



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

ESTUDIO DE DEMANDA DE CARGA DEL MUNICIPIO DE TACANÁ, DEL DEPARTAMENTO DE SAN MARCOS

Jimmy Eduardo Escobar de León

Asesorado por el Ing. Edvin Waldemar Sajquim Estacuy

Guatemala, agosto de 2006

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTUDIO DE DEMANDA DE CARGA DEL MUNICIPIO DE
TACANÁ, DEL DEPARTAMENTO DE SAN MARCOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

JIMMY EDUARDO ESCOBAR DE LEÓN

ASESORADO POR EL INGENIERO EDVIN WALDEMAR SAJQUIM ESTACUY

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, AGOSTO DE 2006

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Carlos Fernando Rodas
EXAMINADOR	Ing. Julio César Solares Peñate
EXAMINADOR	Ing. Otto Fernando Andrino González
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

ESTUDIO DE DEMANDA DE CARGA DEL MUNICIPIO DE TACANÁ, DEL DEPARTAMENTO DE SAN MARCOS,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela Mecánica Eléctrica, con fecha 16 mayo 2005.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Jimmy Eduardo Escobar de León', enclosed within a large, loopy oval scribble.

Jimmy Eduardo Escobar de León

Guatemala, 08 de mayo de 2,006

Ingeniero
José Guillermo Bedoya Barrios
Coordinador del área de potencia
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Ciudad

Ingeniero Bedoya:

Adjunto sírvase encontrar el trabajo de graduación desarrollado por el Ingeniero Infieri Jimmy Eduardo Escobar de León, cuyo título es: "ESTUDIO DE DEMANDA DE CARGA DEL MUNICIPIO DE TACANÁ, DEL DEPARTAMENTO DE SAN MARCOS".

Después de haberlo revisado detalladamente lo encuentro satisfactorio, por lo que considero que cumple con los requisitos de ley para su trámite respectivo. Así mismo, me permito indicarle que como asesor soy copartícipe de la responsabilidad que el indicado trabajo conlleva.

Sin otro particular, me es grato suscribirme,

Atentamente,


Ing. Edvin Waldemar Cajquim Estacuy
ASESOR NOMBRADO
Colegiado No. 2535

Edvin Waldemar Estacuy
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICISTA
Colegiado No. 2535

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



Guatemala, 4 de agosto 2006.

FACULTAD DE INGENIERIA

Señor Director
Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:
ESTUDIO DE DEMANDA DE CARGA DEL MUNICIPIO DE TACANÁ, DEL DEPARTAMENTO DE SAN MARCOS, desarrollado por el estudiante, Jimmy Eduardo Escobar de León, por considerar que cumple con los requisitos establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. José Guillermo Delgado Barrios
Coordinador Área de Potencia

JGBB/sro



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA**



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; Jimmy Eduardo Escobar de León titulado: **ESTUDIO DE DEMANDA DE CARGA DEL MUNICIPIO DE TACANÁ, DEL DEPARTAMENTO DE SAN MARCOS**, procede a la autorización del mismo.

Ing. Mario Renato Escobedo Martínez

DIRECTOR



GUATEMALA, 7 DE AGOSTO 2006.

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG. 286-2006.

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al trabajo de graduación titulado: **ESTUDIO DE DEMANDA DE CARGA DEL MUNICIPIO DE TACANÁ, DEL DEPARTAMENTO DE SAN MARCOS**, presentado por el estudiante universitario **Jimmy Eduardo Escobar De León**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
DECANO

Guatemala, agosto 14 de 2,006

/gdech



Tudo por ti, Carostingia Stella
Dr. Carlos Martínez Durán
2008: Centenario de su Nacimiento

DEDICATORIA A:

- Jesús** porque nunca me has dejado caer en el orgullo cuando triunfo... ni en la desesperación cuando fracaso, más bien me ha enseñado que el fracaso es la experiencia que precede al triunfo.
- La Virgen María** por cuidar y guiar mis pasos para culminar una de mis metas, acompañándome con sus bendiciones y cuidados siempre.
- Mis padres** Any Antonieta de León de Escobar y Eduardo Roberto Escobar Guzmán, porque siempre me han enseñado a decir la verdad delante de los fuertes y no mentir para ganarme el respeto de los débiles, por sus oraciones, el apoyo que he tenido de ustedes en el transcurso de mi vida, hasta hoy, infinitas gracias.
- Mi hermano** Marbin Roberto Escobar de León, usted en verdad es una joya rarísima, me hace sonreír, siempre me ha animado a que tenga éxito, compartimos alegrías y fracasos, abriéndome siempre su corazón, mil gracias.

Mis abuelos

Raúl Antonio de León (QEPD), sé que verme al final de mi carrera fue siempre tu deseo, gracias por tus bendiciones donde quiera que te encuentres, tu ausencia corporal quedó compensada por el amor; los muchos y agradables recuerdos. Teresita Angel, nunca has tenido descanso y tienes de vuelta todo el amor que me has dado, por eso tengo tu bendición especial.

Greta Silvia Guzmán, Manuel de Jesús Escobar a ustedes infinitas gracias.

Mis tíos (as)

Candy, sin tu ayuda esto no hubiera sido posible; Maguita, gracias por estar allí siempre; Raúl, por el apoyo que me brindaste, Shenita, Mimita, Ody, Merci, Beni, Manuel, nunca olviden que los quiero; Willy, Miriam, Jorge, Osvaldo, Esmeralda y Yolli gracias.

AGRADECIMIENTO A:

- Mis primos(as)** Susi, Teresita y Donny, lo importante no es lo que pueda expresarles en palabras, sino no lo que nunca es preciso escribir o decir. Los llevo siempre en mi corazón, gracias.
- Mi novia** Laura Girón, persona que cuando me ha visto llorar, me ha consolado, cuando me ha visto reír, me ha acompañado y cuando me ha visto fracasar, siempre me ha animado ha seguir adelante gracias por estar allí siempre.
- Mis amigos** Porque no he olvidado a ninguno, en mi memoria llevo cada instante que compartí con ustedes. Y recordarles que las personas cambian y que a pesar de que la vida nos lleva por caminos diferentes y tengamos en común sólo los recuerdos aprecio encontrarlos siempre.
- Mi asesor** De manera especial deseo agradecer al Ing. Edvin Sajquim, por su gran disponibilidad ante cualquier consulta, su muy profesional evaluación y las valiosas facilidades otorgadas durante la realización de este trabajo de graduación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XV
OBJETIVOS	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. RESEÑA HISTÓRICA	1
1.1 Información general	1
1.2 Tacaná municipio	2
1.2.1 Generalidades	2
1.2.2 Distribución político-administrativa	2
1.2.3 Límites	2
1.2.4 Historia	3
1.2.5 Accidentes geográficos	4
1.3 Área de estudio	4
2. SITUACIÓN ACTUAL RED DE DISTRIBUCIÓN	7
2.1 Generación de energía eléctrica	7
2.2 Red de distribución	9
2.3 Transformadores de distribución	11
2.3.1 Transformadores no exclusivos	11

2.3.2	Transformadores para servicios exclusivos	12
2.4	Iluminación pública	13
3.	SITUACIÓN ACTUAL DE LA EEMT	15
3.1	Condiciones generales	15
3.2	Organización	16
3.3	Tarifas	17
3.4	Criterios de facturación	18
3.4.1	Uso del servicio	18
3.4.2	Medición y puntos de entrega	18
3.4.3	Equipo de medición	18
3.4.4	Calidad de medición	19
3.4.5	Demanda de facturación	19
3.4.6	Término de pago	20
3.4.7	Ajustes	20
3.4.8	Casos no previstos	22
4.	ESTUDIO DE DEMANDA DE CARGA	23
4.1	Demanda actual	23
4.2	Crecimiento histórico de la demanda	28
4.3	Proyección de la demanda del sistema	29
4.4	Criterios de diseño	31
4.5	Programa de computo para análisis de sistema de Potencia <i>Software</i>	32
4.5.1	Introducción	32
4.5.2	Característica de los datos para ejecutar el programa (PSAT)	33

4.5.3	Ejecución del programa (PSAT)	34
4.5.4	Despliegue de resultados de (PSAT)	35
4.6	Análisis de flujo de carga	35
4.6.1	Estado actual, demanda máxima 2005, hidroeléctrica <i>Cunlaj</i> alimenta su respectivo circuito, análisis de la red primaria	37
4.6.2	Demanda media, hidroeléctrica <i>Cunlaj</i> alimenta su circuito, análisis de la red primaria	38
4.6.3	Demanda mínima, hidroeléctrica <i>Cunlaj</i> alimenta su circuito, análisis de la red primaria	39
4.6.4	Demanda máxima, DEOCSA alimenta totalidad del sistema, cargas desbalanceadas, análisis de la red primaria	40
4.6.5	Demanda máxima, DEOCSA alimenta totalidad del sistema, cargas balanceadas, análisis de la red primaria	41
4.6.6	Demanda media, DEOCSA alimenta totalidad del sistema, análisis de la red primaria	42
4.6.7	Demanda mínima, DEOCSA alimenta totalidad del Sistema, análisis de la red primaria	43
4.7	Resumen demanda máxima, (<i>Cunlaj</i> + DEOCSA)	44
4.8	Resumen demanda media, (<i>Cunlaj</i> + DEOCSA)	45
4.9	Demanda máxima, 2007 análisis de la red primaria	46
4.10	Demanda máxima, 2009 análisis de la red primaria	47
4.11	Demanda máxima, 2011 análisis de la red primaria	48
4.12	Demanda máxima, 2013 análisis de la red primaria	49
4.13	Demanda máxima, 2015 análisis de la red primaria	50

5.	PROPUESTA DE MEJORAS	53
5.1	Mejoras	53
5.1.1	Mejoras a corto plazo	53
5.1.2	Mejoras a mediano plazo	54
5.1.3	Mejoras a largo plazo	55
5.2	Evaluación de los diseños existentes	56
5.2.1	Información general contenida en los diseños	57
5.3	Sugerencias	58
5.3.1	Sugerencia para la remodelación de la red	58
5.4	Conexión de transformadores de distribución	
	Estrella abierta-Delta abierta	59
6.	PROPUESTA DE ORGANIZACIÓN DE LA EEM, DEPARTAMENTO DE SAN MARCOS	61
6.1	Organización	61
6.1.1	Rol del empleado dentro de la EEM	61
6.2	Propuesta de tarifas	66
6.2.1	Tarifa residencial	66
6.2.2	Tarifa comercial, industrial, gobierno y diversos	67
6.3	Análisis económico de las mejoras propuestas	67
	CONCLUSIONES	71
	RECOMENDACIONES	75
	REFERENCIAS	79
	BIBLIOGRAFÍA	81
	APÉNDICE	83
	ANEXO	99

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Mapa municipio de Tacaná, departamento de San Marcos	5
2.	Organigrama actual de la Empresa Eléctrica Municipal	17
3.	Total de usuarios del sistema por sector de consumo	24
4.	Total de usuarios residenciales en el sistema	26
5.	Total de usuarios comerciales en el sistema	26
6.	Total de usuarios industriales en el sistema	27
7.	Total de usuarios de gobierno en el sistema	27
8.	Total de usuarios diversos en el sistema	28
9.	Gráfica de proyección de demanda de energía eléctrica	30
10.	Menú principal de PSAT	34
11.	Diagrama conexión estrella abierta – delta abierta	60
12.	Organigrama propuesto para la Empresa Eléctrica Municipal	65
13.	Banco de transformadores de generadores alemanes	83
14.	Transformador de potencia de generador japonés	83
15.	Lectura de un día de demanda máxima fase 1	84
16.	Lectura de un día de demanda máxima fase 2	84
17.	Lectura de un día de demanda máxima fase 3	85
18.	Comportamiento anual de carga	85
19.	Diagrama unifilar casa de máquinas hidroeléctrica <i>Cunlaj</i>	86
20.	Plano diagrama unifilar red de distribución EEMT(PSAT)	87
21.	Plano simbología red distribución EEMT (PSAT)	88

22.	Plano de ubicación de transformadores cabecera municipal	89
23.	Plano de ubicación de transformadores La Democracia	90
24.	Plano de ubicación de transformadores aldea <i>Sujchay</i>	91
25.	Plano de ubicación de transformadores aldea <i>Cunlaj</i>	90
26.	Plano líneas alta y baja tensión a remodelar cabecera municipal	93
27.	Plano líneas alta y baja tensión a remodelar La Democracia	94
28.	Plano líneas alta y baja tensión a remodelar <i>Cunlaj</i>	95
29.	Modelo de factura de la EEMT	99

TABLAS

I.	Postes utilizados en la red de distribución	11
II.	Transformadores de distribución no exclusivos	12
III.	Transformadores de distribución exclusivos	13
IV.	Luminarias del sistema actual	14
V.	Demanda de facturación	19
VI.	Total de usuario por sector de consumo	23
VII.	Distribución de usuarios por rango de consumo	25
VIII.	Crecimiento histórico de demanda	28
IX.	Modelos de proyección	29
X.	Pronóstico de demanda	31
XI.	2005 Demanda máxima, carga desbalanceada <i>Cunlaj</i>	37
XII.	2005 Demanda media, <i>Cunlaj</i> alimenta su circuito	38
XIII.	2005 Demanda mínima, <i>Cunlaj</i> alimenta su circuito	39
XIV.	Demanda máxima, cargas desbalanceadas DEOCSA	40
XV.	Demanda máxima, cargas balanceadas DEOCSA	41

XVI.	Demanda media, DEOCSA alimenta totalidad del sistema	42
XVII.	Demanda mínima, DEOCSA alimenta totalidad del sistema	43
XVIII.	Demanda máxima, <i>Cunlaj</i> + DEOCSA	44
XIX.	Demanda media, <i>Cunlaj</i> + DEOCSA	45
XX.	2007 Demanda máxima, sistema interconectado	46
XXI.	2009 Demanda máxima, sistema interconectado	47
XXII.	2011 Demanda máxima, sistema interconectado	48
XXIII.	2013 Demanda máxima, sistema interconectado	49
XXIV.	2015 Demanda máxima, sistema interconectado	50
XXV.	Materiales para remodelación de la red de distribución	68
XXVI.	Gastos de mantenimiento anuales de la EEM	69
XXVII.	Datos de proyección realizada para la venta de kWh	69

LISTA DE SÍMBOLOS

AMM	Administrador Mercado de Mayoristas.
ASCR	<i>Aluminum Steel Conductor Reinforced</i> Conductor de aluminio reforzado con acero.
AWG	<i>America Wire Gauge</i> Medida Americana de Alambre.
CNEE	Comisión Nacional de Energía Eléctrica.
CT'S	<i>Transformer Current</i> Transformador de corriente.
DEOCSA	Distribuidora de Energía de Occidente. S.A.
EEMT	Empresa Eléctrica Municipal de Tacaná.
Hz	Hertz.
INE	Instituto Nacional de Estadística.
INSIVUMEH	Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología é Hidrología.

Km²	Kilómetros cuadrados.
kWh	Kilovatio – hora.
kVA	Kilovoltio - Amperio.
kVAr	Kilovoltio – Amperio reactivo.
TELGUA S.A.	Telecomunicaciones de Guatemala, S.A.
Y – Δ	Estrella - Delta.
3Ø	Trifásico.
3F	Tres fases.

GLOSARIO

AMM	Es una entidad privada sin fines de lucro, que coordina las transacciones entre los participantes del Mercado Mayorista de Electricidad.
Carga conectada	Es la suma de los valores nominales de todas las cargas del consumidor que tienen la probabilidad de estar en servicio al mismo tiempo para producir una demanda máxima.
CNEE	Crea condiciones propicias y apegadas a la Ley para que las actividades de generación, transporte, distribución y comercialización de energía eléctrica sean desarrolladas por toda persona individual o jurídica que desee hacerlo.
Demanda	Es la magnitud de la carga en terminales receptoras tomadas como un valor medio en determinado intervalo.

Demanda máxima	Es la mayor demanda que ha ocurrido durante un determinado período de tiempo.
Demanda media	Es el promedio aritmético de las demandas registradas en un período determinado.
Energía	Capacidad de producir un cambio o un trabajo, que es igual a potencia por tiempo (kWh).
Factor de demanda	Es la relación entre su demanda máxima en el intervalo considerado y la carga total instalada. $F_d: D_{m\acute{a}x}/P_{inst}$
Factor de pérdidas	Se define como la relación entre el valor medio y el valor máximo de la potencia disipada en pérdidas, en un intervalo. $F_p: P_{medias\ en\ intervalo}/P_{m\acute{a}ximas}$
Fusible	Elemento protector el cual por incremento de temperatura, llega a fundirse

Gráfica de demanda	Es la representación de las demandas máximas, mínimas de un consumidor en un período de tiempo dado.
Medidor de Energía	Aparato que mide la energía eléctrica consumida ó servida en un punto dado a un consumidor, tomando en cuenta dos factores: potencia y tiempo.
NTSD	Normas Técnicas de Servicio de Distribución, emitidas por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica.
Potencia	Energía que absorbe o cede un dispositivo en una unidad de tiempo.
PSAT	<i>Power System Análisis Toolbox</i> caja de herramientas para análisis de sistemas de potencia.
Seccionador	Dispositivo encargado de separar eléctricamente un circuito de otro, deben ser operados sin carga, pero pueden contar con dispositivos para poder operar con diferentes magnitudes de carga.

RESUMEN

En el presente trabajo de graduación se hace un estudio de demanda de carga y análisis del problema técnico de la red eléctrica que sirve al municipio de Tacaná en el departamento de San Marcos, ya que en un sistema de distribución de energía eléctrica es muy importante la confiabilidad y continuidad del servicio; pero, cuando el mismo pierde dichas características, se convierte en un problema crítico para los usuarios y a la vez una limitante para el desarrollo técnico-económico de la población de Tacaná.

El estudio se realizó de la siguiente manera; en el capítulo uno encontramos información general del municipio de Tacaná, historia, accidentes geográficos, el área de estudio y un mapa de ubicación del municipio de Tacaná dentro del departamento de San Marcos.

El capítulo dos trata sobre la situación actual de la red de distribución las fuentes que utiliza para generar energía, con cuántas lámparas de iluminación publica cuenta la EEMT y cantidad de transformadores de distribución que están prestando el servicio.

El capítulo tres se trata la situación actual de la EEMT, las condiciones generales; cuándo se fundó, cómo se encuentra actualmente, cuáles son sus limitantes para generar energía, se analiza el servicio que presta con relación a pérdidas, tanto técnicas, como económicas, debido a la falta de mantenimiento organización actual, personal con que cuenta, criterios de facturación que utiliza la EEMT para afianzarse de fondos.

El capítulo cuatro es el más importante porque se encuentra plasmado todo el estudio de demanda de carga, iniciando por la distribución de usuarios por sector, rango de consumo, crecimiento histórico de la demanda de energía, la proyección de pronóstico de demanda del sistema, el análisis del flujo de carga.

En el capítulo cinco encontramos las propuestas de mejoras a corto, mediano y largo plazo; una evaluación de propuestas que han presentado otras empresas como la solución para prestar energía monofásica y trifásica con la conexión de transformadores estrella abierta-delta abierta para así poder mejorar el servicio de energía prestado al usuario.

El capítulo seis cuenta con una propuesta para la organización de la EEMT con su respectivo organigrama detallándose la obligación que cada miembro debe de cumplir con el cargo que desempeña, una nueva base de tarifas para aumentar los ingresos y así mejorar el renglón de mantenimiento de la red de distribución, llegando a tener una EEMT mas eficiente sin rebasar el limite de su generación. Con la nueva tarifa de energía eléctrica se presenta el análisis económico para poder mantener solvente económicamente a la EEMT.

OBJETIVOS

- **General**

Realización del estudio de demanda de carga del municipio de Tacaná, del departamento de San Marcos, con el fin de proponer mejoras en la distribución y generación de energía eléctrica proporcionada por la Empresa Eléctrica Municipal.

- **Específicos**

1. Determinar el crecimiento de la demanda de carga de energía eléctrica, en el municipio de Tacaná, para mejorar en confiabilidad y calidad en el servicio de energía eléctrica.
2. Determinar mejoras necesarias en la red de distribución de energía eléctrica del municipio.
3. Proponer una organización adecuada de la Empresa Eléctrica Municipal, para un buen desempeño y administración.
4. Establecer tarifas adecuadas de cobro que puedan cubrir los gastos de operación de la Empresa Eléctrica Municipal.

INTRODUCCIÓN

Para un suministrador de servicio de energía eléctrica las premisas fundamentales deben ser la calidad y la continuidad en el servicio que brinda, por tanto, un estudio de las cargas residenciales, comerciales e industriales es necesario para la planificación y diseño de un sistema de distribución apropiado al medio.

Se presenta en el siguiente trabajo de graduación la información obtenida de un estudio técnico de consumo y demanda indispensable para las especificaciones del equipo eléctrico en forma eficiente; además, dichos resultados proveerán los factores de servicio utilizables en la facturación de tarifas.

El presente estudio se hizo con la finalidad de establecer las causas que originan una distribución de energía eléctrica con baja confiabilidad en el área del municipio de Tacaná, y a la vez, plantear posibles soluciones para mejoras del servicio.

Para alcanzar el objetivo se realizó un recorrido por la red de distribución, para determinar capacidades y encontrar posibles fallas en la misma. También se obtuvo información de las empresas involucradas en el servicio de energía eléctrica, como puede observarse en las referencias. Con esta información y monitoreos realizados, se pudo obtener estadísticas de carga y capacidad instalada, como puede apreciarse en el presente estudio.

1. RESEÑA HISTÓRICA

El siguiente capítulo detalla la información general, del departamento de San Marcos, que cuenta con veintinueve municipios entre los cuales se encuentra Tacaná, donde se describe su aspecto económico, político y social. Vea figura 1. Mapa de ubicación del departamento y del municipio.

1.1 Información general

Fue creado como Departamento por el Acuerdo de la Asamblea Constituyente el 8 de mayo de 1866.

Se encuentra situado en la región VI o región sur-occidental, su cabecera departamental es San Marcos, está a una distancia de 256 kilómetros de la ciudad capital. Cuenta con una extensión territorial de 2,397 Km², con los siguientes límites departamentales: al Norte con Huehuetenango, al Sur con el Océano Pacífico y Retalhuleu, al Este con Quetzaltenango y al Oeste con la república de México.

El departamento posee una variedad de climas debido a su topografía, su suelo es naturalmente fértil, e inmejorable para toda clase de cultivos.

1.2 Tacaná, municipio

1.2.1 Generalidades

Cabecera del Municipio que se ubica en la región Norte del departamento de San Marcos, a una distancia de 75 kilómetros, por carretera de terracería, ruta nacional 12 de la cabecera departamental y una distancia de 328 kilómetros de la ciudad de Guatemala, se encuentra a una altura de 2,242 metros ó 6,726 pies sobre el nivel del mar, en la actualidad tiene una extensión territorial de 302 km².

1.2.2 Distribución político-administrativa

Este municipio esta conformado por: un pueblo, quince aldeas, ciento catorce cantones, colonias y caseríos.

1.2.3 Límites

El municipio de Tacaná limita al Norte con el municipio de *Tectitán* del departamento de Huehuetenango, al Este con el municipio de San José *Ojetenam* e *Ixchiguán* del departamento de San Marcos, al Sur con el municipio de *Sibinal* departamento de San Marcos, y al Oeste con la República de México.

1.2.4 Historia

El nombre de Tacaná significa fuego dentro de la casa; viene de las voces mames *Ta* que significa adentro, *Cak*, que significa fuego, y *ná* de *najbil*, que significa casa. No se conoce la fecha exacta en que fue erigido como pueblo, pero ya en 1743, el 12 de febrero el Corregidor de Quetzaltenango, envió a la Real Audiencia un expediente con el resultado de las elecciones de los pueblos, cantones y principales de cada uno de ellos, haciéndose mención en ese entonces del pueblo Asunción Tacaná.

En la descripción de la provincia de Quetzaltenango por don Joseph Domingo Hidalgo publicado en la Gaceta de Guatemala el 14 de agosto de 1797, se hace saber que Asunción Tacaná es anexo del Curato de Cuilco, perteneciente a la provincia de Totonicapán, pueblo que tiene 269 tributarios, y de todas clases 900 personas, mencionándose que ya existía este poblado. En 1800 el bachiller presbítero Domingo Juarros asentó en su compendio que Tacaná pertenecía al curato de Cuilco partido de Quetzaltenango.

Al decretarse la constituyente el 27 de agosto de 1836, citado por Pineda Mont, en su recopilación de leyes la división territorial para la administración de justicia por el sistema de jurados, Tacaná figura adscrito al Circuito de Cuilco. A la fecha no existe documento de la época que indique cuando paso Tacaná a su jurisdicción actual.

Salvo que se encuentre algún documento de la época encontra, podría decirse que Tacaná pasó a jurisdicción de San Marcos, entre 1836 y 1848, cuando el departamento adquirió tal rango en vez de partido, por Acuerdo Gubernativo del 08 de mayo de 1866.

1.2.5 Accidentes geográficos

Su localización esta en la Sierra Madre, tiene en su jurisdicción el volcán de Tacaná, cuatro montañas, dieciocho cerros, lo riegan cuarenta y cuatro ríos, un riachuelo, doce arroyos y trece quebradas.

1.3 Área de estudio

El área servida por la EEMT comprende la cabecera municipal y aldeas circunvecinas: *Sujchay*, *Cunlaj*, colonia La Democracia, y Barrio Los Angeles, con una extensión aproximada de 100 km².

En la figura 1 se muestra la ubicación geográfica del área de estudio dentro del municipio de Tacaná.



2. SITUACIÓN ACTUAL RED DE DISTRIBUCIÓN

En el siguiente capítulo se presentan minuciosamente, las cualidades de la EEMT en las siguientes áreas: generación de energía eléctrica, red distribución, transformadores de distribución exclusivos y no exclusivos, también detallándose las principales carencias en iluminación pública con las que cuenta el municipio.

2.1 Generación de Energía Eléctrica

Actualmente, la energía proviene de las siguientes fuentes: hidroeléctrica *Cunlaj* la cual es administrada por la municipalidad del lugar y de una subestación de DEOCSA, localizada en la Aldea de San Luís, del municipio de Tacaná. La hidroeléctrica *Cunlaj* utiliza las aguas de los ríos Los Molinos y *Chimealón*, los nacimientos vienen de las serranías más altas de éste municipio lugar conocido como el gancho y en las faldas del Cerro *Cotzic*, recorren todo el municipio pasando por las siguientes aldeas: *Sanajabá*, El Rosario, *Sujchay*, *Cunlaj* y Tacaná, cruza el municipio de Tapachula Estado de Chiapas México, desembocando en el Océano Pacífico. Esta planta es administrada por la EEMT y se encuentra localizada a 5 Km de la cabecera municipal de Tacaná, a la cual se tiene acceso por medio de una carretera de terracería.

La hidroeléctrica fue construida en los años 1967-1968 diseñada para producir 150 kVA con 2 generadores de marca *REINISCHE*, Alemanes, seguidamente en 1992 fue donado otro generador de marca *SEIKOSHA MFG*, por la embajada de Japón e instalado en el mismo año, actualmente la máxima

generación que se puede obtener es de 150 kVA con los dos generadores alemanes, que son puestos en marcha de 6:00–18:00 horas y 150 kVA del generador japonés, puesto en funcionamiento de 18:00-6:00 horas del día siguiente.

Los generadores de marca *REINISCHE* alemanes tienen instalado un banco de transformadores (tipo convencional de 60 kW cada uno), trifásico (3Ø) en conexión Y-Δ (total 180 kW), a un voltaje de 230 voltios/7,600 voltios, que fueron instalados en una plataforma de concreto en 1968, mismos que no reciben mantenimiento desde dicha fecha, ya que existía un reporte del dieléctrico a solicitud de EEMT realizado a los transformadores convencionales que indicaba el colapso de los mismos, pero es suficiente con ver el avanzado estado de corrosión y tomar en cuenta que estos dispositivos tienen una vida útil la cual fue rebasada, afectando el funcionamiento de la generación de energía eléctrica. En el caso del generador Japonés tiene instalado un transformador (de potencia) 150 kW con conexión Y-Δ a un voltaje de 480 voltios/7,600 voltios, este se encuentra en optimas condiciones de funcionamiento. Estos transformadores no cuentan con ninguna clase de mantenimiento. Las características de los generadores utilizados para el abastecimiento de la energía se pueden observar en el anexo I.

Debido a lo antiguo de las instalaciones y el embalse pequeño, esta planta tiene muchos problemas de funcionamiento, por lo que en repetidas ocasiones la carga que alimenta debe ser transferida al servicio de DEOCSA.

La hidroeléctrica *Cunlaj* alimenta un ramal de la cabecera del municipio de Tacaná, por medio de una línea de transmisión trifásica de 7 km de longitud, tres conductores (ASCR) 1/0 en primario, el diagrama unifilar de la casa de máquinas, puede observarse en el apéndice III.

En general, estas líneas se encuentran en mal estado en estructuras, aislamiento, conductores, etc. DEOCSA proporciona el 40% de la energía que consume la cabecera municipal y sus alrededores, de la estación conocida con el nombre de San Luis, localizada a 11 kilómetros aproximadamente, de la cabecera municipal. Del mismo lugar se derivan también circuitos trifásicos, que alimentan con energía eléctrica a San José *Ojetenam*, Sibinal e *Ixchiguan*.

Dentro de la población existen algunos usuarios importantes que son servidos directamente por DEOCSA y no por la EEMT siendo ellos: TELGUA, Juzgado de Paz, Centro Comercial, Centro de Salud y algunos usuarios industriales y residenciales los cuales tienen servicio de la EEMT y de DEOCSA.

2.2 Red de distribución

La EEMT del municipio de Tacaná del departamento de San Marcos, distribuye energía eléctrica a la cabecera del municipio y algunas aldeas como lo son: *Sujchay*, *Cunlaj*, colonia La Democracia y barrio Los Angeles.

La EEMT afronta muchos problemas al prestar el servicio de energía eléctrica a los usuarios, debido a lo ineficiente de la red de distribución, en el apéndice IV se presenta un diagrama de la red el cual se analizó por medio del programa PSAT.

El voltaje utilizado en la red primaria es de 7,600 voltios, 60Hz, tres conductores (ASCR) calibre 1/0. Las líneas de distribución secundaria proporcionan un voltaje de 240 voltios de línea a línea y 120 voltios de línea a neutro. Tanto desde el punto de vista mecánico como eléctrico, las condiciones de la red de distribución primaria y secundaria son malas.

Esta red constituye uno de los problemas que debe resolver la EEMT con mayor urgencia. La condición física de la red muestra problemas físicos como: postes de riel desnivelados, postes de madera en mal estado, aisladores rotos y herrajes dañados.

En varios sectores es notoria la aglomeración de los conductores en los postes, debido a sucesivas ampliaciones realizadas con el fin de satisfacer la demanda inmediata, los trabajos se hacen sin seguir ningún tipo de norma ó planificación. Todos los trabajos se hacen en forma empírica, razón por la cual se presta un servicio deficiente que presenta diversas dificultades, mismas que no se puede resolver debido a que el gerente general como los empleados de la EEMT son substituidos cada 4 años y no le dan seguimiento a ningún plan de trabajo, así también cada nuevo miembro de la corporación municipal autoriza ampliación de línea para donde ellos necesiten el servicio, dejando de importarles la situación que atraviesa la EEMT.

No existen normas dentro de la organización de la EEMT que establezcan como hacer trabajos, tanto en la red de distribución como en la elaboración de acometidas, por lo que se observa una red antiestética y antitécnica. Debido a lo extenso de los ramales secundarios y al uso de los conductores de calibre inadecuado, esta red es señalada por poseer un alto grado de pérdidas¹, también se asume que existe otra considerable fuente de pérdidas de energía en los contadores o medidores, ya que no se utiliza un método confiable para calibrar estos, aparte de encontrarse algunos muy antiguos y otra gran parte defectuosos.

¹ Se encuentra detallado en el capítulo cuatro (4)

Los postes no guardan la distancia apropiada a los edificios ó construcciones por lo que no se respeta la libranza que debe existir entre los conductores energizados y personas u objetos que pudieran tener contacto fortuito con ellos. No se utiliza ningún método para balancear la carga en las fases de las líneas de distribución¹. Los postes utilizados para la distribución de energía de la red, se detallan a continuación, en la tabla I.

Tabla I. Postes utilizados en la red de distribución

MATERIAL	CANTIDAD
Concreto	12
Metal	33
Madera	184
TOTAL	229

2.3 Transformadores de distribución

La capacidad global de los transformadores utilizados en la red de distribución es alrededor de 570 kVA², la mayoría de estos transformadores son monofásicos tipo convencional sin cortacircuito o fusible, distribuidos en forma aleatoria sin obedecer a ningún estudio ni diseño.

2.3.1 Transformadores no exclusivos

En algunos sectores los transformadores están sobrecargados llegando al extremo de destruir las terminales de los interruptores ubicados en los postes donde ellos se encuentran instalados, lo cual trae consigo la reducción de la

¹ El % de desbalance puede observarse de mejor manera en las tablas insertadas en el capítulo cuatro (4).

² Se contabilizaron únicamente los transformadores que prestan servicio para la EEMT debido a que existe transformadores pertenecientes a DEOCSA y empresas privadas.

vida útil de los transformadores, como prestar un mal servicio al usuario. Los transformadores utilizados para la distribución de energía eléctrica en la red, se detallan a continuación en la tabla II, y la ubicación, de cada uno, se encuentran en los mapas de los apéndices VI, VII, VIII, IX, dando servicio a un promedio de 875 usuarios según se observa en el capítulo 4.

Tabla II. Transformadores de distribución no exclusivos

CAPACIDAD (kVA)	CANTIDAD
10.0	4
15.0	7
25.0	17
TOTAL	28

2.3.2 Transformadores para servicios exclusivos

Los servicios prestados a cargas grandes y características especiales se denominan exclusivos y son los siguientes:

1. Parque 15.6 kVA trifásico.
2. Mercado 11.5 kVA monofásicos.
3. Escuela Oficial Urbana Mixta 9.3 kVA trifásico.
4. Bloquera 10.7 kVA trifásico.
5. Iglesia 9.7 kVA monofásico.
6. Instituto 12.8 kVA monofásico.
7. Bomberos 11.7 kVA monofásico.

Tabla III. Transformadores de distribución exclusivos

CAPACIDAD (kVA)	CANTIDAD
10.0	2
15.0	4
25.0	1
TOTAL	7

2.4 Iluminación pública

La iluminación pública ha sido mejorada en algunos sectores; en otros es mala o no existe, pero esto se debe a que la EEMT no cobra una cuota por alumbrado público, lo cual da lugar a no contar con los recursos necesarios para una inversión en la compra de luminarias para los sectores carentes del servicio y falta de mantenimiento en los lugares ya existentes. Todavía se pueden observar algunas lámparas incandescentes de 75 ó 100 vatios suspendidos de postes de metal en la calle, formando parte del alumbrado público, contribuyendo a lo antiestético y antitécnico.

Este servicio es prestado con un 85% de lámparas de mercurio, el 15% restante está constituido por luminarias de luz mixta e incandescentes la mayoría son de 175 vatios, 240 voltios. Para la colocación de las luminarias no se hace ningún estudio, en los lugares donde la iluminación es más uniforme, la separación entre luminarias es de 45 a 50 metros y una altura de montaje de 7 metros.

En general las aldeas carecen de este servicio y en las orillas de la cabecera municipal el servicio es deficiente. Las luminarias utilizadas para la iluminación del municipio, se detallan a continuación, en la tabla IV.

Tabla IV. Luminarias del sistema actual

TIPO	POTENCIA (W)	NÚMERO DE LUMINARIAS	LÚMENES POR LUMINARIA	POTENCIA INSTALADA (W)
Mercurio	175	35	7900	6125
Mixtas	175	3	14000	525
Incandescentes	100	3	750	300
TOTAL		41		6,950

3. SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA ELÉCTRICA MUNICIPAL DE TACANÁ (EEMT)

En el siguiente capítulo se detalla la organización actual, que miembros integran la EEMT actualmente, las tarifas de cobro de los servicios de energía eléctrica y los criterios de facturación.

3.1 Condiciones generales

La EEMT se fundó el 26 de julio de 1977, diez años después de la inauguración de la hidroeléctrica *Cunlaj*.

Para poder solucionar la crisis energética que se vive en el municipio, el 16 de abril de 1994 inicio labores la empresa Distribuidora de Energía de Occidente S.A. (DEOCSA), dicha empresa tiene instaladas sus líneas de transmisión eléctrica a la par de la EEMT, para poder prestarles el servicio a todos los usuarios sin pérdida de tiempo, pues lograron cubrir la mayor parte del municipio, aunque la mayoría de sus líneas secundarias no están energizadas ya que hasta el momento solo cuentan con 500 usuarios, a quienes la EEMT no puede proporcionarles el servicio.

En diciembre de 1999 debido a la gran demanda de energía eléctrica, y a la insuficiencia de los generadores para brindar servicio a la mayoría de usuarios, se instaló una planta de generación a base de diesel, funcionando durante horas pico, ayudando de alguna manera a resolver las deficiencias de

la red de distribución durante el lapso de tiempo que prestó sus servicios y que por falta de mantenimiento dejó de funcionar en enero del 2001.

Las oficinas de la EEMT están ubicadas dentro del edificio de la alcaldía municipal, donde funciona la tesorería. Debido a que la EEMT no tiene autonomía dentro de su administración, desconocen el monto exacto de los ingresos y egresos así como también los costos de mantenimiento de la red de distribución y de generadores ubicados en hidroeléctrica *Cunlaj*.

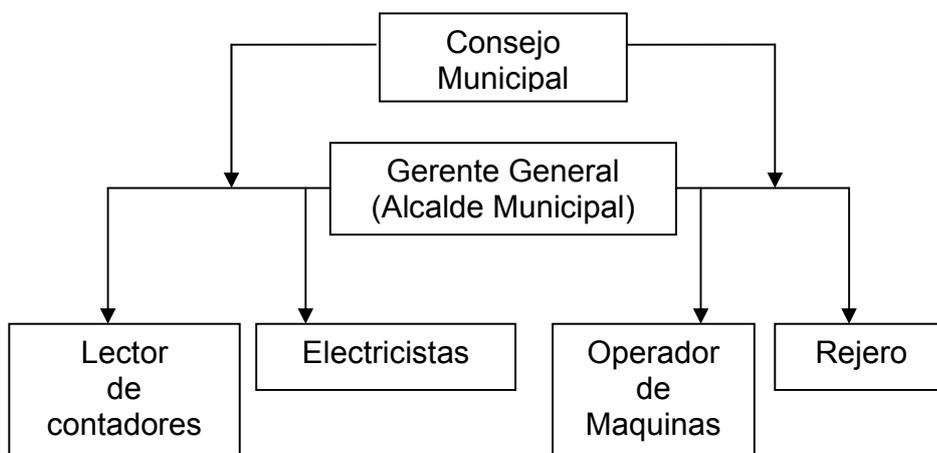
3.2 Organización

En estos momentos la organización de la EEMT es la siguiente:

- **Consejo Municipal:** Integrado por los miembros de la corporación municipal
- **Gerente General:** Alcalde Municipal, Efraín Hernández.
- **Electricistas:**
 - a) Orlando Díaz Mérida
 - b) Elifas Bartolón
- **Lector de Contadores:** Br. Raúl Antonio de León Ángel
- **Operador de Máquinas:** Wilfredo Díaz Mérida
- **Rejero:** Romelio Morales

Algunos de los miembros de esta organización desconocen sus funciones, debido a que en algunos casos los electricistas realizan labores de fontanería, piloto de ambulancia, tren de aseo, y trabajos que sean requeridos por el Alcalde Municipal.

Figura 2. Organigrama actual de la EEMT



3.3 Tarifas

El usuario realiza los pagos en la tesorería municipal, basándose en una tarifa estándar de Q0.20 centavos por kilovatio-hora, la cual fue modificada por un acuerdo municipal de fecha 5 de julio de 1995 incrementándose la tarifa en un 50% sobre el valor de la energía eléctrica teniendo un nuevo costo de Q0.30 centavos por kilovatio-hora, por servicio de 120 voltios y Q 0.60 centavos por servicio de 220 voltios, manteniéndose los precios hasta la fecha sin sufrir cambio alguno, el incremento anterior se aplica a todo el pliego tarifario por igual.

3.4 Criterios de facturación

La EEMT se basa en los siguientes criterios para regular las características del servicio de energía eléctrica que se suministra, en el anexo II puede observar el modelo de factura, para tener referencia de los criterios en los que se basan para realizar el cobro de la energía eléctrica.

3.4.1 Uso del servicio

El servicio de energía eléctrica que se suministre es para uso exclusivo del usuario o consumidor y no podrá revenderse ni facilitarse a terceros.

3.4.2 Medición y puntos de entrega

El servicio de energía eléctrica se suministrará y registrará por medio de un equipo de medición en cada punto de entrega y para cada usuario o consumidor. Si un consumidor solicita dos o más puntos de entrega, se consideraran igual número de servicios y se presentará factura de cobro separadas por cada equipo de medición.

3.4.3 Equipo de medición

La EEMT instalará los equipos de medición para registrar el suministro de energía y la demanda de potencia eléctrica que utiliza el usuario o consumidor.

Para los servicios que sean suministrados sin contador, la EEMT definirá la forma de controlar el consumo de energía eléctrica.

3.4.4 Calidad de medición

Todos los contadores serán ajustados de tal manera que la energía registrada con cargas del 10% y 100% de la capacidad nominal del contador, cumpla con una tolerancia de $\pm 2\%$. A criterio de la EEMT, se efectuara una revisión del contador y si la prueba demuestra que el promedio de error fuera mayor del 5%, a favor del consumidor la EEMT abonara y deberá reintegrar al consumidor el valor del exceso. Si el promedio de error fuera mayor al 5% a favor de la EEMT esta cargará al consumidor la diferencia en defecto. Este ajuste de cuentas comprenderá desde el recibo anterior previo a la emisión de la orden de revisión o comprobación y los días transcurridos hasta la fecha de comprobación o cambio de contador.

3.4.5 Demanda de facturación

Tabla V. Demanda de facturación

Demanda (kW)	Voltaje (V.)	No. De conduc.	DESCRIPCION
10 - 50	120 / 240	3	Será instalado un demandómetro auto contenido
50 - 75	(240/120) Δ (208Y/120) Y	4	Será instalado un demandómetro auto contenido
75 – 225	(208Y/120) Y (240/120) Δ 3F	4	Será instalado 3 CT'S, una caja de contador y un demandómetro

(Continúa)

225 ≤	(208Y/120) Y (240/120) Δ 3F	4	Será instalado 3 CT'S, una caja de contador y un demandómetro
-------	--------------------------------	---	---

La demanda de facturación del mes será igual al valor de la potencia máxima registrada por medio de un contador demandómetro que la integrará durante períodos de quince minutos consecutivos, a condición de que la demanda a facturar en el mes corriente no será menor del 85% de la demanda mas alta registrada en cualquiera de los seis meses anteriores, salvo lo especificado en la tarifa correspondiente.

3.4.6 Término de pago

Las cuentas se vencerán a su rendimiento y deberán pagarse dentro de los diez días siguientes. El usuario que tenga más de tres meses de mora podrá suspendersele el servicio según Acuerdo Municipal (07-06-96).

3.4.7 Ajustes

Las facturas que se emitan de acuerdo a la tarifa correspondiente, podrán incluir descuentos o recargos, debido a:

a) Por cargas fluctuativas y/o intermitentes

Si la energía se suministra en baja tensión, con transformadores de distribución de la EEMT y las instalaciones del consumidor incluyen equipos con características fluctuativas y/o intermitentes, tales como

soldadores u otros que provoquen variaciones en el voltaje, se hará un cargo adicional por kVA de capacidad nominal.

b) Factor de potencia

El consumidor operará sus equipos lo más aproximado posible al 100% del factor de potencia. En caso que el factor de potencia que se tenga sea menor del 85% atrasado, la EEMT podrá afectar la demanda de facturación, con la cantidad que resulte de multiplicar esa potencia por 85% y dividir el producto entre el factor de potencia promedio que se haya registrado durante el periodo.

c) Factor de utilización de la base tarifaria

Las facturas que se emitan podrán incluir un ajuste que incorpore en las mismas la variación de los parámetros económicos, en forma flexible, en el tiempo.

Ejemplo ilustrativo de los ajustes:

Un usuario comercial consume 150 kWh, tiene 1 HP instalado con un factor de potencia 75% en atraso.

a)	Consumo base:	(14 kWh)	=	Q. 15.40
b)	kWh adicionales:	150 -14	=	136 kWh
c)	Costo de energía:	136 kWh * Q1.25 / kWh	=	Q170.00
d)	Total cargo por energía:	Q15.40 + Q 170.00	=	Q185.40
e)	Cargo por alumbrado Público:	(15 % * d)	=	Q 15.00
f)	Cargo por Potencia:	1 HP * Q. 5.66	=	Q 5.66
		(1 HP * 85%) / 75%		

- g) TOTAL A PAGAR: $d+e+f$ = **Q190.66**
- d) Factor de utilización: $(\text{Consumo en kWh} / \text{Demanda Máx.mensual}) * \text{Tiempo}$.

Donde:

Consumo en kWh = Energía total consumida

Demanda Máxima = Potencia instantánea mayor requerida.

Tiempo Periodo considerado (720 horas en el presente estudio)

El valor del factor de utilización de carga calculado es de Q 35.02.

3.4.8 Casos no previstos

Los casos o definiciones no contemplados en las cláusulas generales y especiales de tarifas, serán resueltos por EEMT.

4 ESTUDIO DE DEMANDA DE CARGA

En el siguiente capítulo se plasma el estudio de **análisis de flujo de carga**, iniciando por una clasificación de usuarios de acuerdo al sector de consumo, seguidamente una distribución por rango de consumo. Se evalúa el crecimiento histórico además de la proyección de la demanda del sistema llegando al pronóstico del comportamiento de demanda del año 2005-2015 tomando en cuenta los criterios de diseño, se realiza la tabulación de los datos de demanda, potencia y pérdidas obtenidos del programa PSAT el cual se detalla en el desarrollo del capítulo.

4.1 Demanda actual

La demanda actual tiene dos componentes: la demanda servida, donde se incluye a los usuarios que gozan del servicio y la demanda restringida, dentro de la cual están las personas que han solicitado formalmente el servicio eléctrico, pero no les ha sido suministrado por alguna razón.

La demanda servida está formada según se indica en la tabla VI.

Tabla VI. Total de usuarios por sector de consumo

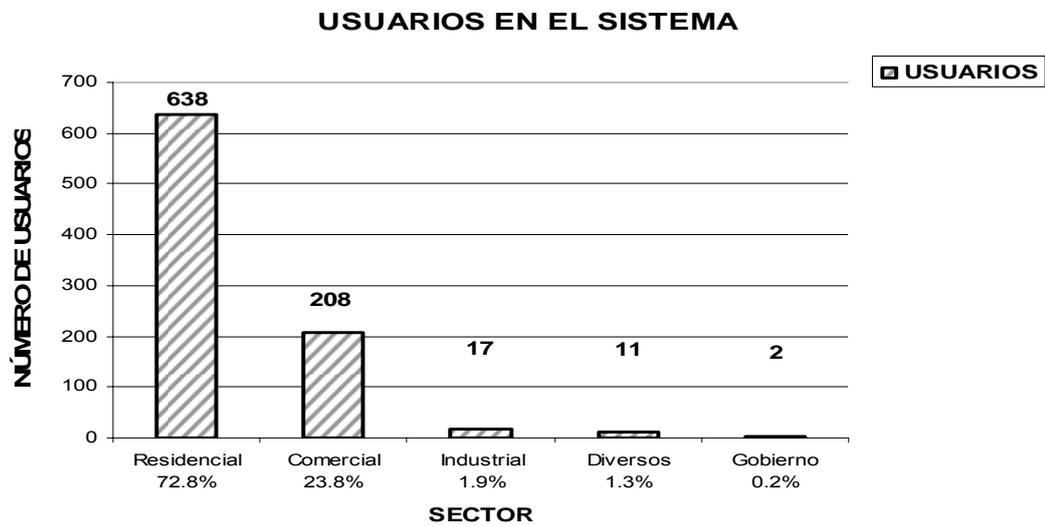
Sector de Consumo	Número de Usuarios	%
Residencial	638	72.8
Comercial	208	23.8
Industrial	17	1.9

(Continúa)

Diversos	11	1.3
Gobierno	2	0.2
TOTAL	876	100

Se muestra gráficamente la distribución de usuarios de acuerdo al sector de consumo.

Figura 3. Total de usuarios en el sistema por sector de consumo



Mientras que en la tabla VII, se presenta la distribución de los usuarios de acuerdo con la cantidad y sector de consumo, donde se puede observar en la primera columna los rangos establecidos para dicha clasificación.

Tabla VII. Distribución de usuarios por rango de consumo

kWh/ Mes	Sector Residencial	Sector Comercial	Sector Industrial	Sector Gobierno	Sector Diversos	TOTAL
0-25	272	90	5	1	5	373
26-50	133	30	2	0	2	167
51-75	81	14	2	0	0	97
76-100	61	13	2	1	1	78
101-150	59	16	2	0	2	79
151-200	20	13	1	0	0	34
201-250	9	8	2	0	0	19
251-300	3	10	0	0	0	13
301-350	0	3	0	0	1	4
351-400	0	5	0	0	0	5
401-450	0	3	1	0	0	4
451-500	0	1	0	0	0	1
501- +	0	2	0	0	0	2
TOTAL	638	208	17	2	11	876

A continuación se representan gráficamente a los usuarios por rango de consumo:

Figura 4. Total de usuarios residenciales en el sistema

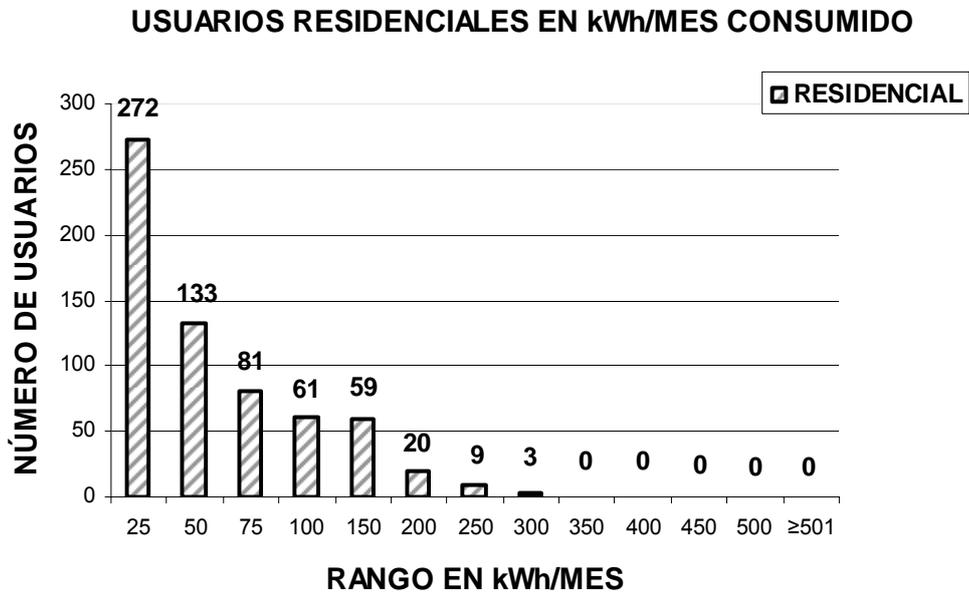


Figura 5. Total de usuarios comerciales en el sistema

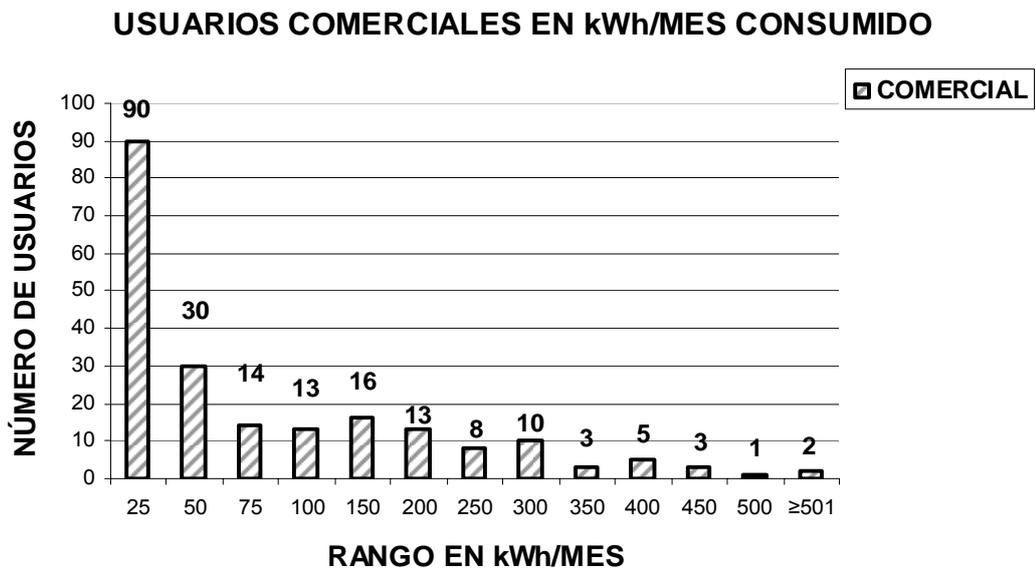


Figura 6. Total de usuarios industriales en el sistema

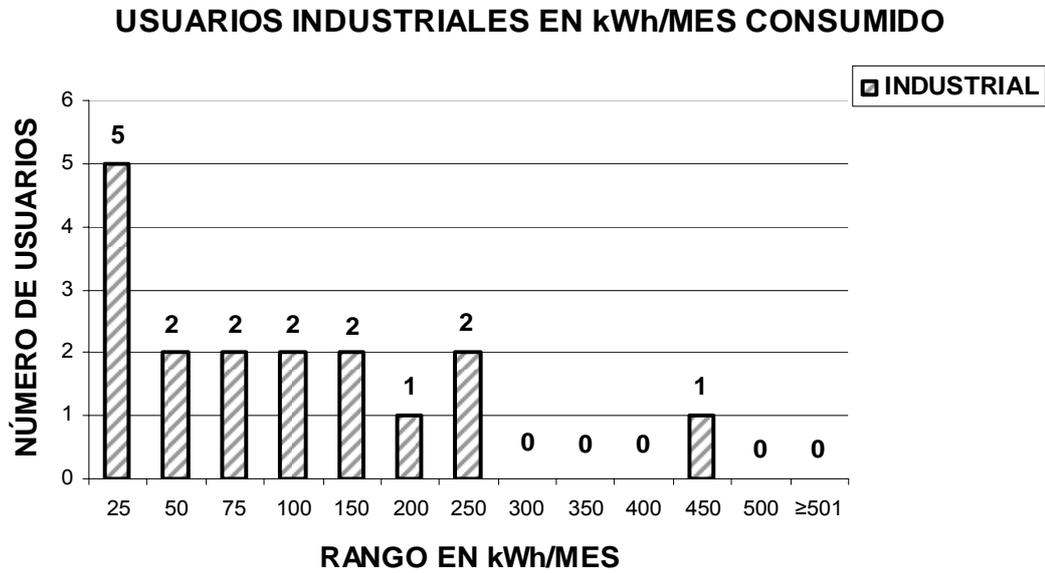


Figura 7. Total de usuarios de gobierno en el sistema

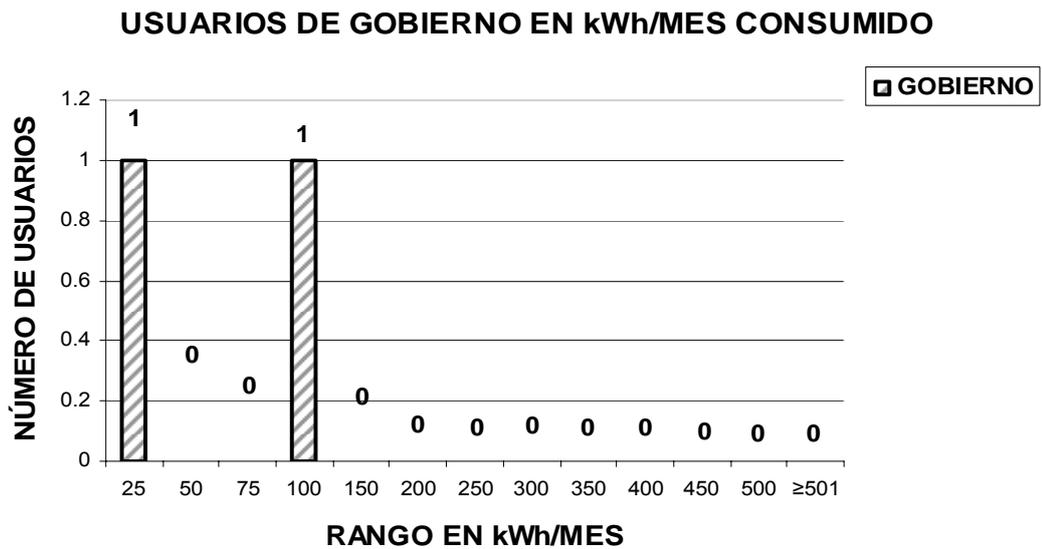
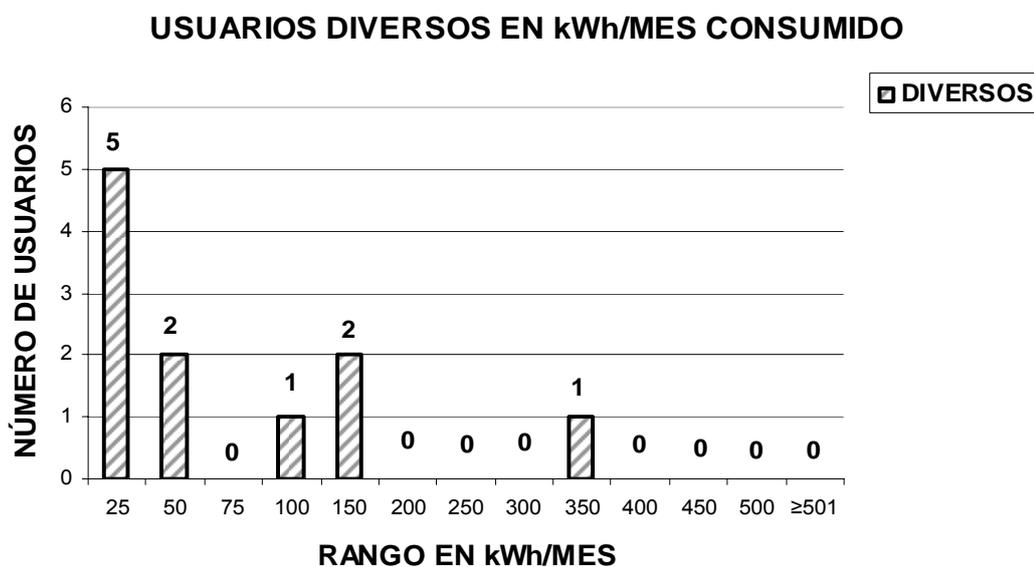


Figura 8. Total de usuarios diversos en el sistema



4.2 Crecimiento histórico de la demanda

El crecimiento de la demanda de potencia de la red se muestra en el siguiente cuadro, el cual contiene información disponible a partir de 2000 hasta 2004 de acuerdo con los registros de la EEMT que incluye la demanda máxima y el factor de crecimiento interanual.

Tabla VIII. Crecimiento histórico de demanda

Año	Potencia Máxima (kW)	% Crecimiento
2000	347,619	
2001	401,455	15.48%
2002	478,427	19.17%
2003	557,986	16.63%
2004	632,955	13.44%

Fuente: Departamento operativo EEMT

4.3 Proyección de la demanda del sistema

La proyección del crecimiento de la demanda de potencia se realizó utilizando los datos históricos existentes. En el análisis matemático, se evaluaron los distintos tipos de curvas, que se muestran en la tabla IX.

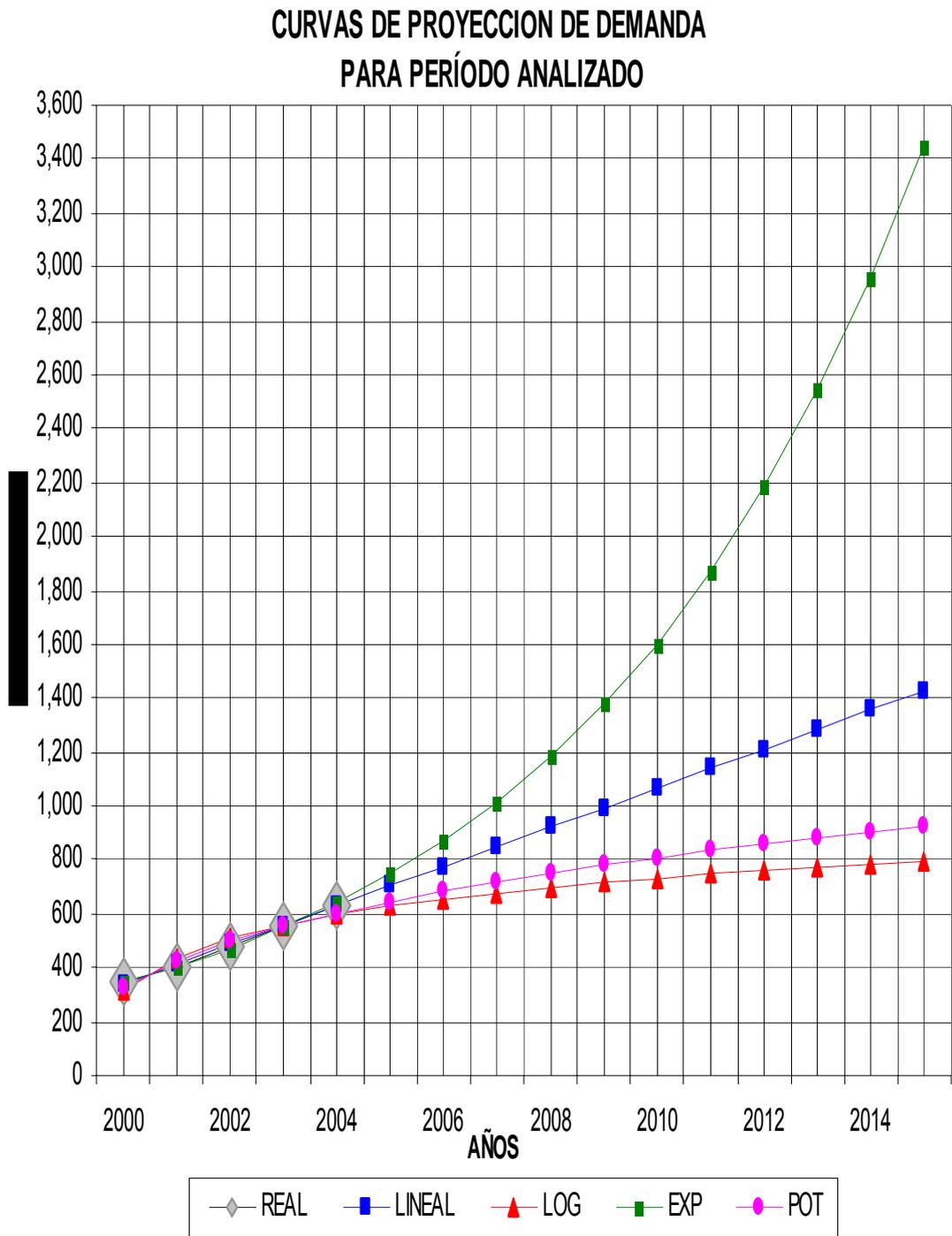
Tabla IX. Modelos de proyección

Tipo de Curva	Fórmula	Factor A	Factor B	Factor de Correlación
Lineal	$Y=A+B(x)$	265.53	72.72	0.9978977
Logarítmica	$Y=A+B*\ln(x)$	317.46	173.6	0.9574967
Exponencial	$Y=A*e^{[B(x)]}$	298.85	0.1528	0.9986991
Potencial	$Y=A*(x^B)$	331.06	0.3718	0.9767804

Se debe tomar en cuenta que en los años posteriores a la instalación del servicio eléctrico para todos los sistemas, el crecimiento inmediato es rápido, posteriormente se estabiliza, este comportamiento es típico para sectores departamentales del país y responde a la forma exponencial, siempre y cuando se den las condiciones normales, es decir, que no haya ninguna restricción respecto a la disponibilidad de potencia y energía.

Se puede afirmar que el crecimiento tipo exponencial de la demanda del sistema será la curva a evaluar, ya que es el caso más drástico y por consiguiente el más cercano a la realidad. Se debe observar que la proyección de la demanda se realiza tomando solamente la carga y excluyendo las pérdidas del sistema, en el presente estudio, se analiza el crecimiento acelerado de la demanda para los próximos 10 años, basándonos en la curva de tipo exponencial. Los resultados obtenidos se muestran en la figura 9 y la tabla X.

Figura 9. Gráfica de proyección de la demanda, EEMT



La proyección de la demanda considerada en el estudio, se observa en la tabla X.

Tabla X. Pronóstico de demanda

Año	Potencia Activa (kW)	Potencia Reactiva (kVA)	% Crecimiento
2005	749	465	18.33
2006	870	540	16.13
2007	1015	630	16.67
2008	1181	733	16.35
2009	1378	855	16.64
2010	1602	994	16.26
2011	1871	1161	16.80
2012	2182	1353	16.54
2013	2541	1576	16.48
2014	2960	1834	16.37
2015	3444	2136	16.47

La potencia reactiva del sistema fue proyectada de tal manera que el factor de potencia se mantenga constante.

4.4 Criterios de diseño

Los criterios de diseño son utilizados para determinar si las condiciones de la red son satisfactorias para la operación del sistema, tanto para el estado actual como para los estados futuros. Los criterios de diseño que se van a respetar en el presente estudio son los siguientes:

- a) La máxima caída de voltaje en la red debe ser menor al 5%.
- b) No se deben sobrecargar transformadores y líneas de transmisión.
- c) El desbalance máximo de corriente en fases debe ser menor al 10%.

Los reforzamientos necesarios deben hacerse por lo menos un año antes de que los elementos violen los criterios de diseño. Como es normal cada reforzamiento debe hacerse de acuerdo con soluciones de mínimo costo.

4.5 Programa de computo para análisis de sistemas de potencia

Software

Para el análisis de sistemas de potencia en este estudio se utilizó el programa; *Power System Analysis Toolbox* (PSAT) “caja de herramientas para análisis de sistemas de potencia”, versión 1.3.3 que es una herramienta de *MATLAB* para análisis y control de sistemas eléctricos de potencia.

Funciona en *MATLAB* 6.5.0.180913a (R13) plataforma *Windows* XP.

4.5.1 Introducción

El autor Federico Milano (M'03) quien se graduó en la Universidad de Génova, Génova, Italia, en la facultad de Ingeniería obteniendo el título de Ingeniero Electricista en el 2003. En septiembre del 2001 empezó a desarrollar el programa publicando una versión en diciembre de 2002, trabajó en el departamento de Ingeniería Eléctrica en la Universidad de *Waterloo, Waterloo*, Canadá, como un estudiante de intercambio. Actualmente es profesor asistente de cátedra de Ingeniería Eléctrica en la Universidad de Castilla-La Mancha, Ciudad Real, España, el interés de su investigación es la estabilidad de voltaje, y el mercado de energía eléctrica basándose en el análisis de sistemas de control.

El programa se utiliza para analizar y diseñar diferentes tipos de sistemas eléctricos de potencia, pequeños o medianos. Con PSAT se puede obtener el flujo de: potencia, potencia de continuación; flujo óptimo, pequeña señal de estabilidad, análisis y simulación de dominio de tiempo como varios modelos estáticos y dinámicos, incluyendo las cargas no convencionales, máquina síncrona, asíncrona y reguladores.

Está provisto con un juego completo de interfaces gráficas de fácil uso y un editor basado en un enlace de simulación de diagramas en red de uno en línea, el cual se usa para ilustrar las capacidades de las herramientas presentadas y su conveniencia para propósitos educativos y de investigación.

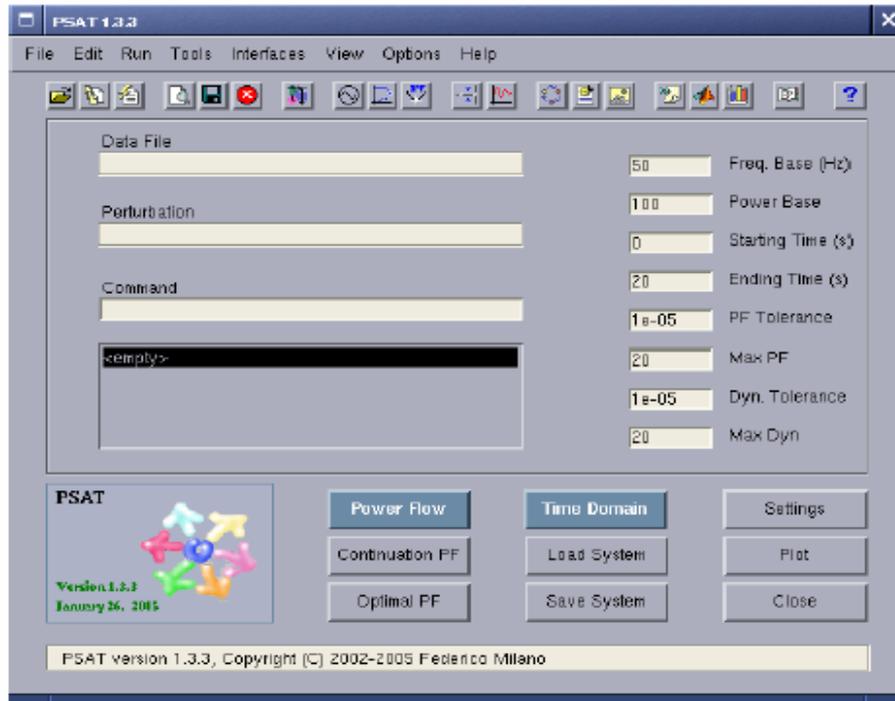
4.5.2 Características de los datos para ejecutar el programa (PSAT)

Todo el funcionamiento requiere de un archivo de datos que se pueda cargar. El nombre de este archivo es siempre desplegado en el editor de texto de la ventana principal.

Los datos pueden ser *.m* archivo en formato PSAT o basado en el enlace de simulación (modelo creado en la librería de PSAT).

Para nuestro estudio utilizamos tanto el modelado creado en la librería de PSAT (observar anexo IV, V, VI), al igual que los datos sobre los buses los cuales se cargaron al programa, para la obtención de las tablas de la XI, a la XXIV que seguidamente se pueden observar.

Figura 10. Menú principal de PSAT.



FUENTE: Federico Milano. Documento de PSAT versión 1.3.4. Pág. (13)

4.5.3 Ejecución del programa (PSAT)

Al seleccionar un archivo de datos este inmediatamente es actualizado, poniendo al día las estructuras del archivo. Para que el programa realice esto, se tiene que ejecutar la rutina del flujo de potencia, la cual lee la última versión del archivo de datos el número de veces que se ejecute.

Los datos también se actualizan en caso de que los cambios se realicen en el modelo creado en el enlace de simulación (librería de PSAT), el cual ha sido cargo originalmente. Para que no sea necesario cargar de nuevo todos los

datos cada vez que el archivo es modificado. Después de correr el primer flujo de potencia, el programa está listo para realizar cualquier otro tipo de análisis.

4.5.4 Despliegue de resultados de (PSAT)

Los resultados generalmente pueden desplegarse de varias maneras; por el menú principal de *Matlab*, o como un archivo de texto *ASCII*. Por ejemplo los resultados de las soluciones de las ecuaciones del flujo de potencia en el sistema actual permitiendo guardarlos como un archivo de texto.

Algunos cálculos y acciones que realiza el usuario producen mensajes los cuales se van archivando en el historial del documento. Esta utilidad es de gran ayuda para verificar los errores de los datos o para revisar la actuación del proceso.

Para desplegar la información del archivo de flujo de potencia de nuestro caso analizado se plasmó la información del corrimiento, encontrándose carga por nodo, resistencia e inductancia por tramo y el resultado de flujo de potencia. El ejemplo de la corrida del programa puede observarse en los anexos IV, V, VI, igualmente en el apéndice IV encontrará el modelo de la red de distribución creada en la librería de simulación (librería contenida en el programa PSAT), que se utilizó en los casos mencionados a continuación

4.6 Análisis de flujo de carga

La finalidad de este análisis es determinar las condiciones de operación del sistema y determinar las pérdidas técnicas en el circuito primario. Con el objeto de observar el comportamiento futuro del sistema, se analizó un caso cada dos años, utilizando la demanda proyectada respectiva.

En los anexos IV, V, y VI se muestra la base de datos del programa utilizado para dicho estudio y un ejemplo de la corrida realizada.

Los casos analizados son los siguientes:

- Hidroeléctrica *Cunlaj* alimenta su circuito (estado actual).
- Deocsa alimenta todo el sistema situación proyectada.
- Hidroeléctrica (*Cunlaj* + DEOCSA) operación conjunta.

Para los dos primeros casos anteriores se analizan las siguientes condiciones:

- Demanda máxima,
- Demanda media y
- Demanda mínima.

El comportamiento horario de la carga del sistema para el día de carga máxima registrada, así como el comportamiento de la demanda máxima mensual del año 2004, se muestran en el apéndice II.

Con la finalidad de analizar el comportamiento futuro de la red, a partir del año 2007 se asume que la hidroeléctrica *Cunlaj* estará interconectada al sistema, debido a que la EEMT cuenta con el equipo necesario y existe la posibilidad de realizar dicha interconexión, con el régimen de funcionamiento actual, que consiste en alternar los generadores¹. El estudio se limita a demanda máxima a partir de dicho año, repitiendo el análisis cada dos años hasta el último año de estudio (2015).

¹ En el capítulo dos se describió el régimen y los horarios de funcionamiento de los generadores.

A continuación, se describen las características más importantes de cada caso analizado.

4.6.1 Estado actual, demanda máxima 2005, hidroeléctrica *Cunlaj* alimenta su respectivo circuito, análisis de la red primaria

En este caso, la red se limita al sector servido por la Hidroeléctrica *Cunlaj*. El resumen de las condiciones de este caso se muestra en la tabla XI.

Tabla XI. Demanda máxima, cargas desbalanceadas *Cunlaj*

DATOS	
Potencia activa suministrada fuente	150 kW
Potencia reactiva suministrada fuente	89.63 kVAr
Longitud conductor cobre 8 AWG	10 km
Longitud conductor ACSR 1/0	7 km
RESULTADOS OBTENIDOS	
Demanda potencia activa considerada	143.25 kW
Demanda potencia reactiva considerada	88 kVAr
Caída máxima voltaje	10.00 % ¹
Desbalance corrientes de fases de fuente	25.02 % ¹
Pérdidas potencia activa	6.75 kW / 3.17 %
Pérdidas potencia reactiva	1.63 kVAr / 1.24 %

Esta información indica que se violan los criterios de diseño, por lo que la condición operativa de la red es insatisfactoria².

¹ Datos recabados del bus 103, red distribución servida por hidroeléctrica *CUNLAJ*.

² La caída máxima de voltaje es mayor al 5%, el desbalance de corrientes de fases son mayores al 10%, líneas de transmisión, transformadores de distribución sobrecargados, razones por la cuales la condición operativa de la red es insatisfactoria.

4.6.2 Demanda media, hidroeléctrica *Cunlaj* alimenta su circuito, análisis de la red primaria

En este caso, la red se limita al sector servido por la hidroeléctrica *Cunlaj*. En la condición de demanda media, el resumen de las condiciones de la red se muestra en la tabla XII.

Tabla XII. Demanda media, *Cunlaj* alimenta su circuito

DATOS	
Potencia activa suministrada fuente	150 kW
Potencia reactiva suministrada fuente	94.78 kVAr
Longitud conductor cobre 8 AWG	10 km
Longitud conductor ACSR 1/0	7 km
RESULTADOS OBTENIDOS	
Demanda potencia activa considerada	93.45 kW
Demanda potencia reactiva considerada	57.92 kVAr
Caída máxima voltaje	5.33 %
Desbalance corrientes de fases de fuente	12.00%
Pérdidas potencia activa	1.32 kW / 1.39 %
Pérdidas potencia reactiva	0.30 kVAr / 0.58 %

Esta información indica que se violan los criterios de diseño, razón por la cual las condiciones operativas de la red primaria son insatisfactorias¹.

¹ La caída máxima de voltaje es mayor al 5%, el desbalance de corrientes de fases son mayores al 10%, líneas de transmisión, transformadores de distribución sobrecargados, razones por la cuales la condición operativa de la red es insatisfactoria, datos recabados red de distribución bus 103.

4.6.3 Demanda mínima, hidroeléctrica *Cunlaj* alimenta su circuito, análisis de la red primaria

En este caso, la red se limita al sector servido por hidroeléctrica *Cunlaj*. El resumen de las condiciones de la red se muestra en la tabla XIII.

Tabla XIII. Demanda mínima, *Cunlaj* alimenta su circuito

DATOS	
Demanda potencia activa considerada	61.48 kW
Demanda potencia reactiva considerada	38.10 kVAr
Longitud conductor cobre 8 AWG	10 km
Longitud conductor ACSR 1/0	7 km
RESULTADOS OBTENIDOS	
Potencia activa suministrada fuente	62.01 kW
Potencia reactiva suministrada fuente	33.05 kVAr
Pérdidas potencia activa	0.53 Kw / 0.85 %
Pérdidas potencia reactiva	0.13 kVAr / 0.39 %
Caída máxima voltaje	0.75 %
Desbalance corrientes de fases de fuente	6.00%

Esta información indica que no se violan los criterios de diseño; el voltaje máximo de operación se mantiene por debajo del 5% y el desbalance es menor al 10%, por lo que las condiciones operativas de la red del circuito analizado son satisfactorias, datos recabados red de distribución nodo 103.

Estos resultados son válidos desde que se corroboró potencia activa, potencia reactiva, voltaje de salida suministrado por la fuente y el consumo de la red, mediante registros estadísticos del alimentador fuente de la red en estudio. Los resultados obtenidos mediante el flujo de carga, se compararon con mediciones físicas realizadas en distintos puntos de la red, principalmente en el punto de máxima caída de tensión, donde se obtuvieron valores con

variaciones del 5%, mientras en los otros puntos fueron valores aproximados a los resultados proporcionados en la simulación del flujo de carga¹.

Con base en los anteriores enunciados, se infiere que los siguientes casos del análisis de flujo de carga tienen validez, ya que son casos proyectados que dependen de la situación actual, por lo que no se hará necesario validar cada uno de los siguientes casos.

4.6.4 Demanda máxima, DEOCSA alimenta totalidad del sistema, cargas desbalanceadas, análisis de la red primaria

Para esta condición de estudio se considera que toda la red es alimentada por DEOCSA y la generadora *Cunlaj* está fuera de servicio, el resumen de las condiciones de la red se puede observar en la tabla XIV.

Tabla XIV. Demanda máxima, cargas desbalanceadas

DATOS	
Potencia activa suministrada fuente	754.52 kW
Potencia reactiva suministrada fuente	469.58 kVAr
Longitud conductor cobre 8 AWG	11 km
Longitud conductor ACSR 1/0	9.25 km
RESULTADOS OBTENIDOS	
Demanda potencia activa considerada	749 kW
Demanda potencia reactiva considerada	465 kVAr
Pérdidas potencia activa	5.52 kW / 0.61 %
Pérdidas potencia reactiva	4.58 kVAr / 0.81 %
Caída máxima voltaje	15.00 %
Desbalance corrientes de fases de fuente	23.02 %

¹ El cuadro comparativo de las mediciones recabadas se puede observar en el apéndice XIII.

Esta información indica que se violan los criterios de diseño, por lo que las condiciones operativas de la red son insatisfactorias¹.

4.6.5 Demanda máxima, DEOCSA alimenta totalidad del sistema, cargas balanceadas, análisis de la red primaria

Para el presente estudio se realizó un balance de las cargas en las fases, a partir de este caso se analizara el sistema balanceado, sin generadora *Cunlaj*. El resumen de las condiciones de la red se muestra en la siguiente tabla XV.

Tabla XV. Demanda máxima, cargas balanceadas

DATOS	
Potencia activa suministrada fuente	754.29 kW
Potencia reactiva suministrada fuente	469.30 kVAr
Longitud conductor cobre 8 AWG	11 km
Longitud conductor ACSR 1/0	9.25 km
RESULTADOS OBTENIDOS	
Demanda potencia activa considerada	749 kW
Demanda potencia reactiva considerada	465 kVAr
Caída máxima voltaje	4.75 % ²
Desbalance corrientes de fases de fuente	6.65 % ²
Pérdidas potencia activa	5.29 kW / 0.59 %
Pérdidas potencia reactiva	4.30 kVAr / 0.77 %

¹ La caída máxima de voltaje es mayor al 5%, el desbalance de corrientes de fases son mayores al 10%, líneas de transmisión, transformadores de distribución sobrecargados, razones por la cuales la condición operativa de la red es insatisfactoria, datos recabados red de distribución nodo 375.

² La caída máxima de voltaje es menor al 5%, el desbalance de corrientes de fases menores al 10%, líneas de transmisión, transformadores distribución estables, razón por la cual la condición operativa de la red es satisfactoria, datos recabados red de distribución nodo 375.

Esta información indica que no se violan los criterios de diseño, por lo que las condiciones operativas de la red son satisfactorias¹.

4.6.6 Demanda media, DEOCSA alimenta la totalidad del sistema, análisis de la red primaria

El resumen de las condiciones de la red se muestra en la tabla XVI, se realizo con la generadora *Cunlaj* fuera de servicio.

Tabla XVI. Demanda media, DEOCSA alimenta totalidad del sistema.

DATOS	
Potencia activa suministrada fuente	340.63 kW
Potencia reactiva suministrada fuente	211.30 kVAr
Longitud conductor cobre 8 AWG	11 km
Longitud conductor ACSR 1/0	9.25 km
RESULTADOS OBTENIDOS	
Demanda potencia activa considerada	339.6 kW
Demanda potencia reactiva considerada	210.46 kVAr
Caída máxima voltaje	2.38 %
Desbalance corrientes de fases de fuente	3.33 %
Pérdidas potencia activa	1.03 kW / 0.26 %
Pérdidas potencia reactiva	0.84 kVAr / 0.34 %

Esta información indica que no se violan los criterios de diseño, por lo que las condiciones operativas de la red son satisfactorias¹.

¹ La caída máxima de voltaje es menor al 5%, el desbalance de corrientes de fases menores al 10%, líneas de transmisión, transformadores distribución estables, razón por la cual la condición operativa de la red es satisfactoria, se puede observar que se encuentra operando al límite pero en este caso la red no presenta ninguna remodelación para mejorar el sistema, datos recabados red de distribución nodo 375.

4.6.7 Demanda mínima, DEOCSA alimenta totalidad del sistema, análisis de la red primaria

El resumen de las condiciones de la red se muestra en la tabla XVII, se realizo con la generadora *Cunlaj* fuera de servicio.

Tabla XVII. Demanda mínima, DEOCSA alimenta totalidad del sistema

DATOS	
Potencia activa suministrada fuente	236.27 kW
Potencia reactiva suministrada fuente	211.26 kVAr
Longitud conductor cobre 8 AWG	11 km
Longitud conductor ACSR 1/0	9.25 km
RESULTADOS OBTENIDOS	
Demanda potencia activa considerada	235.84 kW
Demanda potencia reactiva considerada	146.51 kVAr
Caída máxima voltaje	1.19 %
Desbalance corrientes de fases de fuente	1.66 %
Pérdidas potencia activa	0.43 Kw / 0.17 %
Pérdidas potencia reactiva	0.35 kVAr / 0.22 %

Esta información indica que no se violan los criterios de diseño, por lo que las condiciones operativas de la red son satisfactorias¹.

¹ La caída máxima de voltaje es menor al 5%, el desbalance de corrientes de fases menores al 10%, líneas de transmisión, transformadores distribución estables, razón por la cual la condición operativa de la red es satisfactoria, datos recabados red de distribución nodo 375.

4.7 Resumen demanda máxima; (*Cunlaj* + DEOCSA)

Para efectos de comparar las pérdidas causadas por la operación conjunta e independiente de los circuitos; hidroeléctrica *Cunlaj* y DEOCSA, se realizó un análisis comparativo en el cual se encuentran interconectadas ambas empresas. El resumen del presente estudio se muestra en la siguiente tabla XVIII.

Tabla XVIII. Demanda máxima, (*Cunlaj* + DEOCSA)

DATOS	
Potencia activa suministrada fuente	754.52 kW
Potencia reactiva suministrada fuente	469.58 kVAr
Longitud conductor cobre 8 AWG	11 km
Longitud conductor ACSR 1/0	9.25 km
RESULTADOS OBTENIDOS	
Demanda potencia activa considerada	744.78 kW
Demanda potencia reactiva considerada	467.95 kVAr
Pérdidas potencia activa	9.74 kW / 1.09 %
Pérdidas potencia reactiva	1.63 kVAr / 0.29 %
Caída máxima voltaje	4.75 %
Desbalance corrientes de fases de fuente	9.88 %

Esta información indica que no se violan los criterios de diseño, por lo que las condiciones operativas de la red son satisfactorias¹.

¹ La caída máxima de voltaje es menor al 5%, el desbalance de corrientes de fases menores al 10%, líneas de transmisión, transformadores distribución estables, razón por la cual la condición operativa de la red es satisfactoria, datos recabados nodo 450. Red distribución no cuenta con reforzamiento.

4.8 Resumen demanda media (*Cunlaj* + DEOCSA)

Para efectos de comparar las pérdidas causadas por la operación conjunta independiente de los circuitos, se muestra la tabla XIX.

Tabla XIX. Demanda media, (*Cunlaj* + DEOCSA)

DATOS	
Potencia activa suministrada fuente	341.49 kW
Potencia reactiva suministrada fuente	211.26 kVAr
Longitud conductor cobre 8 AWG	11 km
Longitud conductor ACSR 1/0	9.25 km
RESULTADOS OBTENIDOS	
Demanda potencia activa considerada	339.6 kW
Demanda potencia reactiva considerada	210.46 kVAr
Caída máxima voltaje	2.38 %
Desbalance corrientes de fases de fuente	4.94 %
Pérdidas potencia activa	1.89 kW / 0.47 %
Pérdidas potencia reactiva	0.80 kVAr / 0.32 %

Estos resultados demuestran que las pérdidas eléctricas disminuyen con la operación conjunta de los circuitos, la caída de voltaje máximo es menor al 5%, el desbalance de corrientes de fases es menor al 10%, el resto de parámetros permanecen constantes, datos recabados red de distribución nodo 275. Red distribución no cuenta con reforzamiento.

4.9 Demanda máxima 2007 análisis de la red primaria

En el presente caso, se asume que la hidroeléctrica *Cunlaj* se encuentra interconectada al sistema. El comportamiento de la red se muestra en el resumen de la tabla XX.

Tabla XX. 2007 demanda máxima, sistema interconectado

DATOS	
Potencia activa suministrada DEOCSA	854.99 kW
Potencia reactiva suministrada DEOCSA	535.62 kVAr
Potencia activa suministrada <i>Cunlaj</i>	150 kW
Potencia reactiva suministrada <i>Cunlaj</i>	89.63 kVAr
Longitud conductor cobre 8 AWG	11 km
Longitud conductor ACSR 1/0	9.25 km
RESULTADOS OBTENIDOS	
Demanda potencia activa considerada	1015 kW
Demanda potencia reactiva considerada	630 kVAr
Caída máxima voltaje	0.80%
Desbalance corriente de fases de fuente	0.84%
Pérdidas potencia activa	10.01 kW / 1.01 %
Pérdidas potencia reactiva	4.75 kVAr / 0.79 %

Esta información indica que no se violan los criterios de diseño, por lo que las condiciones operativas de la red son satisfactorias, datos recabados red de distribución nodo 350¹.

¹ La caída máxima de voltaje es menor al 5%, el desbalance de corrientes de fases menores al 10%, líneas de transmisión, transformadores distribución estables, razón por la cual la condición operativa de la red es satisfactoria. Red distribución con reforzamiento, remodelación de sectores indicados en apéndices.

4.10 Demanda máxima 2009 análisis de la red primaria

En el presente caso, se asume que la hidroeléctrica *Cunlaj* se encuentra interconectada al sistema. El comportamiento de la red se muestra en el resumen de la tabla XXI.

Tabla XXI. 2009 demanda máxima, sistema interconectado

DATOS	
Potencia activa suministrada DEOCSA	1216.58 kW
Potencia reactiva suministrada DEOCSA	759.48 kVAr
Potencia activa suministrada <i>Cunlaj</i>	150 kW
Potencia reactiva suministrada <i>Cunlaj</i>	89.63 kVAr
Longitud total del conductor cobre 8 AWG	11 km
Longitud total de conductor ACSR 1/0	9.25 km
RESULTADOS OBTENIDOS	
Demanda potencia activa considerada	1378 kW
Demanda potencia reactiva considerada	855 kVAr
Caída máxima voltaje	0.90 %
Desbalance corriente de fases de fuente	1.44 %
Pérdidas potencia activa	11.42 kW / 1.02 %
Pérdidas potencia reactiva	5.89 kVAr / 0.86 %

Esta información indica que no se violan los criterios de diseño, las condiciones operativas de la red son satisfactorias, datos recabados red de distribución nodo 350¹.

¹ La caída máxima de voltaje es menor al 5%, el desbalance de corrientes de fases menores al 10%, líneas de transmisión, transformadores distribución estables, razón por la cual la condición operativa de la red es satisfactoria. Red distribución con reforzamiento, remodelación de sectores indicados en apéndices.

4.11 Demanda máxima 2011 análisis de la red primaria

En el presente caso, se asume que la hidroeléctrica *Cunlaj* se encuentra interconectada al sistema. El comportamiento de la red se muestra en el resumen de la tabla XXII.

Tabla XXII. 2011 demanda máxima, sistema interconectado

DATOS	
Potencia activa suministrada DEOCSA	1707.70 kW
Potencia reactiva suministrada DEOCSA	1063.96 kVAr
Potencia activa suministrada <i>Cunlaj</i>	150 kW
Potencia reactiva suministrada <i>Cunlaj</i>	89.63 kVAr
Longitud conductor cobre 8 AWG	11 km
Longitud conductor ACSR 1/0	9.25 km
RESULTADOS OBTENIDOS	
Demanda potencia activa considerada	1871 kW
Demanda potencia reactiva considerada	1161 kVAr
Caída máxima voltaje	1.00 %
Desbalance corriente de fases de fuente	1.85 %
Pérdidas potencia activa	13.30 kW / 1.05 %
Pérdidas potencia reactiva	7.41 kVAr / 0.96 %

Esta información indica que no se violan los criterios de diseño, las condiciones operativas de la red son satisfactorias, datos recabados red de distribución nodo 350¹.

¹ La caída máxima de voltaje es menor al 5%, el desbalance de corrientes de fases menores al 10%, líneas de transmisión, transformadores distribución estables, razón por la cual la condición operativa de la red es satisfactoria. Red distribución con reforzamiento, remodelación de sectores indicados en apéndices.

4.12 Demanda máxima 2013 análisis de la red primaria

En el presente caso, se asume que la hidroeléctrica *Cunlaj* se encuentra interconectada al sistema. El resumen del comportamiento de la red en este caso, se muestra en la tabla XXIII.

Tabla XXIII. 2013 demanda máxima, sistema interconectado

DATOS	
Potencia activa suministrada DEOCSA	2375.09 Kw
Potencia reactiva suministrada DEOCSA	1476.86 kVAr
Potencia activa suministrada <i>Cunlaj</i>	150 kW
Potencia reactiva suministrada <i>Cunlaj</i>	89.63 kVAr
Longitud conductor cobre 8 AWG	11 km
Longitud conductor ACSR 1/0	9.25 km
RESULTADOS OBTENIDOS	
Demanda potencia activa considerada	2541 Kw
Demanda potencia reactiva considerada	1576 kVAr
Caída máxima voltaje	1.40 %
Desbalance corriente de fases de fuente	3.85 %
Pérdidas potencia activa	15.91 kW / 1.12 %
Pérdidas potencia reactiva	9.51 kVAr / 1.09 %

Esta información indica que no se violan los criterios de diseño, las condiciones operativas de la red son satisfactorias, datos recabados red de distribución nodo 350¹.

¹ La caída máxima de voltaje es menor al 5%, el desbalance de corriente de fases menores al 10%, líneas de transmisión, transformadores distribución estables, razón por la cual la condición operativa de la red es satisfactoria. Red distribución con reforzamiento, remodelación de sectores indicados en apéndices.

4.13 Demanda máxima 2015 análisis de la red primaria

En el presente caso, se asume que la hidroeléctrica *Cunlaj* se encuentra interconectada al sistema. El resumen del comportamiento de la red en este caso, se muestra en la tabla XXIV.

Tabla XXIV. 2015 demanda máxima, sistema interconectado

DATOS	
Potencia activa suministrada DEOCSA	3275.11 kW
Potencia reactiva suministrada DEOCSA	2034.43 kVAr
Potencia activa suministrada <i>Cunlaj</i>	150 kW
Potencia reactiva suministrada <i>Cunlaj</i>	89.63 kVAr
Longitud conductor cobre 8 AWG	11 km
Longitud conductor ACSR 1/0	9.25 km
RESULTADOS OBTENIDOS	
Demanda potencia activa considerada	3444 kW
Demanda potencia reactiva considerada	2136 kVAr
Caída máxima voltaje	1.45 %
Desbalance corriente de fases de fuente	1.86 %
Perdidas potencia activa	18.89 kW / 1.18 %
Perdidas potencia reactiva	11.94 kVAr / 1.21 %

Esta información indica que no se violan los criterios de diseño, las condiciones operativas de la red son satisfactorias, datos recabados red de distribución nodo 350¹.

¹ La caída máxima de voltaje es menor al 5%, el desbalance de corriente de fases menores al 10%, líneas de transmisión, transformadores distribución estables, razón por la cual la condición operativa de la red es satisfactoria. Red distribución con reforzamiento, remodelación de sectores indicados en apéndices.

Como se puede observar en las tablas; de la XI a la XXIV, se hace un análisis de la operación tanto conjunta como individual de los circuitos de la hidroeléctrica *Cunlaj* y DEOCSA, obteniéndose que las pérdidas aumentan al operar los circuitos independientemente. Por tal motivo se hace un estudio del 2007 en adelante, en donde se evalúa la operación conjunta de los circuitos encontrándose que las pérdidas aminoran cuando el sistema es balanceado y estabilizado, obteniéndose mejores resultados.

Porque la posibilidad de realizar la interconexión es del 100%, siendo una de las alternativas más viables a seguir, la EEMT y DEOCSA entablaron negociaciones para la venta de energía en bloque, ayudando a mitigar la escasez de energía que se está viviendo en el municipio, ya que este se encuentra en un crecimiento de desarrollo económico bastante acelerado y un decremento energético proporcional al crecimiento.

5. PROPUESTA DE MEJORAS PARA LA RED DE DISTRIBUCIÓN DEL MUNICIPIO DE TACANÁ

En el siguiente capítulo se mencionan los siguientes tres tipos de mejoras: a corto, mediano y largo plazo para obtener un uso más eficiente de la generación de energía eléctrica, evaluación de diseños existentes, sugerencias para la remodelación de la red de distribución y se observa la conexión de transformadores recomendada.

5.1 Mejoras

La situación económica de la EEMT es crítica, siendo ésta una de las principales razones por las cuales el servicio es deficiente, pudiéndose mejorar esta figura, ya que existen instituciones a las que se puede acudir en busca de ayuda económica y técnica por ser un servicio social.

Se pueden planificar mejoras al servicio, las cuales por la razón antes mencionada se pueden dividir en mejoras a corto, mediano y largo plazo.

5.1.1 Mejoras a corto plazo

a) Mejoras en el derecho de vía: el transporte de energía requiere que los conductores que la transportan, guarden cierta distancia con todo elemento que pueda tener contacto fortuito con ellos. Las ramas de los árboles que se encuentran cerca de las líneas deben ser podadas cada cierto tiempo, este tipo de trabajo

deben hacerlo los linieros y peones contratados para el servicio de la EEMT incluidos en la organización, debido a que no se necesita de la contratación de una empresa, porque el trabajo no tiene mayores complicaciones, en la línea trifásica de 7.6 kV., proveniente de la hidroeléctrica *Cunlaj*.

b) Traslado de conductores y estructuras a postes nuevos: con el fin de sustituir los postes de madera y metal, existentes en mal estado se propone la sustitución de los mismos por otros nuevos, que cuenten con el tamaño adecuado.

c) Mejora en el seccionamiento de la carga: con el fin de evitar discontinuidad en el servicio de energía eléctrica, en ocasiones, será necesario trasladar la carga alimentada por la hidroeléctrica *Cunlaj*, en este caso serán los 876 usuarios que son la carga total de la red, mismos que serán trasladados al servicio de DEOCSA, por cuestiones de mantenimiento o cualquier evento inesperado.

El traslado de la carga a DEOCSA también implica un incremento económico en el usuario, debido a que el costo de kWh se verá incrementado en un 400%, comparado con la EEMT, situación donde el usuario tomará la decisión de quedarse con un buen servicio a un precio alto o un mal servicio a bajo precio.

5.1.2 Mejoras a mediano plazo

a) Mejoras en la medición de la energía eléctrica: Tomando en consideración que se pretende eliminar todas las fuentes de pérdida de energía de la red de distribución, siendo la medición

una de ellas, es necesario hacer una revisión y recalibración de los medidores de energía kilowathorímetros (kWh), esto se realizará con la ayuda y colaboración de la EEMSM (Empresa Eléctrica Municipal de San Marcos), ya que ellos cuentan con mesa de calibración y ofrecieron prestar gustosamente sus servicios, llegando a un acuerdo entre municipalidades, estimando un pago de acuerdo al número de calibraciones, mismas que se desconocen.

5.1.3 Mejoras a largo plazo

a) Construcción de hidroeléctrica a 2 Kms. de la existente: El potencial hidroeléctrico de Tacaná, según estudios realizados por diferentes instituciones entre las que figuran: INSIVUMEH, el departamento de proyectos de DEOCSA y empresas privadas, sobre la topografía e hidrología del municipio, se deduce el alto potencial hídrico de que dispone con el que podría satisfacer la demanda de energía de todo el departamento. El potencial más relevante es el del río *Cohatan* con una cuenca de 593 m³ y una altura de 2,900 metros sobre el nivel del mar. Existe en estudio una nueva hidroeléctrica, la vía de acceso utilizada para llegar de la cabecera municipal a dicho proyecto es la misma que la utilizada a la hidroeléctrica existente.

Las condiciones naturales actuales son excelentes y, además, se cuenta con una carretera de acceso de terracería, en regular estado que pasa a la par del sitio de la presa. El estudio anterior incluye línea de transmisión y subestación de seccionamiento, con un tipo de regulación diaria.

b) Remodelación de la red de distribución: por las razones expuestas anteriormente sobre la red de distribución actual por parte de la municipalidad de Tacaná, es preciso resolver los problemas existentes; para el efecto es necesario remodelar la red de distribución primaria y secundaria de las aldeas *Cunlaj*, colonia La Democracia y el centro de la cabecera.

La remodelación de la red debe hacerse por sectores, modificando primero el circuito primario y luego el secundario de cada sector, esta debe ser profunda corrigiendo todo lo que esté antiestético o técnicamente mal, en los apéndices X, XI y XII se pueden observar los sectores que necesitan ser remodelados.

5.2 Evaluación de los diseños existentes

Se pretende hacer un breve análisis sobre los diseños existentes. En los diseños se pueden observar similitudes y diferencias: el diseño presentado por el departamento de proyectos de DEOCSA quien tienen la intención de dismantelar la red existente y construirla nuevamente, con los criterios del diseño presentado, claro esta que el costo es elevado. Por su parte, los otros diseños por razones de economía en la inversión de la EEMT, tratan de adaptarse a algunas condiciones de la red actual sacrificando aspectos técnicos del diseño. Las características radicales de la red actual se mantienen en los diseños como lo son: voltaje primario 7.6 kV voltaje secundario 120 voltios de línea a neutro y 240 voltios de línea a línea con una frecuencia de 60 Hz.

- 1) Neutro común para el primario y secundario, debiendo agregar neutro al primario cuando no exista secundario, porque circulara un corriente de retorno considerablemente grande.

- 2) El servicio trifásico se proporcionará instalando transformadores de distribución con conexión estrella abierta—delta abierta, en caso de existir dos fases únicamente.
- 3) Indican la fase o fases de la cual deben conectarse los transformadores.

5.2.1 Información general contenida en los diseños

Circuitos de alta y baja tensión, indicando para cada uno de ellos: longitud de los ramales primarios y secundarios. Ubicación de fusibles con el fin de seccionar los ramales primarios y secundarios del resto de la red, capacidad, ubicación y conexión de transformadores indicando la fase a la cual deben ir conectados para evitar desbalance en las líneas de distribución, calibre de conductores, capacidad, tipo de fusibles, tipo de pararrayos, colocación y medida de postes, tipo de estructuras con su respectivo material de fijación.

Se realizaron medidas a los transformadores de la red existente y se encontró que los transformadores de distribución están ubicados en forma aleatoria y no coordinada, de acuerdo a los requerimientos de la carga, según se observa en el apéndice XIV.

5.3 Sugerencias

La administración y el personal técnico deben estar completamente enterados del contenido de la información de los diseños existentes, independientemente de que el trabajo de remodelación se haga por parte de la administración o por cualquier empresa particular. Lo anterior es necesario con el fin de garantizar la correcta ejecución del trabajo.

5.3.1 Sugerencias para la remodelación de la red

De acuerdo con lo expuesto en esta sección, se sugiere:

Seleccionar el sector de acuerdo al diseño; colocar correctamente todos los postes del sector, dejando las libranzas según normas establecidas por EEGSA, para que los conductores energizados guarden las distancias establecidas en la construcción de redes; interrumpir el servicio del sector eliminando todo punto de alimentación al sector de interés; modificar el circuito primario de cada sector, con su respectivo medio de seccionamiento del ramal; instalar transformadores de distribución con su debida conexión, en los puntos indicados, con su respectiva protección de sobrecorriente y sobretensión.

Modificar el circuito secundario por sectores, integrar iluminación pública al circuito de baja tensión de cada sector; realizar nuevas acometidas del sector de forma adecuada y normalizada; mejorar y completar la iluminación pública.

5.4 Conexión de transformadores de distribución estrella abierta—delta abierta

Se usa mucha en redes de distribución para el suministro de energía monofásica 240v. y 120/240v. pequeños porcentajes de energía trifásica. Adicionalmente, esta conexión, además se pueden usar en casos de emergencia cuando se avería alguna de las unidades de un banco conectado en estrella-delta , con un primario de cuatro conductores.

También provee de energía trifásica en áreas rurales o lugares donde aun no se han instalado las tres fases en los postes de las líneas de transmisión, pero si existen dos fases disponibles.

La capacidad del banco. Para cargas trifásicas es el 86.6% de las correspondientes a dos unidades que forman el banco, la capacidad del banco es solamente el 57.7% de la de un banco estrella-estrella cerrado de tres unidades.

La carga monofásica alimentada por esta conexión no debe exceder de la diferencia de las capacidades de los transformadores utilizados, la máxima carga trifásica de motores no debe exceder 15 HP. Puede suministrarse servicio tres hilos o cuatro hilos. Para servicios secundarios no aterrizados 3 hilos debido a desbalances en la capacitancia de la red, el voltaje con respecto a tierra de una o más fases puede ser tan grande como el voltaje secundario de fase a fase. El diagrama de conexión se puede observar en la figura 11.

Ejemplo:

Carga trifásica de 15 kVA en 240v y monofásica de 60 kVA. en 120v. en caso de existir dos fases disponibles.

Fórmulas para el cálculo de la capacidad de los transformadores de distribución.

$\frac{1}{2}C_3 + C_1 =$ transformador mayor capacidad ($C_x =$ carga trifásica o monofásica)

$\frac{1}{2}C_3 =$ transformador menor capacidad ($C_x =$ carga trifásica o monofásica)

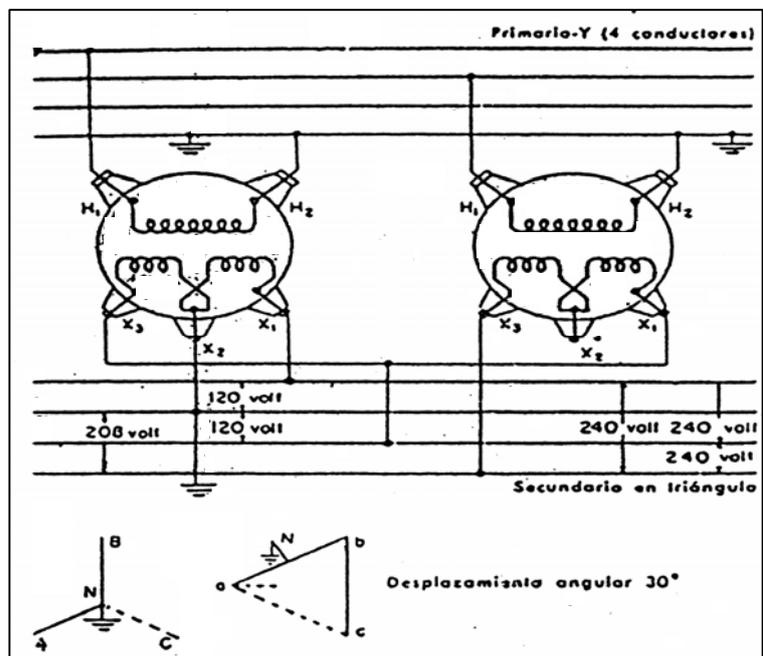
Solución:

$\frac{1}{2}(15\text{kVA})_3 + (60\text{kVA})_1 =$ transformador mayor capacidad = 67.5 kVA.

$\frac{1}{2}(15\text{kVA})_3 =$ transformador menor capacidad = 7.5kVA.

Necesitamos un transformador monofásico de 10 kVA y uno de 75 kVA. Para la suministrarlo en el caso analizado.

Figura 11. Diagrama, conexión de transformadores estrella abierta – delta abierta



Fuente: J.J. Nelly, S.D. Myers, R.H. Parrish.
Mantenimiento y Guía de Transformadores Pág. 77

6. PROPUESTA DE ORGANIZACIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA MUNICIPAL DE TACANÁ, DEPARTAMENTO DE SAN MARCOS

El siguiente capítulo contiene la organización y el organigrama propuesto para la EEMT, el rol del empleado dentro de la misma, tarifas, sugerencia respecto a la red de distribución como el análisis económico de las mejora propuestas.

6.1 Organización

La organización de la EEMT se propone de la siguiente manera: consejo municipal, gerente general, quien es el alcalde municipal, asesor jurídico, gerente de operación, gerente contable, sub-jefe técnico, lector de contadores, receptor, contador, piloto, operador, bodeguero, encargado de cuadrilla, liniero, ayudante, rejero y secretaria. El concejo municipal está constituido por 5 u 8 personas, quienes, conjuntamente con el alcalde, tomarán decisiones de alto nivel.

6.1.1 Rol del empleado dentro de la Empresa Eléctrica Municipal

- **Asesor jurídico:** brinda asesoría de carácter técnico, administrativa-legal, al Gerente General de la empresa en asuntos de carácter institucional y/o políticas generales de la institución.

- **Gerente contable financiero:** brinda asesoría de carácter técnico, administrativa-legal, al Gerente General de la empresa en asuntos de carácter institucional y/o políticas generales de la institución, maneja los recursos económicos brindados por entidades internacionales y de la misma municipalidad.
- **Gerente de operación:** coordina, dirige el diseño como elaboración y gestión de proyectos para instalaciones eléctricas, realizando estudios de carga para la ampliación de la red de distribución de la EEMT.
- **Sub-jefe técnico:** planifica, coordina y supervisa el mantenimiento eléctrico preventivo y correctivo que se hace a los equipos y elementos instalados en la planta y en la red de distribución; coordina al personal técnico de la EEMT en las distintas actividades que se realizan, etc.
- **Secretaria:** escribe y envía correspondencia, clasifica y archiva documentos, atiende al público y a empleados de la institución, contesta y efectúa llamadas, atiende el teléfono de quejas.
- **Piloto:** conduce vehículos destinados al transporte de autoridades de la empresa, transporta equipo y/o materiales eléctricos y vela por el mantenimiento del vehículo.
- **Lector:** efectúa mensualmente lectura de contadores y registra los datos en la forma técnica vigente, entrega a los usuarios los recibos por concepto de consumo de energía

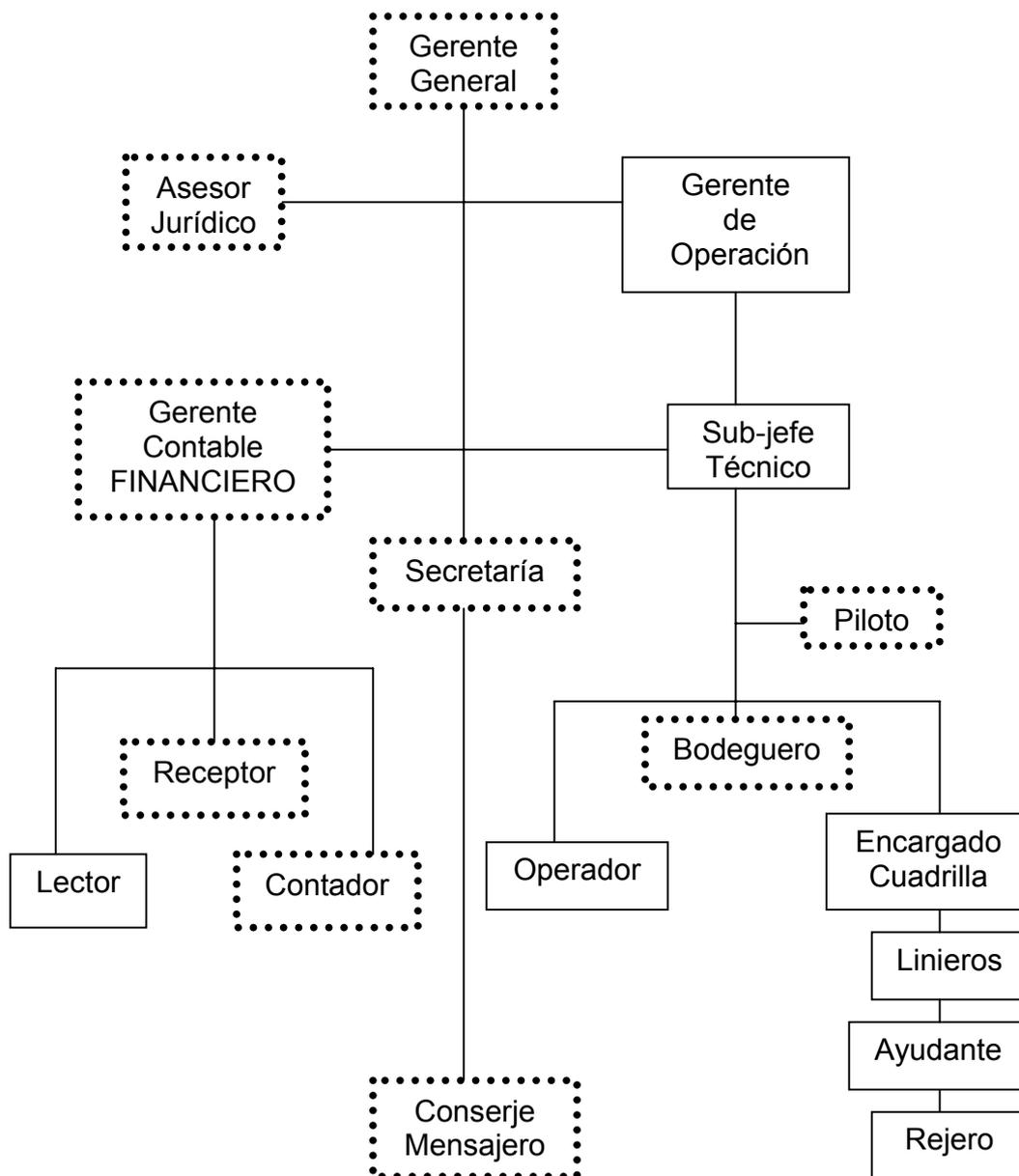
eléctrica, elabora reportes de información básica como nuevas instalaciones y elimina cuentas, atiende 876 usuarios que están al servicio de la EMMT.

- **Receptor:** recibe pagos por consumo de energía eléctrica, opera libros de cuenta corriente y atiende solicitudes para nuevos servicios.
- **Contador:** revisa, registra y contabiliza documentos, informes, ajustes, estados financieros y pólizas contables; mantiene control de movimiento y existencias de almacenes y activos fijos de la empresa.
- **Operador:** opera y controla el equipo e instalaciones de la planta hidroeléctrica, efectúa lecturas periódicas al equipo de medición y elabora reportes.
- **Encargado de cuadrilla:** dirige a los trabajadores de mantenimiento en líneas y redes de distribución, supervisa los trabajos de instalaciones y/o cambio de los elementos, etc.
- **Bodeguero:** recibe, registra, codifica, elabora traslados, órdenes de despacho de materiales, maquinaria y equipo como efectuar inventario físico anualmente.
- **Liniero:** trabaja, en líneas y redes de distribución, en mantenimiento de todo tipo, así como el montaje de estructuras para líneas y redes de distribución y revisa los

elementos que conforman una línea con el objeto de detectar fallas, tanto en frío como en caliente.

- **Ayudante:** auxilia a los electricistas en las inspecciones del sistema eléctrico, efectúa reparaciones menores de sistemas eléctricos y mantiene en buen estado de funcionamiento las herramientas y equipos de trabajo.
- **Rejero:** realiza actividades de mantenimiento correctivo y preventivo en equipo sencillo de la planta hidroeléctrica.
- **Peón:** realiza trabajo operativo de toda índole, como realizar brechas, zanjas, caminos, posteo, etc.

Figura 12. Organigrama propuesto para la EEMT



 Personal que comparte funciones con la municipalidad y la EEMT.

6.2 Propuesta de tarifas

La tarifa aplicada por la EEMT se dividirá en dos grupos, planteándose de la siguiente manera:

- a. Tarifa residencial, desglosada en tres categorías y
- b. Tarifa que incluye los consumos, comercial, industrial, gobierno y diversos, desglosada también en tres categorías.

6.2.1 Tarifa residencial

R1: Incluye consumos residenciales de hasta 14 kWh/mes. Pagando Q15.40 por consumo mensual de energía más Q2.25 por concepto de iluminación pública. No están afectos al incremento.

R2: Incluye consumos comprendidos entre 15 y 300 kWh/mes. Pagando Q1.25 por kWh de consumo, más el 15% de este consumo por concepto de iluminación pública; siempre y cuando este 15% no exceda de Q 15.00 ya que la cuota máxima por concepto de iluminación pública es de Q15.00.

R3: Incluye consumos comprendidos entre 301 y 600 kWh/mes. Pagando Q1.25 por kWh de consumo, más el 15% del valor del consumo por concepto de iluminación pública; siempre y cuando este 15% no exceda de Q 15.00 ya que la cuota máxima por concepto de iluminación pública es de Q15.00.

6.2.2 Tarifa comercial, industrial, gobierno y diversos.

D1: Incluye consumos de 1 a 150 kWh/mes. Pagando Q1.25 por kWh de consumo, más Q15.00 por concepto de iluminación pública.

D2: Incluye consumos comprendidos entre 151 y 300 kWh/mes pagando Q1.25 por kWh de consumo, más Q15.00 por concepto de iluminación pública.

D3: Incluye consumos de 301 a 500 KWH/mes pagando Q0.76 por kWh de consumo más Q15.00 por concepto de iluminación pública.

6.3 Análisis económico de las mejoras propuestas

Para analizar la situación económica de la EEMT se inicio por saber que con las tarifas actuales esta operando con pérdidas, por desconocer totalmente los ingresos y egresos económicos de la venta de energía. Seguidamente con la propuesta de las nuevas tarifas se pretenden obtener mayor ingreso con lo cual se hace el listado de los materiales a comprar para iniciar la remodelación inmediata de la red de distribución ya que se conocen los tramos de las líneas y los desperfectos de las mismas, todo esto para conocer el monto exacto de la inversión.

Tabla XXV. Materiales para remodelación de la red de distribución

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P/UNITARIO	TOTAL
Postes de concreto	U	100	Q 1,800.00	Q 180,000.00
Postes de madera	U	80	Q 800.00	Q 64,000.00
Cable 1/0 ASCR	ML	20,000	Q 7.00	Q 140,000.00
Cable 1/0 ACC	ML	15,000	Q 5.00	Q 75,000.00
Aisladores para alta tensión	U	100	Q 96.94	Q 9,694.00
Aisladores para baja tensión	U	80	Q 4,933.85	Q 394,708.00
Transformadores de 25 kVA convencionales	U	20	Q 5,721.41	Q 114,428.20
Transformadores de 25 kVA autoprotegidos	U	10	Q 6,447.88	Q 64,478.80
Equipo de comunicación	U	1	Q 6,780.00	Q 6,780.00
Lámparas COBRA SAP 400w	U	10	Q 1,855.55	Q 18,555.50
Lámparas CANASTA VM 175w	U	150	Q 392.70	Q 58,905.00
Lámparas COBRA VS 250w	U	20	Q 1,247.70	Q 24,954.00
INVERSION				Q1,151,503.50

El total es la inversión que tienen que realizar la EEMT para remodelar la red de distribución que se encuentra en mal estado.

Basándonos en el organigrama propuesto tenemos que todos lo empleados los incluiremos en el contrato No. 029, teniendo los empleados un sueldo promedio, que va del salario mínimo de Q 34.20 + Q 8.33 hasta un sueldo de Q2,500, en la siguiente tabla se presenta los gastos de mantenimiento y otros, anualmente de la EEMT.

Tabla XXVI. Gastos de mantenimiento anuales de la EEMT

DESCRIPCIÓN	TOTAL
Costo de mantenimiento de planilla	Q 250,000.00
Útiles y enceres	Q 42,000.00
Gastos varios	Q 30,240.00
Mantenimiento equipo de comunicación	Q 18,000.00
Compra de vehículos motorizados	Q 50,000.00
Costos y gastos anuales	Q 390,240.00

Ahora que tenemos todos los gastos de inversión y de mantenimiento de la EEMT, tomamos como base la gráfica de proyección de demanda que se encuentra en la página 30 y obtenemos también la proyección de venta de los próximos años basándonos en la tarifa propuesta y las ventas del último año de las cuales tenemos referencias.

La proyección realizada nos indica que tendremos una venta de: 923,097 kWh que multiplicado por el costo unitario obtenemos el ingreso anual.

Tabla XXVII. Datos de proyección realizada para la venta de kWh

Total proyectado en (kWh)	Costo unitario (kWh)	Ingreso Anual
923,097	Q1.25	Q1,153,871.25

Este ingreso que obtenemos es una aproximación pero podría incrementarse ya que, desconocemos los usuarios que se encuentran en mora y los deudores así que la recuperación podría ser en un menor tiempo de lo que se ha estimado.

En este caso utilizamos la fórmula del método de retorno original de la inversión la cual es la siguiente:

$$\text{Utilidad} = \text{Ingreso Anual} - \text{Costos y gastos anuales}$$

$$\text{Utilidad} = Q763,631.25$$

En este caso conocemos la utilidad y la inversión con lo cual obtendremos el tiempo que nos llevara recuperar la EEMT y estará operando sin pérdidas ni deudas que la situara en un estado de solvencia económica en el lapso de tiempo determinado:

$$\text{Tiempo} = (\text{Utilidad} / \text{Inversión}) * 12\text{meses}$$

$$\text{Tiempo} = 8 \text{ años}$$

Este será el tiempo necesario para llevar a la EEMT a una solvencia económica empezando en el 2005 y terminando en el 2011.

CONCLUSIONES

1. Las interrupciones del suministro de energía eléctrica en el área del municipio de Tacaná se deben a fallas en la línea de alimentación de 7.6 kV, transformadores de distribución sobrecargados, circuitos con conductores no adecuados, así como, la falta de mantenimiento en la red de distribución y generadores ubicados en hidroeléctrica *Cunlaj*.
2. Las interrupciones del servicio de energía eléctrica en algunos sectores o en el área completa del municipio de Tacaná, así como variaciones en los valores de voltaje ocasionan un problema en la confiabilidad y continuidad en la red de distribución de energía eléctrica, pues se encontraron fuera del rango permitido por las NTSD.
3. La red de distribución existente ha rebasado los límites de su vida útil, por la magnitud de los niveles de consumo, demanda actual y ampliaciones sucesivas sin ninguna planificación. La reingeniería de la red es necesaria y urgente, considerando que es la mejor alternativa para el mejoramiento del servicio de energía eléctrica en el municipio de Tacaná.

4. La interconexión a la subestación en la aldea San Luis en el municipio de Tacaná es de gran beneficio para el área, especialmente para la red de distribución y por consiguiente para la población del lugar, ya que mejora el voltaje reduciendo las interrupciones de alimentación, logrando que la regulación de tensión como las interrupciones en alta tensión se ubiquen en el rango permitido.
5. Como se puede observar en las tablas que se encuentran en el capítulo cuatro, se hace una comparación al operar los circuitos conjuntos, obteniéndose que las pérdidas aminoran, mientras que las pérdidas aumentan al operar los circuitos independientemente. Por tal caso, se hace un estudio del 2007 en adelante con la operación conjunta de los circuitos, de la cual se obtienen mejores resultados.
6. Teniendo los controles y registros de las fallas más frecuentes, en la hidroeléctrica *Cunlaj* se puede dar un mantenimiento correctivo a la misma, en donde lo necesite y se pueda a la vez evitar sobrecargar los generadores que pueden producir daños irreversibles en la red de distribución.
7. Se conocen los gastos de operación y los gastos de inversión de la EEMT, se podría empezar de inmediato una remodelación, sabiendo que en menos tiempo recuperaríamos la inversión teniendo una empresa sólida, con una situación económica estable invirtiendo en generación de energía y mejorando la que tienen actualmente.

8. Se pudo constatar que la mayoría de usuarios son de tipo residencial, por lo que se sugiere una inspección física detallada a las acometidas de estos consumidores, con el objeto de detectar y buscar solución a todo tipo de anomalías en las mismas. Debido a que en el transcurso de la inspección llevada a cabo en el proceso de monitoreo de la muestra de usuarios, se pudo constatar que la acometida de gran parte de los consumidores no cumple con ningún tipo de normas.

9. Por ser un servicio social pueden ampararse en las normas jurídicas contenidas en la LEY GENERAL DE ELECTRICIDAD, que facilitan la actuación de los diferentes sectores del sistema eléctrico, situación que le permite a la EEMT regirse con dichas leyes para su operación y funcionamiento.

RECOMENDACIONES

1. Los transformadores de distribución sobrecargados que se identificaron se deben incrementar en capacidad, o de lo contrario sectorizar la carga para eliminar el problema de los transformadores, sin rebasar el límite de conducción de las líneas de distribución, también es indispensable que se respete la capacidad nominal de los conductores, por lo que es necesario mantener un control adecuado de la carga de cada circuito con la intención de evitar todo tipo de sobrecarga para no afectar la red de distribución.
2. Se debe crear un registro estadístico de la red de distribución, donde se lleve un historial de fallas, que permita un debido control de todos los sectores que necesiten mantenimiento, ya sea por antigüedad o por el crecimiento acelerado de la carga, para evitar fallas demasiado continuas y poder brindar un mejor servicio a la población.
3. En los planos se muestran los sectores que necesitan una remodelación urgente, mejorando la línea de alimentación y de distribución, a fin de mejorar los niveles de consumo, considerando que es la alternativa más viable para el mejoramiento del servicio de energía eléctrica en el municipio de Tacaná.

4. Actualmente se ha desmonopolizado el sistema de generación de energía eléctrica, cumpliendo el mandato constitucional contenido en el Artículo 130 de la Constitución Política de la República de Guatemala, al descentralizar los sistemas de transmisión y distribución de energía, ésto da la oportunidad de acudir a instituciones que nos pueden brindar asesoría técnica y ayuda económica para el mejoramiento de la red de distribución.

5. Es importante realizar la interconexión lo más pronto posible, ya que en el capítulo cuatro se encuentra plasmado el estudio realizado a la red de distribución, donde se puede observar que el funcionamiento mejora, las pérdida aminoran, mejorando así el servicio de energía para el bien de los usuarios.

6. Se necesita la elaboración de diagramas unifilares por sectores de la red de distribución para facilitar la localización de fallas en la red y la hidroeléctrica *Cunlaj*, para proporcionarle mantenimiento correctivo a los generadores, y así también saber en qué nodo se puede conectar carga.

7. Es importante la organización de la empresa que se encarga de la distribución de la energía eléctrica a los usuarios, por lo que se sugiere el reemplazo del organigrama actual, por el sugerido en el capítulo 6, tomando en cuenta la inversión económica necesaria para la reingeniería, tanto de la red, como de la EEMT, para el mejoramiento del servicio prestado.

8. Otro repetitivo factor que ayuda en el incremento de las pérdidas de energía, lo constituyen las anomalías con los medidores, debido principalmente a que la mayoría de los mismos no tiene marchamo de seguridad; por eso es fácil alterar y violar su medición, razón por la cual se sugiere calibrar los contadores del sistema, así como instalarles su respectivo marchamo de seguridad. Además, debe realizarse el registro y control adecuado de los medidores del sistema y sus respectivos marchamos, en forma periódica.

9. La EEMT puede ampararse en las Leyes para su operación y funcionamiento, regidas por el AMM y la CNEE quienes establecen y respaldadas las normas jurídicas fundamentales contenidas en la LEY GENERAL DE ELECTRICIDAD, que facilitan la actuación de los diferentes sectores del sistema eléctrico, logrando el máximo funcionamiento.

REFERENCIAS

1. Empresa Eléctrica Municipal del municipio de Tacaná del departamento de San Marcos, Departamento Operativo y Departamento Administrativo.
2. Hidroeléctrica *Cunlaj*, planta de generación de la Empresa Eléctrica de la Municipalidad de Tacaná
3. Subestación de transformación de (69 – 13.8) Kv de DEOCSA en el Municipio de Tacaná, reportes y bitácora.
4. INE (Instituto Nacional de Estadística).
8 c 9-55 Zona 1 Sección de Cartografía Tel. (502) 22511450
5. CNEE (Comisión Nacional de Energía Eléctrica)
4^a. Avenida 15-70, zona 10, Edificio Paladium, nivel 12, Guatemala, Guatemala. Tel. (502) 23669487

BIBLIOGRAFÍA

1. Donald Fink & Wayne Beaty. **Manual de Ingeniería Eléctrica.**
Decimotercera Edición, México: Editorial McGRaw-Hill, 1995.
2. E. Campero & N. Bratu. **Instalaciones Eléctricas.** Segunda Edición,
México D.F.: Editorial McGRaw-Hill, 1992.
3. El Instituto Nacional de Electrificación **Diario de Centro América.**
Guatemala. Número 55. (VII – XIII). Abril 15 de 1996.
4. Enrique Ras. **Transformadores de Potencia de Medida y de
Protección.** Séptima Edición, México: Grupo Editor Alfaomega,
1991.
5. William D. Stevenson, Jr. **Análisis de Sistemas Eléctricos de Potencia.**
Segunda Edición, México: Grupo Editor McGraw-Hill, 1986.
6. J.J. Nelly, S.D. Myers, R.H. Parrish. **A Guide to Tranformer
Maintenance.** Segunda Impresión, Akron Ohio: 1988.

7. Federico Milano. ***Power System Analysis Toolbox.***
Documentation for PSAT version 1.3.4, 14 Julio de 2005.

REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

8. <http://www.inforpressca.com>. Enero 2005.
9. <http://www.power.uwaterloo.ca>. Julio 2005
10. <http://www.thunderbox.uwaterloo.ca/~fmilano>. Julio 2005
11. <http://www.cnee@gold.guate.net>. Octubre 2005.
12. <http://www.inde.gt>. Octubre 2005.

APENDICES

APÉNDICE I

Figura 13. Banco de transformadores de generadores alemanes



Figura 14. Transformador de potencia de generador japonés



APÉNDICE II

Figura 15. Lectura de un día de demanda máxima fase 1

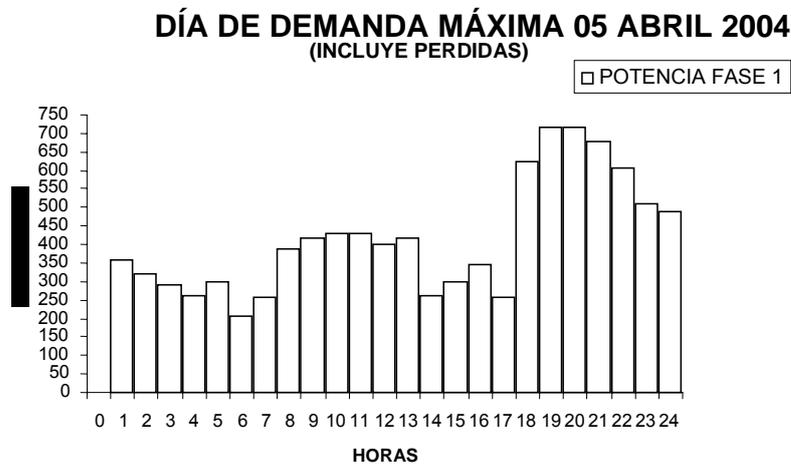


Figura 16. Lectura de un día de demanda máxima fase 2

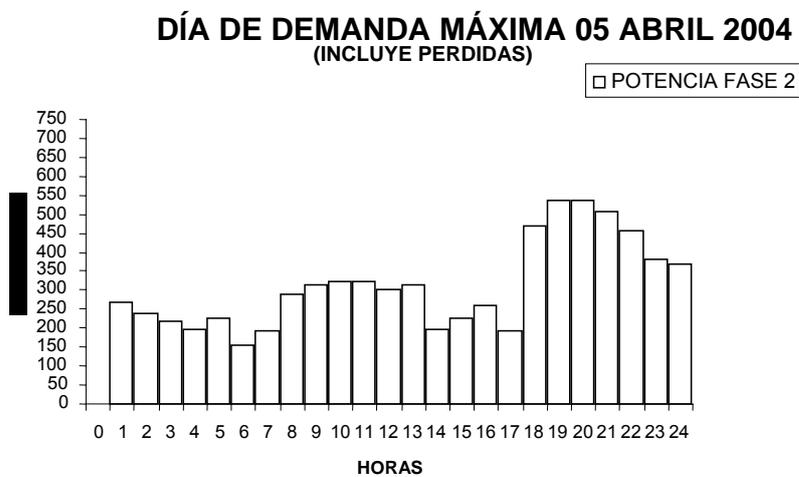


Figura 17. Lectura de un día de demanda máxima fase 3

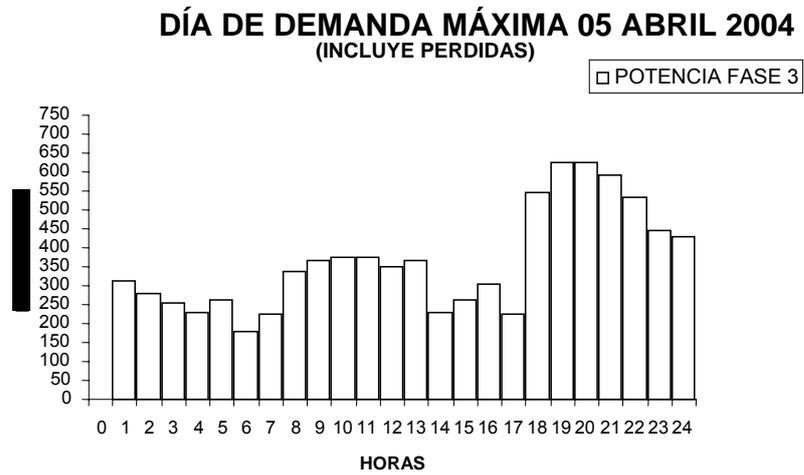
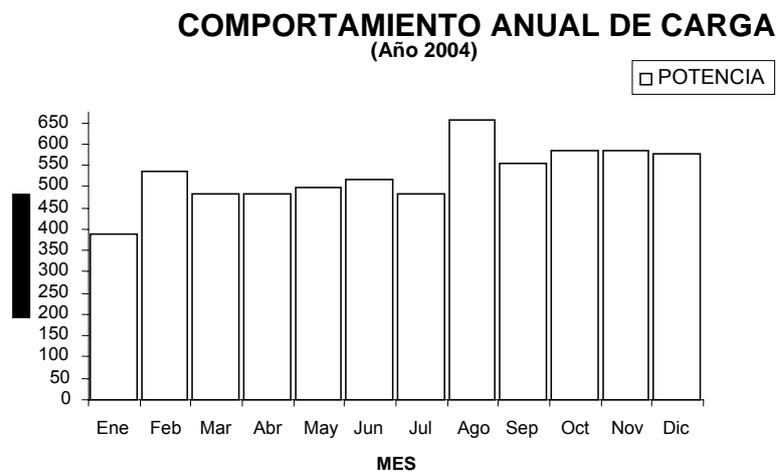
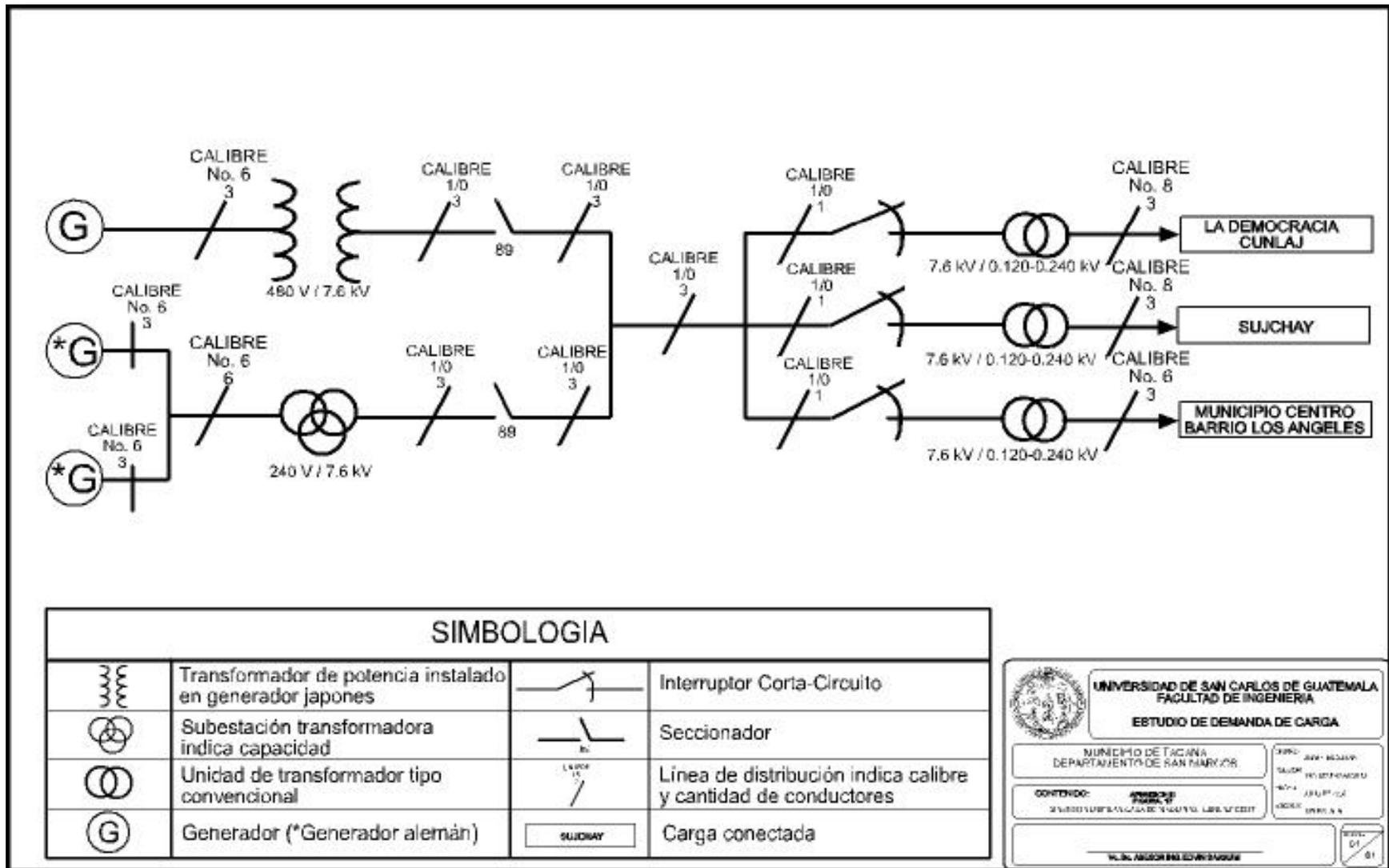
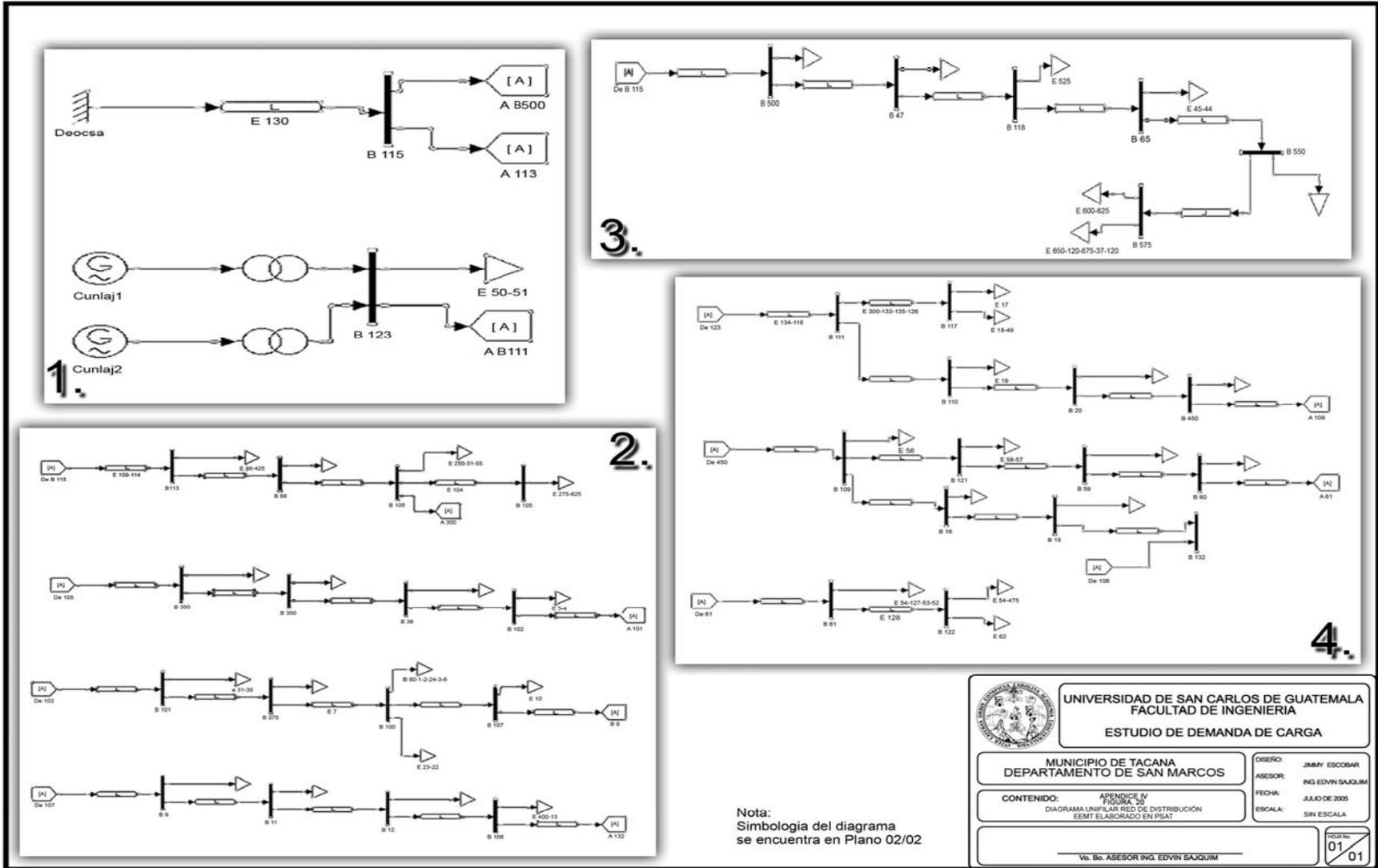


Figura 18. Comportamiento anual de carga



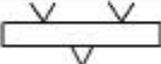
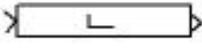




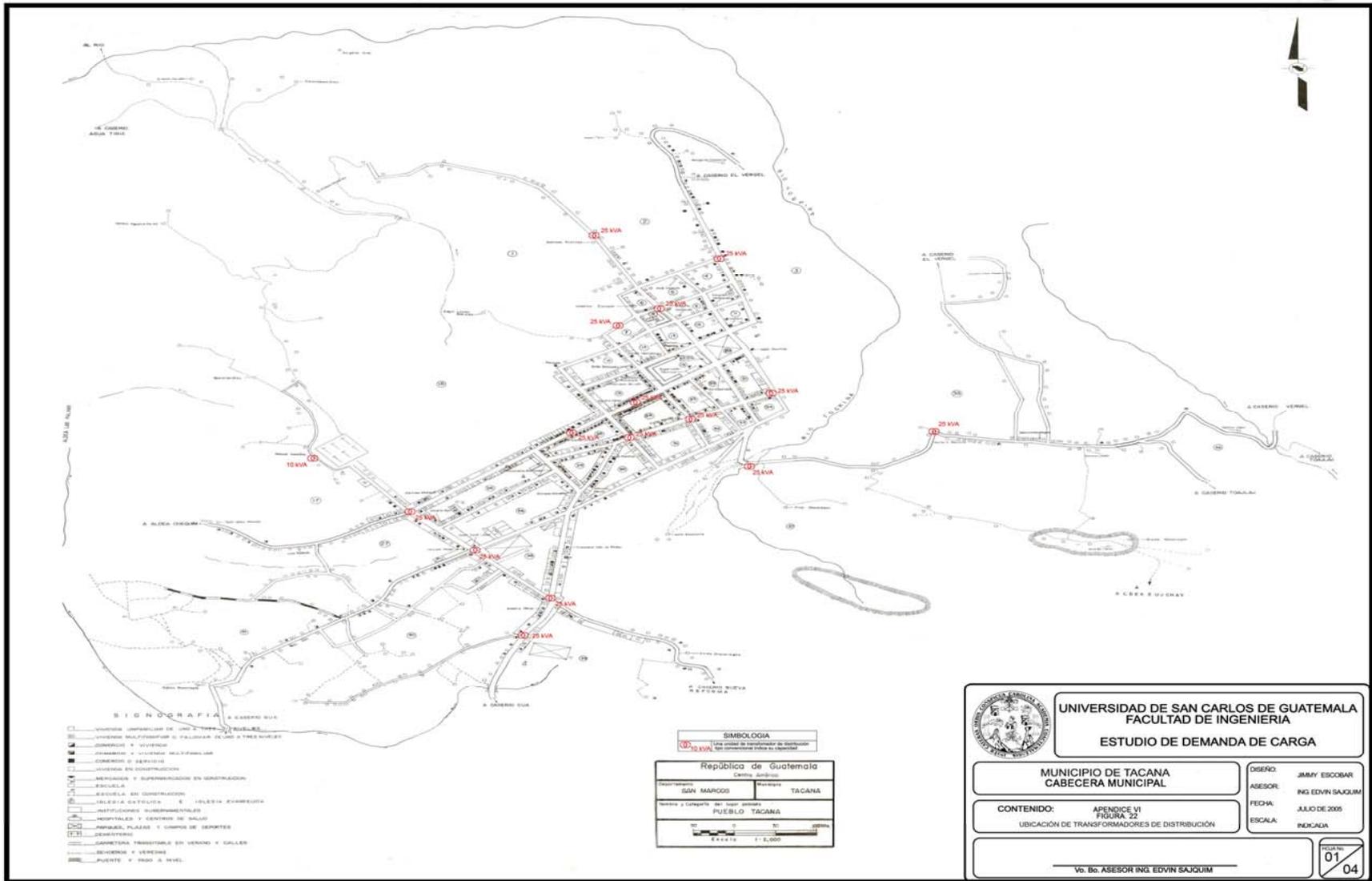
Nota:
Simbología del diagrama
se encuentra en Plano 02/02

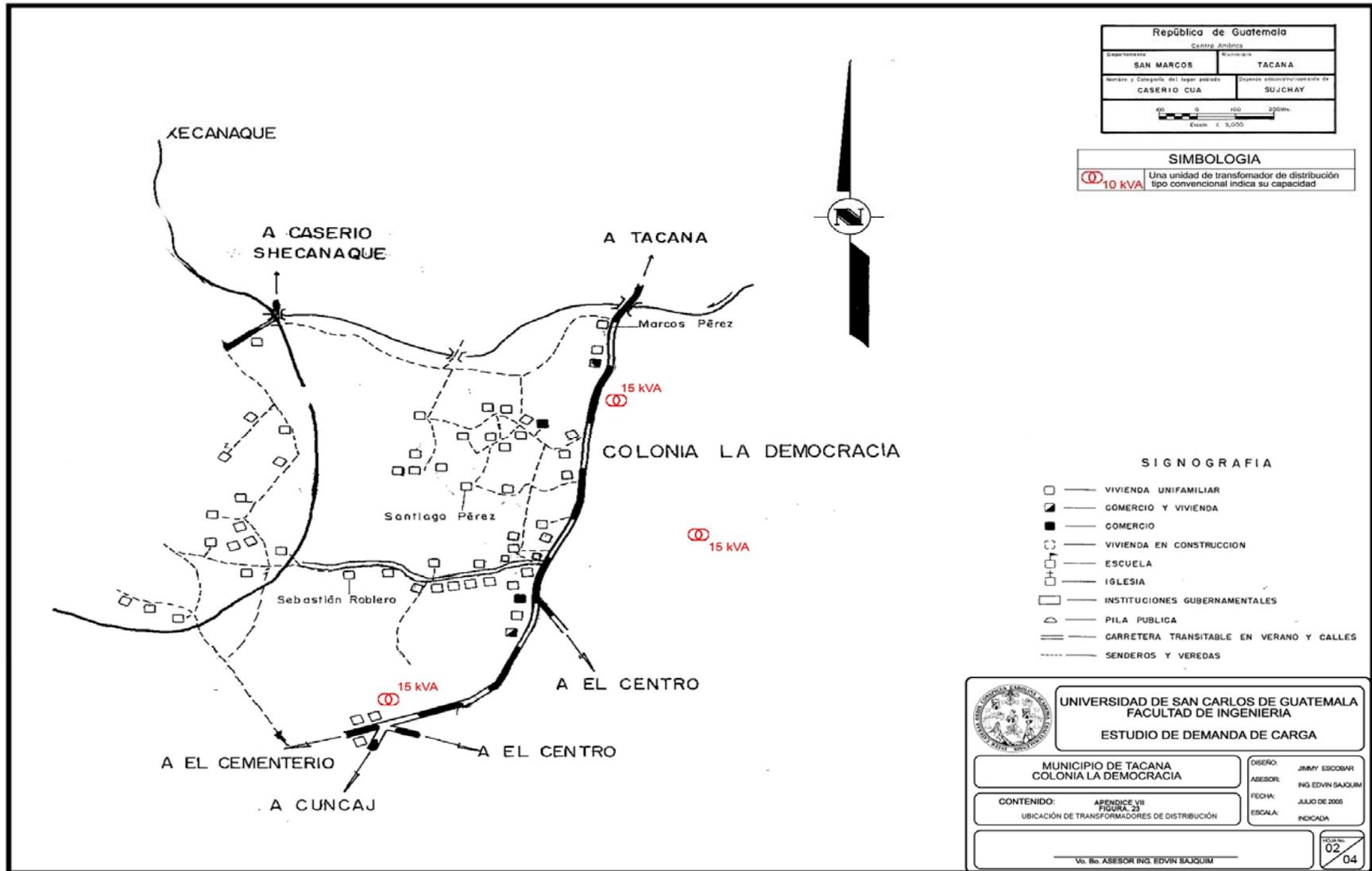
 UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA FACULTAD DE INGENIERIA ESTUDIO DE DEMANDA DE CARGA	
MUNICIPIO DE TACANA DEPARTAMENTO DE SAN MARCOS	
CONTEIDO: APENDICE IV FIGURA 20 DIAGRAMA UNIFILAR RED DE DISTRIBUCION EEMT ELABORADO EN PSAE	DISENO: JIMMY ESCOBAR ASESOR: ING EDVIN SAJQUIM FECHA: JULIO DE 2005 ESCALA: SIN ESCALA
Vo. Bo. ASESOR ING. EDVIN SAJQUIM	
Hoja No. 01 / 01	

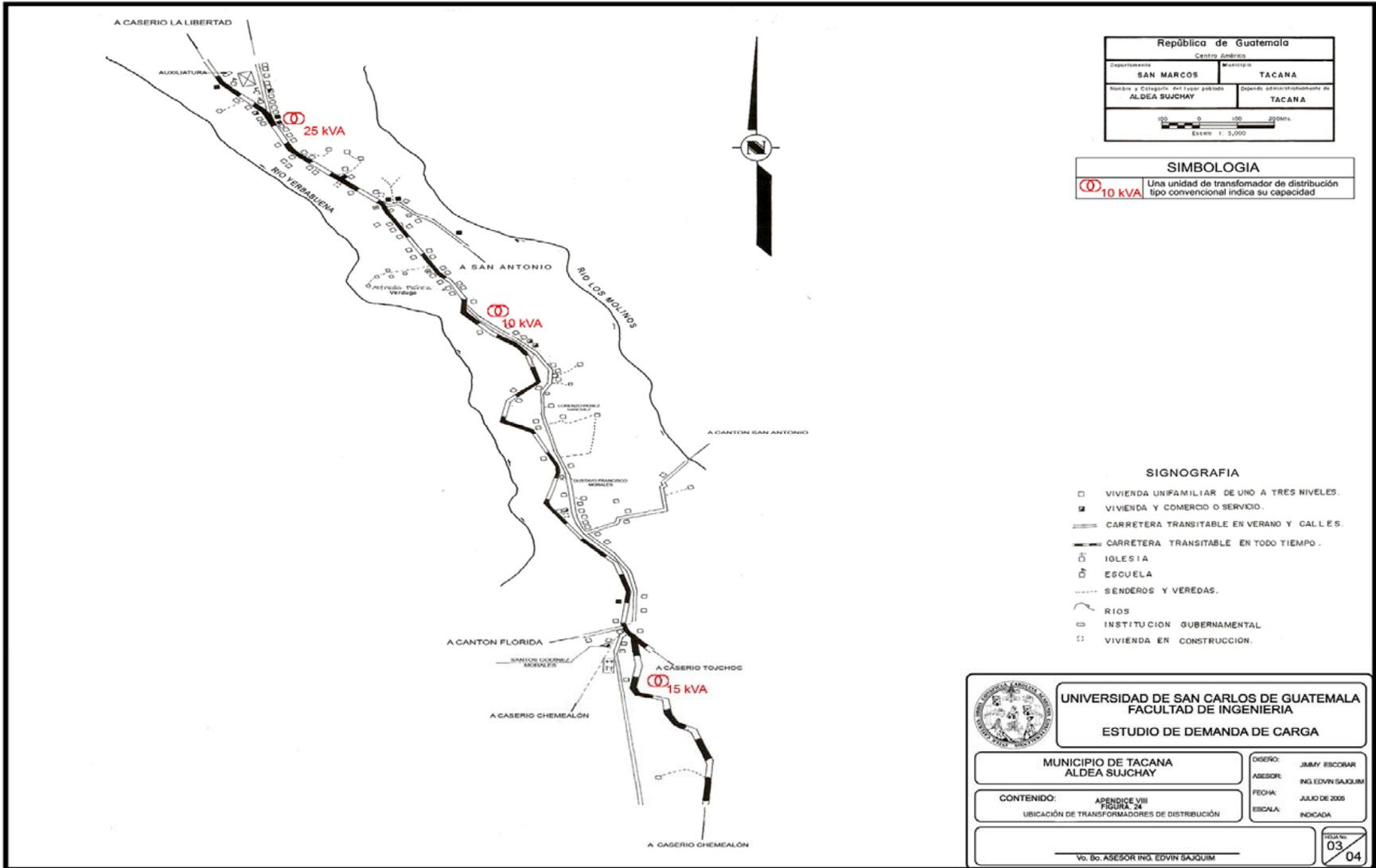
SIMBOLOGIA

	Viene del número de Bus indicado		Bus conector verticalmente
	Va hacia número de Bus indicado		Nodo infinito
	Unidad de transformador tipo convencional		Carga constante conectada PQ
	Bus conector horizontalmente		Modelo extra para línea de transmisión
	Generador ubicado en "Cunlaj"		

		UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA FACULTAD DE INGENIERIA	
ESTUDIO DE DEMANDA DE CARGA			
MUNICIPIO DE TACANA DEPARTAMENTO DE SAN MARCOS		FECHA: 2019-10-10/11 AUTOR: ING. JUAN CARLOS TÍTULO: ANÁLISIS DE CARGA EN SISTEMAS	
CONTENIDO: ANÁLISIS DE CARGA EN SISTEMAS DEPARTAMENTO DE INGENIERIA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS		PÁGINA: 88 DE 100	
M. Sc. ALBERTO EDUARDO GARCÍA		PÁGINA: 88 DE 100	





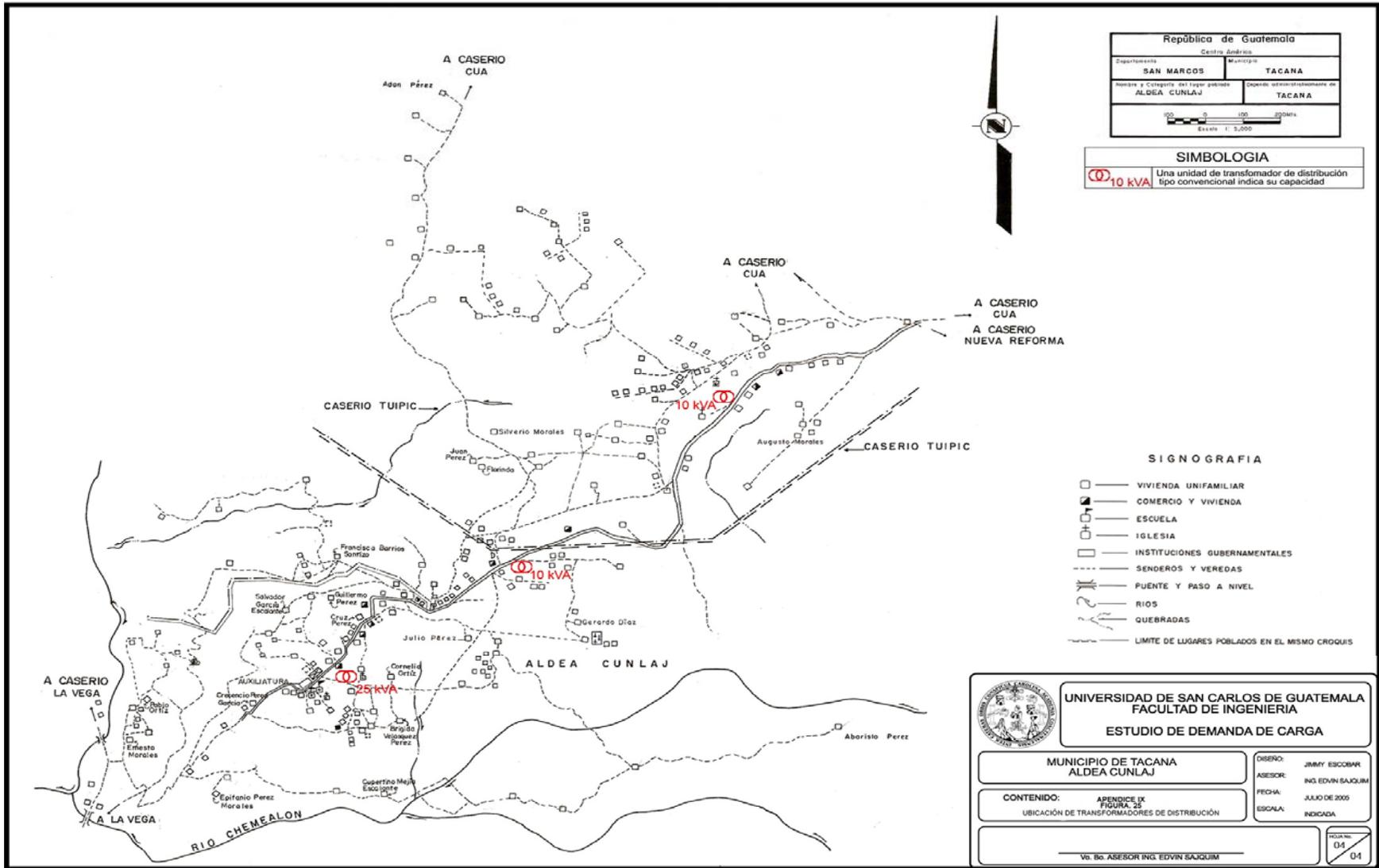


República de Guatemala	
Centro América	
Departamento SAN MARCOS	Municipio TACANÁ
Nombre y Categoría del lugar poblado ALDEA SUJCHAY	Depende administrativamente de TACANÁ
Escala 1: 5,000	

SIMBOLOGIA	
	Una unidad de transformador de distribución tipo convencional indica su capacidad

SIGNOGRAFIA	
	VIVIENDA UNIFAMILIAR DE UNO A TRES NIVELES.
	VIVIENDA Y COMERCIO O SERVICIO.
	CARRETERA TRANSITABLE EN VERANO Y CALLES.
	CARRETERA TRANSITABLE EN TODO TIEMPO.
	IGLESIA
	ESCUELA
	SENDEROS Y VEREDAS.
	RIOS
	INSTITUCION GOBERNAMENTAL
	VIVIENDA EN CONSTRUCCION.

	UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA FACULTAD DE INGENIERIA ESTUDIO DE DEMANDA DE CARGA	
	MUNICIPIO DE TACANÁ ALDEA SUJCHAY	DISEÑO: JIMMY ESCOBAR ASESOR: ING EDVIN SAJQUIM
CONTENIDO: APENDICE VIII FIGURA 24 UBICACIÓN DE TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN	FECHA: JULIO DE 2008 ESCALA: INDICADA	
Vó. Bó. ASESOR ING. EDVIN SAJQUIM		FIGURA 03 04

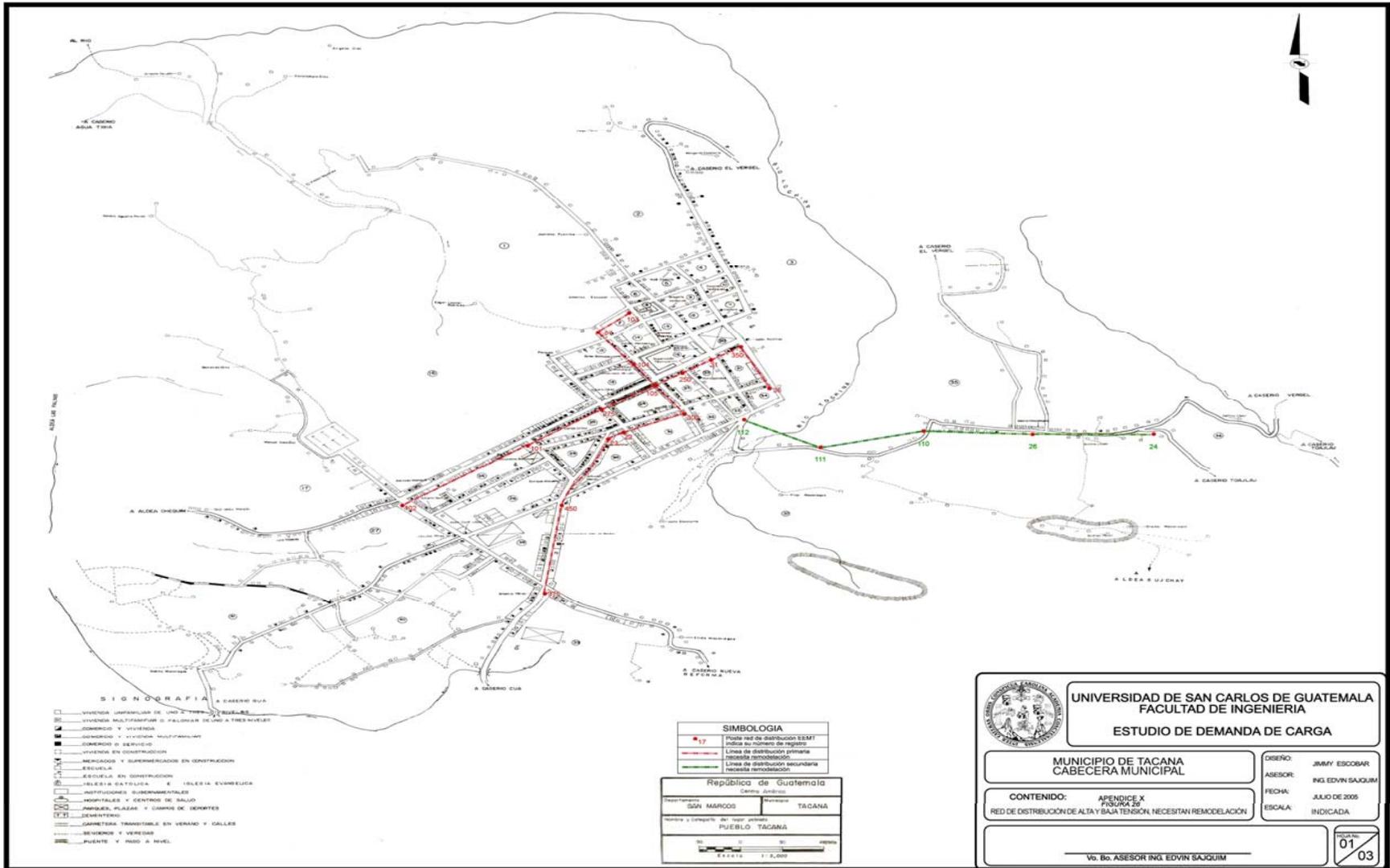


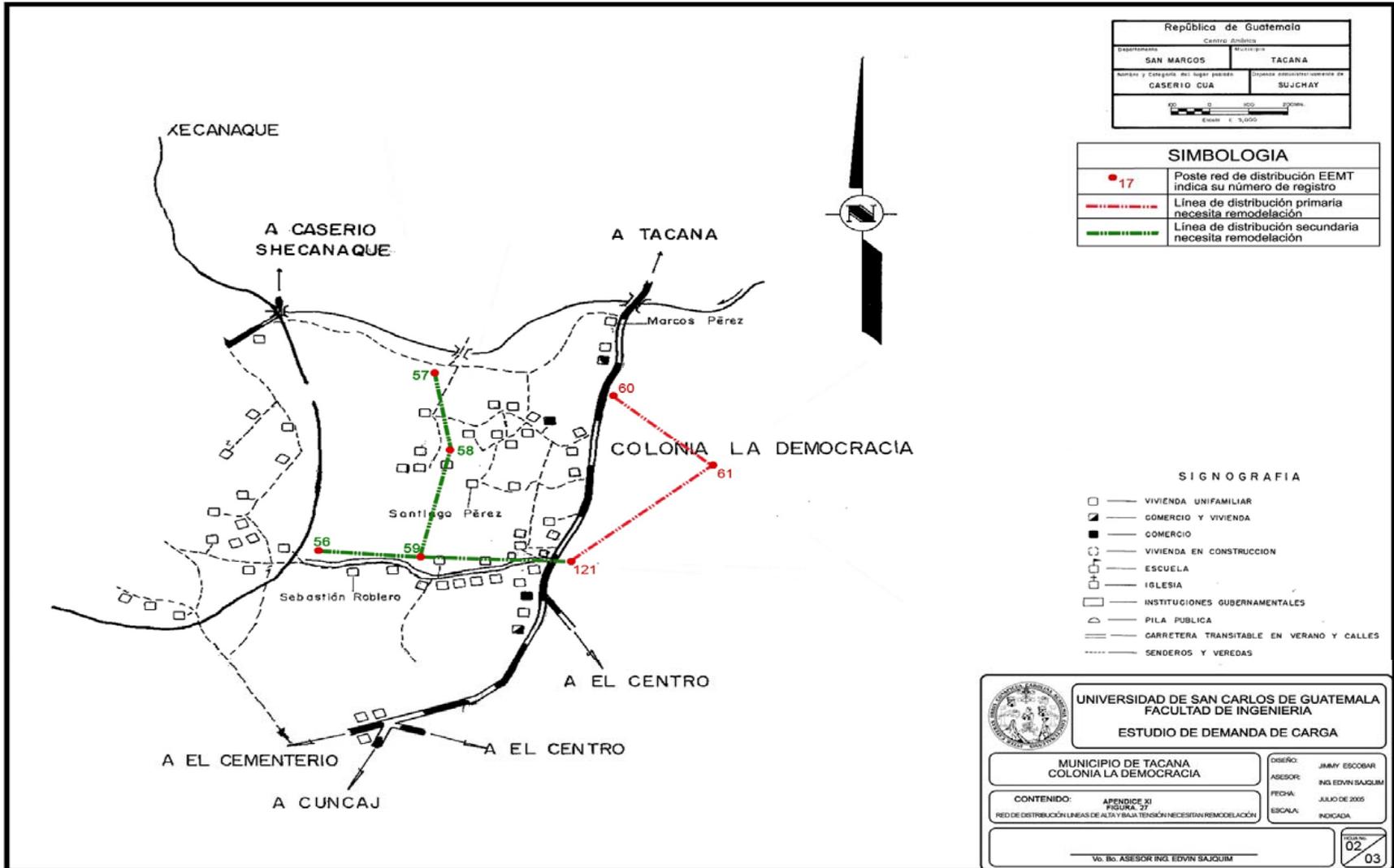
República de Guatemala	
Centro América	
Departamento SAN MARCOS	Municipio TACANA
Nombre y Categoría del lugar poblado ALDEA CUNLAJ	Depende administrativamente de TACANA
Escala: 1:3,000	

SIMBOLOGIA
 10 KVA Una unidad de transformador de distribución tipo convencional indica su capacidad

- SIGNOGRAFIA**
- VIVIENDA UNIFAMILIAR
 - COMERCIO Y VIVIENDA
 - ESCUELA
 - IGLESIA
 - INSTITUCIONES GUBERNAMENTALES
 - SENDEROS Y VEREDAS
 - PUENTE Y PASO A NIVEL
 - RIOS
 - QUEBRADAS
 - LIMITE DE LUGARES POBLADOS EN EL MISMO CROQUIS

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA FACULTAD DE INGENIERIA ESTUDIO DE DEMANDA DE CARGA	
MUNICIPIO DE TACANA ALDEA CUNLAJ	
CONTENIDO: APENDICE IX FIGURA: 25 UBICACIÓN DE TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN	DISEÑO: JIMMY ESCOBAR ASESOR: ING. EDVIN SAJQUIM FECHA: JULIO DE 2005 ESCALA: INDICADA
Vó. Bto. ASESOR ING. EDVIN SAJQUIM	
HOJA No. 04 / 04	





República de Guatemala	
Centro América	
Departamento: SAN MARCOS	Municipio: TACANA
Nombre y Categoría del Lugar: CASERIO CUA	Código administrativo: SUJCHAY
Escala: 1:5,000	

SIMBOLOGIA	
● 17	Poste red de distribución EEMT indica su número de registro
— — — — —	Línea de distribución primaria necesita remodelación
— — — — —	Línea de distribución secundaria necesita remodelación

SIGNOGRAFIA	
□	VIVIENDA UNIFAMILIAR
■	COMERCIO Y VIVIENDA
■	COMERCIO
□	VIVIENDA EN CONSTRUCCION
□	ESCUELA
□	IGLESIA
□	INSTITUCIONES GUBERNAMENTALES
△	PILA PUBLICA
— — — — —	GARRETERA TRANSITABLE EN VERANO Y CALLES
— — — — —	SENDEROS Y VEREDAS

	UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA FACULTAD DE INGENIERIA
	ESTUDIO DE DEMANDA DE CARGA
MUNICIPIO DE TACANA COLONIA LA DEMOCRACIA	ASESOR: JIMMY ESCOBAR ASESOR: ING EDVIN SAJQUIM
CONTENIDO: APENDICE XI FIGURA 37 RED DE DISTRIBUCIÓN LINEAS DE ALTA Y BAJA TENSIÓN NECESITAN REMODELACIÓN	FECHA: JULIO DE 2005 ESCALA: INDICADA
V. B. ASESOR ING. EDVIN SAJQUIM	
02/03	

APÉNDICE XIII

Tabla comparativa de valores, obtenidos con mediciones realizadas en campo y obtenidos en la corrida del programa PSAT¹

Nodo No.	Potencia (kVA)	Voltaje Medido (V)	Voltaje Obtenido (PSAT)
SISTEMA ACTUAL			
103	143.25	100	103.5
103	93.45	100	95
103	62.01	100	99.25
375	749	110	104.77
375	340.63	110	107.38
375	236.77	110	108.69
SISTEMA INTERCONECTADO			
450	754.52	120	114.30
275	341.49	120	117.14
SISTEMA INTERCONECTADO PROYECTADO			
350	855	120	119.04
350	1216.5	120	107.38
350	1707.7	120	118.92
350	2375	120	118.32

¹ Los voltajes obtenidos en campo fueron mediciones realizadas a nodos con mayor complicación de caída, es decir, lugar donde se encuentra la mayor cantidad de carga conectada.

APÉNDICE XIV

Tabla comparativa de valores de potencia, obtenidos de transformadores de distribución, instalados en postes de la red de distribución.

Nodo No.	Capacidad Transformador (kVA)	Potencia Medida (kVA)
250	25	32.26
300	15	19.85
09	15	22.8
600	10	15.7
675	15	18.9
650	15	17.1
375	10	15
01	10	15.7
300	15	18

Esta medición no fue realizada a todos los transformadores, únicamente una distribución aleatoria obtenida de la muestra de dispositivos, tomando en cuenta solamente nodos excesivamente con cargas conectadas.

ANEXOS

ANEXO I

GENERADOR JAPONES				AC GEN.	
SEIKOSHA MFG CO LTD.				TOKIO JAPAN	
TYPE	6F – 140 CV			CAP	150 kVA
Phase	(3Ø)	Pole	6 – P	RPM	1200
Volt	480 V	Amp	180	Hertz	60
Rating Cont.	PF	80%		Ins. Class	F
Temp. Amb.	40°C.	Rule	JEC	Weight	980 Kg.

Fuente: Placa de generador instalado en casa de máquinas

GENERADOR ALEMAN				AC GEN.	
REINISCHE GMBH				KREFELD	
TYPE	DG 94 – 8			CAP	75 Kva
Phase	(3Ø)	Pole	6 – P	N	900 U/min
Volt	240 V	Amp	181	Hertz	60
Rating Cont.	Cos Ø	80%		Ins. Class	F

Fuente: Placa de generador instalado en casa de máquinas

ANEXO III

ENTIDADES QUE SE ENCARGAN DE REGIR LA LEY GENERAL DE ELECTRICIDAD

Las entidades que se encargan de apoyar, con el fin de potenciar el desarrollo de la industria nacional, fundamentalmente, la orientada a las leyes generales de electricidad son las siguientes:

- a) Administrador Mercado de Mayoristas (AMM).
- b) Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE).

Son organismos subsidiados por la iniciativa privada, encargado de gestionar y ayudar a empresas necesitadas de fuerte competencia promoviendo inversiones, en el sistema eléctrico.

ADMINISTRADOR DEL MERCADO DE MAYORISTAS (AMM)

Es una entidad privada sin fines de lucro, que coordina las transacciones entre los participantes, del Mercado Mayorista de Electricidad. Asegurando las condiciones de competencia, en un ámbito de libre mercado, con reglas claras, promoviendo así la inversión en el sistema eléctrico.

Los esfuerzos conjuntos están enfocados a la satisfacción de sus clientes, para lo cual proporcionan oportunamente servicios de alta calidad.

Quienes son los clientes del AMM

Los clientes son los participantes en el Mercado Mayorista de Electricidad: generadores, transportistas, distribuidores, comercializadores y grandes usuarios de energía eléctrica. A la fecha se encuentran inscritas y participando 43 empresas.

Que servicios presta el AMM

Servicios de programación de la operación, despacho económico de carga de energía eléctrica, coordinación de la operación en tiempo real, Cálculo de precios horarios de corto plazo de energía en el Sistema Nacional Interconectado y Coordinación Comercial y Administración de las Transacciones entre los agentes participantes del Mercado Mayorista.

Actividades del AMM

Programación de la operación y despacho económico

Permitir que el Mercado Eléctrico opere mediante un esquema de libre oferta y demanda, para lograr una mayor economía en los costos de operación del Sistema Nacional Interconectado. En función de ello, el AMM determina el despacho técnico y económico, al mínimo costo.

El AMM es responsable de la planificación de la operación del Sistema Eléctrico Nacional, y lleva a acabo su función identificando las necesidades de potencia y energía eléctrica, bajo el concepto de despacho económico de carga, cuyo objetivo es la optimización de los recursos para la generación de la energía eléctrica, conforme las normas del mercado. En la planificación de la

operación se determinan los precios de potencia y energía eléctrica a ser abonados por los agentes y participantes consumidores, se toman en cuenta las pérdidas en el sistema de transporte y se coordinan los programas de mantenimiento. Los resultados de la planificación de la operación son revisados en períodos mensuales, semanales y diarios, realizando los ajustes correspondientes.

CREACIÓN DE LA COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA ELECTRICA (CNEE)

La Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE) fue creada a través de la Ley General de Electricidad, contenida en el Decreto Número 93-96 del Congreso de la República, publicado en el Diario de Centroamérica el 15 de noviembre de 1996. A su vez, el Reglamento de la Ley General de Electricidad está contenido en el Acuerdo Gubernativo Número 256-97, que fue publicado en el Diario de Centroamérica el 2 de abril de 1997.

El primer directorio de la CNEE fue nombrado mediante la emisión del Acuerdo Gubernativo Número 404-97, publicado el 20 de mayo de 1997, en el cual se nombró a sus tres miembros, quienes tomaron posesión de sus cargos el 28 de mayo de ese mismo año.

Misión de la (CNEE)

Crear condiciones propicias y apegadas a la ley para las actividades de generación, transporte, distribución y comercialización de energía sean susceptibles de ser desarrolladas por toda persona individual o jurídica que desee hacerlo, fortaleciendo este proceso con la emisión de normas técnicas, precios justos, medidas disciplinarias y todo el marco de acción que permita, a

los empresarios y usuarios, condiciones de seguridad y reglas de acción claras para participar con toda propiedad en este nuevo modelo, factor fundamental en la modernización existente en torno al Sub-sector Eléctrico y, consecuentemente, en el desarrollo económico y social del país.

Funciones de la (CNEE)

Cumplir y hacer cumplir la Ley General de Electricidad y sus reglamentos, en materia de su competencia, e imponer las sanciones a los infractores. Velar por el cumplimiento de las obligaciones de los adjudicatarios y concesionarios, proteger los derechos de los usuarios y prevenir conductas atentatorias contra la libre competencia, así como prácticas abusivas o discriminatorias. Definir las tareas de transmisión y distribución sujetas a regulación, de acuerdo a la Ley General de Electricidad, así como la metodología para el cálculo de las mismas.

Dirimir las controversias que surjan entre los agentes del sub-sector eléctrico, actuando como árbitro entre las partes. Emitir las normas técnicas relativas al sub-sector eléctrico, y fiscalizar su cumplimiento en congruencia con las prácticas internacionalmente aceptadas. Emitir las disposiciones y normativas para garantizar el libre acceso y uso de las líneas de transmisión y redes de distribución de acuerdo a lo dispuesto en la Ley General de Electricidad y su reglamento.

ANEXO IV

En el siguiente anexo se presenta el reporte de las características de las líneas de transmisión por tramo, se pueden observar en la siguiente tabla

Columna	Variable	Descripción	Unidad
1	k	Nodo	Int. ¹
2	P _A	Potencia activa por nodo en φ_A	kW ¹
3	Q _A	Potencia reactiva por nodo en φ_A	kVA ¹
4	P _B	Potencia activa por nodo en φ_B	kW ¹
5	Q _B	Potencia reactiva por nodo en φ_B	kVA ¹
6	P _C	Potencia activa por nodo en φ_C	kW ¹
7	Q _C	Potencia reactiva por nodo en φ_C	kVA ¹
8	P _T	Potencia total activa en las 3 fases	kW
9	P _T	Potencia total activa en las 3 fases	p.u.
10	Q _T	Potencia total reactiva en las 3 fases	kVA
11	Q _T	Potencia total reactiva en las 3 fases	p.u.

No es posible ingresar nombres dentro del programa razón por la cual se observa el nombre del bus con su respectivo número asignado al final de la presentación de la corrida del programa con respecto a las cargas por nodo.

¹Las columnas identificadas son las que son cargadas como datos dentro del programa para obtener los resultados que se observan en el ejemplo, las demás columnas son obtenidas al ejecutar el programa.

POWER FLOW REPORT

P S A T 1.3.3

"Author: Federico Milano, © 20-Feb-05"

e-mail: fmilano@thunderbox.uwaterloo.ca

Website: <http://thunderpbox.uweterloo.ca/~fmilano>

File: C:\PSAT\work\tacana\carga-por-nodo.mdl

Date: 16-Jul-2005 05:20:12

LOAD (kW-kVAr)

Node	P-A	Q-A	P-B	Q-B	P-C	Q-C	Ptotal	Ppu	Qtotal	Qpu
1	0	0	0	0	15.7	9.7	15.7	0.104	9.7	0.110
80	0	0	0	0	1.8	1.1	1.8	0.012	1.1	0.012
2	0	0	0	0	18.6	11.5	18.6	0.124	11.5	0.130
3	0	0	10	6.2	0	0	10	0.066	6.2	0.070
4	0	0	0	0	12.7	7.9	12.7	0.084	7.9	0.089
5	0	0	0	0	14.6	9.1	14.6	0.097	9.1	0.103
6	0	0	7.1	4.4	0	0	7.1	0.047	4.4	0.05
7	7	4.3	0	0	0	0	7	0.046	4.3	0.048
375	15	9.3	0	0	0	0	15	0.1	9.3	0.105
35	0	0	21	13	0	0	21	0.14	13	0.147
36	11.9	7.4	0	0	0	0	11.9	0.079	7.4	0.084
87	0	0	25.8	16	0	0	25.8	0.172	16	0.181
250	38.1	23.6	32.3	20	26.4	16.4	96.8	0.645	60	0.681
275	18.6	11.5	0	0	0	0	18.6	0.124	11.5	0.130
300	17.3	10.7	15.9	9.8	17.7	10.9	50.9	0.339	31.4	0.356
350	0	0	3	1.9	0	0	3	0.02	1.9	0.021
31	0	0	0	0	12.8	7.9	12.8	0.085	7.9	0.089
26	0	0	7.6	4.7	0	0	7.6	0.050	4.7	0.053
25	0	0	11.9	7.4	0	0	11.9	0.079	7.4	0.084
600	0	0	15.7	9.7	0	0	15.7	0.104	9.7	0.110

LOAD (kW-kVAr)

Node	P-A	Q-A	P-B	Q-B	P-C	Q-C	Ptotal	Ppu	Qtotal	Qpu
22	0	0	0	0	6.4	3.9	6.4	0.042	3.9	0.044
23	0	0	0	0	7	4p.3	7	0.046	4.3	0.048
10	10.9	6.8	0	0	0	0	10.9	0.072	6.8	0.077
9	22.8	14.2	0	0	0	0	22.8	0.152	14.2	0.161
11	0	0	9.4	5.8	10	6.2	19.4	0.129	12	0.136
13	0	0	8.4	5.2	0	0	8.4	0.056	5.2	0.059
15	0	0	0	0	7	4.3	7	0.046	4.3	0.048
16	15.9	9.9	0	0	0	0	15.9	0.106	9.9	0.112
20	0	0	9.1	5.7	0	0	9.1	0.060	5.7	0.064
19	74.9	46.4	0	0	0	0	74.9	0.499	46.4	0.527
86	13.8	8.6	0	0	0	0	13.8	0.092	8.6	0.097
425	5.1	3.1	0	0	0	0	5.1	0.034	3.1	0.035
88	15	9.3	0	0	0	0	15	0.1	9.3	0.105
17	0	0	0	0	8.5	5.2	8.5	0.056	5.2	0.059
18	0	0	0	0	14.8	9.2	14.8	0.098	9.2	0.104
47	13.5	8.4	0	0	0	0	13.5	0.09	8.4	0.095
500	0	0	11.4	7.1	0	0	11.4	0.076	7.1	0.080
525	2.5	1.6	0	0	0	0	2.5	0.016	1.6	0.018
65	10	6.2	11	6.8	13.5	8.4	34.5	0.23	21.4	0.243
44	0	0	5	3.1	0	0	5	0.033	3.1	0.035
45	0	0	3.5	2.2	0	0	3.5	0.023	2.2	0.025
575	0	0	0	0	20.6	12.8	20.6	0.137	12.8	0.145
550	0	0	0	0	10.2	6.3	10.2	0.068	6.3	0.071
325	1.2	0.7	0	0	0	0	1.2	0.008	0.7	0.007
625	1.2	0.7	0	0	0	0	1.2	0.008	0.7	0.007
650	17.1	10.6	0	0	0	0	17.1	0.114	10.6	0.120
675	0	0	18.9	11.7	0	0	18.9	0.126	11.7	0.132

LOAD (kW-kVAr)

Node	P-A	Q-A	P-B	Q-B	P-C	Q-C	Ptotal	Ppu	Qtotal	Qpu
37	0	0	9.6	5.9	0	0	9.6	0.064	5.9	0.067
56	0	0	0	0	11.6	7.2	11.6	0.077	7.2	0.081
57	0	0	0	0	14.7	9.1	14.7	0.098	9.1	0.103
58	0	0	0	0	13.1	8.1	13.1	0.087	8.1	0.092
59	0	0	0	0	2.4	1.5	2.4	0.016	1.5	0.017
60	0	0	0	0	4.2	2.6	4.2	0.028	2.6	0.029
61	15.1	9.4	0	0	0	0	15.1	0.100	9.4	0.106
54	0	0	15.1	9.3	0	0	15.1	0.100	9.3	0.105
55	0	0	2.8	1.7	0	0	2.8	0.018	1.7	0.019
62	5.4	3.3	0	0	0	0	5.4	0.036	3.3	0.037
475	2.3	1.4	0	0	0	0	2.3	0.015	1.4	0.015
64	4.6	2.8	0	0	0	0	4.6	0.030	2.8	0.031
52	0	0	1	0.6	0	0	1	0.006	0.6	0.006
51	0	0	6.9	4.3	0	0	6.9	0.046	4.3	0.048
50	0	0	6.7	4.2	0	0	6.7	0.044	4.2	0.047
49	0	0	0	0	12.2	7.6	12.2	0.081	7.6	0.086

Bus name [].....

[Bus 225 Deocsa; Bus 250 Parque; Bus 275 Mercado; Bus 300 Tribuna; Bus 325 iglesia2; Bus 350 Vibro; Bus 375 Escuela; Bus 400 Molino; Bus 425 Cable; Bus 450 Molino2; Bus 475 Tectitán; Bus 500 Mely; Bus 525 Centro Salud; Bus 550 Instituto2; Bus 575 Instituto 1; Bus 600 Iglesia; Bus 625 Radio; Bus 650 Salón; Bus 675 Bomberos].....

Fuente: Federico Milano. *Power System Analysis Toolbox software.*

ANEXO V

En el siguiente anexo se presenta el reporte de las características de las líneas de transmisión por tramo en el cual ya va incluida la distancia de cada uno de ellos, el resumen se pueden observar en la siguiente tabla.

Columna	Variable	Descripción	Unidad
1	k	De bus	Int. ¹
2	m	A bus	Int. ¹
3	--	Tipo de conductor	Int. ¹
4	ϕ_s	Fases (ABC)	Int. ¹
5	R_Ω	Resistencia de línea	Ω ¹
6	X_Ω	Impedancia de línea	Ω ¹
7	R	Resistencia de línea	p.u.
8	X	Impedancia de línea	p.u.

¹Las columnas identificadas son las que son cargadas como datos dentro del programa para obtener los resultados que se observan en el ejemplo, las otras columnas son obtenidas al ejecutar el programa.

POWER FLOW REPORT

P S A T 1.3.3

"Author: Federico Milano, © 20-Feb-05"

E-mail: fmilano@thunderbox.uwaterloo.ca

Website: http://thunderbox.uwaterloo.ca/~fmilano

File: C:\PSAT\work\tacana\resistencia-inductancia-por-tramo.mdl

Date: 16-Jul-2005 05:20:12

From Bus	To Bus	Fases	Tipo de Conductor	R (Ohms)	X (Ohms)	R (pu)	X (pu)
225	130	ABC	ACSR-0	0	0	0	0
130	115	ABC	ACSR-0	0.818	0.620	0.002	0.001
115	88	ABC	ACSR-0	0.071	0.0538	0.184	0.139
88	113	ABC	ACSR-0	0.021	0.016	5.5E-05	4.1E-05
113	114	ABC	ACSR-0	0.021	0.016	5.5E-05	4.1E-05
114	103	ABC	ACSR-0	0.049	0.0377	0.129	9.7E-05
103	87	ABC	ACSR-0	0.042	0.0323	0.110	8.3E-05
87	104	ABC	ACSR-0	0.028	0.0215	7.3E-05	5.5E-05
104	105	ABC	ACSR-0	0.001	0.011	3.6E-06	2.8E-05
105	250	ABC	ACSR-0	0.001	0.011	3.6E-06	2.8E-05
250	31	C	ACSR-0	0.035	0.027	9.2E-05	7.0E-05
105	275	A	ACSR-0	0.035	0	9.2E-05	0
105	300	ABC	ACSR-0	0.001	0.011	3.6E-06	2.8E-05
104	106	B	ACSR-0	0.078	0	0.203	0
106	26	B	ACSR-0	0.035	0	9.2E-05	0
106	25	B	ACSR-0	0.064	0	0.166	0
25	325	B	ACSR-0	0.057	0	0.148	0
103	350	ABC	ACSR-0	0.25	0.188	0.649	0.488
350	36	ABC	ACSR-0	0.11	0.081	0.285	0.210

From Bus	To Bus	Fases	Tipo de Conductor	R (Ohms)	X (Ohms)	R (pu)	X (pu)
36	102	ABC	ACSR-0	0.085	0.065	0.221	0.168
102	5	C	ACSR-0	0.099	0	0.257	0
5	4	C	ACSR-0	0.177	0	0.459	0
102	101	ABC	ACSR-0	0.028	0.021	7.3E-05	5.4E-05
101	375	ABC	ACSR-0	0.15	0.113	0.389	0.293
375	7	ABC	ACSR-0	0	0.011	3.6E-06	2.8E-05
7	100	ABC	ACSR-0	0	0.011	3.6E-06	2.8E-05
100	6	BC	Cobre 8	0.007	0.014	2.0E-05	3.6E-05
6	3	BC	Cobre 8	0.034	0.0596	8.9E-05	0.154
3	124	BC	Cobre 8	0.034	0.0596	8.9E-05	0.154
124	2	C	ACSR-0	0.142	0	0.368	0
2	1	C	ACSR-0	0.15	0	0.389	0
1	80	C	ACSR-0	0.092	0	0.240	0
100	22	BC	ACSR-0	0.092	0.0466	0.240	0.121
22	23	BC	ACSR-0	0.007	0.0036	1.8E-05	9.3E-06
110	107	ABC	ACSR-0	0.064	0.048	0.166	0.124
107	10	A	ACSR-0	0.049	0	0.129	0
107	9	ABC	ACSR-0	0.035	0.027	9.2E-05	7.0E-05
9	11	ABC	ACSR-0	0.142	0.1077	0.368	0.279
11	12	ABC	ACSR-0	0.007	0.005	1.8E-05	1.2E-05
12	108	ABC	ACSR-0	0.005	0.043	1.4E-05	0.111
108	13	ABC	ACSR-0	0.11	0.081	0.285	0.210
13	400	ABC	ACSR-0	19.21	0.143	0.049	0.371
101	35	B	ACSR-0	0.001	0	3.6E-06	0
114	86	A	ACSR-0	0.049	0	0.127	0
86	425	A	ACSR-0	0.085	0	0.220	0
113	133	ABC	Cobre 8	0.106	0.0275	0.275	7.1E-05

From Bus	To Bus	Fases	Tipo de Conductor	R (Ohms)	X (Ohms)	R (pu)	X (pu)
133	112	ABC	Switch	0	0	0	0
112	111	ABC	Cobre 8	0.185	0.048	0.480	0.124
111	110	ABC	Cobre 8	0.557	0.144	0.001	0.373
110	20	ABC	Cobre 8	0.477	0.124	0.001	0.322
20	450	ABC	Cobre 8	1.4	0.364	0.003	0.945
450	109	ABC	Cobre 8	0.212	0.055	0.550	0.142
109	16	ABC	ACSR-0	0.014	0.011	3.6E-05	2.8E-05
16	15	ABC	ACSR-0	0.057	0.0431	0.148	0.111
15	132	ABC	ACSR-0	0.092	0.07	0.240	0.181
109	56	C	ACSR-0	0.035	0	9.2E-05	0
109	121	ABC	ACSR-0	0.078	0.0592	0.204	0.153
121	57	C	ACSR-0	0.035	0	9.2E-05	0
57	58	C	ACSR-0	0.035	0	9.2E-05	0
121	59	ABC	ACSR-0	0.001	0.011	3.6E-06	2.8E-05
59	60	ABC	ACSR-0	0.007	0.005	1.8E-05	1.2E-05
60	61	ABC	ACSR-0	0.099	0.0754	0.257	0.195
61	54	B	ACSR-0	0.185	0	0.480	0
54	127	B	ACSR-0	0.142	0	0.368	0
127	53	B	ACSR-0	0.277	0	0.719	0
53	52	B	ACSR-0	0.234	0	0.607	0
61	128	A	ACSR-0	0.227	0	0.589	0
128	122	A	ACSR-0	0.177	0	0.459	0
122	62	A	ACSR-0	0.078	0	0.203	0
122	475	A	ACSR-0	0.192	0	0.498	0
475	64	A	ACSR-0	0.078	0.0688	0.688	0.178
116	134	ABC	Switch	0	0	0	0
134	123	ABC	Cobre 8	2.33	0.605	0.006	0.001

From Bus	To Bus	Fases	Tipo de Conductor	R (Ohms)	X (Ohms)	R (pu)	X (pu)
123	50	B	ACSR-0	0.234	0	0.607	0
50	51	B	ACSR-0	0.135	0	0.3500	0
133	200	C	Switch	0	0	0	0
200	125	C	Cobre 8	0.185	0	0.480	0
125	126	C	Cobre 8	0.344	0	0.893	0
126	117	C	Cobre 8	0.159	0	0.412	0
117	17	C	Cobre 8	0.53	0	0.001	0
117	18	C	Cobre 8	0.265	0	0.688	0
18	19	C	Cobre 8	1.35	0	0.003	0
115	47	ABC	Cobre 8	0.796	0.206	0.002	0.534
47	500	ABC	Cobre 8	0.026	0.0068	6.8E-05	1.7E-05
47	118	ABC	Cobre 8	0.132	0.0344	0.342	8.9E-05
118	525	A	ACSR-0	0.035	0	9.2E-05	0
118	65	ABC	Cobre 8	0.212	0.055	0.550	0.142
65	44	B	ACSR-0	0.028	0	7.3E-05	0
44	45	B	ACSR-0	0.001	0	3.6E-06	0
65	550	ABC	ACSR-0	0.12	0.0916	0.311	0.237
550	575	C	ACSR-0	0.035	0	9.2E-05	0
550	119	ABC	ACSR-0	0.028	0.0215	7.3E-05	5.5E-05
119	600	A	ACSR-0	0.099	0	0.257	0
600	625	A	ACSR-0	0.142	0	0.368	0
119	650	ABC	ACSR-0	0.071	0.054	0.184	0.140
650	675	AB	Cobre 8	0.212	0.028	0.550	7.2E-05
675	120	AB	Cobre 8	0.053	0.0071	0.137	1.8E-05
120	37	B	ACSR-0	0.078	0	0.203	0
115	131	ABC	Cobre 8	0.265	0.0458	0.688	0.118

Fuente: Federico Milano. *Power System Analysis Toolbox* software.

ANEXO VI

En el siguiente anexo se presenta el reporte de las líneas de transmisión ya que la topología es definida por los componentes de la línea, el número de buses puede ser cualquier orden y los rangos de voltaje son requeridos, Las características se pueden observar en la siguiente tabla XXXI.

Columna	Variable	Descripción	Unidad
1	--	Número de bus	Int. ¹
2	V	Voltaje base	kV ¹
3	θ	Ángulo fase inicial en rad.	p.u.
4	P_G	Potencia activa generada	p.u.
5	Q_G	Potencia reactiva generada	p.u.
6	P_L	Potencia activa de la carga	p.u.
7	Q_L	Potencia reactiva de la carga	p.u.

Seguidamente para el flujo de potencia que recorre la línea las características son diferentes, como se pueden observar en la siguiente tabla.

¹Las columnas identificadas son las que son cargadas como datos dentro del programa para obtener los resultados que se observan en el ejemplo, las otras columnas son obtenidas al ejecutar el programa

Columna	Variable	Descripción	Unidad
1	k	De bus	Int. ¹
2	m	A bus	Int. ¹
3	s	Número de línea	p.u.
4	P _F	Potencia activa línea	p.u.
5	Q _F	Potencia reactiva línea	p.u.
6	P _L	Pérdidas potencia activa	p.u.
7	Q _L	Pérdidas de potencia reactiva	p.u.

Como también al final de este reporte se encuentran el límite total de potencia activa, el límite de potencia aparente, el límite de corriente máxima, total de carga y las pérdidas.

¹Las columnas identificadas son las que son cargadas como datos dentro del programa para obtener los resultados que se observan en el ejemplo, las otras columnas son obtenidas al ejecutar el programa

POWER FLOW REPORT

P S A T 1.3.3

"Author: Federico Milano, © 20-Feb-05"

E-mail: fmilano@thunderbox.uwaterloo.ca

Website: <http://thunderbox.uwaterloo.ca/~fmilano>

File: C:\PSAT\work\tacana\Cunlaj-máxima-desbalanceadas.mdl

Date: 16-Jul-2005 05:20:12

NETWORK STATISTICS

Bus: 35

Lines: 38

Transformers: 8

Generators: 3

Loads: 9

SOLUTION STATISTICS

Number of Iterations : 0

Maximum P mismatch [kW] : 0

Maximum Q mismatch [kVAR] : 0

Power rate [MVA] : N/A

POWER FLOW RESULTS

Bus	V	phase	P gen	Q gen	P load	Q load
	[p.u.]	[rad]	[kW]	[kVAR]	[kW]	[kVAR]
700	1.0000	0.0000	150	89.63	0	0
129	0.9964	-0.0871	150	89.63	3.5	2.2
123	0.9964	-0.2226	0	0	0	0
110	0.9949	-0.2288	0	0	0	0
112	0.9945	-0.2535	0	0	0	0
111	0.9945	-0.2752	0	0	0	0

Bus	V [p.u.]	phase [rad]	P gen [kW]	Q gen [kVAR]	P load [kW]	Q load [kVAR]
20	0.9945	-0.2866	0	0	9.1	5.7
450	0.9945	-0.2920	0	0	9	3.5
109	0.9945	-0.2154	0	0	5.8	2.5
132	0.9936	-0.2702	0	0	0	0
121	0.9936	-0.2181	0	0	0	0
57	0.9936	-0.2413	0	0	0	0
58	0.9930	-0.2627	0	0	0	0
59	0.9930	-0.2012	0	0	0	0
60	0.9930	-0.2836	0	0	0	0
61	0.9930	-0.2022	0	0	0	0
54	0.9930	-0.2197	0	0	0	0
127	0.9930	-0.2338	0	0	0	0
53	0.9930	-0.2281	0	0	0	0
52	0.9930	-0.2032	0	0	0	0
62	0.9930	-0.2199	0	0	0	0
475	0.9930	-0.2335	0	0	12.5	6.3
64	0.9930	-0.2905	0	0	0	0
19	0.9930	-0.2351	0	0	0	0
116	0.9930	-0.2445	0	0	0	0
134	0.9930	-0.2608	0	0	0	0
123	0.9930	-0.2626	0	0	50.9	40.4
50	0.9925	-0.2607	0	0	0	0
51	0.9925	-0.2632	0	0	0	0
200	0.9925	-0.2608	0	0	8.5	6.3
125	0.9925	-0.2466	0	0	0	0
126	0.9918	-0.2620	0	0	0	0
117	0.9918	-0.2594	0	0	0	0

LINE FLOWS

From Bus	To Bus	Line	P Flow [kW]	Q Flow [kVAR.]	P Loss [kW]	Q Loss [kVAR]
Bus 700	Bus 129	1	150	89.63	0	0
Bus 129	Bus 123	2	150	89.63	5.98	3.55
Bus 134	Bus 123	3	116	70	0.15	0.04
Bus 110	Bus 20	4	13.6	8.2	0.5	0
Bus 20	Bus 450	5	115.2	65	0.14	0.02
Bus 450	Bus 109	6	115.1	71	0.02	0
Bus 109	Bus 16	7	22.9	14	0	0
Bus 16	Bus 15	8	7	4.2	0	0
Bus 15	Bus 132	9	0	0	0	0
Bus 109	Bus 56	10	11.6	7.2	0	0
Bus 109	Bus 121	11	75	49.8	1.59	0.15
Bus 121	Bus 57	12	27.8	17.2	0	0
Bus 57	Bus 58	13	13.1	8.1	0	0
Bus 121	Bus 59	14	52.8	32.7	0	0
Bus 59	Bus 60	15	50.5	31.2	0	0
Bus 60	Bus 61	16	46.2	28.6	0	0
Bus 61	Bus 54	17	18.9	11.7	0	0
Bus 54	Bus 127	18	3.8	2.4	7.5	2.1
Bus 127	Bus 53	19	3.8	2.4	0	0
Bus 53	Bus 52	20	1	0.6	0	0
Bus 61	Bus 128	21	12.2	7.6	10.47	2.1
Bus 128	Bus 122	22	12.2	7.6	0	0
Bus 122	Bus 62	23	5.4	3.3	0	0
Bus 122	Bus 475	24	6.9	4.3	7	2.36
Bus 475	Bus 64	25	4.6	2.8	0	0
Bus 110	Bus 19	26	74.9	46.4	0	0

From Bus	To Bus	Line	P Flow [kW]	Q Flow [kVAR.]	P Loss [kW]	Q Loss [kVAR]
Bus 111	Bus 116	27	13.6	7.9	0	0
Bus 116	Bus 134	28	13.6	8	0	0
Bus 111	Bus 110	29	98	65	0.05	0.01
Bus 123	Bus 50	30	13.6	8.4	0	0
Bus 50	Bus 51	31	6.9	4.3	0	0
Bus 133	Bus 200	32	35.5	22	0	0
Bus 200	Bus 125	33	35.5	22	0	0
Bus 125	Bus 126	34	35.5	22	0	0
Bus 126	Bus 117	35	35.5	22	0	0
Bus 117	Bus 17	36	8.5	5.2	0	0
Bus 117	Bus 18	37	27	16.7	0	0
Bus 18	Bus 19	38	12.2	7.6	0	0
					33.4	10.33

GLOBAL SUMMARY REPORT

TOTAL GENERATION

REAL POWER	[kW]	150
REACTIVE POWER	[kVAR]	89.63

TOTAL LOAD

REAL POWER	[kW]	116.6
REACTIVE POWER	[kVAR]	79.3

TOTAL SHUNT

REACTIVE POWER (IND) [kVAR]	0
REACTIVE POWER (CAP) [kVAR]	0
TOTAL LOSSES	38
REAL POWER [kW]	33.4
REACTIVE POWER [kVAR]	10.33

Fuente: Federico Milano. *Power System Analysis Toolbox* software.