ríos, M., García, L. y Corona, E.** Aplicación del proceso de jerarquía analítica en la evaluación y adquisición de viviendas de interés social. Revista de Ingeniería Industrial-ITC, México, 2007.

[18] **Pérez Pueyo, Rosanna.** Procesado y Optimización de Espectros Raman mediante Técnicas de Lógica Difusa: Aplicación a la identificación de Materiales Pictóricos. Tesis de Grado. Universitat Politècnica de Catalunya, España, 2005.

[19] **Lee, K. Y. y Cha, Y. T.** Short-term load forecasting using an artificial neural network. Transactions on Power System, Vol. 7, No.1, Pag. 124-133, Penn State University, 1992.

[20] **Penissi, Oswaldo.** Canalizaciones Eléctricas Residenciales. Décima Edición. 2006.

[21] **CADAFE.** Análisis de criterios modelos y procedimientos para una metodología integral de planificación de sistemas eléctricos, (Libro). —Vol. II. Caracas, 1984.

[22] **Salama David.** Estadística, Metodología y Aplicaciones. Editorial Torino. Venezuela, Caracas, 2002.

[23] **CADAFE.** Manual para el diseño del sistema de distribución a mediano plazo, PUB-50110-P013, Caracas, 1985.

[24] **CADAFE.** Informe N° 13310-012 titulado “Pronóstico de demanda por sistema total CADAFE y subestación 115 kV, período 2009-2024”,

## BIBLIOGRÁFICA

**Alfares, H. y Nazeeruddin, M.** Electric load forecasting: literature survey and classification of methods. *International Journal of Systems Science*, volumen 33, número 1., 2002.

**Barrios, Guillermo.** Sistema Interactivo de computación para la predicción de demanda en Distribución. Informe de Pasantía, Universidad Central de Venezuela, Caracas, 1983.

**Bosque, Sendra.** “Sistemas de información geográfica”, Ediciones Rialp, Madrid, España, 1997.

**Bravo G, Alejandro.** Desarrollo de un método temporal y espacial para el pronóstico de demanda en sistemas eléctricos de distribución. Tesis de Grado, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago de Chile, 1988.

**CADAFE.** Análisis de criterios modelos y procedimientos para una metodología integral de planificación de sistemas eléctricos, (Libro). - Vol. II. Caracas, 1984.

**CADAFE.** Manual para el diseño del sistema de distribución a mediano plazo, PUB-50110-P013, Caracas, 1985.

**Davor Skrlec, Slavko Krajcar y Snjezana Blagajac.** Application of gis technology in electrical distribution network optimization, 1994.

**Gönen, Turan.** Electric Power Distribution System Engineering. Universidad of Missouri at Columbia, 2007.

**Lee, K. Y. y Cha, Y. T.** Short-term load forecasting using an artificial neural network. Transactions on Power System, Vol. 7, No.1 Penn State University, 1992.

**Montagnon, Francois.** Planificación de la expansión de sistemas de distribución vía algoritmo genéticos. Tesis de Grado, Pontificia Universidad Católica de Chile, 1999.

**Navarro, Espinosa.** Planificación de redes de distribución: aproximación vía clustering, diagramas de voronoi y búsqueda tabú. Tesis para optar al grado de Magister en Ciencias de la Ingeniería. Pontificia Universidad Católica de Chile, 2007.

**Noonan, Jessica.** Spatial Load Forecasting: Bringing GIS to T&D Asset Management. Portland, USA, 2004.

**Paredes R, Jorge.** Planificación y control de la producción, Universidad de de Azuay, Ecuador, 2001.

**Penissi, Oswaldo.** Canalizaciones Eléctricas Residenciales. Décima Edición. 2006.

**Pérez Pueyo, Rosanna.** Procesado y Optimización de Espectros Raman mediante Técnicas de Lógica Difusa: Aplicación a la identificación de Materiales Pictóricos. Tesis de Grado. Universidad Politécnica de Catalunya, España, 2005.

**Ramírez C, Samuel.** Redes de Distribución de Energía Tercera. Tercera Edición. Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales, 2004.

**Ríos, M., García, L. y Corona, E.** Aplicación del proceso de jerarquía analítica en la evaluación y adquisición de viviendas de interés social. Revista de Ingeniería Industrial-ITC, México, 2007.

**Salama David.** Estadística, Metodología y Aplicaciones. Editorial Torino. Venezuela, Caracas, 2002.

**Yáñez, Fernando.** Predicción de demanda en distribución. Parte I. Modelos de Predicción. Artículo presentado en las jornadas técnicas de profesionales de CADAPE, Caracas, 1983.

**Yáñez, Fernando.** Predicción de demanda en distribución. Parte II. Análisis del modelo de predicción de demanda (MPD) del SAD. Artículo presentado en las jornadas técnicas de profesionales de CADAPE, Caracas, 1983.

**Yáñez, Fernando.** Predicción de demanda en distribución. Parte III. Método de tendencia histórica e inferencia en áreas vacantes. Artículo presentado en las jornadas técnicas de profesionales de CADAPE, Caracas, 1983.

**Willis, H. Lee.** Spatial Electric Load Forecasting. Second Edition, Marcel Dekker Inc, New York, 2002.

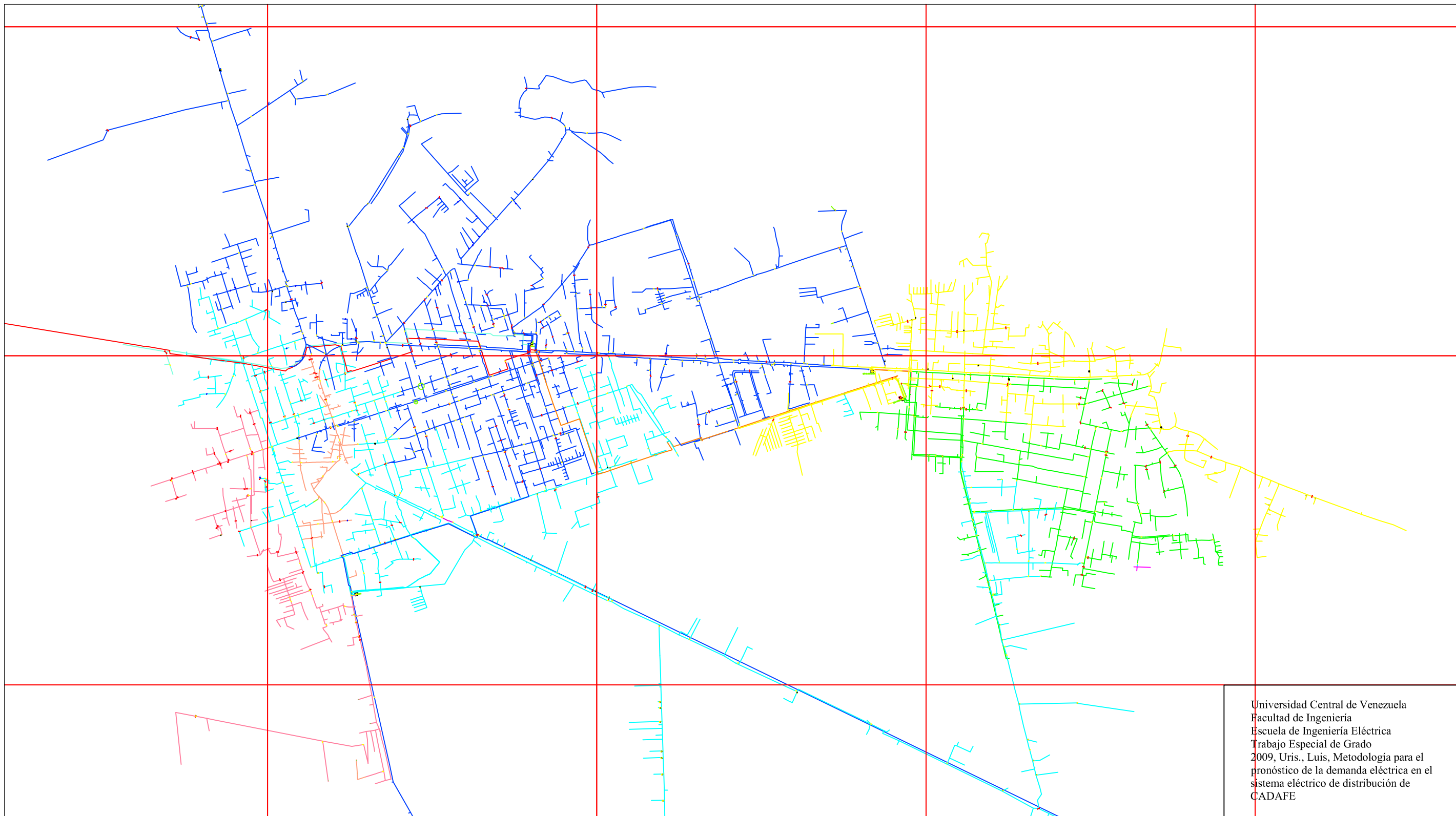
**Zabalza, I., Dominguez, J., Bernal, J. y Yusta, J.** Aplicación de los SIG a la Previsión de la Demanda Eléctrica. Universidad de Zaragoza, 2001.

CADAPE en línea. <<http://www.cadape.com.ve>> [Consulta: 2009].

Informe mensual Junio 2009 del Centro Nacional de Gestión.

## **ANEXOS**

Anexo A-1  
Plano eléctrico de El Tigre



Universidad Central de Venezuela  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Eléctrica  
Trabajo Especial de Grado  
2009, Uris., Luis, Metodología para el  
pronóstico de la demanda eléctrica en el  
sistema eléctrico de distribución de  
CADAFE













**Anexo N° A-7**  
**Disposición espacial de los polos de desarrollo y la influencia según la distancia**

	BO					BP					BQ					BR					BS					BT					BU					BV					BX																						
BK	0,458	0,474	0,488	0,5	0,51	0,518	0,524	0,528	0,533	0,549	0,563	0,575	0,584	0,591	0,595	0,596	0,595	0,591	0,584	0,575	0,563	0,549	0,543	0,551	0,558	0,561	0,563	0,575	0,584	0,591	0,595	0,596	0,595	0,591	0,584	0,575	0,563	0,549	0,533	0,515	0,495	0,475	0,457	0,443	0,428																		
	0,487	0,503	0,518	0,532	0,543	0,551	0,558	0,561	0,563	0,579	0,594	0,606	0,617	0,624	0,629	0,63	0,629	0,624	0,617	0,606	0,594	0,579	0,575	0,584	0,591	0,595	0,596	0,606	0,617	0,624	0,629	0,63	0,629	0,624	0,617	0,606	0,594	0,579	0,561	0,543	0,522	0,5	0,488	0,474	0,458																		
	0,515	0,533	0,549	0,563	0,575	0,584	0,591	0,595	0,596	0,608	0,624	0,638	0,649	0,657	0,662	0,664	0,662	0,657	0,649	0,638	0,624	0,608	0,606	0,617	0,624	0,629	0,63	0,638	0,649	0,657	0,662	0,664	0,669	0,681	0,69	0,695	0,697	0,695	0,69	0,681	0,669	0,654	0,636	0,617	0,595	0,575	0,563	0,549	0,533	0,515													
	0,543	0,561	0,579	0,594	0,606	0,617	0,624	0,629	0,63	0,638	0,654	0,669	0,681	0,69	0,695	0,697	0,695	0,69	0,681	0,669	0,654	0,636	0,638	0,649	0,657	0,662	0,664	0,669	0,681	0,69	0,695	0,697	0,695	0,69	0,681	0,669	0,654	0,636	0,617	0,595	0,575	0,563	0,549	0,533	0,515																		
BJ	0,569	0,589	0,608	0,624	0,638	0,649	0,657	0,662	0,664	0,669	0,683	0,699	0,713	0,723	0,729	0,731	0,729	0,723	0,713	0,699	0,683	0,664	0,669	0,681	0,69	0,695	0,697	0,699	0,713	0,723	0,729	0,731	0,729	0,723	0,713	0,699	0,683	0,664	0,642	0,619	0,606	0,594	0,579	0,561	0,543	0,522	0,5	0,488	0,474	0,458													
	0,595	0,617	0,636	0,654	0,669	0,681	0,69	0,695	0,697	0,699	0,713	0,729	0,744	0,755	0,762	0,765	0,762	0,755	0,744	0,729	0,711	0,69	0,699	0,713	0,723	0,729	0,731	0,729	0,744	0,755	0,762	0,765	0,762	0,755	0,744	0,729	0,711	0,69	0,667	0,649	0,638	0,624	0,608	0,589	0,569	0,548	0,532	0,518	0,503	0,487	0,474	0,458											
	0,619	0,642	0,664	0,683	0,699	0,713	0,723	0,729	0,731	0,729	0,744	0,757	0,774	0,787	0,795	0,798	0,795	0,787	0,774	0,757	0,737	0,715	0,729	0,744	0,755	0,762	0,765	0,762	0,774	0,787	0,795	0,798	0,795	0,787	0,774	0,757	0,737	0,715	0,69	0,681	0,669	0,654	0,636	0,617	0,595	0,575	0,563	0,549	0,533	0,515													
	0,642	0,667	0,69	0,711	0,729	0,744	0,755	0,762	0,765	0,762	0,774	0,787	0,804	0,819	0,829	0,832	0,829	0,819	0,804	0,785	0,762	0,744	0,757	0,774	0,787	0,795	0,798	0,795	0,804	0,819	0,829	0,832	0,829	0,819	0,804	0,785	0,762	0,737	0,723	0,713	0,699	0,683	0,664	0,642	0,619	0,606	0,594	0,579	0,561	0,543	0,522	0,5	0,488	0,474	0,458								
BI	0,664	0,69	0,715	0,737	0,757	0,774	0,787	0,795	0,798	0,804	0,819	0,832	0,85	0,861	0,865	0,861	0,85	0,832	0,81	0,787	0,774	0,785	0,804	0,819	0,829	0,832	0,829	0,832	0,85	0,861	0,865	0,861	0,85	0,832	0,81	0,785	0,762	0,755	0,744	0,729	0,711	0,69	0,667	0,649	0,638	0,624	0,608	0,589	0,569	0,548	0,532	0,518	0,503	0,487	0,474	0,458							
	0,683	0,711	0,737	0,762	0,785	0,804	0,819	0,829	0,832	0,829	0,832	0,85	0,861	0,879	0,894	0,899	0,894	0,879	0,857	0,832	0,819	0,804	0,81	0,832	0,85	0,861	0,865	0,861	0,857	0,879	0,894	0,899	0,894	0,879	0,857	0,832	0,804	0,795	0,787	0,774	0,757	0,737	0,715	0,69	0,664	0,642	0,619	0,606	0,594	0,579	0,561	0,543	0,522	0,5	0,488	0,474	0,458						
	0,699	0,729	0,757	0,785	0,81	0,832	0,85	0,861	0,865	0,861	0,857	0,879	0,894	0,905	0,925	0,933	0,925	0,905	0,879	0,861	0,85	0,832	0,832	0,857	0,879	0,894	0,899	0,894	0,879	0,905	0,925	0,933	0,925	0,905	0,879	0,85	0,832	0,829	0,819	0,804	0,785	0,762	0,737	0,723	0,713	0,699	0,683	0,664	0,642	0,619	0,606	0,594	0,579	0,561	0,543	0,522	0,5	0,488	0,474	0,458			
	0,713	0,744	0,774	0,804	0,832	0,857	0,879	0,894	0,899	0,894	0,879	0,905	0,925	0,933	0,925	0,905	0,894	0,879	0,857	0,85	0,879	0,905	0,925	0,933	0,925	0,905	0,925	0,952	0,966	0,952	0,933	0,925	0,905	0,879	0,857	0,832	0,804	0,774	0,744	0,713	0,699	0,683	0,664	0,642	0,619	0,606	0,594	0,579	0,561	0,543	0,522	0,5	0,488	0,474	0,458								
BH	0,723	0,755	0,787	0,819	0,85	0,879	0,905	0,925	0,933	0,925	0,905	0,925	0,952	0,966	0,966	1	0,966	0,952	0,933	0,925	0,905	0,879	0,879	0,894	0,925	0,952	0,966	0,952	0,933	0,925	0,905	0,879	0,857	0,832	0,804	0,774	0,744	0,713	0,699	0,683	0,664	0,642	0,619	0,606	0,594	0,579	0,561	0,543	0,522	0,5	0,488	0,474	0,458										
	0,729	0,762	0,795	0,829	0,861	0,894	0,925	0,952	0,966	0,952	0,933	0,925	0,966	1	0,966	0,966	1	0,966	0,966	0,952	0,925	0,905	0,879	0,879	0,894	0,925	0,952	0,966	0,952	0,933	0,925	0,905	0,879	0,857	0,832	0,804	0,774	0,744	0,713	0,699	0,683	0,664	0,642	0,619	0,606	0,594	0,579	0,561	0,543	0,522	0,5	0,488	0,474	0,458									
	0,731	0,765	0,798	0,832	0,865	0,899	0,933	0,966	1	0,966	0,966	0,966	1	1	0,966	1	1	1	1	0,966	0,952	0,925	0,925	0,952	0,966	0,966	1	1	1	1	1	0,966	0,966	0,966	0,966	0,966	0,952	0,925	0,894	0,861	0,829	0,795	0,762	0,729	0,699	0,683	0,664	0,642	0,619	0,606	0,594	0,579	0,561	0,543	0,522	0,5	0,488	0,474	0,458				
	0,729	0,762	0,795	0,829	0,861	0,894	0,925	0,952	0,966	1	1	1	1	1	0,966	1	1	1	1	0,966	0,933	0,933	0,966	1	1	1	1	1	0,966	0,966	0,966	1	1	1	1	1	0,966	0,966	0,966	0,966	0,966	0,952	0,925	0,894	0,861	0,829	0,795	0,762	0,729	0,699	0,683	0,664	0,642	0,619	0,606	0,594	0,579	0,561	0,543	0,522	0,5	0,488	0,474
BG	0,723	0,755	0,787	0,819	0,85	0,879	0,905	0,925	0,933	0,925	0,905	0,925	0,952	0,966	0,966	1	0,966	0,952	0,933	0,925	0,905	0,879	0,879	0,894	0,925	0,952	0,966	0,952	0,933	0,925	0,905	0,879	0,857	0,832	0,804	0,774	0,744	0,713	0,699	0,683	0,664	0,642	0,619	0,606	0,594	0,579	0,561	0,543	0,522	0,5	0,488	0,474	0,458										
	0,699	0,729	0,757	0,785	0,81	0,832	0,85	0,861	0,865	0,861	0,857	0,879	0,894	0,905	0,925	0,933	0,925	0,905	0,879	0,861	0,85	0,832	0,832	0,857	0,879	0,894	0,899	0,894	0,879	0,905	0,925	0,933	0,925	0,905	0,879	0,85	0,832	0,829	0,819	0,804	0,785	0,762	0,737	0,723	0,713	0,699	0,683	0,664	0,642	0,619	0,606	0,594	0,579	0,561	0,543	0,522	0,5	0,488	0,474	0,458			
	0,713	0,744	0,774	0,804	0,832	0,857	0,879	0,894	0,899	0,894	0,879	0,905	0,925	0,933	0,925	0,905	0,894	0,879	0,857	0,85	0,879	0,905	0,925	0,933	0,925	0,905	0,925	0,952	0,966	0,952	0,933	0,925	0,905	0,879	0,857	0,832	0,804	0,774	0,744	0,713	0,699	0,683	0,664	0,642	0,619	0,606	0,594	0,579	0,561	0,543	0,522	0,5	0,488	0,474	0,458								
	0,729	0,762	0,795	0,829	0,861	0,894	0,925	0,952	0,966	1	1	1	1	1	0,966	1	1	1	1	0,966	0,933	0,933	0,966	1	1	1	1	1	0,966	0,966	0,966	1	1	1	1	1	0,966	0,966	0,966	0,966	0,966	0,952	0,925	0,894	0,861	0,829	0,795	0,762	0,729	0,699	0,683	0,664	0,642	0,619	0,606	0,594	0,579	0,561	0,543	0,522	0,5	0,488	0,474
BF	0,669	0,729	0,757	0,785	0,81	0,832	0,85	0,861	0,865	0,861	0,857	0,879	0,894	0,905	0,925	0,933	0,925	0,905	0,879	0,861	0,85	0,832	0,832	0,857	0,879	0,894	0,899	0,894	0,879	0,905	0,925	0,933	0,925	0,905	0,879	0,857	0,832	0,804	0,774	0,744	0,713	0,699	0,683	0,664	0,642	0,619	0,606	0,594	0,579	0,561	0,543	0,522	0,5	0,488	0,474	0,458							
	0,664	0,697	0,731	0,765	0,798	0,832	0,865	0,899	0,933	0,966	1	1	0,966	0,952	0,925	0,899	0,899	0,894	0,879	0,865	0,861	0,85	0,832	0,819	0,829	0,832	0,829	0,832	0,857	0,879	0,894	0,899	0,925	0,952	0,966	0,952	0,933	0,925	0,905	0,879	0,857	0,832	0,804	0,774	0,744	0,713	0,699	0,683	0,664	0,642	0,619	0,606	0,594	0,579	0,561	0,543	0,522	0,5	0,488	0,474	0,458		
	0,662	0,695	0,729	0,762	0,795	0,829	0,861	0,894	0,925	0,952	0,966	0,966	1	0,966	0,933	0,899	0,865	0,861	0,85	0,832	0,829	0,819	0,804	0,787																																							















Anexo B-4. Disposición Espacial del Pronóstico de la región de El Tigre en el año 2013, bajo el modelo A

	BO			BP			BQ			BR			BS			BT			BU			BV			BX		
BK				49,93																							
				118,56	24,94																						
				48,37																							
				10,00	82,34																						
				66,01	33,67	33,67																					
BK				16,89	22,87	7,47	14,02	16,85	5,61				32,91	27,21	27,42		49,34										
BK				14,98	19,96	37,44	84,22			806,62	43,84		27,42	150,68		10,96											
BK										82,20			137,01	731,54	93,14												
BK										876,72	739,71		139,11		107,93												
BK																100,99			25,46	25,46							
BK				43,98	250,91	100,27	70,28	52,42	14,42	123,29	356,22	301,41	362,69	224,64	61,52	89,12											
BK				43,98	210,62	407,07	66,18	73,97	47,95	82,20	205,51	336,97	545,28	54,81	39,58	35,69			41,73	79,25	53,34	22,43	44,86	25,46	163,81	67,36	50,40
BK																											
BK																											
BK																											
BK																											
BK																											
BK																											
BK																											
BK																											
BK																											
BK																											
BK																											
BK																											
BK																											
BK																											
BK																											
BK																											
BK																											
BK																											
BK																											
BK																											
BK																											
BK																											
BK																											
BK																											
BK																											
BK																											
BK																											
BK																											
BK																											
BK																											
BK																											
BK																											
BK																											
BK																											
BK																											
BK																											
BK																											
BK																											
BK																											
BK																											
BK																											
BK																											
BK																											
BK																											
BK																											
BK																											
BK																											
BK																											
BK																											
BK																											
BK																											
BK																											
BK																											
BK																											
BK																											
BK																											
BK																											
BK																											
BK																											
BK																											
BK																											
BK																											
BK																											
BK																											
BK																											
BK																											
BK																											
BK																											
BK																											
BK																											
BK																											
BK																											
BK																											
BK																											
BK																											
BK																											
BK																											
BK																											

















Anexo B-12. Disposición Espacial del Pronóstico de la región de El Tigre en el año 2019, bajo el modelo B

	BO			BP			BQ			BR			BS			BT			BU			BV			BX			
BK				77.66																								
				165.16	47.29																							
				77.27																								
				29.46	134.25																							
				104.95	68.74	55.12																						
				147.57	147.60	27.29	33.79	37.18	24.84				57.13	50.19	50.27		88.82											
				37.25	57.21	65.53	112.87						972.88	84.18			44.81											
					148.62	56.14							129.32			179.08	885.10	140.93										
					103.84	61.32	61.37			129.58			1062.43	902.71		211.79	169.71											
				149.58	349.59	149.58	149.51	99.82	46.39	177.84	456.38	392.64	438.96	302.76	149.84	152.25			152.82			150.24	150.54					
				150.07	290.42	510.25	117.14	150.24	91.50	123.57	294.86	434.57	677.08	98.37	107.40	150.07			106.78	159.39	149.84	60.57	87.23	150.66	227.06	120.22	150.54	
				150.24	926.43	642.88	738.69	742.15	198.55	75.96	883.84	650.78	1594.33	793.92	644.96	416.99	279.56	116.55	198.67	168.88	150.07	60.87	71.23	649.14	193.20	67.81	633.72	
					150.07	150.54	1217.12	1286.19	917.50	853.91	456.76	990.37	1685.09	441.94	1032.10	1697.46	744.15	1071.50	550.50	504.28	522.27	505.81	517.75	150.66	151.17	1467.40	528.90	
				149.64																								
				303.72	1430.33	845.78	1077.25	1291.17	1931.13	1586.25	1202.30	1496.54	2712.50	1674.30	1619.93	812.45	933.60	351.43	50.63	351.44	513.38	134.91	3519.90	2707.40	3865.84	3406.03		
				213.21	1086.27	1495.97	1675.72	2749.08	1988.81	1360.93	1187.89	1505.82	3578.32	2902.07	1787.23	1505.25	780.30	772.62	710.22	1238.72	1588.18	2744.00	1915.14	628.90	1183.63	1306.77		
				150.24	312.76	519.41	1386.61	1819.84	3764.17	3509.26	4782.17	2855.02	2410.20	1163.44	2116.22	870.91	1144.82	1243.03	1110.31	277.93	518.36	1240.65	1555.88	1628.55	436.60	1438.29		
				149.58	150.07	181.70	1047.97	1208.73	2069.30	3004.87	6633.22	1565.75	924.59	655.78	1001.25	1409.05	1285.38	2112.42	1099.81	722.77	147.98	982.85	376.29	2440.31	1018.11	150.96		
				149.40	149.84	139.14	519.76	1298.49	1891.18	3970.03	2445.42	1672.30	1013.89	775.84	1170.81	1784.48	3241.67	2612.70	712.53	1171.78	150.15	58.94	189.85	151.17	53.49			
				148.26	148.70	149.13	244.09	392.45	709.66	1178.95	1268.35	828.23	817.62	1765.21	2767.11	1601.00	1437.75	630.33	956.17	109.29	186.97	150.54						
				148.58	149.08	149.58	150.07	667.41	555.94	659.97	1810.82	1521.45	1258.47	815.07	286.05	984.89	210.31	218.62	213.54	150.54								
				150.15	150.66	118.97	1433.14	1018.57	749.82	826.84	331.15	161.98	150.66	71.72	109.00	101.43	150.07											
				150.15	150.66	245.68	2707.75	1780.68	1062.24	225.13	689.08					56.24	343.26	235.49										
				150.07			625.83	1153.80	2177.29	151.17																		
							151.17	246.10																				
							161.34	161.22																				
							154.01	1140.03																				
							244.15	728.22																				



Anexo B-14. Disposición Espacial del Pronóstico de la región de El Tigre en el año 2011, bajo el modelo C

	BO				BP				BQ				BR				BS				BT				BU				BV				BX						
BK					64.63																																		
						109.08	43.93																																
						64.75																																	
						31.77	115.93																																
BJ						94.00	66.73	49.78																															
						59.99	60.02	30.51	35.12	37.54	28.99																												
						37.61	58.29	57.22	88.98				705.45	76.58																									
BI																																							
						61.96	278.78	64.96	64.90	90.76	42.45	143.22	332.32	287.30	388.67	223.61																							
						62.44	216.74	381.66	103.82	65.61	74.11	96.54	209.58	317.04	488.31	87.02	76.67	65.44			77.74	112.95	65.22	60.02	78.86	63.02	177.24	94.68	62.90	63.31	556.79	74.92	62.90	62.44	62.02	62.02			
						62.60	705.59	481.20	552.94	566.21	156.98	63.37	575.20	453.19	1139.21	570.54	455.27	310.82	202.10	84.35	145.33	145.88	65.44	60.31	51.47	456.45	153.54	57.94	504.89	908.79	1454.87	141.54	63.02	62.52	62.52	62.52			
BH																																							
						62.02	230.12	1213.44	715.07	912.36	965.63	1469.33	1175.56	892.80	1081.34	2447.88	1237.30	1213.59	624.77	769.62	262.83	454.3	297.46	376.59	107.13	2499.72	2051.70	2718.71	2643.77	1072.97	1427.08	908.75	954.09	399.37	259.11	53.01	321.44	62.90	
BG																																							
BF																																							
BE																																							
BD																																							
BC																																							
BB																																							

Leyenda  
 Demanda de la Cuadrícula asociada a la S/E El Tigre II  
 Demanda de la Cuadrícula asociada a la S/E El Tigre III  
 Demanda de la Cuadrícula asociada a la S/E El Esfuerzo  
 Demanda de la Cuadrícula asociada a la S/E Guanipa

Universidad Central de Venezuela  
 Facultad de Ingeniería  
 Escuela de Ingeniería Eléctrica  
 Trabajo Especial de Grado  
 2009, Uris., Luis, Metodología para el pronóstico de la  
 demanda eléctrica en el sistema eléctrico de distribución de  
 CADAFE

Anexo B-15. Disposición Espacial del Pronóstico de la región de El Tigre en el año 2012, bajo el modelo C

	BO			BP			BQ			BR			BS			BT			BU			BV			BX															
BK				67,40																																				
					121,21	45,85																																		
					67,56																																			
BJ					33,24	120,58																																		
					97,87	69,61	51,96																																	
					62,93	62,96	31,96	36,74	39,26	30,39																														
BI					39,33	60,88	59,74	93,27																																
						64,01	60,16																																	
					97,51	64,32	64,37																																	
BH					65,00	289,35	68,15	68,09	94,55	44,44	149,70	347,21	300,17	396,23	233,65	68,43	130,06																							
					65,50	225,09	396,09	108,07	68,83	77,53	100,98	219,03	331,25	510,22	91,02	80,24	68,66																							
					65,68	730,62	499,36	573,80	587,31	163,13	66,31	624,43	478,84	1190,67	596,28	476,04	324,95	210,76																						
BG					65,06																																			
					238,56	1239,20	730,54	934,36	1002,59	1523,18	1222,83	928,60	1128,56	2481,43	1287,54	1260,61	647,24	790,05	273,99	47,57	305,31	392,95	111,83	2619,20	2128,40	2852,73	2734,69	1106,93	1472,42	937,53	981,85	411,30	266,81	55,31	330,75	65,99				
					183,45	939,88	1304,69	1420,25	2109,74	1629,56	1094,28	1029,64	1211,49	2643,06	2250,68	1356,33	1219,33	606,20	590,28	648,29	956,98	1224,12	2226,46	1480,31	558,30	1050,39	1186,14	3879,51	2775,25	2458,34	1303,89	2036,24	2178,16	2040,69	266,39	66,11				
BF					68,83	266,30	446,36	1110,32	1532,83	2954,64	2742,52	3656,73	2210,40	1833,01	930,87	1861,22	661,17	993,98	1130,70	989,02	257,47	417,35	971,73	1243,87	1331,51	305,14	1412,74	820,57	2015,26	1171,64	574,45	849,58	612,90	1435,08	2095,55	587,26	66,11	64,80		
					65,00	68,66	132,23	747,98	861,78	1695,83	2243,53	4844,69	1273,45	803,21	531,07	759,68	1115,45	978,28	1560,68	1000,79	658,65	136,01	759,59	298,53	2401,38	1003,43	53,93	160,01	479,28	524,94	769,53	775,73	992,89	797,59	897,71	1409,83	1058,58	234,25	65,59	
					63,64	64,10	64,54	176,39	282,23	507,93	873,40	1098,27	668,38	691,27	1498,57	2363,39	1388,35	1289,21	492,18	865,94	103,99	172,53	71,75																	
BE					63,97	64,48	68,15																																	
					68,74	69,27	87,71	1020,34	853,99	620,68	714,07	276,21	129,88	66,11	65,01	101,99	96,05	68,66																						
					65,59	69,27	178,03	1933,14	1325,52	782,59	195,07	546,97																												
BD					65,50																																			
BC																																								
BB																																								

Leyenda  
 Demanda de la Cuadrícula asociada a la S/E El Tigre II  
 Demanda de la Cuadrícula asociada a la S/E El Tigre III  
 Demanda de la Cuadrícula asociada a la S/E El Esfuerzo  
 Demanda de la Cuadrícula asociada a la S/E Guanipa

Universidad Central de Venezuela  
 Facultad de Ingeniería  
 Escuela de Ingeniería Eléctrica  
 Trabajo Especial de Grado  
 2009, Uris., Luis, Metodología para el pronóstico de la  
 demanda eléctrica en el sistema eléctrico de distribución de  
 CADAFE





Anexo B-17. Disposición Espacial del Pronóstico de la región de El Tigre en el año 2014, bajo el modelo C

	BO			BP			BQ			BR			BS			BT			BU			BV			BX		
BK				73.06																							
				141.44	49.84																						
				73.31																							
				36.35	130.45																						
				106.07	75.74	56.48																					
BJ				69.22	69.25	35.02	40.15	42.86	33.36				57.42	52.08	52.10				90.84								
				42.94	66.40	64.92	101.77			804.00	87.68		53.16	160.31		55.60											
					70.41	65.64				124.21			148.89	733.14	133.19												
					105.74	70.12	70.18			124.51			867.70	738.99		180.30			146.58								
					71.49	311.69	74.97	74.90	102.59	48.72	163.53	378.91	327.60	411.78	255.05	75.27	142.28					142.93			72.24	72.58	
					72.05	242.72	426.45	117.10	75.72	84.80	110.40	239.17	361.51	556.82	99.58	87.90	75.53		88.38	129.29	75.27	68.91	90.41	72.72	202.64	108.43	72.58
BI					72.24	782.87	537.50	617.57	631.72	176.15	72.57	716.26	530.58	1299.51	651.03	520.14	355.11	229.15	96.13	164.23	154.99	75.53	69.25	59.16	522.29	175.60	66.52

Anexo B-18. Disposición Espacial del Pronóstico de la región de El Tigre en el año 2019, bajo el modelo C

	BO				BP				BQ				BR				BS				BT				BU				BV				BX			
BK					87.69																															
					167,70	60,69																														
					88,17																															
BJ					45,03	158,76																														
					129,70	93,54	68,62																													
					87,56	87,60	43,59	49,61	52,80	41,73							71,14	64,74	64,68						113,71											
BI					52,90	82,47	78,58	121,65					997,55	109,85			66,01	196,07							70,06											
													155,13												182,22	909,74	166,24									
					129,49	87,00	87,07						1076,32	916,85											223,71		182,04									
BH					90,44	375,19	94,84	94,75	125,78	61,16	203,89	470,62	407,06	453,23	317,17	95,22	178,04								178,86				91,38	91,82						
					91,14	292,69	511,77	143,08	95,78	105,78	137,40	297,47	449,12	691,07	124,63	110,31	95,54				109,37	161,76	95,22	86,74	113,51	91,99	253,18	135,84	91,82	92,42	714,70	102,60	91,82	91,14	90,53	90,53
					91,38	926,80	644,23	739,67	756,65	213,30	90,67	885,89	656,52	1607,93	808,74	646,43	442,96	282,03	119,43	201,11	171,42	95,54	87,17	74,57	650,69	219,54	83,72	648,74	1162,36	1955,44	185,12	91,99	91,26	91,26	91,26	91,14
BG					91,14	91,82	1216,72	1285,66	918,08	867,42	472,09	1003,84	1683,48	444,16	1046,49	1710,87	745,39	1071,67	552,28	506,03	536,25	519,82	531,87	100,02	100,75	1480,15	543,27	1047,23	1111,61	1476,47	1389,90	647,11	118,71	68,33	96,39	96,39
					90,53																															
					306,39	1429,55	846,68	1102,71	1290,63	1942,97	1599,86	1216,38	1510,31	2724,09	1686,64	1632,38	826,26	947,09	365,87	65,66	366,07	527,78	150,92	3528,62	2718,99	3875,35	3416,37	1371,30	1822,67	1162,36	1186,56	497,33	326,97	74,40	403,23	91,82
BH					216,09	1086,39	1494,98	1700,75	2759,31	2000,54	1373,89	1200,97	1519,58	3388,36	2913,31	1800,48	1519,01	781,42	773,54	711,35	1251,70	1600,69	2755,53	1928,17	644,02	1197,75	1320,67	4222,84	3122,47	2869,35	1554,44	2421,48	2593,57	2437,53	326,40	91,99
					95,78	315,18	521,38	1385,98	1844,71	3786,90	3519,42	4790,04	2866,36	2422,33	1177,59	2128,88	885,59	1159,01	1255,91	1123,27	292,52	544,34	1265,94	1569,54	1642,09	452,06	1452,17	971,79	2095,67	1284,39	598,81	911,25	671,50	1690,45	2506,99	709,69
					90,44	95,54	184,50	1048,13	1208,46	2093,89	3015,94	6637,76	1579,41	939,17	670,84	1015,69	1422,98	1299,32	2125,09	1113,06	736,54	162,69	996,11	390,96	2451,15	1031,52	75,02	203,57	595,20	650,78	1010,00	958,90	1170,59	969,01	1085,99	1663,10
BF					88,55	89,19	89,80	246,26	394,36	710,73	1178,68	1267,88	842,99	832,40	1763,34	2761,98	1614,59	1451,64	645,44	970,70	123,57	201,93	99,84													
					89,01	89,72	94,84	95,54	668,62	557,70	661,49	1808,81	1546,64	1258,03	816,08	312,38	1010,45	236,63	234,25	239,73	96,22															
					95,66	96,39	122,25	1432,36	1018,91	751,04	840,53	333,51	164,90	91,99	85,49	135,12	127,52	95,54																		
BE					91,26	96,39	248,55	2718,06	1778,76	1062,44	240,00	702,87					82,25	368,86	261,19																	
					91,14			627,46	1153,70	2201,77	97,12																									
BD																																				
BC																																				
BB																																				

**Leyenda**  
 Demanda de la Cuadrícula asociada a la S/E El Tigre II  
 Demanda de la Cuadrícula asociada a la S/E El Tigre III  
 Demanda de la Cuadrícula asociada a la S/E El Esfuerzo  
 Demanda de la Cuadrícula asociada a la S/E Guanipa

Universidad Central de Venezuela  
 Facultad de Ingeniería  
 Escuela de Ingeniería Eléctrica  
 Trabajo Especial de Grado  
 2009, Uris., Luis, Metodología para el pronóstico de la  
 demanda eléctrica en el sistema eléctrico de distribución de  
 CADAFE

## Anexo C-2

### Procedimiento de cálculo de Índices de Acogida a utilizar en los Sistemas de Información Geográfica.

En primer lugar, se aplica la curva de Gompertz o cualquier método para extrapolar los datos históricos de la población global, para obtener el incremento del mismo  $\Delta P_{Global}(t+x)$  entre el año base y el año futuro para el que se quiera hacer la previsión.

$$\Delta P_{Global}(t+x) = P(t+x) - P(t)$$

Donde:

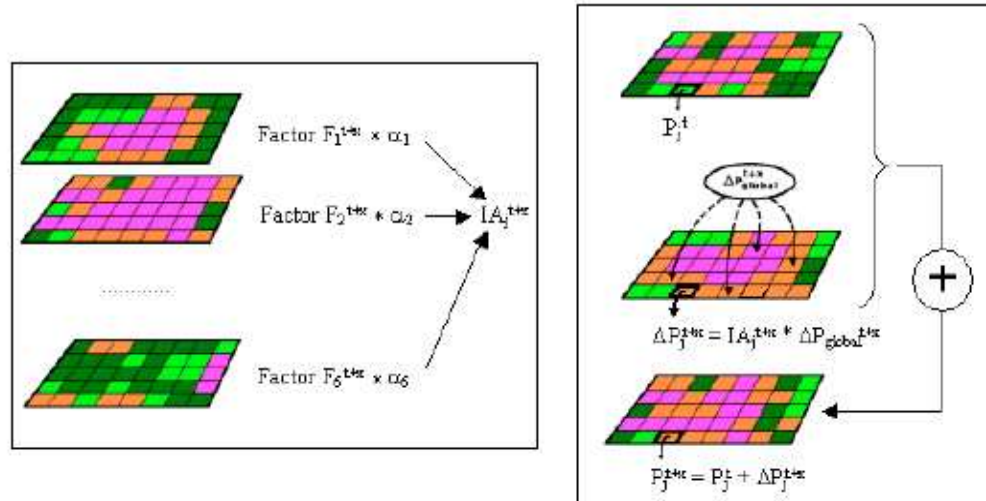
$P(t)$ : Población global en el año base,

$P(t+x)$ : Población global en el año futuro.

Para pasar de la proyección global de la población a una proyección por áreas se usa el concepto de índice de acogida. El índice de acogida de un área es la capacidad de dicha área para acoger nuevos habitantes. Como criterio se está considerando que el crecimiento de la población en un área pequeña  $j$  de la ciudad será proporcional al crecimiento de la población global de la ciudad.

Los factores que pueden afectar al índice de acogida son muy diversos. En la implementación se pueden considerar diversos factores por ejemplo: transporte, vialidad, proximidad a centros comerciales, grado de saturación de la población, proximidad al centro de la ciudad, grado de restricción al uso residencial del suelo, entre otros. Estos factores se calculan mediante los Procesos de Jerarquía Analítica y su eventual uso en un proceso de normalización. Aunque los factores varían anualmente provocando a su vez una variación anual del índice de acogida, debido a los altos requerimientos de datos que esto conlleva y a que dicha variación es pequeña a medio plazo, la mayor parte de ellos se pueden considerar fijos.

Figura N° C-2.1 Cálculo del Índice de acogida y de la población futura



La influencia de los factores considerados  $F_{ij}(t + x)$  en el índice de acogida  $IA_j(t + x)$  se calcula a partir de unos coeficientes de peso ( $\alpha_i$ ), que, en caso de no disponer de información suficiente pueden tomarse iguales a la unidad (importancia similar para todos los factores).

$$IA_j^{t+x} = \sum_{i=1}^n \alpha_i * F_{ij}^{t+x} = \alpha_1 * F_{1j}^{t+x} + \alpha_2 * F_{2j}^{t+x} + \alpha_3 * F_{3j}^{t+x} + \dots + \alpha_n * F_{nj}^{t+x}$$

Donde:

$F_{ij}(t + x)$ : factor  $i$  en el área  $j$  en el año futuro (normalizado entre 0 y 1)

$P(t + x)$ : La población futura por áreas se calcula sumando a la población del año base ( $P_j^t$ ), el incremento de población esperado en cada área

$$P_j^{t+x} = P_j^t + (IA_j^{t+x} * \Delta P_{global}^{t+x})$$

Por otra parte, el número de comercios futuro en cada área ( $C_{jt+x}$ ) se ha calculado para el año futuro  $t+x$  escogido, mediante una regresión lineal a partir de los datos históricos del censo de comercio distribuidos en áreas.

$$C_{jt+x} = A_j * x + B_j$$

El pico anual de demanda comercial en cada área en el año base ( $LestC_j t$ ) se estima a partir de la superficie comercial en dicha área en el año base ( $SC_{jt}$ ) y la densidad de consumo típica para un área comercial. Por otra parte, el pico anual de demanda residencial en cada área en el año base ( $LestP_{jt}$ ) se estima a partir de la proporción de viviendas en cada área con una potencia contratada determinada.

Partiendo del pico anual de demanda en cada área ( $L_{jt}$ ) en el año base y de las estimaciones anteriores se puede desagregar dicho pico de demanda base entre comercios ( $LC_{jt}$ ), y viviendas ( $LP_{jt}$ ).

$$LC_j^t = LestC_j^t * L_j^t / (LestC_j^t + LestP_j^t)$$

$$LP_j^t = LestP_j^t * L_j^t / (LestC_j^t + LestP_j^t)$$

Por último, se calcula la demanda eléctrica futura en cada área ( $L_j$ )

$$LC_j^{t+x} = (LC_j^t / C_j^t) * C_j^{t+x}$$

$$LP_j^{t+x} = (LP_j^t / P_j^t) * P_j^{t+x}$$

$$L_j^{t+x} = LC_j^{t+x} + LP_j^{t+x}$$

### Anexo C-3

## Cálculo de las Densidades de Cargas: Residencial, Comercial e Industrial.

### Densidad de Carga Residencial

La densidad de carga residencial se estima de la siguiente manera:

$$Dcr_i = \frac{Es}{M_{hab}} \times \frac{Dp_i}{Fc_i \times Fp_i \times 8760}$$

Donde:

$Dcr_i$ : Densidad de carga para el año horizonte en la zonificación “i” de uso residencial [Kva/Ha]

$Es$ : Consumo de energía por suscriptor residencial para el año horizonte [Mwh/Sus]

$Fc_i$ : Factor de carga estimado para el año horizonte en la zonificación “i” de uso residencial.

$Fp_i$ : Factor de potencia estimado para el año horizonte en la zonificación “i” de uso residencial.

$Dp_i$ : Densidad de población, estimada para el año horizonte en la zonificación “i” de uso residencial. [Hab/Ha]

$M_{hab}$ : Media habitacional para el año horizonte. [Hab/Sus]

### Densidad de Carga Comercial

La densidad de carga comercial se estima de la siguiente manera:

$$Dcc_i = \frac{Esc \times Nsc}{Utc} \times \frac{1}{Fcc_i \times Fpc_i \times 8760}$$

Donde:

**$Dcc_i$** : Densidad de carga comercial estimada para el año horizonte en la zonificación “i” de uso comercial [Kva/Ha].

**$Esc$** : Consumo de energía por suscriptor comercial para el año horizonte [MWh/Sus].

**$Fcc_i$** : Factor de carga estimado para el año horizonte en la zonificación “i” de uso comercial.

**$Fpc_i$** : Factor de potencia estimado para el año horizonte en la zonificación “i” de uso comercial.

**$Nsc$** : Número de suscriptores comerciales estimados para el año horizonte [Sus]

**$Utl$** : Superficie total destinada al uso comercial considerado [Ha]

### **Densidad de Carga Industrial**

La densidad de carga industrial se estima de la siguiente manera:

$$Dcl_i = \frac{Esc \times Nsc}{Utl} \times \frac{1}{Fcc_i \times Fpc_i \times 8760}$$

Donde:

**$Dcl_i$** : Densidad de carga industrial estimada para el año horizonte en la zonificación “i” de uso industrial [Kva/Ha].

**$Esc$** : Consumo de energía por suscriptor industrial para el año horizonte [MWh/Sus].

**$Fcc_i$** : Factor de carga estimado para el año horizonte en la zonificación “i” de uso comercial.

**$Fpc_i$** : Factor de potencia estimado para el año horizonte en la zonificación “i” de uso comercial.

***N<sub>SI</sub>***: Número de suscriptores industriales estimados para el año horizonte

[Sus]

***U<sub>TI</sub>***: Superficie total destinada al uso industrial considerado [Ha]



#### Anexo C-4.

### Cálculo de la Demanda de Saturación por Microáreas

Después de calcular las densidades de carga estimadas para el año horizonte, se procede a definir el área neta utilizada para cada zonificación, en caso especial en los parcelamientos residenciales especificar los valores de densidad de población según las definiciones de los tipos de zonificación se determinan los porcentajes neto de la tierra en cada tipo de las mismas. Después de conocidos los valores de densidad de carga para cada zonificación y el aprovechamiento neto de cada una de éstas, se estima la demanda de saturación o valor estimado de carga en el año horizonte para cada microárea.

$$D_{sat_k} = \frac{\sum_{i=1}^P (Dc_i \times UT_{ki} \times (\sum_{j=1}^M \%A_{ij}))}{V_{ll} \times \sqrt{3}}$$

$$k = 1, 2, 3, 4, \dots, N$$

Donde:

**N**: Número de microáreas o nodos conceptuales considerados

**$D_{sat_k}$** : Demanda de saturación o valor estimado de carga para el año horizonte en la microárea “k”. [A]

**P**: Número de tipos de zonificación

**$Dc_i$** : Densidad de carga en [Kva/Ha] para la zonificación “i”

**$UT_{ki}$** : Uso de la tierra en hectáreas [Ha] de la zonificación “i” en la microárea “k”

**$\%A_{ij}$** : Porcentaje de aprovechamiento neto “j” de la zonificación “i”.

**$V_{ll}$** : Tensión línea a línea de los alimentadores considerados. [Kv]

**M**: Tipos de aprovechamiento neto de la zonificación “i”.

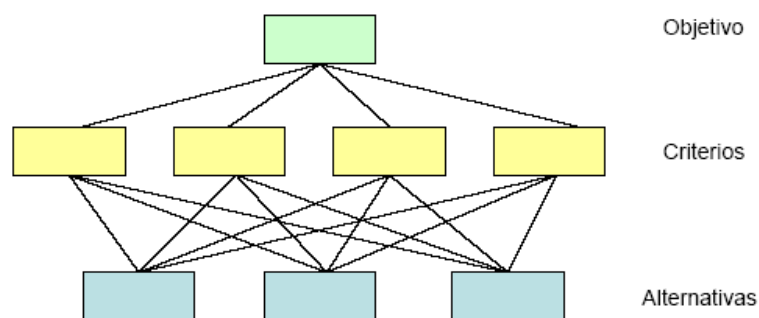
## Anexo C-5

### Análisis de Decisiones Multicriterio y Proceso de Jerarquía Analítica.

El Proceso de Jerarquía Analítica es un modelo para Toma de Decisiones, que fue desarrollado en el año de 1980, por el matemático de la Universidad de Pittsburgh Thomas Saaty y es considerada como una técnica multicriterio y multiatributo. La aplicación del Proceso Analítico Jerárquico (PAJ), se refiere a una técnica diseñada para resolver problemas complejos que tienen criterios múltiples para la toma de decisiones. [17]

La mecánica de aplicación es relativamente simple, por ejemplo Gass (2004), describe que la técnica PAJ descompone un complejo problema en jerarquías o niveles, y cada uno de estos niveles se descompone sucesivamente en elementos más simples. El objetivo es colocar en el primer nivel una variable o parámetro considerado como criterio, enseguida los puntos considerados como sub-criterio y por último las alternativas asociadas en los niveles jerárquicos más bajos. Estas jerarquías se presentan en la Figura Nro. C-5.1

**Figura N° C-5.1 Estructura del Proceso de Jerarquías Analítica**



A medida que aumenta la complejidad de nuestro mundo, se hace más difícil tomar decisiones inteligentes, sin embargo, las soluciones pertinentes son esenciales

para lograr y completar los objetivos que garanticen nuestro bienestar e incluso para nuestra supervivencia.

El PAJ es un proceso estructurado e interactivo para evaluar alternativas que permite integrar datos estadísticos, geográficos o históricos con opiniones subjetivas.

El proceso se basa en tres pasos:

1. Estructurar el problema jerárquicamente, facilitando la generación de alternativas y la identificación de criterios para su evaluación.
2. Evaluar los elementos de cada nivel versus los elementos del nivel superior de la jerarquía.
3. Aplicación del algoritmo de ponderación que determina la importancia de cualquier set de opciones sobre un conjunto de objetivos múltiples.

**Tabla N° C-5.1 Ponderación y características de los valores de intensidad del proceso de jerarquía analítica**

Intensidad	Definición	Explicación
1	Igual	Dos actividades contribuyen de igual forma al cumplimiento del objetivo. Siempre ocurre en los elementos de la diagonal de la matriz A.
3	Moderadamente Dominante	La experiencia y el juicio del experto favorecen levemente a un criterio sobre otro
5	Fuertemente Dominante	La experiencia y el juicio del experto favorecen fuertemente un criterio sobre otro.
7	Muy fuertemente Dominante	Un criterio es mucho más favorecido que otro, según el experto; su predominancia se demostró en la práctica.
9	Extremadamente Dominante	La experiencia y el juicio del experto favorecen una actividad sobre la otra, es absoluta y totalmente clara.
2, 4, 6, 8	Valores Intermedios	Cuando se necesita un compromiso de las partes entre valores adyacentes.

El atractivo teórico de PJA reside en el hecho de que no requiere una escala común de medidas de todos los factores, por esta razón se pueden incorporar en el análisis técnico consideraciones sociales, culturales, económicas, ya que la importancia de los criterios pueden ser diferentes, por lo que PJA comienza determinando la relativa importancia de estos, comparando el peso de los criterios por parejas. Las comparaciones pueden ser hechas como la escala que se muestra en el conjunto S en la Figura N° C-5.2

Figura N° C-5.2 Escala del conjunto S

$$S = \left\{ \frac{1}{9}, \frac{1}{8}, \frac{1}{7}, \frac{1}{6}, \frac{1}{5}, \frac{1}{4}, \frac{1}{3}, \frac{1}{2}, \frac{1}{1}, \frac{2}{1}, \frac{3}{1}, \frac{4}{1}, \frac{5}{1}, \frac{6}{1}, \frac{7}{1}, \frac{8}{1}, \frac{9}{1} \right\}$$

Tales valores representan la importancia relativa de los criterios, su significado se explica en la Tabla N° C-5.1

La comparación apareada del elemento  $i$  con el elemento  $j$  es colocado en la posición  $aij$  de la matriz A, esto indica la comparación apareada entre cada uno de los criterios, el arreglo se muestra en una matriz de comparaciones apareadas.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & a_{1n} \\ \frac{1}{a_{12}} & 1 & a_{2n} \\ \frac{1}{a_{1n}} & \frac{1}{a_{2n}} & 1 \end{bmatrix}$$

Los valores recíprocos de estas comparaciones son colocadas en la  $aji$  posiciones de la matriz A, lo cual mantiene los criterios de consistencia. El análisis compara la importancia relativa de todas las posibles comparaciones apareadas asignando valores que reflejan una diferencia importante; por ejemplo, si el criterio uno es considerado con mayor dominancia por encima del criterio dos, entonces un número 5 es colocado en  $a_{12}$ , y el recíproco, 1/5 es colocado en  $a_{21}$ . Una vez que

todos los valores fueron comparados, el problema se reduce a calcular los autovectores de la matriz A, los cuales se estiman según se indica en

$$A * w = \lambda * w$$

Donde:

A = Matriz recíproca de comparaciones apareadas (juicios de importancia o preferencia de un criterio sobre otro)

w = Autovector del máximo autovalor

$\lambda$  = Máximo autovalor

Una de las ventajas de PJA es que incorpora en su evaluación un análisis de sensibilidad por medio de dos parámetros, el primero corresponde al Índice de Análisis de Consistencia (CI) y segundo al Radio de Consistencia (CR), que son parámetros usados como medida de calidad de los juicios emitidos por el experto evaluador. Comúnmente se acepta y se considera adecuado un índice  $CR \leq 0.10$ . Estos indicadores pueden ser calculados por medio de (4) y (5).

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad y \quad CR = \frac{CI}{IA}$$

Se puede ver, que CR es una función del CI y IA, el cual es el promedio del CI de aproximadamente quinientas matrices de comparaciones apareadas generadas aleatoriamente, por lo que se le denomina frecuentemente también como error aleatorio. Se considera y acepta generalmente que un valor de  $CR \leq 0.10$  es aceptable en una evaluación. Así, si se acepta que CI es un índice que mide el error del evaluador, entonces CR indica es que el error del observador debe ser menor al 10% del error aleatorio. La Tabla N° C-5.2 muestra los valores de IA permitidos para varios tamaños de las matrices de comparaciones apareadas.

**Tabla N° C-5.2 Índices aleatorios (IA)**

<b>Número de Criterios</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
<b>IA</b>	<b>0,58</b>	<b>0,90</b>	<b>1,12</b>	<b>1,24</b>	<b>1,32</b>	<b>1,41</b>	<b>1,41</b>	<b>1,49</b>

Con respecto a las ventajas de PJA, Tung (1998) menciona que PJA, comparado contra cinco modelos que buscaban ponderar la importancia de los atributos, ofrece los mejores resultados y tiene la capacidad para estudios adecuados de la vida real; asimismo, Beynon (2002) declara que hay por lo menos los siguientes beneficios que pueden ser atribuidos a AHP:

Puede realizar evaluaciones y comparaciones cualitativas

- Pueden ser representados los criterios de decisión basados en juicios y pesos asignados.
- Se puede realizar un análisis de sensibilidad.

Por otro lado, Harker y Vargas (1987) manifiestan que PJA es una técnica que facilita el consenso entre las personas que actúan como expertos evaluadores cuando se trabaja en grupos, porque facilita la comunicación entre ellos. Condón (2003) manifiesta que PJA incorpora en el análisis el Índice de Consistencia (IC) y el Radio de Consistencia (RC), los cuales se emplean para medir la calidad de los juicios emitidos por los expertos.

## **Anexo C-6.**

### **Cálculo de las curva con comportamiento tipo S mediante la función Tangente Hiperbólica.**

La curva logística es un refinamiento del crecimiento exponencial que se asemeja al comportamiento real de la demanda eléctrica en las áreas que están a objeto de estudio, cuando una magnitud crece en un sistema finito, a partir de cierto punto el tamaño finito del sistema limita el crecimiento de la magnitud de la demanda ya sea por razones técnicas o por conductas propias de la población entiéndase mejoramiento de la calidad de vida que incide en el aumento de la demanda eléctrica, en ese momento empieza a saturar el crecimiento, por conductas propias de crecimiento poblacional e incremento del comercio e industrias.

Por diversos estudios realizados, en especial por H. Lee Willis, muestra en la Figura N° C-6.1 del cómo se relaciona los patrones de consumo e incrementos de usuarios con la aproximación de la tendencia de la demanda eléctrica a la curva logística. En la Figura N° C-6.2 muestra la evolución natural del crecimiento de la demanda ante cambios fundamentales en la población y su entorno, donde se nota que por cada cambio importante, hay una tendencia de saturación y crecimiento acelerado progresivo a lo largo del tiempo. La evolución natural de los pueblo es un constante cambio y desarrollo, que genera períodos de saturación y períodos de fuerte crecimientos de demanda eléctrica.

Existen diversas funciones que modelan el comportamiento de la curva, en este estudio se utiliza la función hiperbólica.

$$y(x) = \frac{D_s}{2} + \frac{D_s}{2} \times \tanh(cx + d) \quad \text{Ec (C-6.1)}$$

Donde:

$Y(x)$ : Valor de la demanda en el año  $X$

$D_s$ : Demanda de saturación de la cuadrícula

$C$ : constante que controla la inclinación de la curva

$D$ : constante que controla el desplazamiento horizontal de la curva

El cálculo de las constantes  $C$  y  $D$  se hace mediante las siguientes ecuaciones.

$$c = \frac{1}{(x_0 - x_1)} \times \left( \operatorname{atanh} \left( 2 \times \frac{y_0}{D_s} - 1 \right) - \operatorname{atanh} \left( 2 \times \frac{y_1}{D_s} - 1 \right) \right) \quad \text{Ec. (C-6.2)}$$

Donde:

$c$ : Constante que controla la inclinación de la curva

$X_0$ : periodo  $0$  del registro de la demanda

$X_1$ : periodo  $1$  del registro de la demanda

$Y_0$ : Valor de la demanda del periodo  $0$  [kW]

$Y_1$ : Valor de la demanda del periodo  $1$  [kW]

$D_s$ : Demanda de Saturación [kW]

$$d = \operatorname{atanh} \left( 2 \times \frac{y_0}{D_s} - 1 \right) - c \times x_0 \quad \text{Ec. (C-6.3)}$$

Donde:

$d$ : constante que controla el desplazamiento horizontal de la curva

$c$ : Constante que controla la inclinación de la curva

$X_0$ : periodo  $0$  del registro de la demanda

$X_1$ : periodo  $1$  del registro de la demanda

$Y_0$ : Valor de la demanda del periodo  $0$  [kW]

$Y_1$ : Valor de la demanda del periodo  $1$  [kW]

$D_s$ : Demanda de Saturación [kW]



Figura N° C-6.1 Curva de modela el comportamiento de una microárea

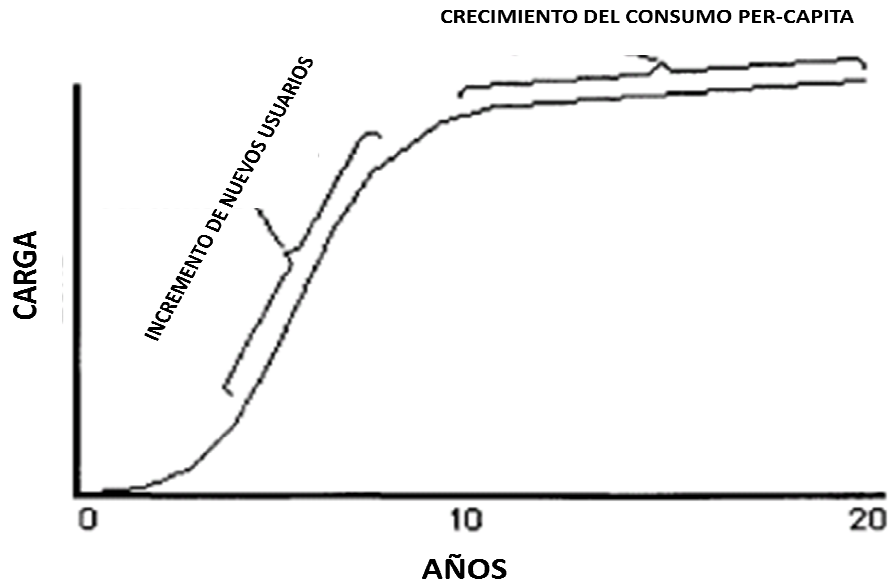
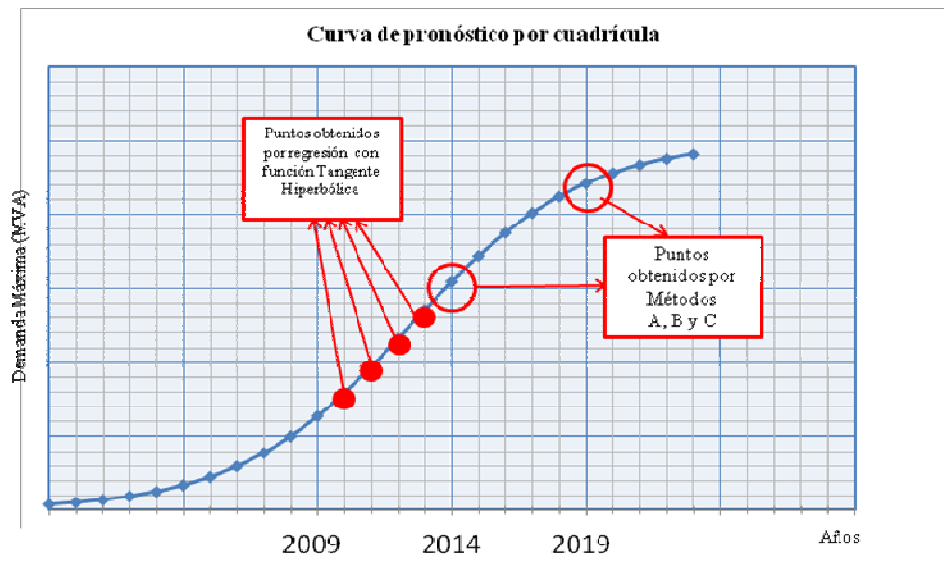


Figura Nro. C-6.2. Evolución del comportamiento de una microárea

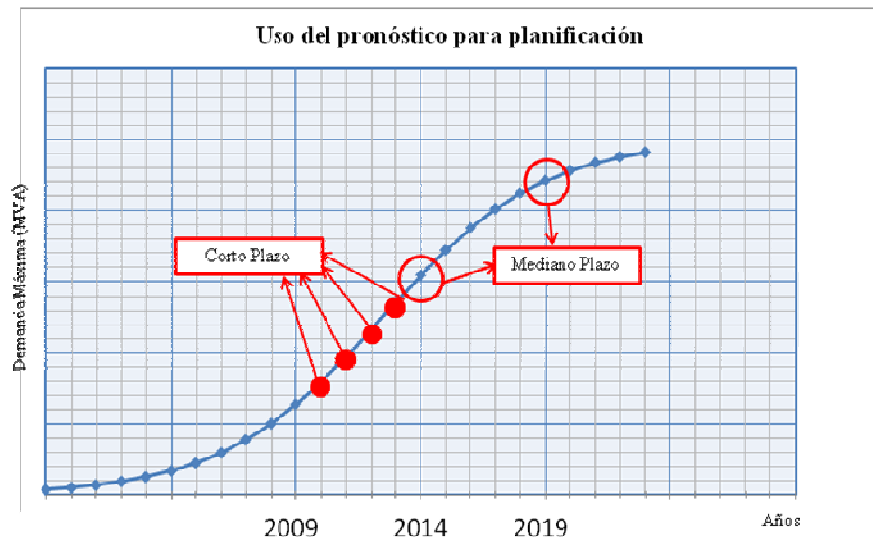


La serie de puntos que se obtienen por año en el uso de la función que modela el comportamiento tiene un objetivo que se muestra en las Figura N° C-6.3 y N° C-6.4

**Figura N° C-6.3 Composición de puntos de la curva que modela el comportamiento de una cuadrícula**



**Figura N° C-6.4 Ubicación del uso del pronóstico para la planificación**



Anexo C-7

Patrones de densidad de cargas utilizado por la Electricidad de Caracas en el sector comercial

GRUPO (I) ESTIMACION DE CARGAS Y CONSTANTES												
V # O Z	% Construcción (Promedio de usos)	Demanda básica de aluminado y misceláneos		Demanda de servicios público y otros				Vitrinas y anuncios		Demanda Total		
		kVA/Ha	kVA/Km <sup>2</sup>	Aluminado público kVA/Ha	Aire Acondicionado kVA/Ha	Ascensores y bombas		kVA/Ha	kVA/Km <sup>2</sup>	kVA/Ha	kVA/Km <sup>2</sup>	
						kVA/Ha	kVA/Km <sup>2</sup>					
C1	30*	40	2.680	**	60	3.600	2	120	170	17.000	270	23.400
C2	50*	80	5.370	**	120	7.200	5	240	170	17.000	380	30.000
C3	240	295	19.712	5	240	14.400	48	2.400	170	17.000	760	54.000
C1	150	215	14.336	5	160	9.600	32	1.600	170	17.000	580	43.000
CC	300	400	26.880	5	300	18.000	60	3.000	170	17.000	935	65.000

Los valores en kVA/Ha se usan para diseño de circuitos secundarios y puntos de transformación  
 Los valores en kVA/Km<sup>2</sup> se usan para determinar la necesidad de subestaciones y rutas primarias troncales  
 - La estimación está hecha en base a los % de construcción -

\* Las zonas C1 y C2 están asociadas a Zonas Residenciales. El % Construcción indicado corresponde sólo al área comercial (una y dos plantas para C1 y C2, respectivamente). Para obtener la demanda total en una zona combinada hay que sumar la demanda comercial y residencial. Ejemplo: C2-R7

Demanda Comercial:  $380 \text{ kVA/Ha}$  (de Tabla (11)).  
 Demanda Residencial:  $\frac{165 - 60}{165} \times 303 = 192$   
 TOTAL: 572

\*\* Se incluye en la zona residencial con la cual está asociada.

NOTAS: 1) En el Distrito Federal se emplean otras denominaciones, con la siguiente equivalencia:  
 C1= C1: COMERCIO LOCAL  
 C1+ C2= COMERCIO VECINAL  
 2) La zonificación R3-A-C3 debe ser estimada en la forma siguiente:  $\text{DEMANDA R3-A-C3} = \frac{\text{DEMANDA C3}}{3} + \frac{2}{3} \text{ DEMANDA R9}$

pág. 2

E de C	Revis: <i>[Firma]</i>	NORMA: (1)1
Departamento de Distribución	Aprob: <i>[Firma]</i>	TABLA (11): DENSIDADES DE CARGA EN ZONAS COMERCIALES.
Div: Planificación Sec: Diseño	Fecha: 12/69	

Anexo C-8

Patrones de densidad de cargas utilizado por la Electricidad de Caracas en el sector residencial

GRUPO (I) ESTIMACION DE CARGAS Y CONSTANTES															
ZONIFICACION	AREA (m <sup>2</sup> )	% C	C1/11a	DEMANDA BASICA (LUZ Y MISCELANEOS - REFRIGERADOR - CALENTADOR)				DEMANDA DE SERVICIOS PUBLICOS Y OTROS				DEMANDA BASICA (AIRE ACONDICIONADO - COCINA - SECADORA)		DEMANDA TOTAL	
				KVA		KVA		KVA		KVA		KVA	KVA	KVA	KVA
				Ha	Km <sup>2</sup>	Ha	Km <sup>2</sup>	Alumbrado publico	Ascensores y bombas	Ha	Km <sup>2</sup>				
R1	2,000	40	5	-	-	4	400	-	-	-	-	-	-	27.88	2,000
R2	1,000	50	10	-	-	4	400	-	-	-	-	-	-	35.88	3,000
R3	500	60	24	32	3,120	4	400	-	-	-	-	29	1,769	65	5,289
R3-1	500	80	39	51	5,070	4	400	-	-	-	-	37	2,874	92	8,344
R4	900	80	80	103	10,400	4	400	-	-	-	-	55	4,688	158	15,088
R4-1	900	80	89	114	11,370	4	400	-	-	-	-	56	5,215	176	17,185
R5	250	100	72	93	9,360	4	400	-	-	-	-	31	2,340	126	11,700
R6	1,000	135 *	136	175	17,550	5	500	10	520	51	4,387	241	22,957	303	27,774
R7	1,200	165 *	165	214	21,450	5	500	13	560	71	5,164	303	27,774	479	46,104
R8	1,500	200 *	289	375	37,570	5	500	23	1,156	76	6,878	479	46,104	497	47,840
R8-A	500	300 *	300	390	39,000	5	500	24	1,200	78	7,140	497	47,840	530	51,016
R9	1,800	325 *	320	416	41,600	5	500	26	1,300	83	7,616	530	51,016	608	48,916
R10	280	307	307	359	39,910	5	500	24	1,200	80	7,306	608	48,916		

\* Provedio de los usos provistos.  
 \*\* Se asumen 10 KVA/pareda y FD- 2,2  
 \*\*\* Se asumen 10 KVA/pareda y FD- 2,7

N O T A S: R3-1 y R4-1: multifamiliar

E de C  
 Departamento de Distribucion  
 Div: Planificación Secc: Diseño

Revis: [Signature]  
 Aprob: [Signature]  
 Fecha: 18/8/72

NORMA: (I) 1

TABLA (I): DENSIDADES DE CARGA EN ZONAS RESIDENCIALES.