
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROYECTO DE ELECTRIFICACIÓN RURAL DE LAS ALDEAS SANGREEN,
CUCANJÁ Y CHICOBÁN, MUNICIPIO DE SAN MIGUEL TUCURÚ**

TESIS

PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERIA
POR

SERGIO MARTÍN JIMÉNEZ PÉREZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, MAYO DE 1999

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA
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 tesis titulado:

**PROYECTO DE ELECTRIFICACIÓN RURAL DE LAS ALDEAS SANGREEN,
CUCANJÁ Y CHICOBÁN, MUNICIPIO DE SAN MIGUEL TUCURÚ**

Tema que fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 24 de febrero de 1994.


Sergio Martín Jiménez Pérez

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

NOMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Herbert René Miranda Barrios
VOCAL 1º.	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL 2º.	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
VOCAL 3º.	Ing. Jorge Benjamin Gutiérrez Quintana
VOCAL 4º.	Br. Dimas Alfredo Carranza Barrera
VOCAL 5º.	Br. José Enrique López Barrios
SECRETARIO	Inga. Gilda Marina Castellanos de Illescas

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN

GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Jorge Mario Morales
EXAMINADOR	Ing. Jose Luis Herrera Galvez
EXAMINADOR	Ing. Armando Galvez Castillo
EXAMINADOR	Ing. Edgar Florencio Montufar Urizar
SECRETARIO	Ing. Edgar Aurelio Bravatti Castro

Guatemala, 02 de Abril de 1,998.

Ingeniero
Juan Merck Cos
Coordinador de la Unidad
De Prácticas de Ingeniería y EPS
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Coordinador:

Por este medio me permito informarle que he realizado la revisión del trabajo de Tesis titulado "Proyecto de Electrificación Rural de las aldeas Sangreen, Cucanjá y Chicobán, Municipio de San Miguel Tucurú" y habiendo constatado que cumple con todos los objetivos que le dieron origen, extendiendo mi aprobación.

Así mismo, debo indicarle que tanto el autor de esta Tesis, como el suscrito en calidad de asesor, nos responsabilizamos por el contenido y conclusiones de la misma.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,


Ing. Héctor Moris Polanco Mazariegos

Guatemala, 21 de agosto de 1998.

Ing. Juan Merck Cos
Coordinador de la Unidad
de Prácticas de Ingeniería y EPS
Facultad de Ingeniería. USAC

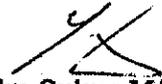
Señor Coordinador:

Por este medio me permito informar que el estudiante universitario **Sergio Jiménez Perez**, quien en su oportunidad fue designado para desarrollar el trabajo titulado **PROYECTO DE ELECTRIFICACIÓN RURAL DE LAS ALDEAS SANGREEN, CUCANJÁ Y CHICOBÁN, MUNICIPIO DE SAN MIGUEL TUCURÚ**, ha concluido satisfactoriamente su práctica de Ejercicio Profesional Supervisado, por tal razón, y luego de las revisiones pertinentes me permito trasladar el informe final para que se inicie el trámite de graduación correspondiente.

Este trabajo fue asesorado por el Ingeniero Electricista **Héctor Moris Polanco Mazariegos**, colegiado No. 919 y desarrollado bajo el patrocinio de la Municipalidad de San Miguel Tukurú, Alta Verapaz. El proyecto actualmente está instalado y funcionando en la Aldeas Chicobán, Cucanjá y Sangreen, municipio de Tukurú, departamento de Alta Verapaz. El estudiante participó en el diseño, la comparación de opciones, la gestión y trámite del proyecto.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Pedro Quirón Méndez
Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Eléctrica



FACULTAD DE INGENIERIA

REF.EPSC.169.98

Guatemala, 8 de septiembre de 1,998

Señor

Ing. Roberto Urdiales
Director de la Escuela
de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Presente

Señor Director:

Por medio de la presente, envío a usted, el Informe Final correspondiente a la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.) titulado **PROYECTO DE ELECTRIFICACION RURAL DE ALDEAS SANGREEN, CUCANJA Y CHICOBAN, MUNICIPIO DE SAN MIGUEL TUCURU.**

Este trabajo, lo desarrolló el estudiante universitario, **SERGIO JIMENEZ PEREZ**, quien fue debidamente asesorado por el **Ingeniero Héctor Moris Polanco Mazariegos** y supervisado por el **Ingeniero Pedro Quiroa Méndez.**

Por lo que, habiendo cumplido con los objetivos y los requisitos de Ley del referido trabajo, y existiendo la **APROBACION** del mismo, por parte del Asesor y Supervisor; ésta **COORDINACION** también **APRUEBA SU CONTENIDO**, solicitándole darle el trámite correspondiente.

Sin otro particular, me es grato suscribirme de usted.

Muy Atentamente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

ING. JUAN MERCK COS
COORDINADOR DE E.P.S.



JMC/lgg.

c.c.: Archivo

Anexo: El Informe mencionado.



FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, 23 de octubre de 1,998

Señor Director
Ing. Roberto Urdiales Contreras
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica.

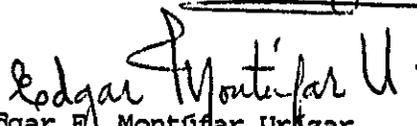
Señor Director.

Me permito dar aprobación al informe final de E.P.S. realizado por el estudiante Sergio Martín Jiménez Pérez, titulado: Proyecto de electrificación rural de las aldeas: Sangreen, Cucanjá y Chicobán, del municipio de San Miguel Tucurú, 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. Edgar F. Montúfar Urdiaz
Coordinador Área de Potencia a.i.

EFMU/sdem.



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 Area, al trabajo de E.P.S. del estudiante Sergio Martín Jiménez Pérez, titulado: Proyecto de electrificación rural de las aldeas Sangreen, Cucanjá y Chicobán, municipio de San Miguel Tucurú, procede a la autorización del mismo.

Ing. Roberto Urdiales Contreras

Director

Guatemala, 24 de febrero de 1,999.



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al trabajo de E. P. S. titulado: Proyecto de electrificación rural de las aldeas Sangreen, Cucanjá y Chicobán, municipio de San Miguel Tucurú, del estudiante: Sergio Martín Jiménez Pérez, procede a la autorización para la impresión de la misma.

IMPRIMASE:

Ing. Herbert René Miranda Barrios

Decano



Guatemala, mayo de 1,999.

AGRADECIMIENTOS

A DIOS

A MIS PADRES

Martín Jiménez y Victoria Pérez de Jiménez.

A MIS ABUELITAS

Tanchito Perez y María de Jiménez (Q.E.P.D.)

A MI ESPOSA

Elisa Kunce de Jiménez

A MI HIJA

Stacy Jiménez Kunce

A MIS HERMANOS

Silvia, Leonel, Raúl y Roberto

A MI FAMILIA

A mis sobrinos: Ernesto, Gabriel, Silvia, y Vicky Quiñónez Jiménez; Erick, Javier y Vivi Jiménez. A mis suegros: Fernando (Q.E.P.D.) y Kandy de Kunce. A mi cuñado: Estuardo Quiñónez,

AL ING. HÉCTOR MORIS POLANCO

Por la colaboración en el desarrollo del presente trabajo.

AL ING. EDGAR MONTUFAR

Gracias por la colaboración y orientación en la elaboración del presente trabajo.

AL ING. CARLOS FERNÁNDEZ

Gracias por su constante insistencia para la finalización del presente trabajo.

A MIS AMIGOS

A LA FACULTAD DE INGENIERÍA

A LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

ACTO QUE DEDICO

A DIOS

Fuente de sabiduría.

A MIS PADRES

Martín Jiménez y Victoria Pérez de Jiménez. Gracias por sus sabios consejos y por el apoyo que me han brindado siempre.

A MIS ABUELITAS

Tanchito Pérez y María de Jiménez (Q.E.P.D.), como recompensa de su descendencia.

A MI ESPOSA

Elisa Kunce de Jiménez, porque es alguien especial en mi vida.

A MI HIJA

Stacy, como muestra del gran amor que le tengo.

A MIS HERMANOS

Silvia, Leonel, Raúl y Roberto, por apoyarme en todo momento.

A MI FAMILIA

En especial a mis sobrinos: Ernesto, Gabriel, Silvia, y Vicky Quiñónez Jiménez; Erick, Javier y Vivi Jiménez. A mis suegros: Fernando (Q.E.P.D.) y Kandy de Kunce por su apoyo y cariño

A MIS AMIGOS

Gracias a todos, pues forman parte importante en mi vida.

A LA FACULTAD DE INGENIERÍA

A LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

ÍNDICE GENERAL

LISTA DE ILUSTRACIONES	v
LISTA DE ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS	viii
GLOSARIO	x
INTRODUCCIÓN	xiii
1. CARACTERÍSTICAS DEL MUNICIPIO DE SAN MIGUEL TUCURÚ	
1.1 Localización y lugares poblados	1
1.2 Área de diseño	2
1.3 Características físicas	3
1.4 Población	4
1.4.1 Tasa de crecimiento poblacional	4
1.5 Actividad económica	7
1.5.1 Población económicamente activa (PEA).....	7
1.5.2 Población ocupada y desocupada	8
1.6 Agricultura y comercio	8
1.6.1 Actividad agrícola	8
1.6.2 Comercio	9
1.7 Transporte y vías de acceso	9
1.7.1 Transporte	9
1.7.2 Servicio de transporte	10
1.7.3 Estructura vial municipal	10
2. CONDICIONES ACTUALES DE LA RED DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA CABECERA MUNICIPAL SAN MIGUEL TUCURÚ	
2.1 Introducción	12
2.2 Red eléctrica de distribución primaria y secundaria de San Miguel Tucurú	13
2.2.1 Generalidades	13

2.2.2	Condiciones de la red de distribución de la cabecera municipal.	14
2.3	Servicio de alumbrado público	15
2.4	Características de los consumidores	15
2.5	Pronósticos del mercado	16
2.5.1	Área del mercado	16
2.5.2	Comportamiento de la demanda del mercado	17
2.5.3	Comportamiento de la demanda del mercado proyectándola al año 2,000	17
2.6	Aplicaciones del modelo elegido	20
2.7	Alternativas energéticas	21
2.7.1	Hidroeléctricas	21
2.7.2	Energía eléctrica del INDE	21
2.8	Descripción de la planta eléctrica de Cucanjá	21
2.8.1	Especificaciones técnicas	22
2.8.2	Estado actual del la hidroeléctrica Cucanjá	23
2.8.3	Observaciones	24
2.8.4	Factibilidad de repararla y ponerla en funcionamiento	24
3.	INGENIERÍA DE LA RED DEL PROYECTO	
3.1	Consideraciones generales y normas	26
3.1.1	Diseño de la red	26
3.1.1.1	Estructuras utilizadas	26
3.1.1.2	Vanos entre estructuras de una red de distribución	27
3.1.1.3	Retenidas y anclas	28
3.1.1.4	Retorno por hilo neutro	31
3.1.1.5	Red primaria y secundaria	31
3.1.1.6	Protección de la red de distribución	37
3.1.1.6.1	Cortacircuitos y fusibles	38
3.1.1.7	Acometidas	39
3.1.1.8	Mecánica de las líneas	40
3.1.1.8.1	Dilatación y alargamiento de los cables .	45
3.1.1.8.2	La catenaria	48

3.2	Diseño de la Red de Electrificación Rural	49
3.3	Mediciones de ruta	51
3.3.1	Zonificación del lugar	51
3.3.2	Alimentación de la red	52
3.3.3	Determinación del tipo de estructura a utilizar	52
3.4	Cálculos eléctricos	53
3.4.1	Selección de transformadores	53
3.4.2	Selección del conductor	54
3.4.2.1	Cuidados especiales con la selección del conductor	55
3.5	Cálculos eléctricos y mecánicos por comunidad	56
3.5.1	Comunidad Chicobán y Chimay Saquijá	56
3.5.2	Comunidad Cucanjá	64
3.5.3	Comunidad Sangreen	66
4.	EVALUACIÓN Y ANÁLISIS ECONÓMICO DEL PROYECTO	
4.1	Introducción	69
4.2	Generalidades	70
4.3	Financiamiento	72
4.4	El valor del dinero en el tiempo	75
4.4.1	Introducción al proyecto	76
4.4.1.1	Costos totales	76
4.4.1.2	Costos de inversión	77
4.4.2	Costos de operación y mantenimiento	78
4.5	Pérdidas	78
4.5.1	Costos de energía	78
4.5.1.1	Costos de pérdidas eléctricas	79
4.6	Ingresos	82
4.6.1	Beneficios	82
4.7	Criterios de decisión	82
4.8	Análisis de resultados	83
5.	ACTUALIZACIÓN SOBRE EL DESARROLLO DEL PROYECTO	
5.1	Generalidades	85

5.1.1	Diseño final de construcción	85
5.1.2	Comparaciones generales	86
5.2	Presupuesto final	87
5.3	Beneficiarios finales	88
5.4	Indices	90
5.4.1	Consumos	90
5.4.2	Tarifas	90
5.4.3	Mantenimiento	93
5.4.4	Calidad de servicio	94
5.5	Proyección futura	97
5.5.1	Mejoras	97
5.5.1.1	Mejoras a corto plazo	97
5.5.1.2	Mejoras a mediano plazo	97
5.5.1.3	Mejoras a largo plazo	98
5.6	Lo que se debe hacer para rehabilitar la hidroeléctrica de Cucanjá	98
CONCLUSIONES		102
RECOMENDACIONES		105
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS		106
BIBLIOGRAFÍA		107
APÉNDICE		108
ANEXOS		
ANEXO I Presupuesto y listado de materiales utilizados en los diseños a nivel proyecto		111
ANEXO II Estructuras típicas para distribución utilizadas en el presente diseño..		123
ANEXO III		
Levantamiento de catastro de la Red Eléctrica de Distribución de San Miguel Tucurú; departamento de Alta Verapaz		133
Planos comunidades Chicobán, Cucanjá, Sangreen, diseño a nivel proyecto.		134
Planos comunidades Chicobán, Cucanjá, Sangreen, diseño a nivel construcción		138

LISTA DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

No.	Título	Pág.
1	Representación esquemática de la ubicación de las comunidades en estudio	2
2	Representación esquemática red de distribución de energía eléctrica del municipio de Tukurú	9
3	Representación de las fuerzas vectoriales en una estructura debido al anclaje	23
4	Representación de la catenaria en una línea de transmisión	34
5	Representación de la catenaria en una línea de transmisión, con apoyos a diferente nivel	36
6	Perfil del terreno, tramo del barranco, Comunidad Chicobán	40
7	Evolución del consumo per cápita de Electricidad vrs Crecimiento Económico	49
8	Plano de catastro de electricidad, municipio San Miguel Tukurú.....	Anexo IV

TABLAS

No.	Título	Pág.
I	Tenencia de la tierra en el municipio de San Miguel Tucurú, Alta Verapaz	1
II	Estimaciones de densidad de población por km cuadrado, para los años 1,992 - 1,995	4
III	Censo Poblacional 1,993, realizado por administración Municipal ..	4
IV	Población Rural estimada para el año 2,000	5
V	Distribución de la PEA departamental, por sectores de actividad	5
VI	Producción Agrícola con relación a nivel departamental	7
VII	Consumo de energía eléctrica, municipio San Miguel Tucurú, Alta Verapaz	10
VIII	Alumbrado Público 1,993 – 1,995	11
IX	Comportamiento de la demanda del área del mercado	12
X	Proyección del número de viviendas para el año 2,000	13
XI	Consumo total anual 1,993 – 1,995	13
XII	Proyección de la demanda promedio estimada por comunidad para el año 2,000	14
XIII	Nomenclatura empleada por el INDE para clasificación de estructuras en 7.62 Kv	21
XIV	Tramos en distribución primaria con secundario	22
XV	Postes y tramos en distribución secundaria	22
XVI	Comportamiento de la tensión del tirante en función de β y L	24
XVII	Holguras en distribución primaria	27
XVIII	Holguras en distribución secundaria	27
XIX	Clasificación de usuarios por tipo de vivienda	30
XX	Tablas de fusibles clase T (preferidos) para alimentadores monofásicos	32
XXI	Valores de b y e, para los cables más utilizados en distribución rural, aplicación caso comunidad Chicobán	43

XXII	Características de los postes de concreto	43
XXIII	Porcentaje de los costos totales de proyectos financiados con Fondos de Organismos Internacionales	52
XXIV	Resumen de costos de materiales por comunidad	53
XXV	Costo totales de Inversión del proyecto	53
XXVI	Análisis económico por año para el período en estudio	56
XXVII	Resumen de costos de materiales por comunidad, proyecto a nivel construcción	57
XXVIII	Costo totales de inversión del proyecto a nivel construcción	58
XXIX	Beneficiarios finales del proyecto de electrificación rural	59
XXX	Consumo anual promedio de 1,995	60
XXXI	Consumo de enero de 1,998	60
XXXII	Costo de la baja calidad en el servicio eléctrico de países seleccionados	63

LISTA DE ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS

A	Amperio
AA	All Aluminium
ac	Corriente alterna
ACSR	Cable de aluminio reforzado con acero
AWG	American Wire Gauge
FONAPAZ	Fondo Nacional para la Paz
Hz	Ciclos por segundo
hp	Caballos de fuerza
I	Corriente eléctrica
IGM	Instituto Geográfico Militar
INDE	Instituto Nacional de Electrificación
INFOM	Instituto de Fomento Municipal
INSIVUMEH	Instituto Nacional de Sismología, vulcanología, meteorología e Hidrología.
kg	Kilogramo
km	Kilómetro
kW	Kilovatio
kV	Kilovoltio
kVA	Kilovoltio Amperio
kWh	Kilovatio hora
mm	Milímetro
N	Newton
No.	Número
N / m	Newton / metro
PF	Factor de potencia
Q	Quetzales
rpm	Revoluciones por minuto

s	Segundos
SEGEPLAN	Secretaria General del Consejo Nacional de Planificación Económica
VA	Voltio amperio
W	Vatio
\$	Dólar
%	Porcentaje
Σ	Sumatoria

GLOSARIO

Acometida	Están formadas por los conductores y accesorios que conectan la línea de distribución secundaria del punto de toma al punto de entrega. (Inmueble servido).
Aislamiento	Conjunto de dispositivos capaces de separar partes de equipos o instalaciones con diferencia de potencial.
Alta tensión	Aplicable a tensiones mayores de 600 voltios.
Ciclométrico	Período de tiempo o intervalos que, acabados, se vuelven a contar.
Circuito primario	Es el formado por líneas de distribución primaria con sus equipos de protección y suministran energía a los transformadores de distribución.
Circuitos secundarios	Es el formado por las líneas de distribución que se inician en el secundario del transformador de distribución.
Conductor	Medio utilizado para transporte de corriente eléctrica.
Consumidor o usuario	Persona individual o jurídica que adquiere el servicio eléctrico del INDE, a través de su acometida de servicio.
Corriente eléctrica	Flujo ordenado de electrones entre dos puntos de un medio conductor, al existir una diferencial de potencial eléctrico entre los mismos.

Consumo	Cantidad de energía utilizada en un periodo de tiempo determinado.
Demanda	Máximo valor de potencia registrado por un registrador demandómetro durante un periodo de tiempo determinado.
Demanda estimada	Es el valor de la potencia determinado de acuerdo a la carga instalada y al incremento de carga.
Demanda máxima	Es la potencia mayor requerida durante un periodo de tiempo (kilovatios).
Factor de potencia	Relación entre la potencia real y la potencia aparente de un circuito de corriente alterna ($\text{Cos } \phi$).
Frecuencia eléctrica	Característica de la corriente alterna de repetirse en intervalos de tiempo iguales (ciclos por segundo).
Hidroeléctrica	Se refiere a energía eléctrica obtenida por fuerza hidráulica.
Kilovatio	Unidad de potencia real que se usa en un circuito de corriente alterna.
Kilovatio – hora	Unidad práctica que equivale al consumo de energía eléctrica durante una hora.
Pararrayos	Dispositivo que tiene la propiedad de reducir el nivel de voltaje de una onda de sobretensión aplicada a sus terminales, pasando la intensidad de la onda a tierra.

Sobrecarga	Uso excesivo de la capacidad de potencia que puede suministrar un circuito eléctrico; provocando sobrecalentamiento.
Tarifa	Medio del cual se vale el INDE para que el cobro para el servicio prestado sea representativo del esfuerzo para servir.
Tensión	Diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos.
Transformador	Máquina estacionaria utilizada para transferir energía eléctrica de corriente alterna de un circuito a otro por medios electromagnéticos. Transformando los valores de tensión y corriente que recibe respecto a los que suministra.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de tesis constituye un aporte de carácter social, de la Universidad de San Carlos de Guatemala, la Unidad de Ejercicio Profesional Supervisado y la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al esfuerzo inicial de la Alcaldía del municipio de San Miguel Tucurú en el departamento de Alta Verapaz. El mencionado esfuerzo buscaba generar un anteproyecto de electrificación rural para varias comunidades pertenecientes al municipio y así lograr el financiamiento correspondiente por parte de organismos internacionales interesados en colaborar en el bienestar de los lugares más remotos del país.

El equipo de epesistas fue asignado a cumplir la función anteriormente descrita, de octubre a diciembre de 1,993, y se lograron los resultados que resume este informe.

El propósito fundamental fue llevado a cabo exitosamente y posteriormente se logró el objetivo final o sea la ejecución física de las obras, de las cuales podemos estar orgullosos por haber colaborado de una u otra forma para hacer este proyecto una realidad.

En el diagnóstico del municipio se trata de presentar una caracterización, bajo una doble visión: una global y otra específica, concurrentes ambas a lograr una apreciación integrada de la realidad que viven estas comunidades que se encuentran olvidadas y abandonadas en el interior de la República.

Una de las principales razones de este trabajo es la de verificar y aplicar la metodología elaborada de la ingeniería, a partir de la información disponible y bajo restricciones del equipo adecuado, ya que se carecía del mismo, por lo que se han considerado únicamente los aspectos más relevantes en la formulación del problema y la solución a darle.

La relación de los aspectos a ser analizados entre el proyecto a nivel diseño y a nivel ejecución, así como la presentación de los correspondientes criterios adoptados en la elaboración de los correspondientes diseños, se indican en los capítulos 3 y 5; respectivamente. En el anexo No. II, pueden consultarse los planos referentes a dichos análisis.

De la investigación de campo elaborada y del análisis de la información recabada, se permitieron formular algunas conclusiones y recomendaciones que aparecen en la parte final del presente informe.

1. CARACTERÍSTICAS DEL MUNICIPIO DE SAN MIGUEL TUCURÚ

1.1 Localización y lugares poblados

El presente estudio de electrificación rural se realizó en las comunidades denominadas: Sangreen y Chimay Saquijá, las cuales se encuentran catalogadas como caseríos Cucanjá y Chicobán. A la vez, como aldeas pertenecientes al municipio de San Miguel Tukurú, departamento de Alta Verapaz.

La cabecera municipal se encuentra ubicada a 48 kilómetros de San Julián, lugar localizado en el kilómetro 180 de la carretera que conduce a Cobán. Este municipio tiene 96 kilómetros cuadrados de area. Equivalente a un 1.02 % del territorio departamental. Colinda al Norte con Senahú; y San Pedro Carchá, al Este con Senahú y Panzos, al Sur con Purulha (Departamento de Baja Verapaz); y al Oeste con Tamahú y San Juan Chamelco.

Según los datos del listado de lugares poblados del Censo de 1,973, el municipio cuenta con: 1 pueblo, 2 aldeas, 28 caserios y 32 fincas en donde residen los trabajadores de las mismas, sin ser los propietarios. La cantidad de fincas inscritas en el Registro General de la Propiedad, que componen estos lugares pueden verse en la tabla a continuación

Tabla I Tenencia de la tierra en el municipio de San Miguel Tucurú, Alta Verapaz

Descripción	Fincas		Superficie		Propietarios	
	Cantidad	%	Manzanas	%	Cantidad	%
Microfincas	738	32.61	406	1.82	279	52.25
Sub-Familiar	1,485	65.62	3,307	14.81	223	41.76
Familiares	17	0.75	331	1.48	9	1.68
Multifamiliar media	20	0.88	10,709	47.97	20	3.75
Multifamiliar Grande	3	0.14	7,571	33.42	3	0.56
Total	2,263	100	22,324	100	534	100

Fuente: Secretaría General del Consejo Nacional de Planificación Económica, SEGEPLAN. Estudios Integrados de Areas Rurales, Fase de Integración. Guatemala 26 de abril de 1,982.

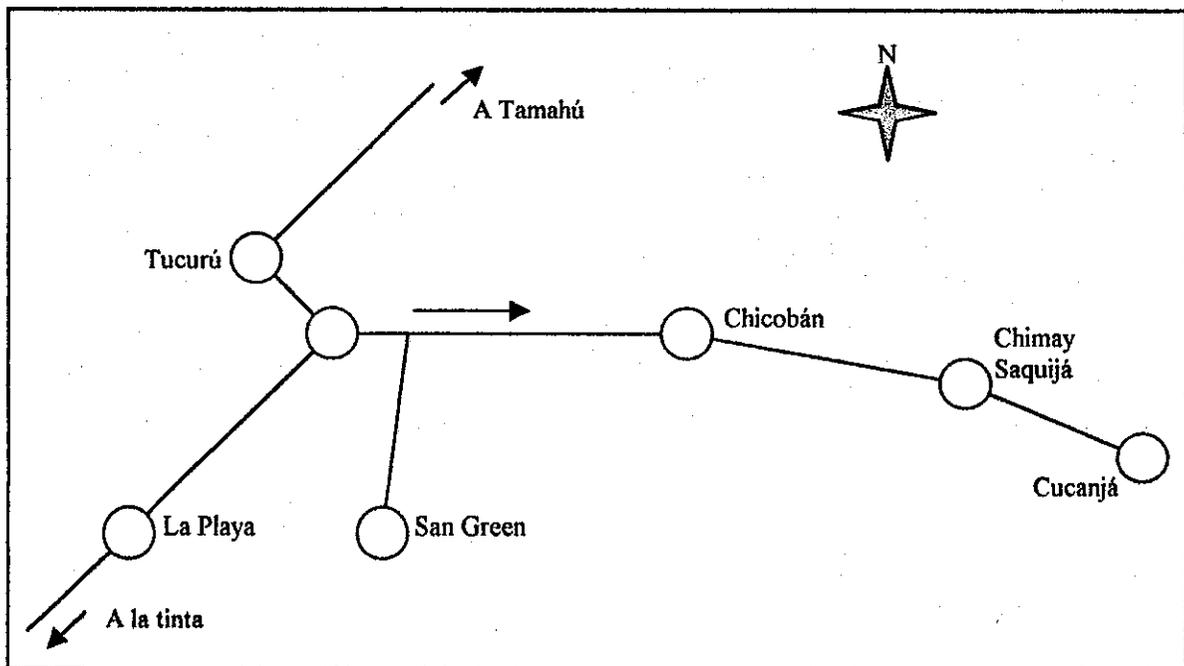
1.2 Area de diseño

En el presente trabajo se define como área de diseño, la zona donde están ubicadas las comunidades mencionadas que abarca el estudio de electrificación rural. En el siguiente figura se muestra una representación esquemática de la ubicación de las comunidades en estudio.

La extensión territorial del proyecto es aproximadamente de 10 kilómetros cuadrados que representan el 10.42 % del área total del municipio.

A manera de ubicación, se deja esclarecido que de estos lugares únicamente el caserío de Sangreen es el único que se encuentra ubicado en una derivación de la ruta principal, ya que la red vial del lugar comunica a los otros en forma consecutiva (Ver figura 1).

Figura 1 Representación esquemática de la ubicación de las comunidades en estudio.



1.3 Características físicas

La configuración topográfica de la cabecera municipal es bastante ondulada, en igual forma la de las comunidades que la circundan.

En cuanto a las características climáticas, del área de San Miguel Tukurú, el 80.17 % está ubicada en una zona cálida y muy húmeda con vegetación de bosque húmedo subtropical cálido; y el 19.83 % en zona templada fría pluvial con vegetación de bosque pluvial montano bajo.

En la zona predominan las quebradas y barrancos bastante pronunciados, por donde corren algunos ríos y riachuelos. Entre los accidentes hidrográficos principales, se destacan los ríos Pamoxón, Cucanjá y el Polochic, que atraviesa el municipio de Oeste a Este y los riachuelos El Zapote, El Porvenir, Chajcap, El Rincón, Cuchil, Chulunj, El Rastro, El Tacuacín, Yococho, San Francisco, Tunelí, Pachilí, Raxquix, Paij y Pantoc; entre otros.

1.4 Población

De acuerdo con las cifras del censo de población realizado a principios de 1,993 por la administración municipal, el municipio de San Miguel Tucurú tenía 14,648 habitantes, quienes representan, únicamente, un 4.00% de la población departamental; de estos, 887 habitantes (6.06 %) residen en el área urbana y 13,761 habitantes (93.94%), en el área rural.

Según el último censo de población realizado por las autoridades municipales del lugar respecto a las comunidades objeto del estudio de electrificación, la población se muestra en la tabla II.

Tabla II Censo Poblacional 1,993, realizado por administración Municipal

Comunidad	Población
Sangreen	746
Chicobán	1802
Chimay Saquijá	276
Cucanjá	590

1.4.1 Tasa de crecimiento poblacional

De acuerdo con las tasas de densidad de población por km cuadrado calculadas por el INE, para los períodos 1,992 – 1,995 (ver tabla 3) se llegan a las siguientes conclusiones:

- a. La densidad de población, en Alta Verapaz, ha sido siempre menor con relación a la del país, desde 1,964 a 1,981, excluido el departamento de Guatemala, y durante ese lapso, el cociente entre las densidades departamental y nacional, anteriormente señaladas ha venido disminuyendo.

- b. En lo que se refiere al municipio de Tukurú, su densidad en 1,981 era de 133.84 habitantes por kilómetro cuadrado, según datos del censo de 1,981, y de 174.42 habitantes por kilómetro cuadrado, según las cifras del INFOM. (Instituto de Fomento Municipal, INFOM. Departamento de Informática – Estudios Integrados de Areas Rurales. Perfil de Municipios, datos al año 1,981).

Tabla III Estimaciones de densidad de población por km cuadrado, para el periodo 1,992 - 1,995.

Municipio	1992	1993	1994	1995
1. Cobán	2,512.9	2,574.5	2,631.1	2,691.7
2. Sta. Cruz Verapaz	473.8	510.5	549.9	592.3
3. San. Cristobal Verapaz	153.63	159.93	166.46	173.22
4. Tactic	79.41	83.26	87.27	91.46
5. Tamahú	148.5	152.4	156.4	160.5
6. Tukurú	142.8	144.8	146.8	148.8
7. Panzos	344.4	351.5	358.8	366.2
8. Senahú	253.8	257.0	260.1	263.4
9. San Pedro Carchá	852.5	866.3	880.2	894.3
10. San Juan Chamelco	728.4	759.9	792.7	826.7
11. Lanquín	165.4	167.8	170.2	172.7
12. Cahabón	354.8	382.3	411.8	443.6
13. Chisec	244.0	256.7	270.0	284.0
14. Chahal	87.2	88.9	90.5	92.2
15. Fray Bartolome de Las Casas	431.9	465.3	501.3	540.0

Según información general del INE (Instituto Nacional de Estadística) la tasa de crecimiento anual por comunidades como las estudiadas es de un 4 % anual; sin embargo en este caso, dicha tasa es de 1.38% en promedio para el municipio de Tukurú, razón por lo que se estimó ajustarla hacia 1%.

De la tabla III, se puede observar que el comportamiento de la población total de Tukurú y su tasa de crecimiento están abajo del promedio del departamento, según los datos anteriores. Estas poblaciones siguen el comportamiento de la ecuación siguiente, que es una modificación de Murphy a la función logística. En donde al aplicar la misma a las comunidades en mención se espera obtener un margen de error bastante aceptable.

$$P_t = P_o (1+r)^n$$

En donde:

P_t = Población en t (año a estimar)

P_o = Población año base (conocida)

r = Tasa de crecimiento anual

n = Numero de años entre el año cero y el año base

La aplicación de esta variante conduce a estimaciones confiables de población rural y total a nivel municipal en el caso de Guatemala, según el INE.

Aplicando la fórmula anterior es posible poder predecir la cantidad de crecimiento poblacional para determinado número de años en el futuro. En este caso interesa conocer dicha información proyectando el diseño para un plazo de 5 años; es decir, para el 2,000.

Por medio de una calculadora programable, podemos ingresar los datos para cada una de las anteriores comunidades y obtener los siguientes resultados:

Tabla IV Población rural estimada para el 2,000.

Comunidad	Población
Sangreen	907
Chicobán	2,192
Chimay Saquijá	335
Cucanjá	717

1.5 Actividad económica

1.5.1 Población económicamente activa (PEA)

Las estimaciones de población urbana y rural por departamento (fuente: INFOM Censo de 1,991), indican que el municipio de Tukurú tiene una PEA de 3,185 personas, equivalente al 24.78 % de su población total que en este año es de 12,853 habitantes; porcentaje que era menor al correspondiente de la PEA departamental (27.66 %).

Como referencia y de acuerdo a las estimaciones de población de la SEGEPLÁN, para 1,980, la PEA del país descontando el departamento de Guatemala, era de 29.24 %, y la PEA departamental 31.37 %, porcentajes estos, superiores a las cifras del Censo de Población de 1,981.

Con relación a la distribución de la PEA por sectores de actividad, SEGEPLÁN sólo dispone de información a nivel departamental, para 1,990 con la siguiente distribución estimada.

Tabla V Distribución de la PEA departamental, por sectores de actividad

Actividad	Porcentaje
Agrícola	78.45
Minería	0.25
Industria	7.77
Construcción	2.13
Comercio y servicios financieros	3.62
Servicios	6.72
Otros sectores	1.06

1.5.2 Población ocupada y desocupada

En cuanto a la población económicamente activa ocupada, el censo de 1,991, indica que el municipio de Tukurú, representaba el 97.80 % de la PEA; con una relación de dependencia de 4.12 personas dependientes por cada persona ocupada.

De las cifras anteriores se puede observar que la relación de dependencia de este municipio era mayor a la departamental, la cual se registro como de 2.65, y a la del país con excepción del departamento de Guatemala (2.84 dependientes por persona ocupada).

1.6 Agricultura y comercio

1.6.1 Actividad agrícola

La actividad agropecuaria en el municipio de Tukurú, según datos de 1,982 se desarrolla en 2,263 fincas, que ocupan 22,324 manzanas, y que pertenecen a 534 propietarios.

De la superficie destinada a la producción agropecuaria, el porcentaje mayor está dedicado a los siguientes grupos de cultivos:

- a. 76.32 % de cultivos anuales, pastos naturales y bosque mixto abierto.
- b. 4.84 % de área con cultivo de café.
- c. 4.04 % de pastos naturales y cultivos anuales.
- d. 4.04 % de bosque denso predominantemente coníferas.

- e. 4.04 % de pastos cultivados y cultivos anuales.
- f. 3.50 % de pastos naturales y cultivados, cultivos anuales, principalmente granos básicos, tales como frijol, maíz, arroz etc.

El porcentaje de producción de estos productos con relación a la departamental era, según estimaciones del censo realizado en 1,991, la siguiente:

Tabla VI Producción Agrícola con relación a nivel departamental

Producto	Porcentaje
Café	35.33
Palma Africana	69.97
Cardamomo	1.50
Frijol	0.14

1.6.2 Comercio

La actividad comercial en la cabecera municipal es bastante grande a pesar de su pequeña área, los habitantes de estas comunidades se dedican principalmente a la venta de los productos agrícolas mencionados arriba, así como a otras actividades de carácter comercial entre las cuales podemos encontrar una diversidad de comercios tales como: tiendas, panaderías, carnicerías, etc. El mercado municipal es el centro de la afluencia comercial para todas las comunidades que conforman este municipio, el cual fue, construido en el año de 1,976 consta de 11 locales y 312 pisos en plaza: sus condiciones de equipamiento son regulares.

1.7 Transporte y vías de acceso

1.7.1 Transporte

Uno de los principales medios para el desarrollo de una región lo constituye la infraestructura vial y los sistemas de transporte y comunicaciones.

Las actuales condiciones de la infraestructura vial departamental y municipal se constituyen en limitantes de su desarrollo como consecuencia de una serie de efectos restrictivos, que contribuyen a mantener o reforzar la problemática económica y social.

Es así que la incompleta y deficiente infraestructura vial es factor obstaculizador para:

- a. El desarrollo de las actuales actividades productivas, como para el establecimiento de nuevas actividades económicas.
- b. Una mejor interacción e integración de los grupos sociales.
- c. El acceso de la población a las áreas y centros generadores de empleos, de mercado y de prestación de servicios productivos y sociales.
- d. Finalmente, a la adecuada conformación de subsistemas espaciales funcionales, por lo tanto, una más eficiente relación entre lugares poblados, las áreas rurales y los centros urbanos.

1.7.2 Servicio de transporte

El municipio de Tukurú cuenta con dos líneas de transporte extraurbano con servicio diario que lo conecta a la ciudad de Cobán.

1.7.3 Estructura vial municipal

La principal vía de comunicación de la Ciudad Capital al municipio de Tukurú es la Carretera Nacional 7E que lo conecta a la ciudad de Cobán por medio de la carretera Nacional CA14; que también lo comunica al Este, con los municipios de Senahú y Panzós y por el Oeste con el departamento de Izabal.

El municipio cuenta en la actualidad con aproximadamente 106 km de vías, de las cuales unos 50 km (47.17 %) son transitables todo el año y 56 km (52.83 %) son transitables únicamente en tiempo seco.

Del total de lugares poblados con que cuenta el municipio, aproximadamente 59, únicamente 6 (10.17 %), tienen acceso directo a vía principal transitable todo el año.

El resto de los lugares poblados, 89.83 % del total, sólo tienen acceso a través de caminos vecinales y trochas, que son transitables únicamente en época seca. Lo que nos indica las bajas condiciones de accesibilidad que presenta el municipio.

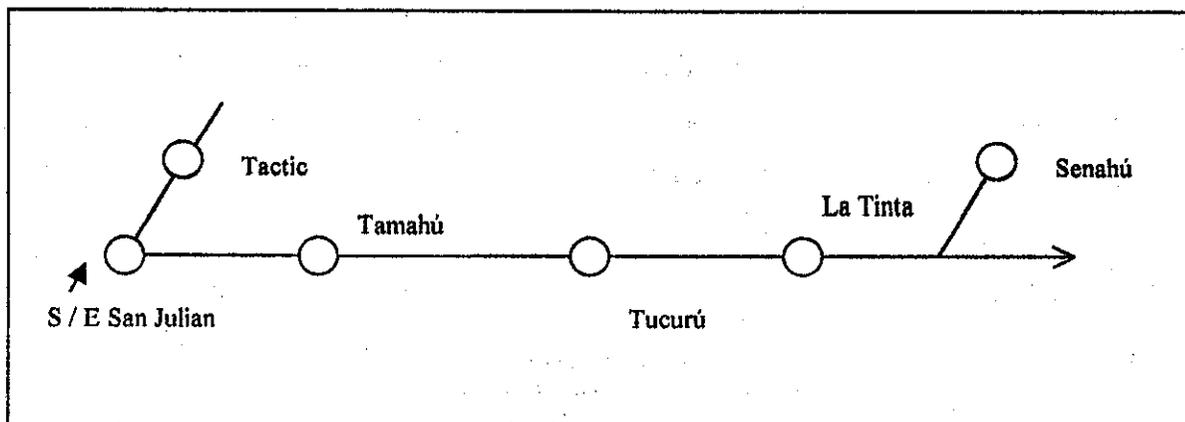
Por lo tanto, uno de los principales problemas que presenta el municipio es la deficiencia de su infraestructura vial, tanto por la carencia de vías rurales adecuadas como por las condiciones inadecuadas de algunos tramos en sus vías principales.

2. CONDICIONES ACTUALES DE LA RED DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA CABECERA MUNICIPAL SAN MIGUEL TUCURÚ

2.1 Introducción

La red de energía eléctrica del municipio de San Miguel Tukurú forma parte del sistema interconectado del país. En el sector de río Polochic existe un ramal que parte de la subestación San Julián, por un lado abastece de energía eléctrica a los municipios de Senahú; La Tinta y Tukurú, por el otro al municipio de Tactic; este sistema es del tipo radial, trifásico, 13.2 kV. (Ver figura 2).

Figura 2 Representación esquemática red de distribución de energía eléctrica del municipio de Tukurú.



A pesar del potencial de los ríos que atraviesan este lugar no se cuenta actualmente con ninguna planta hidroeléctrica para uso comunitario, aunque si existió una hace años, cuyas características y especificaciones se describen más adelante.

2.2 Red eléctrica de distribución primaria y secundaria de San Miguel Tucurú

2.2.1 Generalidades

Inicialmente se proveía de servicio eléctrico a las comunidades de Cucanjá y Chicobán, a través de una hidroeléctrica ubicada sobre el río Cucanjá, aunque desafortunadamente debido a la falta de uso de la misma, cuando el municipio se incorporó al Sistema Nacional Interconectado del país, cayó en el abandono total.

La red de distribución de energía eléctrica del municipio de San Miguel Tucurú se integró al Sistema Nacional Interconectado del Instituto Nacional de Electrificación, INDE, el 08 de enero de 1,981 con el propósito de prestar a estas comunidades una mejor calidad y continuidad del servicio eléctrico, ya que no es conveniente desde ningún punto de vista que la fuente de suministro total de electricidad de algún lugar se encuentre confiada a una sola hidroeléctrica.

Según el informe estadístico de 1,993 – 1,995 del Instituto Nacional de Electrificación, INDE, Departamento de Planificación, Unidad Económica Financiera, se tenían los datos mostrados en los cuadros de ventas de energía eléctrica al detalle del departamento de Alta Verapaz (Anexo I). A continuación se resumen parte de los mismos:

Tabla VII Consumo parcial de energía eléctrica, municipio de San Miguel Tucurú, Alta Verapaz

Año	Residencial			Comercial			Industrial		
	Usuario	kWh	Cargo (Q)	Usuario	kWh	Cargo (Q)	Usuario	KWh	Cargo (Q)
1,993	130	104,800	37,912	45	77,670	37,927	1	120,000	59,187
1,994	134	114,334	43,176	44	82,355	39,321	1	69,120	33,336
1,995	137	137,200	52,563	50	116,026	54,487	1	109,440	46,293

Fuente: Unidad Económica Financiera, Departamento de Planificación, INDE. Años 1,993 – 1,995

De la tabla anterior se puede observar el crecimiento en usuarios que ha tenido el municipio en mención, el cual es bastante bajo y va en relación al nivel de crecimiento poblacional; es decir, sigue un comportamiento decreciente.

2.2.2 Condiciones de la red de distribución de la cabecera municipal

Por medio de observaciones visuales se pudo comprobar que en la actualidad la red alimenta únicamente viviendas de tipo urbano. Es de hacer notar que el diseño inicial de la red fue hecho para alimentar exclusivamente cargas de tipo residencial 120/240 V monofásico, y aún en la actualidad, no se ha registrado un considerable aumento de cargas, especialmente de tipo trifásico.

Las cargas son alimentadas a través de cinco transformadores monofásicos, con una capacidad de 15 kVA cada uno, el calibre del conductor en la línea primaria es un No.4 AWG ACSR para la fase y en el secundario tiene tres conductores calibre No.2 AWG. Para el neutral se cuenta también un conductor No. 4 AWG ACSR. Actualmente, pueden observarse una mínima cantidad de extensiones de servicio eléctrico, pues debido a la ubicación geográfica de este municipio su crecimiento a nivel de desarrollo es muy lento.

Para determinar el comportamiento del voltaje en la población se efectuaron una serie de mediciones; de lunes a viernes, de octubre a diciembre de 1,993, como entre las 07:00 y 09:00 horas de la mañana, 06:00 y 08:00 horas de la tarde, por ser éstas las horas pico. Se llegó a determinar que el servicio es bastante aceptable ya que el voltaje oscila entre 108.2 V como mínimo y 118.2 V como máximo. Según el INDE el Voltaje nominal de la región es de 120 V. Tomando el valor mínimo de 108.2 V y dividiéndolo entre el voltaje nominal, 120 V, se obtiene un 10.9% de regulación de voltaje en este lugar.

En el anexo V se muestra el plano que contiene la información del levantamiento de campo de como se encuentra actualmente la red de distribución eléctrica del municipio de San Miguel Tucurú, el mismo fue levantado por el equipo de estudiantes de E.P.S. asignados al lugar.

2.3 Servicio de alumbrado público

El servicio de alumbrado público de la cabecera municipal de San Miguel Tucurú en términos generales se puede decir que es suficiente, ya que como se ha indicado el crecimiento de esta población ha sido bastante reducido y no ha existido la necesidad de ir ampliando dicho servicio. En la actualidad, cuenta con 28 lamparas de vapor de mercurio ubicadas en los lugares que se muestran en el respectivo plano de catastro de electricidad que aparece en el anexo I. Según datos del Instituto Nacional de Electrificación, INDE, en el año de 1,993 - 1,995 se tenían los siguientes cargos y consumos:

Tabla VIII Alumbrado público 1,993 - 1,995

Año	KWh	Cargo (Q)
1,993	65,100	12,995
1,994	65,100	13,950
1,995	66,150	12,231

Fuente: Secretaria General del Consejo Nacional de Planificación Económica, Organización de Estados Americanos, Departamento de Asuntos Sociales, datos para el año de 1,984.

2.4 Característica de los consumidores

La población de estos lugares es predominantemente indígena (95%), y un 83 % viven en calidad de colonos en las fincas cafetaleras del lugar, (condición de vida que justifica las actuales estadísticas que nos sitúan según SEGEPLAN con una tasa de pobreza del 94.2 % de toda América Latina y El Caribe¹); de ese porcentaje el 85 % son indigentes, según estudios realizados por el Instituto Nacional de Estadística de 1,993.

Cada una de las fincas pobladas que componen el lugar cuenta con un edificio habitacional o una casa principal del propietario, también de casa para uso del personal administrativo y ranchos que son ocupados por las familias de los campesinos colonos de las fincas. En donde, únicamente, los dos primeros ambientes cuentan en algunas fincas con servicio de electricidad, el cual es proporcionado por pequeñas plantas eléctricas de gasolina u otro tipo de combustible; mientras que los últimos carecen en su totalidad de dicho servicio.

La carencia del servicio eléctrico no es obstáculo para algunos de los habitantes de la región. Dichas personas improvisan pequeños molinos de nixtamal impulsados por medio de motores de automóviles viejos, los cuales son indispensables para moler el maíz, necesario para la fabricación de las tortillas para el diario vivir, así como también para obtener energía eléctrica y ser utilizada como iluminación.

2.5 Pronósticos del mercado

2.5.1 Área del mercado

Se definirá, en este momento, mercado como el encuentro de las ofertas y las demandas individuales que determinan el precio de una mercancía cuya relación de equivalencia es el precio².

En este caso el área del mercado se encuentra en las aldeas o comunidades de Sangreen, Chicobán, Chimay Saquijá y Cucanjá, del municipio de San Miguel Tucurú, Alta Verapaz y la mercancía es el servicio de energía eléctrica.

2.5.2 Comportamiento de la demanda del mercado

En una encuesta realizada en estas comunidades a nivel familiar, por el equipo de especialistas que se encontraban designados para la elaboración de los diferentes proyectos, se pudo estimar que la demanda esperada del servicio de energía eléctrica se comporta de la siguiente manera:

Tabla IX Comportamiento de la demanda del área del mercado

Comunidad	Porcentaje de Interesados en adquirir servicio de Energía Eléctrica	Porcentaje de No Interesados en adquirir servicio de Energía Eléctrica
Sangreen	100	0
Cucanjá	92	8
Chicobán	96	4
Chimay Saquijá	92	8

Fuente: Encuesta directa en las comunidades elaborada por los estudiantes integrantes del equipo de EPS

2.5.3 Comportamiento de la demanda del mercado proyectándola al año 2,000

A través de los datos proporcionados por el INE, y haciendo uso de métodos estadísticos de regresión lineal es posible el determinar el crecimiento poblacional de las diferentes comunidades para las cuales estamos interesados.

En el capítulo anterior se tiene la tabla IV, la cual muestra la población que tendrá cada una de estas comunidades para el año 2,000, es decir al final del período para el cual se diseñó la capacidad del presente proyecto y a partir de ese año se tendrán que hacer ampliaciones.

Por medio de las encuestas directas realizadas en las comunidades y la información proporcionada por el INE, se puede observar que cada hogar, en tales poblaciones, se encuentra integrado por un total de 6 a 8 habitantes.

Ahora bien, si se aplica este concepto a la población actual, se tiene entonces para la comunidad de Sangreen por ejemplo:

$$\text{Habitantes en 1,995} = 749$$

$$\text{Total de viviendas en 1,995} = 749/8 = 93$$

Si se compara este resultado con la cantidad real de viviendas contadas que es de 95, se observa que la relación es bastante aproximada y existe un margen de error reducido.

Aplicando esta forma para encontrar la cantidad de viviendas y resumiendo el resultado en la siguiente tabla se tiene que:

Tabla X Proyección del número de viviendas para el año 2,000.

Comunidad	Número de viviendas 1,995	Número de viviendas 2,000
Sangreen	93	114
Chicobán	225	274
Chimay Saquijá	35	42
Cucanjá	74	90

Estas regiones tendrían por primera vez energía eléctrica y por lo tanto no existen datos correspondientes para predecir la forma de crecimiento de la misma. Si se toma como referencia la cabecera municipal podemos analizar la forma en que esta ha estado creciendo; y se resume a continuación:

Tabla XI Consumo total anual de San Miguel Tucurú. 1,993 - 1,995

Año	Usuario	Consumo Total		
		KWh	KWh / Usuarios	Cargo (Q)
1,993	201	387,495	1,927.84	158,240.00
1,994	204	356,143	1,745.80	142,087.80
1,995	213	453,744	2,130.25	152,507.00

Fuente: Informe estadístico 1990, INDE, Dpto. De planificación Unidad Económica Financiera. Ventas de energía eléctrica al detalle, Sistema Norcentral, Departamento de Alta Verapaz.

Al comparar el crecimiento de usuarios del servicio de energía eléctrica con relación al crecimiento poblacional notamos que ambos factores se encuentran estrechamente ligados con la función que define la tasa de población.

De 1,993 a 1,994 se tuvo una tasa anual en el crecimiento del consumo del 1% en los usuarios de energía eléctrica y de 1,994 a 1,995 la tasa en el crecimiento del consumo fue del 1.04%, con lo que se puede predecir con un pequeño margen de error que el crecimiento del consumo seguirá una relación definida por la función de Murphy.

Utilizando dicha función, y haciendo los correspondientes cambios a las variables, podemos definir nuestro modelo matemático a emplear como:

$$E = E_0 (1 + T_c)^n$$

donde:

E = Consumo en el año t .

E_0 = Consumo en el año inicial del proyecto.

T_c = La tasa anual en el crecimiento del consumo.

n = número de años entre el año base (año 0 y año n)

2.6 Aplicación del modelo elegido

De la ecuación anterior podemos formular un modelo específico para poder predecir el comportamiento en el crecimiento de la demanda de energía eléctrica para estas comunidades, y podemos aproximarnos a encontrar dichos valores a través del consumo que se ha tenido en la cabecera municipal. Aplicando dicha función a las comunidades en estudio se tiene lo siguiente:

Si se parte de 1,995, año en que se iniciará el proyecto y se le asigna un valor de 250 vatios a cada una de las viviendas interesadas en adquirir dicho servicio; haciendo uso de una calculadora programable se pueden resumir los valores en la tabla XII.

Tabla XII Proyección de la demanda promedio estimada por comunidad para el año 2,000.

Año	Demanda promedio en W			
	Sangreen	Chicobán	Chimay Saquijá	Cucanjá
1,995	23,250	54,250	8,000	17,750
1,996	23,483	54,793	8,080	17,928
1,997	23,717	55,340	8,161	18,107
1,998	23,955	55,894	8,242	18,287
1,999	24,194	56,453	8,325	18,471
2,000	24,435	57,017	8,408	18,655

Tomando un promedio de los valores dados por el INDE, se tiene que la tasa de crecimiento es de 1%. Se tomo la misma tasa de crecimiento para todas las comunidades en estudio porque se considero constante el factor de carga, es decir dicho factor es constante en una población de poco crecimiento

2.7 Alternativas energéticas

2.7.1 Hidroeléctricas

El municipio de San Miguel Tucurú, fue dotado por la naturaleza de ríos bastante caudalosos entre los cuales figura principalmente, el Río Polochic el cual por su potencial caída, podría pensarse en hacer uso de él para la construcción de una hidroeléctrica o bien la rehabilitación de la que existe en total abandono sobre el río Cucanjá. Al hacer estimaciones de tipo económico, de las gestiones para ponerla en funcionamiento, aunque se encuentra abandonada y el estado de la misma, observamos que una inversión de esta naturaleza sería demasiado elevada, como se demuestra más adelante.

2.7.2 Energía eléctrica del INDE

La otra opción para la fuente de energía eléctrica para dicho proyecto, es la toma de la misma de las líneas de transmisión del Instituto Nacional de Electrificación INDE, considerando que estas pasan en áreas próximas a las comunidades a ser beneficiadas. Implicando con ello además que los costos de inversión y recuperación serán a un plazo mucho menor.

2.8 Descripción de la planta eléctrica de Cucanjá

Esta es una planta generadora de energía eléctrica del tipo hidroeléctrica, se encuentra ubicada en la comunidad de Cucanjá. Actualmente, está fuera de servicio; aunque años atrás prestó servicio a varias de las fincas que conforman este territorio. El equipo fue instalado en 1,972 y prestó servicio hasta 1,981, cuando dicha población se incorporó al Sistema Nacional Interconectado del INDE.

2.8.1 Especificaciones técnicas

A continuación se detallan algunos de los datos y características de dicho grupo generador de energía, el cual se encuentra compuesto de los equipos siguientes:

a. Turbina Pelton modificada (tipo Banki)

Tipo SA43, potencia de trabajo: 30.7 hp, velocidad nominal: 182 rpm, altura de caída de agua: 4 m, caudal: 720 litros/seg., marca: Ossberger, turbina Fabrik Weisserrnburg/Baviera, Alemania Occidental.

b. Regulador de velocidad

Marca Jahnsen-Regulatoren-GessellShaft MBR-Mashinen Fabrik- Offen Bach.

c. Acoplamiento especial

Localizado entre el mando del regulador de velocidad y la caja reductora, sin características de placa.

d. Caja multiplicadora de velocidad

Acoplada entre la turbina y el volante, tiene una relación 1:5, sin características de placa. Como la turbina tiene una velocidad de 182 rpm en la salida tiene una velocidad de 910 rpm.

e. Volante

Placa de datos sin características.

f. Generador de corriente alterna

Marca A.C Generator Type Sac. Electric Motors Ltda. Birmingham, England, No. de serie 35981/1 Frame 21, capacidad nominal 22 kVA, trifásico, 60 hz, voltaje de salida 127/220 Voltios ac, conexión Y.

2.8.2 Estado actual de la hidroeléctrica Cucanjá

Realizando una inspección visual a dicha hidroeléctrica se estimaron las condiciones de servicio para los componentes principales, y de las cuales se hace el desglose siguiente:

a. Turbina

Considerando el tipo de cubierta de protección de la turbina, y ya que no se pudo acceder debido al remachado de las planchas metálicas, es posible que pueden estar en aceptables condiciones de funcionamiento.

b. Regulador de velocidad

Se encuentra completamente desarmado y en mal estado, faltándole piezas como ejes y poleas de transmisión. Acoplamiento especial en mal estado, debido al tiempo que ha permanecido fuera de servicio.

c. Caja reductora

Por ser un equipo de tipo hermético y su cubierta aún se encuentra sellada, es muy probable que el sistema de engranajes se encuentre en buen estado.

d. Volante

Esta parte del equipo no sufrió mayor desgaste mecánico, debido a que su función principal es mantener la velocidad de la turbina en función de su masa. No se puede determinar si tiene problemas de desbalance, debido a que la planta generadora permanece fuera de servicio.

e. Generador

Deteriorado completamente, ya que al no tener cubierta protectora, sufrió daños en los anillos rozantes, en las espiras del rotor, con fallas de aislamiento y posible desalineamiento del eje del rotor.

2.8.3 Observaciones

- a. Debido a la ubicación geográfica donde se encuentra la planta generadora, es posible que la misma haya sufrido daños ocasionados por crecidas inmoderadas en el cause del río Cucanjá.
- b. Puede observarse que actualmente se encuentra en el total abandono de las instalaciones, teniendo aproximadamente cinco años de estar la planta fuera de servicio.
- c. El equipo carece de los accesorios para el mencionado grupo generador, entre los que cabe mencionar los siguientes:
 - Control de sobrevelocidad (en el generador).
 - Tablero del generador
 - Aparatos de medición (tacómetro, voltmetro, amperímetro, frecuencímetro, selector de fases, luces piloto, etc.).
 - Aparatos para medición de energía eléctrica (kWh, kVAh).
 - Tablero principal o centro de despacho de carga.
 - Cableado.

2.8.4 Factibilidad de repararla y ponerla en funcionamiento

Haciendo un sondeo en nuestro medio de empresas que se dedican a la reparación o distribución de equipos de hidroeléctricas, se llegó a determinar lo siguiente:

a. Representante local

No tiene, aunque fue distribuida por Topke Bihr & Co. Ltda.

Vía 4, 5-52 Zona 4, Edificio Topke.

b. Existencia de repuestos

Pueden encontrarse en el mercado local, talleres calificados para la reconstrucción del equipo antes descrito, se mencionan los siguientes:

- Servicio Eléctrico Industrial SEI
Boulevard Tecún Uman 2-62 Z. 13

- Alfa Industrias Alfa
Calzada San Juan 9-65 Z.7

- ELICA
24 Calle "A", 27-27 Z. 5

- Servicios Eléctricos Industriales de Guatemala, S.A., SEIGUA
Avenida Petapa 11-72 Z.12

Al investigar en el mercado de hidroeléctricas referente al precio de un kW suministrado por un generador de este tipo, se determinó que tendría un costo de \$.1,000.00 (US Dollar)/kW instalado. Por lo tanto si a la capacidad nominal de 22 kVA le aplicamos un factor de potencia de 0.8 se tienen 17.6 kW lo cual nos da un total de \$.17,600.00

Aunque es posible el poder reparar dicha hidroeléctrica, y contar con la alternativa energética en mención, esto representaría una inversión inicial bastante grande. Ya que además, hoy en día, sus partes continúan perdiéndose y de proseguir ello llegará el momento en el que no se podrá reparar.

3. INGENIERIA DE LA RED DEL PROYECTO

3.1 Consideraciones generales y normas

3.1.1 Diseño de la red

3.1.1.1 Estructuras utilizadas

Los sistemas de distribución se pueden desarrollar en estructuras diversas. La estructura de la red de distribución que se adopte tanto en mediana como en baja tensión depende de los parámetros que intervengan en la planeación de la red, tales como: densidad, tipo de cargas (residencial, comercial, industrial, mixta), localización geográfica de la carga, área de expansión de la carga y continuidad del servicio.

La distribución primaria se realizará considerando dos casos: línea primaria solamente y línea primaria con secundaria. En ambos casos se utilizarán postes de concreto con longitud nominal de 10.67 m.

En los casos en que en una misma estructura se requiera simultáneamente el montaje de servicio primario en ángulo de 90 grados, transformadores y servicios secundarios, el poste tendrá una longitud de 12.00 metros, clase 341 kg de concreto o de madera de 12.00 metros, clase 4.

La tabla a continuación resume la nomenclatura empleada por el INDE para clasificar los diferentes tipos de estructuras. En el caso correspondiente a una línea monofásica de 7.62kV, con retorno por neutro.

Tabla XIII Nomenclatura empleada por el INDE para clasificación de estructuras en 7.62 kV.

Angulo	Distribución primaria	Distribución primaria y secundaria	Distribución secundaria
0° - 5°	XA1-2N1	XAZ1-4K1-B1	Z1-B1-3K1
5° - 30°	XA2-2N1	XAZ2-4K1-B1	Z2-B2-3K1
30° - 60°	XA3-2N1	XAZ3-4K1-B2	Z2-B2-3K1
60° - 90°	XA4-4N2	XAZ4-8K2-B2	Z3-B2-6K2
Anclaje	XA5-4N2	XAZ5-8K2-2B2	
Remate	XA6-2N2	XAZ6-4K2-B2	Z4-B2-K2

Fuente: Normas de Construcción de Electrificación Rural, INDE, 1,991

3.1.1.2 Vanos entre las estructuras de una red de distribución

Vano es la separación que existe entre las estructuras que sirven de apoyo a las líneas de distribución o a las redes de distribución; esta separación estará de acuerdo a las necesidades del diseño, las cuales son determinadas por la cantidad y ubicación de los usuarios, la magnitud de la carga, las condiciones topográficas del terreno, las características mecánicas del conductor y sobre todo por las holguras mínimas, admitidas de los conductores suspendidos sobre el suelo y sobre vías de comunicación así como la separación entre ellos. Los vanos entre las diferentes redes de distribución se clasifican en:

a. Vanos en redes de distribución primaria

Dentro de una red de distribución, las estructuras con líneas primarias y/o secundarias, el vano máximo entre estructuras será de 100 m. Para el presente diseño se aplicará la siguiente norma: cuando existan vanos menores o iguales a 50 m, y que atraviesen caminos, calles o carreteras sujetas a tránsito de camiones y camionetas, y estén intercalados entre vanos mayores, se deberá colocar bastidores en este, para elevar la altura del servicio secundario. Cuando el tramo exceda de 50 metros, se deben de colocar estribos, separados 406 mm.

Respecto de los tramos a usarse en la distribución primaria se muestra la tabla siguiente:

Tabla XIV Tramos en distribución primaria con secundario.

Longitud nominal del poste (m)	Holgura al suelo (m)	Tramo (m)	
		Poste de madera	Poste de concreto
10.67	4.60	100.00	100.00
	5.00	100.00	100.00
	5.50	100.00	100.00
	6.10	83.00	98.00

Fuente: Normas de Construcción de Electrificación Rural, INDE, 1,991.

b. Vanos en redes de distribución secundaria

Cuando el vano sea menor o igual a 50 metros se utilizará bastidor y cuando sea mayor de 50 metros pero menor o igual a 100 metros, se utilizaran tres estribos con una separación de 406 mm entre cada uno. En las estructuras que estén en tangente y no sean de remate, se admite el uso del perno para aislador de carrete en lugar del estribo o del bastidor.

Para distribución secundaria utilizaremos postes de concreto de 9.00 m de longitud nominal. Los tramos a usarse se muestran en la tabla a continuación:

Tabla XV Postes y tramos en distribución secundarios.

Longitud nominal del poste (m)	Tránsito permitido	Longitud del tramo máximo (m)		
		Separación entre fases del secundario		
		Bastidores (203 mm)	Estribos (203 mm)	Estribos (406mm)
9.00 Concreto	Peatonal	50.00	50.00	100.00
	Liviano	50.00	50.00	80.00
	Todo tipo	50.00	50.00	--

Fuente: Normas de Construcción de Electrificación Rural, INDE, 1,991.

3.1.1.3 Retenidas y anclas

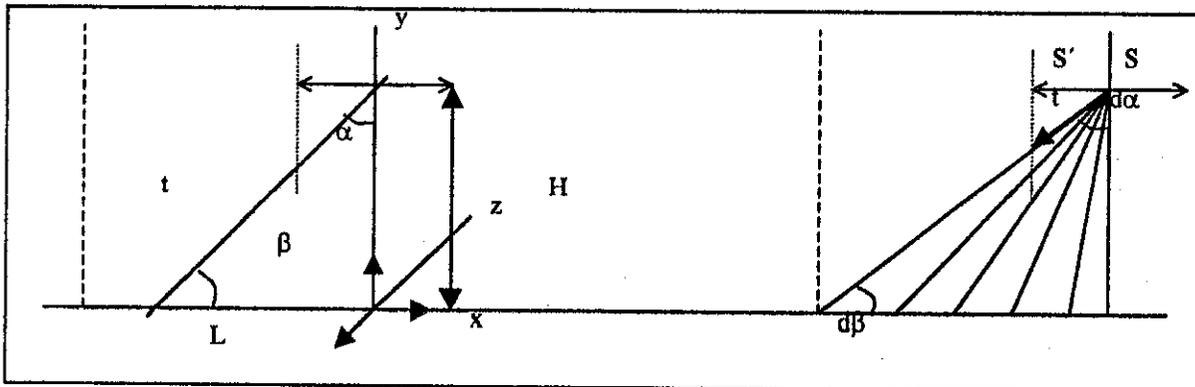
El anclaje es usado para compensar las cargas longitudinales de las líneas (estructuras de remate) y las cargas transversales de los esfuerzos en los postes (estructuras de ángulo).

Las cargas de una estructura en ángulo son debidas a la tensión del conductor a lo largo de la línea y a la presión del viento, aplicada en ángulo recto a los conductores. Esto produce una fuerza desbalanceada en dirección de la bisectriz de la línea, la cual debe ser efectivamente balanceada por medio de un anclaje apropiado.

El ángulo vertical para el montaje de los anclajes deberá ser en lo posible igual a 45 grados, en caso contrario, se aceptaran como mínimo ángulos de 30 grados. Se deberá entender que el ángulo referido, es el medido entre el poste y el cable de anclaje.

La profundidad del ancla está determinada por la longitud de la varilla de anclaje que es de 2.13 m. (7 pies), actuando con inclinación de 45 grados. Sobre la superficie del suelo deberá sobresalir 0.15 m de varilla.

Figura 3 Representación de las fuerzas vectoriales en una estructura debido al anclaje.



De la figura anterior tenemos las diferentes variables que intervienen en una estructura, y las cuales se definen como:

- H = Altura del punto donde se ubica tirante en el poste
- L = Distancia horizontal desde la estructura al punto de anclaje
- β = Ángulo formado entre la horizontal y el tirante
- α = Ángulo formado entre la estructura y el tirante
- S = Fuerza debido a la tensión mecánica del conductor.

- t** = Fuerza resultante debido a la tensión mecánica del tirante
- S'** = Fuerza resultante en sentido inverso debido a la tensión mecánica del cable correspondiente al tirante
- dL** = Distancia horizontal variable de la estructura al punto de anclaje
- dβ** = Angulo variable formado entre la horizontal y el tirante
- dα** = Angulo variable formado entre la estructura y el tirante

De la figura anterior se puede observar que el ángulo viene definido por la ecuación siguiente:

$$\text{Arc tan } \beta = H/L \text{ (Ecu. 1)}$$

Y la tensión en el tirante a su vez está se puede determinar de la manera siguiente:

$$\text{Cos } \beta = S/t \text{ (Ecu. 2)}$$

En la siguiente tabla se tabulan los valores correspondientes a los ángulos dados de tal manera de poder observar como se comportan cada una de las variables que intervienen en el análisis de esta función. Se calcularon valores arriba de 45° y menores a este valor para determinar la forma en que varían los mismos.

Tabla XVI Comportamiento de la tensión del tirante en función n de β y L.

β (°)	78.69	59.04	51.34	45	39.80	30	26.57	21.80
L (m)	2	6	8	10	12	17.32	20	25
t (kg)	1157.48	441.21	363.38	321.03	295.49	262.12	253.79	244.49
Rel L-t	5.10	1.94	1.60	1.41	1.30	1.15	1.12	1.08

De la tabla anterior se puede observar que para valores mayores de 45 grados los valores de Tensión se incrementan en forma desproporcionada con lo que se requeriría una fuerza muy grande para poder compensar dicha tensión. Por otro lado, para valores menores de 45 grados la tensión disminuye pero con el inconveniente de que la longitud del tirante se vuelve demasiado grande. De esto se concluye que el punto

óptimo es a 45 grados aunque en la práctica esto no siempre será posible, razón por la cual el normativo del INDE, presenta como valores aceptables ángulos entre los 30 y 45 grados.

3.1.1.4 Retorno por hilo neutro

El presente proyecto es un sistema de alimentación radial, es decir cuenta con una sola fuente de alimentación.

Para el presente proyecto se utilizará el sistema de líneas con retorno por hilo neutro, el cual se caracteriza por poseer un conductor de fase y un conductor de hilo neutro con múltiples puestas a tierra, esto es, cuatro conexiones de tierra como mínimo para cada 1.6 km de línea. El hilo neutro debe conectarse en cada retenida a la misma.

En redes de distribución el hilo neutro del primario se conectará con el hilo neutro del secundario multiaterrizado en los puntos donde exista transformación. Siendo necesario instalar una puesta a tierra que conecte también a los equipos de transformación y protección.

En las líneas, el hilo neutro debe conectarse a cada retenida que se instale.

3.1.1.5 Red primaria y secundaria

Una red de distribución se encuentra constituida por los elementos siguientes:

- ♦ Transformadores de distribución, los cuales convierten el voltaje del circuito primario al voltaje de utilización, en el circuito secundario.
- ♦ Cortacircuitos, son dispositivos mecánicos de interrupción capaces de dejar pasar, conducir e interrumpir corrientes en condiciones normales de un circuito, así como también de dejar pasar, conducir durante un tiempo especificado, e interrumpir

corrientes en condiciones anormales especificadas, como por ejemplo las de cortocircuito.

- ♦ Fusible, es un dispositivo al cual se le ha etiquetado con este nombre cuando en realidad no es más que un limitador de corriente. Se emplean comúnmente para proteger a los transformadores y las derivaciones laterales de los circuitos alimentadores principales de distribución.
- ♦ Conductores, son los encargados de transportar la corriente eléctrica desde un punto a otro, en una misma red.
- ♦ Herrajes y aisladores, los cuales sirven de soporte para el montaje de cada unos de los elementos anteriormente descritos.

Todos estos a la vez se instalarán en postes de concreto, según las justificaciones anteriores.

Es muy común, en nuestro medio, encontrar sistemas de distribución primaria del tipo radial, es decir donde el flujo de energía es siempre de la fuente hacia la carga. Esto a la vez implica bajar costos puesto que el sistema de protección se simplifica al mínimo. Aunque, por otro lado, presenta el inconveniente que una falla en un alimentador principal deja sin servicio a toda la red que depende de ella.

Los movimientos de carga se realizaran con cortacircuitos, los cuales se instalaran de manera conveniente para poder efectuar maniobras tales como: trabajos de emergencia, ampliaciones de red, nuevos servicios, etc.

Como se mencionó anteriormente, debemos acomodarnos al sistema ya existente que es 13.2 kV, pero antes vamos a verificar que dicho voltaje de distribución verdaderamente va a satisfacer las necesidades de este proyecto.

La carga máxima proyectada para el futuro según los informes estadísticos del municipio de San Miguel Tucurú es de 168 kW. Lo cual concuerda con la norma del INDE referente a crecimientos de carga como el estudiado.

El sistema de alimentación de la cabecera municipal consiste en una línea trifásica de 13.2 kV, lo cual a su vez determina el nivel de voltaje de distribución primaria para el proyecto de electrificación.

Trazando una ruta paralela al camino principal se procedió a diseñar los correspondientes tramos de las líneas de distribución primaria y secundaria. El principal propósito de esta ruta elegida fué el de bajar costos de instalación y beneficiar tanto a usuarios que están interesados en adquirir dicho servicio así como de prever el mismo para aquellos que no lo están por el momento.

Tomando en consideración las Normas de Construcción de Electrificación Rural, del INDE, para determinar las holguras máximas permitidas en distribución primaria para el lugar en estudio y las cuales se resumen en las siguientes tablas:

Tabla XVII Holguras en distribución Primaria

Vía Pública en el área rural	Tensión Primaria kV	Holguras al suelo (m)
		Retorno por Neutro
Unicamente tránsito de peatones	7.620	4.60
Tránsito liviano, vehículos de poca altura, tránsito de gente a caballo.	7.620	5.0
Tránsito de todo tipo de vehículos	7.620	5.50

Fuente: Normas de Construcción de Electrificación Rural, INDE, 1,991.

Tabla XVIII Holguras en distribución Secundaria.

Holgura Libre mínima sobre el suelo (m)	Area de utilización en vía pública.
4.60	Areas accesibles únicamente a peatones
5.00	Areas para tránsito liviano. Vehículos de poca altura. Tránsito gente a caballo.
5.50	Areas para tránsito de todo tipo de vehículo

Fuente: Normas de Construcción de Electrificación Rural, INDE, 1,991.

Al proceder a escoger la ruta por la cual pasaran los diferentes conductores de energía eléctrica debe de tomarse en consideración el tratar de alterar lo menos posible el medio ambiente, como los recursos naturales que podrían verse amenazados y por consiguiente afectar el ecosistema del lugar.

Otra consideración importante a tomar en cuenta es de respetar únicamente un solo lado del camino a seguir de tal manera que en el futuro el otro lado pueda servir por ejemplo para el transporte de líneas de comunicación. En este caso, debido a que las poblaciones a beneficiar no fueron debidamente planificadas y por consiguiente no cuentan con calles ni avenidas debidamente trazadas, dicho aspecto no viene a lugar con excepción de la comunidad Sangreen, donde el lugar si cuenta con las características indispensables para ello.

La red secundaria constituye el último eslabón en la cadena de transmisión y los consumidores. Entre los circuitos primarios y secundarios hay una importante diferencia que afecta su operación: en los circuitos de baja tensión es posible trabajar con la línea viva sin tanto peligro y costo teniendo las debidas precauciones, lo que da mayor flexibilidad al sistema.

En un sistema de distribución secundario existen diferentes estructuras de redes, en nuestro caso se trata de una red aérea; en la cual los circuitos secundarios se conectan al lado de baja tensión de cada transformador de distribución a los servicios que alimenta el mismo.

El diseño de las líneas y redes de distribución, así como los procedimientos de cálculo, contempla cuatro etapas que se indican a continuación:

a. Levantamiento topográfico (trabajo de campo)

Los planos de cabeceras departamentales y municipios, regularmente, se pueden obtener en el Instituto Nacional de Estadística, INE. Para realizar el trabajo de campo que se lleva a cabo en la población a electrificar, se debe tomar en cuenta los datos relacionados con la topografía del lugar. Se lista, se localizan las personas interesadas en el servicio de electricidad, se localizan los postes existentes, se determina la carga total y por usuario, los accidentes geográficos más importantes, los puntos críticos del terreno (curvas y bordes de caminos, árboles, bordes, fondos de barrancos, etc.), se ubican con dos radiaciones por lo menos los linderos, cercos de los terrenos, propiedades de los interesados, obtención de los derechos de vía, etc.

Cuando se efectúa el levantamiento topográfico, se debe dibujar en la libreta de campo, un trazo preliminar de lo que será la línea y/o red de distribución e indicar los puntos críticos en los que, debido a las características topográficas, obligadamente debe colocarse un poste. Esto se hace con el objeto de facilitar el diseño de gabinete y también para minimizar los cambios al momento de ejecutar la obra.

Posteriormente se procede a la actualización de los planos del lugar, de tal manera de poder contemplar en los mismos los nuevos habitantes existentes así como también cualquier otra variación en las características geográficas del lugar.

b. Dibujo del plano de la población.

En el caso de una población, después de elaborar toda la información que contenga la libreta de topografía. Se procede a dibujar el diseño del mismo. Este debe incluir todas las casas de las personas interesadas, las cuales serán

identificadas con el número que le corresponde según la lista que se haya elaborado. Deben quedar registrados los caminos, linderos, cercos, calles y accidentes geográficos importantes.

En el plano del diseño de la red se debe localizar el límite de la propiedad privada y la propiedad pública así como los linderos entre propietarios. Al dibujar el plano de la población se debe hacer a escala, para facilitar la interpretación del mismo y visualizar el proyecto en forma correcta. La escala deberá aparecer anotada en el despiece o al pie de los detalles individuales. De ser necesario que el primario de la red sea tendido a través de un barranco, a distancias mayores de 100 m, para que el salvamento de esta distancia sea aprobado por el INDE, es necesario hacer el levantamiento topográfico del barranco, los bordes y el fondo del mismo y deben ser registrados para fines de la verificación de la correcta localización de las estructuras y del conductor. Se deberá dibujar el perfil del levantamiento topográfico a las escalas admitidas.

Es necesario que el INDE apruebe la estructura que se usará para salvar el obstáculo por lo que deberá ser presentado su diseño junto con los planos y la lista de materiales que dicha estructura requiere. No se admite que el servicio secundario sea diseñado para paso de barrancos y hondonadas, si el tramo es mayor de 100 m. Los casos especiales requieren diseño especial y deben ser aprobados por el INDE.

Además de lo anterior, el plano debe incluir: el despiece o pie de formato que contenga toda la información relacionada con el proyecto, simbología de los materiales, escala empleada y equipo utilizados en el plano, detalles de las estructuras típicas en los postes de 9.00 y 10.67 m, 12.00 m (para casos especiales), la composición y calibre de los conductores, para el uso de estribos y las notas relacionadas con la red de distribución.

c. Diseño de la línea y/o red de distribución

El diseño de una línea y/o red de distribución se encuentra apoyado en la consideración de aspectos fundamentales teóricos, prácticos así como las propiedades físicas o químicas de los componentes de la infraestructura de redes y líneas, los cuales implican los aspectos siguientes.

- a. Diseño y dibujo de la planta perfil de la línea de distribución.
- b. Localización de estructuras en el perfil.
- c. Diseño y dibujo de la red de distribución.
- d. Revisión y aprobación de planos
- e. Elaboración de la lista de materiales y presupuesto.
- f. Presentación de los planos, cálculos, libretas de topografía, tal como lo establece el Reglamento de Servicios del INDE.
- g. Elaboración del plano de construcción final para efectos de la recepción del proyecto.

d. Presentación del plano del proyecto,

El cual debe contener la información necesaria requerida por el INDE, previo a ser aprobado por este. Este punto es ampliado en el capítulo No. 5

3.1.1.6 Protección de la red de distribución

Cuando se diseña una red de distribución se deberá dejar la protección necesaria en la derivación o punto de toma de la media tensión. Existen varios tipos de protección que están indicadas para instalar en una derivación de media tensión, los más comunes son:

- Cuando la derivación se hace de una línea de distribución y la distancia del punto de toma al transformador es mayor o igual a un kilómetro, se coloca pararrayos y cortacircuitos en la estructura de derivación.

- Cuando la derivación se hace de una línea de distribución y la distancia del punto de toma al transformador es menor de un kilómetro, se coloca únicamente cortacircuitos en una de estas estructuras de derivación.
- Si la red de distribución existente, está construida con ACSR No. 4 AWG, la derivación debe partir de las estructuras anteriores en la red, buscando derivar de la línea de distribución construida con conductor ACSR No. 2 AWG, o de mayor calibre.
- Cuando la distancia del punto de toma a transformador es mayor o igual a un kilómetro se coloca un pararrayos y cortacircuitos en la estructura de derivación.

Los rayos o descargas eléctricas son la causa más frecuente de los sobrevoltajes en los sistemas de distribución. Básicamente, el rayo es una chispa gigantesca que proviene del desarrollo de millones de voltios entre las nubes o entre una nube y tierra; es análogo a la ruptura dieléctrica de un enorme capacitor.

Para proteger a los transformadores de los efectos de las descargas electroatmosféricas, debe de elegirse un pararrayos de acuerdo al nivel del sistema de distribución. La capacidad nominal del pararrayos se basa en el voltaje máximo línea a línea de estado estable que debe aceptar. Normalmente, esta condición limitativa es provocada cuando existe una falla línea a tierra en una de las otras fases.

En el presente proyecto se utilizan únicamente sistemas de distribución monofásico y se emplearán por lo tanto transformadores del tipo autoprotegido.

Cuando la distancia del punto de toma al transformador es menor de un kilómetro, se coloca únicamente un cortacircuitos en la estructura de derivación.

3.1.1.6.1 Cortacircuitos y fusibles

El propósito principal de un cortacircuito es proveer protección a las líneas y a los distintos equipos a ellas conectadas, de sobreintensidades que se presenten en el sistema.

Todas las derivaciones se deberán proteger y aislar de la línea principal, mediante los correspondientes pararrayos y/o cortacircuitos.

En el caso de poblaciones grandes, que requieran anillos de alimentación o bien que tengan varias posibilidades de alimentación de sus sectores, se deberán seccionar en forma apropiada para asegurar la posibilidad de alimentación en forma alternada y así alcanzar un óptimo de regulación.

La corriente nominal del elemento fusible dependerá de la carga conectada a la línea final, el elemento fusible debe ser CLASE T, el cual tiene capacidad de transportar 150 % de su corriente nominal sin producir daños al elemento fusible o al cortacircuitos.

La corriente nominal de los fusibles CLASE T deberá ser de 1, 2, 3, 6, 8, 10 y 15 A, de acuerdo a la carga del alimentador lateral. La longitud del fusible debe de ser de 26 pulgadas de largo y cabeza removible.

En la siguiente tabla se resumen la capacidad de estos de acuerdo a la carga que protegerán.

Tabla XIX Tabla de fusibles clase T (Preferidos) para alimentadores monofásicos.

7.6 kV	KVA	10	15	25	37.5	50	75	100
	A	2	2	6	6	8	10	15

Fuente: Normas de Construcción de Electrificación Rural, INDE, 1,991.

3.1.1.7 Acometidas

Las acometidas para las casas deben tener una longitud máxima de 40m. Se admite un incremento en más un 10% en casos especiales aprobados por el INDE. Las alturas al centro del vano cuando exista cruce de calle será de 5.5 y 3.0 cuando no exista cruce de calle. En el área rural se admite que la longitud máxima de las acometidas sea de 100 m. En este caso deberá usarse línea abierta con conductores desnudos, suspendida por aisladores de carrete en ambos extremos. El soporte de la acometida en el punto de entrega deberá ser fijado a una pared sólida de la vivienda, o en un poste suministrado por el interesado, a un mínimo de 6.86 m sobre el nivel de la calle. El poste suministrado por el interesado, de madera, será clase 5, de 9.00 m de longitud, estará dotado del anclaje correspondiente y deberá cumplir las especificaciones normalizadas para postes.

El soporte en el punto de entrega podrá ser poste de concreto o de madera de 9.00 m de longitud como mínimo. El poste de concreto deberá empotrarse a una profundidad de 1.30 metros; en el poste de madera, la profundidad de empotramiento deberá ser de 1.68 m. En ambos casos deberá dotarse a la estructura de la retenida correspondiente.

Para servicio residencial, únicamente se admiten medidores de kWh de tipo ciclométrico. Estos se deberán instalar de preferencia en el límite, entre la propiedad pública y la propiedad privada, o bien a un máximo de dos metros dentro de la propiedad privada, con la esfera visible y mirando hacia la calle, a una altura de 2.00 metros del rostro inferior del medidor al nivel del suelo.

La acometida debe ubicarse en el paso de servidumbre que exista entre propiedades privadas adyacentes.

Las acometidas de servicios residenciales deberán efectuarse en una cantidad no mayor de 8 por poste, no importando que los conductores de distribución secundaria

sean desnudos o del tipo múltiplex. Cuando se requiera un número mayor que ocho acometidas, se deberá efectuar una extensión de red con conductor del mismo calibre de la línea de distribución secundaria, de donde a su vez, saldrán las acometidas necesarias utilizando los postes adicionales que se requieran.

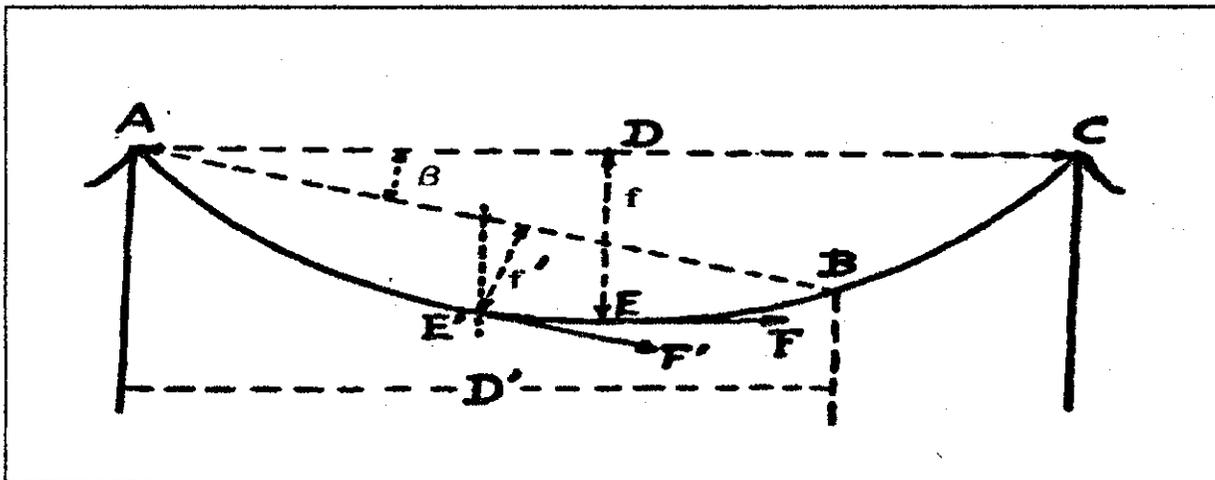
3.1.1.8 Mecánica de las líneas

Se definirá en este momento el tramo, como la distancia horizontal desde una estructura hacia otra adyacente a lo largo de la línea. Para efecto de cálculo, la flecha es la distancia vertical entre la línea recta que pasa entre los dos puntos de sujeción de un conductor entre dos apoyos sucesivos colocados a su mismo nivel, y el punto más bajo de este mismo.

En la siguiente ecuación se expresa cada uno de los términos que intervienen para el diseño de los aspectos anteriormente señalados, para el caso de valores pequeños de f .

$$(F) f = L^2 (w) / 8T \text{ (Ecu. 4)}$$

Figura 4 Representación de la catenaria en una línea de transmisión.



Donde:

L	=	Tramo en metros.
w	=	Peso del conductor kg/m
T	=	Tensión del conductor
f	=	Flecha

Considere un conductor flexible suspendido entre apoyos A y C, ver figura 4, situados a la misma altura y separados uno del otro D metros. Bajo la acción de la gravedad, el conductor formará una curva plana vertical, conocida con el nombre de catenaria y que, para valores pequeños de la flecha f , respecto a D, puede ser confundida con una parábola. Si el conductor está sometido al efecto del viento, la curva seguirá siendo catenaria o parábola; pero su plano tendrá la inclinación que corresponda a la resultante del peso y el viento.

La parábola es más sencilla de tratar que la catenaria y se presta mucho más al conocimiento general, por cuyo motivo debe ser preferida en tanto las condiciones actuales no exijan el empleo de otra curva. Una de las propiedades de aquella es, que si se toma un punto cualquiera B, se une al punto A, y por el centro de AB se traza una paralela al eje de la parábola hasta cortarla, la tangente a la curva en la intersección, es paralela a la recta AB. De esta manera es fácil encontrar la dirección de la tensión en un punto cualquiera del cable, y sus componentes horizontal y vertical.

La longitud del arco parabólico AEC está dada por una serie infinita de términos, de la cual basta ordinariamente tomar los dos primeros, cometiendo un ligero error. Llamando L a la longitud del arco y f , a la flecha, se tiene:

$$L = D + 8f^2 / 3D \quad \text{metros (Ecu. 5)}$$

Supongamos que en el punto E de la figura anterior, se termina el cable apoyado en A, y no existe la parte EC. Es claro que la tensión T necesaria en E para sostener el

cable, es horizontal, y que tiene un momento respecto al punto A igual al momento del peso del segmento AE respecto al mismo punto. Si se considera una catenaria, no es fácil localizar el centro de gravedad de ella y calcular el peso del tramo; pero si se acepta la idea de que dicho centro es equidistante de A y E, y de que el peso del tramo es el producto de la carga unitaria w , y la distancia $D/2$ el problema se simplifica mucho y se llega a la ecuación fundamental de la teoría parabólica, pues resulta que:

$$(T)(f) = (w)(D/2) (D/4) = (w)(D^2)/8 \text{ m-kg (Ecu. 6)}$$

Cuando el cable está en equilibrio nada importa que sus puntos estén libres o sujetos, que el punto E este sostenido por una reacción de apoyo o por la tensión del cable hasta B. Tampoco importa que el cable no llegue hasta C sino que termine en B, con tal que las reacciones del apoyo en B correspondan a las componentes del esfuerzo elástico del cable en ese punto, y se cumplan las leyes del equilibrio. Es decir, que las sumas de las proyecciones de las fuerzas aplicadas al cable, sobre tres ejes normales entre sí, sean siempre nulas, y que el momento total de esas fuerzas con respecto a cualquier eje, sea también nulo. De lo anterior se deduce lo siguiente:

- a) La componente horizontal de la tensión es constante;
- b) La componente vertical de la reacción en un apoyo, es igual al peso del cable, entre el punto más bajo de la curva y el apoyo,
- c) La componente transversal de la reacción en un apoyo es igual al efecto del viento sobre el tramo señalado en el inciso anterior.

Para simplificar los cálculos puede usarse una carga compleja de peso y presión de viento, y considerar las reacciones en el plano de la resultante. Entonces, las componentes de la reacción serán una horizontal que satisfaga la ecuación 6, que nos define la flecha y otra diagonal que cumpla lo previsto en los incisos b) y c); es decir que valga el producto de la carga compleja unitaria, por la longitud del tramo indicado en estos incisos.

La tensión total en los apoyos A y C es la resultante vectorial de las componentes, naturalmente; pero la horizontal es mucho mayor que las otras u otra, y el cálculo se hace por el binomio de Newton, de la manera siguiente. Llamando T_a la tensión total, y considerando la carga compleja de peso y viento w , se tiene:

$$(T_a) = T + (w (D/2))^2 / 2 F = F + w (f) \text{ kg (Ecu. 7)}$$

La expresión anterior indica que el aumento de tensión en los apoyos, con relación a la componente horizontal, es insensible en la práctica.

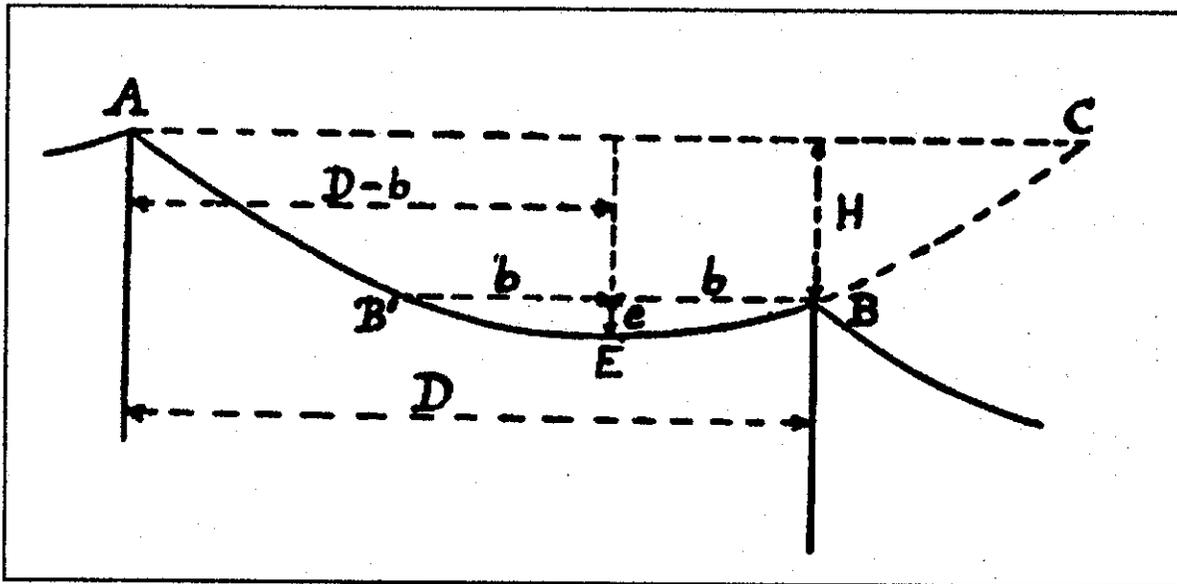
Consideremos ahora el conductor suspendido entre A y B, figura 4, puntos que definen una recta inclinada β grados respecto a la horizontal. La tensión en E' vale $T/\cos \beta$, y su momento respecto al punto A, es $(T) (f'/\cos \beta)$, siendo f' la flecha del arco AB, medida normalmente a la cuerda AB; pero también debe ser igual al momento del peso del tramo AE. De modo que tomando en cuenta que la distancia entre A y B, vale $D'/\cos \beta$, resulta:

$$T/(\cos \beta) f' = (w) (D') / (2 \cos \beta) (D'/4) \text{ (Ecu. 8)}$$

Cuando se conoce la distancia D y la diferencia de altura H de los apoyos. Figura 5, el punto más bajo E de la curva, es determinado como sigue: Los arcos AEC y B'EB son de una misma parábola, y la T debe ser:

$$T = (w) (2b)^2 / (8e) \text{ (Ecu. 9)}$$

Figura 5 Representación de la catenaria en una línea de transmisión, con apoyos a diferente nivel



Fuente: Luca Marin, Carlos. Líneas e instalaciones eléctricas. Editorial Alfaomega Mexico 1,991.

Por la ecuación de la curva y las propiedades de las proporciones

$$B^2/c = (D - b)^2 / (H + e) = (D^2 - 2D(b))/H \quad (\text{Ecu. 10})$$

Combinando las dos ecuaciones anteriores y despejando, se tiene

$$b = D/2 - (T)(H)/(w(D)) \quad (\text{Ecu. 11})$$

y sustituyendo se tiene

$$= (w)(b^2) / (2T) \quad (\text{Ecu. 12})$$

En el caso en que b resulte negativa, la tensión es demasiado grande y el punto E queda fuera del tramo AB , virtualmente; el aislador de B estará sometido a un esfuerzo hacia arriba, si llega a romperse el cable a la derecha de B , como sucede en el punto B' , figura 5, en el que la tensión del conductor es hacia el apoyo A . Para evitar que el aislador sea arrancado de su alfiler, o la cadena sea volteada hacia arriba, en caso de ruptura del conductor, se emplean pesas de metal unidas al cable, sobre todo en rutas de fuertes pendientes. La masa adicional debe pesar tanto como el fragmento de cable entre B y E , es decir $(w)(b)$.

3.1.1.8.1 Dilatación y alargamiento de los cables

Cuando la temperatura cambia y el viento modera su velocidad, la tirantez de los conductores varía ampliamente porque se dilatan o encogen, y se alargan o contraen por efecto térmico y elástico, respectivamente. Como la longitud influye enormemente en la flecha, el cambio de tensión es muy amplio.

Las bases del cálculo son como sigue. Un conductor que pasa de la temperatura T_a a T_b , se dilata la cantidad $L_b - L_a$ en proporción a L_a y al cambio de temperatura. Siendo C_d el coeficiente de dilatación lineal:

$$L_b - L_a = C_d (T_b - T_a) L_a \text{ metros (Ecu. 13)}$$

Por otra parte, si la tensión en el cable es de T kg. Y tiene A mm^2 de sección, con un módulo de elasticidad de E kg/mm^2 , el conductor estará alargado en la cantidad

$$L - L_0 = (T)(L_0) / ((A)(E)) \text{ metros (Ecu. 14)}$$

De manera que, al cambiar la tensión de T_a a T_b , su longitud varía en:

$$L'_b - L'_a = (T_b - T_a) (L_0) / ((A)(E)) \text{ metros (Ecu. 15)}$$

Una vez establecidas las bases, el desarrollo del método de intersecciones de parábolas e hipérbolas, se presenta como sigue:

- 1). Se determina la longitud de la curva que forma el conductor, a la temperatura y la tensión correspondientes al estado original;
- 2). Se calcula, la longitud del conductor sin estirar, L_0 , a la temperatura original por la ecu. 14, y la final por la ecu. 15.

- 3). Se atribuye a F una serie de valores $F_1, F_2, \text{ etc.}$ y, con la carga unitaria final W , se calcula la flecha correspondiente $f_1, f_2, \text{ etc.}$ Con estos valores se traza la hipérbola, a escala.
- 4). Con los valores de $F_1, F_2, \text{ etc.}$, se calcula el alargamiento del conductor previamente dilatado a la temperatura final, con la ecua. 14, y de la diferencia entre longitud y claro se deduce la flecha, con la ecuación 5. Con los valores de $f_1, f_2, \text{ etc.}$, se traza la parábola.
- 5). La intersección de las dos curvas indica tensión y flecha finales para la temperatura y carga correspondientes.

El carácter y ecuación de las curvas son deducidos; de la ecuación 6, que representa tantas hipérbolas como valores tenga w ; para la otra, combinando la ecuación 5 con la 14 y despejando F ; tenemos

$$F = A(E)(D/L_0 - 1 + 2.66 f^2 / (D(L_0))) \text{ kg (Ecu. 16)}$$

De la ecuación 4

$$F = 0.125 w (D^2) / f \text{ (Ecu. 17)}$$

Si se combinan estas dos ecuaciones, se obtiene la de tercer grado en F o en f , que dará una solución directa; pero el problema consiste en determinar tensiones y flechas a distintas temperaturas y con diferentes velocidades de viento, para los fines de construcción de línea, partiendo de un conjunto original, el más severo de todos.

Existe otro método para la solución de este problema. Este emplea la relación L/D como base, que será llamada X , y una relación numérica Z de la tensión, la carga y el claro, tal que $Z = F/w$. De la ecuación 4 se deduce que

$$f/D = w(D)/(8F) = 1/(8Z) \text{ (Ecu. 18)}$$

Si la ecuación 5 es dividida entre D, queda

$$X = 1 + 8/3 (1/8Z)^2 = 1 + 0.4166/Z^2 \quad (\text{Ecu. 19})$$

Por otra parte dividiendo la ecuación 14 entre D, resulta

$$X - L_0/D = F(L_0)/(A(E)(D)) = w(L_0)(Z)/(A(E)) \quad (\text{Ecu. 20})$$

o bien

$$Z = A(E)(X)/(w(L_0)) - A(E)/(w(D)) \quad (\text{Ecu. 21})$$

La ecuación 19 corresponde a una curva de tercer grado, muy fácil de trazar por puntos, dando valores a Z y calculando X. Esta curva sirve para cualquier claro, cualquier carga y cualquier temperatura; la escala para X comienza en 1.000 y termina, generalmente en 1.010; la escala para Z comienza en 0.00 y llega hasta 20 ó más. La ecuación 21 representa una familia de rectas que se cruzan en el eje de las X, con abscisa igual a L_0/D , y con inclinación inversamente proporcional al producto $(w)(L_0)$. Para diferentes temperaturas las rectas se cruzan en distintos puntos del eje de las X.

Cuando sólo se busca solución a un problema concreto, se calcula la abscisa L_0/D y por ahí se traza la recta con la pendiente $A(E)/(w(L_0))$, hasta cortar la curva. Luego se multiplica la ordenada de la intersección por el claro D y por la carga w y resulta la tensión en las nuevas condiciones. La pendiente puede ser obtenida por la fuerza necesaria para producir un alargamiento de un milésimo del claro; esa fuerza se divide entre $(w)(D)$, y el cociente corresponde al aumento de ordenadas por cada milésimo de aumento de abscisa de la recta.

3.1.1.8.2 La catenaria

La catenaria es un cable que bajo la acción de su propio peso lleva una carga uniformemente distribuida a lo largo de sí mismo.

La ecuación que nos define la catenaria, esta dada por:

$$y = (c) \cosh (x / c) \quad (\text{Ecu. 16})$$

Y la tensión en el cable viene dada por:

$$T = (W) (c) \quad (\text{Ecu. 17})$$

Donde W es el peso total del cable.

El tramo se ve a la vez limitado por aspectos mecánicos y eléctricos, los cuales se detallan a continuación:

Limitaciones mecánicas

- Esfuerzo último del conductor.
- Esfuerzo de ruptura del poste
- Esfuerzo de ruptura de los herrajes

Limitaciones eléctricas

- Separación del conductor de fase al hilo neutro
- Separación del conductor de fase a la estructura de soporte y a las retenidas
- Separación vertical del conductor al suelo
- Separación entre conductores de fase.

3.2 Diseño de la Red de Electrificación Rural

El análisis para la determinación de la ruta de la línea y optimizar recursos fue basado en la condición actual de la red de distribución del INDE de esta región. Luego se ubicó el punto ideal donde se haría una derivación de un alimentador para estas comunidades.

Previo a diseñar la red, se determinó la cantidad de usuarios que habrá en cada uno de los diferentes circuitos, asimismo se procedió a clasificarlos de acuerdo al tipo de construcción en la cual habitan.

El presente diseño presenta el inconveniente que la confiabilidad del sistema disminuye al tener una sola fuente de alimentación, ya que al existir una falla esta afectará por completo a toda la red de distribución, esto a la vez implica que deberá programarse un mantenimiento preventivo por parte del INDE.

El conocimiento de las características eléctricas de un sistema de distribución y la aplicación de los conceptos fundamentales de la ingeniería son quizá los requisitos más esenciales para diseñar y operar un sistema. Por lo tanto, es necesario que se posean conocimientos claros de las características de la carga del sistema que se va a alimentar para operarlo en forma adecuada. Desafortunadamente, aunque el ingeniero que planea un sistema de distribución tiene libertad en la selección de muchos factores que intervienen en el diseño de este, no la tiene en uno de los más importantes: la carga, ya que ésta no queda dentro del entorno del sistema de distribución, siendo definitivamente la más importante, y decisiva variable exógena, tanto para el diseño como en la operación del sistema.

La carga a considerar para cada usuario fué determinada como se indicó en el capítulo anterior, tomando en consideración el valor sugerido por el INDE para poblaciones en el área rural, así como también por una simple inspección visual de la

calidad de vida de los habitantes de esta población, es decir considerando la necesidad actual y proyectándola conforme a la condición de vida de las personas que habitan en la cabecera municipal.

Al tomar como referencia los datos estadísticos de los niveles de crecimiento poblacional en dicha región (ver tabla IV, Capítulo 1) y proyectando el mismo hacia 30 años en el futuro se logra dimensionar la capacidad de los componentes del proyecto.

Cabe aquí recalcar que un proyecto no debe de planificarse para servir a muchos años en el futuro, para este caso en particular se tomaron 30 años que es una cantidad razonable donde luego de este tiempo se ha recuperado la inversión inicial; ya que ello lo vendría a encarecer notablemente, debido a que se obliga a que una parte de la inversión esté muerta (desde el punto de vista financiero), perdiéndose el costo de oportunidad por el uso del dinero, de la misma manera es de señalar que en el caso de transformadores subcargados, o en vacío, el transporte de energía reactiva representa costos que afectan al sistema.

3.3 Mediciones de ruta

Para poder determinar el lugar o ruta a seguir para la alimentación de los ramales que servirán a cada una de las diferentes comunidades, se tomó en consideración la topografía del terreno y considerando que existe un camino o calle principal que comunica a cada uno de estos lugares; por lo tanto, se decidió que lo más conveniente es trazar una ruta paralela a dicho camino, ya que además, el comportamiento poblacional muestra un índice de concentración mayor en este lugar y menor o en algunos casos ninguno conforme se aleja del mismo.

Las comunidades de Cucanjá, Chimay Saquijá y Chicobán, se encuentran una a continuación de la otra y comunicadas por el mismo camino, por lo que se procedió a

tomar como un punto de alimentación el mostrado en los planos correspondientes en el anexo III.

En igual forma se procedió a diseñar la red de distribución eléctrica de Sangreen, ver planos en el anexo III.

3.3.1 Zonificación del lugar

Es importante señalar que la cantidad total de viviendas de las respectivas comunidades se encuentra en algunos casos muy dispersas; esto principalmente para los casos de Chicobán y Chimay Saquijá, en donde únicamente un pequeño porcentaje del conjunto total están cerca del área donde pasarán las líneas eléctricas de transmisión primaria.

3.3.2 Alimentación de la red

Una red de alimentación tipo radial es decir que consta con dos fuentes de alimentación es lo mas adecuado y común en nuestro medio, sin embargo en el presente proyecto no fué factible tomar en consideración dicha alternativa debido a que las condiciones del lugar no se prestaban para ello, lo cual le da mucha confiabilidad a un sistema y por lo tanto, lo hace también más caro. Es decir, que nuestro proyecto cuenta con un solo alimentador.

Debido a su bajo costo y sencillez, las redes de operación radial se seguirán usando, pero tratando también de mejorar sus características de operación para hacerlas más confiables.

3.3.3 Determinación del tipo de estructura a utilizar

Partiendo del punto de enlace con la red existente del sistema interconectado Nacional se determinó el punto óptimo, es decir la estructura más próxima a las comunidades, el cual será la alimentación de los diferentes ramales (Cucanjá y Chicobán respectivamente, y por otro lado a Sangreen)

La mayor parte de circuitos alimentadores principales y los sistemas secundarios de distribución rural se construyen con poste de madera o bien de concreto. Para nuestro proyecto específicamente se procedió a escoger en el diseño postes de concreto por las siguientes razones:

- a. La capacidad de fabricación y control de calidad es bastante buena.
- b. Por razones estéticas.
- c. Por preferencia y especificación de la alcaldía municipal.

La altura de los postes queda a la vez determinada por los espacios libres que se requieran sobre las obstrucciones, calles cruceros, las longitudes de los claros, el número y carácter de los conductores o circuitos que van a soportar. Las longitudes de postes que utilizaremos en nuestro diseño son de 10.67 m, y 9.00 m, respectivamente, los cuales están debidamente normados por el INDE.

3.4 Cálculos eléctricos

A continuación se presentan los correspondientes cálculos eléctricos a partir de los cuales se procedió a determinar cada uno de los componentes que formaran parte del sistema de distribución, para mayor facilidad los mismos se encuentran elaborados por separado para cada comunidad.

3.4.1. Selección de transformadores

Un estudio de las cargas y sus características abarca no solamente los diversos tipos de aparatos que se usan y su agrupación para conformar la carga de un consumidor individual, sino también el grupo de consumidores que integran la carga de una zona. Razón por la cual se deberá partir del punto de analizar los diferentes tipos de carga de tipo residencial combinadas con otro tipo de carga, para observar la influencia que tendrán en la carga general de un alimentador y a su vez en la carga total del transformador.

Para proceder a la elección del transformador apropiado para cada uno de los lugares a beneficiar, se procedió de la manera siguiente.

- a. Determinación de la cantidad de usuarios que requerían servicio en los correspondientes circuitos.³
- b. Con los datos del inciso anterior se procede además a dimensionar el respectivo transformador tomando en consideración las tasas de crecimiento poblacional y el consumo sugerido por el INDE para este tipo de regiones.
- c. Se procedió a zonificar la región y determinar la cantidad de viviendas de cada tipo existentes en el área y de esta forma estimar la posible carga.
- d. Según la guía de Normas de Construcción de Electrificación Rural, INDE, 1,991, página 86, modificada en mayo 1,997. Indica que la distancia máxima de los brazos ramales a partir de un transformador, no deben de ser mayores de 500 m para transformadores de 10 kVA y 250 m para transformadores de 25 kVA.
- e. Refiriéndonos a la Tesis “Selección de Transformadores en Proyectos de redes de Distribución” (Joel Toledo Toledo), clasificaremos a los usuarios según el tipo de vivienda.

Los usuarios clasificados como C y D en el trabajo en mención no son aplicables a este proyecto, razón por la cual no se hace referencia de ellos, tomándose para nuestro estudio la clasificación mostrada en la tabla siguiente.

Tabla XX Clasificación de usuarios por tipo de vivienda.

Tipo \ Característica	A	B
Techo	Paja, teja, tejamanil o palma.	Teja, lamina galvanizada o Duralita
Piso	No hay piso (es de tierra)	Pavimentado rústico
Paredes	De varas, tablas, bajareque, en algunos casos de adobe de canto	Rústicas de madera, adobe, o block sin repello
Número de Ambientes	1, en algunos casos 2	2 a 4
Area Habitable	20 m ² a 40 m ² .	30 m ² a 60m ²
Posibles Instalaciones	1 o 2 focos	Pocos focos y algún aparato eléctrico, como radio receptor o plancha

3.4.2 Selección del conductor

Dependiendo de las cargas, la relación entre la potencia de recibo, los tipos y calibre de conductores que serán empleados en la construcción de líneas de distribución, es necesario hacer varias consideraciones para la selección del conductor adecuado.

- a. El normativo de construcción de electrificación rural del INDE, 1,991, establece el uso de conductor tipo ACSR No.2 AWG, para una potencia máxima esperada de 67 kVA. Cuando por razones de diseño sea necesario el uso de servicio trifásico, se admite el diseño con conductores de calibre mayor al descrito con anterioridad, de acuerdo a los requerimientos del sistema.
- b. Refiriéndonos al plano debemos de tener cuidado de no sobrepasar las distancias máximas que se encuentran estipuladas por el INDE y de esta forma se logrará obtener una regulación de voltaje aceptable, es decir no mayor del 5 %.
- c. La capacidad del conductor que determinará la cantidad máxima de corriente a circular por dicho ramal. Y está determinada de la ecuación siguiente

$$I_{max} = kVA / (kV * 0.8) \text{ A. (Ecu. 3)}$$

3.4.2.1 Cuidados especiales con la selección del conductor

Cuando el conductor de la red secundaria tenga que extenderse entre ramas de árboles, puede optarse por el empleo de conductor tipo múltiplex con el mismo calibre que la red y con el mensajero neutro ACSR del mismo calibre.

En áreas rurales y semirurales donde normalmente se utilizan vanos de 100 m, puede utilizarse conductor múltiplex con mensajero neutro tipo ACSR del mismo calibre.

Deberán emplearse los herrajes y accesorios adecuados, el equipo de trabajo apropiado para manipular y fijar los conductores. En todos los puntos en que el conductor quede suspendido por aisladores de espiga o de carrete, se utilizará protector preformado, adecuado al calibre del conductor. Para la fijación del secundario, además del bastidor y estribo, se admiten también el uso del perno para aislador de carrete, en los puntos de tangencia exclusivamente. Las holguras sobre el suelo (libranzas), los agujeros en los postes a ser empleados, las formas de fijación de los conductores y herrajes, están indicados en el anexo II.

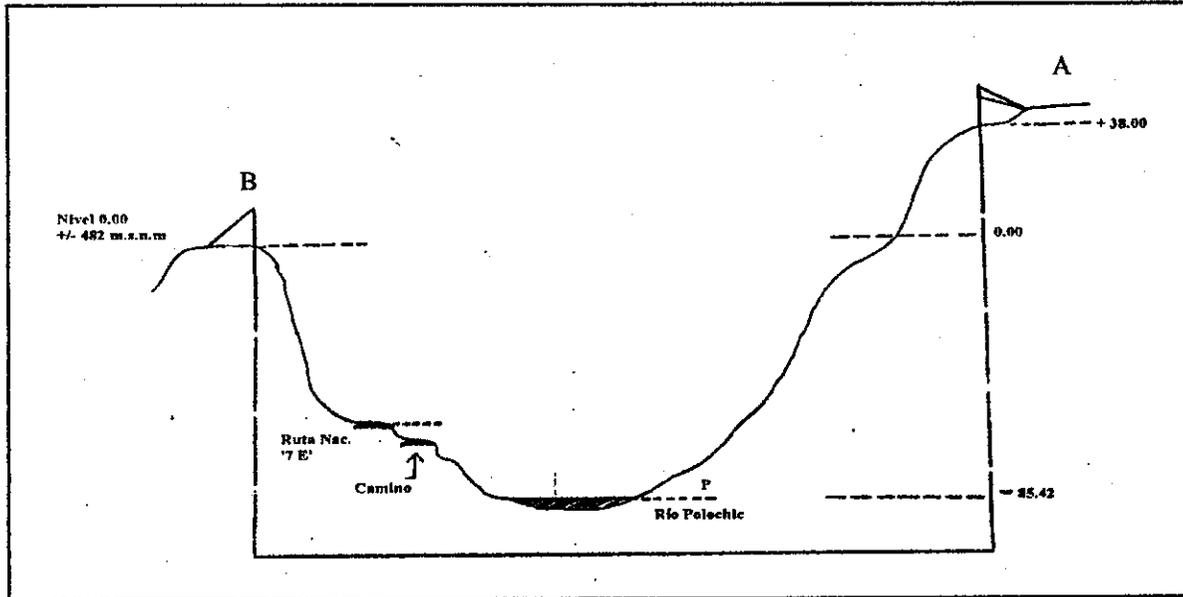
3.5 Cálculos eléctricos y mecánicos por comunidad

3.5.1 Comunidad Chicobán y Chimay Saquijá

En el plano correspondiente a las comunidades en mención, hoja No. 1 / 2, podemos observar que el primer tramo que lleva las líneas de alimentación tiene una longitud de 560 m (1,836.8 pies), por lo cual es necesario realizar los cálculos correspondientes para determinar los valores máximo y mínimo de la tensión, puesto que no deseamos que el cable se vaya a romper. Es decir, al diseñar un tramo y determinar el tipo de estructura así como las tensiones máximas y mínimas que este

puede resistir se debe de tomar en consideración ciertos factores de seguridad, los cuales nos garantizan un comportamiento adecuado de los soportes en los extremos del cable.

Figura 6 Perfil del terreno, tramo del barranco, Comunidad Chicobán



Fuente: Levantamiento topográfico, ASMEL.

De las ecuaciones indicadas anteriormente podemos determinar las características de la curva que forma el cable, para el vano en mención.

Del perfil del terreno (figura 6), observamos que el apoyo más alto, al cual identificaremos como A, se encuentra a 123 metros (403.44 pies) del punto P, o sea el punto más bajo medido sobre el nivel del río; y el apoyo más bajo, al cual identificaremos como B, está a 85 metros (278.8 pies), de la misma referencia. Aplicando la ecuación 11, podemos encontrar la distancia horizontal desde el apoyo inferior a el punto más bajo de la curva, es decir b (ver figura 5).

$$b = D/2 - F(H) / (w(D))$$

Sustituyendo valores tenemos: $b = 1,836.8/2 - (500)(124.64) / (0.091)(1,836.8)$

$$b = 545.56 \text{ pies } (166.33 \text{ m})$$

Ahora se procede a encontrar la distancia vertical desde el apoyo inferior al punto más bajo de la curva, a partir de la ecua. 12

$$\text{donde } e = (w)(b^2) / (2T)$$

sustituyendo valores tenemos $e = 27.085 \text{ pies } (8.26 \text{ m})$

Del resultado anterior se puede observar que el punto más bajo de la curva del cable se encuentra a 27.085 pies (8.26 m) debajo del extremo identificado como B. Este valor es bastante aceptable para propósitos de seguridad ya que nos garantiza que no existen obstáculos que vayan a interferir de alguna manera con la línea de distribución primaria que pasa en este tramo, tal como se puede observar en la figura anterior, además cumple con los requerimientos de seguridad con respecto a las distancias mínimas que los cables deben de estar para no causar un contacto accidental hacia las personas. En la figura 6 se puede observar que el punto más bajo del terreno es decir el río se encuentra a una distancia mucho más baja con respecto al cable, con lo cual se garantiza lo anterior.

La curva se descompone en una rama de 545.56 pies y otra de 1,291.24 pies, cuyas tensiones extremas son calculadas a partir de la ecuación 16, donde 500 es la fuerza horizontal en el punto más bajo de la curva que forma el cable y fue asumida en este valor para cumplir con los requerimientos de seguridad que nos garantizan que la componente de la fuerza horizontal en los apoyos, es decir el poste, no vayan a sobrepasar el límite de ruptura del mismo. El poste empleado posee una resistencia de ruptura que es el doble de la tensión que se le calculó.

De la ecuación 16, se puede encontrar la componente de la fuerza en el eje Y, sustituyendo valores, tenemos:

$$500 \cosh (545.56/1,836.8) = 522.17 \text{ libras } (117.60 \text{ kg})$$

$$500 \cosh (1,291.24/1,836.8) = 628.72 \text{ libras } (141.60 \text{ kg})$$

Con los valores anteriores nos aseguramos que las tensiones a las cuales estará sometido el cable se encuentran aún dentro de los límites del margen de seguridad, es decir que el poste deberá de soportar perfectamente estos valores, ya que existe un factor de seguridad.

Según la ecuación 17, las componentes verticales en los extremos son, sustituyendo valores

$$(546.46)(0.091) = 49.72 \text{ libras } (11.19 \text{ kg}), \text{ en el apoyo inferior}$$

$$(1,303.16)(0.091) = 118.59 \text{ libras } (26.71 \text{ kg}), \text{ en el apoyo superior}$$

Para propósitos de diseño es necesario considerar la presión que ejerce el viento sobre los cables, así como el efecto de dilatación de estos por la temperatura. El normativo de Electrificación Rural del INDE, 1,991 nos indica que los valores máximos del viento en nuestro país son de 68.09 kg/m². En el anexo V se incluye una tabla, con una serie de datos sobre los conductores ACSR, cuya información es la más comúnmente utilizada para propósitos de diseño. Refiriéndonos a nuestro ejemplo, se procede a encontrar primero la carga unitaria lo cual está definido como el producto del área del conductor por la presión del viento, para lo cual se tiene un valor de 0.547 kg/m². Aplicando la Ecu. 7, se tiene:

$$\text{La carga compleja vale } (0.1359)^2 + (0.547)^2 = (1359)^2$$

El módulo de elasticidad de un conductor No. 2 ACSR Sparrow, es de 29,795 kg/mm².

A partir de este valor se procede a calcular la cuerda del cable, de la ecuación 5, se tiene:

$$L = D + 8f^2 / 3D$$

Si consideramos la parábola formada por dos partes, una desde el apoyo superior al punto más bajo de la curva y otro desde el apoyo inferior al punto más bajo de la curva tenemos

$$L_{AE} = 545.56 + 8(151.73)^2 / (3(545.56)) = 658.08 \text{ pies (200.63 m)}$$

$$L_{EB} = 1,291.24 + 8(27,08)^2 / (3(1,291.24)) = 1,292.75 \text{ pies (394.13 m)}$$

Por lo tanto, se tiene una cuerda total de 594.767 m, que es la suma de ambas longitudes de cuerdas, $L_{AE} + L_{EB}$.

Podríamos graficar una familia de curvas para determinar los diferentes valores de temperaturas, pero a propósitos de diseño nos interesa únicamente el valor en los puntos críticos, por lo cual lo determinamos de la siguiente manera, aplicando las ecuaciones 13 y 14.

$$1,950.61 / (1 + 2850 / ((29,795)(52.1))) = 1,950.61 \text{ pies (594.70 m) - 10 grados C.}$$

Cuando la temperatura suba a 65 grados, que es el valor máximo de temperatura que puede soportar el conductor, este medirá:

$$L_o = 1,950.61 + 1,950.61(75)(0.00145) = 1,966.99 \text{ pies (599.70 m)}$$

El viento produce a la vez el efecto de balancear los cables de un lado hacia otro, lo cual implica la posibilidad que en determinado momento las líneas chocaran una contra otra produciendo un corto circuito. Para evitar esta situación existen diferentes métodos uno de estos es el de colocar espaciadores entre las líneas, aunque esto resulta a la vez ser algo laborioso e inusual. En este proyecto se adoptará como medio para evitar

este problema el ubicar una línea más alta que la otra, una forma práctica consiste en dejar el doble de la distancia normada por el INDE, entre conductores. A pesar de que existe, aún con ello el riesgo de choque de líneas este es mínimo.

En la tabla siguiente se resumen los valores correspondientes a los cables más comúnmente utilizados en distribución rural y aplicados a el ejemplo en estudio, se toma como fuerza horizontal en el punto más bajo de 500 lb, por las razones anteriormente indicadas.

Tabla XXI Valores de b y e, para los cables más utilizados en Distribución Rural, aplicación caso Comunidad Chicobán

Calibre Del conductor	W (lb)	T _{ruptura} (lb)	T _{aplicada} (lb)	b (pies)	e (pies)
No. 4	0.569	8,273.28	500	858.77	419.63
No.2	0.901	15,390.08	500	545.56	27.09
No. 1 / 0	1.42	19,482.24	500	894.51	1,136.20

De la tabla anterior se puede observar que el conductor más adecuado para pasar por el tramo en estudio es el cable No. 2 ACSR, Sparrow. Puesto con él se tendrá una distancia desde el apoyo inferior al punto más bajo de la curva del cable que es intermedio a los cables de calibre inmediato superior e inferior, que se encuentra dentro de los límites de la libranza de seguridad hacia el fondo del terreno. Es decir, el cable no quedará ni muy alto ni muy bajo.

En los planos referentes a esta comunidad (hojas 1 /2 y 2/2) se puede observar la forma como se balanceó la carga en los diferentes circuitos, con respecto a la red de distribución primaria, de tal manera que se procedió a sectorizar la región para distribuir de esta forma los ramales.

El punto de enlace con la línea del INDE existente de 7.62 kV, es el mostrado en el plano, en donde se ubicará al inicio un poste de 12 metros clase 740 kg y al final del vano un poste igual para equilibrar las tensiones mecánicas de los cables. Es de hacer notar en este momento que la carga a requerir en este lugar es exclusivamente del tipo monofásica.

Como se indicó en el capítulo 2 las comunidades de Chicobán y Cucanjá se encuentran localizadas una a continuación de la otra. El alimentador en el lado primario será un conductor No. 2 ACSR, la corriente máxima que circulará por dicho circuito será de 6 amperios.

El tipo de poste que se utilizará para ubicar las líneas primarias, en algunos casos primario/secundario será de concreto de 10.67 metros y en donde se tenga únicamente secundario se ubicará en postes de 9.0 metros, respectivamente. En la tabla siguiente se resumen las características de los postes a utilizar en este proyecto.

Tabla XXII Características de los postes de concreto.

Longitud Nominal (mm)	Diámetro Superior (mm)	Diámetro Inferior (mm)	Jalón en la punta (kg)	Peso Aproximado (lb)	Empotramiento (mm)
9,000	165	300	227	1,300	1,400
10,670	165	325	227	1,800	1,567

Fuente: Normas de Construcción de Electrificación Rural, INDE, 1,991.

Según capítulo 1 las comunidades de Chicobán y Chimay Saquijá cuentan con un total de 260 viviendas de las cuales únicamente 76, están próximas al lugar por donde pasaran las líneas de distribución primaria. Dichos usuarios se encuentra catalogados entre muy pobre y humilde, de acuerdo a la clasificación correspondiente a la tabla IXX, por lo que se tomó un promedio de 250 vatios de carga por cada vivienda.

Es de hacer notar en este punto que el 86% de las viviendas que conforman esta región se encuentran bastante dispersas y muy alejadas del camino principal o ruta que seguirá el alimentador primario.

A propósito de diseño se debe de prever una carga a servir al 100 por ciento de esta, ya que en el futuro el incremento de carga significará un incremento en costos de materiales por no haber hecho esta previsión, es decir los alimentadores primarios cuentan con la capacidad suficiente para poder seguir ampliando la red de distribución secundaria en ramales y brazos al interior de la región.

Al asumir 250 vatios de carga para cada usuario se tiene un total de 19.00 kW, dividiendo el valor anterior por el factor de potencia que en este caso podría ser 0.80 se tendrá finalmente 11.25 kVA

Para esta comunidad se utilizarán tres transformadores del tipo autoprotegido de 10 KVA, el cual trae incorporada ya su protección. Aquí se establece una norma de sobrecarga admisible para transformadores de distribución, "Para instalaciones monofásicas, un solo transformador para servicio de 120/240 Vac, la sobrecarga admisible es de un 80% de su capacidad de placa de kVA. Es decir un transformador de 10kVA, por ejemplo tiene una carga admisible de 8 kVA para un total de 18 kVA aunque ello representa una disminución de la vida útil del mismo."⁴

Ahora se ubicará el transformador de manera que pueda servir a la mayor cantidad de viviendas posibles, al referirse al plano (hojas 1/1 y 1/2, Anexo III), podemos observar que el punto optimo para ello es el mostrado puesto que desde este punto se logra cubrir hacia un lado un radio de 260 metros y hacia el otro lado 400 metros, sin tener una regulación de voltaje mayor al 5 %, tal y como lo recomienda el INDE.

La función de la protección de la red de distribución primaria es la de eliminar cualquier tipo de falla persistente. Para un sistema ideal, cuando se usan las capacidades nominales correctas de los elementos fusibles en todo el sistema. En muchos sistemas en donde los niveles de cortocircuito son muy altos, a veces es imposible evitar que incluso el fusible más grande opere durante una falla temporal. En una falla permanente, se quemará el primer elemento fusible que esté en el lado de la fuente de la falla y, de este modo, el circuito permanecerá abierto, por el fusible quemado.

Debido a que la red de distribución de Chicobán a Cucanjá están unidas se procedió a utilizar un cortacircuitos con capacidad para proteger ambas comunidades. Refiriéndonos a la tabla XXII observamos que para una carga como la que tendrán estas comunidades necesitamos un cortacircuitos con un fusible de 6 A., el cual estará ubicado al principio de la línea para proteger dichos ramales. Se hará uso de la tabla mostrada en la tabla 20, para seleccionar la capacidad del fusible adecuado.

Como se había indicado al principio la Comunidad de Chimay Saquijá se encuentra situada entre la de Chicobán y Cucanjá razón por la cual esta se tomó como una sola.

Las líneas de distribución secundaria operarán al voltaje de utilización (120/240 Vac) y serán del tipo trifilar, el calibre a utilizar será No. 2 ACSR, Sparrow, AWG.

El material utilizado y la cantidad total de estructuras que forman dichos circuitos se encuentra listado en el anexo II.

3.5.2 Comunidad Cucanjá

Esta comunidad se encuentra a continuación de la anterior, lo cual lo podemos observar en el plano respectivo hoja 1/1, Anexo III.

La alimentación de dicho circuito será la misma que la de Chicobán, por lo que el conductor será continuación de este, No. 2 ACSR, Sparrow, AWG, se ubicará al inicio de esta red un cortacircuitos con un fusible de 4 amperios, el cual aislará cualquier falla que ocurriese, de tal manera que no afecte por completo a ambas comunidades. Para esta red es necesario utilizar un fusible en serie con el fusible de la red de la comunidad anteriormente descrita, con el fin de reducir al mínimo el número de consumidores afectados por una paralización. Para ello es necesario lograr la coordinación entre estos dos, al coordinar los fusibles adyacentes.

Para la ubicación de los ramales primario, secundario y combinado se procedió en igual forma que en el de la comunidad de Chicobán, así mismo el tipo de poste a utilizar en los correspondientes circuitos, es decir de 10.67m para líneas de distribución primaria y primaria/secundaria y de 9.00 para distribución secundaria únicamente.

A continuación se procede a seleccionar el o los transformadores a alimentar la carga. Basándose en la cantidad de viviendas existentes en dicho lugar, del nivel de vida de las mismas, y de la carga sugerida por el INDE para áreas rurales, se procedió a la elección del mismo.

El reglamento de Normas de Construcción de Electrificación Rural, 1991, del INDE, establece que para transformadores con capacidad de 10 kVA, debe de hacerse brazos cuyo radio no exceda de 500 metros, en este caso podemos observar que 63 usuarios, de los cuales 61 son residenciales, 1 agro industrial (beneficio) y 1 gubernamental (escuela). Tomando en consideración el tipo de usuarios se puede nuevamente asumir 250 vatios por vivienda, para el beneficio podemos asumir 1 kW

(asumiendo el uso de maquinaria y equipos industriales en el futuro) y para la escuela 1 kW (asumiendo la incorporación de carreras de tipo técnicas las cuales harán uso también de herramientas y equipos industriales, para el futuro) con lo cual tenemos un total de 15.25 kW. Al aplicar el respectivo factor de potencia que es de 0.80, tenemos entonces 19.07 kVA.

Al referirse al plano (hoja 1/1 Cucanjá, Anexo III), se puede observar que la carga se encuentra mucho más concentrada al final de la región y al principio muy dispersa, con lo cual para poder servir a todos los posibles usuarios será conveniente utilizar dos transformadores, uno ubicado en el punto mostrado en el plano, el cual servirá a un total de 29 usuarios y un segundo transformador tendrá que alimentar al resto es decir a un total de 34 usuarios.

Ahora se seleccionará la capacidad del primer transformador tomando nuevamente 250 Vatios como demanda por vivienda tenemos un total de 7.25 kW entre un factor de potencia de 0.8 se tiene entonces 9.06 kVA. El primer transformador deberá tener una capacidad de 10 kVA. El segundo transformador deberá alimentar la carga restante de 34 usuarios, podemos observar en el plano respectivo que la carga de este sector se encuentra bastante dispersa por lo que para no sobrepasar el mínimo de regulación permitida por el INDE, utilizaremos un transformador de 15 kVA.

Con el primer transformador se logra cubrir un radio de 440 metros hacia un lado y hacia el otro un radio de 320 metros, con lo cual se garantiza la buena regulación de voltaje en dicho sector. Con el segundo transformador se cubre un radio como sigue: 180 metros hacia un lado y 220 metros hacia el otro, esto es consecuencia de la condición en la cual se encuentra distribuida la carga (ver plano, Comunidad Cucanjá, hoja 1/1, anexo III).

Los transformadores a utilizar serán del tipo autoprotegido (protección incorporada).

Las líneas de distribución secundaria operarán al voltaje de utilización (120/240 Vac) y serán del tipo trifilar, el calibre a utilizar será No. 2 ACSR, Sparrow, AWG.

El material utilizado y la cantidad total de estructuras que forman dichos circuitos se encuentran listados en el anexo II.

3.5.3 Comunidad Sangreen

Esta comunidad a diferencia de las dos anteriores, se encuentra ubicada en un lugar distante a estas, tal como se indica en el figura 1, capítulo 1, razón por la cual el correspondiente alimentador será tomado en un punto diferente, el mostrado en el plano comunidad de Sangreen, hoja 1/1, anexo III. El voltaje primario de distribución será nuevamente de 7.62 kV, monofásico.

A continuación se procedió a ubicar el ramal alimentador en postes de concreto de 10.67 metros de la línea existente hacia un poste igual para equilibrar la tensión mecánica de los cables. Se utilizarán postes de este tipo para ramales que incluyan líneas primarias y primarias/secundarias y postes de 9.00 metros en los cuales se tenga únicamente líneas secundarias.

Seguidamente se procedió a ubicar los transformadores en los lugares señalados en el plano correspondiente, ver anexo III. La carga a alimentar se encuentra compuesta por un total de 96 viviendas lo cual nos da una potencia máxima de 24 kW, entre un factor de potencia de 0.8 nos da un total de 30 kVA. De este valor se podría asumir el uso de dos transformadores de 15 kVA, pero tomando en consideración las condiciones geográficas del lugar así como también la distribución de la carga en dicha área se tiene entonces lo siguiente: