

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca Central

**"ESTUDIO PARA LA INTRODUCCION DE ENERGIA  
ELECTRICA A LA ALDEA SAN FRANCISCO Y DISEÑO  
DE LA SUBESTACION ELECTRICA PRINCIPAL DE LA  
CIUDAD DE JUTIAPA"**

TESIS

PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
POR

**WILDER RODOLFO SARCEÑO LEMUS**

al conferírsele el título de

**INGENIERO ELECTRICISTA**

GUATEMALA, MARZO DE 1997

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca Central

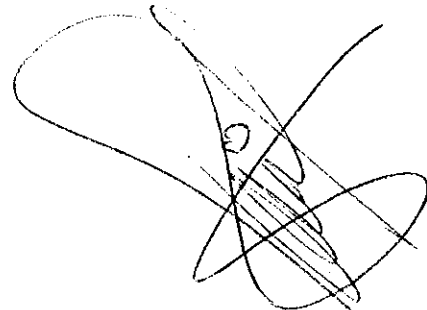
08  
T(3906)  
C.4

**HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

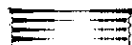
Cumpliendo con los preceptos que establece la Ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración mi trabajo de Tesis titulado:

***ESTUDIO PARA LA INSTRODUCCION DE ENERGIA ELECTRICA A LA ALDEA  
SAN FRANCISCO Y DISEÑO DE LA SUBESTACION ELECTRICA PRINCIPAL DE  
LA CIUDAD DE JUTIAPA***

Tema que me fue asignado por la Honorable Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería.



**Wilder Rodolfo Sarceño Lemus**





**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA**

**MIEMBROS DE LA JUNTA DIRECTIVA**

Decano:	Ing. Herbert René Miranda Barrios.
Vocal Primero:	Ing. Miguel Ángel Sánchez Guerra.
Vocal Segundo:	Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano.
Vocal Tercero:	Ing. Juan Adolfo Echeverría Méndez.
Vocal Cuarto:	Br. Victor Rafael Lobos Aldana.
Vocal Quinto:	Br. Wagner Gustavo López Cáceres.
Secretario:	Inga. Gilda Marina Castellanos de Illescas.

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN  
GENERAL PRIVADO**

Decano:	Ing. Julio Ismael González Podzsueck.
Examinador:	Ing. Edwin Alberto Solares Martínez.
Examinador:	Ing. Julio Roberto Urdiales Contreras.
Examinador:	Ing. Marvin Marino Hernández Fernández.
Secretario:	Ing. Francisco Javier González López.



**FACULTAD DE INGENIERIA**  
Unidad de Prácticas de Ingeniería  
Ejercicio Profesional Supervisado  
E.P.S.

Ciudad Universitaria, Zona 13  
01013 Guatemala, Centroamérica

REF.EPS.G.004.97

Guatemala, 24 de enero de 1,997

Señor  
Ing. Juan Merck Cos  
Coordinador de la Unidad  
de Prácticas de Ingeniería y E.P.S.  
Presente

Señor Coordinador:

Por medio de la presente informo a usted, que como Supervisor y Asesor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario de la Carrera de Ingeniería Eléctrica, **WILDER RODOLFO SARCEÑO LEMUS**, procedí a revisar el Informe Final de la Práctica de EPS, cuyo título es: **ESTUDIO PARA LA INTRODUCCION DE ENERGIA ELECTIRICA A LA ALDEA SAN FRANCISCO Y DISEÑO DE LA SUBESTACION ELECTIRICA PRINCIPAL DE LA CIUDAD DE JUTIAPA;** el cual lo encuentro satisfactorio

Cabe mencionar que, las soluciones planteadas en este trabajo, constituyen un valioso aporte de nuestra Universidad, a uno de los muchos problemas que padece el país, principalmente en la satisfacción de necesidades en aspectos socio-económicos.

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite correspondiente.

Sin otro particular, me suscribo de usted.

Muy Deferentemente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Ing. Pedro Quiroa  
SUPERVISOR DE E.P.S.  
ELECTRICA



PQM/lgg.

c.c.: Archivo

**1,995 AÑO DE LA REFORMA UNIVERSITARIA, CON TU PARTICIPACION LA REFORMA AVANZA**



27 EN 1997

**FACULTAD DE INGENIERIA**  
Unidad de Prácticas de Ingeniería  
Ejercicio Profesional Supervisado  
**E.P.S**

**REF.EPS.C.012.97**  
Guatemala, 24 de enero de 1,997

Ciudad Universitaria, Zona 12  
01012 Guatemala, Centroamérica

Señor  
Ing. Miguel Angel Sánchez Guerra  
Director de la  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Presente

Señor Director:

Envío por este medio, el Informe Final, correspondiente a la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.) titulado **ESTUDIO PARA LA INTRODUCCION DE ENERGIA ELECTIRICA A LA ALDEA SAN FRANCISCO Y DISEÑO DE LA SUBESTACION ELECTIRICA PRINCIPAL DE LA CIUDAD DE JUTIAPA.**

Este trabajo, lo desarrolló el estudiante universitario de la Carrera de Ingeniería Eléctrica, **WILDER RODOLFO SARCEÑO LEMUS**, quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ingeniero Pedro Quiroa Méndez.

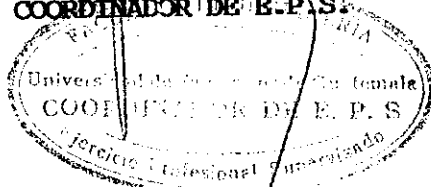
Por lo que, habiendo cumplido con los requisitos de Ley, así como con los objetivos del trabajo, y existiendo la **APROBACION** al mismo por parte del Asesor-Supervisor, esta **COORDINACION** también **APRUEBA** su contenido; solicitándole darle el trámite respectivo.

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: Dicho Informe Final.



**FACULTAD DE INGENIERIA**

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería  
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,  
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica  
y Regional de Post-grado de Ingeniería  
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12  
Guatemala, Centroamérica

Guatemala, 19 de febrero de 1,997

Señor Director  
Ing. Miguel Angel Sánchez Guerra  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica.

Señor Director.

Me permito dar aprobación al trabajo de tesis titulada: **Estudio para la introducción de energía eléctrica a la aldea San Francisco y diseño de la subestación eléctrica principal de la ciudad de Jutiapa**, desarrollada por el estudiante **Wilder Rodolfo Sarceño Lemus**, ya que considero que cumple con los requisitos establecidos.

Sin otro particular, me suscribo de usted,

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Angel J. Garza Martínez  
Coordinador Area de Potencia

AJGM/sdem.



**FACULTAD DE INGENIERIA**

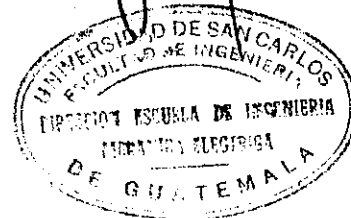
Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería  
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,  
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica  
y Regional de Post-grado de Ingeniería  
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12  
Guatemala, Centroamérica

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 tesis del estudiante Wilder Rodolfo Sarceño Lemus, titulada: Estudio para la introducción de energía eléctrica a la aldea San Francisco y diseño de la subestación eléctrica principal de la ciudad de Jutiapa, procede a la autorización del mismo.

Ing. Miguel Ángel Sánchez Guerra  
Director

Guatemala, 24 de febrero de 1,997.





**FACULTAD DE INGENIERIA**

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería  
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,  
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica  
y Regional de Post-grado de Ingeniería  
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12  
Guatemala, Centroamérica

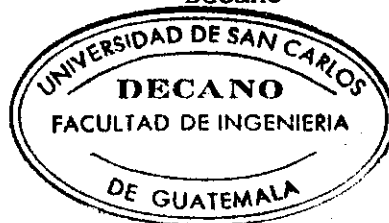
El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al trabajo de tesis: Estudio para la introducción de energía eléctrica a la aldea San Francisco y diseño de la subestación eléctrica principal de la ciudad de Jutiapa, del estudiante Wilder Rodolfo Sarceño Lemus, procede a la autorización para la impresión de la misma.

IMPRIMASE:

Ing. Herbert René Miranda Barrios

Decano

Guatemala, 27 de febrero de 1,997.





## RECONOCIMIENTO:

Agradezco profundamente a DIOS, Ser Supremo que me dió la existencia y a la Virgen María, quienes me dieron la fortaleza para salir adelante en mis logros y tropiezos.

A mis padres: *Luis Rodolfo Sarceño Zepeda y Lesvia Judith Lemus Alarcón*, GRACIAS... POR TODO, mi triunfo es su triunfo. Ahora sí, les puedo decir con mucho orgullo ¡misión cumplida!. A mi hermano *Irwin Noel*, que la meta que hoy alcanzo, le inspire para salir adelante, como siempre lo ha hecho.

Muy en especial, a toda mi familia, por estar siempre de mi lado, por brindarme ese amor incondicional. A Edwin Estuardo, más que un tío: un amigo.

Al personal de la Unidad Ejecutora USAC/BCIE y la Unidad de EPS de la Facultad de Ingeniería - USAC, por haberme impulsado a salir adelante y brindarme esa amistad tan sincera.

A mis AMIGOS, agradecimiento sincero, por el apoyo recibido durante todos estos años que hemos convivido y los que faltan por venir.

Y a todas aquellas personas que en una u otra forma, contribuyeron a la realización de este trabajo.

# INDICE

Contenido	Página
<b>INDICE</b>	i
<b>LISTADO DE GRÁFICAS, CUADROS Y TABLAS</b>	iv
<b>ABREVIATURAS</b>	v
<b>GLOSARIO</b>	vi
<b>INTRODUCCIÓN</b>	vii
<b>1. Monografía de Jutiapa</b>	
1.1 Aspectos geográficos.	1
1.2 Aspectos climatológicos.	1
1.2.1 Temperatura.	1
1.2.2 Velocidad del viento.	1
1.2.3 Humedad y precipitación pluvial.	1
1.2.4 Nivel sísmológico.	1
1.2.5 Nivel cerámico.	1
1.2.6 Grado de contaminantes.	2
1.3 Area de diseño.	2
1.4 Demografía.	2
1.5 Comercio e industria.	2
<b>2. Análisis de demanda.</b>	
2.1 Capacidad de la subestación existente.	3
2.2 Area servida actualmente.	3
2.3 Demanda actual.	4
2.4 Pronóstico de la demanda.	5
2.4.1 Metodología seguida para la proyección.	5
2.4.2 Método elegido.	5
2.4.3 Proyección de la demanda de energía.	8
<b>3. Consideraciones para el diseño de una subestación eléctrica.</b>	
3.1 Obra civil.	9
3.2 Selección del terreno.	10
3.3 Capacidad.	11
3.4 Niveles de voltaje.	11
3.5 Unifilar.	11
3.6 Transformador.	12
<b>4. Proyecto de diseño de la subestación eléctrica de la ciudad de Jutiapa.</b>	
4.1 Línea de distribución.	14
4.2 Distancias eléctricas de diseño.	17
4.2.1 Distancia de fase a tierra.	17

4.2.2	Distancia entre fases.	19
4.2.3	Altura mínima de las partes vivas de los equipos.	19
4.2.4	Altura de las barras sobre el nivel del suelo.	19
4.2.5	Altura mínima de llegadas y salidas de líneas en la subestación.	20
4.2.6	Distancias mínimas de seguridad.	20
4.3	Cálculo de la corriente de cortocircuito.	21
4.4	Conexión a tierra.	22
4.4.1	Diseño de la red de tierras.	26
4.5	Blindaje.	31
4.6	Proyecto de planta y elevaciones.	33
4.6.1	Obra civil.	33
4.6.2	Sistemas auxiliares.	33
4.6.3	Postes y estructuras.	34
4.6.4	Línea de transmisión e hilo de guarda.	35
4.6.5	Alimentador principal.	35
4.6.6	Localización de pararrayos.	35
4.6.7	Equipo de medición.	36
4.7	Tiempo de elaboración que requiere el proyecto.	37
4.8	Presupuesto del proyecto.	39
4.8.1	Costos directos.	39
4.8.2	Costos indirectos.	39
4.8.3	Costos totales.	40
4.9	Fuentes potenciales de financiamiento.	40
4.9.1	Presupuesto interno de la Municipalidad.	41
4.9.2	Instituciones financieras.	41
4.10	Opciones para la administración del proyecto.	42
4.11	Recuperación de capital.	44

## **5. Introducción de energía eléctrica en la aldea San Francisco, del municipio de Jutiapa.**

5.1	Criterios de diseño.	46
5.1.1	Distribución primaria.	46
5.1.2	Distribución secundaria.	46
5.1.2.1	Postes.	46
5.1.2.2	Conductores.	47
5.1.2.3	Transformadores de distribución.	47
5.1.2.4	Acometidas.	47
5.1.2.5	Tierras.	49
5.1.2.6	Retenidas.	49
5.1.2.7	Neutro.	49
5.1.2.8	Cortacircuitos, fusibles y pararrayos.	50
5.2	Levantamiento topográfico.	55
5.3	Ingeniería de la red.	55
5.3.1	Generalidades.	55
5.3.2	Carga estimada.	55

5.3.3	Carga proyectada.	56
5.3.4	Densidad de carga.	57
5.3.5	Selección del nivel de tensión de distribución.	57
5.3.6	Selección de transformadores.	57
5.3.7	Selección de conductores.	59
5.3.8	Caídas de tensión.	59
5.3.9	Protección de la red de distribución.	61
5.3.9.1	Protección contra sobrecorrientes.	61
5.3.9.2	Protección contra sobretensiones.	62
5.3.10	Postes a utilizar.	63
5.4	Tiempos de elaboración del proyecto.	67
5.5	Presupuesto.	68
5.5.1	Costos directos.	68
5.5.2	Costos indirectos.	71
5.5.3	Costos totales.	71
	<b>CONCLUSIONES.</b>	72
	<b>RECOMENDACIONES.</b>	73
	<b>FUENTES</b>	75
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	76
	<b>APÉNDICE.</b>	
1.	Planos de la subestación propia de Jutiapa.	78
2.	Listado de costos y materiales utilizados para la construcción de la subestación.	83
3.	Listado de costos y materiales utilizados para la construcción de la red de distribución de la Aldea San Francisco.	88
4.	Tipos de estructuras de líneas de distribución (7.62 kV), nomenclatura INDE.	93
5.	Mapa de la ciudad de Jutiapa.	100
6.	Ubicación del terreno propuesto para la construcción de la subestación eléctrica de la ciudad de Jutiapa.	101
7.	Ubicación de la aldea San Francisco, Jutiapa.	102

## **LISTADO DE GRÁFICAS Y TABLAS.**

### **Gráficas:**

1. Diagrama unifilar actual de la subestación El Progreso.
2. Diagrama unifilar (general) propuesto para la nueva subestación de Jutiapa.
3. Curva horaria de demanda de potencia, Alimentador a Jutiapa.
4. Proyección de la demanda de potencia.
5. Diagrama unifilar (detallado) propuesto para la subestación propia de Jutiapa.
6. Disposición de conductores en una estructura de 13.2 kV con hilo de guarda.
7. Curvas de fusión de tiempo corto para cables de cobre.
8. Esquema de las zonas de protección en el blindaje propuesto.
9. Plano de la aldea San Francisco.
10. Levantamiento de niveles, aldea San Francisco (de la estación 0 a la 14).
11. Levantamiento de niveles, aldea San Francisco (de la estación 0 a la 16).
12. Localización de postes en la aldea San Francisco.
13. Línea de distribución de la aldea San Francisco.

### **Tablas:**

1. Demanda horaria de potencia, alimentador a Jutiapa.
2. Demanda de energía y potencia en la ciudad de Jutiapa.
3. Demanda histórica de potencia de la ciudad de Jutiapa.
4. Proyección de la demanda de potencia en la ciudad de Jutiapa.
5. Cálculo de reactancias para línea de 13.2 kV.
6. Medidas mínimas de conductores de cobre para evitar fusión.
7. Ubicación de las estaciones utilizadas para el levantamiento topográfico de la aldea San Francisco, Jutiapa.
8. Estimación de carga por tipo de vivienda.
9. Proyección de la demanda de potencia de la aldea San Francisco, Jutiapa.
10. Sectorización de la aldea San Francisco.
11. Cálculo de reactancias para línea de 7.62 kV.
12. Valores de profundidad y diámetro del agujero para instalación de postes.
13. Resumen de tipos de estructuras a utilizar en el proyecto de introducción de energía eléctrica a la aldea San Francisco de la ciudad de Jutiapa.
14. Equipo y materiales en general.

## ABREVIATURAS.

<b>msnm</b>	metros sobre el nivel del mar.
<b>X°Y'Z"</b>	X grados, Y minutos, Z segundos.
<b>°C</b>	Grados Celsius.
<b>ICTA</b>	Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola.
<b>INSIVUMEH</b>	Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología.
<b>CONAMA</b>	Comisión Nacional del Medio Ambiente.
<b>ANSI</b>	American National Standards Institute.
<b>km</b>	Kilómetro.
<b>km<sup>2</sup></b>	Kilómetro cuadrado.
<b>m</b>	Metro.
<b>m<sup>2</sup></b>	Metro cuadrado.
<b>mm</b>	Milímetro.
<b>mm<sup>2</sup></b>	Milímetro cuadrado.
<b>mi</b>	Milla.
<b>CM</b>	Circular Mil.
<b>kph</b>	Kilómetro por hora.
<b>lb</b>	Libras.
<b>Hz</b>	Hertz (1 Hz = 1 ciclo por segundo).
<b>seg</b>	Segundos.
<b>dB</b>	Decibelio.
<b>SF6</b>	Hexafluoruro de Azufre.
<b>psi</b>	Libras por pulgada cuadrada.
<b>ln</b>	Logaritmo natural.
<b>log</b>	Logaritmo de base 10.
<b>e</b>	Constante de Nepper (e = 2.7182818281...).
<b>π</b>	Constante Pi.
<b>BIL</b>	Nivel básico de impulso.
<b>Ω</b>	Ohmio.
<b>mH</b>	Milihenrio.
<b>uF</b>	Microfaradio.
<b>A</b>	Amperio.
<b>V</b>	Voltio:
<b>kV</b>	Kilovoltio.
<b>kV<sub>LN</sub></b>	Kilovoltio de línea a neutro.
<b>kV<sub>LL</sub></b>	Kilovoltio de línea a línea.
<b>VA</b>	Voltiamperio.
<b>kVA</b>	Kilovoltiamperio.
<b>MVA</b>	Megavoltiamperio.
<b>MVA<sub>1φ</sub></b>	Megavoltiamperio por fase.
<b>W</b>	Vatio.
<b>kW</b>	Kilovatio.
<b>MW</b>	Megavatio.
<b>GWh</b>	Gigavatio hora.
<b>VAr</b>	Voltiamperio reactivo.

## GLOSARIO.

**Corrosión galvánica:** corrosión que se debe a la acción electroquímica de metal electropositivo cuando dos o más metales diferentes entran en contacto en presencia de un electrolito.

**Diagrama unifilar:** el diagrama unifilar en una subestación es el resultado de conectar en forma simbólica y a través de un solo hilo todo el equipo mayor que forma parte de la instalación, considerando la secuencia de operación de cada uno de los circuitos.

**Fusibles:** son dispositivos de protección eléctrica de una red que hacen las veces de un interruptor, siendo más baratos que éstos. Su función es la de interrumpir circuitos cuando se producen en ellos una sobrecorriente, y soportar la tensión transitoria de recuperación que se produce posteriormente.

**Línea de distribución:** conecta las cargas aisladas de una zona determinada a la línea de transmisión.

**Línea de transmisión:** constituyen los eslabones de conexión entre las centrales generadoras y las líneas de distribución, y conduce a otras redes de potencia por medio de interconexiones.

**Nivel cerámico:** cantidad de descargas electroatmosféricas que se registran en un área durante un período determinado.

**Pararrayos:** dispositivos eléctricos formados por una serie de elementos resistivos no lineales y explosores que limitan la amplitud de las sobretensiones originadas por descargas electroatmosféricas, operación de interruptores o desbalance de sistemas.

**Seccionador de cuchillas:** son dispositivos que sirven para conectar y desconectar diversas partes de una instalación eléctrica, para efectuar maniobras de operación o bien para darles mantenimiento. Estos pueden abrir bajo la tensión nominal pero nunca cuando está fluyendo corriente a través de ellos.

**Soldadura blanda:** es la unión de dos piezas de metal por medio de un metal diferente, que se aplica entre ellas en estado líquido a una temperatura que no excede los 430°C.

**Subestación:** conjunto de dispositivos eléctricos, que forman parte de un sistema eléctrico de potencia; sus funciones principales son: transformar tensiones y derivar circuitos de potencia.

**Transformador:** aparato capaz de transferir energía eléctrica de un circuito eléctrico a otro, estando este último aislado conductivamente del primero, al hacer el acoplamiento por medio de un campo magnético. Además de transferir energía, sirve para variar niveles de voltaje, corriente e impedancias.





## INTRODUCCIÓN.

Actualmente, la ciudad de Jutiapa, es alimentada eléctricamente desde la subestación ubicada en el municipio de El Progreso, departamento de Jutiapa, lamentablemente ésta ha llegado al límite de su capacidad a causa de la cantidad excesiva de usuarios a los que sirve.

Se hace necesaria la construcción de una nueva subestación que alimente exclusivamente a la ciudad de Jutiapa, por lo que el presente informe muestra el estudio y diseño de la nueva subestación eléctrica, que será construida por iniciativa de la Municipalidad del mencionado municipio, la cual está facultada para realizar este tipo de obras según lo indica el Código Municipal, en su Título III: Ordenamiento territorial y desarrollo integral del municipio, Artículo 112: Obligación de formular y ejecutar planes, que establece que la Municipalidad está en obligación de formular y ejecutar planes, tendientes a mejorar los servicios de energía eléctrica pública y domiciliar.

La primera parte de este documento muestra aspectos generales. El conocimiento de estos aspectos es necesario para realizar el diseño respectivo y son: datos geográficos, climatológicos, sismológicos, ambientales y demográficos. En la segunda parte del informe se detalla el análisis y proyección de la demanda de energía eléctrica de la ciudad de Jutiapa. En tercer lugar se muestran las consideraciones necesarias para el diseño de una subestación eléctrica, entre las que podemos mencionar la obra civil, unifilar, selección del terreno y otros. En la cuarta sección se detallan los trabajos realizados para el diseño formal de la subestación eléctrica de Jutiapa, se establecen las características del alimentador de la red de distribución, el diseño de la red de tierra, del blindaje, de las distancias eléctricas y de los planos respectivos de la subestación, también se realiza un presupuesto detallado, técnica y económicamente; así como el análisis de las fuentes de financiamiento y destino final de las instalaciones.

Otro problema que existe en cuanto a servicio eléctrico en la ciudad de Jutiapa, es que una de sus aldeas aledañas no cuenta con él, por lo que también, a solicitud de la Municipalidad de Jutiapa, se realiza el diseño de la red de distribución de energía eléctrica en la aldea San Francisco. Dicho trabajo se muestra en el último capítulo del presente informe, en el cual se detalla el estudio habitacional y la determinación y pronóstico de la demanda de energía eléctrica en la aldea mencionada, también se muestra el diseño de la topología de la red y el presupuesto respectivo.

Considero que este trabajo servirá para el desarrollo económico de los habitantes de la ciudad de Jutiapa y de la aldea San Francisco, ya que no basta solamente con contar con el servicio de energía eléctrica, sino que éste tiene que ser totalmente eficiente, y para lograr esta excelencia, entre las recomendaciones se listan las sugerencias para continuar con el proceso de mejora del servicio eléctrico.



# 1. MONOGRAFIA DE JUTIAPA.

## 1.1 Aspectos geográficos:

La ciudad de Jutiapa está situada al sudeste de la República de Guatemala, entre los paralelos 89° 52' 47" y 89° 55' 50" de longitud Este y entre los 14° 17' 10" y 14° 18' 47" de latitud norte del meridiano de Greenwich. Jutiapa es actualmente la cabecera del Departamento de Jutiapa. El municipio está localizado en el sector norte del departamento y colinda al norte con el departamento de Jalapa y los municipios de El Progreso y Santa Catarina Mita; al sur con Jalpatagua, Comapa, El Adelanto y Yupiltepeque; al oeste con Quesada y al este con Asunción Mita.

Cuenta con un área de 397 km<sup>2</sup> que equivale a un 13.23% del área total del departamento y tiene una altitud de 905.96 metros sobre el nivel del mar (msnm).

## 1.2 Aspectos climatológicos:

Con base en análisis estadísticos realizados por el Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola -ICTA-, se ha observado que las variables climatológicas en la ciudad de Jutiapa tienen una tendencia repetitiva respecto a sus valores normales, y que los cambios que se observan giran alrededor de éstos, por lo que no son marcados en forma apreciable. Los primeros cuatro numerales corresponden a lecturas efectuadas en una miniestación climatológica ubicada en los campos del ICTA, el quinto numeral es información proporcionada por el Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología -INSIVUMEH-, y por último, el sexto numeral, corresponde a información proporcionada por la Comisión Nacional del Medio Ambiente -CONAMA-.

**1.2.1 Temperatura:** El clima en la ciudad de Jutiapa es cálido sin estación fría bien definida, los meses frescos son diciembre y enero, en los cuales se han registrado temperaturas mínimas que van de los 8 a los 17 grados centígrados, con un valor promedio de 14.77°C; los meses cálidos son de febrero a junio en los que la temperatura oscila entre los 30°C y 41°C con una media de 34.01°C y en los meses de julio a noviembre se registran temperaturas entre los 6.91°C y los 34.08°C con un valor medio de 24.06°C.

**1.2.2 Velocidad del viento:** La velocidad máxima del viento oscila entre los 13 y los 27 kph, los mayores valores son registrados en los meses de septiembre a diciembre. El viento predominante es del noreste al sudoeste con dirección casi inalterable, en el mes de marzo se tienen vientos que van del sudeste a noroeste.

**1.2.3 Humedad y precipitación pluvial:** La humedad relativa de la ciudad de Jutiapa es del 60% y se alcanzan valores hasta del 78% en el invierno y del 44% en el mes de marzo por ser nula la precipitación pluvial. Los meses más lluviosos son junio y septiembre en donde se reportan lluvias que alcanzan los 98 mm, mientras que la precipitación pluvial anual promedio es de 1,150 mm.

**1.2.4 Nivel sísmológico:** La ciudad de Jutiapa no es atravesada por ninguna falla sísmica importante, aunque se encuentra relativamente cercana la falla de Jalpatagua y a la falla del Motagua, las cuales no afectan directamente la construcción de una subestación eléctrica.

**1.2.5 Nivel cerámico:** Debido a la poca actividad lluviosa de la región, la densidad de descargas electroatmosféricas en la ciudad de Jutiapa es muy baja, se llega a valores de 3 descargas por cada 20 kilómetros cuadrados, al año.

1.2.6 *Grado de contaminantes:* En la ciudad de Jutiapa existen varios focos de contaminación, todos son referentes a desechos sólidos, los cuales repercuten en la emanación de olores desagradables. No existe contaminación del aire por materiales corrosivos o radiactivos. Al construirse la subestación eléctrica principal al lado norte de la ciudad de Jutiapa (en el área de siembra y experimentación del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola), deberá tomarse en cuenta la acción de los plaguicidas sobre los materiales metálicos de la subestación.

### 1.3 Área de diseño:

La subestación eléctrica que alimentaría la ciudad de Jutiapa, beneficiará también a las aldeas siguientes: Las Trancas, Las Minas, Pipiltepeque Abajo, Buena Vista, Amayito, El Chiltepe, San Antonio, Cerro Gordo, Acequia, El Barreal, Jicaro Grande, Las Crucitas, El Tablón, Las Pilas, Río de la Virgen, Colonia Méndez Orozco y Las Tunas.

La ubicación del proyecto se hará en la periferia de la ciudad, debido a que las dos líneas de transmisión provenientes de Los Esclavos y de Chiquimulilla pasan por el norte y el sur de la ciudad, respectivamente.

### 1.4 Demografía:

Según el censo realizado por la Unidad de Salud del Hospital Regional de Jutiapa, la población en el municipio de Jutiapa en el año 1985 fue de 70,268 personas, mientras que en el año 1995 fue de 86,161 personas.

El crecimiento poblacional tiene una característica exponencial de la forma:  $P_t = P_o e^{kt}$ , donde  $P_t$  es la población final,  $P_o$  es la población inicial de la muestra,  $k$  es la constante de crecimiento y  $t$  es el tiempo para la estimación. Sustituyendo los valores de 1985 y 1995 encontramos la constante de crecimiento la cual es:

$$k = \ln(P_t/P_o) / t, \quad k = 0.02039$$

con esta constante podemos estimar la población para los años siguientes, en este caso, para el año 2014 la población en la ciudad de Jutiapa será de:

$$P_t = 86,161 e^{0.02039(11)}, \quad P_t = 107,825 \text{ personas}$$

lo que constituye casi el número total de personas que saldrían beneficiadas con la ejecución del proyecto.

### 1.5 Comercio e industria:

La cabecera departamental de Jutiapa, a pesar de los inconvenientes energéticos, ha tenido en los últimos 3 años un crecimiento considerable en la cantidad de comercios establecidos en la ciudad así como el número de industrias.

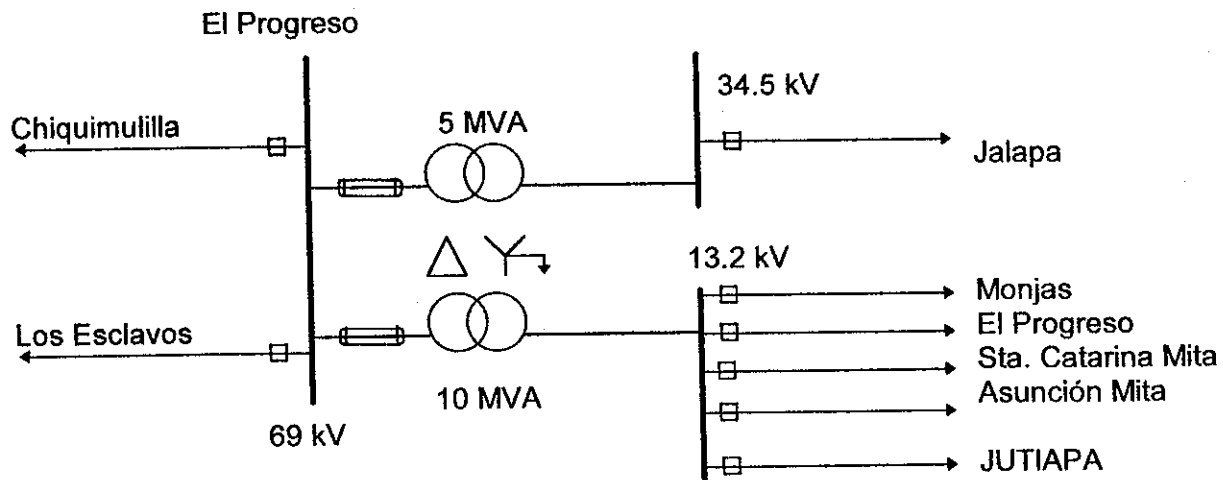
Actualmente el Instituto Nacional de Electrificación -INDE-, tiene registrados a 856 usuarios comerciales y 5 industriales de un total de 5887, los cuales consumen el 27.1% de la demanda total de energía en la ciudad de Jutiapa. Cifra que aumentará considerablemente al concluir la construcción de varios centros comerciales.

## 2. ANÁLISIS DE LA DEMANDA.

### 2.1 Capacidad de la subestación existente:

Actualmente, la subestación que alimenta a la ciudad de Jutiapa se encuentra en el municipio de El Progreso, del mismo departamento de Jutiapa. Esta subestación es alimentada en 69 kV, por medio de las líneas de transmisión de Los Esclavos y de Chiquimulilla. El diagrama unifilar de la subestación, es el siguiente:

**Gráfica No. 1**  
**Diagrama unifilar actual de la subestación El Progreso.**



**Fuente:** Subestación El Progreso, Jutiapa

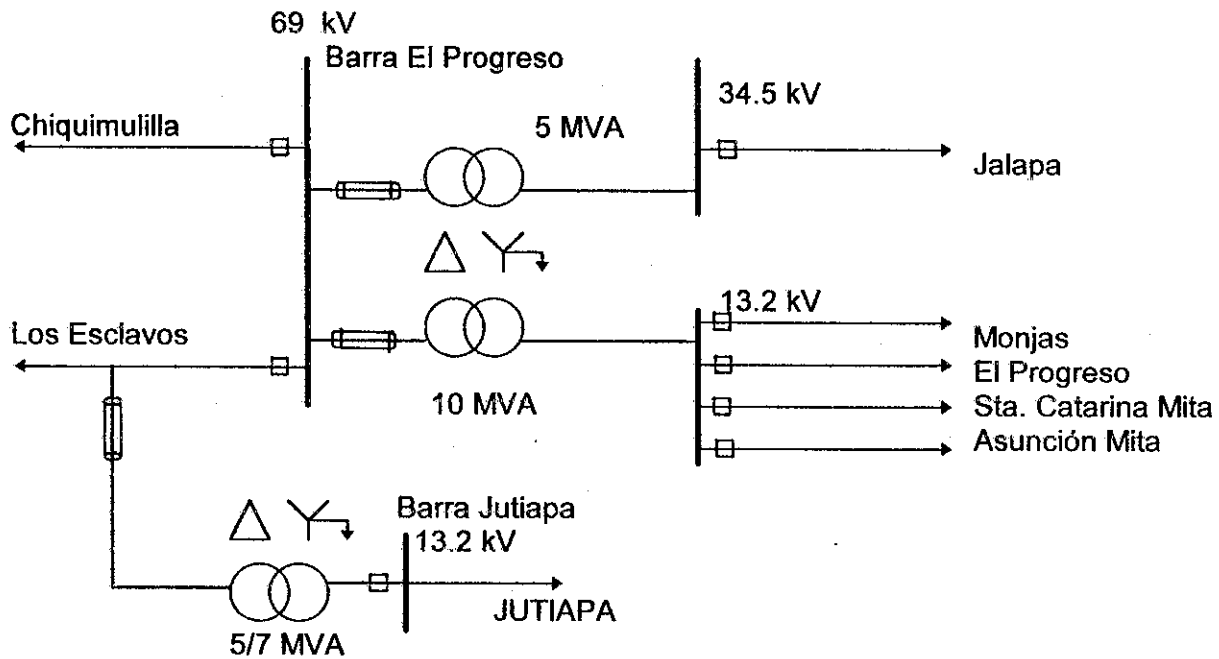
Ambas líneas de transmisión pasan por la periferia de la ciudad de Jutiapa, la línea proveniente de Los Esclavos lo hace por el lado norte y la de Chiquimulilla por el lado sur de la ciudad; la primera es la más cercana al alimentador de la ciudad de Jutiapa.

El diagrama unifilar propuesto para alimentar exclusivamente a la ciudad de Jutiapa, por medio de su propia subestación es el que se muestra en la gráfica No. 2, la nueva subestación estaría a 10 km de distancia de la subestación El Progreso.

### 2.2 Area servida actualmente:

Como podemos ver en el diagrama unifilar anterior, actualmente la subestación eléctrica alimenta a los municipios de Jutiapa, Santa Catarina Mita, Asunción Mita, Monjas y El Progreso. El alimentador para Jutiapa suministra energía a las aldeas: Las Trancas, Las Minas, Pipiltepeque Abajo, Buena Vista, Amayito, El Chiltepe, San Antonio, Cerro Gordo, Acequia, El Barreal, Jicaro Grande, Las Crucitas, El Tablón, Las Pilas, Río de la Virgen, Colonia Méndez Orozco, Las Tunas, El Pino, Santa Clara, La Arada, Pozas, Canoas, Matilisguate, Río de Paz y La Garita.

**Gráfica No. 2**  
**Diagrama unifilar (general) propuesto para la nueva subestación de Jutiapa.**



**2.3 Demanda actual:**

El alimentador de Jutiapa, suministra energía a 5887 usuarios, los cuales tienen un consumo según el siguiente resumen:

- 4871 usuarios residenciales que consumen 3.99 GWh/año,
- 856 usuarios comerciales que consumen 1.96 GWh/año,
- 5 usuarios industriales que consumen 0.13 GWh/año,
- 66 usuarios del gobierno que consumen 0.78 GWh/año,
- 11 usuarios municipales que consumen 0.88 GWh/año y
- 78 usuarios diversos que consumen 0.10 GWh/año.

Lo cual nos totaliza un consumo de 7.84 GWh/año.

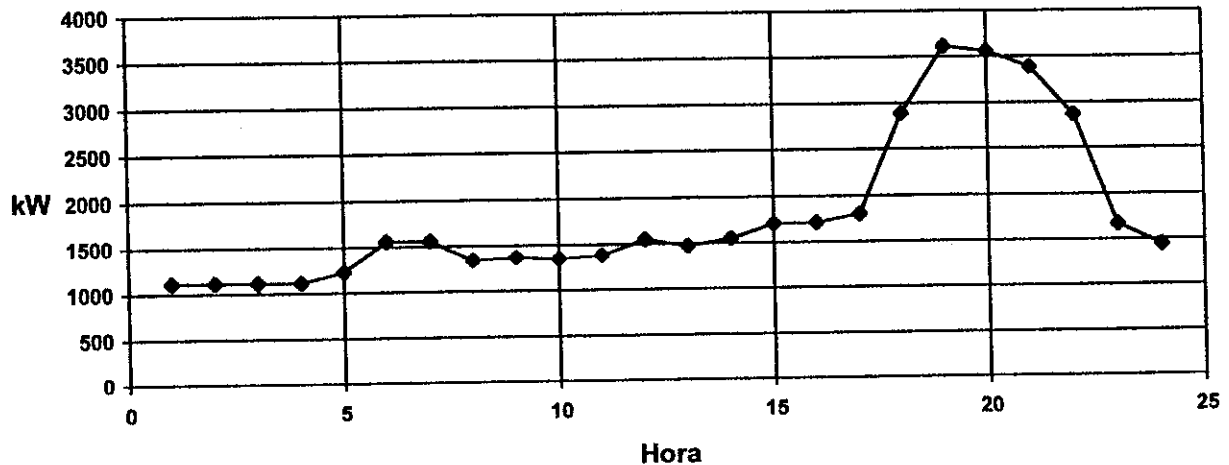
Mientras que la demanda horaria en el alimentador de Jutiapa es la siguiente:

**Tabla No. 1**  
**Demanda horaria de potencia, alimentador a Jutiapa.**

Hora	Demanda (kW)	Hora	Demanda (kW)	Hora	Demanda (kW)
1	1111	9	1367	17	1800
2	1111	10	1344	18	2889
3	1111	11	1378	19	3611
4	1111	12	1544	20	3556
5	1222	13	1467	21	3389
6	1556	14	1544	22	2867
7	1556	15	1700	23	1667
8	1333	16	1711	24	1444

Para visualizar mejor la tabla anterior, a continuación se muestra la gráfica de la curva horaria:

**Gráfica No. 3**  
**Curva horaria de demanda de potencia**  
**Alimentador a Jutiapa**



**Fuente:** Subestación eléctrica El Progreso.

Al analizar detalladamente la curva anterior, nos damos cuenta que el valor promedio de la demanda diaria es de 1800 kW, el cual se duplica al llegar a la hora pico establecida en las 19:00 horas.

Para futuros cálculos, se tomará como demanda el valor de 3600 kW, que es el valor pico de la curva horaria.

#### 2.4 Pronóstico de la demanda:

Este proyecto trata de contribuir al mejor suministro de energía eléctrica en la ciudad de Jutiapa para un período de 8 años aproximadamente; la proyección se hace hasta el año 2005, asumiendo que el proyecto comenzará a funcionar en 1998. Esto da una holgura de 1 año. Además, se tiene previsto dejar un área de crecimiento, lo cual hará que con la adquisición mínima de equipo, este proyecto pueda ser eficiente otros 10 ó 15 años, aproximadamente.

**2.4.1 Metodología seguida para la proyección:** Para realizar esta inferencia estadística se utilizaron datos históricos desde el año 1989 hasta el año 1995. Con estos datos se establecen los coeficientes de correlación para establecer que método de regresión se utilizará; entre los métodos de regresión utilizados están: el lineal, exponencial y el geométrico.

**2.4.2 Método elegido:** Como se mencionó anteriormente, se tienen datos históricos de la demanda de energía de la ciudad de Jutiapa, desde 1989 hasta 1995; dichos datos se muestran en la tabla No. 2.

Únicamente se conoce la demanda de energía, por lo que necesitamos calcular la potencia correspondiente. Estos valores los determinamos mediante el factor de carga (FC). Según estudios de demanda sectorial realizados por el INDE, a nuestra población de diseño puede asignársele un factor de carga de 0.50.

Al tener el valor del factor de carga, la expresión para determinar la potencia en función de la energía demandada es la siguiente:

$$\text{Potencia} = \text{Energía} / (\text{FC} * \text{horas})$$

El siguiente cuadro muestra la demanda de energía y potencia en los últimos 6 años:

**TABLA No. 2**  
**DEMANDA DE ENERGIA Y POTENCIA**  
**EN LA CIUDAD DE JUTIAPA**

Datos fuente			Datos calculados	
Año	GWh	MW	MVA	Tc
1989	6.00	2.74	3.42	—
1990	6.26	2.86	3.57	4.15%
1991	6.42	2.93	3.66	2.49%
1992	6.91	3.16	3.94	7.09%
1993	6.95	3.17	3.97	0.58%
1994	7.59	3.47	4.33	8.43%
1995	7.84	3.58	4.47	3.19%
Promedio aritmético:				4.32%

Tc: Tasa de crecimiento de la potencia aparente (MVA)

**FUENTE:** Unidad de planificación del INDE.

Estos datos se utilizan en la tabla No. 3 para determinar los coeficientes de correlación de la muestra, los cuales vienen dados según las expresiones siguientes:

Coeficiente de correlación lineal:

$$\gamma_l = \frac{n \cdot \sum xy - \sum x \cdot \sum y}{\left[ \left[ n \cdot \sum x^2 - (\sum x)^2 \right] \cdot \left[ n \cdot \sum y^2 - (\sum y)^2 \right] \right]^{1/2}}$$

Coeficiente de correlación exponencial:

$$\gamma_e = \frac{n \cdot \sum xy' - \sum x \cdot \sum y'}{\left[ \left[ n \cdot \sum x^2 - (\sum x)^2 \right] \cdot \left[ n \cdot \sum y'^2 - (\sum y')^2 \right] \right]^{1/2}}$$



Coefficiente de correlación geométrico:

$$\gamma_g = \frac{n \cdot \sum x'y' - \sum x' \cdot \sum y'}{[[n \cdot \sum x'^2 - (\sum x')^2][n \cdot \sum y'^2 - (\sum y')^2]]^{1/2}}$$

donde  $x' = \ln|x|$  &  $y' = \ln|y|$ .

**TABLA No. 3**  
**DEMANDA HISTÓRICA DE POTENCIA DE LA CIUDAD DE JUTIAPA.**

X	Y									
Año	MVA	XY	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>	lnY	XlnY	lnY <sup>2</sup>	lnX	lnX lnY	lnX <sup>2</sup>
1989	3.42	6802.38	3956121	11.696	1.23	2445.76	1.512	7.595	9.340	57.690
1990	3.58	7124.20	3960100	12.816	1.28	2537.97	1.627	7.596	9.688	57.698
1991	3.66	7287.06	3964081	13.396	1.30	2583.25	1.683	7.596	9.856	57.705
1992	3.94	7848.48	3968064	15.524	1.37	2731.39	1.880	7.597	10.417	57.713
1993	3.96	7892.28	3972049	15.682	1.38	2742.85	1.894	7.597	10.458	57.720
1994	4.34	8653.96	3976036	18.836	1.47	2926.94	2.155	7.598	11.153	57.728
1995	4.48	8937.60	3980025	20.070	1.50	2991.75	2.249	7.598	11.395	57.736
	27.38	54545.96	27776476	108.02	9.52	18959.91	13.000	53.178	72.303	403.990

Los factores calculados en la tabla No. 3 los sustituimos en las fórmulas anteriores, lo que nos da como resultado:

$$\gamma_l = 0.98426688$$

$$\gamma_e = 0.98746652$$

$$\gamma_g = 0.0009915$$

Como era de esperar, el coeficiente que más tiende a la unidad es el exponencial. La diferencia entre el coeficiente de correlación lineal y el exponencial es despreciable, lo que nos indica que es indiferente usar un método de regresión lineal o uno exponencial. Para este caso, se usará el método de regresión exponencial, basado en el criterio de que es éste el que tomará en cuenta los casos extremos de crecimiento en la demanda de energía.

Ahora, el crecimiento del consumo de energía eléctrica se puede expresar de la siguiente forma:

$$C_t = C_0 \cdot (1 + Tc)^t$$

Donde  $C_0$  es el consumo en el año inicial,  $C_t$  es el consumo en el año a proyectar,  $Tc$  es la tasa de crecimiento del consumo y  $t$  es el tiempo en años del momento inicial al momento a proyectar.

Por medio de la tabla No. 2 podemos determinar que la tasa de crecimiento promedio es del 4.32%, por lo que la expresión anterior nos queda:

$$C_t = 2.24 \cdot (1 + 0.0432)^t$$

El dato anterior es el que utilizaremos en la proyección de demanda de potencia.

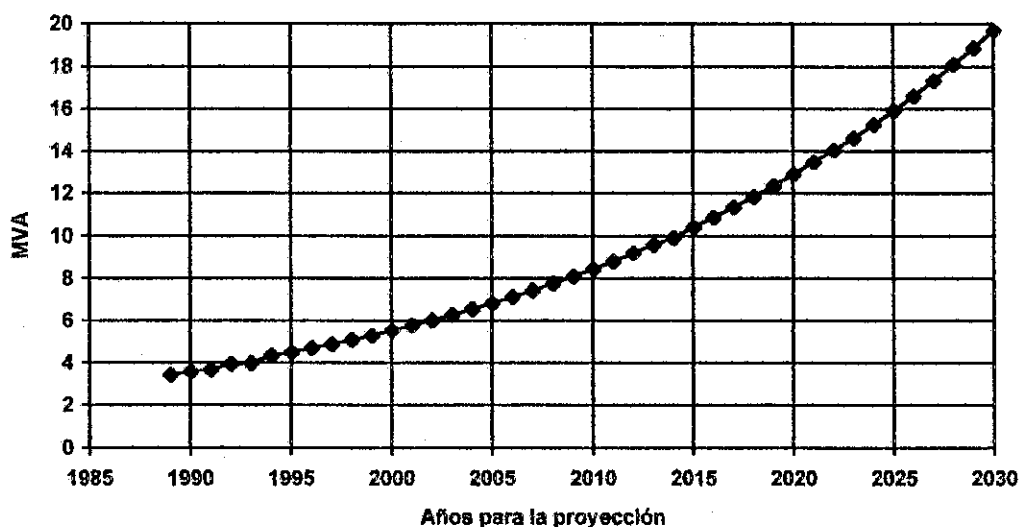
2.4.3 *Proyección de la demanda de energía:* A continuación se muestra el análisis de regresión exponencial que nos indica la proyección estimada de demanda de energía y potencia eléctrica para el año 2030.

**TABLA No. 4**  
**PROYECCIÓN DE LA DEMANDA DE POTENCIA EN LA CIUDAD DE JUTIAPA**

Año	Demanda Energía GWh/año	Demanda Potencia MVA	Año	Demanda Energía GWh/año	Demanda Potencia MVA	Año	Demanda Energía GWh/año	Demanda Potencia MVA
1995	7.84	4.47	2007	13.02	7.43	2019	21.63	12.35
1996	8.18	4.67	2008	13.59	7.75	2020	22.57	12.88
1997	8.53	4.87	2009	14.17	8.09	2021	23.54	13.44
1998	8.90	5.08	2010	14.79	8.44	2022	24.56	14.02
1999	9.29	5.30	2011	15.42	8.80	2023	25.62	14.62
2000	9.69	5.53	2012	16.09	9.18	2024	26.73	15.26
2001	10.10	5.77	2013	16.79	9.58	2025	27.88	15.92
2002	10.54	6.02	2014	17.51	9.99	2026	29.09	16.60
2003	11.00	6.28	2015	18.27	10.43	2027	30.34	17.32
2004	11.47	6.55	2016	19.06	10.88	2028	31.66	18.07
2005	11.97	6.83	2017	19.88	11.35	2029	33.02	18.85
2006	12.48	7.13	2018	20.74	11.84	2030	34.45	19.66

Para que el proyecto sea eficiente hasta el año 2005, la subestación deberá contar con un transformador de 5/7 MVA. Para visualizar el comportamiento del crecimiento de la demanda de potencia (MVA), se realiza la siguiente gráfica.

**Gráfica No. 4**  
**Proyección de la demanda de potencia**



**Fuente:** Tablas No. 2 y 4

### **3. CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA.**

Como parte integrante de un sistema de transmisión, la subestación funciona como punto de conexión o conmutación para líneas de transmisión, alimentadores de subtransmisión, circuitos de generación y transformadores elevadores y/o reductores. El objetivo de diseño de la subestación es proporcionar máxima confiabilidad, flexibilidad, continuidad de servicio y satisfacer estos objetivos a los costos de inversión más bajos, que satisfagan las necesidades del sistema.

Muchos factores influyen para la selección correcta del tipo de subestación para una aplicación dada. El tipo de subestación más apropiado depende de factores tales como el nivel de voltaje, capacidad de carga, consideraciones ambientales, limitaciones de espacio en el terreno y necesidades de derechos de vía de la línea de transmisión. Además, los criterios pueden variar entre sistemas.

Con el continuo aumento general en el costo del equipo, mano de obra, terrenos y adaptación de los mismos, debe hacerse todo el esfuerzo posible para seleccionar criterios que representen la mejor opción para satisfacer las necesidades del sistema a los mínimos costos posibles. En vista de que los costos importantes de subestaciones se reflejan en los transformadores, el trazo de la barra y arreglo de conmutación seleccionado determinarán el número de interruptores requeridos.

Como ya se mencionó, una subestación debe ser confiable, económica, segura y con un diseño tan sencillo como sea posible; este último debe proporcionar un alto nivel de continuidad de servicio y contar con medios para futuras ampliaciones, flexibilidad de operación y bajos costos inicial y final. Además debe brindar un alto nivel de seguridad para el personal.

La orientación física de las rutas de las líneas de transmisión muchas veces influyen en la ubicación y disposición de la barra en subestaciones. El lugar seleccionado debe ser tal que se pueda lograr un arreglo conveniente de las líneas.

#### **3.1 Obra civil:**

Para soportar, montar e instalar debidamente el equipo eléctrico se requieren estructuras hechas de acero, aluminio, madera y/o concreto. También se requiere la construcción de cimientos para soportar los transformadores, interruptores, reactores, capacitores y cualquier otro equipo eléctrico pesado.

Una subestación típica de tipo abierto requiere estructuras de anclaje para soportar conductores de líneas de transmisión; soportar estructuras para seccionadores, transformadores de corriente y de potencial, apartarrayos, filtros de línea, transformadores de voltaje de capacitor y las barras en la estación.

Para la ciudad de Jutiapa se tiene contemplada una subestación de capacidad relativamente pequeña. Se propone la construcción de la misma, con estructuras de concreto (postes) y hierro galvanizado, las cuales presentan muchas ventajas sobre las de aluminio,

entre las que se pueden mencionar el bajo costo, así también, pueden soldarse en el campo sin la preparación especial de superficie ni trabajos de retoque; el óxido protector que se forma por sí solo hace innecesarios los trabajos de conservación. Además, el color de este material y el poste de concreto va de acuerdo con el entorno y tienen un costo inicial un poco menor que el de otros materiales.

En la subestación se requieren otros trabajos estructurales específicos que comprenden: la selección y preparación del terreno, caminos, malla perimetral, drenaje/fosa séptica, ductos y cajas de registro para líneas vivas y sistema de tierra.

### 3.2 Selección del terreno:

Para la construcción de la subestación se estima un área mínima de 225 m<sup>2</sup>, lo que equivale a decir 15 x 15 m, y se propone para el desarrollo del proyecto la aldea Río de la Virgen, ubicada al norte de la ciudad (ver plano en el apéndice 6).

Se cuenta con dos opciones para la selección del terreno, la primera en los terrenos de experimentación y siembra del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola -ICTA- y la segunda, en un lote baldío donde se encuentra el poste que soporta las líneas de distribución con que se alimenta eléctricamente a la ciudad de Jutiapa. Los terrenos están ubicados a inmediaciones de la carretera Centro Americana (CA-1), en los kilómetros 118 y 118.5 respectivamente.

El terreno perteneciente al ICTA, se encuentra a la orilla de un camino de terracería que conduce a la aldea Piedra Blanca, a una distancia de 300 metros de la línea de distribución que sale del alimentador; es de topografía plana, el suelo está bien compactado, el nivel del terreno está a una altura de 1.20 metros sobre el nivel del camino y se puede disponer de medidas de 15 x 15 metros como se sugiere, además la línea de transmisión de 69 kV pasa sobre el mismo.

La segunda opción, en la base del alimentador, se encuentra al frente de 3 viviendas, el terreno tiene una disposición triangular, cuyas aristas miden 21.6 x 19.6 x 13.7 metros, lo que en total nos da un área de 132 m<sup>2</sup>, de los cuales no todos son efectivamente utilizables, además tiene una topografía accidentada, cuenta con un desnivel de 2.75 metros, por lo que se hace necesario hacer un relleno, compactar, construir un muro de contención y columnas que soporten las losas donde se instalará el equipo, la línea de transmisión de 69 kV también pasa sobre el terreno mencionado, pero a una altura de 30 m del nivel del suelo.

Por lo anterior la primera opción, el terreno ubicado en el ICTA, trae consigo más ventajas que la segunda. Se propone dicho terreno para la construcción de la subestación. Éste está ubicado exactamente en las coordenadas 89°53'40" de longitud este y 14°17'58" de latitud norte.

Las razones por las que se propone esta ubicación son las siguientes:

- La propiedad de dicho terreno corresponde a una entidad dispuesta a negociar el derecho de propiedad del inmueble (según consulta no oficial y preliminar).
- No existiría problema de acceso al área de la subestación, ya que se encuentra ubicada en las cercanías de la carretera CA1 o Centroamericana.

- No existen viviendas cerca del terreno propuesto, lo que reduce el riesgo de accidentes para la población.
- El terreno no presenta indicios de erosión, por lo que no habría problemas de deslaves o escurrimientos.
- La línea de transmisión proveniente de Los Esclavos pasa sobre la ubicación del terreno propuesto.
- La línea de distribución proveniente de la subestación de El Progreso que alimenta a la ciudad de Jutiapa, pasa a sólo 300 metros del terreno propuesto.
- La preparación del terreno implica un costo más bajo y en menor tiempo.

### 3.3 Capacidad:

Como podemos apreciar en la tabla No. 4, la demanda de potencia en horas normales del día, para el año 2005 será de cerca de 7 MVA, que da un margen de soporte por sobrecarga del transformador para compensar las pérdidas en la red de distribución durante las horas pico. Por lo tanto, la subestación deberá tener una capacidad de 5/7 MVA.

Tomando en cuenta una capacidad de 5/7 MVA para la subestación, se estima que el proyecto será eficiente hasta el año 2005; sin embargo, con la simple ampliación a 10 MVA de la subestación, podemos decir que la proyección en tiempo sería casi para el año 2015, en la que la demanda de potencia no llegaría al valor nominal de la capacidad de la subestación.

Previendo la posibilidad de ampliar la subestación a una capacidad de 10 MVA, la disposición de las estructuras se hará en base a un transformador de 10 MVA, ya que resulta mas económico cambiar el transformador de 5/7 MVA por uno de 10 MVA, que adquirir otro de 5/7 MVA, para el cual tendría que hacerse nuevas losas, nuevos soportes, ocuparía mayor área y nueva fosa; además, se puede obtener un valor de retorno con la venta del equipo a cambiar, lo cual compensaría el remanente de precio. En cuanto a ampliación, también existe suficiente espacio para disponer hasta de 3 salidas en 13.2 kV.

### 3.4 Niveles de voltaje:

La línea de transmisión que se utilizará para alimentar la subestación Jutiapa, proveniente de Los Esclavos, tiene un voltaje de 69 kV, mientras que la ciudad de Jutiapa tiene una red de distribución con un voltaje de 13.2 kV.

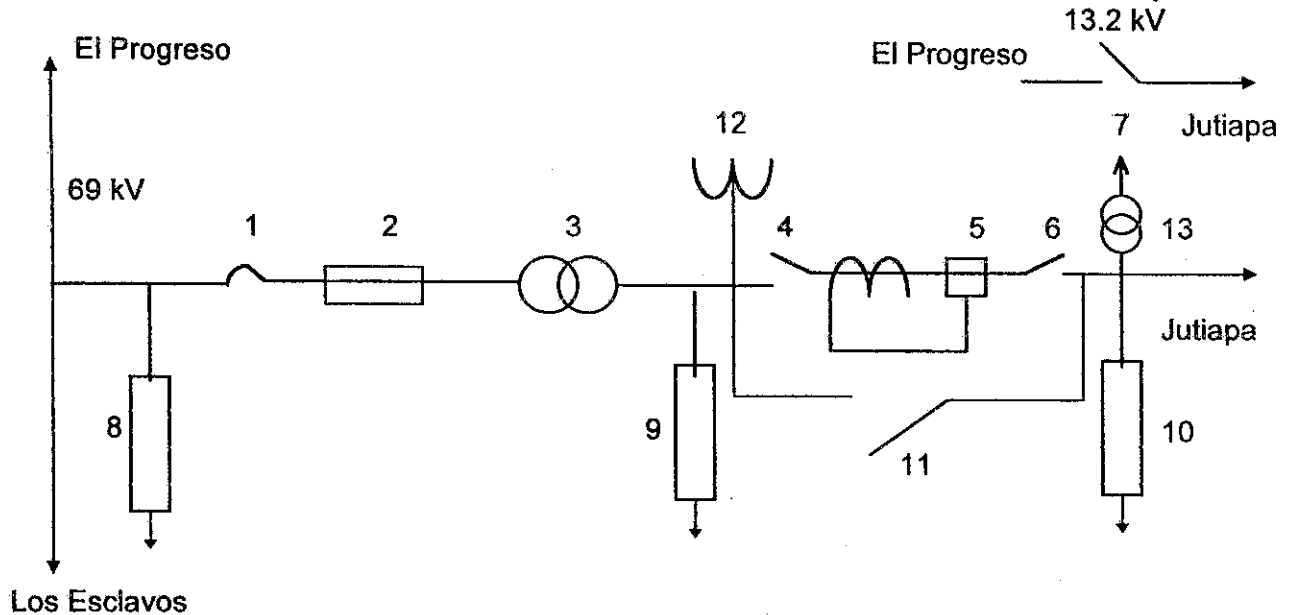
Con estos niveles de voltaje (69 kV en el lado de alta y 13.2 kV en el lado de baja), podemos establecer el valor mínimo del nivel básico de impulso -BIL-, el cual será de 350 kV para el lado de alta y de 110 kV para el lado de baja.

### 3.5 Unifilar:

La configuración propuesta para la construcción de la subestación eléctrica de la Ciudad de Jutiapa, es de una barra simple. En la salida del alimentador se instalarán dos seccionadores, con el fin de brindar mayor continuidad de servicio, ya que al presentarse una falla o se brinde servicio al transformador, la ciudad de Jutiapa podrá ser alimentada

nuevamente desde la subestación de El Progreso. El unifilar de la configuración propuesta se muestra a continuación:

**Gráfica No. 5**  
**Diagrama unifilar (detallado) propuesto para la subestación propia de Jutiapa.**



- 1) Seccionador de cuchilla con cuernos de arqueo, para aislar la subestación cuando se de mantenimiento al transformador.
- 2) Fusibles tipo expulsión para proteger el transformador tanto para sobrecarga como para cortocircuito.
- 3) Transformador de potencia 69/13.2 kV y capacidad de 5/7 MVA.
- 4) Seccionador de cuchilla, para aislar eléctricamente el recloser.
- 5) Recloser que deberá tener características de detección y protección contra sobrecarga, cortocircuito, falla a tierra y pérdida de fase,
- 6) Seccionador de cuchilla, para aislar eléctricamente el recloser.
- 7) Fusibles Cut-out, ya existentes, para alimentar desde la subestación actual ubicada en El Progreso, Jutiapa.
- 8) Pararrayos instalado al principio de la subestación para proteger el primario del transformador de potencia.
- 9) Pararrayos que protege de sobrecargas el secundario del transformador.
- 10) Pararrayos que protege el alimentador de la línea de distribución.
- 11) Fusibles Cut-out, apertura manual sincronizada, para usarse como by-pass al dar mantenimiento al recloser.
- 12) Sugerencia para instalar el transformador de precisión, para la medición en el secundario del transformador, ver capítulo 4 numeral 4.6.7.
- 13) Transformador autocontenido 10 kVA, 7.62 kV / 120/240 V, para servicios auxiliares.

Teóricamente, según la norma ANSI C-57.12.00-1980, una subestación con transformador categoría II y capacidad de 5/7 MVA, no necesita de la instalación de un interruptor de potencia. Por lo que el diseño de la subestación se hace sin tomar en cuenta la

protección del transformador por medio de un interruptor automático en SF6, sino que por medio de fusibles, los cuales brindan la seguridad necesaria y reducen considerablemente el costo de la subestación, sin embargo, se prevé el área para la instalación del interruptor SF6 en la parte frontal del terreno.

### 3.6 Transformador:

El transformador de potencia, como ya se mencionó en el numeral 3.3, deberá tener una capacidad nominal de 5/7 MVA. Deberá dejarse un espacio, dentro de la misma estructura, para crecimiento en la misma área de diseño. Las especificaciones técnicas del transformador de potencia, según la marca Asea Brown Boveri -ABB- son las siguientes:

Capacidad nominal:	5 / 7 MVA
Tipo:	subestación
Número de fases:	3
Frecuencia nominal:	60 Hz
Temperatura de operación:	65°C
Impedancia:	7%
Tolerancia de impedancia:	±7.5% como standard ANSI
Servicio:	exterior
Clase de enfriamiento:	aceite y circulación forzada de aire (OA)
Altitud de diseño:	3300 pies o sea 1000 msnm
Temperatura ambiente:	30°C promedio, 40°C máximo
Nivel de ruido:	65 dB a un pie de distancia.
Conexión:	Delta - Estrella
Voltaje primario:	69 kV Delta
BIL lado primario:	350 kV
Taps:	+2, -2, 2½% standard ANSI
Conductor primario:	aluminio
Voltaje secundario:	13.2/7.6 kV Estrella
BIL lado secundario:	110 kV
Conductor secundario:	aluminio
Presión en tanque:	15 psi
Radiador:	horizontal - tubular
Otros aspectos:	sistema de vacío para la preservación del aceite; válvula de drenaje con boquilla de 2"; válvula de muestreo con boquilla de 3/8"; termómetro indicador; indicador del nivel de aceite y presión; peso del aceite: 9158 lb; peso del transformador: 20931 lb; peso total (transformador y aceite): 30089 lb; base: 98" de ancho por 152" de largo; altura a las boquillas: 185"; máxima corriente de cortocircuito: 14.29 amperios por unidad.

Como se puede observar, en la capacidad del transformador se especifican dos valores: el primero, representa la capacidad nominal del transformador con enfriamiento por inmersión en aceite; el segundo dato, representa la capacidad nominal con enfriamiento por circulación forzada de aire.

#### **4. PROYECTO DE DISEÑO DE LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA DE LA CIUDAD DE JUTIAPA.**

El presente capítulo muestra en detalle el diseño de la subestación eléctrica para la ciudad de Jutiapa, se detallan tanto aspectos técnicos de tipo eléctrico como de obra civil y aspectos financieros y administrativos.

##### **4.1 Línea de distribución:**

Como se mencionó en el capítulo anterior, la ciudad de Jutiapa es alimentada por una línea de distribución con un voltaje de 13.2 kV. El alimentador principal se encuentra ubicado en kilómetro 118.5 de la carretera Centroamericana, al norte de la ciudad, exactamente a los  $89^{\circ}53'27''$  de longitud este y los  $14^{\circ}17'58''$  de latitud norte, mientras que el terreno propuesto tiene una ubicación de  $89^{\circ}53'40''$  de longitud este y  $14^{\circ}17'58''$  de latitud norte (ver plano del apéndice 6).

La alimentación se hace de la línea de distribución de 13.2 kV proveniente de la subestación El Progreso y que se extiende aproximadamente 10 kilómetros más hacia el sur del terreno propuesto (para diferenciarla la llamaremos *línea de distribución El Progreso*). Esta línea se encuentra soportada por las estructuras de la línea de transmisión de 69 kV proveniente de Los Esclavos y que llega a alimentar la subestación ubicada en El Progreso, Jutiapa.

Una propuesta para alimentar la subestación, es levantar la línea de 69 kV por medio de soportes aisladores, pero se tiene el inconveniente que la línea de distribución de 13.2 kV proveniente de El Progreso, está soportada en las mismas estructuras de la línea de transmisión.

Lo anterior hace necesaria la construcción de una nueva estructura para poder desviar la línea de distribución en el punto donde se construirá la subestación, esta estructura estará situada a una distancia de 30 metros al norte del centro de la subestación y, necesariamente tendrá que ser una estructura tipo III para 13.2 kV según nomenclatura del INDE, ya que el ángulo que formará con la horizontal será de  $53^{\circ}$ .

La distancia entre el terreno propuesto y el alimentador de la ciudad de Jutiapa es de 13 segundos de longitud este, lo que equivale a 390 metros lineales. El hecho de no construir la subestación al pie del alimentador de la ciudad de Jutiapa, trae consigo la necesidad de construir un tramo de distribución que se una con el alimentador de la ciudad o con la línea principal de distribución. Analizaremos estas dos opciones.

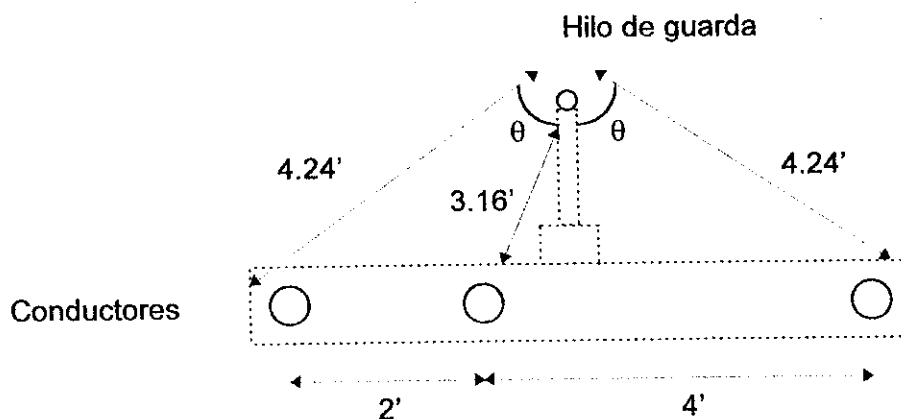
La primera opción consiste en conectar la subestación directamente al alimentador actual, por medio de una línea de distribución de casi 400 metros de longitud. La segunda opción consiste en conectar la subestación a la línea principal de distribución en el punto ubicado en las coordenadas  $89^{\circ}53'40''$  de longitud este y  $14^{\circ}17'48''$  de latitud norte, lo cual nos da una distancia a la subestación de 10 segundos de latitud norte, que equivale a 307 metros lineales.



Como podemos darnos cuenta, resulta mucho más técnico y económico conectar la subestación a la línea principal de distribución, ya que, en primer lugar únicamente se necesitan 300 metros de línea de distribución y en segundo lugar la alimentación se hará a 500 metros más cerca del centro de carga (ver plano en apéndice 6)

La línea de distribución que conectará la subestación con la línea primaria ya existente, tendrá una disposición asimétrica con hilo de guarda sólidamente aterrizado en la red de tierra de subestación y en el punto de conexión con la red de distribución. La disposición de los conductores que se propone es la siguiente.

**Gráfica No. 6**  
**Disposición de conductores en una estructura de 13.2 kV con hilo de guarda.**



Las distancias entre cables se muestran a un costado de las flechas, sus dimensionales están en pies. El ángulo de blindaje es de 45°, el cual para este caso es confiable, ya que por la disposición de los conductores, la distancia de éstos hacia el eje de la estructura es la misma que la distancia entre el eje de los conductores al eje del hilo de guarda.

De la figura anterior podemos calcular la distancia media geométrica (DMG) que está dada según la expresión:

$$DMG = \sqrt[6]{(4.24)(4.24)(3.16)(2)(4)(6)}$$

$$DMG = 3.74 \text{ pies}$$

Cada calibre de conductor tiene una capacidad de conducción de corriente diferente a otro, también tiene diferente diámetro, todo esto sumado a la disposición de los conductores hace cambiar los valores de reactancia tanto inductiva como capacitiva. A continuación se calcularán los valores de las reactancias para diferentes calibres de conductores.

**Tabla No. 5**  
**CÁLCULO DE REACTANCIAS**

Cal. No.	Area	Radio	Ds	La	Cn	X <sub>L</sub>	X <sub>C</sub>
2	66360	0.0108	0.0088	1.9467	0.0153	0.7339	173748
1/0	105600	0.0135	0.0111	1.8720	0.0159	0.7057	166893
2/0	133100	0.0152	0.0125	1.8347	0.0162	0.6917	163447
3/0	167800	0.0171	0.0140	1.7975	0.0166	0.6776	159995
4/0	211600	0.0192	0.0158	1.7601	0.0169	0.6636	156579

**Area** Area del Conductor (Circular mils).

**Radio** Radio exterior del conductor (pies)

**RMG** Radio medio geométrico del conductor (pies).

**La** Inductancia de la línea de distribución (mH/mi/fase).

**Cn** Capacitancia de la línea de distribución (uF·mi respecto al neutro).

**X<sub>L</sub>** Reactancia inductiva de la línea de distribución (Ω/mi)

**X<sub>C</sub>** Reactancia capacitiva de la línea de distribución (Ω·mi)

Los parámetros de reactancias fueron calculados según las expresiones:

$$La = 0.7411 \log[ DMG / RMG ]$$

$$Cn = 0.0388 / \log[ DMG/ radio ]$$

No se toma en cuenta el efecto suelo ya que las distancias de un conductor a su imagen, son aproximadamente igual a la distancia hacia la imagen del otro conductor, lo que hace que sea despreciable dicho efecto, quedando únicamente la expresión anterior.

Las reactancias fueron calculadas según:

$$X_L = j 2 \cdot \pi \cdot f \cdot La \quad \& \quad X_C = 1 / j \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot Cn$$

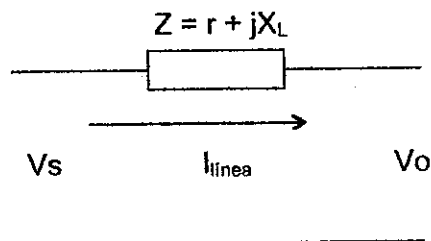
Ambas reactancias afectan el comportamiento de la línea de distribución, la capacitiva lo hará proporcionando o consumiendo energía reactiva, para ello debemos establecer que comportamiento tendrá, en cada uno de los conductores, según la expresión  $I_{carga} = [V_{LN}/X_C] \cdot L$ , donde L es la longitud de la línea (0.19 mi) y el voltaje de línea a neutro es 7620 voltios.

Cal. No.	X <sub>C</sub>	I <sub>carga</sub>
2	173748	0.00833 A
1/0	166893	0.00868 A
2/0	163447	0.00886 A
3/0	159995	0.00905 A
4/0	156579	0.00925 A

Todos los valores de corriente dieron valores positivos de amperaje, por lo que nos indica que el parámetro capacitivo proporciona energía reactiva a la línea de distribución, la cual es relativamente baja, por lo que podemos asumir que el efecto capacitivo es nulo. La energía reactiva adicional que la línea suministra por causa del efecto capacitivo es casi constante en todos los calibres de conductores, alrededor de los 115 VAR.

La reactancia inductiva es la que más afecta el comportamiento de la línea de distribución, aunada con la resistencia del conductor encontramos la impedancia característica, la cual nos servirá para establecer la eficiencia del conductor.

Primeramente, establecemos que se trata de una línea corta que tiene un circuito equivalente como se muestra en la siguiente figura:



La impedancia característica de la línea se calculará únicamente tomando como base el alimentador que conectará la subestación con la línea principal, el cual tiene una longitud de 300 metros que equivalen a 0.19 millas. La máxima corriente de línea que tiene que soportar el conductor del alimentador es de 220 A y el voltaje de línea a neutro es de 7.62 kV. La siguiente tabla muestra las caídas de potencial en el alimentador, tomando como factor de potencia 0.80:

Cal. No.	R	X <sub>L</sub>	Z	ZI	Cap. de conducción
2	0.3211	0.1394	0.3405	74.91	180 Amp
1/0	0.2128	0.1341	0.2507	55.15	230 Amp
2/0	0.1482	0.1314	0.1974	43.43	260 Amp
3/0	0.1083	0.1287	0.1639	36.06	300 Amp
4/0	0.0798	0.1261	0.1395	30.69	350 Amp

Como se mencionó anteriormente, la máxima corriente de línea es de 220 amperios, para no sobrecargar el conductor se deja una holgura de un 20%, lo que nos daría una corriente de 264 amperios. El conductor que soporta esta corriente es el calibre 2/0. En cuanto a caída de voltaje se refiere, entre los calibres 2/0 y 3/0 no existe una diferencia considerable como para sobredimensionar el conductor, por lo tanto, se propone que el alimentador sea con conductores ACSR calibre 2/0.

#### 4.2 Distancias eléctricas de diseño:

En el arreglo de una subestación eléctrica, es necesario considerar las distancias que rigen la separación entre conductores y entre componentes, y que se pueden agrupar en los siguientes tipos:

**4.2.1 Distancia de fase a tierra:** el punto de partida para el dimensionamiento de una subestación eléctrica desde el punto de vista dieléctrico, es la determinación de la mínima distancia entre las partes vivas y tierra. Existen diversas formas de cálculo para estas distancias, el criterio utilizado para este proyecto está basado en la norma de coordinación de aislamiento IEC, parte 2, edición 1976, en la que establecen que los niveles básicos de

aislamiento pueden tener una probabilidad de falla hasta del 10%. Este método está soportado por expresiones empíricas basadas en cálculos experimentales.

Designaremos por VCF a la tensión crítica de flameo, o sea, a la que tiene una probabilidad de falla o de flameo del 50%. Este valor se determina experimentalmente en los laboratorios de alta tensión y la relación entre esta cantidad y el BIL para una probabilidad de falla del 10% esta dada por:

$$\text{BIL} = 0.961 \text{ VCF}$$

la expresión anterior esta dada para condiciones de altitud sobre el nivel del mar, por lo que designaremos como  $\text{VCF}_{\text{standar}}$  a:

$$\text{VCF}_{\text{standar}} = \text{BIL} / 0.961$$

el factor de corrección por humedad y altitud se determina por la tensión crítica de flameo de diseño, que viene dada por:

$$\text{VCF}_{\text{diseño}} = k_h / \delta * \text{VCF}_{\text{standar}}$$

el factor  $k_h$  tiene un valor de 1 para condiciones de humedad inferiores al 80%, tal como en nuestro caso; para una altitud de 1000 msnm, el factor  $\delta$  tiene un valor 0.893.

Como nuestro proyecto es para una subestación en 69 kV en el primario y de 13.2 kV en el secundario, la cual tiene tensiones máximas de diseño de 72.5 kV y 15 kV respectivamente, además niveles básicos de aislamiento (BIL) de 350 kV y 110 kV respectivamente. Nuestra tensión crítica de flameo de diseño para el lado primario tiene un valor de:

$$\text{VCF}_{\text{diseño}} = (1/0.893) * (350/0.961) = 408 \text{ kV},$$

mientras que para el secundario será:

$$\text{VCF}_{\text{diseño}} = (1/0.893) * (110/0.961) = 128 \text{ kV}$$

La relación existente entre  $\text{VCF}_{\text{diseño}}$  y la distancia dieléctrica entre los electrodos es tal que para un impulso de rayo ( $K_3$ ) se toma entre 500 y 600 kV/m, que se puede expresar de acuerdo con la relación lineal definida como:

$$\text{VCF}_{\text{diseño}} = K_3 d$$

para fines de este diseño podemos tomar  $K_3$  como 550 kV/m. Entonces la distancia dieléctrica de fase a tierra por impulso de rayo en el primario es:

$$\begin{aligned} d &= \text{VCF}_{\text{diseño}} / 550 \quad [\text{m}] \\ d &= 408 / 550 = 0.742 \end{aligned}$$

ajustando el valor  $d$ , tenemos:

$$d = 0.75 \text{ m}$$

en el lado de 13.2 kV, tenemos:

$$\begin{aligned} d' &= \text{VCF}_{\text{diseño}} / 550 \quad [\text{m}] \\ d' &= 128 / 550 = 0.233 \end{aligned}$$

ajustando el valor  $d'$ , tenemos:

$$d = 0.25 \text{ m}$$

por lo que los aisladores tipo suspensión o tipo soporte, entre las partes vivas y aterrizadas, deberá ser de 0.75 metros como mínimo para el lado de alta, mientras que para el lado de baja será de 0.25 metros como mínimo.

Se usarán aisladores de suspensión para rematar las líneas de distribución y para la colocación de las barras, que serán de cable de aluminio con alma de acero. Los aisladores tipo soporte servirán para sujetar la línea de transmisión y soportar los esfuerzos mecánicos a que sea sometida dicha línea. Para el efecto, se colocarán estructuras de metal sujetas a los postes de la subestación, para poder levantar la línea en el punto medio del vano entre dos estructuras de la línea de transmisión. Por dicho aislador únicamente pasará la línea, la cual será sujeta por ellos. La toma se hará mediante conectores.

**4.2.2 Distancia entre fases:** la distancia mínima entre fases puede determinarse teniendo en cuenta que la tensión máxima que puede aparecer entre fases, es igual al nivel de aislamiento al impulso (BIL) más el valor de cresta de la onda de tensión a tierra, de frecuencia fundamental, correspondiente a las condiciones fundamentales de operación. Esto conduce a elegir una distancia mínima entre fases, 80% mayor que la distancia mínima a tierra.

Por lo anterior, para este proyecto, determinamos la distancia entre fases ( $D_F = 1.8 \times 0.75$ ) en 1.35 metros para el lado de 69 kV y para el lado de 13.2 kV tendríamos una distancia entre fases ( $D'_F = 1.8 \times 0.25$ ) de 0.45 metros.

**4.2.3 Altura mínima de las partes vivas de los equipos:** la altura mínima de las partes energizadas de los equipos en las subestaciones ( $h_e$ ), no debe ser inferior en ningún caso a 3.00 metros, si no se encuentra aislado por barreras de protección (Raúl Martín, Diseño de subestaciones eléctricas).

Para cualquier caso, se calcula esta altura de acuerdo con la expresión hasta 1000 msnm:

$$h_e = 2.30 + 0.0105 * TMD$$

donde TMD es la tensión máxima de diseño, la cual para un voltaje nominal de 69 kV le corresponde una TMD de 72.5 kV y para el voltaje de 13.2 kV le corresponde una TMD' de 15 kV, por lo cual las alturas  $h_e$  son iguales a:

$$h_e = 3.06 \text{ metros}$$

y para el secundario:

$$h'_e = 2.46 \text{ metros}$$

**4.2.4 Altura de las barras sobre el nivel del suelo:** la distancia entre las barras y el suelo se establece principalmente sobre la base de la seguridad del personal y los procedimientos de mantenimiento que se establezcan.

La expresión que se indica a continuación, es válida para una altitud de hasta 1000 msnm y toma en consideración los efectos electromagnéticos sobre el cuerpo humano, de modo que la altura a las barras se calcula como:

$$H_b = 5.0 + 0.0125 * TMD'$$

$$H_b = 5.0 + 0.0125 * 15$$

$$H_b = 5.19 \text{ metros}$$

Ajustando el valor de la altura del nivel del suelo a las barras colectoras, tenemos un valor de 5.25 metros.

Como podemos darnos cuenta, únicamente se está calculando el valor para las barras colectoras del lado secundario, ya que en el primario, la alimentación se realizará directamente de la línea de transmisión, pasando únicamente por los dispositivos de protección.

**4.2.5 Altura mínima de llegadas y salidas de líneas en la subestación:** la altura de las líneas ( $H_L$ ) que llegan o salen a la subestación eléctrica, no deben tener una altura inferior a 6 metros, y en cualquier caso se calcularán de acuerdo con la expresión siguiente, válida hasta 1000 msnm:

$$H_L = 5.0 + 0.006 * TMD$$
$$H_L = 5.44 \text{ metros}$$

Ajustando el valor, bajo la condición preestablecida, tomamos como altura mínima del remate de la línea: 6.0 metros. Igualmente, al calcular para la línea de 13.2 kV, por tener una TMD de menor magnitud, la altura sería inferior a 5.44 metros, por lo que tomamos únicamente el cálculo del lado de alta tensión. Para el lado primario no tendremos un remate de la línea de transmisión, sino que únicamente pasará por la subestación, donde se realizará la toma respectiva luego de haber sido sujeta a la estructura por medio de aisladores tipo soporte, los cuales también harán la función de subir la línea de transmisión a una altura de 11 metros sobre el nivel del suelo, disminuyendo así la flecha del vano entre los postes de la línea de transmisión.

**4.2.6 Distancias mínimas de seguridad:** se entenderá como distancia mínima de seguridad, a los espacios libres que permitan circular y desarrollar maniobras al personal dentro de la subestación eléctrica, sin que exista riesgo para sus vidas. Debe permitir solo un mínimo de malestar durante las maniobras de trabajo.

La base para la determinación de las distancias de seguridad, es la talla media de un individuo. Estas distancias de seguridad se determinan bajo condiciones precisas y corresponden desde luego al funcionamiento de una instalación eléctrica del tipo intemperie, consideran la necesidad de que el personal de operación y mantenimiento de las subestaciones eléctricas pueda circular e intervenir en algunas maniobras en cualquier punto de la subestación, por lo que también se deben precisar en los casos que sea necesario, cuales son las áreas de circulación y cuales las áreas restringidas.

El punto de partida para el establecimiento de estas distancias es el establecimiento de la talla media de un individuo, al cual corresponde una altura de 1.80 metros, 2.30 metros con los brazos extendidos hacia arriba y 1.80 metros con los brazos extendidos hacia los lados.

La seguridad del personal se obtiene por medio de distancias mínimas de seguridad que garanticen dieléctricamente el comportamiento adecuado del cuerpo humano, bajo la acción del campo eléctrico. Estas distancias son las siguientes:

**Distancia horizontal:** Se calcula como  $d_h = \text{distancia de fase a tierra} + 0.90 \text{ [m]}$ , la cual nos da un valor de 1.65 metros para el lado de alta y 1.15 metros para el lado de baja tensión.

**Distancia vertical:** Se calcula como  $d_v = \text{distancia de fase a tierra} + 2.30 \text{ [m]}$ , la cual nos da un valor de 3.05 metros para el lado de alta y 2.55 metros para el lado de baja tensión.

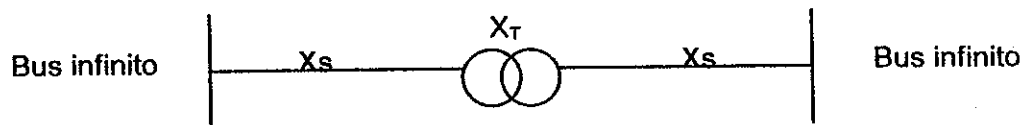
A continuación se presenta un resumen de las distancias eléctricas de diseño, calculadas anteriormente:

DESCRIPCION:	Lado de 69 kV	Lado de 13.2 kV
Distancia de fase a tierra	0.75 m	0.25 m
Distancia entre fases	1.35 m	0.45 m
Altura mínima de las partes vivas de los equipos	3.06 m	2.46 m
Altura de las barras sobre el nivel del suelo		5.25 m
Altura mínima de llegadas y salidas de líneas en la subestación		6.00 m
Distancia horizontal mínima de seguridad	1.65 m	1.15 m
Distancia vertical mínima de seguridad	3.05 m	2.55 m

#### 4.3 Cálculo de la corriente de cortocircuito:

Debido a que no fue posible contar por parte del INDE, con el dato exacto de la corriente de cortocircuito para la región de Jutiapa, se hace necesario utilizar otro método el cual se explica brevemente a continuación.

Un sistema eléctrico de potencia, similar a la subestación de Jutiapa la podemos expresar de la siguiente manera:



Es práctica común suponer que la impedancia del sistema ( $X_s$ ) es cero, por lo que podemos considerar que la corriente de cortocircuito en el sistema es infinita. A este criterio de cálculo se le conoce como el método del "bus infinito".

Considerando ahora el análisis del problema anterior por el método del bus infinito, se obtiene el valor de la potencia de cortocircuito (MVA<sub>cc</sub>) para una falla de línea a tierra que es la más común, esto se hace suponiendo que la impedancia en p.u. del transformador será de 0.07 (tal como lo indica la placa del fabricante) y la potencia máxima de crecimiento de la subestación será a 10 MVA, entonces,

$$\begin{aligned} \text{MVA}_{cc} &= \text{MVA}_{1\phi} / X_T \\ \text{MVA}_{cc} &= (10/3) / 0.07 \\ \text{MVA}_{cc} &= 47.6 \text{ MVA} \end{aligned}$$

con este dato podemos calcular la corriente de cortocircuito, la cual será los kVA<sub>cc</sub> entre los kV<sub>LN</sub> de la línea de transmisión:

$$I_{cc} = 47600 / (69/1.732)$$

$$I_{cc} = 1195 \text{ Amperios}$$

ajustando el valor,

$$I_{cc} = 1200 \text{ Amperios}$$

Este método de cálculo de la corriente de cortocircuito, nos da el valor extremo que podría ocurrir en determinado momento, y podemos calcularlo también de la siguiente manera. La placa del transformador sugerido, tiene como corriente de cortocircuito permisible el valor de 14.29 amperios por unidad. La corriente de línea está dada por la siguiente expresión:

$$I_{nom} = kVA_{1\phi} / kV_{LN}$$

$$I_{nom} = 3334 / (69/1.732)$$

$$I_{nom} = 83.67 \text{ Amperios}$$

ahora podemos calcular la corriente de cortocircuito en amperios nominales:

$$I_{cc} = I_{pu} \times I_{nom}$$

$$I_{cc} = 14.29 \times 83.67$$

$$I_{cc} = 1195 \text{ Amperios}$$

ajustando el valor,

$$I_{cc} = 1200 \text{ Amperios}$$

Se da por entendido que esta corriente se refiere ya tomando en cuenta el crecimiento de la subestación a 10 MVA, si necesitáramos la corriente de cortocircuito inicial, para la subestación e 5 MVA, podemos tomar el valor de 600 amperios.

#### 4.4 Conexión a tierra:

La conexión a tierra de subestaciones es sumamente importante. Las funciones de conectar a tierra un sistema se enumeran a continuación:

- Proporcionan la conexión a tierra para el neutro de los transformadores, autotransformadores, reactores y capacitores.
- Constituyen la trayectoria de descarga a pararrayos de barra, protectores, espinterómetros y equipos similares.
- Garantizan la seguridad del personal de operación al limitar las diferencias de potencial que puedan existir en una subestación.
- Proporcionan un medio de descargar y desenergizar equipo para efectuar trabajos de conservación en el mismo.
- Proveen una trayectoria de resistencia suficientemente baja a tierra, para reducir al mínimo una elevación del potencial a tierra con respecto a tierra remota.

Los requerimientos de seguridad de las subestaciones exigen la conexión a tierra de todas las partes metálicas de interruptores, estructuras, tanques de transformadores, calzadas metálicas, cercas, montajes de acero estructural de edificios, tableros de conmutación, secundarios de transformadores de medida, etc., de manera que una persona que toque este equipo o se encuentre cerca del mismo, no pueda recibir una descarga peligrosa si un conductor de alto voltaje relampaguea o entra en contacto con cualquier parte del equipo arriba enumerado. En general, esta función se satisface si toda la armazón metálica con la que una persona pueda hacer contacto o que una persona pueda tocar al estar de pie en tierra, se encuentra de tal modo unida y conectada a tierra que no puedan haber potenciales



peligrosos. Esto significa que toda parte individual de equipo, toda columna estructural, etc., debe tener su propia conexión al emparrillado a tierra de la estación.

Una fuente muy útil de información con respecto a la conexión a tierra de subestaciones está contenida en la guía completa de la norma IEEE 80-1976 (IEEE Guide form Safety in Substation Grounding, publicada en junio de 1976). Mucha de la siguiente información se basa en recomendaciones indicadas en la norma IEEE 80.

El sistema básico de tierra de subestaciones, utilizado en la mayor parte de las plantas eléctricas, toma la forma de una red de conductores enterrados horizontalmente. La razón por la que la red o emparrillado sean tan eficaces se atribuye a lo siguiente:

- a. En sistemas en donde la corriente máxima de tierra puede ser muy alta, raras veces es posible obtener una resistencia de tierra que sea tan baja como para garantizar que la elevación total del potencial del sistema no alcance valores inseguros para las personas. Si este es el caso, el riesgo puede corregirse sólo mediante el control de potenciales locales. Una rejilla es, por lo general, el modo más práctico de lograr esto último.
- b. En subestaciones de alto voltaje, no hay un electrodo que por sí solo sea adecuado para proporcionar la necesaria conductividad y capacidad de conducción de corriente. Sin embargo, cuando varios de ellos se conecten entre sí, y a estructuras, bastidores de equipos, y neutros de circuitos que deban conectarse a tierra, el resultado es necesariamente una rejilla, independientemente de cual fuera la meta original. Si esta red se entierra en un suelo de conductividad razonablemente buena, proporciona un excelente sistema de conexión a tierra.

El primer paso en el diseño práctico de una rejilla o emparrillado consiste en examinar el plano de recorrido del equipo y estructuras. Un cable continuo debe rodear el perímetro de la rejilla para abarcar tantas tierras como sea práctico, evitar concentración de corriente y por lo tanto gradientes elevados en puntas de cables a tierra. Dentro de la rejilla, los cables deberán colocarse en líneas paralelas y a distancias razonablemente uniformes; cuando sea práctico, deben instalarse a lo largo de hileras de estructuras o equipo para facilitar las conexiones a tierra. El diseño preliminar debe ajustarse de manera que la longitud total del conductor enterrado, incluso empalmes y varillas, sea por lo menos igual a la longitud requerida para mantener las diferencias de potencial locales dentro de límites aceptables.

Un sistema típico de rejilla para una subestación puede tener alambre desnudo de cobre trenzado No. 4/0; de 12 a 18 pulgadas abajo del nivel del suelo y separados en forma de rejilla entre 10 y 20 pies. (Sin embargo, muchas veces se utilizan otros calibres de conductores, profundidades y separaciones entre conductores en la red). Los alambres 4/0 de cada unión deben ser unidos firmemente entre sí, y también pueden estar conectada una varilla enterrada de acero y recubierta de cobre, de 5/8 de pulgada de diámetro y alrededor de 8 pies de largo. En suelos cuya resistencia sea muy elevada, puede ser conveniente enterrar las varillas a mayor profundidad. Un sistema típico de rejilla suele extenderse en toda la playa de distribución y, a veces, incluso unos pocos pies fuera de la cerca que rodea al edificio y el equipo.

Para asegurarse que todos los potenciales a tierra alrededor de la estación sean iguales, los diversos cables o barras a tierra de la playa y de las estructuras de la subestación deben unirse mediante conexiones múltiples fuertes y conectarse todos a la tierra principal de

la estación. Esto es necesario para que no haya diferencias apreciables de voltaje entre los extremos de cables tendidos entre la playa de distribución y el edificio de la subestación.

Algunas corrientes elevadas de tierra, como las que pueden circular en los neutros de transformadores durante fallas a tierra, no deben aparecer en conexiones a tierra (emparrillados o grupos de varillas) de zonas pequeñas, con objeto de reducir al mínimo los gradientes de potencial en la zona que rodea las conexiones a tierra. Dichas zonas deben tener alambres de grueso calibre, para que puedan manejar adecuadamente las más difíciles condiciones de magnitud y duración de corrientes de falla.

Por lo general se utilizan cables o tiras de lámina de cobre para conexiones a tierra de bastidores de equipos. Sin embargo, los tanques de transformadores se utilizan a veces como parte de la trayectoria a tierra de pararrayos que a aquellos se conecten. Análogamente, se pueden utilizar estructuras de acero como parte de la trayectoria a tierra si se puede establecer que la conductividad, incluso la de cualquiera de las juntas, es y puede mantenerse como equivalente a la del conductor de cobre que de otra forma se requeriría. Estudios realizados por algunas compañías de electricidad han llevado a que, en forma satisfactoria, se utilicen estructuras de acero como parte de la trayectoria al emparrillado a tierra desde alambres aéreos, pararrayos, etc. Cuando se siga esta práctica, cualquier película de pintura que pudiera introducirse en las juntas y producir alta resistencia se debe eliminar y aplicarse entonces un compuesto apropiado u otro medio efectivo en la junta para evitar el subsecuente deterioro de la junta por oxidación.

Las conexiones entre los diversos alambres a tierra y la rejilla de cables y conexiones dentro de la rejilla de cables suelen hacerse con abrazaderas, soldadura eléctrica o autógena. Las conexiones hechas con soldadura blanda ordinaria deben evitarse debido a su posible falla al paso de elevadas corrientes de falla o por corrosión galvánica.

Cada uno de los elementos del sistema a tierra (incluso la rejilla misma, los alambres de conexión a tierra y electrodos) deben estar diseñados de modo que:

- Resistan la fusión y deterioro de juntas eléctricas bajo la combinación más adversa de magnitud de corriente de falla y duración de falla a la que pudiera someterse.
- Ser mecánicamente robustos, en alto grado, especialmente en lugares expuestos a averías físicas.
- Tener suficiente conductividad de modo que no contribuya en forma importante a diferencias locales de potencial peligrosas.

**TABLA No. 6**  
**Medidas mínimas de conductores de cobre para evitar fusión**

Duración de falla, en seg.	Circular mils por amperio		
	sólo cable	Con juntas soldadas con bronce	Con juntas atornilladas
30	40	50	65
4	14	20	24
1	7	10	12
0.5	5	6.5	8.5

La tabla anterior es calculada en base a la ecuación de Onderdonk, la cual se expresa como sigue:

$$A = I / M$$

donde A es el área en circular mils, I es la corriente de corto circuito en amperios y M es la constante de Onderdonk:

$$M = \sqrt{\frac{\log((T_m - T_a) / (234 - T_a) + 1)}{53 S}}$$

En la expresión anterior,

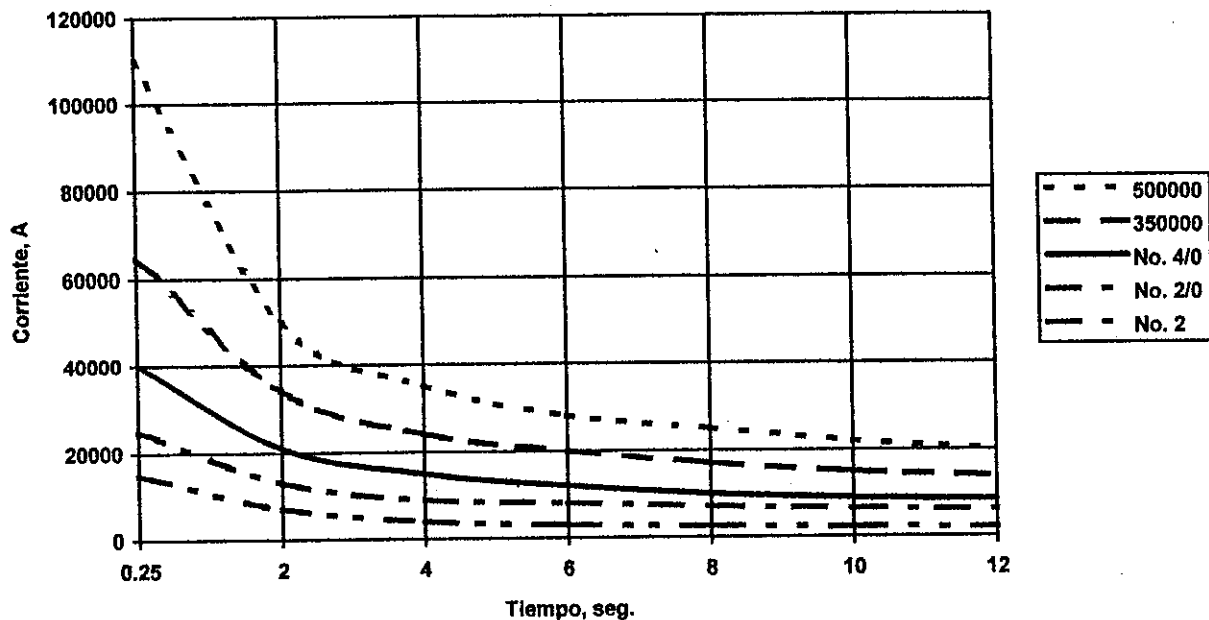
T<sub>m</sub>: es la temperatura máxima permisible, en grados centígrados. Para juntas con abrazaderas de cobre, podemos tomar 250°C.

T<sub>a</sub>: es la temperatura ambiente, en grados centígrados.

S: es el tiempo (en segundos) durante el cual circula la corriente de corto circuito.

Mientras que la suficiencia del conductor de cobre y sus juntas, contra la fusión puede determinarse por los datos de la tabla anterior y la gráfica 7.

**GRAFICA No. 7**  
**Curvas de fusión de tiempo corto para cables de cobre**



Si la playa de distribución está en un terreno de alta resistividad, de modo que sea imposible obtener una resistencia adecuadamente baja de las varillas enterradas dentro de la estación, es posible reducir la resistencia si se extiende la rejilla principal a tierra hasta fuera de la zona rodeada por la subestación a un emparrillado secundario de ubicación adyacente a

la estación. La resistencia efectiva de todo el sistema a tierra puede aminorarse de manera considerable, mediante una rejilla más extensa y de mayor longitud de conductores de la rejilla. Una razón importante para tratar de bajar la resistencia de la rejilla es reducir al mínimo la elevación del potencial a tierra con respecto a tierra remota durante fallas a tierra.

La elevación de potencial a tierra depende de la magnitud de la corriente de falla, del voltaje del sistema y de la resistencia del sistema a tierra. La corriente que pasa por el sistema a tierra, multiplicada por su resistencia medida desde un punto remoto de la subestación, determina la elevación de potencial a tierra con respecto a tierra remota. La corriente que pasa por la rejilla suele ser considerada la máxima corriente de falla de línea a tierra. Por ejemplo, una falla a tierra de 15000 A que circule hacia una rejilla a tierra con un valor de 0.5 de resistencia a tierra absoluta ocasionaría una caída  $iR$  de 7500 V.

Las tierras de baja resistencia de estación son muchas veces difíciles de obtener. En muchos casos, el uso de varillas enterradas en el suelo constituye el medio más conveniente de obtener una conexión apropiada a tierra. La disposición y número de varillas enterradas dependerá del tamaño de la estación y de la naturaleza de su suelo. Los mejores suelos para emparrillados a tierra son los húmedos y pantanosos y le siguen en calidad la arcilla o el barro arcilloso. La arena y los suelos arenosos son de alta resistencia y hacen difícil obtener conexiones de baja resistencia a tierra.

Las medidas de las varillas utilizadas se determina principalmente por la profundidad a la cual deban enterrarse, aún cuando algunas varillas cortas puedan enterrarse a profundidades considerables mediante bocas de barrenos. Las varillas o tubos para estaciones permanentes deben ser de materiales resistentes a la corrosión. En cuanto a más profundidad se entierren las varillas, menor resistencia se obtendrá, porque las varillas penetran en capas que son mejores conductoras a medida que la profundidad aumenta.

En general, es aconsejable obtener resistencia reducida a tierra mediante una red más grande y más varillas a tierra en lugar de tratar con sal la tierra que se encuentre alrededor de las varillas, a causa de la corta duración del tratamiento. Sin embargo, el tratamiento del suelo es a veces el único medio por el cual se puede obtener una resistencia apropiada.

No es posible describir todos los métodos de obtener conexiones a tierra con resistencia apropiadamente baja. A veces, el problema presenta grandes dificultades y requiere gastos considerables. Las subestaciones no deberán estar ubicadas en roca viva que tenga muy poca tierra vegetal, o ninguna, dado que el costo de obtener una tierra de baja resistencia sería excesivo a causa del tratamiento del suelo.

#### *4.4.1 Diseño de la red de tierras:*

Primero calculamos el área cubierta por la red de tierras, la cual es  $F = 18 \times 18$  metros, o sea  $F = 324 \text{ m}^2$ . Esto es suponiendo que nos extenderemos 1.5 metros más allá de la cerca de circulación de la subestación.

Los conductores estarán separados 3 metros, y formarán una malla con configuración de 7 conductores paralelos y 7 conductores transversales:

$$\begin{array}{r} 7 \times 18\text{m} = 126 \text{ m} \\ 7 \times 18\text{m} = 126 \text{ m} \\ \hline L = 252 \text{ m} \end{array}$$

El radio equivalente de la superficie total es:

$$r_s = \sqrt{324 / \pi}$$

$$r_s = 10.16 \text{ m}$$

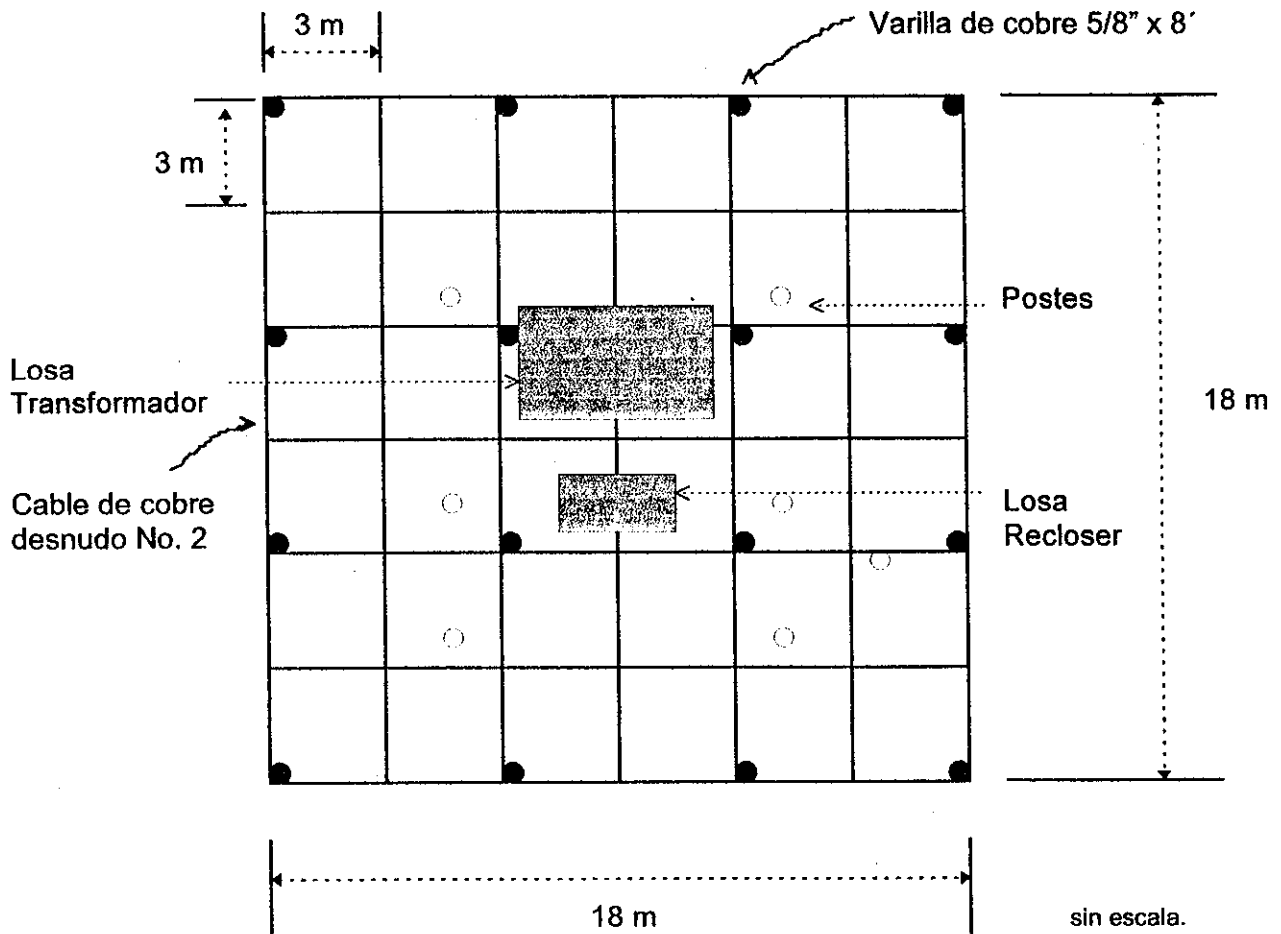
Para el tiempo de duración de la falla, tomaremos primero 3 ciclos para la apertura del interruptor y en segundo lugar, un tiempo total de circulación de la corriente de falla, a través de la malla, de 4 segundos.

Para la corriente de cortocircuito, tomaremos el valor calculado en el numeral 4.4.2 de este capítulo, la cual tiene un valor de  $I_{cc} = 1200$  Amperios. El área del conductor de la red de tierras, lo calcularemos con base a la tabla No. 6, para lo cual necesitamos determinar el tiempo de falla en 4 segundos y con un sistema de uniones de cobre con abrazaderas, lo cual nos da un factor de 24 por cada amperio de la corriente de falla, entonces:

$$\text{Area del conductor} = A = 24 \times 1200$$

$$A = 28,800 \text{ CM}$$

Esto nos indica que podemos utilizar un cable desnudo de cobre, calibre No. 2, con un diámetro de 6.54 mm.



Con dicho calibre de conductor, podemos ver en la gráfica No. 7, que muy bien soporta la magnitud de la corriente de falla, sin que sufra fusión, además nos asegura que, eventualmente podrá soportar una falla con duración de hasta 23 segundos. Podemos decir que la red de tierra quedará de la forma como se muestra en la figura anterior, a una profundidad de enterramiento de 0.60 m, cubriéndose los cables con el mismo tipo de tierra del suelo donde se encuentre.

La resistencia de la red la determinaremos de la manera siguiente:

Tenemos una resistividad promedio del terreno de  $\rho_t = 30 \Omega\text{m}$  (medición efectuada por personal del INDE de Jutiapa, el día 27 de diciembre de 1,996), pero si se coloca roca en la superficie del mismo, tendremos una resistividad de  $\rho_s = 3000 \Omega\text{m}$ . Como se mencionó anteriormente, la longitud total del conductor de la malla de tierras es de  $L = 252 \text{ m}$ , podemos calcular la resistencia de la siguiente forma:

$$R = \rho_t / 4r_s + \rho_t / L$$

$$R = 30 / (4 \times 10.16) + 30 / 252$$

$$R = 0.857 \Omega$$

Para establecer la seguridad de la red de tierras que se está diseñando, se hace necesario calcular los potenciales de paso, de contacto y de malla.

El potencial de paso establece el máximo voltaje que soportará el cuerpo humano cuando la persona se encuentre cerca de una estructura aterrizada en el momento de la falla; el potencial de contacto, es el máximo voltaje que soportará el cuerpo humano cuando la persona esté tocando una estructura aterrizada en el momento de la falla, pero la otra posibilidad es que la persona, en ese momento esté tocando un elemento que no se encuentra sólidamente aterrizado, en este caso especial de potencial de contacto se le llama "tensión o potencial de malla".

Ahora, se calculará el potencial de la malla de la red de tierra. Con el diseño original propuesto, tenemos 7 conductores transversales espaciados  $D = 3 \text{ m}$ , una profundidad de enterramiento  $H = 0.6 \text{ m}$  y una longitud total de  $L = 252 \text{ m}$ .

El potencial de la malla estará dado de la siguiente manera:

$$E_{\text{malla}} = K_m K_i \rho i$$

en donde la constante  $K_m$  está dada según:

$$K_m = \frac{1}{2} \ln( D^2 / 16 H d ) + 0.318 \ln(3/4 \times 5/6 \times 7/8)$$

$$K_m = \frac{1}{2} \ln( 3^2 / [16 \times 0.6 \times 0.0654] ) + 0.318 \ln( 0.547 )$$

$$K_m = 1.331 + -0.192$$

$$K_m = 1.139$$

La constante  $K_i$  se calcula como sigue:

$$K_i = 0.65 + 0.172 N$$

N: numero de conductores transversales

$$K_i = 0.65 + 0.172 \times 7$$

$$K_i = 1.854$$

$i$  es la densidad lineal de corriente:

$$i = I_{cc} / L$$

$$i = 1200 / 252$$

$$i = 4.76 \text{ A/m}$$

de aquí que el potencial de la malla es:

$$E_{\text{malla}} = 1.139 \times 1.854 \times 30 \times 4.76$$

$$E_{\text{malla}} = 301.55 \text{ Volts}$$

Bajo las condiciones preestablecidas, se calcularán los voltajes tolerables por el cuerpo humano:

$$E_{\text{paso/tierra}} = \frac{116 + 0.7 \rho_t}{t^{1/2}} = (116 + 0.7 \times 30) / 2 = 68.5 \text{ Voltios}$$

$$E_{\text{paso/roca}} = \frac{116 + 0.7 \rho_s}{t^{1/2}} = (116 + 0.7 \times 3000) / 2 = 1108 \text{ Voltios}$$

Estos resultados nos indican que si en el momento de ocurrir la falla, una persona se encuentra cerca de una estructura aterrizada, podrá soportar hasta 1108 voltios, siempre y cuando la superficie del terreno de la subestación haya sido cubierto con roca triturada, de lo contrario, únicamente podrá soportar 68.5 voltios.

$$E_{\text{contacto/tierra}} = \frac{116 + 0.17 \rho_t}{t^{1/2}} = (116 + 0.17 \times 30) / 2 = 60.55 \text{ Voltios}$$

$$E_{\text{contacto/roca}} = \frac{116 + 0.17 \rho_s}{t^{1/2}} = (116 + 0.17 \times 3000) / 2 = 313 \text{ Voltios}$$

Ahora tenemos la situación más crítica, si una persona en el momento de ocurrir la falla está tocando una estructura aterrizada, podrá soportar hasta un máximo de 313 voltios; si la

superficie del terreno de la subestación está cubierta con roca triturada, de lo contrario, soportará sólo 60.55 voltios.

Con base en lo anterior, se sugiere que la superficie del terreno de la subestación sea cubierto con roca triturada, para que el cuerpo humano pueda soportar mayores tensiones. Además, podemos darnos cuenta que la red de tierras es segura, ya que el potencial de malla (301.55 V) es menor que el potencial de contacto (313 V).

El cálculo de la longitud total del cable necesario para tener seguridad dentro de la subestación se calcula con la expresión siguiente:

$$L = K_m K_i \rho I t^{1/2} / (116 + 0.17\rho_s)$$

si se usa roca triturada en la superficie, la expresión nos queda:

$$L = ( 1.139 \times 1.854 \times 30 \times 1200 \times 2 ) / ( 116 + 0.17 \times 3000 )$$

$$L = 242 \text{ m}$$

Si no se utiliza roca triturada en la superficie, la longitud del cable es:

$$L = ( 1.139854 \times 30 \times 1200 \times 2 ) / ( 116 + 0.17 \times 30 )$$

$$L = 1256 \text{ m}$$

Como podemos darnos cuenta, la longitud propuesta para el cable a utilizar en la malla de la red de tierra, es mayor que la mínima calculada, siempre y cuando la profundidad de enterramiento sea de 0.6 metros.

El potencial de paso fuera del perímetro de la malla lo calcularemos con base en la siguiente fórmula:

$$E'_{\text{paso}} = K_s K_i \rho i$$

donde la constante  $K_s$  se calcula como sigue:

$$K_s = 0.318 [ 1/2H + 1/(D+H) + 1/2D + \dots + 1/7D ]$$

$$K_s = 0.318 [ 1/1.2 + 1/3.6 + 1/6 + 1/9 + 1/12 + 1/15 + 1/18 + 1/21 ]$$

$$K_s = 0.318 [ 1.642 ]$$

$$K_s = 0.522$$

Los demás factores ya fueron calculados y son:

$$K_i = 1.854$$

$$i = 4.76 \text{ A/m}$$

$$\rho = 30 \text{ } \Omega \text{ m}$$

El voltaje de paso nos queda:



$$E'_{\text{paso}} = 0.522 \times 1.854 \times 30 \times 4.76$$

$$E'_{\text{paso}} = 138.2 \text{ volts}$$

El voltaje de paso fuera del perímetro de la malla (138.2 V), se encuentran dentro del límite de lo que el cuerpo humano tolera, el cual para este caso es de 313 V.

El suelo donde se ubicará la subestación, se deberá cubrir con roca triturada, hasta lograr una capa de 3000  $\Omega\text{m}$  de resistividad y se logrará entre los 6 a 8 cm de espesor. Con este tratamiento, el voltaje tolerable por el cuerpo humano aumentará a 313 voltios. Otra ventaja de tratar el suelo con roca triturada es, la disminución considerable de la longitud mínima requerida para la malla de la red de tierra. Además, el personal podrá transitar sin temor a un accidente por mal diseño de una red de tierra.

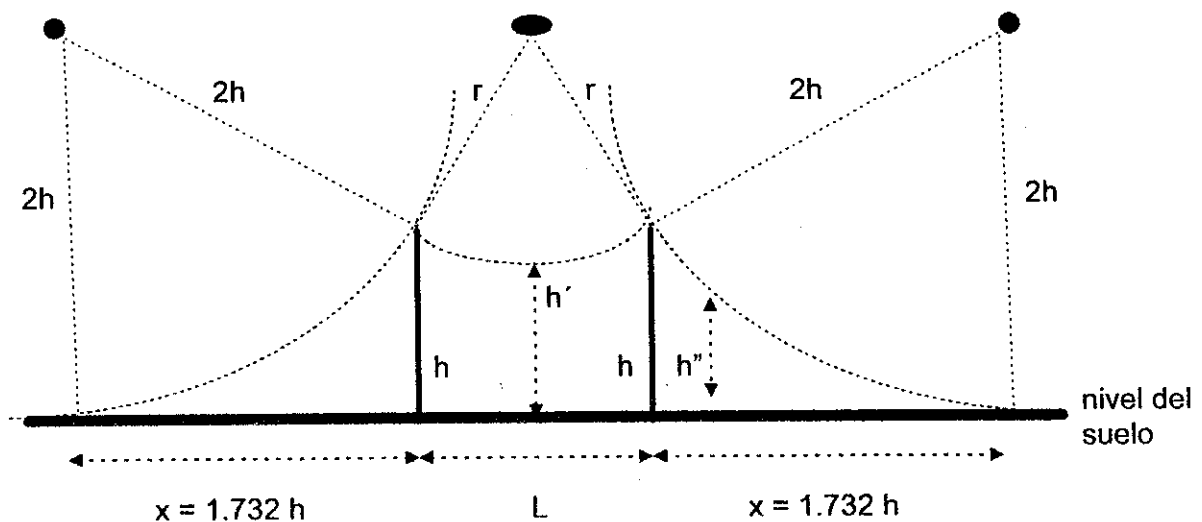
#### 4.5 Blindaje:

Para el diseño del blindaje, utilizaremos la siguiente figura, la cual nos indica la ubicación de los postes y con líneas punteadas los radios imaginarios que delimitan la zona protegida.

Este método, es válido únicamente cuando la separación entre los postes ( $L$ ) es menor a la altura de ellos ( $h$ ), si se cumple esta restricción, se simplifica grandemente el problema.

Primero, según los planos de la subestación, los postes que encerrarán el transformador será donde, paralelamente a los hilos de la línea de transmisión, se colocarán los hilos de guarda de la subestación. La separación que hay entre dichos postes es  $L = 9 \text{ m}$ , mientras que sus alturas son de 15.2 m, menos la longitud de la hincadura que es de 2.15 m, nos queda una altura efectiva de 13.05 m, lo que hace que se cumpla nuestra primera condición ( $L < h$ ).

**Gráfica No. 8**  
**Esquema de las zonas de protección en el blindaje propuesto.**



El área protegida es la que se encuentra encerrada por el límite del suelo y las curvas adyacentes a los postes. Por simple trigonometría, podemos calcular las alturas y distancias protegidas.

La distancia entre un eje imaginario vertical y el poste inmediato (x) queda dado por la siguiente expresión:

$$x = \sqrt{(2h)^2 - h^2}$$

$$x = 1.732 h$$

El radio imaginario que se encuentra sobre los postes tiene una magnitud de:

$$r = \sqrt{h^2 + (L/2)^2}$$

La altura del nivel del suelo a la parte inferior de la flecha es:

$$h' = 2h - r$$

La altura protegida, en la parte exterior de los postes (h''), para una distancia longitudinal determinada hacia el poste (x), se podrá calcular conforme la siguiente expresión:

$$h'' = \sqrt{2h - 2h^2 - (1.732h - x)^2}$$

Para nuestro diseño, únicamente nos interesa conocer la altura máxima de protección entre el nivel del suelo y la parte inferior de la flecha entre los postes (h'), debido a que el transformador quedará entre los dos postes esquematizados.

$$h' = 2h - r$$

pero r está dado por:  $r = \sqrt{h^2 + (L/2)^2}$

como ya lo mencionamos anteriormente, la altura efectiva de los postes será de h = 13.05 m y la separación entre los mismos es de L = 9.0 m, al sustituir los valores nos queda:

$$r = 13.80 \text{ m}$$

entonces:

$$h' = 2(13.05) - 13.80$$

$$h' = 12.30 \text{ m}$$

Lo cual nos indica que la máxima altura a la que deberá estar un elemento energizado en la subestación será de 12.3 m. Para este diseño resulta confiable, ya que la línea de transmisión estará ubicada a 11 metros de altura.

#### 4.6 Proyecto de planta y elevaciones:

Tomando como base los datos obtenidos de las distancias eléctricas de diseño y el diagrama unifilar de la subestación, se procede a realizar el levantamiento de los planos de infraestructura y posicionamiento del equipo necesario (ver apéndice 1).

**4.6.1 Obra civil:** principalmente tenemos que el terreno tiene un área de  $225 \text{ m}^2$  ( $15 \times 15 \text{ m}$ ). Este está situado a un costado de la calle que conduce a la aldea Río de la Virgen. Para que el levantamiento de tierra sea mínimo, la subestación estará situada a 7 metros de la orilla del camino, y con ello el acceso de entrada tendrá una inclinación menor a los  $10^\circ$ , ya que el terreno donde se construiría la subestación está a 1.2 m de altura sobre el nivel de la calle, lo que nos provoca una remoción de tierra de  $63 \text{ m}^3$ , suponiendo que se remueven los 15 metros de frente que tiene la subestación.

La circulación de la subestación se hará con malla metálica, tendrá una altura de 1.8 metros y estará soportada por postes de concreto separados por 2.5 metros de distancia. También, se deberá construir un cimiento corrido a lo largo de todo el perímetro de la subestación, el cual servirá de base para tender la malla.

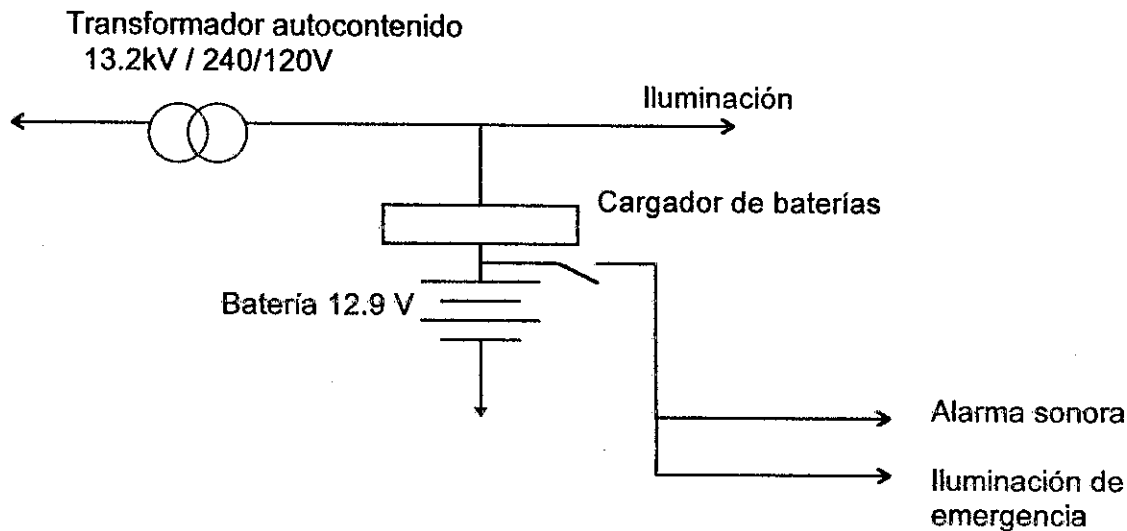
Las losas para el equipo eléctrico de mayor peso, serán de dos tipos: la primera para soportar el transformador, que tendrá las siguientes dimensiones, 0.3 m de alto enterrado 0.1 m, 5 m de frente y 3 m de fondo, el transformador deberá ser montado al centro de la losa y la segunda, para soportar el recloser, tendrá una altura de 0.25 m y estará enterrada 0.1 m. De frente deberá tener 2 m y de fondo, 1.5 m.

Se elimina la fosa séptica donde se depositaría el aceite refrigerante del transformador, se recomienda depositar dicho fluido en recipientes que puedan ser transportados a otro lugar, de esta forma se evita la contaminación del suelo.

**4.6.2 Sistemas auxiliares:** podemos definir los sistemas auxiliares como, el conjunto de instalaciones formadas por las fuentes de alimentación de corriente continua y de corriente alterna, de baja tensión, que se utilizan para energizar los sistemas de control, protección, señalización, alarmas y alumbrado de una subestación, así como el sistema contra incendio. Para este proyecto únicamente se especificarán los sistemas auxiliares concernientes iluminación, fuentes de alimentación de corriente continua y alterna, cargador de baterías, alarma sonora y sistema contra incendio.

El sistema contra incendio comprenderá 4 extinguidores, con dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) como elemento extintor. La boquilla deberá ser móvil y se colocarán de preferencia en la base de los postes que soportan las estructuras de la subestación.

Los servicios auxiliares de alimentación eléctrica tanto en corriente continua como alterna, se distribuirán con base en el diagrama en forma general que se muestra a continuación:



El sistema debe ser tal que, mientras haya energía eléctrica alterna, el cargador mantendrá la batería en su nivel óptimo, pero cuando ésta se interrumpa, la batería alimentará la alarma sonora (70 dB) y la iluminación de emergencia, mediante un sistema de relevadores que sensarán la ausencia de energía eléctrica alterna.

Se recomienda el uso de batería tipo ácida, de 6 celdas con voltaje de 2.15 V por cada celda, para un voltaje total de 12.9 V, voltaje total final de 10.5 V, 75 Amperios hora y eficiencia por celda de 0.91. El cargador deberá ser para batería tipo ácida, con tiempo de recarga de 4 horas, este tiempo es el suficiente para no dañar las celdas.

Para la iluminación, se colocará un transformador de distribución autoprotegido, de 10 kVA, voltaje primario de 13.2/7.62 kV y voltaje secundario de 120/240 V, en el poste donde estará la salida de la línea de alimentación principal. Dicho transformador alimentará dos luminarias ubicadas en los postes que soportan las estructuras de la subestación, éstas estarán enfocadas de tal manera que se cubra toda el área del proyecto. Preferentemente estarán a una altura de 8 metros sobre el nivel del suelo, que es la altura a la que no entorpecerían con alguna estructura de soporte de cables o equipo de protección.

La luminaria que se propone para uso exterior es tipo reflector, con 2 fotoceldas incorporadas, para voltaje de 240 V, potencia de 1000 W, tipo de bulbo de alta presión de sodio, peso aproximado de 29 kg, soporte ajustable que permita la inclinación en diferentes ángulos.

**4.6.3 Postes y estructuras:** los postes que se sugieren para soportar las estructuras son de concreto de forma tronco cónica, de 15.2 (50') y 12.2 (40') metros de altura. Para levantar la línea de transmisión se utilizarán 4 postes de 15.2 m, localizados alrededor del transformador. En la parte posterior de la subestación se colocarán los postes de 12.2 m, que servirán se apoyo para las estructuras de metal que soportarán las líneas que salen del recloser.

Las estructuras de metal estarán hechas de hierro galvanizado de 3 mm de espesor como mínimo, con marcos angulares y soportes a no más de 1 pie de separación. Las soleras que soportarán los cables de 13.2 kV, serán de hierro galvanizado de 3 mm de espesor y 5 cm de ancho, como mínimo. Tendrán uniones cada 0.50 m para aumentar la resistencia a la tensión y evitar con ello que las líneas fatiguen las barras.

La estructura que soportará los fusibles y el seccionador de cuernos de arqueo tendrá una altura de 1.0 m y 0.5 m de ancho, las otras tendrán 0.5 m de alto y de ancho. Tanto las estructuras como las soleras tendrán un largo igual a la distancia entre los postes donde serán colocadas.

**4.6.4 Línea de transmisión e hilo de guarda:** la línea de transmisión será levantada por medio de aisladores de cerámica con una distancia de fuga de 0.75 m, colocados en la estructura de metal situada en los postes frontales. Los aisladores deberán contar con un ojo atornillable en el extremo superior, para poder sujetar firmemente la línea a una altura de 11 metros.

Los hilos de guarda de la línea de transmisión serán utilizados para el blindaje de la subestación, serán sujetos en la parte superior de los postes de 15.2 m de altura y sólidamente aterrizados a la red de tierras de la subestación.

**4.6.5 Alimentador principal:** el alimentador principal que conecta la subestación con la red de distribución de Jutiapa, saldrá de la propia subestación, soportado por medio de un poste de 12.2 m de altura. Este se alimentará desde el recloser conectado a la barra de 13.2 kV de la subestación, la cual se instalará para poder tener la opción de conectar equipo adicional de medición o protección.

Otra ventaja de instalar una barra de 13.2 kV, es la posibilidad de conectar fácilmente un by-pass que alimente la barra directamente del transformador, en el momento de dar servicio al recloser.

El tramo de la red de distribución que alimentará la ciudad de Jutiapa, posee cables de aluminio tipo ACSR, calibre No. 2/0, por lo tanto, los conductores de la barra de 13.2 kV deberán ser, como mínimo, del mismo calibre que el de la línea de distribución, pero para prever el crecimiento de la misma, se sugiere que por lo menos sean de calibre No. 3/0, siempre de aluminio tipo ACSR.

**4.6.6 Localización del pararrayos:** los pararrayos producen su máxima protección en el punto donde se encuentran localizados, y su nivel de protección en el equipo disminuye a medida que éste se va alejando del pararrayos.

La tensión originada por una onda que aparece en un punto, a una distancia determinada del pararrayos, está dada por la expresión:

$$V_p = V_o + 2(\delta v/\delta t) \times D/300$$

en donde

- $V_p$  Tensión que aparece en un punto  $p$  a una distancia  $D$  entre el punto y el pararrayos, originada por una sobretensión transitoria.
- $V_o$  Tensión de máxima descarga del pararrayos, en kV.
- $\delta v/\delta t$  Pendiente del frente de onda incidente en kV  $\mu$ seg.
- $D$  Distancia en metros entre el pararrayos y el punto por preteger.
- 300 Velocidad de propagación de la onda en metros/ $\mu$ seg.

Otra forma de enfocar la localización del pararrayos, es obtener la distancia máxima entre éste y el equipo por proteger, partiendo de la tensión máxima permitida en el equipo indicado. Esto se obtiene despejando D de la expresión anterior:

$$D = 300 (V_m - V_o) / 2 \cdot \delta v / \delta t$$

donde:

$V_m$ : Tensión máxima permitida en el equipo por proteger.

Las distancias máximas de los pararrayos a los equipos por proteger, se determinará con base en los siguientes datos:

Lado a proteger:	$V_m$	$V_o$	$\delta v / \delta t$
69 kV	150 kV	141 kV	362 kV $\mu$ seg
13.2 kV	35 kV	33.3 kV	88.2 kV $\mu$ seg

sustituyendo los datos en la expresión anterior tenemos que para el lado de 69 kV, la distancia máxima a la que deberán instalarse los pararrayos del equipo a proteger es:

$$D = 300(150 - 141) / 2(362) = 3.73 \text{ m} \approx 3.70 \text{ m}$$

y para el lado de 13.2 kV es:

$$D = 300(35 - 33.3) / 2(88.2) = 2.89 \text{ m} \approx 2.85 \text{ m}$$

**4.6.7 Equipo de medición:** generalmente el Instituto Nacional de Electrificación -INDE-, no instala equipo de medición en las subestaciones que construye, tal es el caso de la que se encuentra en Pueblo Nuevo Viñas (Santa Rosa) y en Ipala (Chiquimula). Esta última tiene tres ramales alimentadores en el lado secundario.

Se considera que no debe ser la Municipalidad de Jutiapa quien adquiera dicho equipo, en todo caso, será el INDE quien evaluará la necesidad de instalar los transformadores de precisión y el equipo de medición.

Se sugiere que la unidad de transformación sea de la marca Asea Brown Boveri modelo MTP-150, la cual tiene incorporado en el mismo componente el transformador de potencial (PT) y el transformador de corriente (CT), ambos transformadores son de precisión, las especificaciones técnicas son las siguientes: trifásicos, para instalación en exteriores, voltaje nominal primario de 15 kV, nivel básico al impulso de 110 kV, 60 Hz, relación de transformación de voltaje de 15 kV / 120 V, relación de transformación de corriente de 500:1 amperios.

El equipo de medición que se sugiere es marca Westinghouse, modelo IQ Data Plus II, con las siguientes especificaciones técnicas: voltaje de alimentación 120/240V, 60 Hz, requerimiento de potencia en la entrada del PT de 10 VA, en la entrada del CT de 0.003 VA, rango de temperatura para operación normal de 0°C a 70°C, fusibles de protección

incorporados, peso aproximado de 7 lb. Este equipo muestra en pantalla la medición de los siguientes parámetros: corriente de línea ( $I_A$ ,  $I_B$ ,  $I_C$ ), voltaje entre líneas ( $V_{A-B}$ ,  $V_{B-C}$ ,  $V_{C-A}$ ), voltaje de línea a neutro ( $V_{A-N}$ ,  $V_{B-N}$ ,  $V_{C-N}$ ), potencia real, potencia reactiva, factor de potencia, frecuencia y demanda de energía. Al momento de ocurrir una falla, el IQ Data Plus II, muestra en pantalla cualesquiera de las razones siguientes: sobrevoltaje, bajo voltaje, desbalance de fase, pérdida de fase o cambio de polaridad. También activará la alarma sonora que será alimentada por medio de la batería.

#### 4.7 Tiempo de elaboración que requiere el proyecto:

Para determinar el tiempo de duración de la ejecución de la obra es necesario listar las actividades que se realizarán, entre las que podemos mencionar:

- **Levantamiento de tierra:** comprenderá la remoción de tierra para el acceso a la subestación y preparación del terreno: 4 días.
- **Desviación de la línea:** desviar la línea de 13.2 kV que está montada en las estructuras de la línea de 69 kV: 3 días.
- **Construcción del alimentador:** montar las estructuras para la línea que servirá de alimentador: 10 días.
- **Mallado perimetral:** construcción de los cimientos y la circulación con malla, de todo el perímetro de la subestación, incluye la instalación de la puerta de acceso: 12 días.
- **Montaje de postes:** montar las estructuras de concreto (postes) dentro de la subestación: 4 días.
- **Estructuras de metal:** montar las estructuras de metal, en los postes de la subestación: 3 días.
- **Levantar la línea:** levantar la línea de transmisión de 69 kV, a una altura de 11 m sobre el nivel del suelo, así como fijar los hilos de guarda a los extremos de los postes: 4 días.
- **Losas:** construir las losas de concreto, donde se montará el equipo: 30 días.
- **Aisladores:** montar los aisladores a las estructuras de metal, así como fijar los conductores que servirán de barras para transporte de energía eléctrica: 4 días.
- **Instalación de barra de 13.2 kV:** la instalación de aisladores y conductores para la barra de 13.2 kV y los puentes necesarios: 2 días.
- **Instalación de equipo menor:** la instalación de todos aquellos componentes que estarán montados sobre las estructuras de metal: 4 días.
- **Instalación de equipo mayor:** la instalación del transformador y el recloser: 4 días.
- **Malla de tierra:** hacer los trabajos de instalación de la red de tierras y aterrizaje de estructuras y equipo: 4 días.
- **Recubrimiento del terreno con roca triturada:** recubrimiento de la superficie de la subestación con roca triturada de 3/4" a un espesor de 8 cm: 1 día.
- **Sistemas auxiliares:** instalación de los sistemas auxiliares: 2 días.
- **Puesta en marcha:** puesta en funcionamiento de la subestación: 1 día.
- **Pruebas y mediciones:** efectuar pruebas y mediciones de los niveles de voltaje y de ser necesario, efectuar las correcciones pertinentes: 3 días.

En el cronograma de la página siguiente, muestra claramente cual es el tiempo total para la construcción de la subestación, juntamente con las holguras previstas para la ejecución de las actividades.

**CRONOGRAMA PARA LA EJECUCION  
DEL PROYECTO DE CONSTRUCCION DE  
LA SUBESTACION ELECTRICA DE LA CIUDAD DE JUTIAPA.**

Actividad	días	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47										
Levantamiento de tierra	4	■	■	■	■																																																					
Desviación de la línea	3																																																									
Construcción del alimentador	10																																																									
Mallado perimetral	12																																																									
Montaje de postes	4																																																									
Estructuras de metal	3																																																									
Levantar la línea	4																																																									
Losas	30																																																									
Aisladores	4																																																									
Instalación de barra de 13.2 kV	2																																																									
Instalación de equipo menor	4																																																									
Instalación de equipo mayor	4																																																									
Malla de tierra	4																																																									
Recubrimiento con roca triturada	1																																																									
Servicios auxiliares	2																																																									
Puesta en marcha	1																																																									
Pruebas y mediciones	3																																																									

■ Duración neta de la actividad

□ Holgura

NOTA: El detalle del personal que trabajará en el proyecto, se muestra en el numeral 8 de este capítulo.



#### 4.8 Presupuesto del proyecto:

En el apéndice 2 se detalla el listado de materiales necesarios para la construcción de la subestación, juntamente con el costo estimado de cada uno de los componentes. Para totalizar los gastos se dividió el renglón de inversión, en costos directos, costos indirectos, y costos totales. Primero, se muestran los costos directos.

**4.8.1 Costos directos:** aquí incluiremos los costos derivados de la adquisición del material y gastos afines. Para los fletes y alquiler de maquinaria podemos fijar un renglón presupuestario de Q.50,000.00, mientras que para la adquisición de herramienta el renglón presupuestario será de Q.10,000.00.

Resumiendo los costos directos (ver detalle completo y dolarización en el apéndice 2, página 83).

Alimentador de la ciudad de Jutiapa	Q.	27,633.83	\$.	4,605.64
Red de Tierras:	Q.	25,984.00	\$.	4,330.67
Estructuras:	Q.	24,350.00	\$.	4,058.33
Muro perimetral:	Q.	8,075.00	\$.	1,345.83
Losas:	Q.	4,000.00	\$.	666.67
Aisladores, accesorios y conductores:	Q.	9,062.00	\$.	1,510.33
Equipo eléctrico de potencia:	Q.	949,700.00	\$.	158,283.33
Desviación de la línea de distribución:	Q.	6,857.30	\$.	1,142.88
Servicios auxiliares:	Q.	6,095.50	\$.	1,015.92
Fletes y alquiler de maquinaria:	Q.	50,000.00	\$.	8,333.33
Herramientas:	Q.	10,000.00	\$.	1,666.67
Terreno (225 m <sup>2</sup> a un precio de Q.120.00/m <sup>2</sup> )	Q.	27,000.00	\$.	4,500.00
<b>TOTAL COSTOS DIRECTOS:</b>	<b>Q.</b>	<b>1,148,757.63</b>	<b>\$.</b>	<b>191,459.60</b>

**4.8.2 Costos indirectos:** los costos indirectos estarán programados en función de los gastos administrativos como, salarios, imprevistos y escalamiento de precios.

		<u>Salario Mensual</u>	<u>Salario durante el proyecto</u>	<u>Monto total</u>
<i>mano de obra directa:</i>				
1	Ingeniero residente	Q.12,000.00	Q.12,000.00	Q.18,400.00
1	Técnico electricista	Q. 2,000.00	Q. 2,000.00	Q. 3,066.67
2	Albañil	Q. 1,200.00	Q. 1,200.00	Q. 1,840.00
4	Ayudantes de albañil	Q. 700.00	Q. 1,400.00	Q. 4,293.33
15	Peones	Q. 700.00	Q.10,500.00	Q.16,100.00
6	Linieros	Q. 1,600.00	Q. 9,600.00	Q.15,040.00
<i>mano de obra indirecta:</i>				
1	Secretaria	Q. 1,500.00	Q. 1,500.00	Q. 2,300.00
1	Ingeniero supervisor	Q.15,000.00	Q.15,000.00	Q.23,000.00
1	Chofer/mensajero	Q. 1,400.00	Q. 1,400.00	Q. 2,146.67
<b>TOTAL DE SALARIOS:</b>				<b>Q.86,186.67</b>

La distribución de tareas para cada una de las plazas es la siguiente:

*Secretaria:* se encargará de todo lo concerniente a actividades de oficina, tales como cotizaciones, transcripción de informes, etc.

*Ingeniero residente:* será el profesional que tendrá a su cargo la construcción de la subestación, supervisará los trabajos realizados diariamente y rendirá informes a la empresa contratista y a la Municipalidad de Jutiapa.

*Ingeniero supervisor:* será el profesional contratado por la Municipalidad de Jutiapa, para efectuar las evaluaciones periódicas del avance de la obra, ordenará al contratista corregir toda anomalía que encontrare durante la construcción y rendirá informes periódicos a la Municipalidad de Jutiapa.

*Técnico electricista:* será la persona encargada de efectuar todos aquellos trabajos de instalación de equipo y asistir en su momento al ingeniero residente.

*Linieros:* serán las personas que se encargarán del montaje herrajes, aisladores, líneas de 13.2 kV y 69 kV, así como de todas aquellas estructuras de líneas de distribución.

*Albañil:* tendrá a su cargo la supervisión de la obra civil, tanto en lo relativo a losas como cimientos, circulación perimetral y zanjeado.

*Ayudantes de albañil:* asistirán al albañil en todo lo relativo a la preparación de mezclas, cimientos, columnas, etc.

*Peones:* serán las personas que asistirán tanto al albañil como a los linieros y electricistas cuando se requiera de fuerza humana en trabajos no calificados, como zanjas, fundición de losas, levantado de postes, etc.

*Chofer/mensajero:* será el encargado de repartir correspondencia, informes, y toda aquella información que sirva de enlace entre el contratista y la Municipalidad de Jutiapa, así como de efectuar todos aquellos trámites que le sean asignados.

En cuanto a los renglones de imprevistos y escalamiento de precios, éstos se calcularán como un 10% del total de los costos directos, lo que nos da Q.114,875.76. Esta cantidad sumada a los salarios nos da el total de los costos indirectos, el cual asciende a: **Q.201,062.43.**

**4.8.3 Costos totales:** estos costos los calcularemos con base en la suma de los costos directos y los costos indirectos, así como el monto de la utilidad del contratista, la cual se fija en un 20% sobre el costo total del proyecto (no incluye el monto del salario del ingeniero supervisor, el cual será contratado y pagado por la Municipalidad de Jutiapa y tampoco el valor del terreno el cual será negociado por la propia Municipalidad).

Costos directos:	Q.	1.148,757.63
Costos indirectos:	Q.	201,062.43
<hr/>		
Costo parcial:	Q.	1.349,820.06
Utilidad del contratista:	Q.	259,964.01
<hr/>		
<b>COSTO TOTAL:</b>	<b>Q.</b>	<b>1.609,784.07</b>

#### 4.9 Fuentes potenciales de financiamiento:

Se analizarán cuatro posibles fuentes para sufragar el costo total proyecto: el presupuesto interno de la Municipalidad de Jutiapa, una institución bancaria nacional, el Instituto de Fomento Municipal y el Banco Centroamericano de Integración Económica.

**4.9.1 Presupuesto interno de la Municipalidad de Jutiapa:** actualmente la Municipalidad de Jutiapa, no cuenta con fondos suficientes para sufragar un gasto de tal magnitud, por lo que podemos asegurar que esta opción no es viable.

Sin embargo, anualmente la Municipalidad recibe por concepto del 10% constitucional del presupuesto nacional, la cantidad aproximada de Q.800,000.00, lo que podrían servir para amortizar el capital aportado por alguna institución financiera.

**4.9.2 Instituciones financieras:** aquí se analizarán tres instituciones que pueden financiar el proyecto, éstas son: una institución bancaria nacional, el Instituto de Fomento Municipal y el Banco Centroamericano de Integración Económica, este último, financia proyectos municipales, a través de instituciones bancarias nacionales, pero con tasas de interés preferencial.

Administrativamente, se puede decir que la mejor opción es el financiamiento a través del BCIE o una financiera privada nacional, ya que estas analizan los casos (proyectos) en un plazo no mayor de 2 meses; mientras que la institución descentralizada restante, tarda entre 12 y 18 meses para el análisis de casos, exige mayor documentación y los desembolsos los hacen con cierto retraso.

Económicamente, la tasa efectiva de interés con que trabaja la institución que representa al BCIE es del 19% anual, la tasa efectiva con trabaja una financiera privada nacional es del 24.75% anual y la tasa efectiva de financiamiento del Instituto de Fomento Municipal es del 18% anual. Esto nos indica que de financiar el proyecto una institución bancaria nacional, la Municipalidad de Jutiapa estaría pagando aproximadamente Q.77,000.00 anuales más, que con un financiamiento con el BCIE. En el otro caso, de financiarse el proyecto por medio del INFOM estaría pagando Q.13,000.00 anuales menos que financiado con el BCIE; el cálculo anterior se hizo tomando como base un plazo de 5 años para amortizar el capital adeudado.

Este análisis nos indica que realmente no es significativo el monto del ahorro entre un financiamiento con el INFOM que con el BCIE, ya que el tiempo que tarda la institución descentralizada en resolver los casos, es realmente grande.

Nuevamente, conviene más a los intereses de la Municipalidad abrir crédito con el Banco Centroamericano de Integración Económica a través de un banco local. Las razones administrativas y económicas son las de mayor peso para un análisis de las opciones. Se recomienda como alternativa, que el BCIE sea quien financie el proyecto.

Previo a la solicitud de préstamo a cualquier institución financiera, deberán sostenerse pláticas con las Embajadas amigas, tal es el caso de la del Gobierno de Japón, para establecer la posibilidad de firmar un convenio de donación o de ayuda parcial.

Deberá entenderse que con las Embajadas e Instituciones extranjeras, no se negociará un préstamo, dado que ello requiere la autorización de la Junta Monetaria y del Organismo Ejecutivo, éste último además presentará la iniciativa de ley al Congreso de la República para su aprobación, tal como lo exige el artículo 90 del Código Municipal. Lo anterior dificultaría enormemente la ejecución del proyecto.

Los préstamos obtenidos por medio de instituciones bancarias u otras entidades financieras de crédito autorizadas para operar en Guatemala, no requieren autorización o aprobación del Ejecutivo ni de la Junta Monetaria, lo cual está fundamentado en el artículo 89 del Código Municipal. En el caso del BCIE, éste concede los préstamos por medio de una institución bancaria nacional, por lo que no estaría afecto a la resolución del Ejecutivo ni de la Junta Monetaria.

#### 4.10 Opciones para la administración del proyecto:

Una opción de administración del proyecto es que la Municipalidad Jutiapa tome a su cargo el seguimiento del mismo, constituyéndose en una Empresa Eléctrica Municipal. Esto presenta los siguientes inconvenientes:

- La Municipalidad necesitaría un fuerte capital extra para la adquisición de equipo de medición primaria como secundaria dentro de la subestación de mérito.
- Otra fuerte cantidad de capital para sufragar los gastos ocasionados por la fundación y mantenimiento de la Oficina Eléctrica Municipal, los salarios del personal y su consiguiente pasivo laboral.
- Necesidad de un capital para la corrección de los problemas de la red de distribución eléctrica existente, su mantenimiento y los problemas de pérdidas no técnicas de energía eléctrica.
- La politización de los cargos administrativos de la Oficina Eléctrica Municipal, lo que traería consigo la ineficiencia de la misma.

Otra opción para administrar el proyecto es la constitución de la Oficina Eléctrica Municipal en una entidad Cooperativista de Responsabilidad Limitada, la cual traería consigo casi los mismos gastos que la opción anterior. Sin embargo, la presente trae consigo ventajas que son importantes:

- Una cooperativa busca la satisfacción plena de sus asociados, otorgándoles voz y voto en las decisiones que la administración tome, por lo que los usuarios del servicio eléctrico estarían personalmente representados en la toma de decisiones.
- Los mismos usuarios podrían proponer leyes que tiendan a mejorar el servicio eléctrico en la ciudad de Jutiapa.

Para constituirse en Cooperativa, la Municipalidad tendrá que aportar el total del capital para la ejecución del proyecto, ya que ninguna persona que desee invertir, lo hará en un proyecto donde no puede lucrar. La Ley General de Cooperativas, establece que ninguna institución cooperativista puede lucrar, pero, de darse un excedente, tiene que repartirse proporcionalmente entre los asociados. Lo anterior nos hace recapacitar en que toda la inversión que la Municipalidad realice, no podrá recuperarse sino hasta largo plazo, situación que afecta grandemente a la Administración Edilicia.

Existen el inconveniente, que a pesar de ser la Municipalidad el miembro con mayor aporte de capital, únicamente tiene la opción de un voto dentro de la Junta de Administración, lo que le imposibilita de regular los intereses municipales.

La Ley General de Cooperativas establece que se necesita un mínimo de 20 personas para constituirse como tal, por lo cual cada usuario automáticamente pasaría a ser miembro de la cooperativa, teniendo con esto voz y voto, pudiendo elegir y ser electo además de gozar de todos los derechos y responsabilidades que establezcan sus estatutos.

Con lo analizado anteriormente, se concluye que es una buena medida la constitución de una Empresa Eléctrica Municipal de Responsabilidad Limitada, pero será la Corporación Municipal quien tome la decisión de aceptar dicha propuesta, la cual representa un gran trabajo de organización y una fuerte inversión de capital no recuperable a corto plazo. Comentarios realizados por miembros de la Corporación Municipal dan a entender que la Municipalidad de Jutiapa, no cuenta con capacidad financiera para aceptar la presente opción.

La tercera opción de administración del proyecto es la constitución de una Empresa Eléctrica Municipal en Sociedad Anónima, lo cual está regulado por el Código de Comercio en sus artículos 86 al 98. Dicha medida también requiere de una fuerte inversión inicial, pero con la diferencia que el Ayuntamiento únicamente aportará el 49% del capital a invertir, para así tener el mayor número de acciones y con ello mayor representación. Es resto del capital es aportado por inversionistas privados, quienes obtendrán utilidades en forma proporcional a lo aportado.

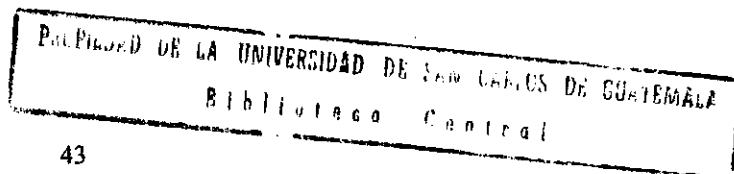
Los inconvenientes que presenta esta opción son: que la recuperación del capital será a largo plazo, ya que para obtener mayores ganancias deberá minimizarse las pérdidas de energía eléctrica en la red de distribución, si no se desea aumentar el precio de la tarifa por kWh, por lo que se necesitaría un desembolso aún mayor, el cual si la Municipalidad no desea perder la categoría de accionista mayoritario, deberá ser quien aporte la mayor cantidad, lo cual afectaría en el pago de las letras de amortización del capital en préstamo.

Con la constitución de una Sociedad Anónima, la administración edilicia tendría una fuerte presión de los socios para aumentar el precio del kWh, y con ello empezar a recuperar el capital invertido. Situación que afectaría a los usuarios.

Por último se propone la venta de la subestación a construirse al Instituto Nacional de Electrificación Este puede pagarle a la Municipalidad de la forma siguiente: dispensando la factura municipal de energía eléctrica y cobrando a los usuarios la tarifa por concepto de tasa municipal de energía eléctrica por un período determinado.

La Municipalidad podrá amortizar la deuda inmediatamente después de construida la subestación y firmado el convenio entre el INDE y el Ayuntamiento, debido a que tendría la disponibilidad que le brindaría la exoneración de la factura de electricidad. Por considerar que es la opción que más conviene a los intereses de la Municipalidad, se propone la alternativa de vender al INDE la subestación eléctrica de Jutiapa, el análisis económico se describe en el inciso siguiente.

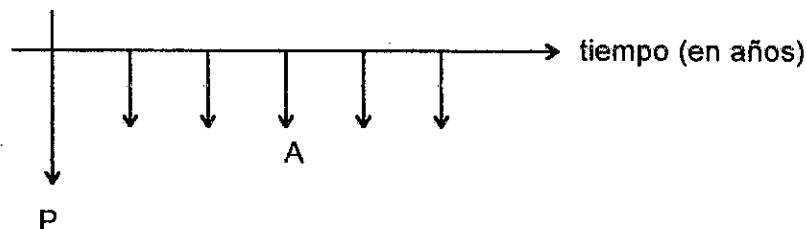
Será la Corporación Municipal quien analice la segunda y la tercera opción, de darse el caso que el monto total de la inversión para la ejecución del proyecto sea donado por algún Gobierno o alguna institución internacional.



#### 4.11 Recuperación de capital:

Para hacer el análisis de recuperación de capital, se tomará el monto total del proyecto, tanto de la construcción de la subestación como del proyecto de introducción de energía eléctrica a la aldea San Francisco, de la ciudad de Jutiapa, el cual asciende a casi Q.1.800,000.00. Lo que resta para llegar a ese monto, podemos asumir que es la cantidad que se utilizará para la formulación de las bases de licitación y llevar a cabo todo el proceso de contratación de la empresa que tendrá a su cargo la construcción del proyecto. Por lo que se trabajará bajo la base del monto mencionado.

Para calcular la cuota anual que se tendrá que pagar, necesitamos conocer la tasa de interés efectivo de la entidad financiera, el cual está fijada un 19% anual, también asumimos que el plazo para efectuar la amortización del capital es de 5 años y como mencionamos, el valor del préstamo es de Q.1.800,000.00. Gráficamente tenemos lo siguiente:



Donde P representa el valor presente de Q.1.800,000.00 y A es la cuota anual que la Municipalidad de Jutiapa tendrá que aportar a la entidad financiera durante cinco años. El valor de A está dado según la expresión:

$$A = P [i(1+i)^n] / [(1+i)^n - 1]$$

en esta expresión "i" representa el interés efectivo anual y "n" el número de años para amortizar el capital. Sustituyendo valores tenemos que:

$$A = 1.800,000 [ 0.3270502 ]$$

$$A \approx Q. 588,700.00$$

La cuota que se tiene que pagar a la entidad financiera es de casi Q. 588,700.00 anuales, los cuales la Municipalidad los obtendrá de la siguiente manera: una parte será por concepto de ahorro de la factura de energía eléctrica que anualmente se tiene que pagar al INDE y la otra parte proveniente del 10% constitucional que anualmente recibe la Municipalidad. Los montos mencionados se calculan de la siguiente manera:

La Municipalidad consume anualmente 880,000 kWh (ver numeral 2.2.3, del Capítulo 2), los cuales tienen un precio de Q.0.54 que equivalen a casi Q.475,000.00, por lo que restaría completar la cantidad con un total de Q.113,700.00 correspondientes al 10% constitucional que es menos de la tercera parte del total que recibe.

Ahora bien, el Instituto Nacional de Electrificación amortizaría la deuda dispensando la factura edilicia, pero quedándose con el monto correspondiente a la tasa municipal que los usuarios pagan mensualmente. El promedio de la tasa municipal es de Q.2.40 mensuales por

cada usuario, los cuales son en total casi 6,000, que equivale a una aportación de Q.14,400.00 mensuales ó Q.173,000.00 anuales.

El total dispensado a la Municipalidad es de Q. 475,000.00 y la cantidad con que el INDE se quedaría por concepto de la tasa municipal es de Q. 173,000.00, entonces, la aportación anual neta del INDE es de Q. 302,000.00 anuales.

Asumiendo que la Municipalidad solo necesita recuperar el total del capital pagado a la entidad financiera, entonces el tiempo durante el cual, el INDE tendría que dispensar la factura por energía eléctrica a la Municipalidad, se calculará de la siguiente manera:

Total pagado por la Municipalidad = Q.588,700.00 x 5 = Q. 2.943,500.00  
# de años a dispensar = Q.2.943,500.00 / Q.302,000.00 ≈ 10 años

Prácticamente el INDE no pagaría el mismo porcentaje de interés que la Municipalidad pagó a quien financió el proyecto, porque los tiempos de amortización no son iguales: 5 años para la Municipalidad y 10 años para el INDE.

Para compensar este aspecto se puede estipular en el convenio, que el incremento en el consumo de energía por parte de las dependencias municipales será lo que equipare las tasas de interés.





## 5. INTRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A LA ALDEA SAN FRANCISCO DEL MUNICIPIO DE JUTIAPA.

La Aldea San Francisco pertenece al Cantón La Majada y se encuentra situada a una distancia de 1.5 kilómetros del centro de la ciudad de Jutiapa, al sur-sudoeste de la misma. Cuenta con un total de 42 viviendas en las que habitan 170 personas, las cuales se dedican a la agricultura. Los cultivos predominantes son el maíz, sorgo y frijol.

La aldea tiene un área aproximada de un kilómetro cuadrado, cuenta con un sólo camino de acceso de 5 metros de ancho y una longitud total de 1689 metros. Las viviendas están distribuidas desordenadamente pero a una distancia no mayor de 60 metros de la orilla del camino (ver gráfica No. 9).

### 5.1 Criterios de diseño:

A continuación se muestran los principales criterios en los que se basa el desarrollo del diseño de la red de distribución de energía eléctrica para la Aldea San Francisco, los detalles de estos aspectos se muestran en el numeral 5.3 (Ingeniería de la red) de este capítulo.

**5.1.1 Distribución primaria:** la red de distribución de la ciudad de Jutiapa pasa a 100 metros lineales de la entrada de la Aldea San Francisco. Se tomará como *Distribución Primaria* los alimentadores que salgan de dicha red hacia la aldea en mención, en nuestro caso la línea de 7.62 kV con retorno por neutro.

**5.1.2 Distribución secundaria:** el sistema secundario es la porción del sistema de potencia entre los circuitos de alimentación primaria y los consumidores. Este sistema secundario consiste en postes, conductores, transformadores de distribución, acometidas, tierras, retenidas, neutro, cortacircuitos, fusibles, pararrayos y contadores de energía eléctrica. Por tratarse de una extensión de línea en un área rural, la distribución secundaria se recomienda que sea únicamente monofásica con voltajes de 120/240 V.

**5.1.2.1 Postes:** la línea de alta tensión será sostenida normalmente por postes de 10.67 metros de alto, mientras que las líneas de baja tensión serán sostenidas normalmente por postes de 9.0 metros de alto o por los postes destinados para alta tensión, cuando las dos clases de líneas sigan el mismo curso. La orientación de los postes será efectuada tomando como orientación el plano y elevaciones de los callejones de la aldea. Todos los postes estarán debidamente alineados y en un solo lado del callejón. Deberán ser de concreto reforzado de forma tronco-cónica. Serán enterrados a una distancia mínima de 1.0 ó 2.0 metros de la orilla del callejón y con vanos mínimos de 50 metros y máximos de 70 metros (ver inciso 3.2 de las Normas de Electrificación Rural del INDE) según las necesidades que imponga la densidad de consumidores y la topografía del terreno.

Las razones por las que se sugieren postes de concreto son las siguientes: apariencia y facilidad de adquisición, también el hecho que utilizar postes de madera puede resultar antieconómico por su rápida destrucción a causa del calentamiento por las rozas antes de las siembras y el mal manejo de ciertos instrumentos de labranza típicos de la región.

**5.1.2.2 Conductores:** los conductores de alta y baja tensión serán del tipo ACSR, para poder soportar cualquier esfuerzo mecánico durante su instalación o durante su tiempo de servicio. Los primeros serán sostenidos en los postes por aisladores de espiga clase ANSI 55.4 y serán rematados con aisladores de suspensión de la clase ANSI 52.9. Los conductores de baja tensión serán soportados con aisladores de carrete de la clase ANSI 53.2 y estarán a 0.21 metros de distancia como mínimo entre sí y a una altura mínima de 6.60 metros del nivel del suelo (tal como lo requiere el inciso 4.2.2 de las Normas de Electrificación Rural del INDE).

**5.1.2.3 Transformadores de distribución:** los transformadores de distribución convierten el voltaje del circuito primario al voltaje de utilización, sus valores nominales mas comunes son los de 10, 15, 25, 37.5, 50, 75 y 100 kVA.

Normalmente se emplearán transformadores monofásicos tipo autoprotegido para dar servicio monofásico de 120 voltios, 2 hilos ó 120/240 voltios, 3 hilos. Los transformadores autoprotegidos están diseñados para convertir exclusivamente, un voltaje en el lado primario entre línea y tierra. Ésta es la causa que tengan únicamente un bushing primario, la otra terminal primaria es la tierra, o sea el tanque, que estará conectado sólidamente a la tierra física instalada en la base del poste. Estos transformadores traen incorporada la protección necesaria para prevenir daños, o al menos minimizarlos, en los casos de un sobrevoltaje (por lo general causado por una descarga electroatmosférica), de un cortocircuito interno en su embobinado, de una sobrecarga severa o de un cortocircuito en el secundario. Tienen la característica preventiva de advertir cuando están sufriendo una sobrecarga.

Para servicio monofásico, como en nuestro caso, únicamente es necesario un hilo primario para realizar la conexión, lo cual disminuye el costo. La conexión de un transformador autoprotegido, por tener toda su protección incorporada es rápida, cómoda y barata.

Los transformadores de distribución, cuando su carga es únicamente monofásica, pueden soportar temporalmente hasta un 80% más de su valor nominal en kVA indicado en la placa, pero el dejar que operen bajo esta situación es completamente antitécnico y antieconómico, por las pérdidas que se originan, las cuales aumentan a razón de 1.26% por cada kVA al que se encuentra operando el transformador. Si suponemos que el porcentaje de sobrecarga es del 50%, el total de pérdidas será de 472.5 VA, lo que equivale a 378 W; en función de la pérdida de energía tenemos que diariamente se perderán 1.5 kWh si el período de sobrecarga dura únicamente 4 horas.

Esta energía perdida equivale a 547.5 kWh por cada año. El precio por kWh en la ciudad de Jutiapa es de Q. 0.54, lo que nos da un total de pérdida monetaria de Q.295.65 al año. A este análisis hay sumarle el desgaste físico y químico que sufren los componentes del transformador, los cuales reducen la vida útil del mismo.

**5.1.2.4 Acometidas:** las acometidas de servicios individuales a los consumidores deberán efectuarse en una cantidad no mayor de 8 por poste, para evitar saturar los conductores y el espacio de las tomas de energía en un punto específico de la línea de distribución secundaria. Cuando se requiera mayor número que el anterior, se

efectuarán salidas con conductor del mismo calibre de la línea de distribución secundaria, soportadas por postes adicionales. Deberá hacerse un análisis previo de la extensión adicional de la línea de baja tensión, ya que, podría resultar antieconómico, debiendo reconsiderarse esta propuesta, dependiendo de la cantidad adicional de acometidas y su respectiva carga.

Toda vivienda deberá alimentarse con una sola acometida, las que se registrarán por las siguientes disposiciones:

- a) El soporte para recibir el cable de acometida será colocado a 5.0 metros de altura si la alimentación se realiza cruzando el callejón y a 3.0 metros si no lo cruza (las Normas de Electrificación Rural del INDE no estipula nada al respecto, por lo que se toma como referencia el inciso 7 de las Normas para Acometidas de la Empresa Eléctrica de Guatemala).
- b) Si el cable de acometida sobrepasa los 40 metros, deben instalarse horcones o postes intermedios, para soportar el cable y así disminuir la longitud de la flecha, de tal forma que dicho cable se mantenga a 3 metros de altura como mínimo, dentro del terreno del usuario (inciso 4.5.2 de las Normas de Electrificación Rural del INDE).
- c) Los contadores con precinto de seguridad (marchamo) serán proporcionados por la Municipalidad de Jutiapa y se colocarán a una altura mínima de 1.80 metros en el exterior de la vivienda. Serán colocados en lugares accesibles para su lectura, recomendándose la alineación de la construcción (inciso 4.7 de las Normas de Electrificación Rural del INDE). Los 42 contadores sugeridos son de tipo sobreponer, 120V, 60 Hz, 15 A, 2 hilos, los cuales implican un desembolso para la Municipalidad de Jutiapa de aproximadamente Q.10,000.00 con todo y su instalación. Por ser la población de la aldea San Francisco, personas de escasos recursos y lo tedioso de los trámites de calibración de contadores por parte del INDE, es que se prefiere que sea la Municipalidad de Jutiapa quien suministre los contadores, previa colocación por parte del INDE, de los marchamos de seguridad.
- d) El cable de acometida será tipo dúplex de aluminio, calibre No. 8 AWG y lo suministrará la Municipalidad de Jutiapa. La distancia entre la orilla del callejón y el frente de la vivienda, varía desde los 15 hasta los 70 metros, pero la mayor parte de viviendas tienen una distancia de 45 a 50 metros. Estas distancias nos hace evaluar la eficiencia del conductor.
- e) La protección de la instalación eléctrica dentro de la vivienda se hará por medio de interruptores termomagnéticos, para lo que segiere la caja sea para 3 flipones: 1 para el circuito de iluminación, 1 para el circuito de fuerza y otro para una eventual ampliación. Los flipones instalados deberán ser de 15 A y 120V.

La potencia estimada (S) para la mayor parte de viviendas es el 1250 VA, el voltaje nominal (V) es de 120 V, lo que nos da una corriente (I) de 10.42 A. El área (A) del conductor calibre No. 8 es de  $8.4 \text{ mm}^2$ , la conductividad del aluminio ( $K_{al}$ ) es de  $36 \text{ mm}^2/(\Omega\text{m})$  y el porcentaje máximo de caída de voltaje (e) en una acometida es del 2% del voltaje nominal, que equivale a 2.4 V entonces, la máxima longitud que deberá tener el cable de acometida, para ser crítico por regulación es de:

$$L = eAK_{al} / I$$
$$L = (2.4)(8.4)(36) / (10.4)$$
$$L = 69.65 \text{ metros.}$$

Si seleccionamos el calibre No. 8 AWG, podremos tener acometidas hasta de 69.65 metros de longitud, lo cual es aceptable para este diseño.

**5.1.2.5 Tierras:** el sistema de tierras corresponde a la forma en que está conectado a tierra el neutro de un sistema trifásico o monofásico. Para los sistemas de distribución en particular es importante obtener valores relativamente bajos de resistencia de tierra en los puntos de conexión, ya que de éstos depende la seguridad de las personas, la efectividad de la coordinación de aislamiento, la operación de la protección y además la calidad del servicio que se suministrará.

En una red de distribución, con líneas con retorno por hilo neutro o con retorno por tierra, la puesta a tierra del transformador debe ser única y general, para el transformador (tanque), pararrayos y neutro del secundario en este caso. La bajada a tierra debe hacerse por el interior del poste. El valor de resistencia de puesta a tierra en cada punto de conexión de la misma no deberá ser mayor de 10  $\Omega$  en época seca.

El sistema de líneas con retorno por neutro, como es nuestro caso, se caracteriza por poseer solamente un conductor de fase. El circuito de corriente se cierra a través del hilo de neutro. En una red de distribución, en los puntos de transformación se conectará el terminal del neutro del transformador al tanque del mismo, donde a su vez se conectará el secundario. Este deberá tener 2 puestas a tierra adicionales en los postes adyacentes al que se encuentre el transformador. Si el valor de resistencia no es alcanzado al instalar una sola varilla, se puede incrementar el número de varillas a dos o más, hasta alcanzar el valor requerido.

El sistema de puesta a tierra que se utilizará es el TIPO A y consiste en una sola varilla de 2.44 metros (8 pies) de largo, con alma de acero, de 5/8" de diámetro con recubrimiento de cobre; conductor No. 2 AWG, de cobre desnudo; mordazas de bronce y conector de compresión de cobre, para derivaciones subterráneas.

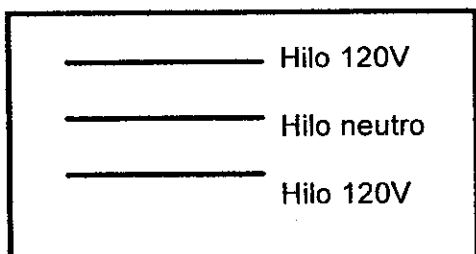
La medición de la puesta a tierra debe hacerse después de 15 días de instalar las varillas para evitar lecturas erróneas.

**5.1.2.6 Retenidas:** para evitar el desalineamiento de los postes, en desvíos y remates de línea se colocarán las retenidas (tirantes) necesarias según el tipo de estructura que sea, de tal manera que no estorben el tráfico de vehículos y bloqueen lo menos posible el tráfico de peatones. De acuerdo con la situación se podrá emplear una retenida con ancla de concreto y varilla para anclaje de acero de 5/8" de diámetro y 7' de largo; así mismo el remate deberá ser de acero preformado de 1/4" y la retenida será conectada al hilo de neutro de la distribución primaria (inciso 3.6 de las Normas de Electrificación Rural del INDE).

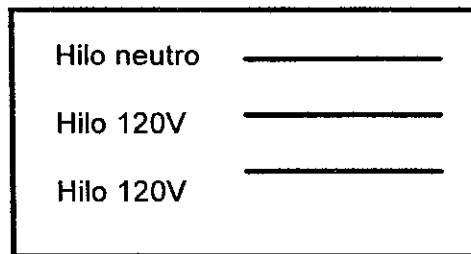
**5.1.2.7 Neutro:** el neutro de la línea de distribución primaria y secundaria será del tipo ACSR, calibre No. 2, deberá ser puesto a tierra en cada poste con transformador de distribución y dos postes adyacentes como mínimo. La disposición del neutro dentro de los 3 conductores de la distribución secundaria, se puede realizar de dos formas, la utilizada en Guatemala, es instalarlo al centro de los dos hilos de 120 V, mientras que la otra opción es instalarlo arriba de los dos hilos de 120 V.

En el momento en que ocurra una falla, debida a la caída del cable de distribución primaria, por cualquier consecuencia, el primer hilo con que éste haría contacto es el que se encuentre en la parte superior. En el caso de la disposición utilizada en nuestro medio, sería el hilo de 120 V, por lo que para cerrar el circuito hacia tierra, primero deberá pasar por la carga de los usuarios (generalmente iluminación y electrodomésticos), causando con ello la pérdida de los equipos. La segunda opción, consiste en colocar el hilo neutro sobre los dos conductores de 120 V, con esto tenemos que al ocurrir la caída del cable de distribución primaria, tocará primero el hilo neutro, desviando instantáneamente la corriente hacia tierra, mientras se libera la falla.

#### Disposición utilizada



#### Disposición propuesta



El inconveniente que existe con la segunda disposición es que, el personal del INDE no está familiarizado con ella y podría darse la eventualidad de un accidente. Además, la probabilidad que un cable se reviente o caiga por cualquier circunstancia es muy baja, por lo que no amerita tomar el riesgo de utilizar la segunda opción. Queda como alternativa la primera disposición.

 Aislador de carrete color café (120 V).

 Aislador de carrete color blanco (neutro).

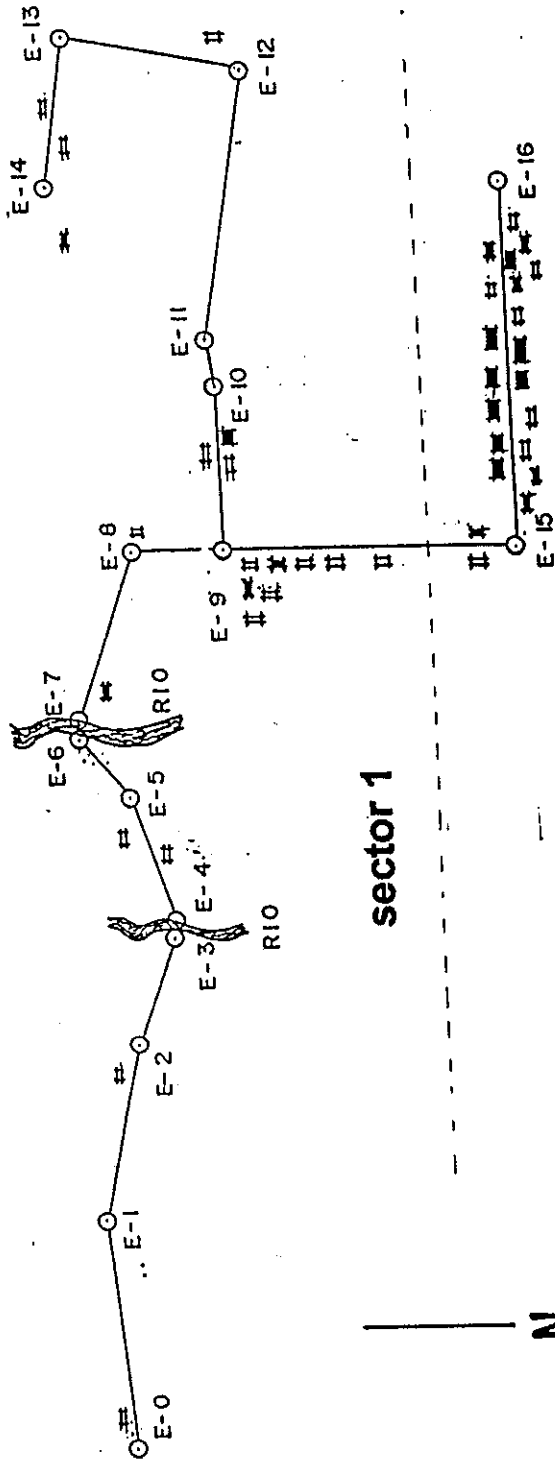
 Aislador de carrete color café (120 V).

**5.1.2.8 Cortacircuitos, fusibles y pararrayos:** todas las derivaciones de la línea principal de distribución deberá protegerse y poderse aislar de la línea de alta tensión, mediante los correspondientes cortacircuitos, fusibles y pararrayos, el detalle de lo anterior se muestra en el numeral 5.3.9 de este mismo capítulo.



**TABLA No. 7**  
**UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES**  
**UTILIZADAS PARA EL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO**  
**DE LA ALDEA SAN FRANCISCO, JUTIAPA.**

Estación	Punto de Observación	Distancia [metros]	Rumbo
0	1	154	S 85° 00' 00" Oeste
1	2	126	N 78° 00' 00" Oeste
2	3	77.2	N 70° 00' 00" Oeste
3	4	9.6	Oeste
4	5	84.5	S 72° 00' 00" Oeste
5	6	51	S 40° 00' 00" Oeste
6	7	13.7	Oeste
7	8	120	N 70° 00' 00" Oeste
8	9	60	Norte
9	10	112	Oeste
10	11	30	S 80° 00' 00" Oeste
11	12	185	N 80° 00' 00" Oeste
12	13	120	S 10° 00' 00" Oeste
13	14	100	S 80° 00' 00" Este
9	15	196	Norte
15	16	250	Oeste

**Gráfica No. 9**  
**PLANO DE LA ALDEA SAN FRANCISCO**  
 (sectorización y ubicación de viviendas)

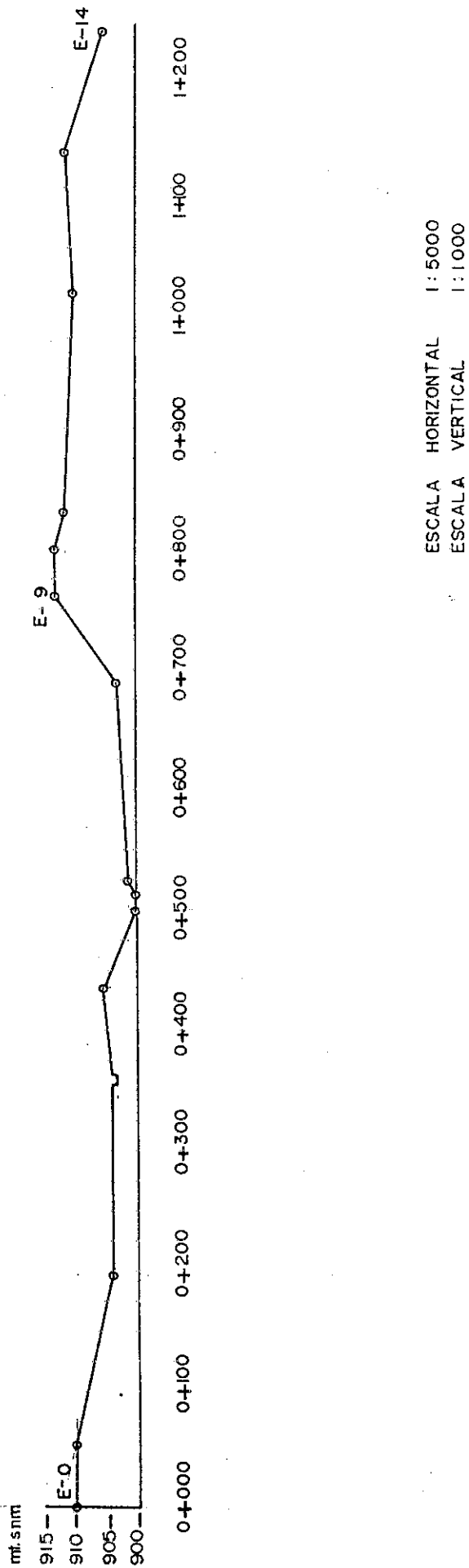


**sector 1**

 VIVIENDA TIPO A  
 VIVIENDA TIPO B  
 ESCALA 1:5000

**sector 2**

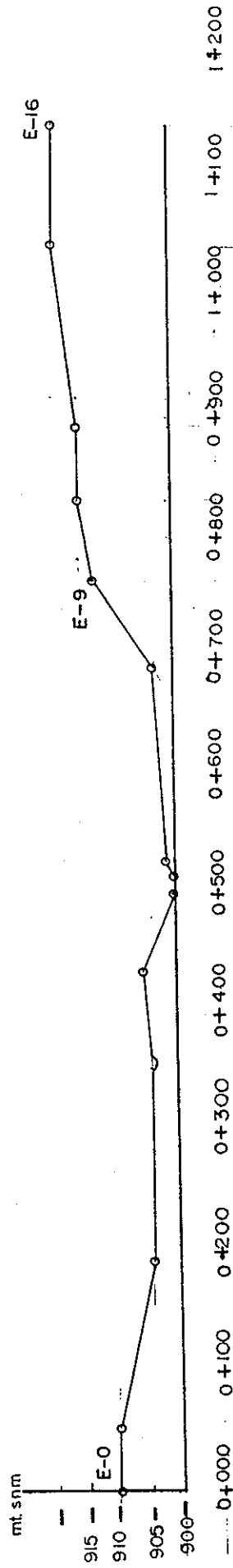
**Gráfica No. 10**  
**LEVANTAMIENTO DE NIVELES, ALDEA SAN FRANCISCO**  
 (de la estación 0 a la 14)



ESCALA HORIZONTAL 1:5000  
 ESCALA VERTICAL 1:1000



**Gráfica No. 11**  
**LEVANTAMIENTO DE NIVELES, ALDEA SAN FRANCISCO**  
 (de la estación 0 a la 16)



ESC. HOR. 1:5000  
 ESC. VER. 1:1000

## 5.2 Levantamiento topográfico:

Para realizar el proyecto se necesitó la elaboración del plano de la aldea San Francisco, en el cual se indican las trayectorias de los callejones que conducen desde la entrada de la aldea hasta donde se encuentran las últimas viviendas. También, se hizo un levantamiento de niveles, en el cual se observa que la Aldea San Francisco no tiene pendientes pronunciadas, las cuales puedan afectar considerablemente la instalación de los postes del tendido eléctrico.

El plano de la Aldea San Francisco se encuentra en la gráfica No. 9 y el levantamiento de niveles en las gráficas números 10 y 11. Como puede observarse también, en el plano se encuentra la ubicación de cada vivienda de la aldea y un acotamiento de los sectores en que fue dividida el área de estudio.

Estos planos servirán para diseñar la ubicación exacta de los postes y determinar la carga que tendrá asociada cada uno de los transformadores de distribución que se utilizarán en el proyecto. En resumen la aldea cuenta con un total de 42 viviendas, sus callejones suman una longitud total de 1689 metros con un ancho de 5 metros.

## 5.3 Ingeniería de la red:

En nuestro país se ha llegado a estandarizar el sistema de distribución secundaria en forma radial, que consiste en alimentadores principales y ramales, a lo largo de los cuales se conectan los usuarios. Este método tiene ventajas importantes como lo son: El flujo de energía es siempre de la fuente hacia la carga (la fuente en estos casos es el o los transformadores), como consecuencia de ello, el número de dispositivos de seccionamiento se reduce a un mínimo. La protección es sumamente sencilla y una planificación del crecimiento ordenado de la red, tanto en capacidad como en área servida se torna sumamente fácil. Tiene inconvenientes tales como: una falla en un alimentador principal deja sin servicio a las cargas conectadas a ella y a los ramales respectivos, el voltaje decrece a medida que la carga se aleja de la fuente de alimentación, dichos inconvenientes pueden reducirse a un mínimo si se prevén mediante un cálculo cuidadoso los conductores, protecciones y otros factores que afecten el funcionamiento de la red.

**5.3.1 Generalidades:** en la red de distribución, cuyo análisis nos ocupa, existen sólo usuarios que pueden catalogarse como pequeños consumidores, ya que la Aldea San Francisco cuenta actualmente con 42 viviendas en las que habitan 170 personas. Para estos usuarios, la capacidad a instalarse fue determinada en base a cierta clasificación de los mismos, dentro de la cual se ubicó a cada usuario. Cada tipo representa un rango de demanda por acometida y al estar en capacidad de determinarla para un conjunto de usuarios del mismo tipo, se está también en capacidad de establecer la potencia total con que se va a cargar el transformador al que estarán conectados; de tal manera que cuando se proyectó la red se determinó inicialmente la cantidad de usuarios de cada tipo que habrá en cada circuito.

**5.3.2 Carga estimada:** anteriormente mencionamos que en la Aldea San Francisco existen 42 viviendas, las cuales las podemos clasificar en dos tipos: A y B. El primer tipo de vivienda es aquel que contará con un máximo de 10 luminarias y 5 tomacorrientes de uso general; las viviendas tipo B son las que contarán con un máximo de 5 luminarias y 3 tomacorrientes de uso general.

El factor de demanda (FD) de las cargas se subvalora a causa de la aplicación que se le dará, tomando en cuenta que en el área rural se economizan los recursos. Para visualizar las cargas por usuario y la carga total estimada se muestra la siguiente tabla.

**TABLA No. 8**  
**Estimación de carga por tipo de vivienda.**

Tipo de vivienda	Cantidad de viviendas	Tipo de carga	Carga instalada (VA)	Factor de demanda	Demanda máxima estimada (VA)
Tipo A	23	Iluminación	23,000	0.8	18,400
		Tomacorriente	20,700	0.5	10,350
Tipo B	19	Iluminación	9,500	0.8	7,600
		Tomacorriente	10,260	0.5	5,130
Totales:	42		63,460		41,480

Como puede observarse en el cuadro anterior, la demanda máxima estimada por cada vivienda tipo A es de 1250 VA, mientras que una vivienda tipo B tiene una demanda máxima estimada de 670 VA; estos datos serán de suma utilidad en la selección de los transformadores de distribución.

**5.3.3 Carga proyectada:** la Aldea San Francisco nunca ha contado con un sistema de energía eléctrica, obviamente no se tiene registro del crecimiento de la demanda de energía eléctrica, por lo que resulta necesario utilizar la misma tasa de crecimiento de demanda de la ciudad de Jutiapa, la cual como se estableció en el capítulo 2 es de 0.0432. La siguiente tabla nos indica la proyección de la demanda máxima estimada:

**TABLA No. 9**  
**Proyección de demanda de potencia de la Aldea San Francisco, Jutiapa.**

Año	Demanda (kVA)	Año	Demanda (kVA)	Año	Demanda (kVA)
1997	41.48	2006	60.69	2015	88.81
1998	43.27	2007	63.32	2016	92.65
1999	45.14	2008	66.05	2017	96.65
2000	47.09	2009	68.90	2018	100.82
2001	49.13	2010	71.88	2019	105.18
2002	51.25	2011	74.99	2020	109.72
2003	53.46	2012	78.23	2021	114.46
2004	55.77	2013	81.61	2022	119.41
2005	58.18	2014	85.13	2023	124.56

5.3.4 *Densidad de carga:* la aldea San Francisco cuenta con un crecimiento demográfico desordenado, por lo que resulta necesario sectorizar el área de estudio. Para esto, se tuvo que dividir la aldea en dos sectores: 1 y 2 tal como se muestra en la gráfica No. 9.

**TABLA No. 10**  
**Sectorización de la Aldea San Francisco, Jutiapa**

Sector	Tipo de vivienda	Cantidad de viviendas	Demanda máx. estimada (VA)	Totales por sector
1	A	16	20,000	23,350
	B	5	3,350	
2	A	7	8,750	18,130
	B	14	9,380	
Totales:		42	41,480	

Para resumir la gráfica No. 9, se ha elaborado el tabla No. 10, en donde se especifican los sectores, cantidad de viviendas, tipo de viviendas y carga estimada. El cual servirá también para establecer la capacidad de los transformadores a utilizarse.

5.3.5 *Selección del nivel de tensión de distribución:* existen dos niveles de tensión posibles para distribuir la energía eléctrica en la Aldea San Francisco, la primera es distribuirlo únicamente en 120/240 V, 3 hilos, el cual se haría conectando un transformador de 50 kVA a inmediaciones de la toma de alimentación primaria o en el centro de carga y distribuir en 120/240 V a lo largo de toda la aldea, y la segunda opción es utilizar el mismo voltaje de la red de 7.62 kV como línea de distribución primaria dentro de toda la aldea y bajar la tensión a 120/240 V en los centros de carga de cada sector.

La primera opción ocasionaría grandes pérdidas por regulación debido a que la distancia del alimentador o del centro de carga hasta el punto donde se encuentre el último consumidor, es relativamente grande, teniendo que utilizar calibres mayores en los cables de alimentación, para evitar las pérdidas.

La alternativa sugerida para la introducción de energía eléctrica es la segunda opción, que nos da mejor regulación de voltaje y resulta mucho mas económica, para visualizar mejor lo descrito, se puede observar la gráfica No. 12 y 13.

5.3.6 *Selección de transformadores:* el procedimiento utilizado para la selección de los transformadores de distribución fue el siguiente:

- El primer paso consistió en delimitar el área, por sectores que va a servir, para hacer un conteo de las viviendas de cada tipo existentes en dicha área y así valorar la probable carga asociada a cada consumidor potencial.
- Una vez estimada la cantidad probable de usuarios, se utilizaron los valores de la tabla No. 10, de este mismo capítulo, para encontrar la potencia que puede demandar determinado sector y así poder totalizar los kVA de demanda.

- El último y más importante de los pasos fue la selección del transformador adecuado. Los transformadores de distribución están destinados a servir no solamente a las cargas existentes al momento de su instalación, sino también un incremento de carga en el futuro. Ahora bien, no resulta económico sobredimensionar el crecimiento de carga, pues ello significaría, no solo un desperdicio de recursos en equipo, sino también un consumo extra de energía reactiva, ya que un transformador sin carga resulta ser una carga por sí mismo. Esto limita la capacidad del sistema, pues lo obliga a transportar en sus líneas esa energía reactiva que el INDE no vende, ni aprovecha. Previendo lo anterior resulta más sencillo y económico sustituir un transformador por otro mayor cuando el nivel de la sobrecarga alcanza niveles peligrosos.

Otro aspecto importante a tomar en cuenta es la capacidad de sobrecarga admisible en los transformadores de distribución. Se toma como referencia el Manual de Transformadores de Distribución, de General Electric, para nuestro medio, en que la duración de la hora pico es de aproximadamente 4 horas y se da cuando la temperatura ambiente promedio es de 20°C a 30°C, entonces la sobrecarga admisible en los transformadores de distribución es del 50% de su capacidad nominal.

Con los argumentos anteriores, se propone la instalación de transformadores de distribución por sectores:

- Para el sector 1, que tiene una demanda máxima estimada de 23.35 kVA: instalar un transformador de 25 kVA.
- Para el sector 2, que tiene una demanda máxima estimada de 18.13 kVA: instalar un transformador de 25 kVA.

Los valores anteriores nos da una capacidad de 50 kVA en toda la aldea, lo que cumple con la proyección de demanda y no se sobredimensiona la capacidad de cada uno de ellos.

Algunas de las características generales de los transformadores a usarse en este sistema de distribución son:

- los transformadores deberán ser aptos para ser instalados en poste de concreto de 10.67 m, con abrazaderas para su propio montaje;
- el sistema de enfriamiento del transformador deberá ser natural y en aceite (clase OA). El aceite deberá ser de alta calidad y larga vida; además deberá llevar un aditivo inhibidor que mejore la resistencia a la oxidación, a la formación de emulsión y que evite el asentamiento;
- los transformadores deberán ser del tipo de bajas pérdidas, especialmente las pérdidas del hierro;
- la capacidad de cortocircuito, deberá ser cuando menos, durante dos segundos: 20 veces la corriente nominal;
- el transformador deberá ser del tipo totalmente autoprotegido, que contenga: un pararrayos de alta tensión, un fusible de alta tensión, un interruptor de baja tensión y un indicador visual;
- la pintura de acabado del transformador deberá ser duradera, resistente a la corrosión y excelente apariencia de pulcritud;

- las terminales de alta y baja tensión deberá ser adecuados para conductores de aluminio y estarán provistos de medios de conexión aptos con el fin de mantener una presión de contacto adecuada sobre el conductor, para compensar los efectos de contracción y dilatación producidos por los cambios de temperatura;
- el tanque del transformador deberá proveerse de una terminal para la conexión de la puesta a tierra, la cual deberá ser adecuada para cable de cobre.

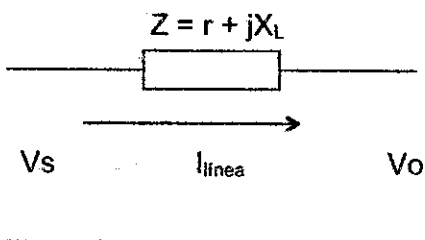
Las especificaciones técnicas de los transformadores de distribución son:

- Transformador de distribución monofásico.
- Tipo completamente autoprotegido.
- Para 60 Hz.
- Enfriamiento natural por inmersión en aceite.
- Voltaje primario de 13.2/7.62 kV.
- Nivel básico de impulso de 95 kV.
- Regulación con taps de  $2 \times 2\frac{1}{2}\%$  para mas o menos 5% en total.
- Con un solo borme vertical en primario.
- Pararrayos tipo válvula de 10 kV.
- Voltaje secundario de 120/240 V.
- Apto para conexión del secundario en serie múltiple o servicio con tres hilos.
- Los bornes, tanto del primario como del secundario serán aptos para conectar conductores de aluminio.
- Potencia nominal de 25 kVA.

5.3.7 *Selección de conductores*: los conductores a emplear en la red de distribución de la aldea San Francisco serán de clase ACSR, para el voltaje primario de 7.62 kV se utilizará calibre No. 2 al igual que para el voltaje secundario 120/240 V, tanto para las líneas vivas como para el neutro.

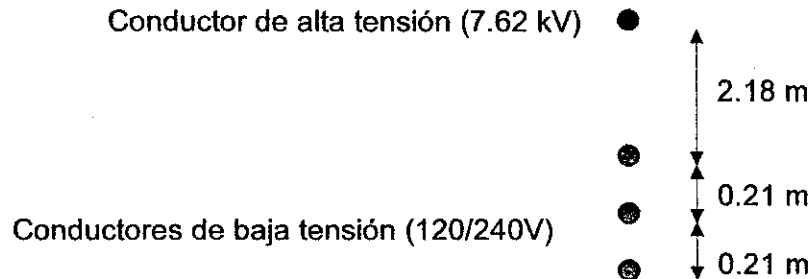
La línea primaria tiene una longitud total de 1300 metros lineales y la línea secundaria una longitud total de 350 metros lineales; distancias que nos hacen requerir un total de 2600 metros (1.625 mi) de cable ACSR calibre No. 2 para la línea de alta tensión y su neutro, más 1050 metros (0.656 mi) de cable ACSR calibre No. 2 para la línea de baja tensión.

5.3.8 *Caídas de tensión*: la red de distribución primaria que mide 1300 metros lineales, que equivalen a 0.813 millas, la podemos tomar como una línea de transmisión corta, cuyo modelo es el que se empleará para el análisis de las caídas de tensión.



Modelo para línea corta

La disposición de los conductores en la red de distribución de la aldea San Francisco será de la siguiente manera: el conductor primario estará en la parte superior del poste, a una altura de 9.20 m sobre el nivel del suelo, los conductores de baja tensión estarán en disposición vertical, separados entre sí 0.21 m y a una altura de 6.60 m del nivel del suelo hacia el conductor inferior.



De aquí podemos determinar la distancia media geométrica (DMG), la cual está se calcula como se indicó en el capítulo anterior:

$$DMG = \sqrt[6]{(2.18)(2.39)(2.60)(0.21)(0.42)(0.21)}$$

$$DMG = 0.7942 \text{ metros} = 2.6 \text{ pies}$$

Con el valor de la distancia media geométrica, podemos calcular los parámetros de la línea de distribución, los cuales se resumen en el siguiente cuadro.

TABLA No. 11  
CÁLCULO DE REACTANCIAS

Cal. No.	Area	Radio	Ds	La	Cn	X <sub>L</sub>	X <sub>C</sub>
2	66360	0.0108	0.0088	1.8297	0.0163	0.6898	162953
1/0	105600	0.0135	0.0111	1.7550	0.0170	0.6616	156099
2/0	133100	0.0152	0.0125	1.7177	0.0174	0.6476	152652
3/0	167800	0.0171	0.0140	1.6804	0.0178	0.6335	149201
4/0	211600	0.0192	0.0158	1.6431	0.0182	0.6194	145784

**Area** Area del Conductor (Circular mils).

**Radio** Radio exterior del conductor (pies)

**Ds** Radio medio geométrico del conductor -RMG- (pies).

**La** Inductancia de la línea de distribución (mH/mi/fase).

**Cn** Capacitancia de la línea de distribución (uF·mi respecto al neutro).

**X<sub>L</sub>** Reactancia inductiva de la línea de distribución (Ω/mi)

**X<sub>C</sub>** Reactancia capacitiva de la línea de distribución (Ω·mi)

Los parámetros de reactancias fueron calculados según las expresiones:

$$L_a = 0.7411 \log[ DMG / D_s ]$$

$$C_n = 0.0388 / \log[ DMG/ \text{radio} ]$$

La corriente nominal de la línea de distribución primaria, para una carga máxima de 50 kVA es de 6.6 amperios. Como se mencionó en el capítulo anterior, el parámetro que nos interesará es la reactancia inductiva, la cual para el cable de alimentación primaria en 7.62 kV y un factor de potencia mínimo de 0.8, está dado como sigue:

Cal. No.	R	X <sub>L</sub>	Z	ZI
2	1.374	0.561	1.436	9.478
1/0	0.911	0.538	1.052	6.943
2/0	0.634	0.526	0.823	5.432
3/0	0.463	0.515	0.679	4.481
4/0	0.341	0.504	0.575	3.795

Como podemos ver en la tabla anterior, el calibre propuesto para la distribución primaria es el No. 2, el cual tiene una caída de potencial de 9.478 V, que equivale al 0.12% del voltaje nominal, prácticamente insignificante, por lo que no es necesario tener calibres de conductores diferentes para la distribución primaria y la secundaria.

El calibre sugerido para la distribución secundaria también es No. 2, en este caso los conductores tendrán una longitud máxima de 250 m (0.156 mi) si consideramos que únicamente se debe tomar en cuenta el tramo en que se aleja del transformador, que en este caso será la fuente de energía. Con esta asunción, dicho conductor tendrá una resistencia de 0.264 Ω y una reactancia inductiva de 0.108 Ω, lo que da una impedancia total de línea de 0.276 Ω. La corriente máxima que circularía en el sector del transformador que se encuentra donde está la mayor longitud de línea secundaria, será de 22.7 Amperios por línea, lo que da una caída de potencial de 6.3 voltios, un 2.9 % del voltaje nominal, el cual es un valor bastante aceptable.

**5.3.9 Protección de la red de distribución:** la red de distribución primaria debe ser protegida principalmente contra fallas por sobrecorrientes y fallas por sobretensiones. Las primeras son ocasionadas por cortocircuitos en las líneas y las segundas debidas a descargas atmosféricas, que podrían destruir algún equipo, reducir la vida útil de los mismos o bien ocasionar interrupciones muy prolongadas en el servicio.

**5.3.9.1 Protección contra sobrecorrientes:** toda la línea principal de distribución será protegida contra fallas por cortocircuito, aislándola mediante los correspondientes cortacircuitos fusibles.

La selección del cortacircuito depende de las características de la línea de alta tensión y de las normas de amperaje, por lo que deberá seleccionarse de acuerdo al voltaje principal y la corriente específica de la carga a conectar. De consiguiente, se usará cortacircuito de distribución tipo expulsión de 7.8 kV, 100 amperios continuos, BIL de 110 kV. La corriente nominal del fusible será de 10 amperios, que va de acuerdo a la carga instalada, la longitud del fusible debe ser de 9.1 pulgadas de largo y cabeza removible, el cual se instalará en la entrada de la aldea específicamente en la estructura No. 1, mientras que en la estructura No. 11, se instalarán 2 cortacircuitos tipo



expulsión, 7.8 kV, BIL de 110 kV, con fusibles para corriente nominal de 6 amperios, 9.1" de largo y cabeza removible, los cuales seccionarán las dos líneas que salen de allí, una hacia la estructura No. 12 y otra hacia la No. 18, para brindar una mayor continuidad del servicio.

**5.3.9.2 Protección contra sobretensiones:** la protección contra sobretensiones debidas a las descargas electroatmosféricas será abarcada por los pararrayos de distribución de los transformadores, los que serán del tipo válvula o de óxidos metálicos, de conexión directa para voltaje nominal de 7.62 kV, voltaje máximo continuo de operación (MCOV) de 10.2 kV, sobrevoltaje temporal (TOV) de 16 kV para 1 segundo, frente de onda (FOW) producido por un voltaje de cresta en 0.5  $\mu$ seg de 28.4 kV y voltaje máximo de descarga de 21.5 kV en 30  $\mu$ seg.

El propósito de estos pararrayos es proteger al sistema de distribución contra daños del aislamiento causados por sobretensiones inducidas por rayos. Para proveer esta protección al cambiar su impedancia característica de alta resistencia para baja resistencia y regresando la alta resistencia una vez que la sobrecorriente ha sido desviada. El pararrayos, básicamente, debe aparecer como un circuito abierto a las tensiones de frecuencia nominal y como un cortocircuito a las sobretensiones. El buen drenaje de sobretensiones en la red se garantiza con una buena puesta a tierra.

La red secundaria debe ser protegida contra fallas en el transformador de distribución y fallas por sobrecargas y cortocircuitos en el secundario. Toda esta protección viene incorporada en los transformadores de distribución del tipo autoprotegido. La filosofía de protección de los transformadores autoprotegidos, consiste en:

- El transformador de distribución debe ser protegido contra fallas y sobrecargas que podrían reducir su vida útil.
- El sistema de distribución eléctrica debe ser protegido contra un transformador que ha fallado, de tal manera que la falla sea aislada en el transformador fallado y afecte solamente a los clientes que son servidos por el transformador fallado.
- No es conveniente operar regularmente un transformador de distribución, en condiciones de sobrecarga.
- La protección contra sobretensiones es maximizada cuando el pararrayos está montado directamente en el tanque del transformador reduciendo la impedancia de la conexión a tierra a un mínimo.

Los dispositivos de protección de un transformador de este tipo son: un pararrayos de alta tensión, un fusible de expulsión de alta tensión y un interruptor de baja tensión.

Para la protección contra sobretensiones, el pararrayos se monta directamente en el tanque del transformador y se conecta al aislador de alta tensión, ya sea directamente o a través de una separación de aire.

Para la protección contra separación de la línea del sistema, el fusible de expulsión se coloca en serie con la bobina del transformador y se conecta entre el terminal interno del aislador y la salida de la bobina de alta tensión.

Para la protección contra fallas secundarias, el interruptor de baja tensión se monta dentro del transformador y se conecta entre la bobina de baja tensión y los aisladores de baja tensión, de tal manera que la corriente fluye a través de este interruptor.

Para la indicación visual de condiciones de sobrecarga, la luz de señal se monta en la pared exterior del tanque del transformador cerca de las manijas de operación del interruptor. La luz de señal o luz piloto, está conectada eléctricamente al circuito sensor que está dentro del transformador.

El componente central de la protección de estos transformadores es el interruptor de baja tensión, quien proporciona protección al transformador contra sobrecargas y cortocircuitos en el secundario. Este interruptor va a abrirse como respuesta a las fallas secundarias externas al transformador y en muchos casos, esta acción va a prevenir que el transformador se dañe térmicamente. Si el interruptor abre como respuesta a una falla secundaria temporal, el servicio puede ser sustituido fácilmente eliminando la falla y cerrando el interruptor. Cuando esta acción simple de cerrar el interruptor se compara con aquellas acciones requeridas en el caso de un transformador que no es autoprotegido donde ya sea el fusible primario o un fusible secundario debe ser cambiado, es notable el beneficio del autoprotegido.

**5.3.10 Postes a utilizar:** Para la distribución tanto primaria como secundaria, se utilizarán postes de concreto reforzado de forma tronco-cónica. Para la distribución primaria los postes deberán medir 10.67 metros y estar enterrados 1.57 metros como mínimo, los conductores serán sostenidos por medio de aisladores clase ANSI 53.4 ó 52.9. Para la distribución secundaria los postes deberán medir 9.00 metros y estar enterrados 1.40 metros.

Cada poste cuenta con una medida específica para la profundidad y diámetro del agujero donde se enterrará el poste, dependiendo de la longitud del mismo.

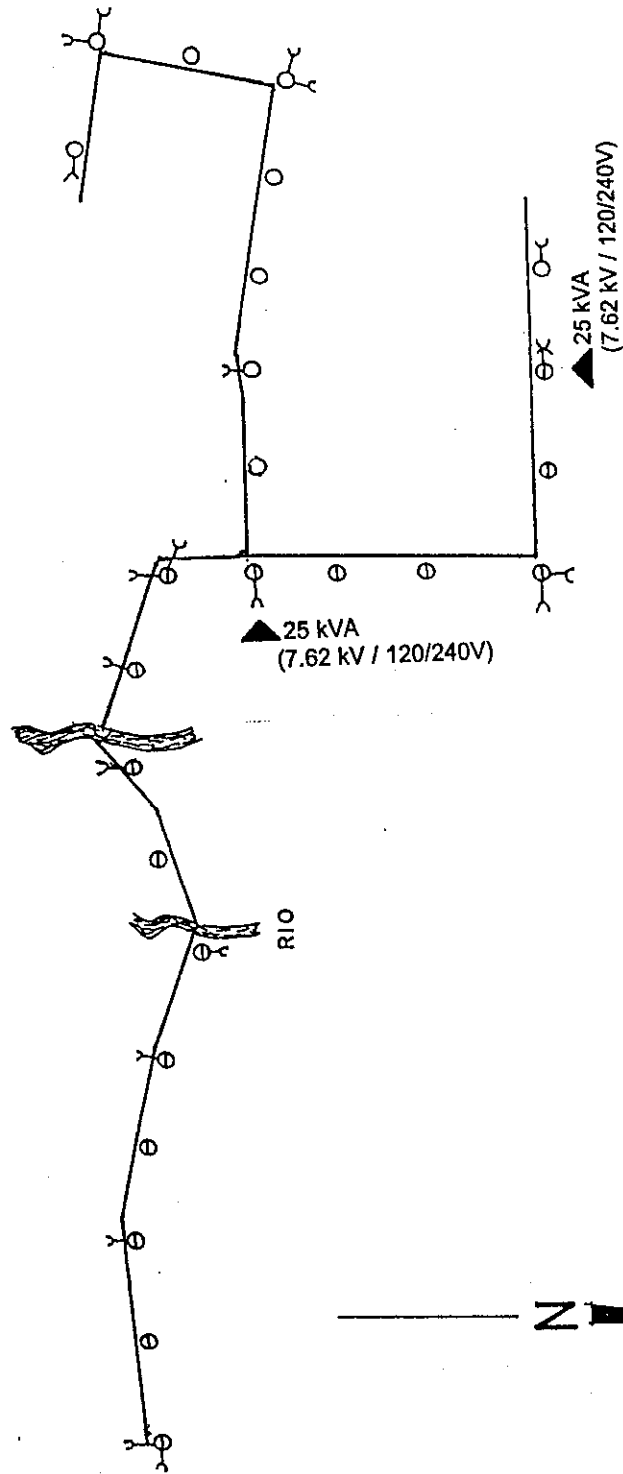
**TABLA No. 12**  
**Valores de profundidad y diámetro del agujero**  
**para instalación de postes.**

Longitud (m) H	Empotramiento (m) h	Diámetro del poste en la base (m) d'	Diámetro del agujero (m) d
9.00	1.40	0.30	0.60
10.67	1.57	0.32	0.62

Los conductores de baja tensión deberán estar soportados a una altura mínima de 6.60 metros por medio de aisladores de carrete del tipo ANSI 53-2, tanto en los postes de 10.67 como en los de 9.00 metros.

Se necesitarán un total de 16 postes de 10.67 metros y 9 postes de 9.0 metros de altura, los cuales serán distribuidos según se muestra en las gráficas No. 12 y 13. En estas

# Gráfica No. 12 LOCALIZACIÓN DE POSTES EN LA ALDEA SAN FRANCISCO

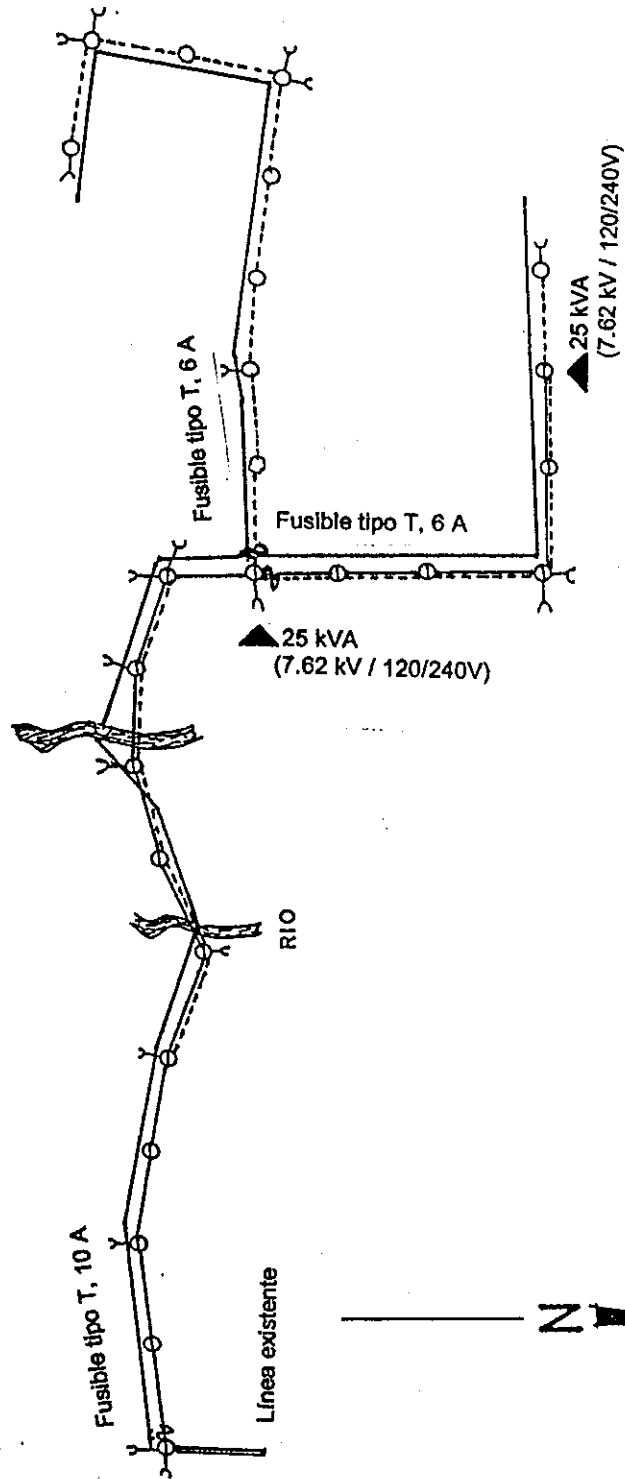


REFERENCIA:

- ▲ Transformador de distribución autocontenido.
- Poste de 9.00 metros de altura.
- ⊖ Poste de 10.67 metros de altura.
- Retenida con ancla de concreto.
- X Retenida de poste a poste.



# Gráfica No. 13 LINEA DE DISTRIBUCIÓN DE LA ALDEA SAN FRANCISCO



REFERENCIA:

— Línea de distribución en 7.62 KV.

--- Línea de distribución en 120/240 V.

— Línea de distribución en 7.62 KV y 120/240 V.



gráficas se detalla la ubicación de cada poste y cada transformador. En la Gráfica No. 13 se muestra la trayectoria de los conductores de alta y baja tensión.

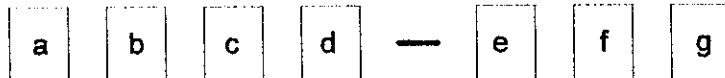
Existe una nomenclatura utilizada por el INDE, en el manual de Normas de Construcción de Electrificación Rural, en la cual se describe que tipo de estructura es la que se hace referencia, también voltajes de línea, retornos, tipo de conexión, identificación correlativa de la estructura y otros aspectos que es importante conocer.

Cada caracter de la lista representará una información de la estructura que allí mismo se indica y que se puede observar su ubicación en el plano respectivo. La lectura de esta nomenclatura es bastante sencilla, sólo hay que observar la referencia del significado de cada letra y asociarlas para tener un panorama bien amplio de como será el poste que se trate y todo lo que estará instalado en el.

Los caracteres que se utilizan en el listado del este proyecto son los siguientes, su significado se muestra a un costado:

- Z Tensión secundaria de 120/240 V.
- X Tensión primaria en 7.62 kV.
- A Primario monofásico.
- T Retorno por tierra.
- H Estructura con transformador.
- F Estructura con tierra física.

Estos caracteres serán colocados en la siguiente disposición:



- a) Espacio en el cual se indicará el nivel de voltaje primario.
- b) Espacio en el que se indicará el nivel de voltaje secundario.
- c) Tipo de voltaje primario.
- d) Tipo de estructura.
- e) Número correlativo de la estructura.
- f) Tipo de retorno de la red.
- g) Conexiones de transformador o tierra física.

v.g. si la información que nos presentan es de la siguiente manera:

XZA3-01NH

inmediatamente podemos decir que se trata de la primera estructura de la red, la cual tiene un primario monofásico de 7.62 kV con retorno por neutro, un soporte para distribución secundaria en 120/240 V y que al mismo está instalado un transformador. También que es una estructura tipo 3, para desvíos entre 30° y 60°. También hay que hacer notar que, si se trata de una estructura que soporta un transformador, no es necesario indicar que cuenta con tierra física, ya que queda implícito como regla general que toda instalación de un transformador deberá contar con su puesta a tierra. Además, si una estructura no cuenta con alguno de los indicadores, el espacio se llenará con un cuadro.

El proyecto de introducción de energía eléctrica cuenta con las siguientes estructuras:

Estructura:	Observaciones:
X ZA4-01N	Conecta con el poste alimentador y con la estructura #2
X A1-02N	Conecta con las estructuras # 1 y # 3.
X A2-03N	Conecta con las estructuras # 2 y # 4.
X A1-04N	Conecta con las estructuras # 3 y # 5.
XZA2-05N	Conecta con las estructuras # 4 y # 6.
XZA3-06N	Conecta con las estructuras # 5 y # 7.
XZA1-07N	Conecta con las estructuras # 6 y # 8.
XZA2-08N	Conecta con las estructuras # 7 y # 9.
XZA2-09N	Conecta con las estructuras # 8 y # 10.
XZA3-10NF	Conecta con las estructuras # 9 y # 11.
XZA4-11NH	Conecta con las estructuras # 10, #12 y # 18.
XZA1-12NF	Conecta con las estructuras # 11 y # 13.
XZA1-13N	Conecta con las estructuras # 12 y # 14.
XZA4-14N	Conecta con las estructuras # 13 y # 15.
XZA1-15NF	Conecta con las estructuras # 14 y # 16.
XZA6-16NH	Conecta con las estructuras # 15 y # 17.
ZA6-17NF	Estructura de anclaje que conecta con la estructura # 16.
ZA6-18NF	Conecta con las estructuras # 11 y # 19.
ZA2-19N	Conecta con las estructuras # 18 y # 20.
ZA1-20N	Conecta con las estructuras # 19 y # 21.
ZA1-21N	Conecta con las estructuras # 20 y # 22.
ZA4-22N	Conecta con las estructuras # 21 y # 23.
ZA1-23N	Conecta con las estructuras # 22 y # 24.
ZA4-24N	Conecta con las estructuras # 23 y # 25.
ZA6-25N	Estructura de anclaje que conecta con la estructura # 24

Este resumen de estructuras a utilizarse para el desarrollo del proyecto, nos permitirá hacer un desglose para integrar los costos de materiales que se utilizarán para el montaje de las diferentes estructuras. En el apéndice 4 se muestran las gráficas que detallan la manera como se montan las diferentes estructuras, tanto para las de alto como las de bajo voltaje.

#### 5.4 Tiempos de elaboración del proyecto:

Este análisis corresponde a las actividades posteriores al trámite de disponibilidad presupuestal y cotización del proyecto. Las actividades generales se detallan a continuación:

- **Flete:** el transporte del equipo, postes, cables, accesorios, cables, etc., desde la ciudad de Guatemala al punto de utilización de los mismos, en la aldea San Francisco, tendrá una duración de 5 días.
- **Abrir hoyos:** la excavación de hoyos para postes y anclas tiene un volumen total de 18 metros cúbicos, por lo tanto, la actividad se puede desarrollar en un día.
- **Colocar postes:** para el montaje de los postes se necesitarán 6 días.



- **Instalar tierras:** la instalación de las 9 tierras físicas se puede realizar en un día.
- **Colocar accesorios a los postes:** la colocación de accesorios (aisladores, bastidores, pernos, etc.) a los postes se desarrollará en 1 solo día.
- **Tender cable de alto voltaje:** se podrá tender a lo largo de toda la aldea en un solo día.
- **Tensar cables de alto voltaje:** esta actividad tendrá una duración de 2 días.
- **Instalar retenidas:** deberá hacerse en un máximo de 3 días.
- **Tender cable de bajo voltaje:** el cable para bajo voltaje se podrá tender en un solo día.
- **Instalar cable de bajo voltaje:** para instalar y tensar el cable de bajo voltaje se necesitarán 2 días.
- **Instalar contadores:** los contadores se terminarán de instalar en 2 días.
- **Instalación de acometidas:** las acometidas se terminarán de instalar en 3 días.
- **Instalar transformadores:** se deberán instalar los transformadores en 2 días.
- **Pruebas:** la puesta en marcha y pruebas al sistema se concluirá en 3 días.

Para visualizar de mejor manera el listado de actividades y poder determinar el tiempo de ejecución del proyecto, se desarrolla en la siguiente página el cronograma respectivo.

5.5 Presupuesto: la determinación del costo total del proyecto se divide en 2 partes, la primera que mostrará los costos directos y la segunda los costos indirectos.

5.5.1 *Costos directos:* en los costos directos integraremos toda aquella inversión que se haga en la adquisición de materiales, para ello necesitamos desglosar cada uno de los elementos que componen la red de distribución. En este caso lo primero a hacer será, determinar los tipos de estructuras que se utilizarán, que como podemos observar en el resumen que se hizo empleando la nomenclatura del INDE, se emplearán únicamente estructuras tipo 1, 2, 3, 4 y 6, tanto para alto como para bajo voltaje, cuyo detalle de materiales y precios se detallan en el apéndice 3, donde podemos darnos cuenta que, el precio del poste a utilizar aparece como un renglón independiente a la estructura, esto se hace porque, hay casos que los postes de alta tensión soportarán los cables de baja tensión, por lo que no deberá incluirse el precio del poste propio de los hilos de distribución secundaria.

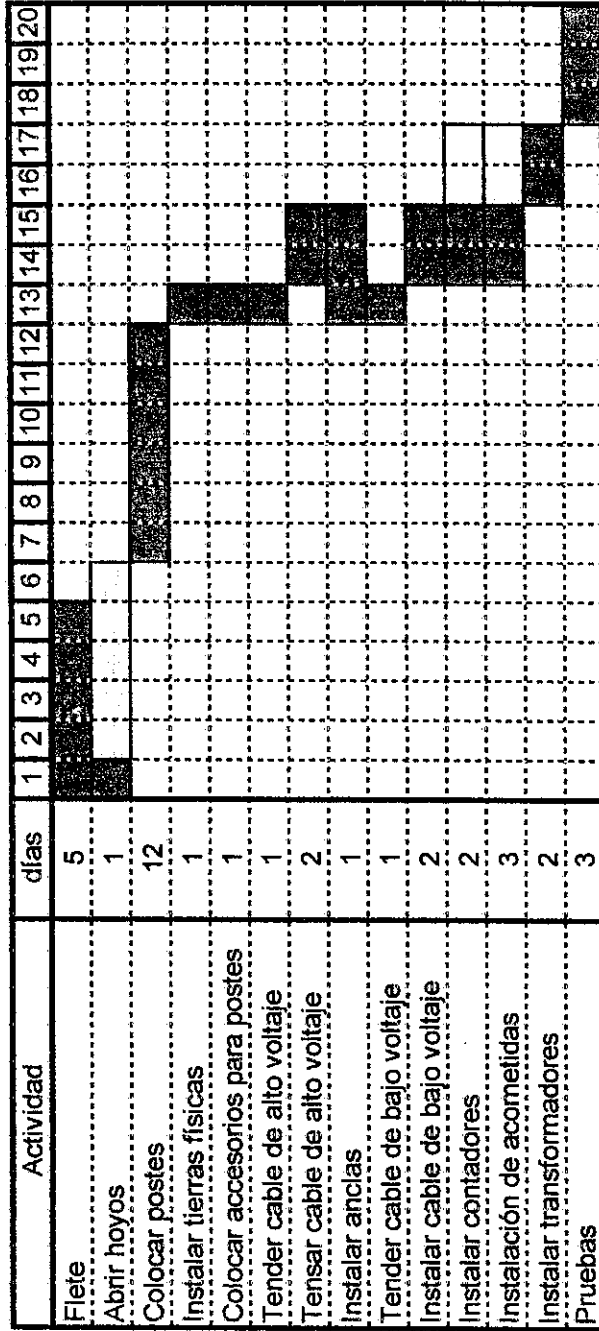
La tabla No. 13 nos muestra únicamente el costo de los componentes de cada una de las estructuras, no así el tendido de conductores y el equipo de transformación, medición y protección.

Para resumir los costos de los componentes restantes se elaboró la tabla No. 14 en donde se muestran los precios de cada uno de los equipos no incluidos en la tabla No. 13.

Ahora ya se cuenta con el costo total de los componentes de cada estructura y del equipo eléctrico y materiales en general, únicamente tenemos que sumar los costos por concepto de fletes y herramientas a utilizar en el montaje del proyecto. Resumiendo los costos directos tenemos:

Componentes de las estructuras:	Q.	34,322.70
Equipo y materiales en general:	Q.	77,813.00
Fletes y gastos de transporte:	Q.	10,000.00
Herramientas:	Q.	3,000.00
<b>TOTAL COSTOS DIRECTOS:</b>	<b>Q.</b>	<b>125,135.70</b>

**CRONOGRAMA PARA LA EJECUCIÓN  
DEL PROYECTO DE INTRODUCCION DE ENERGIA ELÉCTRICA  
A LA ALDEA SAN FRANCISCO DE LA CIUDAD DE JUTIAPA**



■ Duración neta de la actividad  
□ Holgura

NOTA: El detalle del personal que trabajará en el proyecto, se muestra en el numeral 5 de este capítulo.

**TABLA No. 13**  
**RESUMEN DE TIPOS DE ESTRUCTURAS A UTILIZAR**  
**EN EL PROYECTO DE INTRODUCCIÓN DE ENERGIA ELÉCTRICA**  
**EN LA ALDEA SAN FRANCISCO DE LA CIUDAD DE JUTIAPA.**

Número de Estructura	Tipo de Estructura	Niveles de Voltaje	Costo de la Tierra física	Costo del Poste	Costo de la Estructura	Costo Parcial
1	4	Alto y Bajo Voltaje	Q0.00	Q900.00	Q1,235.00	Q2,135.00
2	1	Alto Voltaje	Q0.00	Q900.00	Q189.20	Q1,089.20
3	2	Alto Voltaje	Q0.00	Q900.00	Q387.45	Q1,287.45
4	1	Alto Voltaje	Q0.00	Q900.00	Q189.20	Q1,089.20
5	2	Alto y Bajo Voltaje	Q0.00	Q900.00	Q668.25	Q1,568.25
6	3	Alto y Bajo Voltaje	Q0.00	Q900.00	Q810.88	Q1,710.88
7	1	Alto y Bajo Voltaje	Q0.00	Q900.00	Q338.00	Q1,238.00
8	2	Alto y Bajo Voltaje	Q0.00	Q900.00	Q668.25	Q1,568.25
9	2	Alto y Bajo Voltaje	Q0.00	Q900.00	Q668.25	Q1,568.25
10	3	Alto y Bajo Voltaje	Q244.50	Q900.00	Q810.88	Q1,955.38
11	4	Alto y Bajo Voltaje	Q244.50	Q900.00	Q1,235.00	Q2,379.50
12	1	Alto y Bajo Voltaje	Q244.50	Q900.00	Q338.00	Q1,482.50
13	1	Alto y Bajo Voltaje	Q0.00	Q900.00	Q338.00	Q1,238.00
14	4	Alto y Bajo Voltaje	Q0.00	Q900.00	Q1,235.00	Q2,135.00
15	1	Alto y Bajo Voltaje	Q244.50	Q900.00	Q338.00	Q1,482.50
16	6	Alto y Bajo Voltaje	Q244.50	Q900.00	Q788.15	Q1,932.65
17	6	Bajo Voltaje	Q244.50	Q650.00	Q279.30	Q1,173.80
18	6	Bajo Voltaje	Q244.50	Q650.00	Q279.30	Q1,173.80
19	2	Bajo Voltaje	Q0.00	Q650.00	Q280.80	Q930.80
20	1	Bajo Voltaje	Q0.00	Q650.00	Q148.80	Q798.80
21	1	Bajo Voltaje	Q0.00	Q650.00	Q148.80	Q798.80
22	4	Bajo Voltaje	Q0.00	Q650.00	Q279.30	Q929.30
23	1	Bajo Voltaje	Q0.00	Q650.00	Q148.80	Q798.80
24	4	Bajo Voltaje	Q0.00	Q650.00	Q279.30	Q929.30
25	6	Bajo Voltaje	Q0.00	Q650.00	Q279.30	Q929.30
						<b>Q34,322.70</b>

**TABLA No. 14**  
**EQUIPO Y MATERIALES EN GENERAL**

Código	Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
0.001	Transformador autocontenido de 10 kVA	1	Q 3,900.00	Q 3,900.00
0.002	Transformador autocontenido de 15 kVA	1	Q 4,300.00	Q 4,300.00
0.003	Transformador autocontenido de 25 kVA	1	Q 5,100.00	Q 5,100.00
4.24.5	Conector de compresión "C"	4	Q 3.50	Q 14.00
0.005	Cable ACSR calibre No. 2 (metros)	6000	Q 7.00	Q 42,000.00
0.007	Cortacircuito de 7.8kV, 100A cont, BIL 86 kV	3	Q 600.00	Q 1,800.00
0.008	Fusibles de 10 A, BIL 110 kV (9.1" de largo), tipo T	1	Q 35.00	Q 35.00
0.009	Fusibles de 6 A, BIL 110 kV (9.1" de largo), tipo T	2	Q 35.00	Q 70.00
0.010	Cable duplex calibre No. 8, para acometida (metros)	1700	Q 7.00	Q 11,900.00
0.011	Conectores para acometidas	84	Q 3.50	Q 294.00
0.012	Contadores tipo sobreponer 120V, 10A, 2 Hilos, 60 Hz	42	Q 200.00	Q 8,400.00
<b>Total:</b>				<b>Q 77,813.00</b>

5.5.2 *Costos indirectos:* este tipo de costos incluyen todos aquellos desembolsos por concepto de administración del proyecto, entre los que podemos mencionar, salarios, imprevistos y sobrecostos.

La distribución de los salarios, se hará en base al listado de personal que se sugiere labore en el proyecto, el cual está dado en base a un mes laborado, que es lo que se supone tendrá de duración la ejecución de la obra, las atribuciones del personal serán similares a las descritas en el capítulo 4.

		<u>Salario mensual</u>	<u>Salario total</u>
<i>Mano de obra indirecta:</i>			
1	Secretaria:	Q. 1,500.00	Q. 1,500.00
1	Ingeniero supervisor:	Q. 8,000.00	Q. 8,000.00
<i>Mano de obra directa:</i>			
1	Ingeniero residente:	Q. 10,000.00	Q. 10,000.00
2	Técnicos electricistas:	Q. 2,000.00	Q. 4,000.00
2	Linieros	Q. 1,600.00	Q. 3,200.00
15	Peones:	Q. 700.00	Q. 10,500.00
1	Chofer/mensajero:	Q. 1,400.00	Q. 1,400.00

El total por concepto de salarios es de Q. 38,600.00. El Ingeniero supervisor, será contratado y pagado por la Municipalidad de Jutiapa, no por el contratista.

Los rubros de imprevistos y sobrecostos, serán un 10% del total de los costos directos del proyecto, por lo que su monto asciende a Q. 12,513.57, los que sumados a los salarios nos da el total de costos indirectos que es la suma de Q.51,113.57

5.5.3 *Costos totales:* la integración de costos totales se hace tomando en cuenta la sumatoria de los costos directos e indirectos, así como la adición de un porcentaje por concepto de ganancia del contratista, la cual se fijará en un 20% del costo total del proyecto.

Costos directos:	Q.	125,135.70
Costos indirectos:	Q.	51,113.57
<hr/>		
Costo parcial:	Q.	176,249.27
Utilidad del contratista:	Q.	33,249.85
<hr/>		
<b>COSTO TOTAL:</b>	<b>Q.</b>	<b>209,499.12</b>

El monto de la utilidad del contratista está calculada en base a Q. 166,249.27, ya que no se puede incluir el salario del Ingeniero Supervisor (Q.10,000.00) dentro de los costos indirectos que realmente afectan al contratista.

## CONCLUSIONES

- En la actualidad la demanda de energía eléctrica en la ciudad de Jutiapa es de 3 MVA aproximadamente. Estos son suministrados por la subestación eléctrica que se encuentra en el municipio de El Progreso, Jutiapa, a través de una línea de distribución de aproximadamente 8 km de longitud y con un voltaje nominal de 13.2 kV. Con el desarrollo de este proyecto se pretende hacer más eficiente el servicio de energía eléctrica para la cabecera departamental de Jutiapa. La subestación deberá tener una capacidad de 5/7 MVA, voltaje primario de 69 kV y secundario de 13.2 kV. Con esto se tendrá capacidad suficiente para cubrir la demanda hasta el año 2,005.
- En forma temporal la protección en el lado primario se hará por medio de fusibles. Luego será necesario que se evalúe la opción de instalar un interruptor de potencia de tal forma que la coordinación de protecciones sea eficiente.
- Se considera que el desarrollo del proyecto de construcción de la subestación eléctrica de la ciudad de Jutiapa, puede darse en un corto plazo, debido a que todas las variables técnicas, económicas y administrativas han sido estudiadas y no existe ningún inconveniente para la realización de la obra.
- Se hace necesaria la pronta introducción de energía eléctrica a la aldea San Francisco, dado el crecimiento demográfico hacia el sur, de la ciudad de Jutiapa, lo que se conjugaría con los 170 beneficiarios directos que habitan en dicha aldea. Además el costo de la obra, que se estima en casi Q.210,000.00, no crea problema de disponibilidad presupuestal en la administración edilicia.

REPOSICION DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE CUATEMALA  
Biblioteca Central



## RECOMENDACIONES.

- Dada la creciente demanda de energía eléctrica en la ciudad de Jutiapa, se hace necesario que la Municipalidad, inicie los trámites correspondientes, previos a desarrollar el proyecto. En forma general, las actividades primordiales serán la negociación de la propiedad del terreno donde se construiría la subestación, la compraventa del proyecto entre la Municipalidad y el Instituto de Electrificación Nacional y la aprobación del préstamo por parte del Banco Centroamericano de Integración Económica, a través de una institución bancaria privada nacional. Estas actividades deberán realizarse antes que finalice el año 1997, para luego, el año siguiente, ejecutar la obra.
- El proyecto tiene un costo aproximado de Q.1.800,000.00, lo que corresponde, según la Ley de Compras y Contrataciones del Estado, a un proceso de licitación, por lo que en los primeros tres meses del año 1998, deberán prepararse las bases respectivas, así como concluir todo el proceso de licitación.
- El presente trabajo está basado únicamente en el diseño de la subestación eléctrica de la ciudad de Jutiapa, no así en el análisis de la topología de la red de distribución existente, por lo cual, se recomienda realizar en el menor tiempo posible un estudio al respecto, para hacer más eficiente el servicio de energía eléctrica y darle una mayor vida útil a la subestación a construir.
- Otro estudio que se sugiere realizar a corto plazo, es la determinación y análisis de las pérdidas técnicas y no técnicas de energía eléctrica en la ciudad de Jutiapa y aldeas circunvecinas, ya que la eliminación parcial de las mismas, haría también más eficiente el presente proyecto.
- La energía eléctrica está considerada como un servicio público esencial y resulta inconcebible que una aldea aledaña a la ciudad de Jutiapa, no cuente con tal servicio. Por tanto, se sugiere a la Corporación Municipal, considerar la posibilidad de iniciar el proyecto de introducción de energía eléctrica a la aldea San Francisco, lo más antes posible, aunque ello signifique realizarlo con fondos propios de la Municipalidad. Realizar dicho trabajo antes que la construcción de la subestación eléctrica, disminuye el trabajo y gastos administrativos en que se incurriría para desarrollar el proyecto completo, ya que, el monto de dicha obra no excede los Q. 300,000.00, lo cual faculta a la Municipalidad a contratar los servicios de una empresa particular por medio de un simple proceso de cotización, lo cual no solo implica menor gasto, sino un proceso mas rápido.
- La aldea San Francisco se encuentra cercana al límite urbano de la ciudad de Jutiapa y es la única aldea, de las que se encuentran en la periferia de la ciudad, que no cuenta con el servicio de energía eléctrica. Tomando en cuenta que el crecimiento habitacional hacia el lado sur de la ciudad es considerable, se hace imprescindible la introducción de energía eléctrica a esa aldea.

- El destino final de la subestación eléctrica de Jutiapa se propone que sea una segunda entidad, a cambio que esta institución dispense la factura de energía eléctrica que la municipalidad le tiene que cancelar anualmente; dicha dispensa se daría a lo largo de un plazo de 10 años. Con esta medida, de ceder el proyecto, la municipalidad de Jutiapa se evitaría la creación de una oficina municipal de servicios eléctricos y los gastos que ello implicaría. Será el pleno de la corporación municipal quien mediante el acuerdo respectivo decida el destino final del proyecto.
- La construcción de las estructuras de la subestación se deberá hacer previendo el inminente crecimiento de la capacidad de la misma, por lo que la losa que soporte el transformador inicial estará sobredimensionada, a tal punto que, en el futuro se pueda instalar en ella otro transformador de mayor capacidad, posiblemente de 10 MVA. Otra parte fundamental de la subestación que se encuentra sobredimensionada, es la red de tierras, la cual cambiarla significaría un sobre costo innecesario. Como es sabido, en toda subestación se debe prever su crecimiento, en este caso se propone que al llegar la demanda de energía eléctrica a 5 MVA se elimine por completo el transformador, el cual simplemente será sustituido por otro de mayor capacidad. La diferencia de costo de los dos transformadores es insignificativa comparada con los gastos que ocasionaría un transformador adicional.
- Se propone a la Municipalidad de Jutiapa que luego de agotada la opción de solicitar la donación de los fondos para la ejecución del proyecto, considere la alternativa de financiamiento a través del Banco Centroamericano de Integración Económica, que es quien ofrece ventajas tanto administrativas como económicas, convenientes a los intereses de la Municipalidad.



## FUENTES

- Código Municipal, Decreto No. 58-88. Guatemala, 1996.
- Ley General de Cooperativas y su Reglamento. Decreto No. 82-78, Guatemala, 1996.
- Código de Comercio, Decreto No. 2-70. Guatemala, 1996.
- Ley de compras y contrataciones del Estado y su reglamento.
- Catálogo de Luminarias, Sylvania.
- Catálogo de Equipo Eléctrico de Potencia, Asea Brown Boveri (ABB).
- Instituto Geográfico Militar.
- Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología.
- Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola.
- Comisión Nacional del Medio Ambiente.
- Departamento de Planificación del INDE, Guatemala.
- Instituto Nacional de Electrificación, subsede Chiquimula.
- Instituto Nacional de Electrificación, subsede Jutiapa.
- Subestación Eléctrica de El Progreso, Jutiapa (15 MVA instalados).
- Subestación Eléctrica de Pueblo Nuevo Viñas, Santa Rosa (3 MVA instalados).
- Subestación Eléctrica de Ipala, Chiquimula (5 MVA instalados. Inicio de operación: 22 de diciembre de 1996).
- Instituto de Fomento Municipal.
- Departamento Financiero, Banco de Exportación, S.A.
- Banco Centroamericano de Integración Económica, Guatemala.
- Jefatura de Area de Salud, Jutiapa.
- Manual de Normas para Acometidas. Empresa Eléctrica de Guatemala, 1990.



## BIBLIOGRAFIA.

- FINK. DONALD G. **Manual de Ingeniería Eléctrica, Tomo I y II.** México: Editorial Mc. Graw Hill, 1995.
- ELGERD, OLLE I. **Electric Energy Systems Theory: an introduction.** Cuarta edición. Nueva Delhi: Editorial Mc. Graw Hill, 1978.
- STEVENSON, WILLIAM D. **Sistemas Eléctricos de Potencia.** Segunda edición. Bogotá, Colombia: Editorial Mc. Graw Hill Latinoamericana, S.A, 1979.
- MARTIN, JOSE RAULL. **Diseño de Subestaciones Eléctricas.** México: Editorial Mc. Graw Hill, 1987.
- MENDEZ CELIS, LUIS ALFONSO. **Guía Para el Diseño de Instalaciones Eléctricas, Tesis de Ingeniero Mecánico Electricista.** Guatemala: Facultad de Ingeniería, USAC, julio de 1992.
- OCHAETA REQUENA, JOSE FRANCISCO. **Diseño de la Red de Distribución de Energía Eléctrica de San Marcos, Tesis de Ingeniero Electricista.** Guatemala: Facultad de Ingeniería, USAC, octubre de 1986.
- MAC DONALD D., RODOLFO F. **Aterrizaje de Equipo: Diseño de una Red de Tierra. Tesis de Ingeniero Electricista.** Guatemala: Facultad de Ingeniería, USAC, febrero de 1979.
- INSTITUTO NACIONAL DE ELECTRIFICACION, Departamento de Proyectos. **Normas de Construcción de Electrificación Rural.** Guatemala: Facultad de Ingeniería, USAC, julio de 1991.
- CENTRO DE INVESTIGACIONES ECONOMICAS NACIONALES. **Inversión en Infraestructura: Caso de la Energía Eléctrica.** Guatemala, agosto de 1995.
- COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD, Subdirección de Construcción. **Guía de Coordinación de Aislamiento en Subestaciones Eléctricas.**
- COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD, Subdirección de Construcción. **Guía de Coordinación de Aislamiento en Líneas de Transmisión.**

MILLER, ALAN R. **El ABC del AutoCad versión 12.** México: Ventura Ediciones, S.A. de C.V, 1992.

EDMINISTER, JOSEPH E. **Circuitos Eléctricos.** Segunda Edición. México: Editorial Mc. Graw Hill, 1988.

GOURISHANKAR, VEMBU. **Conversión de Energía Electromecánica.** México: Editorial Alfaomega, 1990.

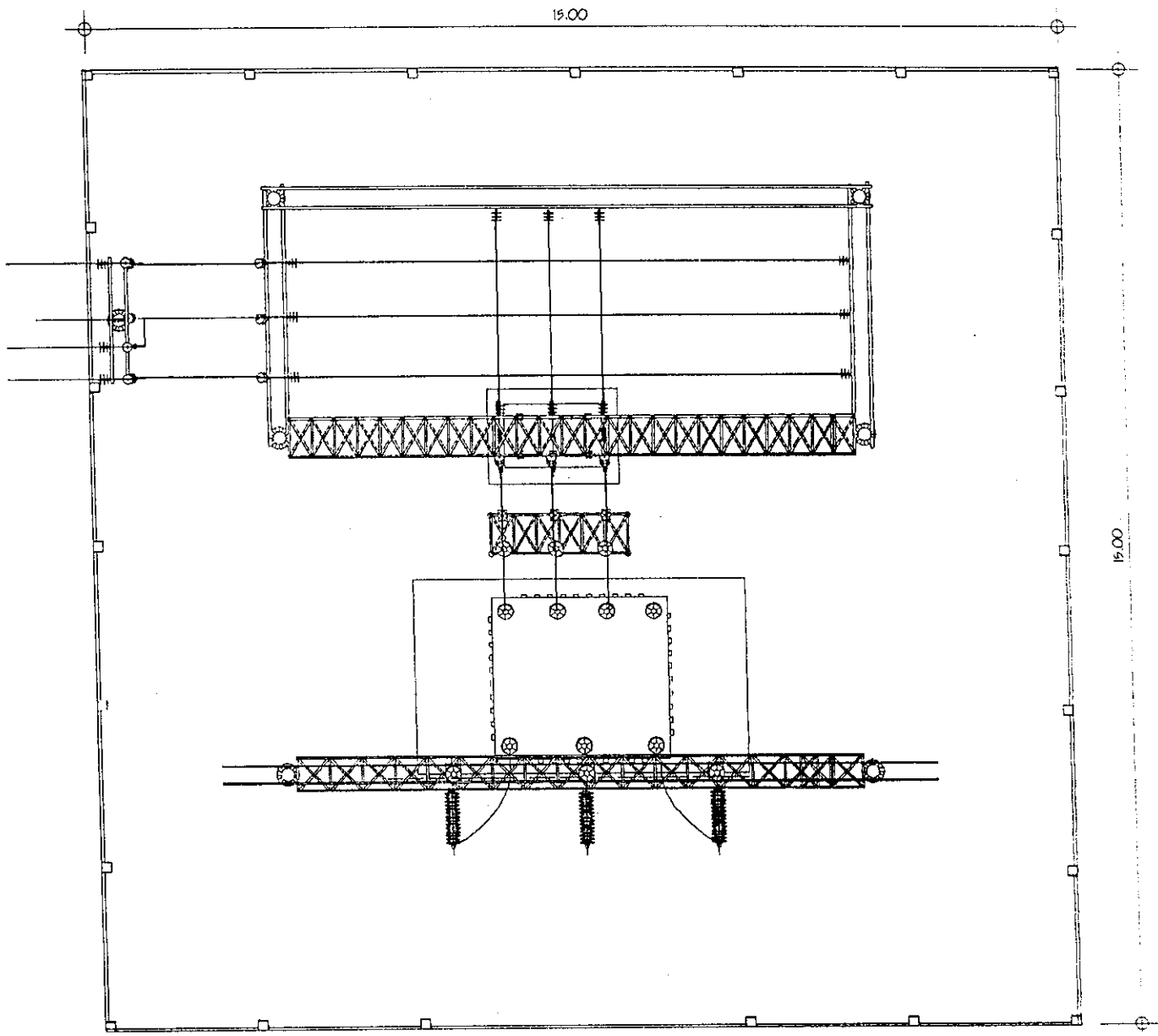
INFANTE VILLAREAL, ARTURO. **Evaluación Financiera de Proyectos de Inversión.** Colombia: Grupo Editorial Norma, 1996.

JOHNSON, ROBERT. **Estadística Elemental.** Grupo Editorial Iberoamérica. Sin número de edición. México, enero de 1991.

AMSTEAD B.H. y BEGEMAN M.L. **Procesos de Manufactura Version S.I.** México: Editorial CECSA, enero de 1981.

**APÉNDICE 1**  
Planos de la subestación propia de la ciudad de Jutiapa

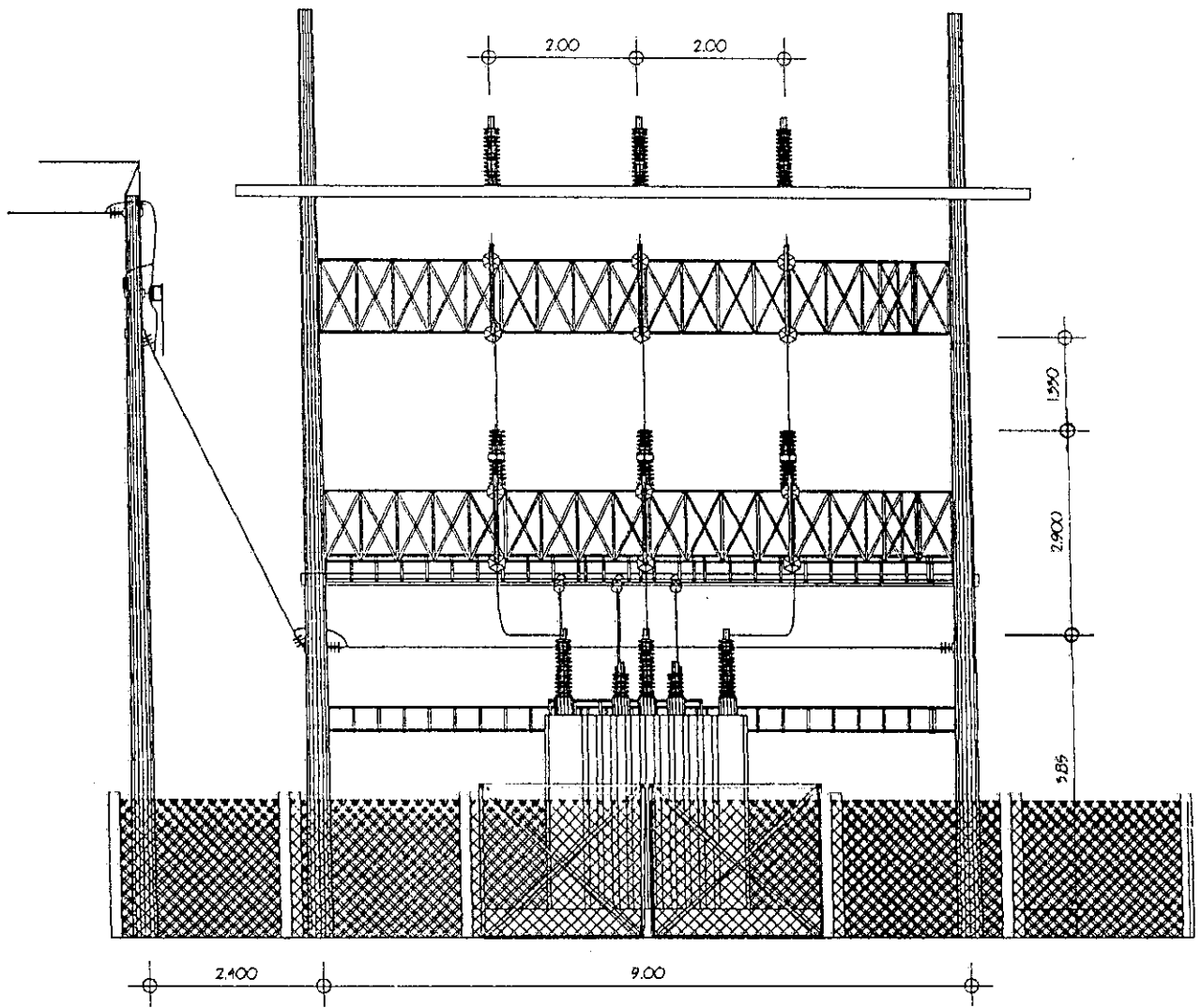




PLANTA

ESCALA 1/100

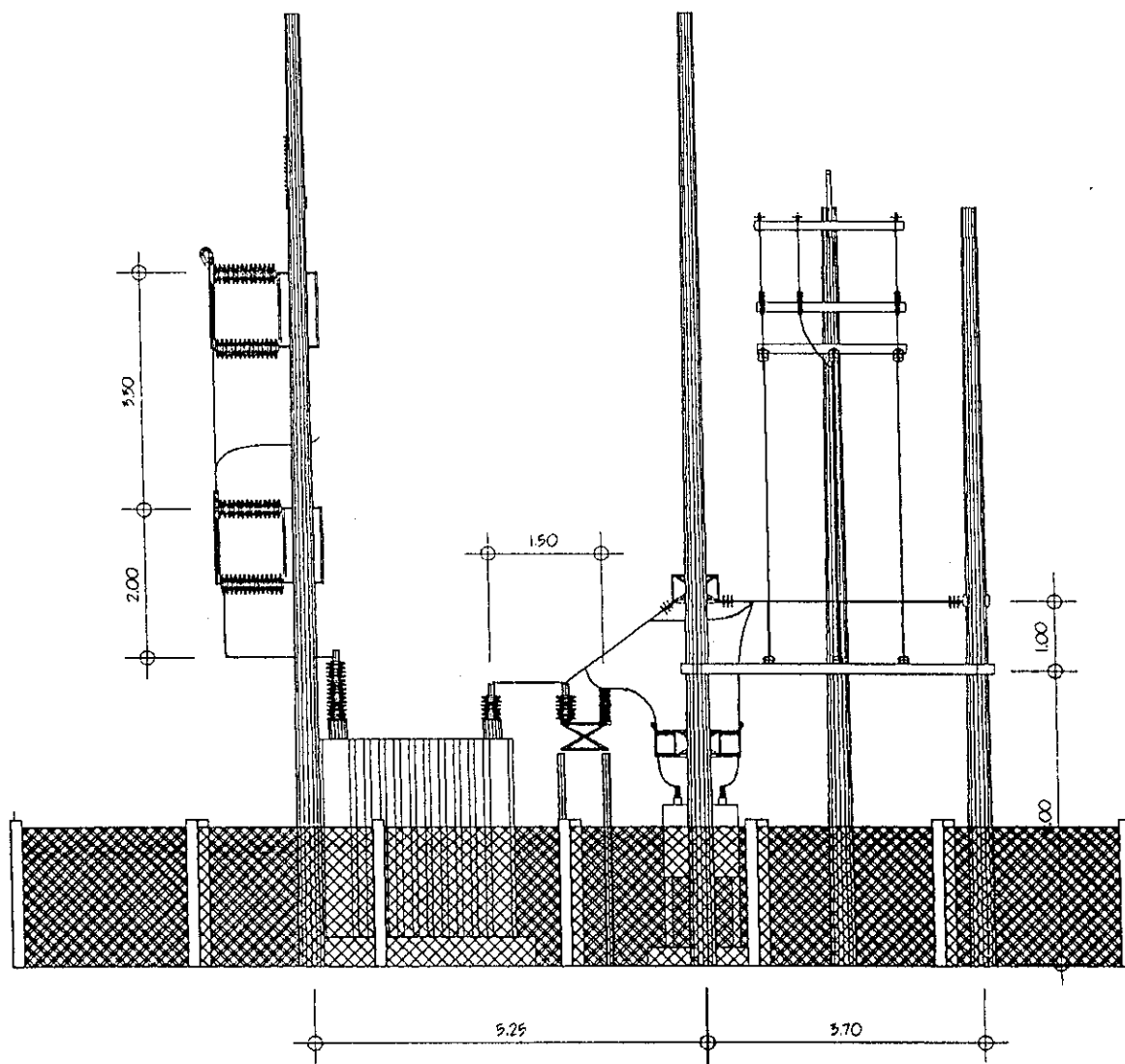
DIBUJO: RICARDO CABRERA



ELEVACION FRONTAL ESCALA 1/100

DIBUJO: RICARDO E. CABRERA

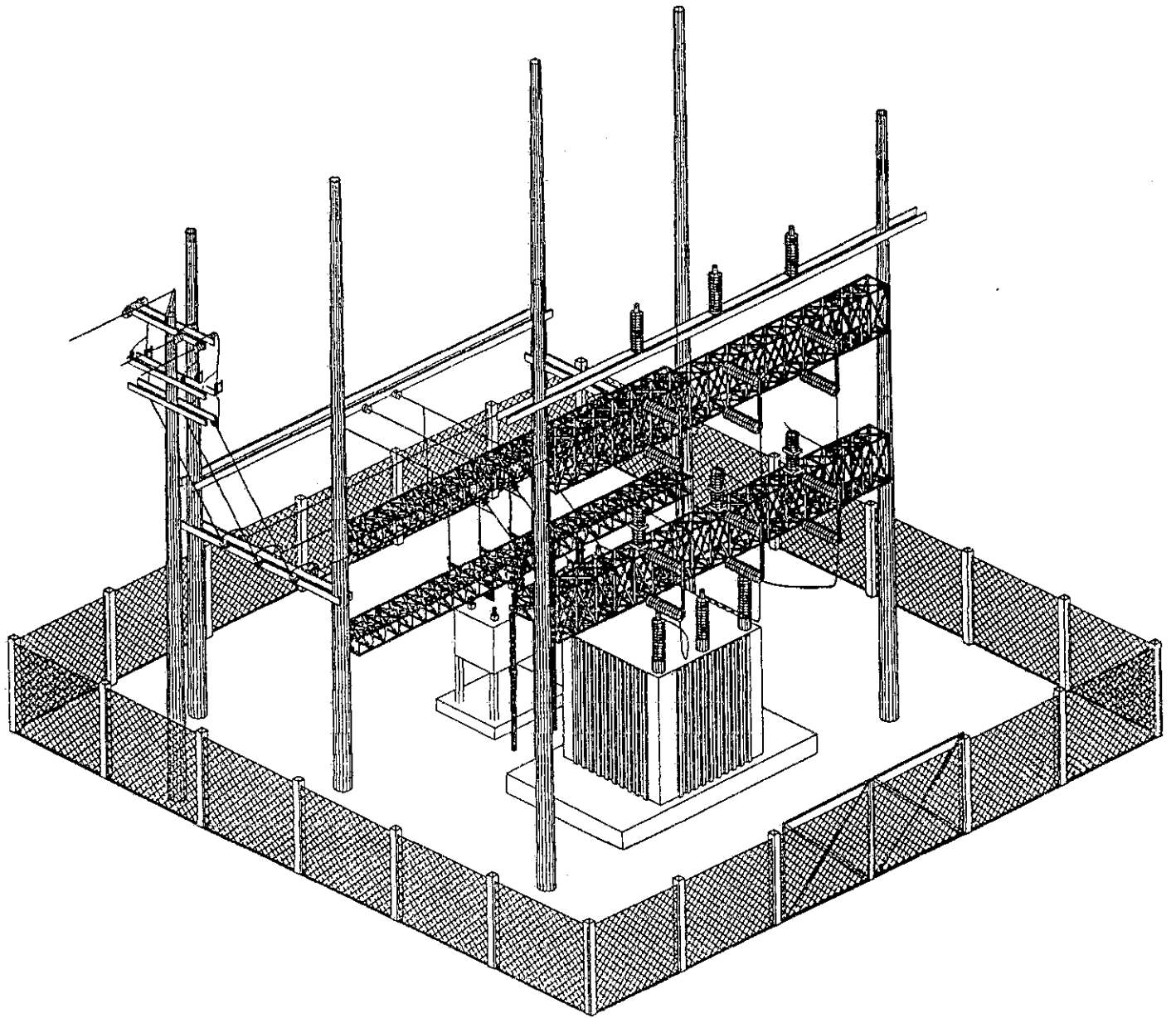




ELEVACION LATERAL

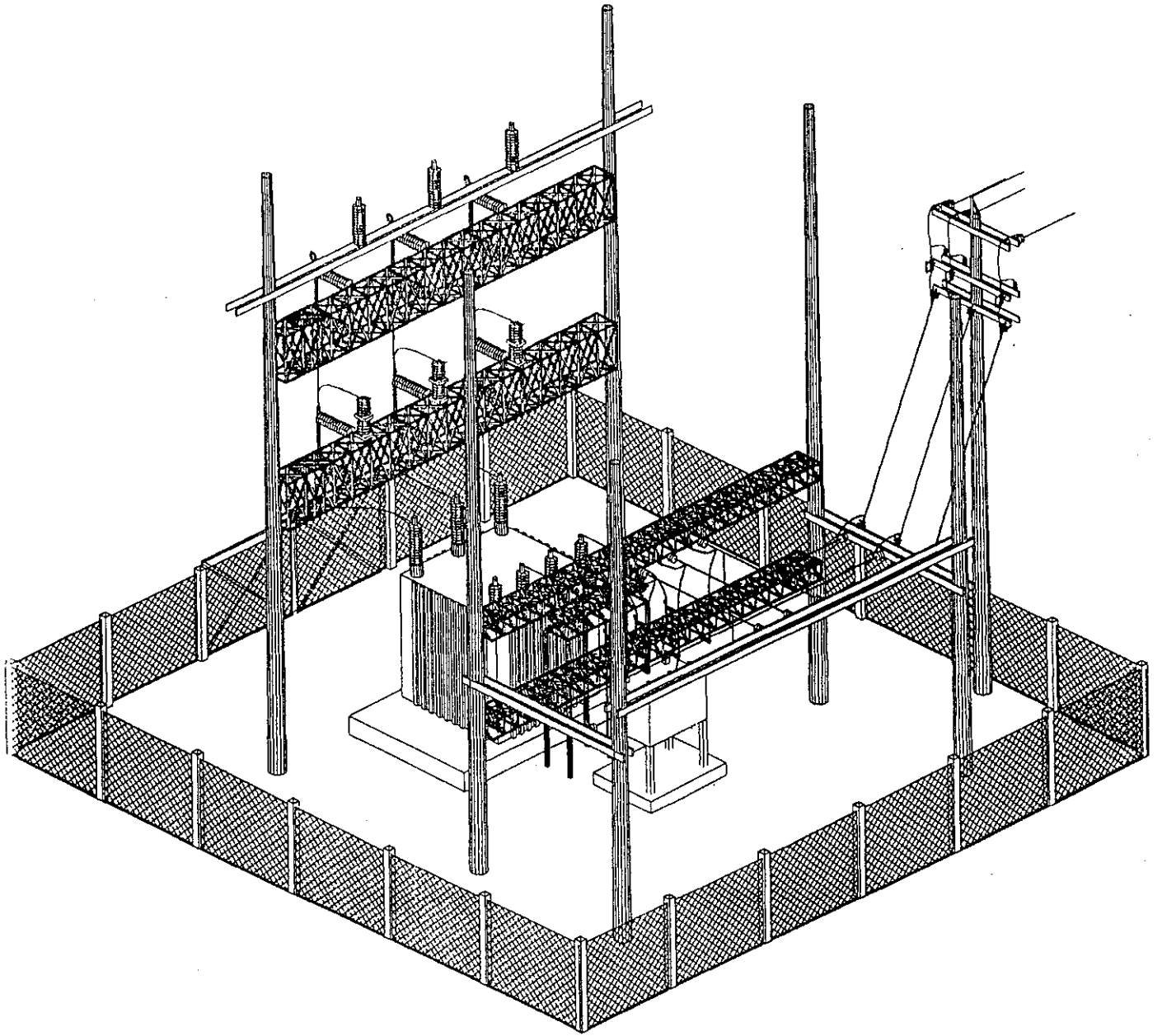
ESCALA 1/100

DIBUJO: RICARDO E. CABRERA



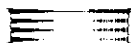
PERSPECTIVA FRONTAL

DIBUJO: RICARDO E. CABRERA



PERSPECTIVA POSTERIOR

DIBUJO: RICARDO E. CABRERA





## **APÉNDICE 2**

Listado de costos y materiales utilizados para la construcción de la subestación.



Alimentador de la ciudad de Juliapa:

Cantidad	Unidad de Medida	Descripción	Precio Unitario	Precio Total (Q)	Precio Total (\$)
3	unidad	Estructuras TIPO I, para 13.2 kV, que incluye:			
1	unidad	Soporte para hilo de guarda.	Q 40.00	Q 120.00	\$ 20.00
3.9	metro	Alambre sólido de aluminio calibre No. 6 AWG	Q 1.25	Q 14.63	\$ 2.44
3	unidad	Protector preformado corto	Q 50.00	Q 450.00	\$ 75.00
3	unidad	Espiga para cruceta de madera	Q 60.00	Q 540.00	\$ 90.00
3	unidad	Aislador de espiga clase ANSI 55-4	Q 29.00	Q 261.00	\$ 43.50
3	unidad	Arandela para perno de 5/8"	Q 5.00	Q 45.00	\$ 7.50
1	unidad	Arandela para perno de 1/2"	Q 4.00	Q 12.00	\$ 2.00
2	unidad	Puntal de pletina de 28"	Q 30.00	Q 180.00	\$ 30.00
2	unidad	Arandela para perno de 3/8"	Q 4.00	Q 24.00	\$ 4.00
3	unidad	Contratuercas para perno de 5/8"	Q 1.60	Q 14.40	\$ 2.40
1	unidad	Contratuercas para perno de 1/2"	Q 1.60	Q 4.80	\$ 0.80
2	unidad	Contratuercas para perno de 3/8"	Q 1.60	Q 9.60	\$ 1.60
1	unidad	Perno de máquina de 5/8" x 12"	Q 15.00	Q 45.00	\$ 7.50
1	unidad	Perno de máquina de 5/8" x 10"	Q 10.00	Q 30.00	\$ 5.00
1	unidad	Perno de máquina de 1/2" x 10"	Q 10.00	Q 30.00	\$ 5.00
2	unidad	Perno de carruaje de 3/8" x 5"	Q 8.00	Q 48.00	\$ 8.00
1	unidad	Cruceta de madera de 10'	Q 50.00	Q 150.00	\$ 25.00
		Sistema de puesta a tierra			
1	unidad	Conector de compresión universal	Q 3.50	Q 10.50	\$ 1.75
1	unidad	Mordaza de cobre	Q 9.00	Q 27.00	\$ 4.50
15	unidad	Cable desnudo de cobre calibre No. 2 AWG (metros)	Q 11.00	Q 495.00	\$ 82.50
1	unidad	Conector de compresión de 7/8" (tap subterráneo)	Q 7.00	Q 21.00	\$ 3.50
1	unidad	Varilla para tierra copperweld de 5/8" x 8'	Q 60.00	Q 180.00	\$ 30.00
1	unidad	Poste de concreto de 12.2 m (40 pies).	Q 1,400.00	Q 4,200.00	\$ 700.00
1	Unidad	Estructura TIPO VI, para 13.2 kV, que incluye:			
1	unidad	Soporte para hilo de guarda.	Q 40.00	Q 40.00	\$ 6.67
2	metro	Cinta protectora de aluminio	Q 2.00	Q 4.00	\$ 0.67
6	unidad	Aislador de suspensión clase ANSI 52-9	Q 70.00	Q 420.00	\$ 70.00
10	unidad	Arandela para perno de 5/8"	Q 5.00	Q 50.00	\$ 8.33
2	unidad	Arandela para perno de 1/2"	Q 4.00	Q 8.00	\$ 1.33
4	unidad	Puntal de pletina de 28"	Q 30.00	Q 120.00	\$ 20.00
3	unidad	Tuerca con ojo	Q 24.00	Q 72.00	\$ 12.00
4	unidad	Arandela para perno de 3/8"	Q 4.00	Q 16.00	\$ 2.67
7	unidad	Contratuercas para perno de 5/8"	Q 1.60	Q 11.20	\$ 1.87
2	unidad	Contratuercas para perno de 1/2"	Q 1.60	Q 3.20	\$ 0.53
4	unidad	Contratuercas para perno de 3/8"	Q 1.60	Q 6.40	\$ 1.07
3	unidad	Gancho con ojo	Q 25.00	Q 75.00	\$ 12.50
3	unidad	Grapa terminal para ACSR	Q 100.00	Q 300.00	\$ 50.00
4	unidad	Perno de carruaje de 3/8" x 5"	Q 8.00	Q 32.00	\$ 5.33
3	unidad	Perno de doble rosca de 5/8" x 18"	Q 30.00	Q 90.00	\$ 15.00
1	unidad	Perno de doble rosca de 1/2" x 12"	Q 20.00	Q 20.00	\$ 3.33
2	unidad	Cruceta de madera de 10'	Q 50.00	Q 100.00	\$ 16.67
1	unidad	Conector de compresión universal	Q 3.50	Q 3.50	\$ 0.58
1	unidad	Mordaza de cobre	Q 9.00	Q 9.00	\$ 1.50
15	unidad	Cable desnudo de cobre calibre No. 2 AWG (metros)	Q 11.00	Q 165.00	\$ 27.50
1	unidad	Conector de compresión de 7/8" (tap subterráneo)	Q 7.00	Q 7.00	\$ 1.17
1	unidad	Varilla para tierra copperweld de 5/8" x 8'	Q 80.00	Q 80.00	\$ 10.00
		Retenida de estaca y ancla			
30	metro	Cable de acero de 1/4"	Q 2.50	Q 75.00	\$ 12.50
4	unidad	Remate preformado para cable de acero de 1/4"	Q 20.00	Q 80.00	\$ 13.33
1	unidad	Ancla de concreto	Q 60.00	Q 60.00	\$ 10.00
1	unidad	Arandela con agujero de 1 1/16"	Q 3.00	Q 3.00	\$ 0.50
1	unidad	Fijador de ángulo	Q 10.00	Q 10.00	\$ 1.67
3	unidad	Guardacabo para cable de acero de 1/4"	Q 25.00	Q 75.00	\$ 12.50
1	unidad	Perno con ojo de 5/8" x 10"	Q 10.00	Q 10.00	\$ 1.67
2	unidad	Tuerca con ojo	Q 24.00	Q 48.00	\$ 8.00
1	unidad	Varilla para anclaje de 5/8" x 7'	Q 53.00	Q 53.00	\$ 8.83
1	unidad	Poste de concreto de 9.00 metros	Q 650.00	Q 650.00	\$ 108.33
		Soporte para pararrayos			
2	unidad	Cruceta de madera de 10'	Q 50.00	Q 100.00	\$ 16.67
4	unidad	Puntal de pletina de 28"	Q 30.00	Q 120.00	\$ 20.00
1	unidad	Perno de doble rosca de 1/2" x 12"	Q 20.00	Q 20.00	\$ 3.33
2	unidad	Arandela para perno de 1/2"	Q 4.00	Q 8.00	\$ 1.33
2	unidad	Contratuercas para perno de 1/2"	Q 1.60	Q 3.20	\$ 0.53

...continuación alimentador de Jutiapa

4	unidad	Perno de carruaje de 3/8" x 5"	Q 8.00	Q 32.00	\$ 5.33
4	unidad	Contratuera para perno de 3/8"	Q 1.60	Q 6.40	\$ 1.07
4	unidad	Arandela para perno de 3/8"	Q 4.00	Q 16.00	\$ 2.67
1	unidad	Poste de concreto de 12.2 m (40 pies).	Q 1,400.00	Q 1,400.00	\$ 233.33
320	metro	Cable de acero de 3/8", 7 hilos, para tensión de 4750 lb (h. guarda)	Q 4.00	Q 1,280.00	\$ 213.33
960	metro	Cable ACSR calibre No. 2/0 AWG.	Q 12.00	Q 11,520.00	\$ 1,920.00
22	metro	Conduit galvanizado de 4" de diámetro.	Q 100.00	Q 2,200.00	\$ 366.67
2	unidad	Vuelta a 90°, para tubería de metal de 4" de diámetro.	Q 40.00	Q 80.00	\$ 13.33
2	unidad	Mufa terminal de 3 fases para cable URD calibre 2/0 cobre y 15 kV.	Q 400.00	Q 800.00	\$ 133.33
23	metro	Cable URD, de cobre, para 15 kV, calibre No. 2/0	Q 20.00	Q 460.00	\$ 76.67
<b>SUB-TOTAL:</b>			<b>Q 27,633.83</b>	<b>\$ 4,605.64</b>	

Desviación de la línea de distribución:

Cantidad	Unidad de Medida	Descripción	Precio Unitario	Precio Total (Q)	Precio Total (\$)
1	unidad	Estructura TIPO III, para 13.2 kV, que incluye:			
1	unidad	Soporte para hilo de guarda.	Q 40.00	Q 40.00	\$ 6.67
3	metro	Cinta protectora de aluminio	Q 2.00	Q 6.00	\$ 1.00
1	unidad	Espiga para cruceta de madera.	Q 60.00	Q 60.00	\$ 10.00
1	unidad	Aislador de espiga clase ANSI 55-4.	Q 29.00	Q 29.00	\$ 4.83
12	unidad	Aislador de suspensión clase ANSI 52-9.	Q 70.00	Q 840.00	\$ 140.00
11	unidad	Arandela para perno de 5/8".	Q 5.00	Q 55.00	\$ 9.17
2	unidad	Arandela para perno de 1/2".	Q 4.00	Q 8.00	\$ 1.33
4	unidad	Puntal de pletina de 28"	Q 30.00	Q 120.00	\$ 20.00
4	unidad	Arandela para perno de 3/8".	Q 4.00	Q 16.00	\$ 2.67
6	unidad	Tuerca con ojo.	Q 24.00	Q 144.00	\$ 24.00
3	unidad	Conector ranuras paralelas.	Q 15.00	Q 45.00	\$ 7.50
7	unidad	Contratuera para perno de 5/8".	Q 1.60	Q 11.20	\$ 1.87
2	unidad	Contratuera para perno de 1/2".	Q 1.60	Q 3.20	\$ 0.53
4	unidad	Contratuera para perno de 3/8".	Q 1.60	Q 6.40	\$ 1.07
6	unidad	Gancho con ojo.	Q 25.00	Q 150.00	\$ 25.00
6	unidad	Grapa terminal para ACSR.	Q 100.00	Q 600.00	\$ 100.00
2	metro	Alambre sólido de aluminio calibre No. 6 AWG.	Q 1.25	Q 2.50	\$ 0.42
4	unidad	Perno de carruaje de 3/8" x 5".	Q 8.00	Q 32.00	\$ 5.33
3	unidad	Perno de doble rosca de 5/8" x 18".	Q 30.00	Q 90.00	\$ 15.00
1	unidad	Perno de doble rosca de 1/2" x 12".	Q 20.00	Q 20.00	\$ 3.33
2	unidad	Cruceta de madera de 10".	Q 50.00	Q 100.00	\$ 16.67
		Sistema de tierra física.			
1	unidad	Conector de compresión universal	Q 3.50	Q 3.50	\$ 0.58
1	unidad	Mordaza de cobre	Q 9.00	Q 9.00	\$ 1.50
15	unidad	Cable desnudo de cobre calibre No. 2 AWG (metros)	Q 11.00	Q 165.00	\$ 27.50
1	unidad	Conector de compresión de 7/8" (tap subterráneo)	Q 7.00	Q 7.00	\$ 1.17
1	unidad	Varilla para tierra copperweld de 5/8" x 8'	Q 60.00	Q 60.00	\$ 10.00
		Retenida			
15	metro	Cable de acero de 1/4"	Q 2.50	Q 37.50	\$ 6.25
2	unidad	Remate preformado para cable de acero de 1/4"	Q 20.00	Q 40.00	\$ 6.67
1	unidad	Ancla de concreto	Q 60.00	Q 60.00	\$ 10.00
1	unidad	Varilla para anclaje de 5/8" x 7'	Q 53.00	Q 53.00	\$ 8.83
1	unidad	Arandela de 4" x 4" x 1/2"	Q 4.00	Q 4.00	\$ 0.67
2	unidad	Fijador de ángulo	Q 10.00	Q 20.00	\$ 3.33
1	unidad	Poste de concreto de 12.2 m (40 pies).	Q 1,400.00	Q 1,400.00	\$ 233.33
210	metro	Cable ACSR No. 1/0 AWG	Q 10.00	Q 2,100.00	\$ 350.00
130	metro	Cable de acero de 3/8" de diámetro, 7 hilos, para tensión de 4750 lb.	Q 4.00	Q 520.00	\$ 86.67
<b>SUB-TOTAL:</b>			<b>Q 6,857.30</b>	<b>\$ 1,142.88</b>	

Red de tierras:

Cantidad	Unidad de Medida	Descripción	Precio Unitario	Precio Total (Q)	Precio Total (\$)
16	unidad	Varilla para tierra copperweld de 5/8" x 8'	Q 60.00	Q 960.00	\$ 160.00
16	unidad	Mordaza de cobre doble tornillo	Q 9.00	Q 144.00	\$ 24.00
40	metro	Cable desnudo de cobre calibre No. 2 AWG	Q 12.00	Q 480.00	\$ 80.00
350	metro	Cable desnudo de cobre calibre No. 2/0 AWG	Q 20.00	Q 7,000.00	\$ 1,166.67
50	unidad	Conectores tipo T de cobre, para conductor calibre 2/0	Q 100.00	Q 5,000.00	\$ 833.33
20	m3	Piedrín de 3/4"	Q 120.00	Q 2,400.00	\$ 400.00
1	global	Levantamiento y nivelación de tierra.	Q 10,000.00	Q 10,000.00	\$ 1,666.67
<b>SUB-TOTAL:</b>			<b>Q 25,984.00</b>	<b>\$ 4,330.67</b>	



Estructuras:

Cantidad	Unidad de Medida	Descripción	Precio Unitario	Precio Total (Q)	Precio Total (\$)
4	unidad	Postes de concreto, de 15.2 m (50 pies) de altura.	Q 1,800.00	Q 7,200.00	\$ 1,200.00
2	unidad	Postes de concreto, de 10.67 m (35 pies) de altura.	Q 900.00	Q 1,800.00	\$ 300.00
6	unidad	Solera de 3/8" x 2" x 20' de hierro galvanizado.	Q 100.00	Q 600.00	\$ 100.00
2	unidad	Solera de 3/8" x 2" x 35' de hierro galvanizado.	Q 175.00	Q 350.00	\$ 58.33
10	unidad	Angular de 3/8" x 2" x 35' de hierro galvanizado.	Q 120.00	Q 1,200.00	\$ 200.00
70	unidad	Solera de 1/4" x 1.5" x 20' de hierro galvanizado.	Q 60.00	Q 4,200.00	\$ 700.00
1	global	Soldadura, corte, mano de obra y otros para armar estructuras de metal.	Q 5,000.00	Q 5,000.00	\$ 833.33
1	global	Pernos, tuercas y abrazaderas para montaje de estructuras de metal.	Q 4,000.00	Q 4,000.00	\$ 666.67
<b>SUB-TOTAL:</b>				<b>Q 24,350.00</b>	<b>\$ 4,058.33</b>

Equipo eléctrico de potencia:

Cantidad	Unidad de Medida	Descripción	Precio Unitario	Precio Total (Q)	Precio Total (\$)
3	unidad	Pararrayos tipo subestación, de óxidos metálicos, construídos según norma ANSI C-62.11-1987, Voltaje máximo de operación de 72 kV, Capacidad temporal de sobrevoltaje de 85.7 kV, Máxima descarga de voltaje de cresta de 141 kV para corriente de falla de 1 kA y frente de onda (a .5µseg) de 181 kV para 10 kA para altitud de 1000 msnm. Temperatura de operación de -40°C a 45°C.	Q 13,000.00	Q 39,000.00	\$ 6,500.00
3	unidad	Cortacircuitos fabricados de acuerdo a la Norma ANSI standard C37.41-1981 y NEMA SG-2-1986, Voltaje nominal de 15 kV, BIL 110 kV, 300 A continuos y 12000 Amp RMS asimétricos. Que incluya elemento fusible de 400 A nominales.	Q 1,500.00	Q 4,500.00	\$ 750.00
1	unidad	Cortacircuitos trifásico fabricados de acuerdo a la Norma ANSI standard C37.41-1981 y NEMA SG-2-1986, Voltaje nominal de 15 kV, BIL 110 kV, 300 A continuos y 12000 Amp RMS asimétricos. Que incluya elementos fusibles de 400 A nominales y mecanismo operador manual sincronizado.	Q 12,000.00	Q 12,000.00	\$ 2,000.00
2	unidad	Switch de desconexión trifásico de tipo cuchillas para 15 kV máximo, voltaje nominal de 13.2 kV, BIL de 110 kV, con viguetas de acero, soporte de corriente continua de 600 A. Mecanismo operador manual sincronizado.	Q 5,000.00	Q 10,000.00	\$ 1,666.67
1	unidad	Recluser para voltaje nominal de 15 kV, BIL de 110 kV, para instalación en interperie, corriente de carga de 800 A, capacidad de interrupción de corriente de 12 kA RMS, medio de interrupción en vacío, medio aislador en aceite, con protección contra sobrecarga, pérdida de fase y cortocircuito.	Q130,000.00	Q 130,000.00	\$ 21,666.67
3	unidad	Fusibles para montaje en subestación, voltaje nominal de 69 kV, tipo expulsión, BIL de 350 kV, corriente de cortocircuito de 100 A.	Q 9,000.00	Q 27,000.00	\$ 4,500.00
1	unidad	Seccionador trifásico de cuernos de arqueo, tipo cuchillas, voltaje máximo de 72.5 kV, voltaje nominal de 69 kV, BIL 350 kV, rango de corriente continua de 600 a 2000 Amp. Soporte de corriente de 61 a 100 kA RMS, mecanismo operador manual sincronizado.	Q 20,000.00	Q 20,000.00	\$ 3,333.33
6	unidad	Pararrayos tipo subestación, de óxidos metálicos, construídos según norma ANSI C-62.11-1987, Voltaje máximo de operación de 15 kV, Capacidad temporal de sobrevoltaje de 19.9 kV, Máxima descarga de voltaje de cresta de 33.3kV para corriente de falla de 1 kA y frente de onda (a .5µseg) de 44.1 kV para 10 kA para altitud de 1000 msnm. Temperatura de operación de -40°C a 45°C.	Q 1,200.00	Q 7,200.00	\$ 1,200.00
1	unidad	Transformador de potencia de 5 MVA, según especificaciones técnicas descritas en el capítulo 3, numeral 3.6.	Q700,000.00	Q 700,000.00	\$ 116,666.67
<b>SUB-TOTAL:</b>				<b>Q 949,700.00</b>	<b>\$ 158,283.33</b>

Muro perimetral:

Cantidad	Unidad de Medida	Descripción	Precio Unitario	Precio Total (Q)	Precio Total (\$)
23	unidad	Postes de concreto, de 0.15 x 0.15 x 1.8 m, para montaje de malla.	Q 200.00	Q 4,600.00	\$ 766.67
65	metro	Malla perimetral de alambre galvanizado, calibre 12, 5' de altura, 2"x2".	Q 15.00	Q 975.00	\$ 162.50
5	unidad	Tubo galvanizado de 1 1/2" x 20', tipo mediano	Q 220.00	Q 1,100.00	\$ 183.33
60	metro lineal	Cimiento corrido de 0.15 x 0.5 m, con pines de soporte	Q 15.00	Q 900.00	\$ 150.00
1	global	Accesorios para montaje	Q 500.00	Q 500.00	\$ 83.33
<b>SUB-TOTAL:</b>				<b>Q 8,075.00</b>	<b>\$ 1,345.83</b>

Losas:

Cantidad	Unidad de Medida	Descripción	Precio Unitario	Precio Total (Q)	Precio Total (\$)
1	unidad	Losa para el transformador, con concreto de 5000 psi, malla de hierro liso de 1/4", medidas: 3 x 4 x 0.3 metros.	Q 3,000.00	Q 3,000.00	\$ 500.00
1	unidad	Losa para el recloser, con concreto de 5000 psi, malla de hierro liso de 1/4", medidas: 1.5 x 2 x 0.25 metros.	Q 1,000.00	Q 1,000.00	\$ 166.67
<b>SUB-TOTAL:</b>				<b>Q 4,000.00</b>	<b>\$ 666.67</b>

Aisladores, accesorios y conductores:

Cantidad	Unidad de Medida	Descripción	Precio Unitario	Precio Total (Q)	Precio Total (\$)
3	unidad	Aislador tipo subestación de 75 cm de distancia de fuga.	Q 400.00	Q 1,200.00	\$ 200.00
3	unidad	Aislador tipo subestación de 45 cm de distancia de fuga.	Q 300.00	Q 900.00	\$ 150.00
50	metro	Cable ACSR calibre No. 2/0 AWG (para conexión de equipo y barras).	Q 12.00	Q 600.00	\$ 100.00
63	unidad	Aislador de suspensión clase ANSI 52.9	Q 70.00	Q 4,410.00	\$ 735.00
21	unidad	Grapas de remate para cable ACSR calibre No. 2/0	Q 70.00	Q 1,470.00	\$ 245.00
4	unidad	Grapa de suspensión para cable de acero de 3/8"	Q 50.00	Q 200.00	\$ 33.33
6	unidad	Conector atomillable de aluminio, para cable ACSR No. 3/0 AWG	Q 40.00	Q 240.00	\$ 40.00
12	unidad	Conectores de compresión 'C'	Q 3.50	Q 42.00	\$ 7.00
<b>SUB-TOTAL:</b>				<b>Q 9,062.00</b>	<b>\$ 1,510.33</b>

Servicios auxiliares:

Cantidad	Unidad de Medida	Descripción	Precio Unitario	Precio Total (Q)	Precio Total (\$)
1	unidad	Transformador 10 kVA	Q 3,900.00	Q 3,900.00	\$ 650.00
2	unidad	Luminaria tipo exterior de alta presión de sodio, 2 fotoceldas, de 1000W, voltaje de 240V, soporte para ajuste de inclinación, del tipo Sylvania, modelo 2500 HDF.	Q 900.00	Q 1,800.00	\$ 300.00
60	metro	Cable tipo triplex calibre No. 8.	Q 20.00	Q 1,200.00	\$ 200.00
1	unidad	Conector fargo para línea viva	Q 75.00	Q 75.00	\$ 12.50
1	unidad	Estribo para conector fargo	Q 40.00	Q 40.00	\$ 6.67
4	unidad	Luminarias de 300 luxes, alimentación 12 VDC	Q 200.00	Q 800.00	\$ 133.33
1	unidad	Alarma sonora de 70 dB, alimentación en 12 VDC	Q 400.00	Q 400.00	\$ 66.67
1	unidad	Batería tipo ácida de 12.9 VDC, 75 Ah, eficiencia de 0.91	Q 700.00	Q 700.00	\$ 116.67
1	unidad	Cargador para batería ácida, tiempo de recarga de 4 horas.	Q 1,000.00	Q 1,000.00	\$ 166.67
10	metro	Cable ACSR calibre No. 2 AWG	Q 7.00	Q 70.00	\$ 11.67
3	unidad	Conectores de compresión tipo C	Q 3.50	Q 10.50	\$ 1.75
<b>SUB-TOTAL:</b>				<b>Q 6,095.50</b>	<b>\$ 1,015.92</b>

TOTAL DE COSTOS DE MATERIALES:

Q 1,061,757.63 \$ 176,959.60

**RESUMEN DE MATERIALES  
DE LAS ESTRUCTURAS DE 13.2 kV, QUE SE UTILIZAN EN EL DISEÑO  
DE LA SUBSTACIÓN ELECTRICA DE JUTIAPA.**

Código INDE	Tipo de estructura: Cantidad:	TIPO I	TIPO III	TIPO VI	TOTAL	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL (Q)	PRECIO TOTAL (\$)
3.3	Aislador de espiga clase ANSI 55-4	3	1		4	Q 29.00	Q 290.00	\$ 48.33
3.6	Aislador de suspensión clase ANSI 52-9.		12	6	18	Q 70.00	Q 1,260.00	\$ 210.00
1.3	Alambre solido de aluminio calibre No. 6 AWG (metros)	3.9	2		5.9	Q 1.25	Q 17.13	\$ 2.85
4.9.3	Ancla de concreto		1	1	2	Q 60.00	Q 120.00	\$ 20.00
4.1	Arandela con agujero de 11/16"			1	1	Q 3.00	Q 3.00	\$ 0.50
4.14	Arandela de 4" x 4" x 1/2"		1		1	Q 4.00	Q 4.00	\$ 0.67
4.11	Arandela para perno de 1/2"	1	2	4	7	Q 4.00	Q 36.00	\$ 6.00
4.15	Arandela para perno de 3/8"	2	4	8	14	Q 4.00	Q 72.00	\$ 12.00
4.1	Arandela para perno de 5/8"	3	11	10	24	Q 5.00	Q 150.00	\$ 25.00
1.1	Cable de acero de 1/4"		15	30	45	Q 2.50	Q 112.50	\$ 18.75
1.22	Cable desnudo de cobre calibre No. 2 AWG (metros)	15	15	15	45	Q 11.00	Q 825.00	\$ 137.50
2.2	Cinta protectora de aluminio (metros).		3	2	5	Q 2.00	Q 10.00	\$ 1.67
13	Conector de compresión de 7/8" (lap subterráneo)	1	1	1	3	Q 7.00	Q 35.00	\$ 5.83
4.24.5	Conector de compresión universal	1	1	1	3	Q 3.50	Q 17.50	\$ 2.92
4.23	Conector ranuras paralelas.		3		3	Q 15.00	Q 45.00	\$ 7.50
4.27	Contratuercas para perno de 1/2"	1	2	4	7	Q 1.60	Q 14.40	\$ 2.40
4.28.1	Contratuercas para perno de 3/8"	2	4	8	14	Q 1.60	Q 28.80	\$ 4.80
4.26	Contratuercas para perno de 5/8"	3	7	7	17	Q 1.60	Q 36.80	\$ 6.13
12.25	Cruceta de madera de 10"	1	2	4	7	Q 50.00	Q 450.00	\$ 75.00
3.17	Espiga para cruceta de madera.	3	1		4	Q 60.00	Q 600.00	\$ 100.00
4.31.1	Fijador de ángulo		2	1	3	Q 10.00	Q 30.00	\$ 5.00
4.33	Gancho con ojo.		6	3	9	Q 25.00	Q 225.00	\$ 37.50
4.39	Grapa terminal para ACSR.		6	3	9	Q 100.00	Q 900.00	\$ 150.00
4.35	Guardacabo para cable de acero de 1/4"			3	3	Q 25.00	Q 75.00	\$ 12.50
4.58	Mordaza de cobre	1	1	1	3	Q 9.00	Q 45.00	\$ 7.50
4.95	Perno con ojo de 5/8" x 10"			1	1	Q 10.00	Q 10.00	\$ 1.67
4.83	Perno de carruaje de 3/8" x 5"	2	4	8	14	Q 50.00	Q 900.00	\$ 150.00
4.92	Perno de doble rosca de 1/2" x 12"		1	2	3	Q 20.00	Q 60.00	\$ 10.00
4.86	Perno de doble rosca de 5/8" x 18"		3	3	6	Q 30.00	Q 180.00	\$ 30.00
4.71	Perno de máquina de 1/2" x 10"	1			1	Q 10.00	Q 30.00	\$ 5.00
4.95	Perno de máquina de 5/8" x 10"	1			1	Q 10.00	Q 30.00	\$ 5.00
4.67	Perno de máquina de 5/8" x 12"	1			1	Q 15.00	Q 45.00	\$ 7.50
12	Poste de concreto de 12.2 m (40 pies).	1	1	1	3	Q 1,400.00	Q 7,000.00	\$ 1,166.67
12	Poste de concreto de 9.00 metros			1	1	Q 650.00	Q 650.00	\$ 108.33
2.17	Protector preformado corto	3			3	Q 50.00	Q 450.00	\$ 75.00
4.115	Puntal de ptelina de 28"	2	4	8	14	Q 30.00	Q 540.00	\$ 90.00
2.27	Remate preformado para cable de acero de 1/4"		2	4	6	Q 20.00	Q 120.00	\$ 20.00
38	Soporte para hilo de guarda.	1	1	1	3	Q 40.00	Q 200.00	\$ 33.33
4.129	Tuerca con ojo.		6	5	11	Q 24.00	Q 264.00	\$ 44.00
4.132	Varilla para anclaje de 5/8" x 7"		1	1	2	Q 53.00	Q 106.00	\$ 17.67
4.135	Varilla para tierra copperweld de 5/8" x 8"	1	1	1	3	Q 60.00	Q 300.00	\$ 50.00

**TOTAL: Q 16,287.13 \$ 16,287.13**



### **APÉNDICE 3**

Listado de costos y materiales utilizados para la construcción de la red de distribución de la aldea San Francisco.



**LISTA DE MATERIALES  
CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS DE DISTRIBUCIÓN  
DE ENERGÍA ELÉCTRICA.**

<b>PUESTA A TIERRA</b>					
Código	Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total	
4.24	Conector de compresión universal	1	Q 3.50	Q	3.50
4.58	Mordaza de cobre	1	Q 9.00	Q	9.00
1.22	Cable desnudo de cobre de No. 2 AWG (metros)	15	Q 11.00	Q	165.00
4.24.1	Conector de compresión de 7/8" (tap subterráneo)	1	Q 7.00	Q	7.00
4.135	Varilla para tierra copperweld de 5/8" x 8'	1	Q 60.00	Q	60.00
<b>Total:</b>				Q	244.50

<b>ESTRUCTURA TIPO I (Distribución primaria 7.6 kV)</b>					
Código	Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total	
3.3	Aislador de espiga ANSI 55-4	1	Q 29.00	Q	29.00
3.1	Aislador de carrete ANSI 53-2	1	Q 15.00	Q	15.00
3.15	Estribo para aislador de carrete	1	Q 18.00	Q	18.00
4.95	Perno de máquina de 5/8" x 10"	1	Q 10.00	Q	10.00
3.22	Espiga para punta de poste de 18"	1	Q 45.00	Q	45.00
1.3	Alambre sólido de aluminio No. 6 AWG (metros)	2.4	Q 1.25	Q	3.00
4.1	Arandela de 2 1/4" x 2 1/4" x 3/16" agujero de 11/16"	2	Q 3.00	Q	6.00
4.26	Contratuerca para perno de 5/8"	2	Q 1.60	Q	3.20
4.67	Perno de máquina de 5/8" x 12"	2	Q 10.00	Q	20.00
2.19	Protector preformado corto No. 2 AWG	1	Q 40.00	Q	40.00
<b>Subtotal:</b>				Q	189.20
12	Poste de 10.67 metros	1	Q 900.00	Q	900.00
<b>Total:</b>				Q	1,089.20

<b>ESTRUCTURA TIPO II (Distribución primaria 7.6 kV)</b>					
Código	Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total	
3.3	Aislador de espiga ANSI 55-4	1	Q 29.00	Q	29.00
3.1	Aislador de carrete ANSI 53-2	1	Q 15.00	Q	15.00
3.15	Estribo para aislador de carrete	1	Q 18.00	Q	18.00
4.95	Perno de máquina de 5/8" x 10"	1	Q 10.00	Q	10.00
3.22	Espiga para punta de poste de 18"	1	Q 45.00	Q	45.00
1.3	Alambre sólido de aluminio No. 6 AWG (metros)	2.4	Q 1.25	Q	3.00
4.1	Arandela de 2 1/4" x 2 1/4" x 3/16" agujero de 11/16"	2	Q 3.00	Q	6.00
4.26	Contratuerca para perno de 5/8"	2	Q 1.60	Q	3.20
4.67	Perno de máquina de 5/8" x 12"	2	Q 10.00	Q	20.00
1.1	Cable de acero de 1/4" (metros)	10.5	Q 2.50	Q	26.25
2.35	Remate preformado para cable de acero de 1/4"	2	Q 20.00	Q	40.00
4.9.3	Ancla de concreto	1	Q 60.00	Q	60.00
4.31.1	Fijador de ángulo	2	Q 10.00	Q	20.00
4.132	Varilla para anclaje sencilla de 5/8" x 7'	1	Q 53.00	Q	53.00
4.14	Arandela de 4" x 4" x 1/2"	1	Q 4.00	Q	4.00
2.2	Protector preformado largo No. 2 AWG	1	Q 35.00	Q	35.00
<b>Subtotal:</b>				Q	387.45
12	Poste de 10.67 metros	1	Q 900.00	Q	900.00
<b>Total:</b>				Q	1,287.45

**ESTRUCTURA TIPO III (Distribución primaria 7.6 kV)**

Código	Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
3.6	Aislador de suspensión ANSI 52-9	2	Q 70.00	Q 140.00
3.1	Aislador de carrete ANSI 53-2	1	Q 15.00	Q 15.00
3.15	Estribo para aislador de carrete	1	Q 18.00	Q 18.00
4.95	Perno de máquina de 5/8" x 10"	1	Q 10.00	Q 10.00
1.3	Alambre sólido de aluminio No. 6 AWG (metros)	2.4	Q 1.25	Q 3.00
4.44	Grapa para suspensión de ángulo	1	Q 25.00	Q 25.00
4.52.2	Grillete de anclaje	1	Q 50.00	Q 50.00
4.1	Arandela de 2 1/4" x 2 1/4" x 3/16" agujero de 11/16"	2	Q 3.00	Q 6.00
4.26	Contratuerca para perno de 5/8"	2	Q 1.60	Q 3.20
4.95	Perno de máquina de 5/8" x 10"	2	Q 10.00	Q 20.00
1.1	Cable de acero de 1/4" (metros)	10.5	Q 2.50	Q 26.25
2.35	Remate preformado para cable de acero de 1/4"	2	Q 20.00	Q 40.00
4.9.3	Ancla de concreto	1	Q 60.00	Q 60.00
4.31.1	Fijador de ángulo	2	Q 10.00	Q 20.00
4.132	Varilla para anclaje sencilla de 5/8" x 7'	1	Q 53.00	Q 53.00
4.14	Arandela de 4" x 4" x 1/2"	1	Q 4.00	Q 4.00
2.19	Protector preformado corto No. 2 AWG	1	Q 40.00	Q 40.00
		<b>Subtotal:</b>		Q 533.45
12	Poste de 10.67 metros	1	Q 900.00	Q 900.00
		<b>Total:</b>		Q 1,433.45

**ESTRUCTURA TIPO IV (Distribución primaria 7.6 kV)**

Código	Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
3.6	Aislador de suspensión ANSI 52-9	4	Q 70.00	Q 280.00
3.1	Aislador de carrete ANSI 53-2	1	Q 15.00	Q 15.00
3.15	Estribo para aislador de carrete	1	Q 18.00	Q 18.00
4.95	Perno de máquina de 5/8" x 10"	1	Q 10.00	Q 10.00
4.24.5	Conector de compresión universal	2	Q 3.50	Q 7.00
4.52.2	Grillete de anclaje	2	Q 50.00	Q 100.00
4.1	Arandela de 2 1/4" x 2 1/4" x 3/16" agujero de 11/16"	2	Q 3.00	Q 6.00
4.26	Contratuerca para perno de 5/8"	2	Q 1.60	Q 3.20
4.95	Perno con ojo de 5/8" x 10"	2	Q 10.00	Q 20.00
1.1	Cable de acero de 1/4" (metros)	21	Q 2.50	Q 52.50
2.35	Remate preformado para cable de acero de 1/4"	4	Q 20.00	Q 80.00
2.27	Remate preformado para cable ACSR No. 2 AWG	2	Q 30.00	Q 60.00
4.9.3	Ancla de concreto	2	Q 60.00	Q 120.00
4.31.1	Fijador de ángulo	2	Q 10.00	Q 20.00
4.132	Varilla para anclaje sencilla de 5/8" x 7'	2	Q 53.00	Q 106.00
4.14	Arandela de 4" x 4" x 1/2"	2	Q 4.00	Q 8.00
4.36.2	Guardacabo con accesorio clevis	2	Q 25.00	Q 50.00
		<b>Subtotal:</b>		Q 955.70
12	Poste de 10.67 metros	1	Q 900.00	Q 900.00
		<b>Total:</b>		Q 1,855.70



<b>ESTRUCTURA TIPO VI (Distribución primaria 7.6 kV)</b>				
Código	Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
3.6	Aislador de suspensión ANSI 52-9	2	Q 70.00	Q 140.00
3.1	Aislador de carrete ANSI 53-2	1	Q 15.00	Q 15.00
3.15	Estribo para aislador de carrete	1	Q 18.00	Q 18.00
4.95	Perno de máquina de 5/8" x 10"	1	Q 10.00	Q 10.00
4.52.2	Grillete de anclaje	1	Q 50.00	Q 50.00
4.1	Arandela de 2 1/4" x 2 1/4" x 3/16" agujero de 11/16"	2	Q 3.00	Q 6.00
4.26	Contratuercas para perno de 5/8"	1	Q 1.60	Q 1.60
4.95	Perno con ojo de 5/8" x 10"	1	Q 10.00	Q 10.00
1.1	Cable de acero de 1/4" (metros)	10.5	Q 2.50	Q 26.25
2.35	Remate preformado para cable de acero de 1/4"	2	Q 20.00	Q 40.00
2.27	Remate preformado para cable ACSR No. 2 AWG	1	Q 30.00	Q 30.00
4.9.3	Ancla de concreto	1	Q 60.00	Q 60.00
4.132	Varilla para anclaje sencilla de 5/8" x 7'	1	Q 53.00	Q 53.00
4.14	Arandela de 4" x 4" x 1/2"	1	Q 4.00	Q 4.00
4.31.1	Guardacabo para cable de 1/4"	2	Q 10.00	Q 20.00
4.36.2	Guardacabo con accesorio clevis	1	Q 25.00	Q 25.00
<b>Subtotal:</b>				Q 508.85
12	Poste de 10.67 metros	1	Q 900.00	Q 900.00
<b>Total:</b>				Q 1,408.85

<b>ESTRUCTURA TIPO I (Distribución secundaria 120/240 V)</b>				
Código	Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
3.15	Estribo para aisladores de carrete	3	Q 18.00	Q 54.00
4.95	Perno de máquina de 5/8" x 10"	3	Q 10.00	Q 30.00
3.1	Aislador de carrete clase ANSI 53-2	3	Q 15.00	Q 45.00
1.3	Alambre sólido de aluminio No. 6 AWG (metros)	4.8	Q 1.25	Q 6.00
4.1	Arandela de 2 1/4" x 2 1/4" x 3/16" agujero de 11/16"	3	Q 3.00	Q 9.00
4.26	Contratuercas para perno de 5/8"	3	Q 1.60	Q 4.80
<b>Subtotal:</b>				Q 148.80
12	Poste de 9.00 metros	1	Q 650.00	Q 650.00
<b>Total:</b>				Q 798.80

<b>ESTRUCTURA TIPO II (Distribución secundaria 120/240 V)</b>				
Código	Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
3.15	Estribo para aisladores de carrete	3	Q 18.00	Q 54.00
4.95	Perno de máquina de 5/8" x 10"	3	Q 10.00	Q 30.00
3.1	Aislador de carrete clase ANSI 53-2	3	Q 15.00	Q 45.00
1.3	Alambre sólido de aluminio No. 6 AWG (metros)	6	Q 1.25	Q 7.50
4.1	Arandela de 2 1/4" x 2 1/4" x 3/16" agujero de 11/16"	3	Q 3.00	Q 9.00
2.19	Protector preformado corto No. 2 AWG	3	Q 40.00	Q 120.00
4.24.5	Conector de compresión C	3	Q 3.50	Q 10.50
4.26	Contratuercas para perno de 5/8"	3	Q 1.60	Q 4.80
<b>Subtotal:</b>				Q 280.80
12	Poste de 9.00 metros	1	Q 650.00	Q 650.00
<b>Total:</b>				Q 930.80

**ESTRUCTURA TIPO III (Distribución secundaria 120/240 V)**

Código	Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
3.15	Estribo para aisladores de carrete	3	Q 18.00	Q 54.00
4.95	Perno de máquina de 5/8" x 10"	3	Q 10.00	Q 30.00
3.1	Aislador de carrete clase ANSI 53-2	3	Q 15.00	Q 45.00
1.3	Alambre sólido de aluminio No. 6 AWG (metros)	3.3	Q 1.25	Q 4.13
4.1	Arandela de 2 1/4" x 2 1/4" x 3/16" agujero de 11/16"	3	Q 3.00	Q 9.00
2.19	Protector preformado corto No. 2 AWG	3	Q 40.00	Q 120.00
4.24.5	Conector de compresión C	3	Q 3.50	Q 10.50
4.26	Contratuerca para perno de 5/8"	3	Q 1.60	Q 4.80
		<b>Subtotal:</b>		Q 277.43
12	Poste de 9.00 metros	1	Q 650.00	Q 650.00
		<b>Total:</b>		Q 927.43

**ESTRUCTURA TIPO IV (Distribución secundaria 120/240 V)**

Código	Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
3.12	Bastidor para 3 aisladores de carrete	1	Q 90.00	Q 90.00
4.95	Perno de máquina de 5/8" x 10"	3	Q 10.00	Q 30.00
3.1	Aislador de carrete clase ANSI 53-2	3	Q 15.00	Q 45.00
4.1	Arandela de 2 1/4" x 2 1/4" x 3/16" agujero de 11/16"	3	Q 3.00	Q 9.00
2.27	Remate preformado para ACSR No. 2 AWG	3	Q 30.00	Q 90.00
4.24.5	Conector de compresión C	3	Q 3.50	Q 10.50
4.26	Contratuerca para perno de 5/8"	3	Q 1.60	Q 4.80
		<b>Subtotal:</b>		Q 279.30
12	Poste de 9.00 metros	1	Q 650.00	Q 650.00
		<b>Total:</b>		Q 929.30

**ESTRUCTURA TIPO VI (Distribución secundaria 120/240 V)**

Código	Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
3.12	Bastidor para 3 aisladores de carrete	1	Q 90.00	Q 90.00
4.95	Perno de máquina de 5/8" x 10"	3	Q 10.00	Q 30.00
3.1	Aislador de carrete clase ANSI 53-2	3	Q 15.00	Q 45.00
4.1	Arandela de 2 1/4" x 2 1/4" x 3/16" agujero de 11/16"	3	Q 3.00	Q 9.00
2.27	Remate preformado para ACSR No. 2 AWG	3	Q 30.00	Q 90.00
4.24.5	Conector de compresión C	3	Q 3.50	Q 10.50
4.26	Contratuerca para perno de 5/8"	3	Q 1.60	Q 4.80
		<b>Subtotal:</b>		Q 279.30
12	Poste de 9.00 metros	1	Q 650.00	Q 650.00
		<b>Total:</b>		Q 929.30

**RESUMEN DE MATERIALES EN EL TENDIDO ELECTRICO  
DE LA ALDEA SAN FRANCISCO DE LA CIUDAD DE  
JUTIAPA.**

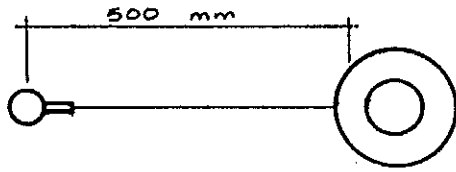
Codigo	Tipo de estructura:	Cantidad:												TOTAL	Precio Unitario	Precio Total (Q.)	Precio Total (\$)				
		TIPO I	TIPO II	TIPO III	TIPO IV	TIPO V	TIPO VI	TIPO VII	TIPO VIII	TIPO IX	TIPO X	TIPO XI	TIPO XII								
1.1	Cable de acero de 1/4" (metros)	2	10.5	3	10.5	2	10.5	21	10.5	1	10.5	3	1	10.5	3	1	10.5	136.5	Q 2.50	Q 341.25	\$ 56.88
1.3	Alambre soldado de aluminio No. 6 AWG (metros)	2.4	2.4	7.2	8.4	1				4.8	6	3						81.6	Q 1.25	Q 102.00	\$ 17.00
2.19	Protector preformado corto No. 2 AWG	1		1														11	Q 40.00	Q 440.00	\$ 73.33
2.2	Protector preformado largo No. 2 AWG	2	2															8	Q 35.00	Q 280.00	\$ 46.67
2.27	Remate preformado para cable de acero de 1/4"	2	2															34	Q 30.00	Q 1,020.00	\$ 170.00
2.35	Remate preformado para cable de acero de 1/4"	2	2															26	Q 20.00	Q 520.00	\$ 86.67
3.1	Aislador de carrete clase ANSI 53-2	1	1	4	4	1	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	76	Q 15.00	Q 1,140.00	\$ 190.00
3.12	Basidor para 3 aisladores de carrete	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9	Q 90.00	Q 810.00	\$ 135.00
3.15	Escribo para aisladores de carrete	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	49	Q 18.00	Q 882.00	\$ 147.00
3.22	Espiga para punta de poste de 18"	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	Q 45.00	Q 450.00	\$ 75.00
3.3	Aislador de espiga ANSI 55-4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	Q 29.00	Q 290.00	\$ 48.33
3.6	Aislador de suspensión ANSI 52-9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	18	Q 70.00	Q 1,260.00	\$ 210.00
4.1	Arandela de 2 1/4" x 2 1/4" x 3/16" agujero de 1 1/16"	2	2	5	5	2	2	4	2	3	3	3	3	3	3	3	3	92	Q 3.00	Q 276.00	\$ 46.00
4.132	Varilla para anclaje sencilla de 5/8" x 7'	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	13	Q 53.00	Q 689.00	\$ 114.83
4.14	Arandela de 4" x 4" x 1/2"	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	13	Q 4.00	Q 52.00	\$ 8.67
4.26	Contratuercas para perno de 5/8"	2	2	5	5	2	2	4	2	3	3	3	3	3	3	3	3	91	Q 1.60	Q 145.60	\$ 24.27
4.44	Grapa para suspensión de ángulo	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	Q 25.00	Q 50.00	\$ 8.33
4.67	Perno de máquina de 5/8" x 12"	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	24	Q 10.00	Q 240.00	\$ 40.00
4.95	Perno de máquina de 5/8" x 10"	1	1	4	4	1	6	5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	83	Q 10.00	Q 830.00	\$ 138.33
12	Poste de 10.67 metros	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	16	Q 900.00	Q 14,400.00	\$ 2,400.00
12	Poste de 9.00 metros	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9	Q 650.00	Q 5,850.00	\$ 975.00
4.24.5	Conector de compresión universal	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	6	Q 3.50	Q 21.00	\$ 3.50
4.24.5	Conector de compresión C	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	39	Q 3.50	Q 136.50	\$ 22.75
4.31.1	Fijador de ángulo	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	18	Q 10.00	Q 180.00	\$ 30.00
4.31.1	Guardacabo para cable de 1/4"	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	Q 25.00	Q 175.00	\$ 29.17
4.52.2	Guardacabo con accesorio elevis	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	7	Q 25.00	Q 175.00	\$ 29.17
4.52.2	Grillete de anclaje	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9	Q 50.00	Q 450.00	\$ 75.00
4.9.3	Ancla de concreto	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	13	Q 60.00	Q 780.00	\$ 130.00
<b>TOTAL: Q 31,830.35 \$ 6,305.06</b>																					

• AV = Alto Voltaje  
 \*\* AyBV = Alto y Bajo Voltaje  
 \*\*\* BV = Bajo Voltaje

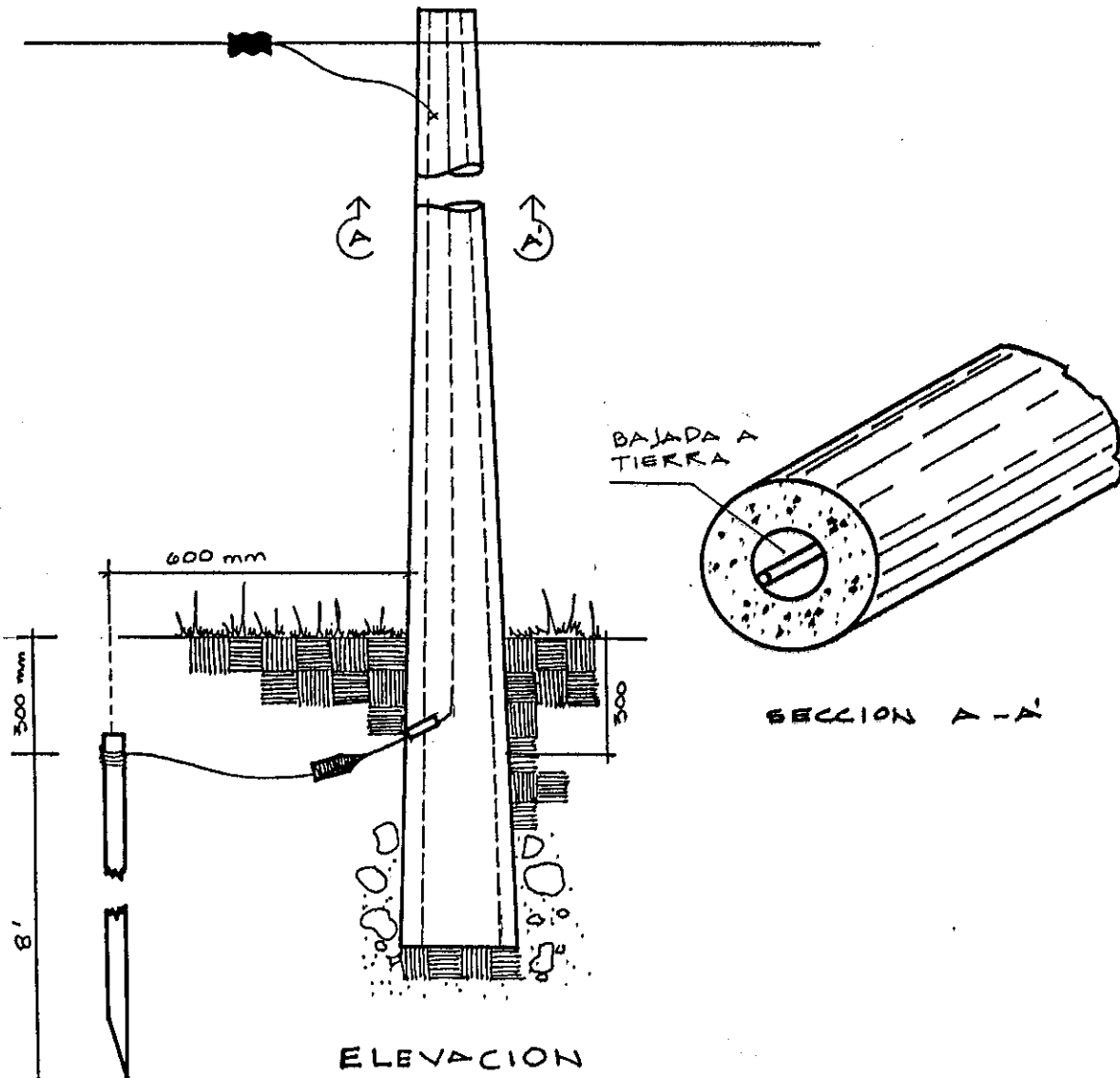


**APÉNDICE 4**  
Tipos de estructuras de líneas de distribución (7.62 kV),  
según nomenclatura INDE.

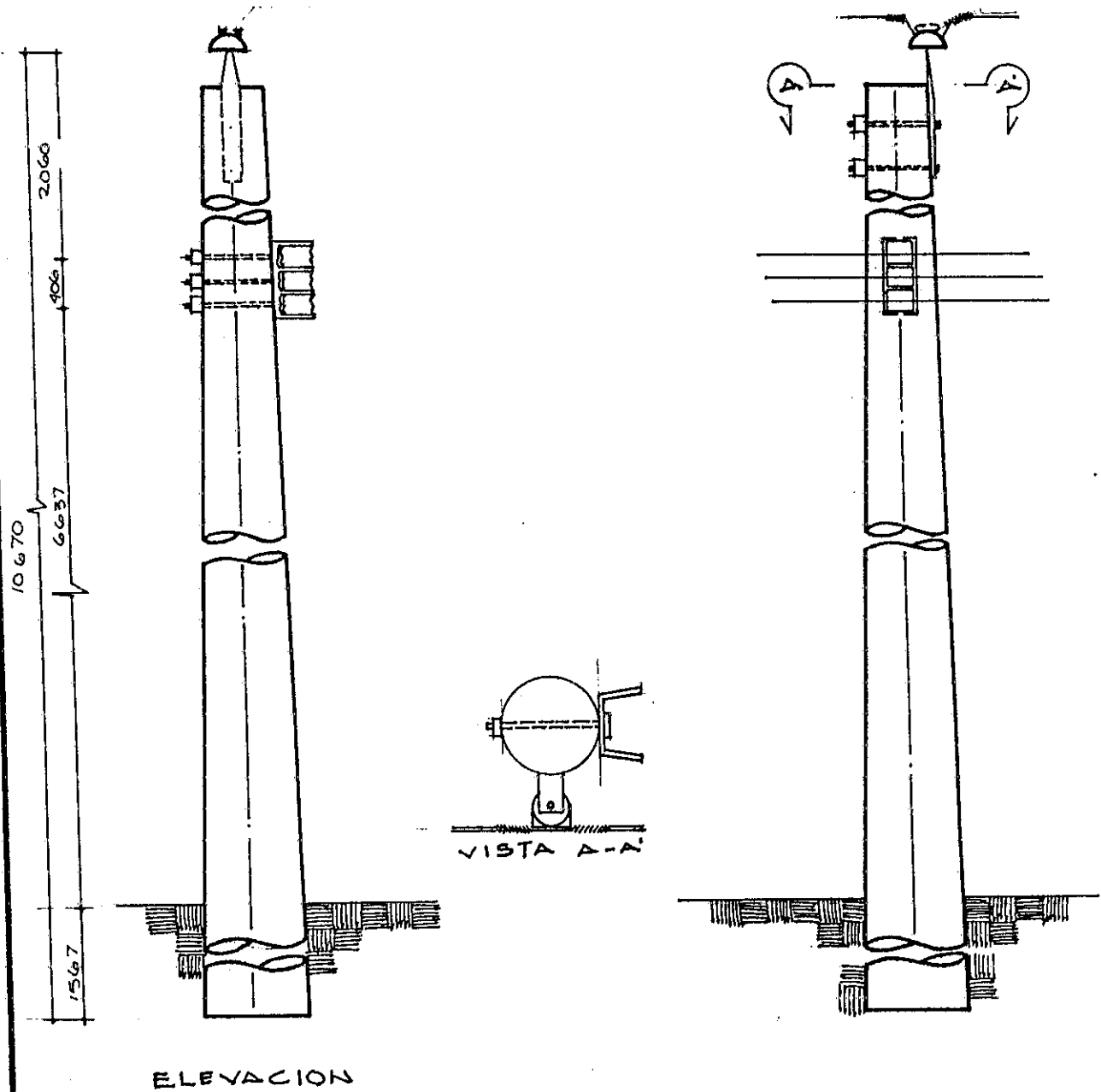




TIERRA FISICA.

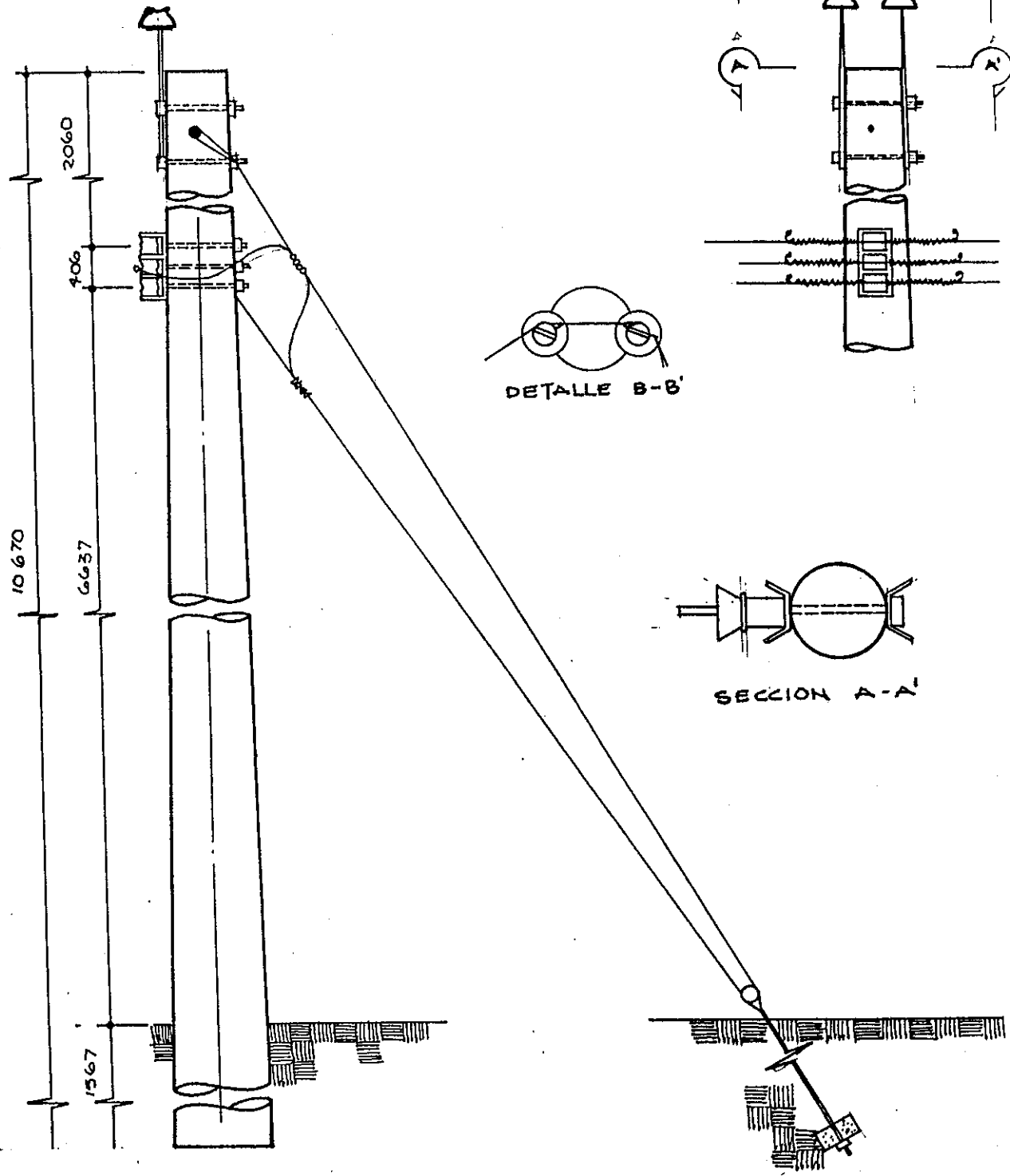


# ESTRUCTURA TIPO I.

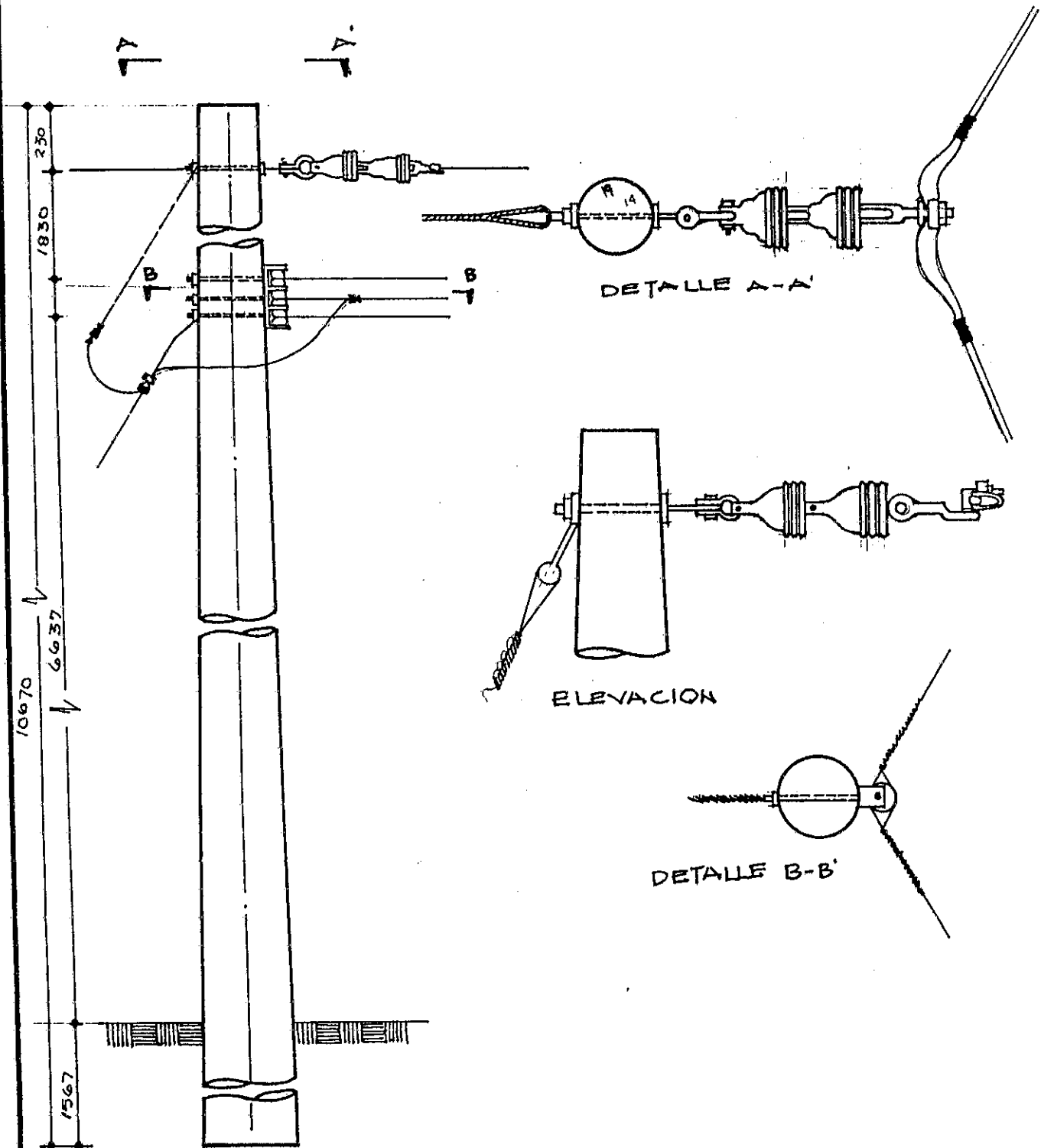




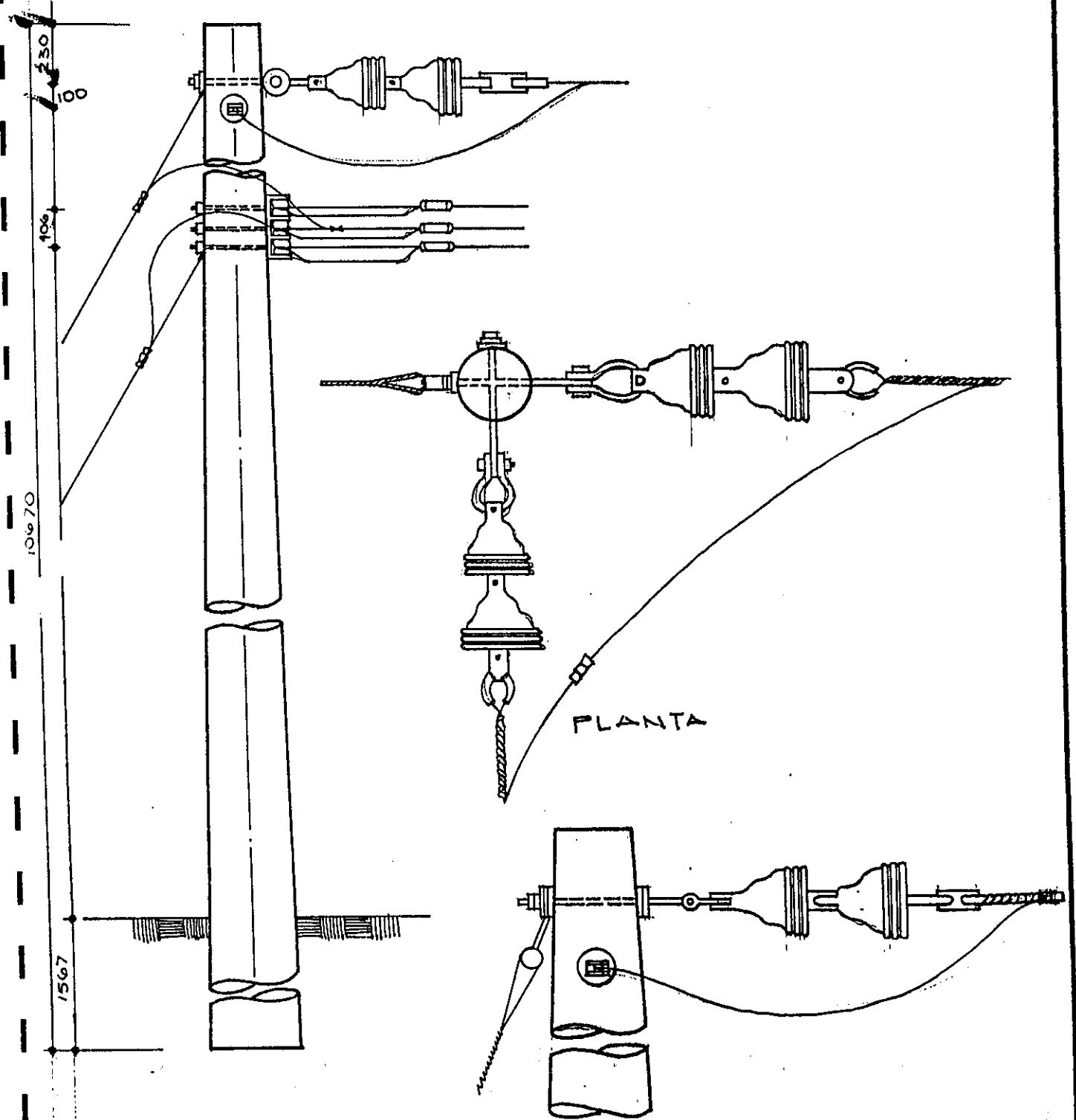
# ESTRUCTURA TIPO II.



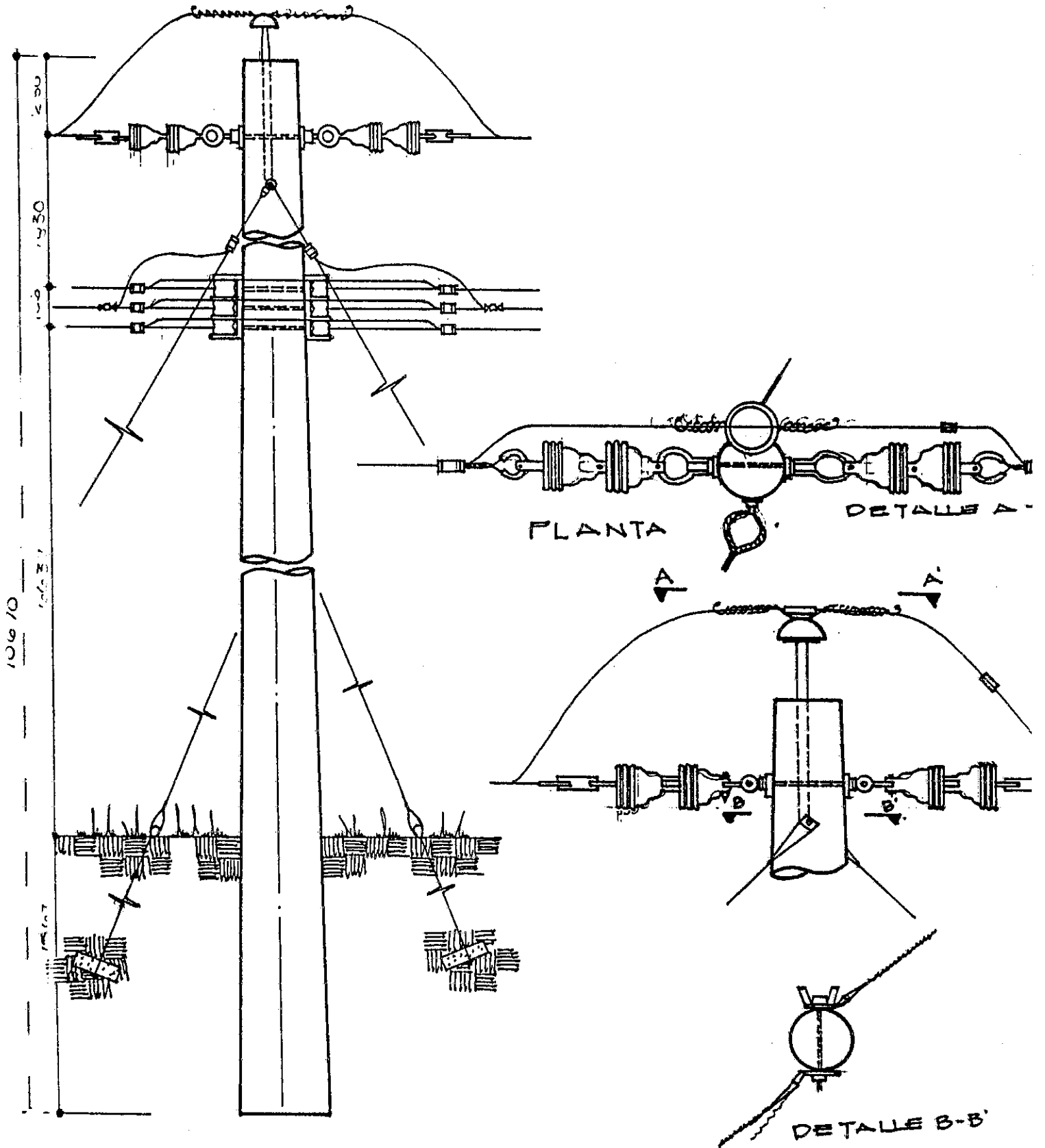
# ESTRUCTURA TIPO III.



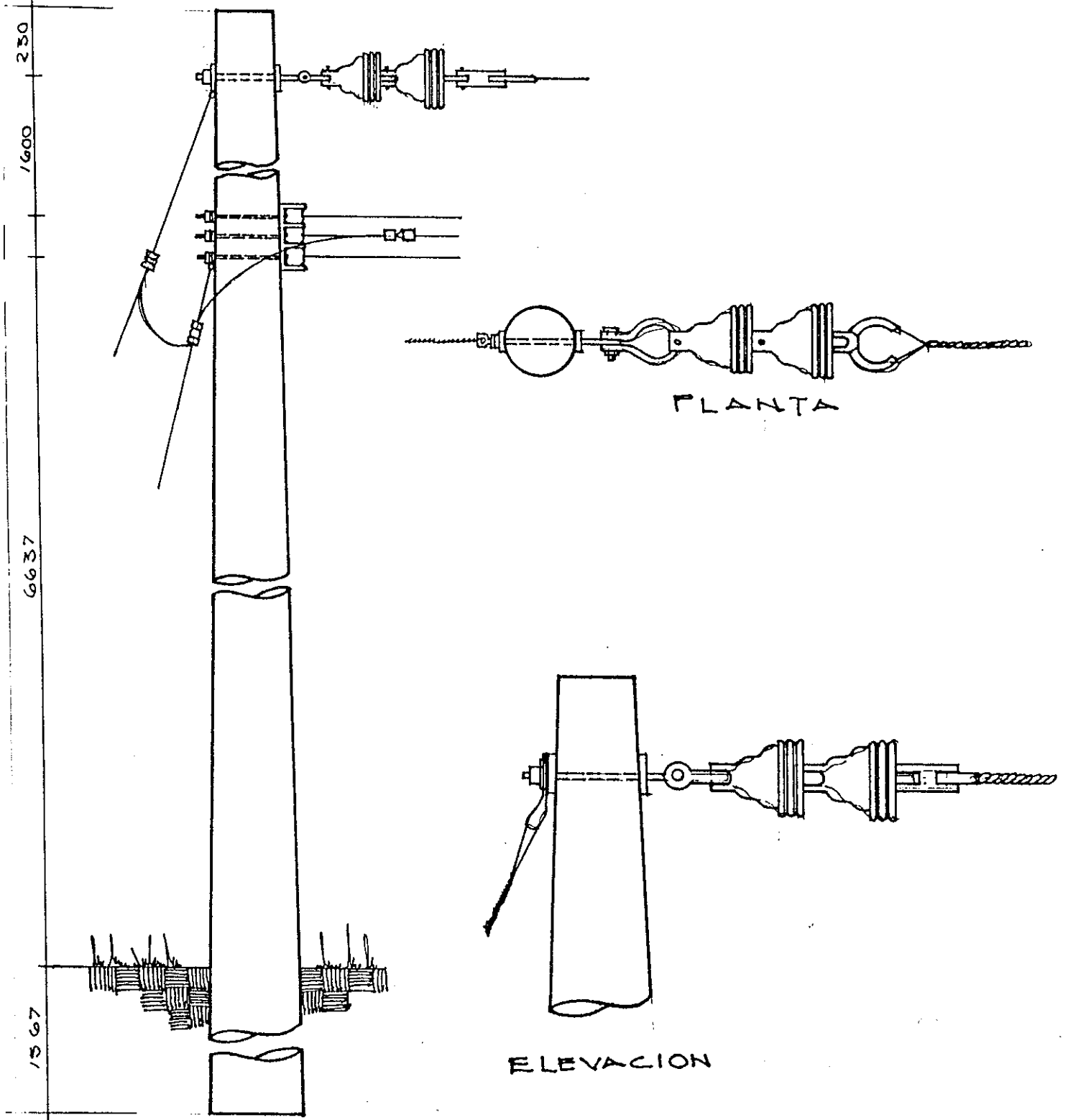
# ESTRUCTURA TIPO IV.

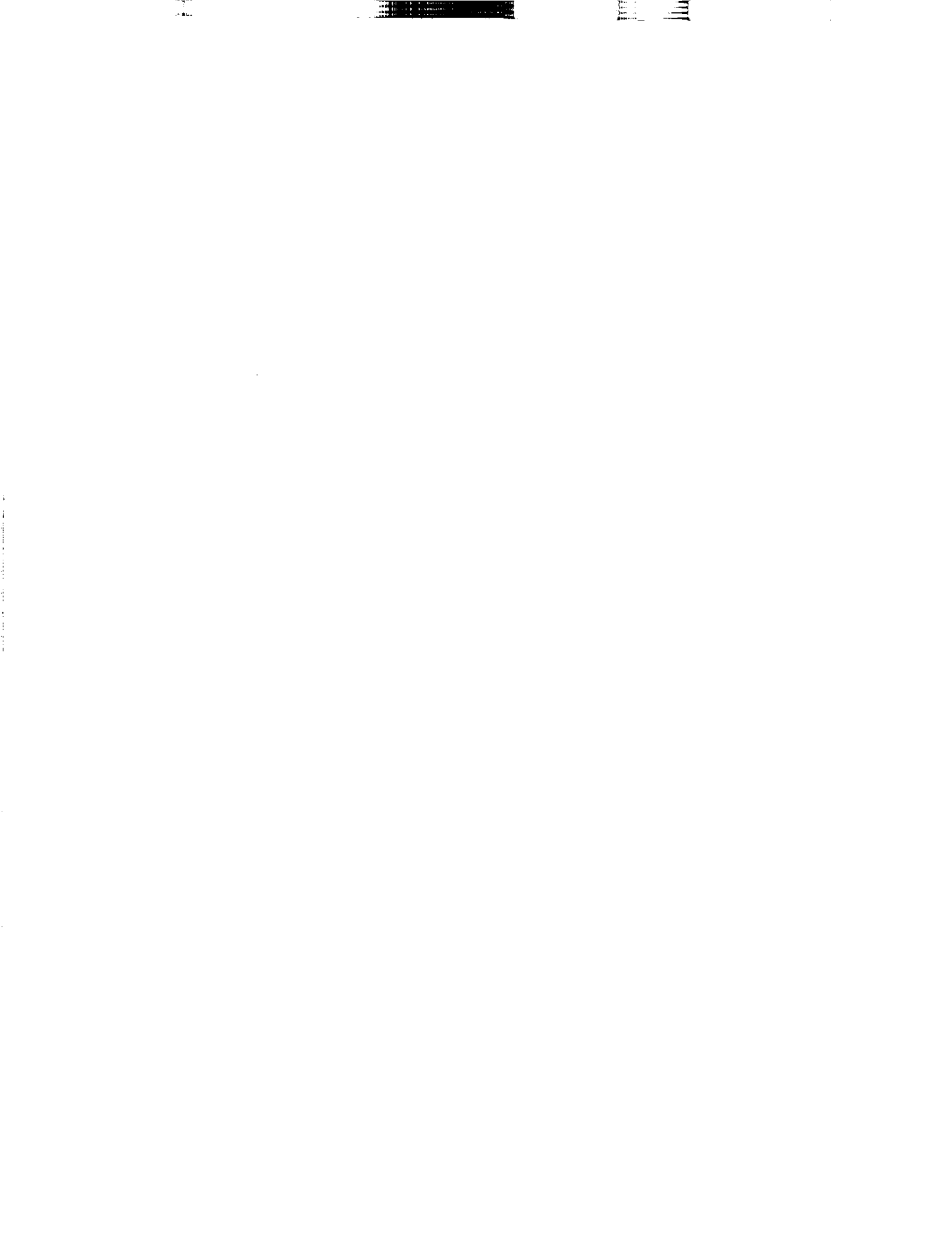


# ESTRUCTURA TIPO V.



# ESTRUCTURA TIPO VI.

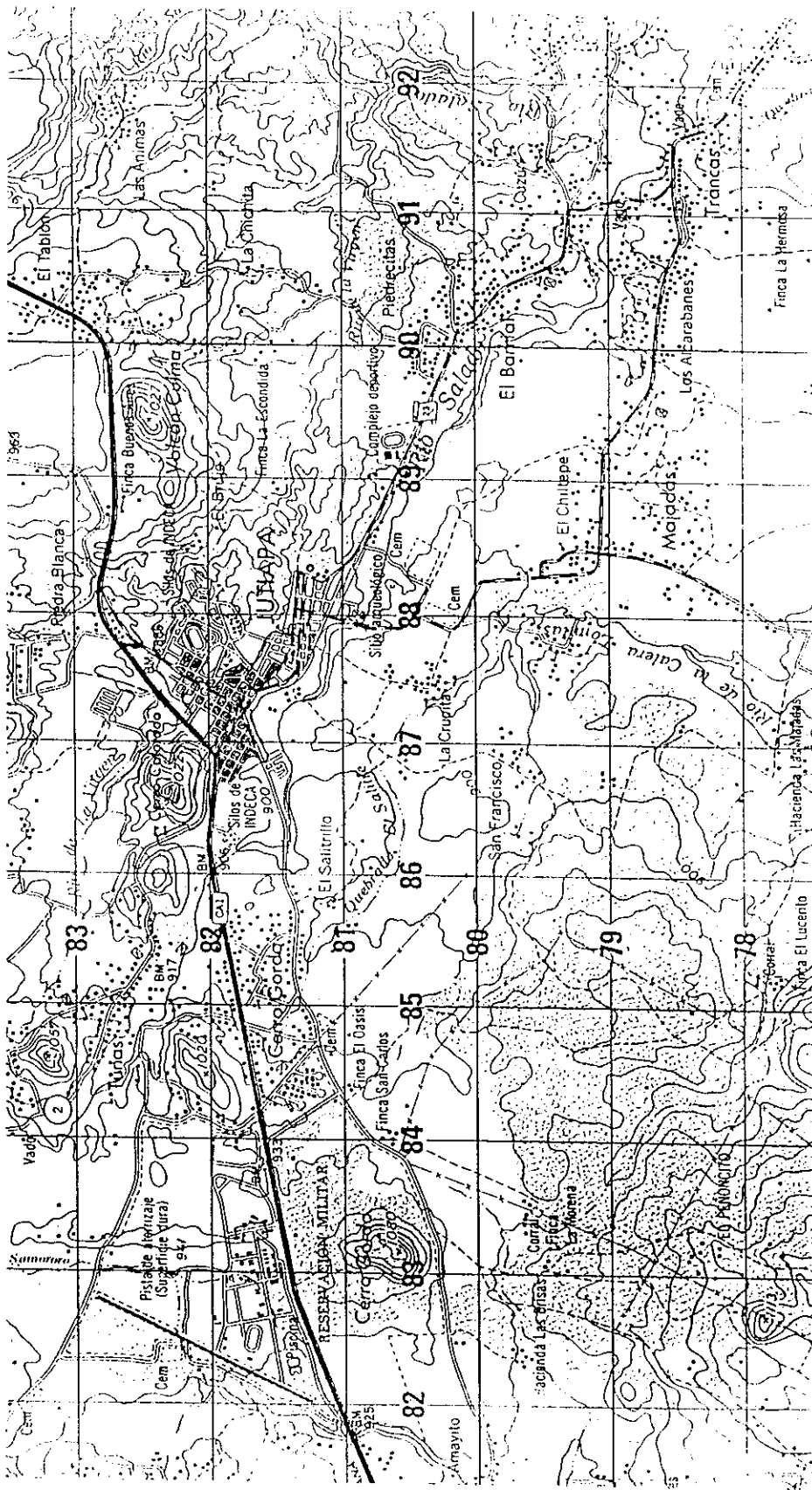


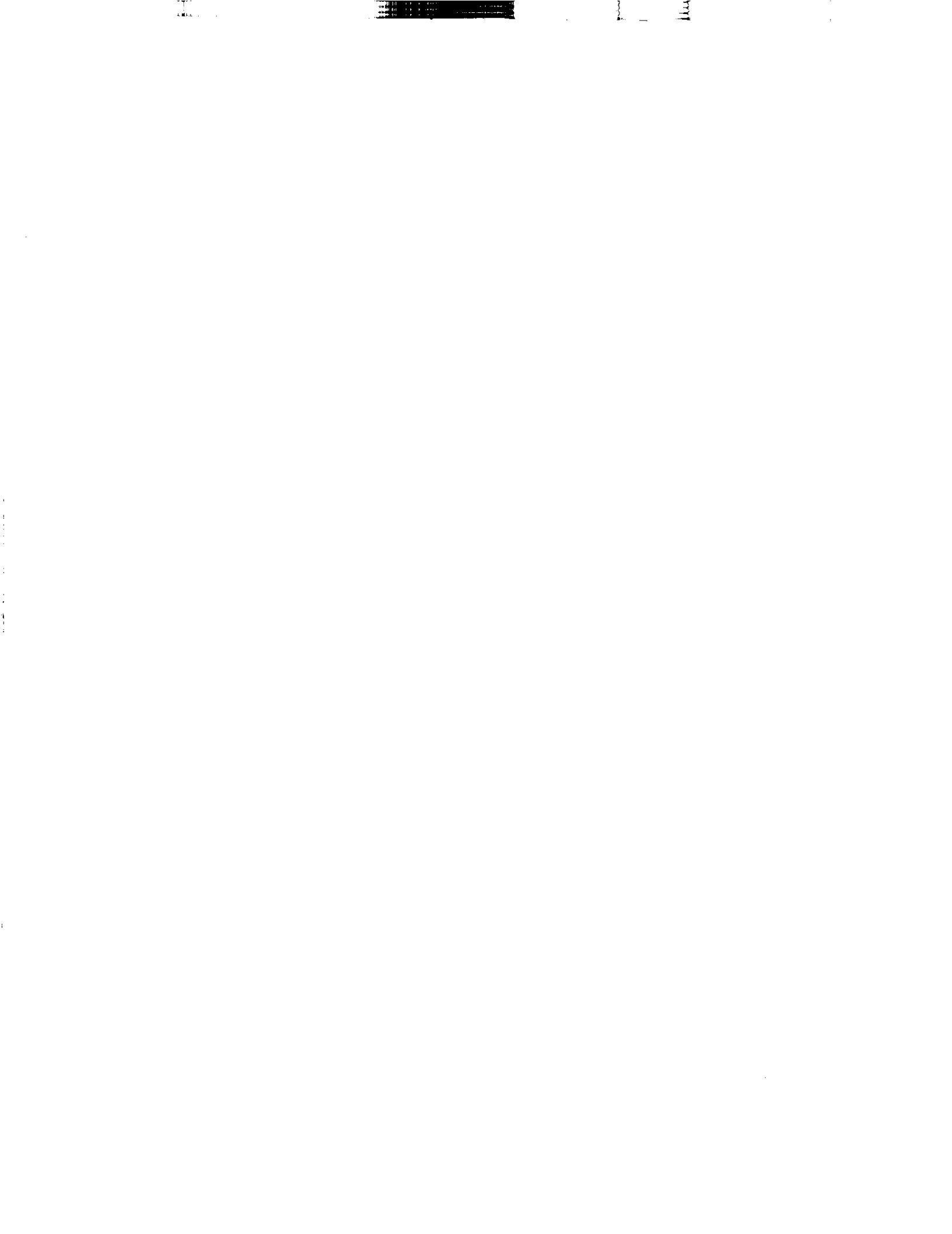


**APÉNDICE 5**  
Mapa de la ciudad de Jutiapa.



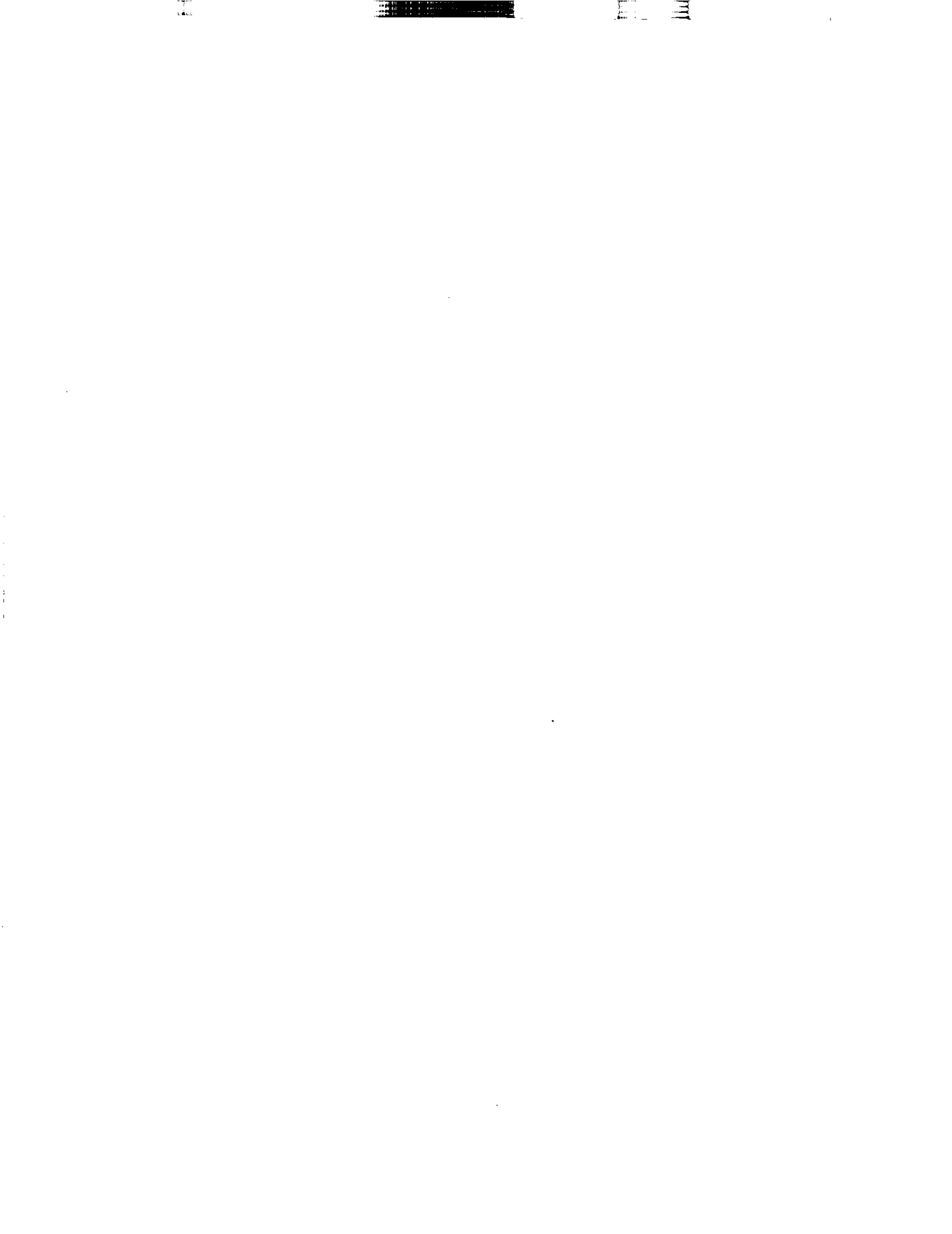






## **APÉNDICE 6**

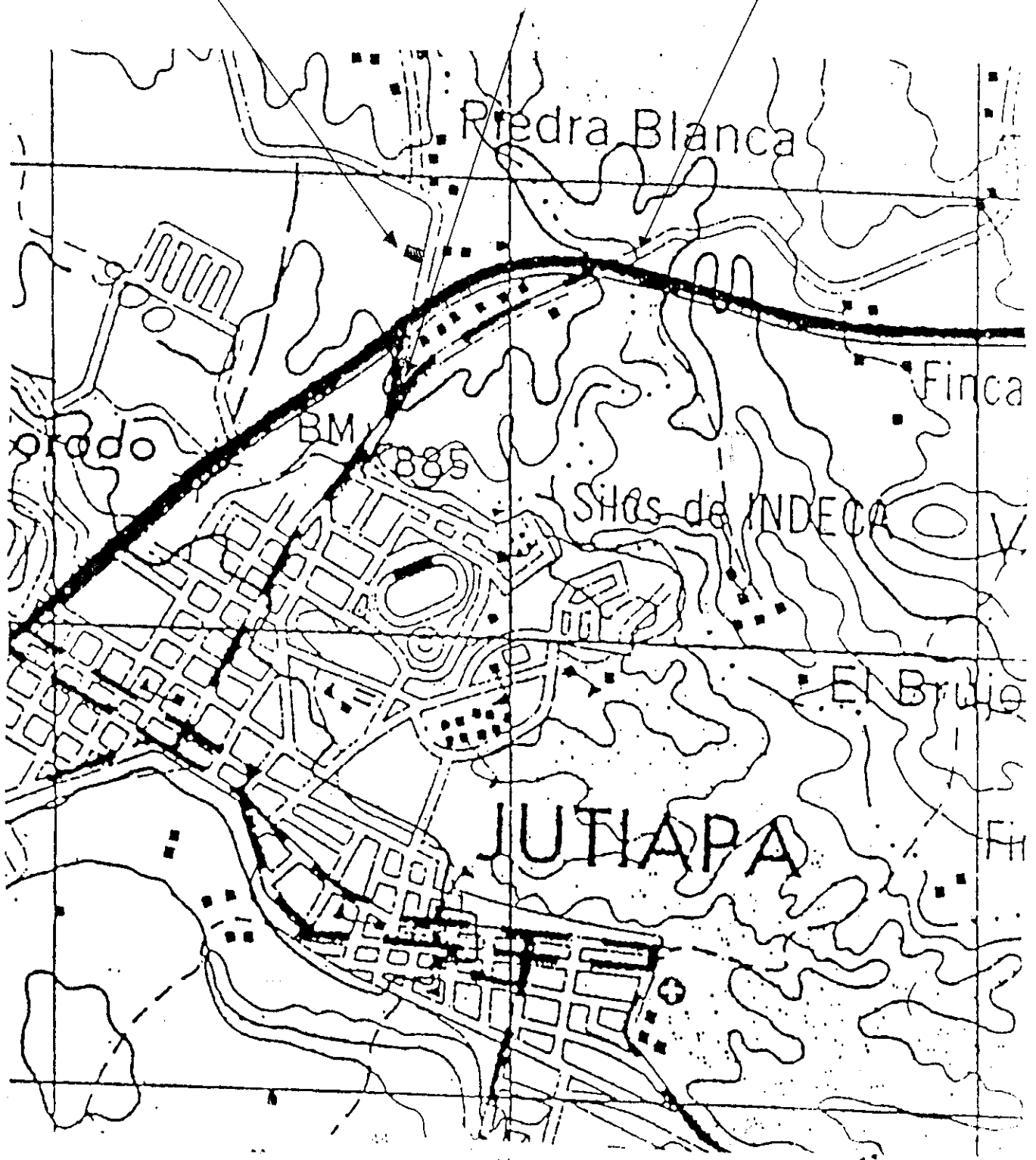
**Ubicación del terreno propuesto para la construcción  
de la subestación de la ciudad de Jutiapa.**

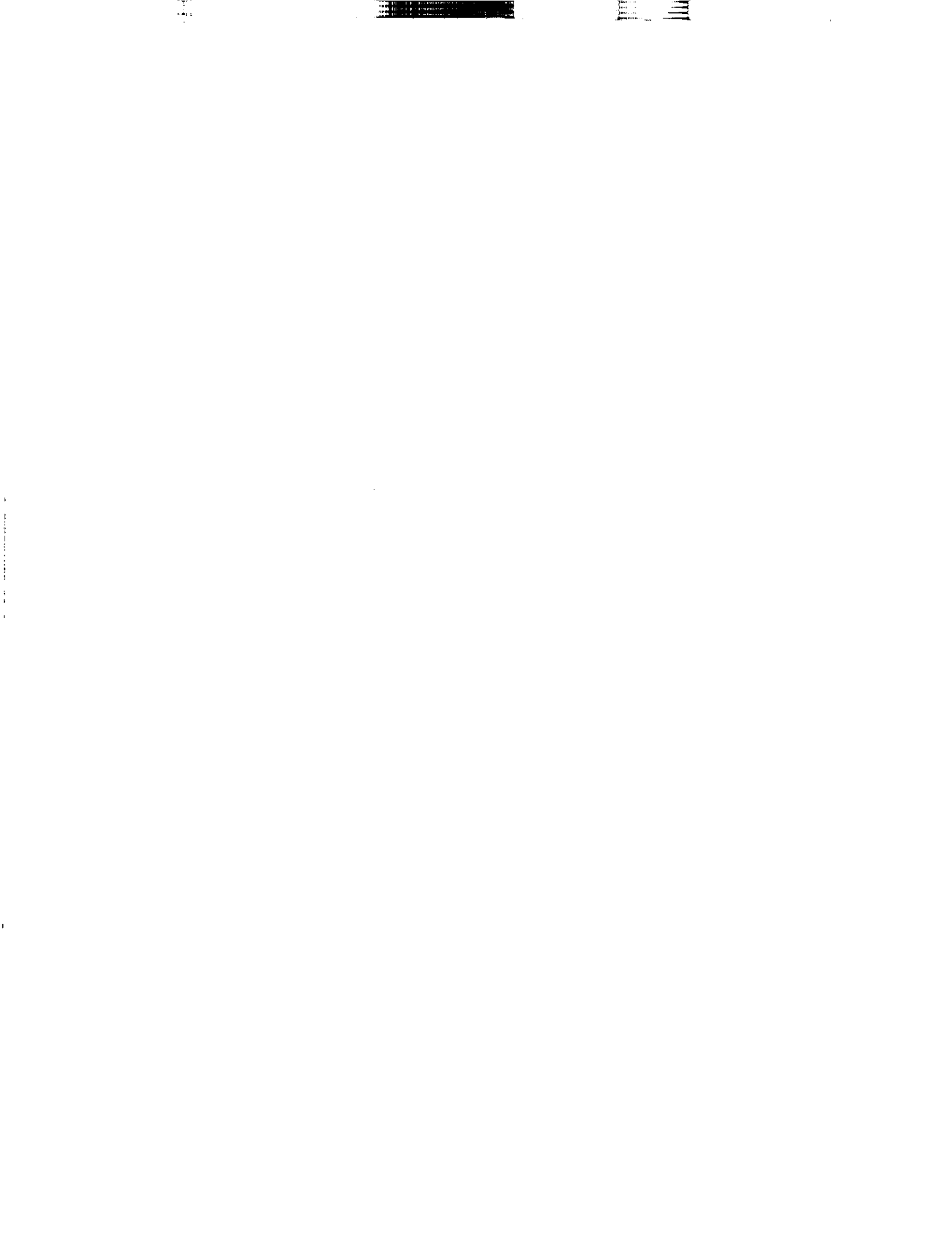


Terreno propuesto para la construcción de la subestación.

Punto para unir el tramo que sale de la subestación, con la línea de distribución de Jutiapa.

Ubicación del punto de alimentación actual de la red de distribución de Jutiapa.





**APÉNDICE 7**  
Ubicación de la aldea San Francisco, Jutiapa.





