

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **DISEÑO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN EN MEDIA TENSIÓN (12,47kV) DE LA CIUDAD SOCIALISTA CARIBIA**

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
por el Br. Blanco. C Carlos. A  
para optar el título de Ingeniero Electricista.

Caracas, 2011

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **DISEÑO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN EN MEDIA TENSIÓN (12,47kV) DE LA CIUDAD SOCIALISTA CARIBIA**

Prof. Guía: Ing. Nerio Ojeda.  
Tutor Industrial: Ing. Onex Arocha

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
por el Br. Blanco. C Carlos. A  
para optar el título de Ingeniero Electricista.

Caracas, 2011

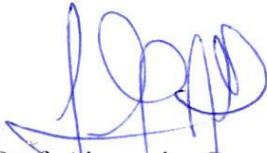
## CONSTANCIA DE APROBACIÓN

Caracas, 01 de diciembre de 2011

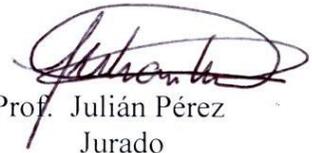
Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Eléctrica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Bachiller Carlos A. Blanco C., titulado:

### **DISEÑO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN EN MEDIA TENSIÓN (12,47kV) DE LA CIUDAD SOCIALISTA CARIBIA**

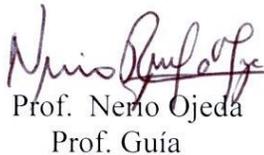
Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Electricista en la mención de Potencia, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.



Prof. Alexander Cepeda  
Jurado



Prof. Julián Pérez  
Jurado



Prof. Nerio Ojeda  
Prof. Guía

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mi hermosa familia.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a mis padres y hermanos por haberme brindado un apoyo incondicional.

A la Universidad Central de Venezuela, que me abrió sus puertas.

A todas las personas de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la U.C.V

A los Ingenieros Miguel Ereu y Onex Arocha quienes hicieron posible la realización de este trabajo

A los señores Vicente Diez y Luis Ortiz por su incondicional apoyo

A la Unidad de Planificación de Distribución de la EDC, en especial a los Ing.: Alexis Suárez, Carmen Quintero, Gabriela Rodríguez, Moisés Marcano, por haberme permitido realizar mi TEG en dicho departamento y ayudarme siempre que lo necesité,

A mis amigos.

**Blanco. C. Carlos. A.**

## **DISEÑO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN EN MEDIA TENSIÓN (12,47kV) DE LA CIUDAD SOCIALISTA CARIBIA**

**Prof. Guía: Nerio Ojeda. Tutor Industrial: Ing. Onex Arocha. Tesis. Caracas. U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Eléctrica. Ingeniero Electricista. Opción: Potencia. Institución: CORPOELEC. 2011. 100h+anexos**

**Palabras claves:** Red de distribución; Circuitos Eléctricos; Demanda Eléctrica; Interconexión

**Resumen.** Plantea el diseño de la red de distribución de media tensión (12,47kV) de la Ciudad Socialista Caribia ubicada en el sector Camino de Los Indios, en paralelo a la autopista Caracas-La Guaira, Estado Vargas. El estudio consistió en el diseño de los circuitos de distribución que proporcionarán el servicio eléctrico a la ciudad en cuestión. Para tal fin fue necesario estimar la demanda eléctrica, realizar estudios y evaluaciones para determinar el tipo de red a diseñar, número de circuitos, ruta de los mismos y el esquema de servicio empleado, esto ajustado a los criterios de diseño y planificación vigentes hasta la fecha de la C.A La Electricidad de Caracas (filial de CORPOELEC), correspondientes a la capacidad nominal y emergencia de los conductores, recuperación de las cargas en caso de fallas, seccionamiento e interconexión entre otras. Finalmente se plantea el diseño de 12 circuitos de distribución de los cuales 7 son residenciales, 3 industriales y 2 comerciales.

# ÍNDICE GENERAL

<b>CONSTANCIA DE APROBACIÓN</b> .....	<b>iii</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>iv</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>v</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>vi</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>xiii</b>
<b>LISTA DE TABLAS</b> .....	<b>xiv</b>
<b>ACRÓNIMOS</b> .....	<b>xv</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>3</b>
<b>1. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	<b>3</b>
1.1 Descripción de la Empresa Electricidad de Caracas .....	3
1.1.1 Objetivos de la Vicepresidencia de distribución de la empresa.....	4
1.1.2 Actividades y objetivos del equipo de planificación .....	5
1.2 Planteamiento del problema .....	6
1.3 Justificación del proyecto .....	7
1.4 Objetivo General .....	8
1.5 Objetivos Específicos .....	8
1.6 Antecedentes .....	9
1.7 Alcance del proyecto .....	11
1.8 Limitaciones del proyecto. ....	11

<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>12</b>
<b>2. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL .....</b>	<b>12</b>
2.1 Carga instalada .....	12
2.2 Demanda.....	12
2.2.1 Densidad de carga.....	12
2.2.2 Demanda máxima .....	13
2.2.3 Demanda máxima diversificada promedio .....	13
2.2.4 Factor de utilización. ....	13
2.2.5 Factor de demanda. ....	14
2.2.6 Factor de carga .....	14
2.3 Características de la carga .....	14
2.3.1 Área típica de carga. ....	15
2.3.2 Clasificación de las áreas típicas de carga. ....	15
2.3.3 Cargas industriales. ....	15
2.3.4 Cargas comerciales. ....	16
2.3.5 Cargas urbanas y residenciales .....	16
2.3.6 Cargas rurales .....	16
2.4 Clasificación de las cargas de acuerdo a la confiabilidad según Castaño S. [4]	17
2.4.1 Cargas de primera categoría .....	17
2.4.2 Cargas de segunda categoría.....	17
2.4.3 Cargas de tercera categoría .....	17
2.5 Factor de potencia .....	18
2.6 Sistemas de distribución de energía eléctrica. ....	18
2.7 Clasificación de los sistemas de distribución en media tensión.....	19

2.7.1 Líneas Aéreas.....	19
2.7.2 Líneas subterráneas.....	20
2.7.3 Líneas mixtas.....	21
2.8 Criterios básicos de diseño de redes de distribución utilizados por la EDC. ....	21
2.8.1 Seguridad.....	22
2.8.2 Calidad del servicio.....	22
2.8.3 Confiabilidad.....	23
2.8.4 Economía.....	23
2.8.5 Fiabilidad.....	24
2.8.6 Reservas.....	24
2.8.7 Operación y Mantenimiento.....	25
2.8.8 Accesibilidad y simplicidad de operación.....	25
2.9 Criterio de capacidad de diseño de los conductores de distribución.....	26
2.9.1 Capacidad de emergencia o sobrecarga.....	26
2.10 Criterio de pérdidas técnicas.....	27
2.11 Tensiones normalizadas en el sistema de distribución de la EDC. ....	27
2.12 Criterio de caída de tensión máxima.....	29
2.13 Calibres de conductores normalizados para media tensión.....	29
2.14 Esquemas de servicios normalizados.....	30
2.15 Criterios de seccionamiento.....	32
2.15.1 Segmentación en líneas aéreas.....	33
2.15.2 Interconexión en líneas aéreas.....	33
2.15.3 Salida de Subestaciones de líneas aéreas.....	34
2.15.4 Indicadores de Falla (IF) en líneas aéreas.....	34

2.16 Programas utilizados por La EDC para realizar simulaciones .....	35
2.16.1 Análisis de Sistemas Primarios (ASP).....	35
2.16.2 PSS/ADEPT.....	37
2.16.3 Microstation .....	37
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>38</b>
<b>3. METODOLOGÍA .....</b>	<b>38</b>
3.1 Estimación de la demanda eléctrica de Ciudad Caribia. ....	39
3.1.1 Demanda de sectores vecinales.....	39
3.1.2 Demanda para el centro de la ciudad. ....	41
3.1.3 Demanda de áreas deportivas. ....	42
3.1.4 Demanda de Parques y Zonas Verdes.....	44
3.1.5 Demanda Sector Agrícola. ....	44
3.1.6 Demanda estimada sector industrial. ....	45
3.1.7 Demanda de servicios existentes en la ciudad. ....	45
3.1.8 Demanda total de ciudad Caribia.....	46
3.2 Ubicación del centro de carga. ....	46
3.3 Determinación del tipo de red de distribución a construir (subterránea, aérea o mixta) y estudio de ruta para la misma.....	47
3.4 Diseño de la red de distribución. ....	48
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>50</b>
<b>4. RESULTADOS.....</b>	<b>50</b>
4.1 Demanda Eléctrica.....	50
4.1.1 Demanda Residencial .....	50
4.1.2 Demanda Comercial Centro de la Ciudad .....	51

4.1.3 Demanda Sector Salud Centro de la Ciudad.....	52
4.1.4 Demanda Residencial Centro de la Ciudad .....	53
4.1.5 Demanda de Alumbrado Público Centro de la Ciudad.....	53
4.1.6 Demanda de áreas deportivas. ....	53
4.1.7 Demanda de Parques y Zonas Verdes.....	54
4.1.8 Demanda Sector Agrícola.....	55
Para la demanda de vivienda agrícola se emplearon las normas de ingeniería y diseño de La EDC, estimación de cargas residenciales .....	55
4.1.9 Demanda sector industrial. ....	55
4.1.10 Demanda de Servicios existentes en la ciudad. ....	58
4.1.11 Demanda total de ciudad Caribia.....	58
4.2 Ubicación del centro de carga. ....	59
4.3 Tipo de red de distribución a diseñar .....	60
4.3.1 Opción Subterránea.....	61
4.3.2 Opción Aérea. ....	62
4.4 Esquemas de servicio a construir en Ciudad Caribia .....	63
4.4.1 Número de circuitos de la red de distribución. ....	63
4.4.2 Cálculo de los conductores de la ruta troncal de los circuitos. ....	65
4.4.2 Selección de transformadores de distribución y seccionadores a utilizar en el proyecto.....	72
4.4.3 Simulación de los circuitos .....	72
4.4.4 Interconexiones entre los circuitos. ....	79
<b>CAPÍTULO V .....</b>	<b>82</b>
<b>5. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS .....</b>	<b>82</b>

5.1 Demanda estimada .....	82
5.2 Centro de carga y tipo de red a diseñar .....	83
5.3 Esquemas de servicios y número de circuitos .....	83
5.4 Diseño de los circuitos .....	84
<b>CONCLUSIONES RECOMENDACIONES.....</b>	<b>87</b>
6.1 Conclusiones .....	87
6.2 Recomendaciones .....	89
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>90</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>92</b>
<b>GLOSARIO .....</b>	<b>93</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Esquema de alimentación del desarrollo urbanístico Ciudad Caribia .....	10
Figura 2.1.Sistema de distribución.....	19
Figura 2.2. Arreglo Típico de un Esquema Primario Radial con Interconexión.....	31
Figura 2.3. Arreglo Típico Esquema Primario Simple .....	32
Figura 4.1.Ubicacion del centro de carga en el plano general .....	60
Figura 4.2. Conexión subterránea entre sectores. ....	71
Figura 4.3.Caida de tensión en circuitos .....	74
Figura 4.4.Porcentaje de emergencia por circuito.....	75
Figura 4.5. Porcentaje de pérdidas por circuitos. ....	75
Figura 4.6.Factor de utilización de cada circuito .....	76
Figura 4.7. Esquema de salida de subestación. ....	76
Figura 4.8.Longitud del troncal de los circuitos Caribia.....	77
Figura 4.9. Salida de los circuitos de la subestación.....	79
Figura 4.10.Interconexiones entre circuitos. ....	81

## LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1. Tensiones Normalizadas Superiores a 1000 V (Media Tensión).....	28
Tabla 2.2. Caída de tensión máxima permitida.....	29
Tabla 2.3. Calibres de conductores normalizados para media tensión .....	29
Tabla 4.1. Demanda de sectores vecinales .....	50
Tabla 4.2. Demanda diversificada comercial del centro de la ciudad.....	52
Tabla 4.3. Demanda diversificada sector salud centro de la ciudad .....	52
Tabla 4.4. Demanda residencial centro de la ciudad.....	53
Tabla 4.5 Demanda de alumbrado público centro de la ciudad .....	53
Tabla 4.6. Demanda diversificada de áreas deportivas de Ciudad Caribia.....	54
Tabla 4.7 Demanda de parques y zonas verdes de la ciudad .....	54
Tabla 4.8. Demanda del sector agrícola de la ciudad.....	55
Tabla 4.9. Índices de demanda de industrias.....	56
Tabla 4.10. Demanda del sector industrial de Ciudad Caribia.....	57
Tabla 4.11. Demanda de servicios existentes en la ciudad .....	58
Tabla 4.12. Demanda total por sectores de Ciudad Caribia.....	58
Tabla 4.13. Coordenadas del centro de carga .....	59
Tabla 4.14. Costo estimado de instalación 100m subterráneos .....	61
Tabla 4.15. Costo estimado de instalación 100m Aéreos .....	62
Tabla 4.16. Numero de circuitos de la red de distribución .....	64
Tabla 4.17 Factores de carga, potencia y perdidas asignados a los circuitos.....	67
Tabla 4.18. Calibre de conductores troncales para circuitos.....	69
Tabla 4.19. Calibre de conductores ramales menores a 150m.....	70
Tabla 4.20. Calibre de conductores ramales mayores a 150m.....	71
Tabla 4.21 Resultados de las simulaciones de los circuitos Caribia.....	73
Tabla 4.22. Materiales que lleva cada circuito.....	78
Tabla 4.23. Interconexiones entre circuitos .....	80

## ACRÓNIMOS

**EDC:** Electricidad de Caracas

**PRO:** Propatria

**SCADA:** Supervisory Control and Data Acquisition

**ASP:** Análisis de Sistemas Primarios

**PLT:** Polietileno

**kcmil:** Mil circular mil

**Pu:** Por Unidad

**CE:** Capacidad de Emergencia

**CN:** Capacidad Nominal

**CCO:** Centro de Control de Operaciones

**PRS:** Primario Radial Simple

**PRI:** Primario Radial con Interconexión

**CEN:** Código Eléctrico Nacional

**CDI:** Centro Diagnostico Integral

**A/A:** Aire Acondicionado

**AP:** Alumbrado Público

**DR:** Demanda Residencial

**SV:** Sector Vecinal

**FU:** Factor de Utilización

**FC:** Factor de Carga

**AWG:** American Wire Gauge

**S/E:** Subestación Eléctrica

## INTRODUCCIÓN

La Corporación Eléctrica Nacional (CORPOELEC), es la empresa de servicio eléctrico del estado venezolano que se encarga de las actividades de generación, transmisión, distribución y atención al usuario a nivel nacional. El objetivo de esta empresa es reorganizar el sector eléctrico y maximizar la eficiencia en el uso de las fuentes primarias de energía. La compañía anónima Electricidad de Caracas (La EDC), es una de las empresas que conforman CORPOELEC. La EDC ha sido la compañía encargada de suministrar energía eléctrica a la ciudad de Caracas y sus alrededores durante más de un siglo.

El acelerado crecimiento de la población venezolana, ha generado un importante déficit de viviendas en el país, especialmente en las grandes ciudades donde se concentra la mayor parte de la población. Por tal motivo el estado ha decidido crear un plan de viviendas (Misión Vivienda) a nivel nacional, que permita satisfacer la demanda habitacional y proporcionar una mejor calidad de vida a los venezolanos. Uno de los proyectos habitacionales más importantes es la construcción de la Ciudad Socialista Caribia, ubicada en el sector Camino de Los Indios, en paralelo a la autopista Caracas-La Guaira, parroquia El Junko, municipio Vargas, estado Vargas. Dicha ciudad estaría concebida para dar solución habitacional a unas 20 mil familias venezolanas, las cuales tendrán (dentro de la ciudad) atención médica, aéreas de recreación, colegios y otros servicios. Además de eso el complejo urbanístico contará con un importante desarrollo industrial, agrícola y comercial.

CORPOELEC (a través de La EDC), es la compañía encargada de la electrificación de la Ciudad Socialista Caribia. Uno de los proyectos que la empresa debe realizar es la construcción de la red de distribución en media tensión (12,47kV).

El presente trabajo de grado tiene como objetivo fundamental la planificación y el diseño de la red de distribución en media tensión de la Ciudad Socialista Caribia.

Para el diseño se realizaron estudios de las características de las cargas, estimaciones de demanda, estudios de rutas y ubicación del centro de carga simulaciones y construcción de los planos de operación de cada uno de los circuitos que conformarán la red de distribución.

Este trabajo está conformado por cinco (5) capítulos:

Capítulo I: Se presenta la descripción de la empresa, planteamiento del problema, objetivos generales y específicos, justificación, antecedentes, alcance y limitaciones.

Capítulo II: Se presenta el marco teórico referencial con el cual se fundamenta el trabajo.

Capítulo III: Se presenta la metodología aplicada para dar solución al problema planteado.

Capítulo IV: Se presentan los resultados del desarrollo del proyecto.

Capítulo V: Se analizan los resultados obtenidos.

# CAPÍTULO I

## DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA Y PLENTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1 Descripción de la Empresa Electricidad de Caracas [7]

La Electricidad de Caracas fue fundada el día 27 de Noviembre de 1895 por el ingeniero Ricardo Zuloaga en una finca de su propiedad llamada “El Encantado”, en la cual construyó la primera estación hidroeléctrica del país en el curso del Río Guaire, cerca de Santa Lucía, y la misma transmitió electricidad a distancia hacia una ciudad de 72,500 habitantes con una potencia de 420kW, generada por 2 plantas. En la actualidad la empresa cuenta con más de un millón de clientes y cuatro millones y medio de usuarios, y una capacidad nominal de operación de 2316MW.

La Electricidad de Caracas y sus empresas filiales: Luz Eléctrica de Venezuela (CALEV), La Electricidad de Guarenas y Guatire (ELEGGUA) y Luz Eléctrica del Yaracuy (CALEY), suministran energía eléctrica a la Ciudad de Caracas, incluyendo el estado Vargas, Guarenas, Guatire, Los Teques, el Municipio Tovar del estado Aragua y a la ciudad de San Felipe y sus alrededores en el Estado Yaracuy.

Para las distintas áreas de operación, la EDC y sus empresas filiales, utilizan diferentes niveles de tensión: Generación (11,5kV y 13,8kV), Transmisión (69kV y 230kV), Sub-Transmisión (30kV y 69kV) y Distribución (4,8kV; 8,3kV y 12,47kV).

A través de la Vicepresidencia de Distribución, La Electricidad de Caracas tiene el objetivo de brindar el servicio de distribución de energía eléctrica de la manera más confiable y óptima posible a todos sus usuarios. Actualmente la zona de mayor consumo que registra la empresa corresponde a la zona metropolitana de Caracas la cual se encuentra seccionada en tres grandes regiones: Región Centro con 26 subestaciones de distribución, Región Este con 29 subestaciones de distribución y la Región Oeste con 22 subestaciones de distribución. Para el caso de la zona Metropolitana de Caracas, cada división de la empresa asociada a las regiones descritas debe garantizar la ejecución de las siguientes actividades:

- Operación y mantenimiento de la red de distribución eléctrica.
- Mantenimiento del alumbrado público de las vías.
- Diseño y construcción de proyectos eléctricos para los clientes.
- Ejecución de los proyectos de adecuación.
- Expansión y mejora en la red y en el servicio prestado.
- Solución de averías y reclamos de servicio.
- Servicio completo del área comercial.

#### 1.1.1 Objetivos de la Vicepresidencia de distribución de la empresa

La Electricidad de Caracas a través de su Vicepresidencia de Distribución cumple con los objetivos siguientes:

- Auditar los procesos.
- Incrementar los ingresos.
- Garantizar una operación rentable bajo la nueva regulación y normativa interna.
- Lograr un alto grado de satisfacción en el cliente.

- Mejorar el desempeño mediante el uso de las mejores prácticas, la medición de resultados y la promoción de logros.
- Optimizar los activos.
- Optimizar los recursos financieros.
- Reducir las pérdidas técnicas y no técnicas.
- Reducir los accidentes laborales tanto para el personal fijo como para contratistas y terceros.

#### 1.1.2 Actividades y objetivos del equipo de planificación

- Coordinar y consolidar los estudios de planificación a corto, mediano y largo plazo, realizados por cada una de las regiones y velar por su realización periódica.
- Apoyar técnicamente a cada una de las regiones de operación y mantenimiento en la realización de los estudios de planificación a corto y mediano plazo.
- Coordinar la actualización y unificación de la plataforma informática (Hardware y Software) requerida en todas las regiones para realizar los estudios de planificación.
- Mantener actualizados y unificados los procedimientos, métodos y criterios técnicos usados por cada región para realizar los estudios de Planificación de Distribución.
- Velar por un diseño que maximice la utilización del equipamiento y establezca una expansión ordenada y oportuna.
- Asignar prioridades en los proyectos especiales que involucran a todas las regiones y velar por su ejecución.
- Elaborar planes de trabajo periódicos, especificando: alcance, tiempo, recursos y costos, en conjunto con todas las regiones.

- Preparar anualmente el Plan de Adecuación y Expansión Consolidado del Sistema de Distribución.
- Preparar anualmente el Plan de Inversiones Consolidado del Sistema de Distribución.
- Detectar requerimientos de normalización de nuevas tecnologías, criterios y procedimientos compartidos por las regiones de distribución.
- Solicitar al Comité de Normalización la elaboración de normas, criterios y procedimientos que satisfagan las necesidades de la Planificación de Distribución.
- Detectar y solucionar necesidades de entrenamiento en el área de Planificación.

## **1.2 Planteamiento del problema**

La Ciudad Socialista Caribia albergará en sus instalaciones unas 20 mil familias venezolanas (100.000 habitantes). Esto representa la construcción de una ciudad de gran tamaño y por lo tanto debe contar con servicios de atención médica, aéreas de recreación, educación y otros servicios esenciales para el desarrollo de las actividades humanas. Otro factor importante es que en el complejo urbanístico se realizará un desarrollo industrial y agropecuario que permitirá el desarrollo económico autosustentable de la zona.

Ciudad Caribia se encuentra ubicada en el sector Camino de Los Indios, en paralelo a la autopista Caracas-La Guaira, parroquia El Junko, municipio Vargas, estado Vargas. En dicho lugar sólo existe una línea de distribución que fue construida para dar servicio eléctrico a la primera etapa del desarrollo. La energía eléctrica es imprescindible para el desarrollo de las actividades realizadas por el hombre. Dadas las dimensiones que tendrá la ciudad se estima que la misma demandará una gran cantidad de energía eléctrica. De tal manera que surge la necesidad de planificar y

diseñar un sistema eléctrico confiable, flexible y seguro que cubra todas las necesidades eléctricas de la ciudad. En la planificación está contemplada una red de distribución de media tensión (12,47kV) que permita llevar la energía a las diferentes zonas del complejo urbanístico y, de esta manera, brindar a los usuarios una mejor calidad de vida.

En el presente trabajo de grado se realizará fundamentalmente la planificación y el diseño de los circuitos que conformarán la red de distribución en media tensión, de tal manera que cumpla con todos los requerimientos técnicos establecidos en las normas y se adapte a las condiciones ambientales y necesidades de dicha ciudad.

### **1.3 Justificación del proyecto**

Una adecuada planificación y construcción de la red de distribución permitirá distribuir la energía eléctrica de una forma más eficiente y segura a los distintos clientes, además brindará un servicio eléctrico confiable y de calidad.

Un desarrollo habitacional tan importante como éste necesita de un suministro eléctrico firme, que pueda satisfacer las necesidades existentes de la zona y aportar energía a otras localidades cercanas o que se desarrollen a futuro.

Por otra parte, los desarrollos industriales y agrícolas que se realizarán tendrán un aporte significativo en el crecimiento económico de la región. Otro punto, muy importante, es la construcción de la subestación, la cual está íntimamente vinculada con este proyecto de distribución. Dicha subestación será interconectada con otras subestaciones, de tal manera que el sistema sea más confiable y flexible.

La planificación y diseño de la red de distribución servirá como insumo para dimensionar la subestación que será construida.

#### **1.4 Objetivo General**

Diseñar la red de distribución en 12,47kV de la Ciudad Socialista Caribia.

#### **1.5 Objetivos Específicos**

- a) Revisar la normativa de CORPOELEC para el diseño de redes de distribución en media tensión.
- b) Revisar planos, documentación existente de parcelación, red vial, servicios previstos, ubicación y características de las cargas.
- c) Estimar la demanda eléctrica de la Ciudad Socialista Caribia, a corto y mediano plazo (5 a 10 años).
- d) Ubicar el centro de carga de acuerdo a las características y ubicación de las mismas.
- e) Realizar un estudio técnico-económico para determinar el tipo (aérea, subterránea o mixta) de red que mejor se adapte a las condiciones ambientales y necesidades de la ciudad.
- f) Realizar un estudio técnico-económico de las posibles rutas para la red de distribución.

- g) Elaborar el proyecto de red la de distribución que cumpla con las normas correspondientes.

## **1.6 Antecedentes**

Para la primera etapa de la ciudad (año 2008-2009) se construyó un circuito (Propatria B02) de distribución desde la subestación Propatria hasta Ciudad Caribia el cual aporta unos 3MVA para dar servicio eléctrico al primer lote de viviendas, sistema de bombeo de agua potable y a los procesos de construcción que se llevarían en la zona.

Una vez que sea construida la red de distribución, el circuito Propatria B02 será interconectado con la misma para así darle más confiabilidad y robustez al sistema eléctrico.

Paralelamente, a mediados del año 2008 la unidad de planificación de la EDC elaboró un estudio para llevar la alimentación hasta la subestación que sería construida en Ciudad Caribia. El estudio consistió en analizar y definir la factibilidad y el esquema de alimentación de la carga asociada al desarrollo urbanístico. La base de potencia en la cual se fundamentó el estudio fue de 100 MVA para alimentar las áreas a desarrollar. La energía sería transmitida desde la subestación Arrecife 69kV.

Del estudio se obtuvo que era factible la alimentación de la futura subestación Caribia. La propuesta de alimentación, según el estudio realizado es la que se indica en la figura 1.1.

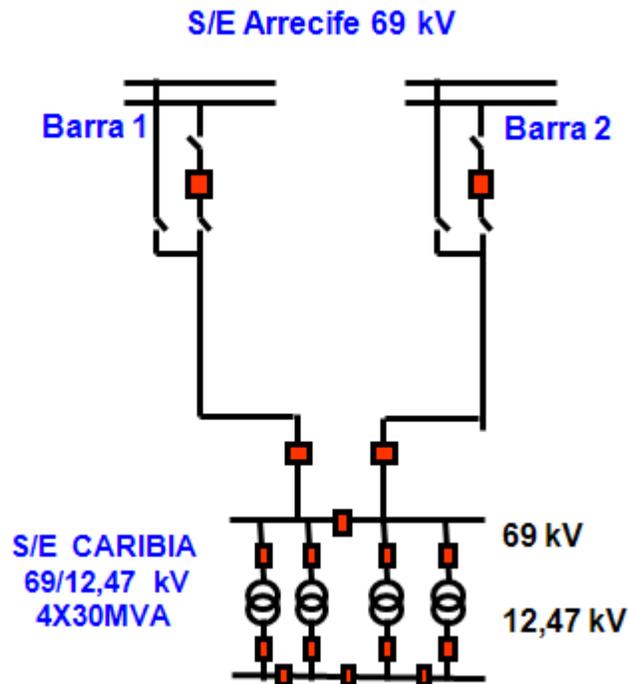


Figura 1.1 Esquema de alimentación del desarrollo urbanístico Ciudad Caribia

En la figura 1.1 se plantea el esquema de alimentación desde la S/E Arrecife en 69kV con disponibilidad en las barras # 1 y 2, y con una línea de dos circuitos alimentadores en 69 kV (ASCR 1272 AL) de aproximadamente 10 km, hasta la nueva S/E Caribia 69/12,47 kV. En esta nueva S/E se instalarían cuatro (4) unidades de 30MVA, 69/12,47kV con las celdas de interruptores asociadas. [14]

Los resultados obtenidos en el estudio son de mucha importancia para la planificación y diseño de la red de distribución Caribia ya que el mismo permite tener el número máximo de unidades que tendrá la subestación y la capacidad de las mismas.

Por otra parte a mediados del año 2010 la unidad de planificación de distribución de la EDC, realizó un estudio para ubicar el centro de carga de Ciudad Caribia. En ese estudio fue estimada la demanda eléctrica para cada uno de los

sectores que poseería la ciudad. La demanda total estimada fue de 49.398,35kVA. Con ese resultado se tiene una referencia para comparar los resultados de demanda obtenidos en la realización de este proyecto. [15]

### **1.7 Alcance del proyecto**

En este proyecto se realizará la planificación y diseño de la red de media tensión de Ciudad Caribia. Se estimará la demanda eléctrica de la ciudad, se diseñaran los circuitos y se elaborarán los planos de operación de cada uno de ellos ubicando los diferentes puntos de interconexión y seccionamiento. Se ubicarán los puntos de transformación de forma tentativa en las áreas a atender.

En este proyecto no se abarca el diseño y la coordinación de las protecciones eléctricas de la red ni la ingeniería de detalle y constructiva de la misma, esto debido a que aún la ciudad se encuentra en fase de planificación y no se posee información suficiente para profundizar más en el estudio.

### **1.8 Limitaciones del proyecto.**

Dado a que aún no está construida la subestación eléctrica de Ciudad Caribia ni se posee información sobre las características técnicas y de funcionamiento de la misma, en el desarrollo de este trabajo no se pudo elaborar el cálculo de cortocircuito ni la coordinación de las protecciones eléctricas de las líneas, debido a que no se conocían los niveles de cortocircuito de las barras ni las especificaciones técnicas de los equipos a utilizar.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

A continuación se presentan una serie de conceptos y definiciones que serán de utilidad para la comprensión del tema que se desarrollará en este trabajo.

#### 2.1 Carga instalada

La carga instalada en una instalación eléctrica es la suma de las potencias nominales de los aparatos y equipos que se encuentran conectados a la instalación por lo general dicha carga se expresa en kVA ó MVA. [1]

#### 2.2 Demanda

La demanda eléctrica es la potencia que consume una carga. La demanda eléctrica se mide en intervalos de tiempo (15 minutos, 1 hora), la misma puede ser expresada en kW o kVA, o kiloamperes a un factor de potencia determinado. [1]

##### 2.2.1 Densidad de carga

Es la relación que existe entre la carga instalada y la longitud o el área de la zona considerada, puede ser expresada en kVA/m ó kVA/m<sup>2</sup>. [1]

### 2.2.2 Demanda máxima

Para el óptimo diseño y planeación de un sistema es necesario determinar la demanda máxima a la cual estará sometido el mismo.

Para el caso de un suscriptor o consumidor la demanda definida en un intervalo de 24 horas presenta un comportamiento tendencial y estacional, en tal caso la demanda máxima vendrá dada por el valor más elevado en dicho intervalo.

Para el caso de un conjunto de cargas la demanda máxima será igual al valor más elevado que experimenta la demanda combinada del conjunto en un intervalo respectivo. En este caso también es denominada “demanda máxima coincidente”. [2]

### 2.2.3 Demanda máxima diversificada promedio

Se define como el cociente entre la demanda máxima de un sistema entre el número de elementos que lo constituyen. [1]

### 2.2.4 Factor de utilización. [5]

Es la relación entre la demanda máxima y la capacidad nominal del equipo individual o sistema.

$$FU = \frac{Dm_{\max_{\text{equipo}}}}{Pn_{\text{equipo}}} * 100 \quad (2.1)$$

Donde:

$Dm_{\max_{\text{equipo}}}$ : Es la demanda máxima del equipo

$Pn_{equipo}$ : Potencia nominal del equipo

#### 2.2.5 Factor de demanda. [5]

Es la relación entre la demanda máxima a la carga conectada en un sistema, entendiéndose por carga conectada la capacidad de régimen en placa de los aparatos receptores de corriente.

$$FD = \frac{D_{m\acute{a}x}}{CargaConectada} \quad (2.2)$$

#### 2.2.6 Factor de carga [5]

En un ciclo cualquiera es la relación de la demanda promedio a la máxima.

$$FC = \frac{D_{prom}}{D_{m\acute{a}x}} \quad (2.3)$$

### 2.3 Características de la carga

Cuando se planea o se quiere diseñar un sistema de distribución de energía eléctrica es de suma importancia tener en cuenta las características de las cargas a ser alimentadas, esto con el fin de establecer los criterios de diseño que mejor se adapten a los distintos requerimientos de las mismas. Los siguientes conceptos proporcionan información importante para comprender las características de la carga.

### 2.3.1 Área típica de carga. [1]

Se entenderá como área típica de carga a una porción de una población que presentan las mismas características en cuanto a construcciones, nivel económico y tipos de actividades que desarrollan. Las áreas típicas de carga permiten a los planeadores de sistemas de distribución obtener buenas aproximaciones en la estimación de la demanda y así normalizar las soluciones de tipo técnico.

### 2.3.2 Clasificación de las áreas típicas de carga.

Dependiendo de las características de las cargas y el uso las mismas se pueden clasificar en cuatro grupos: cargas industriales, cargas comerciales, cargas urbanas y residenciales, y por último las cargas rurales.

### 2.3.3 Cargas industriales. [3]

Estos sistemas alimentan grandes consumidores de energía eléctrica como plantas petroquímicas, de acero, de papel y otros procesos industriales similares. Con frecuencia el consumo de energía de estas industrias equivale al de una pequeña ciudad, generando ellas mismas, en algunas ocasiones, parte de la energía que consumen por medio de sus procesos de vapor, gas o diesel, según el caso. La red de alimentación y la estructura de la misma deben contar con las posibilidades de interconexión con la red o sistema de potencia, ya que esto determinará la confiabilidad del consumidor, que en este caso es muy importante debido al alto costo que significa una interrupción de energía.

#### 2.3.4 Cargas comerciales. [3]

Estos sistemas son los que se desarrollan para grandes complejos comerciales o municipales como rascacielos, bancos, supermercados, escuelas, aeropuertos, hospitales, puertos marítimos, etc. Este tipo de sistema posee sus propias características por el tipo de demanda de energía que tiene con respecto a la seguridad tanto de las personas como de los inmuebles.

#### 2.3.5 Cargas urbanas y residenciales

Estos sistemas por lo general son también responsabilidad directa de las compañías suministradoras de energía eléctrica, y consisten en la mayoría de los casos en grandes redes de cables subterráneos o aéreos desarrollados en zonas densamente pobladas.

En grandes centros urbanos las cargas con frecuencia son considerables, aunque nunca comparables con las cargas industriales. Por otra parte, en zonas residenciales las cargas son ligeras y sus curvas de carga muy diferentes a las de las zonas urbanas comerciales o mixtas; por lo tanto, las estructuras de alimentación para estas zonas son distintas y los criterios con los que se debe diseñar son exclusivos para este tipo de cargas. [3]

#### 2.3.6 Cargas rurales

Esta área es la que tiene la densidad de carga más baja de las mencionadas y por ello requiere soluciones especiales que incluyan tanto las estructuras como los equipos. Las grandes distancias y las cargas tan pequeñas representan un costo por

kWh muy elevado, por lo que en muchas zonas es preferible generar la energía localmente cuando menos al inicio del servicio en tanto crecen las redes. [3]

## **2.4 Clasificación de las cargas de acuerdo a la confiabilidad según Castaño S. [4]**

### 2.4.1 Cargas de primera categoría

Son aquellas cargas donde una corta interrupción, menor a 5 minutos del servicio eléctrico causa enormes daños y pérdidas a los usuarios. Dichas cargas deben poseer sistemas alternos de alimentación y plantas auxiliares. Ejemplo de este tipo de cargas son: centros médicos e industrias.

### 2.4.2 Cargas de segunda categoría

Son todas aquellas en que una corta interrupción del servicio eléctrico no genera daños a los equipos conectados al sistema. Generalmente pertenecen a este grupo las industrias medianas que no poseen procesos de fabricación complicados. Se genera un simple paro del personal solamente.

### 2.4.3 cargas de tercera categoría

Corresponde a los consumidores que pueden tener interrupción del servicio eléctrico hasta por un tiempo de cinco horas (al mes) sin causar daños significativos a los equipos. En esta categoría se encuentran los usuarios residenciales, pequeñas fábricas y los usuarios rurales.

## **2.5 Factor de potencia [4]**

Es la relación entre la potencia activa y la potencia aparente determinada en el sistema o en sus componentes.

La incidencia más importante del factor de potencia es en el porcentaje de pérdidas y en la regulación de voltaje y por lo tanto, en la calidad y economía del servicio eléctrico.

Según Castaño, S. en su libro de Redes de distribución de energía, para sistemas de distribución se fija un valor mínimo de 0.9 para el factor de potencia. En el caso de tener valores inferiores a este se deberá corregir ese factor por parte de los usuarios o por parte de la empresa electrificadora.

## **2.6 Sistemas de distribución de energía eléctrica. [1]**

Los sistemas de distribución de la energía eléctrica son aquellos que se encargan de suministrar la energía al consumidor, haciendo la transferencia desde los sistemas de transmisión y subtransmisión. El sistema de distribución se divide en dos partes: redes de media tensión, que son las que operan a tensiones menores o iguales a 34.5kV y redes de baja tensión, que son las que operan a tensiones menores o iguales a 1000V.

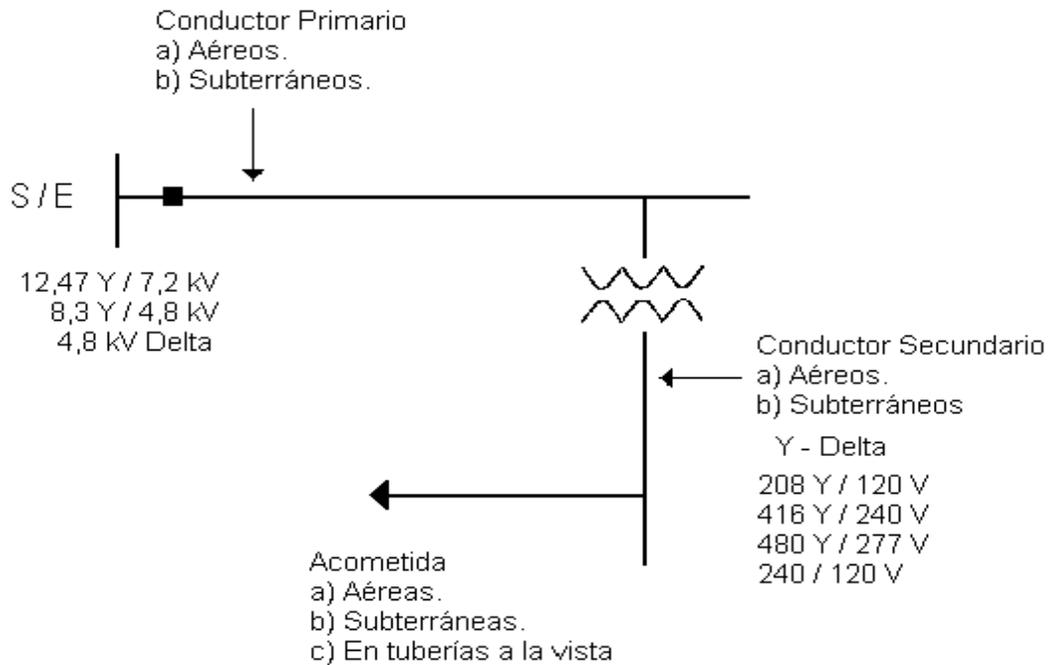


Figura 2.1.Sistema de distribución

## 2.7 Clasificación de los sistemas de distribución en media tensión. [4]

Básicamente los sistemas de distribución de la energía eléctrica se clasifican en tres tipos:

- Líneas Aéreas.
- Líneas subterráneas.
- Líneas mixtas (algunos tramos aéreos y otros subterráneos).

### 2.7.1 Líneas Aéreas.

Son aquellas en donde los conductores van instalados por encima del nivel del suelo. Para mantener los conductores a la distancia mínima especificada en el

reglamento, se utilizan apoyos, pudiendo ser estos de acero, hormigón o madera. Sobre estos apoyos se colocarán otros soportes denominados crucetas, en posición horizontal, donde se montarán los diferentes herrajes y piezas que han de sostener y aislar al cable.

Los conductores de las redes aéreas pueden ser de dos tipos, desnudos o aislados, desnudos cuando el conductor es metálico en su parte exterior y no lleva ningún material aislante, y aislado aquel que posee una cubierta exterior que protege de posibles descargas por contacto. La elección del tipo de conductor vendrá condicionada por el tipo de instalación.

A su vez los conductores pueden disponerse en red tensada o en red posada. Las líneas aéreas poseen la ventaja de que el importe inicial por montaje y los gastos de mantenimiento son muy inferiores a los de las líneas subterráneas, pero poseen como inconveniente el riesgo de electrocución de personas y animales al tratarse de conductores sin aislamiento y del impacto ambiental y visual que produce al discurrir tanto por medios urbanos como por zonas forestales o agrícolas.

#### 2.7.2 Líneas subterráneas.

Son aquellas en las que el conductor va situado por debajo del nivel del suelo. Sus costes de instalación y mantenimiento son superiores a los de las líneas aéreas, dado que es necesario ejecutar la construcción de zanjas, señalización, conductores especiales, sin embargo presentan la ventaja de que es menos peligroso y no rompe la armonía del espacio donde discurre la línea. Dadas estas características la instalación de líneas subterráneas se reserva para instalaciones en ciudades o centros industriales, mientras que las líneas aéreas son más utilizadas en zonas abiertas fuera de los núcleos urbanos o rodeando a éstos.

Las líneas subterráneas, así mismo, pueden instalarse en tres modos diferentes:

- Directamente enterrados.
- Bajo tubo o conducto.
- En galerías de servicio.

### 2.7.3 Líneas mixtas

Son una combinación de las líneas subterráneas y aéreas.

## **2.8 Criterios básicos de diseño de redes de distribución utilizados por la EDC. [6]**

Para el diseño óptimo del sistema de distribución eléctrico, el proyectista debe fijar o definir cuáles son los criterios fundamentales que van a guiar o restringir su actividad creativa. Para esto deberá considerar las comparaciones entre los diferentes tipos de esquemas tomando en cuenta aquellos factores de diseños de las cuales las más importantes son:

- Seguridad
- Calidad del servicio
- Confiabilidad
- Economía
- Flexibilidad
- Reserva
- Operación y mantenimiento
- Accesibilidad y simplicidad de operación

El orden en que se presentan estos lineamientos básicos de diseño es el que naturalmente debe tener un proyecto en el promedio de las situaciones. En ciertos

casos, el orden expuesto puede ser alterado con excepción de los tres primeros renglones, puesto que se trata de exigencias que preceden a las demás por razones evidentes.

### 2.8.1 Seguridad

La seguridad a las personas y a la propiedad tiene prioridad absoluta y está garantizada por la observancia del Código de Seguridad Eléctrica (FONDONORMA 0734:2004) y otras normas aplicables, como son las que puedan exigir otras instituciones o servicios. Una adherencia a los requerimientos del Código Eléctrico Nacional (2004) asegurará una instalación eléctrica inicialmente segura, en el sentido de minimizar la posibilidad de fuego y daños accidentales. El Código establece fuertes requisitos, recomendaciones y sugerencias, y constituye la normalización mínima para cualquier proyecto eléctrico.

### 2.8.2 Calidad del servicio

Se incluye aquí aquellos aspectos del servicio eléctrico que garantizan su confiabilidad. Los más importantes son:

- Frecuencia
- Límites aceptables de tensión
- Límites de fluctuación
- Desbalance de tensiones (sistemas trifásicos)
- Distorsión Armónica

Desde luego, el control de frecuencia no tiene que ver con el sistema de distribución. El resto de los factores mencionados son de la competencia exclusiva del Sistema de Distribución.

### 2.8.3 Confiabilidad

Se entiende por ello la garantía de continuidad del servicio eléctrico. Esta continuidad se mide, generalmente, en términos de la frecuencia probable con que ocurrirán las interrupciones de servicio y, por otro lado, de la duración y tiempo de restablecimiento que ellas exijan. El requerimiento de un grado determinado de confiabilidad de servicio depende de la índole del proceso cuando se trata de una industria- o de la importancia de las actividades del usuario, cuando se trata de zonas residenciales, institucionales o de otros servicios públicos, y/o por la magnitud de la carga (mayores a 500 kVA). En ciertos casos, es posible o imperativo que la confiabilidad del servicio a una carga específica deba lograrse a través de medios propios de generación de energía.

Esto puede ocurrir cuando las facilidades de la compañía de servicio eléctrico en el área donde ocurre el servicio son limitadas o cuando no se admiten riesgos en razón de la importancia de las tareas que se realizan, como es el caso de hospitales, aeropuertos, etc.

### 2.8.4 Economía

El costo del diseño del Sistema de Distribución está muy asociado con el grado de confiabilidad del servicio que se desee y con el tipo de construcción ( aérea y subterránea). Es obvio que, por esta razón, el proyectista tiene que enfrentar primero una decisión acerca del tipo de Esquema de Servicio que por lo general no responde a su propio arbitrio, sino está impuesto por requerimientos del propio usuario o propietario, o del ordenamiento urbano de la zona. Generalmente, los costos

altos están asociados con los sectores con alta densidad de población y con el género de actividades, es decir, la índole de la carga servida (500kVA - 2000 kVA). De forma que, cuando hablemos de costos, los marcos generales (donde se sitúa el costo del proyecto) ya están definidos en gran parte por causas que escapan generalmente al criterio del proyectista.

#### 2.8.5 Fiabilidad

Significa, simplemente, la facilidad de adaptación a los cambios que puedan surgir. En este caso no se trata sólo de cambios en la magnitud de la demanda, lo cual estaría cubierto en la previsión de reserva. La fiabilidad se logra, en general, con la previsión del cubrimiento total del área servida en forma estratégica, la cual incide, lógicamente, en el costo del diseño.

#### 2.8.6 Reservas

En todo proyecto de distribución eléctrica, debe contemplarse reserva en el diseño, de una manera u otra, para prever el futuro crecimiento de la carga. Se trata de algo con que están familiarizados los profesionales dedicados a proyectos de esta naturaleza. Los criterios de reserva tienen una importancia capital por cuanto exigen una inversión adicional al costo de construcción, que debe justificarse económica o estratégicamente. En resumen, el ingeniero proyectista debe estar consciente de la importancia que tiene una buena estimación de la reserva. En general existen tres formas de hacerlo, que pueden ocurrir por separado o conjuntamente:

- Reserva en capacidad de carga
- Reserva en canalizaciones (en redes subterráneas se instalan ductos adicionales)

- Reserva en espacio físico (es prever espacio para futuras líneas o nuevas unidades de transformadores y/o equipo de distribución).

#### 2.8.7 Operación y Mantenimiento

Este factor es de suma importancia en la elección de equipos, prácticas de construcción y esquemas de servicio eléctricos, que deberán ser manejados y mantenidos por un personal calificado que tendrá su cargo la responsabilidad de garantizar la continuidad del servicio eléctrico, cuando éste se vea afectado por fallas o en su condición normal de mantenimiento. Las tareas de mantenimiento y operación requieren, además de equipos y esquemas adecuados, prever los espacios suficientes en las estructuras aéreas y subterráneas. Además de los aspectos citados, debe pensarse en un compromiso aceptable cuando se eligen equipos y sistemas sofisticados que luego serán difíciles de reparar o sustituir, o que requieran un alto grado de calificación por parte del personal bajo el cual estarán a cargo. Esto incluye además la simplificación del “ *stock* ” de repuestos. En cierto sentido, la normalización de prácticas de construcción y de los tipos de equipamiento tiene un efecto directo en los costos de operación y mantenimiento, que deben ser tomados en cuenta muy seriamente.

#### 2.8.8 Accesibilidad y simplicidad de operación

Todo sistema eléctrico debe ser diseñado de forma que haya fácil acceso al sistema y a sus equipos, para mantenimiento y reparación de estos últimos y para cualquier posible modificación o alteración del sistema. Además, la simplicidad de operación es un factor importante en la operación confiable del sistema. Deben evitarse operaciones complicadas y peligrosas, sobre todo en condiciones de emergencia. Estos dos factores están muy relacionados con el mantenimiento, bien sea correctivo o preventivo, que se ejecute. La empresa debe especificar al usuario,

además del área que requiere para los equipos, la ubicación física de dicha área con respecto al resto de la edificación. Esto debe hacerse por medio de planos bien detallados que deben ser partes del proyecto de la compañía. De igual forma ésta debe solicitar y dejar constancia, por escrito, del acceso que debe garantizar el usuario a cuartos de transformación, interruptores, etc., cuando por razones de emergencia o mantenimiento se deban ejecutar trabajos en los mismos.

## **2.9 Criterio de capacidad de diseño de los conductores de distribución**

Todo circuito primario debe tener un porcentaje máximo de carga igual al 67% o dos tercios ( $2/3$ ) de su Capacidad de Emergencia, ya que cualquier circuito en estado de falla debe ser respaldado por al menos dos circuitos adyacentes; en otras palabras todo circuito debe tener la capacidad para respaldar en un tercio ( $1/3$ ) de su capacidad de emergencia a otro circuito adyacente fallado. [8]

### **2.9.1 Capacidad de emergencia o sobrecarga**

Es la carga máxima que puede soportar un conductor sin sufrir daños irreversibles. Al igual que en la capacidad nominal del troncal, ésta depende de otros factores como la cantidad de ductos ocupados en la bancada donde se encuentra el conductor, etc. Para conductores cubiertos se considera que el 100 por ciento de la capacidad de emergencia equivale aproximadamente al 120 por ciento de la capacidad nominal y para conductores desnudos se asume que la capacidad de emergencia es igual a la capacidad nominal. [7]

## **2.10 Criterio de pérdidas técnicas**

Las pérdidas técnicas en un circuito primario no deben superar el 3% de la demanda máxima coincidente que presenta el mismo. Con este criterio la empresa disminuye los costos de distribución de la energía y evalúa si es conveniente o no colocar compensadores en las líneas para disminuir las pérdidas. [8]

## **2.11 Tensiones normalizadas en el sistema de distribución de la EDC.**

Definiciones:

**Tensión Nominal:** Es el valor asignado a un circuito o sistema para designar su clase de tensión. La tensión real a la cual funciona el circuito varía dentro de una banda que permite un funcionamiento satisfactorio de los equipos a él instalados

**Tensión Máxima:** Es el mayor valor de la tensión que aparece en cualquier instante y en cualquier punto del sistema en condiciones normales de funcionamiento. Este valor excluye las variaciones momentáneas de la tensión, tales como aquellas debidas a maniobras en el sistema, causas accidentales o cambios bruscos del régimen de carga.

**Tensión Mínima:** Es el menor valor de la tensión que aparece en cualquier instante y en cualquier punto del sistema en condiciones normales de funcionamiento. Este valor excluye las variaciones momentáneas de la tensión, tales como aquellas debidas a maniobras en el sistema, causas accidentales o cambios bruscos del régimen de carga.

Variación de Tensión: Es el valor, en unidades de tensión, en cualquier instante, de la diferencia entre la tensión máxima y la tensión mínima en un punto del sistema, con respecto a la tensión nominal. Este valor se puede expresar en tanto por ciento con su signo, con relación a la tensión nominal del sistema.

Caída de Tensión: Es el valor en unidades de las diferencias entre la tensión en un punto cualquiera del sistema con la de otro punto más cercano a la fuente, tomado como referencia u origen, debido a la impedancia del circuito eléctrico. Este valor se puede expresar en tanto por ciento con relación a la tensión nominal del sistema.

Zona A: Es la gama de tensiones comprendidas entre los límites establecidos para el punto de medición de la energía suministrada por la empresa de servicio de electricidad en condiciones normales de funcionamiento.

Zona B: Es la gama de tensiones por encima y por debajo de los límites establecidos en la Zona A, que resulta de las maniobras o emergencias en los sistemas de suministro de energía eléctrica.

Las tensiones nominales normalizadas de los sistemas de distribución en media tensión y los límites permisibles deberán cumplir con los valores indicados en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Tensiones Normalizadas Superiores a 1000 V (Media Tensión)

TENSION NOMINAL (V)	TIPO DE SISTEMA	ZONA A (V)		ZONA B (V)	
		MIN	MAX	MIN	MAX
4.800 Δ	3F-3H	4.680	5.040	4.560	5.080
8.314 Y/ 4.800	3F -4H	8.110 Y/ 4.680	8.730 Y/ 5.040	7.900 Y/ 4.560	8.800 Y/ 5.080
12.470 Y/ 7.200	3F – 4H	12.160 Y/ 7.020	13.090 Y/ 7.560	11.850 Y/ 6.840	13.200 Y/ 7.620

La tensión nominal de 4.800  $\Delta$  V consiste de un sistema de tres fases sin neutro. Las tensiones nominales de 8.314 Y/ 4.800V y de 12.470 Y/ 7.200V consisten de sistemas de tres fases con neutro corrido y sólidamente puesto a tierra para la conexión de unidades monofásicas y mayor balance en el sistema [9]

### 2.12 Criterio de caída de tensión máxima

Los límites de tensión permitidos por caída de tensión, para circuitos primarios, tanto aéreos como subterráneos se muestran en la tabla 2.2. [8]

Tabla 2.2. Caída de tensión máxima permitida

Condición de operación	$\Delta V_{\text{máx}}$ (%)	Banda permitida (pu)
Normal	5	$0,95 < U < 1,05$
Emergencia	8	$0,92 < U < 1,08$

### 2.13 Calibres de conductores normalizados para media tensión.

Uno de los factores más importantes en el diseño de redes de distribución es la elección de los conductores eléctricos. La C.A. La Electricidad de Caracas utiliza para sus instalaciones en media tensión conductores cuyos calibres con los siguientes se presentan en la tabla 2.3. [10]

Tabla 2.3. Calibres de conductores normalizados para media tensión

	Material	Conductor
<b>Líneas Aéreas</b>	Cobre	6 AWG, 2 AWG, 2/0 AWG
	Aluminio	4 AWG, 1/0 AWG, 4/0 AWG, 394,5 kcmil
<b>Líneas subterráneas</b>	Cobre	2 AWG, 2/0 AWG, 250 kcmil, 500 kcmil, 750 kcmil
	Aluminio	No se usa

## **2.14 Esquemas de servicios normalizados**

Un esquema de servicio se refiere al diagrama unifilar y características de operación de un punto de transformación de cualquier capacidad, en donde quedan establecidos el tipo de arreglo y equipamiento en el lado primario y secundario del transformador. Estos esquemas se aplican tanto a cargas concentradas como a distribuidas.

La empresa construye sus redes de distribución primaria y secundaria de acuerdo a prácticas y unidades de construcción normalizadas.

Los tipos de Esquemas de Servicio utilizados en la red de distribución de la empresa y adaptados a sus requerimientos operativos son los siguientes:

- Primario Selectivo Automático (PSA)
- Primario Selectivo Manual (PSM)
- Primario Radial con Interconexión (PRI)
- Primario Radial Simple (PRS)
- Secundario Selectivo (SS)
- Secundario Radial (SR)
- Primarios Múltiples (PM)

No obstante, para efectos de este trabajo solo se explicarán los esquemas Primario Radial con Interconexión (PRI) y Primario Radial Simple (PRS) esto debido a que los mismos serán los empleados en el diseño de la red de distribución, por ser éstos los mas económicos de implementar y los más utilizados en sistemas de distribución nuevos

**Primario Radial con Interconexión (PRI):** Este Esquema aplica a circuitos primarios de la misma o de distintas subestaciones, con previsión de interconexión manual entre ellos. Posee facilidades propias de seccionamiento, requeridas para una mayor flexibilidad en la operación. La Figura N° 2.2. muestra un caso típico donde aplica un interruptor manual de tres (3) vías, pero el esquema puede variar de acuerdo al equipo de seccionamiento normalizado que se use: Interruptores de 3 ó 4 vías en el caso de instalaciones subterráneas y seccionadores instalados en postes, o casillas, etc.

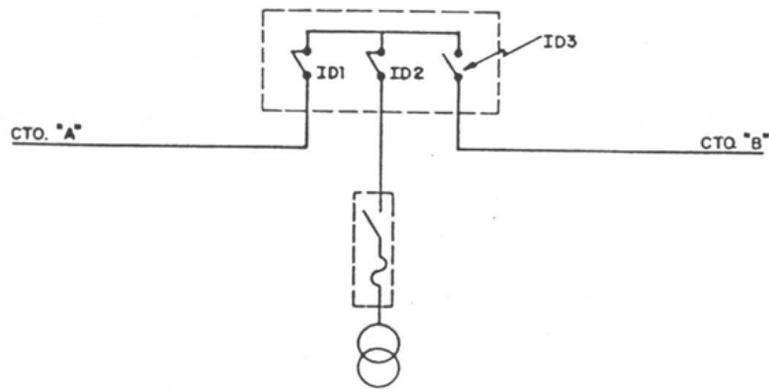


Figura 2.2. Arreglo Típico de un Esquema Primario Radial con Interconexión.  
(ID: Interruptor de distribución)

**Primario Radial Simple (PRS):** En el esquema Primario Radial Simple la energía fluye hacia la carga a través de un solo circuito, por lo que una falla en el circuito deja las cargas sin servicio. A diferencia del esquema Primario Radial con Interconexión, no hay transferencia a otros circuitos. Este es el caso típico de ramales aéreos rurales o ramales subterráneos cortos, donde las condiciones topográficas del área, hace muy costoso el proveer vías alternativas de suministro.

Este esquema no debe aplicarse sino en ramales subterráneos cortos, y en líneas aéreas, donde no se disponga del esquema PRI por las razones mencionadas.

La confiabilidad y disponibilidad del esquema Primario Radial Simple puede mejorarse con el uso de reconectores y seccionadores, en el caso de líneas aéreas.

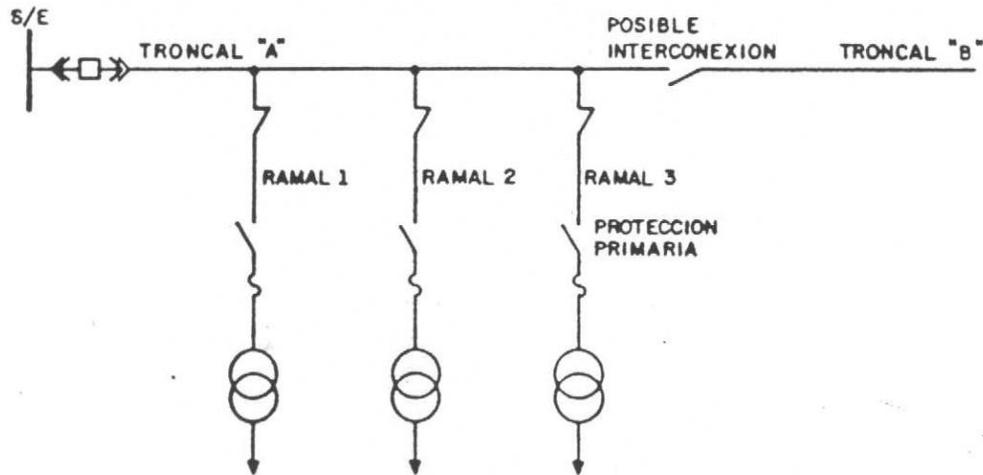


Figura 2.3. Arreglo Típico Esquema Primario Simple

En la figura 2.3 se muestra el arreglo de la configuración radial simple.

### 2.15 Criterios de seccionamiento.

En la operación de sistemas de distribución es necesario aislar tramos para la localización y reparación de fallas, y para la ejecución de trabajos programados de construcción o de mantenimiento. El grado de recuperación de un alimentador de distribución, dependerá de su conectividad (interconexión) y segmentación. [13]

Considerando los criterios de seccionamiento planteados en [13] se permitirá los siguientes resultados:

- La transferencia de carga entre alimentadores, en condiciones normales y de emergencia, buscando reducir las pérdidas.

- Liberar capacidad entre alimentadores para diferir inversiones.
- Localizar y aislar fallas para recuperar las partes sanas del alimentador y así reducir el tiempo de interrupción del servicio y los costos y penalizaciones asociados.

#### 2.15.1 Segmentación en líneas aéreas

En alimentadores urbanos se secciona el troncal cada 500kVA de carga instalada, o cada 250kVA de demanda, o cada un kilómetro. En alimentadores rurales se secciona cada 300kVA de carga instalada, o cada 150kVA de demanda, o cada dos kilómetros.

- Se secciona el troncal cada 25%, 50% y 75% de carga instalada con equipos rompe carga.
- Cuando un ramal tenga una carga instalada mayor a 300kVA o una longitud mayor a 500m, debe colocarse un seccionamiento al comienzo del mismo.
- En zonas rurales esto debe realizarse cuando la carga instalada sea mayor a 150kVA.
- Los puntos de transformación con capacidad instalada mayor o igual a 500kVA deben estar conectados al alimentador por dos o más seccionadores.
- En transiciones de cables subterráneos a aéreos se coloca un seccionador en la parte del tramo aéreo, y si esa transición es en un troncal o tramo desconectado el seccionador tiene que ser del tipo rompe carga.

#### 2.15.2 Interconexión en líneas aéreas

- Para las interconexiones se utiliza equipos rompe carga.
- Cada alimentador debe cumplir con el Criterio de Capacidad de Carga.

- Una interconexión debe garantizar que la recuperación de la carga sea la máxima posible.

#### 2.15.3 Salida de Subestaciones de líneas aéreas

- Salidas subterráneas: cuando exista un circuito doble copa, es decir que dos alimentadores salgan del mismo interruptor de la subestación se instalará un interruptor cuatro vías preferiblemente dentro de la subestación con el fin de seccionar las dos copas del alimentador. Allí se deben instalar indicadores de falla que a la vez tengan comunicación con el Centro de Control de Operaciones (CCO).
- Salidas aéreas: cuando exista un circuito doble copa, es decir que dos alimentadores salgan del mismo interruptor de la subestación se instalará en el primer poste del alimentador un seccionador tipo rompe carga con indicadores de falla con conexión con el CCO.
- Los indicadores de falla tienen que ir en lugares visibles y accesibles al personal de la empresa.

#### 2.15.4 Indicadores de Falla (IF) en líneas aéreas

- En los seccionadores ubicados cada 25%, 50% y 75% de carga instalada en el troncal, debe haber indicadores de falla con conexión al CCO.
- Los IF deben estar en lugares visibles y accesibles para el personal de la empresa.
- Cuando la Unidad de Operación de Distribución considere colocar un IF con señalización automática con el CCO, deberá realizarse una evaluación económica que considere el costo de penalizaciones establecidas en la Norma de Calidad del Servicio de Distribución vigente.

## **2.16 Programas utilizados por La EDC para realizar simulaciones**

La unidad de planificación de distribución de la EDC utiliza las siguientes herramientas computacionales para analizar, simular y construir las redes primarias de distribución. Las mismas son descritas a continuación:

### **2.16.1 Análisis de Sistemas Primarios (ASP). [5]**

El ASP es un simulador que está orientado al ingeniero eléctrico de planificación y de proyectos de redes primarias de distribución.

Las principales capacidades de dicha aplicación son:

- Analizar y editar circuitos.
- Simulación del crecimiento de redes.
- Compensación capacitiva para mínima pérdida de potencia reactiva en los circuitos y corrección de bajo voltaje.
- Análisis de sensibilidad de parámetros.
- Simulación de interrupciones y recuperación con otros circuitos interconectados.
- Configuración de redes para mínima pérdida de potencia activa por caída en los circuitos.

En principio el número máximo de nodos y/o tramos que puede manejar el programa a través de los archivos \*.dat y su respectivo \*.PRI es igual cinco mil (5000); se pueden manejar hasta 500 calibres diferentes de conductores y en un mismo caso hasta 200 circuitos primarios.

El programa utiliza el factor de demanda del circuito bajo estudio para repartir uniformemente la demanda máxima total entre los kVA instalados totales, es decir, para asignar a cada una de las cargas instaladas un valor equitativo de demanda. [8]

Como datos importantes que arroja el programa tenemos los siguientes: [7], [8]

- Indica el nodo con menor tensión y su magnitud en pu, es decir un indicativo de la caída de tensión en la ruta hasta el nodo respectivo. El programa señala en la parte inferior el nodo con la característica antes mencionada y con color rojo sí su valor en pu es menor a 0,95 (criterio de diseño). También suministra un reporte del flujo de carga del circuito donde se detallan todas tensiones nodales y demás variables de interés.
- Ubica el tramo con mayor porcentaje de utilización respecto a su Capacidad de Emergencia (CE). En la parte inferior el programa señala con color verde aquellos tramos donde la demanda es mayor al sesenta y siete por ciento (67%) de la CE (criterio de diseño), con color en rojo aquellos tramos que superan la Capacidad Nominal (CN) e ilumina en azul aquellos tramos que superan el 100 por ciento de la CE. Para tramos subterráneos la CE es aproximadamente 120 por ciento de la Capacidad Nominal (CN). mientras para los aéreos la CE es igual a CN.
- Suministra un reporte donde se pueden observar las pérdidas totales en kVAR y kW tanto en valor numérico como en porcentaje (%) respecto a la demanda máxima del circuito.

### 2.16.2 PSS/ADEPT. [7]

Este programa permite crear gráficamente, editar y simular sistemas de potencia. El mismo utiliza como base los archivos de data del tipo \*.dat que contienen la información de los circuitos a simular y a la vez los directorios asociados a construcciones y equipos. Las principales capacidades de dicha aplicación son:

- Crear y modificar gráficamente nodos y lazos que representan la conectividad y los componentes de un circuito eléctrico de potencia.
- Permite hacer cálculos de diferencia de tensión y corrientes de circuitos primarios utilizando varias fuentes y un número ilimitado de nodos.
- Despliega los resultados del flujo de carga y análisis de falla sobre el circuito gráfico bajo estudio.
- Suministra en reportes los resultados del flujo de carga.
- Define y actualiza uno o varios componentes de la data del sistema, modificando sus propiedades.

### 2.16.3 Microstation

Es un programa de dibujo, utilizada por la compañía, que permite digitalizar todos los planos y proyectos que se deseen desarrollar

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

Para dar inicio a la planificación y elaboración del proyecto de media tensión de Ciudad Caribia en primer lugar se visitó el parcelamiento donde será construida. Se observó la geografía y topografía del terreno, se recopilaron planos de vialidad y edificaciones existentes. Se identificaron los sectores destinados para la construcción residencial, industrial y comercial con el fin de caracterizar las cargas que serán servidas por la red de distribución.

Cabe señalar que en la recopilación de planos sólo se obtuvieron los planos de algunas edificaciones construidas, en construcción y el plano general de todo el proyecto con la ubicación de todos los sectores y cantidad de habitantes por sectores. La información adicional fue suministrada por arquitectos e ingenieros que se encuentran elaborando el proyecto.

La información que contienen los planos adquiridos y la suministrada por los desarrolladores del urbanismo son insumo suficiente para planificar y construir los circuitos que conformarán la red de media tensión.

Cabe señalar que Ciudad Caribia será un urbanismo que estará construido en un área de aproximadamente 284 hectáreas de terreno de las cuales 157,5ha serán destinadas a la construcción de once sectores vecinales, 47ha serán destinadas a la construcción de viviendas en comunidades aisladas (comunidades retiradas del sector residencial), 5ha destinadas a barrios, 11ha para la construcción del centro de la

ciudad donde se ubicará el sector comercial, 3,5 hectáreas destinadas para áreas deportivas y de recreación, 13ha para el desarrollo agrícola, 43ha para el sector industrial y 4ha para las instalaciones técnicas.

Una vez conocidas las instalaciones se procedió a recopilar la normativa correspondiente de CORPOELEC para el diseño de redes de distribución en media tensión. La cual fue suministrada por una de sus filiales La EDC.

A continuación se presentan los procedimientos y métodos utilizados para el diseño de la red de distribución de Ciudad Caribia.

### **3.1 Estimación de la demanda eléctrica de Ciudad Caribia.**

#### 3.1.1 Demanda de sectores vecinales

Para la estimación de la demanda eléctrica de los sectores vecinales de la Ciudad se tomaron como referencia las normas de ingeniería (I) 5: Estimación de demandas en Edificios Residenciales y /o Residenciales Comerciales de La EDC y el Manual de Estimación de Demanda y Diseño de Distribución para la Elaboración de Proyectos en la C.A. La Electricidad de Caracas el cual está fundamentado por el Código Eléctrico Nacional del año 2004 (CEN); Código Nacional de Seguridad en Instalaciones de Suministro de Energía Eléctrica y de Comunicaciones (CNS) y COVENIN 734

Cabe señalar que dichas normas fueron creadas hace aproximadamente en el año 1985 y con el tiempo, el comportamiento de las cargas eléctricas residenciales, comerciales e industriales ha venido cambiando, sin embargo la empresa actualmente emplea dichas normas para realizar estimaciones de demanda, teniendo en cuenta que

las mismas introduce un pequeño margen de error en el cálculo que para efectos de la planificación del sistema es aceptable.

Debido a que la construcción del urbanismo está en fase de proyecto la estimación se estableció tomando en cuenta las magnitudes de carga establecidas en las normas y se asumieron aquellas de las cuales no se poseía información suficiente, según las similitudes entre proyectos ubicados en ciertas zonas de la Gran Caracas, como Guarenas, Guatire, Las Mercedes entre otras.

En los planos de las edificaciones ya construidas se encontró la información de las características de los edificios. Los mismos serán de 5 pisos con cuatro apartamentos por piso, no poseerán ascensores ni aire acondicionado central. Según la conversación sostenida con arquitectos e ingenieros desarrolladores del urbanismo, todos los edificios, a ser construidos, tendrán las mismas características. Con esa información y la de las normas se procedió a estimar la demanda residencial.

Para el cálculo se hizo uso de las curvas de demanda residencial en función del número de suscriptores de la EDC. Para la estimación se consideró la curva de demanda para clase social media baja la cual establece una demanda por suscriptor de 1,1kVA (ver ejemplo de cálculo en anexo1 A1.1). Los servicios de uso general (Iluminación de áreas comunes y bombas) son considerados en la demanda residencial, de acuerdo a lo que establece la norma correspondiente (norma de diseño (I) 1, Estimación de Cargas Constantes de la EDC)

Para el alumbrado público se asignó, según la norma de diseño (I) 1, Estimación de Cargas Constantes de la EDC [16], una demanda de 5kVA por hectárea de terreno (ver anexo 1 A1.2).

Por otra parte, cada sector vecinal contará con áreas comerciales, zonas deportivas, sector salud y zonas educativas. Dichas áreas se consideran como servicios básicos. Cada sector poseerá un centro comercial al cual se le asignó una demanda semejante a la del Centro Comercial Villa Heroica, aproximadamente 89,32kVA, ubicado en Guarenas, esto debido a conversaciones previas con los planificadores de la urbanización los cuales diseñarán centros comerciales con las mismas características. Para la demanda del sector salud se asignó un 5% del área de cada sector para la construcción de centros asistenciales, y con el uso de la norma (I) 2 de la EDC se calculó la demanda de los mismos (ver anexo 1 A1.3), posteriormente para la zona educativa se propuso un preescolar y una escuela por cada 700 familias. Por preescolar se asignó una demanda diversificada de 20kVA y para la escuela una demanda diversificada de 36kVA los valores asignados son típicos de preescolares y escuelas ubicados en la ciudad capital. Finalmente para la demanda de las zonas deportivas de cada sector se toman como referencia la demanda consumida por las Canchas “La Guacamaya” (Las Mercedes), aproximadamente 20kVA.

Cabe destacar que el escenario planteado para la estimación puede tener ciertas modificaciones, sin embargo para la planificación y dimensionamiento de la red eléctrica de media tensión no presenta un impacto significativo.

### 3.1.2 Demanda para el centro de la ciudad.

Ciudad Caribia contará con un área destinada para el desarrollo de actividades comerciales, económicas, educacionales y del sector salud. Este espacio será el centro de toda la ciudad. Para la construcción del mismo se emplearán unas 11 hectáreas de terreno de las cuales el 50% será destinado para la construcción de viviendas (aproximadamente 440 viviendas), 40% para uso comercial y el 10% restante para el sector salud.

Con esta información y el uso de las normas (I) 1, (I) 2 e (I) 5 y el manual de estimación de demanda de la EDC se procedió a estimar la demanda del centro de la ciudad.

Para la estimación de la demanda comercial se hizo uso de la norma (I) 2 (Ver anexo 1 A1.3), la cual establece los VA/m<sup>2</sup> para cada tipo de comercio. Las áreas destinadas para cada actividad comercial fueron productos de entrevistas y acuerdos entre los creadores del complejo urbanístico. Para la estimación se consideraron edificios con oficinas los cuales tendrán ascensores y aire acondicionado central.

Para la demanda del sector salud se uso la norma (I) 2 de la EDC la cual establece los VA/m<sup>2</sup> para estos tipos de edificaciones. Esto considerando que dicho sector estará destinado para la construcción de centros asistenciales, hospitales, clínicas, Centros de Diagnostico Integral (CDI) entre otros inmuebles destinados para prestar atención médica.

Para la demanda residencial se aplicó el mismo procedimiento utilizado para estimar la demanda residencial de los sectores, excluyendo del cálculo los servicios básicos dado que el centro de la ciudad estará rodeado de todos los servicios básicos (áreas comerciales, zonas deportivas, sector salud y zonas educativas)

### 3.1.3 Demanda de áreas deportivas.

Para la estimación de la demanda de las áreas deportivas se procedió como lo indica el Manual de Estimación de Demanda y Diseño de Distribución para la Elaboración de Proyectos en la C.A. La Electricidad de Caracas [17].

Para la estimación de la demanda de áreas deportivas se utilizó el siguiente procedimiento: [17]

Área de Construcción [servicios auxiliares, oficina de administración, vigilancia] = (Área total de las parcelas) x Porcentaje de Construcción;

Área administrativa = 40 % del Área de Construcción;

Área de pasillos = 10 % del Área de Construcción;

Área del servicios auxiliares = 50 % del Área de Construcción;

Área Estacionamiento = 200 puestos x 24 m<sup>2</sup> = 4.800 m<sup>2</sup> (Estimados);

Área Exterior = Área de la parcela - Área de Construcción - Área Estacionamiento + Área de Cancha deportiva.

#### Cálculo de Demanda

Demanda al Punto de Suministro = Demanda del Área administrativa + Demanda del Área del pasillo + Demanda del Área del servicios auxiliares + Demanda del Área Estacionamiento + Demanda del Área Exterior + Demanda de Cancha deportiva + Demanda A/A

Demanda del Área administrativa = Área administrativa x 0,05 kVA/m<sup>2</sup>;

Demanda del Área del pasillo = Área del pasillo x 0,01 kVA/m<sup>2</sup>;

Demanda del Área del servicios auxiliares = Área del servicios auxiliares x 0,01 kVA/m<sup>2</sup>;

Demanda del Área Estacionamiento = Área Estacionamiento x 0,005 kVA/ m<sup>2</sup> = 24 kVA/m<sup>2</sup>;

Demanda del Área Exterior = Área Exterior x 0,002 kVA/ m<sup>2</sup>.

### 3.1.4 Demanda de Parques y Zonas Verdes.

Para la estimación de la demanda eléctrica de parques y zonas verdes se hizo uso del manual de estimación de demanda de La EDC. El procedimiento utilizado para la estimación de la demanda de los parques fue el siguiente:

Área de Construcción = (Área total de las parcelas / Cantidad de Parcelas) x Porcentaje de Construcción.

Si el Porcentaje de Construcción no se conoce el Área de Construcción por defecto es 100 m<sup>2</sup> (área de servicio).

Área Exterior (Zona verde) = Área de la parcela - Área de Construcción;

Cálculo de Demanda

Demanda al Punto de Suministro = Demanda del Área de Construcción + Demanda del Área Exterior

Demanda del Área de Construcción (Carga tipo residencial) = Área de Construcción x 0,01kVA/m<sup>2</sup>

Demanda del Área Exterior (Iluminación) = Área Exterior x 0,002 kVA/m<sup>2</sup> (Carga Tipo Continuo);

### 3.1.5 Demanda Sector Agrícola.

Para la estimación de la demanda del sector agrícola se asignaron las cargas obtenidas en el estudio realizado por la unidad de planificación, la cual posee información de algunos sectores agrícolas ubicados en la Gran Caracas. Esto debido a que no se poseía información suficiente de este sector. Cabe señalar que es una aproximación.

### 3.1.6 Demanda estimada sector industrial.

Ciudad Caribia contará con un desarrollo industrial en el cual se desarrollarán básicamente la pequeña y mediana industria. Para ello fue preciso estimar la demanda eléctrica aproximada que consumirán los procesos industriales que se desarrollen.

Para la estimación de la demanda eléctrica se tomó como referencia un estudio de saturación de la demanda en la región de Guarenas y Guatire [19] en el cual se calcula la demanda de zonas industriales y un estudio hecho por la unidad de planificación de distribución de La EDC el cual toma como referencias algunas industrias ubicadas en La Gran Caracas particularmente en Guarenas y Guatire. Esto permite tener un valor muy aproximado a lo que será la demanda eléctrica del parque industrial de Ciudad Caribia.

### 3.1.7 Demanda de servicios existentes en la ciudad.

La Ciudad contará con sistemas de bombeo de agua potable, cementerios, iglesias, telefonía. Estos servicios son incluidos en el proyecto de distribución, por lo tanto es oportuno tener una aproximación de la demanda eléctrica de los mismos.

Para la estimación de la demanda de estos servicios se toman como referencias algunos espacios, ubicados en Caracas, destinados a las mismas actividades.

Para la planta de tratamiento de aguas servidas y la planta potabilizadora se tomaron como referencia las demandas eléctricas que consumen las plantas potabilizadoras y de aguas servidas del embalse Macarao ubicado sobre el río Macarao a 12 km de Caracas. Para el vivero se tomó como referencia a Jardines

Veracruz ubicado en Las Mercedes, Caracas. Para el cementerio se tomó como referencia el del Este, ubicado en la Guairita Distrito Metropolitano.

Para las estaciones de servicios se tomaron como referencia distintas estaciones de servicios ubicadas en la ciudad capital, aproximadamente se construirán unas cinco estaciones de servicio por toda la ciudad con una demanda promedio de 40kVA cada una, esto incluyendo los servicios comerciales y de atención al público que poseen las mismas.

### 3.1.8 Demanda total de ciudad Caribia.

Una vez estimadas las demandas de cada uno de los sectores que conformarán la Ciudad se procedió a sumar (esto teniendo en cuenta que para la estimación se tomo un factor de potencia único de 0.9 [17]) las mismas con la finalidad de obtener la demanda total del urbanismo y de esta manera tener la información necesaria para establecer la capacidad que tendrá la subestación eléctrica y la cantidad de circuitos primarios de distribución que se deberán diseñar para llevar el servicio eléctrico a cada uno de los consumidores.

### **3.2 Ubicación del centro de carga.**

Una vez obtenidas todas las cargas y la ubicación de las mismas en el plano se estableció una estrategia para la ubicación del centro de carga y de esta manera ubicar la subestación eléctrica de donde saldrán los circuitos que conformarán la red de distribución.

La estrategia consistió en georeferenciar el plano general en la grilla de la compañía (cuadrículas de 500m<sup>2</sup>) con el fin de tener las cargas ubicadas en cuadrículas, luego se procedió a calcular el centro de carga (ver anexo 7)

Para el cálculo se emplearon las siguientes ecuaciones:

$$x = \frac{\sum_{i=1}^n x_i * kVA_i}{\sum_{i=1}^n kVA_i} \quad (3.1)$$

$$y = \frac{\sum_{i=1}^n y_i * kVA_i}{\sum_{i=1}^n kVA_i} \quad (3.2)$$

Donde X e Y representan las coordenadas cartesianas del centro de carga.

Xi: Coordenada x de la carga i

Yi: Coordenada y de la carga i

kVAi: Demanda eléctrica de la carga i

Una vez calculado el centro de carga se visitó la ciudad y se ubicó en el terreno el punto calculado. Se evaluó el terreno verificando que el mismo no tuviera obstáculos para la construcción.

### **3.3 Determinación del tipo de red de distribución a construir (subterránea, aérea o mixta) y estudio de ruta para la misma.**

Una vez ubicado el lugar para la construcción de la subestación se procedió a realizar un estudio técnico-económico que permitirá determinar el tipo de red de distribución que mejor se adaptará a las condiciones ambientales del terreno. Para ello fue preciso evaluar la geografía del terreno identificar, los impedimentos que

generarían la escogencia de un tipo de red u otro, evaluar los costos, entre otros factores involucrados.

Para la estimación de costos se aplicó una tabla de presupuestos, con la cual se elaboran los presupuestos en la Compañía. Cabe señalar que dicha tabla es actualizada anualmente con los nuevos precios de materiales y mano de obra.

Por otra parte para el estudio de la ruta de la red seleccionada básicamente se evaluaron tres aspectos: disponibilidad de vías, topología del terreno e obstáculos encontrados en el terreno. Para eso fue necesario hacer un recorrido por el parcelamiento para así proponer rutas que se adapten a la realidad y condiciones ambientales del terreno.

### **3.4 Diseño de la red de distribución.**

Para el diseño de los circuitos se emplearon todos los criterios de diseños establecidos por las normas de la EDC. Los pasos que se llevaron a cabo para el diseño de los circuitos fueron los siguientes:

- Se clasificaron las cargas y se determinó el número de circuitos Residenciales, Comerciales e Industriales.
- Se asignó a cada circuito, según el tipo, los factores de potencia, carga y pérdidas.
- Se construyeron los circuitos por la ruta asignada para cada uno y asignaron las cargas correspondientes aplicando el esquema de servicio Primario Radial con Interconexión (PRI).
- Se calculan los conductores de cada circuito por capacidad de corriente y caída de tensión.

- Se realizaron las simulaciones de los circuitos con el programa de Análisis de Sistemas Primarios (ASP) y se verificó que los mismos cumplieran con los criterios establecidos.
- Se dibujaron geográficamente los circuitos con el uso de la herramienta de dibujo Microstation.
- Se establecieron las interconexiones entre los circuitos según su ubicación geográfica.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS

#### 4.1 Demanda Eléctrica

##### 4.1.1 Demanda Residencial

Aplicando la metodología expuesta en el Capítulo 3 a continuación se presenta en la tabla 4.1 las cargas residenciales del desarrollo, considerando que en cada sector vecinal existen áreas comerciales, zonas educativas, deportivas y de salud. La columna con el nombre de otros servicios representa la demanda de los servicios antes mencionados.

Tabla 4.1. Demanda de sectores vecinales

Sector	Viviendas	Área (Ha)	D.S.V (kVA)	A.P (kVA)	Otros Servicios (kVA)	Total (kVA)	Cuadrícula
SV1	1.420	20	1.929,78	100,00	345,00	2.374,78	37DH,38DH, 39DH
SV2	713	9,5	968,97	47,50	200,80	1.217,27	35DH,36DH
SV3	1.425	19	1.936,58	95,00	336,60	2.368,18	25DH,26DH, 27D7,35DH
SV4	1.050	14	1.426,95	70,00	294,60	1.791,55	33DH
SV5	1.200	16	1.630,80	80,00	311,40	2.022,20	54DH
SV6	1.125	15	1.528,88	75,00	303,00	1.906,88	63DH
SV7	1.125	15	1.528,88	75,00	303,00	1.906,88	23DH
SV8	975	13	1.325,03	65,00	286,20	1.676,23	55DH
SV9	525	7	713,48	35,00	179,80	928,28	52DH,53DH
SV10	975	13	1.325,03	65,00	286,20	1.676,23	56DH,57DH
SV11	1.200	16	1.630,80	80,00	311,40	2.022,20	72DH,82DH
Barrios	200	5	271,80	25,00	128,00	424,80	62DH

Sector	Viviendas	Área (Ha)	D.S.V (kVA)	A.P (kVA)	Otros Servicios (kVA)	Total (kVA)	Cuadrícula
Comud. Ais 1	470	4,27	638,73	21,36	77,44	737,53	30DH
Comud. Ais 2	470	4,27	638,73	21,36	77,44	737,53	31DH
Comud. Ais 3	470	4,27	638,73	21,36	77,44	737,53	40DH
Comud. Ais 4	470	4,27	638,73	21,36	77,44	737,53	51DH
Comud. Ais 5	470	4,27	638,73	21,36	77,44	737,53	DH
Comud. Ais 6	470	4,27	638,73	21,36	77,44	737,53	71DH
Comud. Ais 7	470	4,27	638,73	21,36	77,44	737,53	62DH
Comud. Ais 8	470	4,27	638,73	21,36	77,44	737,53	44DH
Comud. Ais 9	470	4,27	638,73	21,36	77,44	737,53	11DH
Comud. Ais 10	470	4,27	638,73	21,36	77,44	737,53	13DH
Comud.11	470	4,27	638,73	21,36	77,44	737,53	58DH

D.S.V: Demanda Total Sector Vecinal.

A.P: Alumbrado Público.

SV: Sector Vecinal

#### 4.1.2 Demanda Comercial Centro de la Ciudad

En la tabla 4.2 se presentan los valores de demanda comercial obtenidos para el centro de la ciudad.

Tabla 4.2. Demanda diversificada comercial del centro de la ciudad

Tipo de Comercio	Área (m <sup>2</sup> )	Demanda General (kVA)	A/A (kVA)	Ascensores y Bombas (kVA)	Total (kVA)	Cuadrícula
Oficinas	8.800	528,00	211,20	105,60	844,80	34DH
Tiendas y Comercio	8.800	616,00	316,80	35,20	968,00	
Cines	1.320	52,80	23,76	0,00	76,56	
Escuelas y universidad	6.600	1.030,67	150,00	100,00	1280,67	24DH
Mercados	8.800	440,00	0,00	0,00	440,00	34DH
Hoteles	3.080	92,40	13,86	1,85	108,11	
Restaurant	6.600	264,00	396,00	0,00	660,00	

#### 4.1.3 Demanda Sector Salud Centro de la Ciudad

En la tabla 4.3 se muestra la demanda aproximada del sector salud del centro de la ciudad, el cual representa un 10% del área total del centro.

Tabla 4.3. Demanda diversificada sector salud centro de la ciudad

	Área (m <sup>2</sup> )	Demanda General (kVA)	A/A (kVA)	Ascensores y Bombas (kVA)	Total (kVA)	Cuadrícula
Hospitales y Clínicas	11.000,00	198,00	49,50	66,00	313,50	34DH

#### 4.1.4 Demanda Residencial Centro de la Ciudad

La tabla 4.4 muestra los valores de demanda para la zona residencial del centro de la ciudad. La demanda general incluye servicios de bombas y la iluminación de las áreas comunes de cada edificación.

Tabla 4.4. Demanda residencial centro de la ciudad

Sector	Viviendas	Área (ha)	D.R (kVA)	A.P (kVA)	Otros Servicios (kVA)	Total (kVA)	Cuadrícula
Centro de la ciudad	440	5,5	597,96	0,00	0,00	597,96	34DH

#### 4.1.5 Demanda de Alumbrado Público Centro de la Ciudad

La tabla 4.5 muestra la demanda de aproximada de alumbrado público para el centro de la ciudad se asignan según norma de la EDC 5kVA por hectárea de terreno.

Tabla 4.5 Demanda de alumbrado público centro de la ciudad

	Área (m <sup>2</sup> )	Demanda General (kVA)	A/A (kVA)	Ascensores y Bombas (kVA)	Total (kVA)	Cuadrícula
Alumbrado Público	110.000	55,00	0,00	0,00	55,00	24DH,34DH

#### 4.1.6 Demanda de áreas deportivas.

En la tabla 4.6 se muestran los valores de demanda obtenidos para las diferentes áreas deportivas que se construirán en la ciudad.

Tabla 4.6. Demanda diversificada de áreas deportivas de Ciudad Caribia

Tipo de Cancha	Área (m <sup>2</sup> )	Cantidad	Demanda General (kVA)	Alumbrado Público (kVA)	Total (kVA)	Cuadrícula
Basketball	508	5	60,96	1,27	62,23	44DH
Volleyball	288	5	28,80	0,72	29,52	
Softball	3.420	1	5,47	1,71	7,18	45DH
Tenis	518	5	38,85	1,30	40,15	
Fútbol	8.625	1	25,01	4,31	29,33	45DH
Piscina	1.344	5	30,24	3,36	33,60	
Polideportivos	10.000	1	296,19	5,00	301,19	45DH

#### 4.1.7 Demanda de Parques y Zonas Verdes.

En la tabla 4.7 se muestran los valores de demanda obtenidos para los parques y áreas verdes que se construirán en el urbanismo.

Tabla 4.7 Demanda de parques y zonas verdes de la ciudad

Tipo de Zona	Área (m <sup>2</sup> )	Cantidad	Demanda General (kVA)	Alumbrado Público (kVA)	Total (kVA)	Cuadrícula
Recreacional	29.703,80	10	50	14,85	64,85	62DH,72DH,
Zonas Verdes	9.898,38	-	20,00	4,95	24,95	
Parques	11.994,10	5	27,99	6,00	33,99	23DH

#### 4.1.8 Demanda Sector Agrícola.

En la tabla 4.8 se muestran los valores de demanda estimados para cada uno de los componentes del sector agrícola. En la demanda general se incluyen los sistemas de riego (aproximadamente 1hp/ha), maquinaria eléctrica (motores, compresores entre otras), hornos y toda clase de equipos eléctricos relacionados con la producción agrícola.

Tabla 4.8. Demanda del sector agrícola de la ciudad

Tipo de agricultura	Área (m <sup>2</sup> )	Demanda General (kVA)	Alumbrado Público (kVA)	Total (kVA)	Cuadrícula
Vivienda agrícola	30.900	541,47	15,45	556,92	55DH
Agricultura	297.900	297,88	148,95	446,83	18DG,19DG,28DG, 29DG,10DH
Sociocultural agrícola	74.800	149,62	37,40	187,00	23DH
Educacional agrícola	29.400	185,00	14,70	199,70	27DH

Para la demanda de vivienda agrícola se emplearon las normas de ingeniería y diseño de La EDC, estimación de cargas residenciales [16].

#### 4.1.9 Demanda sector industrial.

Para la estimación de la demanda eléctrica industrial se hace uso del estudio de saturación de la demanda en la región de Guarenas y Guatire se obtienen los índices de demanda de las diferentes industrias.

En la tabla 4.9 se muestran los índices de demanda para los tipos de industrias.

Tabla 4.9. Índices de demanda de industrias

Industrias	Índice de Demanda (kVA/ha)
Vidrio	37,43
Antena comunicación	64,43
Mueble	80,03
Farmacéutica	109,02
Suministros Industriales	141,05
Industrias	156,92
Metalúrgica	310,15
Calzado	341,64
Fábricas	397,21
Textil	479,71
Alimenticia	575,44
Plástico	785,71
Química	847,12
Industrial	1505,39
Mueble	80,03
Farmacéutica	109,02

Fuente: estudio de saturación de la demanda en la región de Guarenas y Guatire. [19]

Según [19], los índices de demanda son calculados haciendo uso de una Data de Planificación de Distribución de Guarenas y Guatire suministrados por La EDC. La misma abarca todo el sector de Guarenas, Guatire y Araira. Esta base de datos muestra el consumo de cada uno de los suscriptores de la región, indicando la urbanización, el tipo de tarifa, la subestación, el punto de suministro, el circuito, el transformador, tipo de inmueble o actividad. El consumo está dividido en varias categorías; la utilizada para calcular los índices de demanda es el promedio de consumo 12 meses, que es el valor de consumo promediado de los valores mensuales de cada suscriptor. El consumo está dado en kWh mensuales que se convertirán en kVA.

Luego como se tienen las hectáreas de terreno destinadas para la construcción de las industrias y con los índices de demanda que se muestran en la tabla 4.9 se procede a calcular la demanda para cada una de las industrias que se instalaran en la Ciudad. Por ejemplo para una industria de vidrio de 6,14ha se tiene lo siguiente:

$$Demanda_{\text{vidrio}} = \text{Area}(\text{ha}) * (\text{Indice de demanda}(\text{kVA/ha}) + 5\text{kVA/ha}) \quad (4.1)$$

Sustituyendo valores:

$$Demanda_{\text{vidrio}} = 6,14\text{ha} * (37,43\text{kVA/ha} + 5\text{kVA/ha})$$

$$Demanda_{\text{vidrio}} = 260,52\text{kVA}$$

Luego realizando un cálculo similar se procedió a calcular las demandas eléctricas para todas las industrias que se construirán en la ciudad. En la tabla 4.10 se muestran los valores de demanda obtenidos para los diferentes tipos de industrias que se instalaran en la ciudad.

Tabla 4.10. Demanda del sector industrial de Ciudad Caribia

Tipo de industria	Área (ha)	Demanda General (kVA)	Alumbrado Público (kVA)	Total (kVA)	Cuadrícula
Vidrio	6,14	229,93	30,71	260,52	11DJ
Farmaceuta	6,14	669,71	30,71	700,42	01DJ
Metalúrgica	6,14	2.123,28	30,71	2.153,99	00DJ
Textil	6,14	2.946,79	30,71	2.977,50	99CH
Alimenticia	6,14	3.534,91	30,71	3.565,62	98CH
Mueble	6,14	491,61	30,71	522,33	89CH
Calzado	6,14	1.905,21	30,71	1.935,92	88CH
Industria de la Construcción	1,80	25,38	9	34,38	87CH

4.1.10 Demanda de Servicios existentes en la ciudad.

La tabla 4.11 muestra los valores de demanda de los diversos servicios que estarán presentes en la ciudad.

Tabla 4.11. Demanda de servicios existentes en la ciudad

Tipo de Zona	Área (m <sup>2</sup> )	Demanda General (kVA)	Alumbrado Público (kVA)	Total (kVA)	Cuadrícula
Planta de tratamiento de aguas servidas	217	285	0,108	285,108	00DH,91CH
Planta potabilizadora	192	285	0,096	285,096	
Vivero	722	37	0,361	37,361	30DJ
Cementerio	1.689	446	0,844	446,844	24DH
Estaciones de Servicio	1,17	200	5,850	205,850	34DH,29DH,63DH

4.1.11 Demanda total de ciudad Caribia.

Tabla 4.12. Demanda total por sectores de Ciudad Caribia

<b>TOTAL SECTOR RESIDENCIAL (kVA)</b>	30.943,24
<b>TOTAL SECTOR COMERCIAL (kVA)</b>	6.107,37
<b>TOTAL SECTOR INDUSTRIAL (kVA)</b>	12.150,80
<b>TOTAL GENERAL (KVA)</b>	49.201,41

En la tabla 4.12 se observa que la demanda total del complejo urbanístico es de 49.201,41kVA. La reserva se dejará en los conductores de los circuitos, es decir, los mismos se diseñarán a un 90% de su capacidad de diseño según norma de diseño (I) 3-2006 (capacidad de carga de los conductores de distribución) y se tomará el 10% como reserva para prever el crecimiento futuro de la carga

Esta información permite dimensionar la red de distribución de media tensión y diseñar los circuitos que la conformarán.

#### **4.2 Ubicación del centro de carga.**

En la tabla 4.13 se muestran los resultados obtenidos para las coordenadas del centro de carga. Las mismas corresponden a la cuadrícula 34DH (ver resultados de cálculo en anexo 7)

Tabla 4.13. Coordenadas del centro de carga

Coordenada X	Coordenada Y	Cuadrícula
1073310,91	1749269,39	34DH

En la figura 4.1 se muestra la ubicación del centro de carga en el plano general.

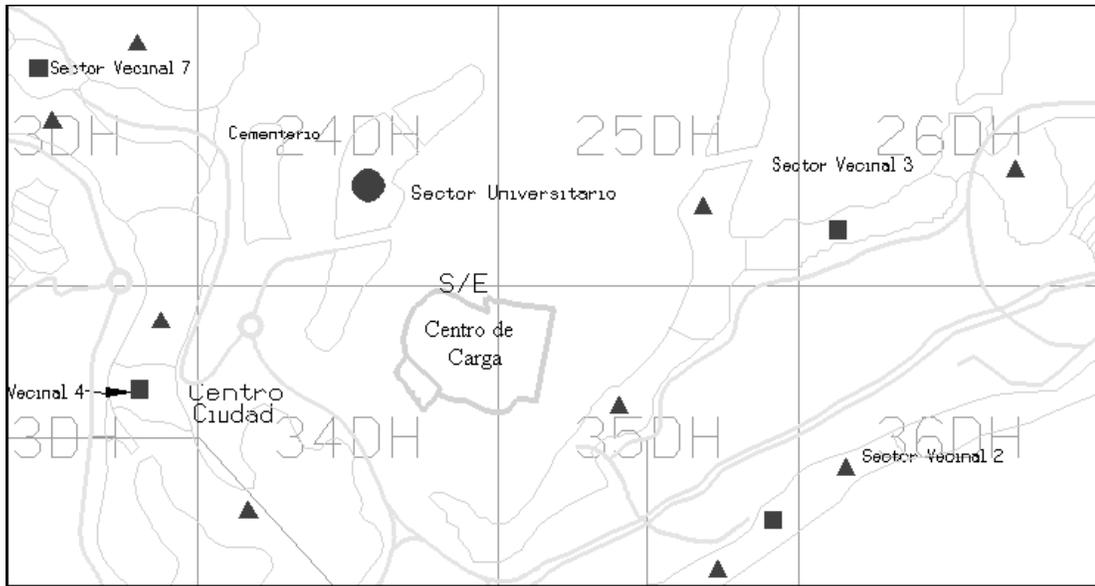


Figura 4.1. Ubicación del centro de carga en el plano general

Después de realizar las evaluaciones respectivas se llegó a la conclusión de que el mismo estaba apto para la construcción de la subestación. Esto dado a las rutas de fácil acceso por las cuales llegaría la línea de transmisión que alimentara la subestación y la vialidad para llegar al mismo. Finalmente se entrevistó a los ingenieros y arquitectos desarrolladores del urbanismo y se llegó el acuerdo definitivo de que el área evaluada sería el terreno definitivo para la construcción de la subestación eléctrica.

### 4.3 Tipo de red de distribución a diseñar

Para elegir la red troncal que se construirá en Ciudad Caribia se hizo un estudio técnico y uno económico para las opciones aérea y subterránea los resultados de los mismos se muestran a continuación:

#### 4.3.1 Opción Subterránea

Para evaluar el aspecto técnico de la red troncal subterránea en primer lugar se realizó un recorrido por el parcelamiento para observar la topología del terreno y se encontró que la geografía del mismo es muy accidentada, es decir, terreno totalmente montañoso, además el terreno es rocoso lo cual dificulta la excavación del mismo. Por otra, parte las pendientes de las carreteras existentes están por el orden de los 30 y 60 grados. Estos aspectos dificultan enormemente la construcción de este tipo de red, debido a los movimientos de tierra que habría que realizar para la construcción de canalizaciones, bancadas y sótanos de transformación.

Por otra parte se encuentra el tema de las comunidades aisladas. Dado que Ciudad Caribia tendrá una serie de comunidades retiradas del casco central, llevar el servicio eléctrico vía subterránea a dichos sectores incrementaría los costos mucho más que si se llevara vía aérea.

Al evaluar el aspecto económico haciendo uso del programa para elaborar presupuestos usado por La EDC se obtiene el siguiente resultado. (Tabla 4.14)

Tabla 4.14. Costo estimado de instalación 100m subterráneos

	Materiales	Mano de Obra	Total (Bs.f)
Línea Subterránea (500PLT15)	322.407,00	15.153,00	337.560,00
2 Sótanos	84.458,00	58.540,00	142.999,00
Tuberías	62.729,00	76.606,00	139.336,00
Total	469.594,00	150.299,00	619.894,00

En la tabla 4.14 se muestran los costos de la instalación de 100 metros de conductor subterráneo. A estos costos hay que agregarle los de movimientos de tierra

para la construcción de las banquetas. Lo cual incrementaría aproximadamente en un 30% el costo total, esto según tabla de cálculo de presupuestos de La EDC.

#### 4.3.2 Opción Aérea.

Al evaluar técnicamente la red troncal aérea se obtuvo que la misma se adaptará mejor a la topología del terreno, debido a que se superan los problemas de desniveles y movimientos de tierra. Sin embargo, la escogencia de dicha opción genera un aspecto visual desagradable para los habitantes de la ciudad, dado que se verían líneas de distribución por todas partes.

Por otra parte en la tabla 4.15 se muestra el costo de construcción de 100 metros de red troncal aérea,

Tabla 4.15. Costo estimado de instalación 100m Aéreos

	Materiales	Mano de Obra	Total (Bs.f)
Línea Aérea (4/0_AL)	41.821,00	9.838,00	51.660,00
Postes	14.488,78	487,85	14.976,63
Total	56.309,78	10.325,85	66.636,63

Al comparar las tablas 4.14 y 4.15 se observa claramente que los costos de la construcción de una red subterránea son 10 veces mayores a los de la aérea. Por lo tanto la opción técnica y económicamente más favorable para la ciudad es la aérea. Por otra parte para mejorar el aspecto visual se optó por la opción de diseñar los circuitos alimentadores (troncales) netamente aéreos y gran parte de los circuitos ramales subterráneos, esto debido a que los mismos son los que llegan a las terrazas, y las mismas poseen superficies planas en las cuales sería fácil la construcción de tramos subterráneos. Cabe señalar que los tramos subterráneos no serán mayores a 150 metros.

Por otra parte, de la evaluación del terreno se encontró que las rutas, para los circuitos, que mejor se adaptan a las condiciones del terreno son las existentes en la ciudad (vialidad, rutas vehiculares). Esto debido al fácil acceso para la construcción y futuro mantenimiento de las líneas. Si se eligiera otra ruta habría que construir nuevas carreteras para realizar instalaciones y mantenimientos y esto incrementaría los costos del proyecto.

#### **4.4 Esquemas de servicio a construir en Ciudad Caribia**

Dada la topología del terreno y la ubicación geográfica del mismo los esquemas de servicios que mejor se adaptan a Ciudad Caribia son Primario Radial con Interconexión (PRI) y Primario Radial Simple (PRS), dado que en la ciudad sólo se construirá una subestación, deja sin efecto la construcción de una red mallada. De tal manera que el esquema de servicio seleccionado para la red será el nombrado anteriormente.

##### **4.4.1 Número de circuitos de la red de distribución.**

Para determinar el número de circuitos que conformarán la red de distribución fue preciso, en primer lugar, construir geográficamente cada circuito seleccionado y de esta manera asignar a cada circuito las cargas (Residencial, Comercial e Industrial) correspondientes según las rutas recorridas por los mismos. Ver tabla 4.16.

Tabla 4.16. Numero de circuitos de la red de distribución

<b>CIRCUITO</b>	<b>Demanda (kVA)</b>	<b>Longitud</b>	<b>Alimenta a sector</b>	<b>Tipo</b>
Caribia_A01	4.329,58	2.500	SV1, SV2,C.A N°8	Residencial
Caribia_A02	4.398,99	2.900	Cementerio, SV7, C.A N°9 y N°10, Sist.de bombeo de agua	Residencial
Caribia_A03	4.476,69	3.000	SV8, SV10, C.A N°11, Agricultura Educacional y Sociocultural	Residencial
Caribia_A04	4.086,91	5.600	Indus. Metalurgia, Indus. Calzado	Industrial
Caribia_A06	4.636,62	5.350	SV4, C.A N°1,2,3, Agricultura Suburbana	Residencial
Caribia_A07	4.432,28	2.250	SV5, Deportes, SV6	Residencial
Caribia_A08	4.087,95	5.350	Indus. Alimenticia, Indus. Muebles	Industrial
Caribia_A09	4.378,14	900	Sector Comercial, Sector Universitario	Comercial
Caribia_B01	1.729,23	1.100	Sector Comercial, Vivienda Agrícola	Comercial
Caribia_B02	4.102,00	4.100	SV9, Barrio, C.A N°4,5,6,7	Residencial
Caribia_B03	4.390,00	4.000	SV3, SV11	Residencial
Caribia_B04	3.972,94	4.500	Indus: Textil, Vidrio, Farmaceuta, Construcción	Industrial

En la tabla 4.16 se observa que la red de distribución estará conformada por 12 circuitos de los cuales 7 serán residenciales, 2 comerciales y 3 industriales.

Para dar energía a los doce circuitos se necesitan tres unidades de transformadores de 30MVA cada uno, esto de acuerdo con el estudio realizado por el departamento de distribución de la Compañía. A cada unidad se le instalarán cuatro circuitos.

#### 4.4.2 Cálculo de los conductores de la ruta troncal de los circuitos.

El cálculo de los conductores de la ruta troncal de los circuitos se realiza básicamente por capacidad de corriente y por caída de tensión. Para el cálculo por capacidad de corriente será empleada la siguiente ecuación:

$$I = \frac{\text{Potencia}(kVA)}{\sqrt{3} \cdot \text{Voltaje}(kV)} \quad (4.2)$$

Siendo I la corriente que circulará por el conductor.

Por otra parte para el cálculo por caída de tensión se empleara la siguiente ecuación: [5]

$$\Delta V\% = K. (kVA_1 \cdot L_1 + kVA_2 \cdot L_2 + \dots + kVA_n \cdot L_n) \quad (4.3)$$

Siendo

$$K = \frac{r \cdot \cos \theta + x \cdot \sin \theta}{10 \cdot (kV)^2} \quad (4.4)$$

Donde:

r: representa la resistencia en ohmios por kilómetros del conductor.

x: representa la reactancia en ohmios por kilómetros del conductor.

$\theta$ : representa el ángulo entre la corriente y la tensión de fase neutro ( $\cos(\theta)$ = factor de potencia).

$L_n$ : longitud en kilometro del tramo n

kVAn: carga concentrada en la distancia  $L_n$ .

La ecuación 4.2 es empleada para el cálculo de caída de tensión para circuitos donde las cargas no están uniformemente distribuidas, este es el caso de los circuitos que conforman la red de distribución de Ciudad Caribia.

De la ecuación 4.3 se observa que para el cálculo de los conductores por caída de tensión es preciso conocer el factor de potencia de cada circuito.

El factor de potencia fue asignado según. [5] Mientras que el factor de carga fue asignado según lo establece la norma de diseño (I) 3-2006. El factor de pérdidas se calculó usando la expresión siguiente [5]:

$$FP = 0,3.FC + 0,7.(FC)^2 \quad (4.5)$$

Donde:

FC: Factor de carga

FP: Factor de pérdidas.

La ecuación 4.5 es utilizada por la unidad de planificación de la Compañía para realizar el cálculo del factor de pérdidas.

Por ejemplo para un circuito residencial con FC=0,60 aplicando la ecuación 4.5 se tiene lo siguiente:

$$FP = 0,3.0,6 + 0,7.(0,6)^2 \rightarrow FP = 0,43$$

La selección y determinación de estos factores son importantes para realizar las simulaciones de los circuitos.

Luego en la tabla 4.17 se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 4.17 Factores de carga, potencia y perdidas asignados a los circuitos

Tipos de Circuitos	Factor de potencia (fp)	Factor de carga (FC)	Factor de pérdidas (FP)
Residenciales	0,90	0,6	0,43
Comerciales	0,85	0,75	0,61
Industriales	0,80	0,9	0,83

Una vez conocidos todos estos factores se procede a calcular los conductores troncales para cada uno de los circuitos por capacidad de corriente y por caída de tensión. Por ejemplo para el circuito Caribia\_A01 se tiene lo siguiente:

Por capacidad de Corriente:

$$I = \frac{4329,58kVA}{\sqrt{3} * 12,47kV} \rightarrow I = 200,46A$$

Luego considerando un 10% de reserva se tiene que:

$$1,1 \cdot I = 220,50A$$

Para cumplir con el criterio de capacidad de diseño de los conductores de distribución establecidos por la Empresa, la corriente calculada (220,50A) debe

representar la corriente del conductor trabajando al 67% de su capacidad nominal (ver Capitulo 2). Luego para calcular la corriente del conductor al 100% de su capacidad nominal se debe multiplicar por un factor de 1,33 para llegar al valor nominal que debe tener el conductor esto es:

$$I_n = 1.33 * 220,50A \rightarrow I_n = 293,7A$$

Luego dado a que los conductores utilizados en la Compañía para redes aéreas son de aluminio desnudo, el conductor que cumple con la corriente calculada es el 3/0 (ver anexo 2 figura A2.1) cuya corriente nominal es de 300A a una temperatura del conductor de 75°C, una temperatura ambiente de 40°C, un factor de carga entre 30 y 100% y una velocidad de viento de 60m/s. los valores antes mencionados se adaptan a las condiciones ambientales de la Ciudad.

Luego la resistencia por kilometro de dicho conductor es  $r=0,373\Omega/\text{km}$  y la reactancia es  $x=0,438\Omega/\text{km}$ .

Una vez seleccionado el conductor por capacidad de corriente se procede a verificar que el mismo cumpla con el criterio de caída de tensión (5%) esto es:

$$\Delta V\% = \frac{(0,373 \cdot 0,90 + 0,438 \cdot 0,44)}{10 \cdot (12,47)^2} (737,53 \cdot 0,4 + 1217,27 \cdot 0,9 + 1187,39 \cdot 1,9 + 1187,39 \cdot 2,5)$$

$$\Delta V\% = 2,24\%$$

Se observa que el circuito presenta una caída de tensión del 2,24% por lo tanto el mismo cumple con el criterio de caída de tensión establecido por la empresa (+ - 5%).

Para determinar los conductores troncales del resto de los circuitos se empleo el mismo procedimiento. En la tabla 4.18 se presentan los resultados obtenidos al aplicar el cálculo.

Tabla 4.18. Calibre de conductores troncales para circuitos

<b>CIRCUITO</b>	<b>Conductor Troncal (AWG)</b>	<b>Normalizado Por la Compañía (AWG)</b>	<b>%ΔV</b>	<b>Material</b>	<b>Tipo</b>
Caribia_A01	3/0	4/0	2,24	Aluminio	R
Caribia_A02	3/0	4/0	2,42		R
Caribia_A03	4/0	4/0	2,25		R
Caribia_A04	4/0	4/0	4,49		I
Caribia_A06	4/0	4/0	2,91		R
Caribia_A07	4/0	4/0	1,85		R
Caribia_A08	4/0	4/0	4,45		I
Caribia_A09	3/0	4/0	0,66		C
Caribia_B01	4/0	4/0	1,05		C
Caribia_B02	3/0	4/0	2,91		R
Caribia_B03	3/0	4/0	1,82		R
Caribia_B04	4/0	4/0	4,06		I

Una vez calculados los conductores para las rutas troncales se procede a calcular los conductores de los ramales. Para esto se establecieron las siguientes premisas:

- Para los ramales con una longitud mayores a 150 metros el conductor utilizado será desnudo y de aluminio y los mismos serán aéreos
- Para ramales con longitudes menores o iguales a 150 metros se emplearán conductores de cobre aislados con material PLT y los mismos serán subterráneos. Se realizará mediante el empalme de aluminio a cobre.

Luego aplicando un cálculo similar al de los conductores para la ruta troncal se obtienen los conductores para los ramales. En la tabla 4.19 se muestran los resultados obtenidos para los ramales menores o iguales a 150 metros

Tabla 4.19. Calibre de conductores ramales menores a 150m

<b>Ramal (kVA)</b>	<b>Corriente (A)</b>	<b>Calibre mínimo calculado (AWG)</b>	<b>Calibre Normalizado Por la Compañía (AWG)</b>	<b>Longitud (km)</b>	<b>Material</b>	<b>Aislamiento</b>
<b>300</b>	13,88	6	2	0,15	Cobre	PLT15kV
<b>500</b>	23,14	6	2	0,15		
<b>600</b>	27,77	6	2	0,15		
<b>800</b>	37,03	6	2	0,15		
<b>1000</b>	46,29	6	2	0,15		

El cálculo para los circuitos ramales menores a 150 metro se realizó con las potencias que se indican en la tabla 4.19 debido a que las mismas son las sumas de las capacidades nominales de los transformadores que serán conectados a los circuitos

Por otra parte en la tabla 4.20 se muestran los resultados obtenidos para los ramales mayores a 150 metros

Tabla 4.20. Calibre de conductores ramales mayores a 150m

Ramal (kVA)	Corriente (A)	Calibre mínimo calculado (AWG)	Calibre Normalizado Por la Compañía (AWG)	Longitud (km)	Material	Aislamiento
300	13,88	6	4	0,5	Aluminio	Desnudo
500	23,14	6	4	1		
600	27,77	6	4	1,5		
800	37,03	6	4	2		
1000	46,29	6	4	2,5		

Se observa que para ambos (ramales aéreos y subterráneos) casos el calibre de conductor que cumple es el número 6AWG.

En la figura 4.2 se muestra la conexión interna entre sectores. Se observa que la ruta troncal de los circuitos será netamente aérea y una vez que los mismos lleguen a los distintos puntos a servir pasaran a ser subterráneos.

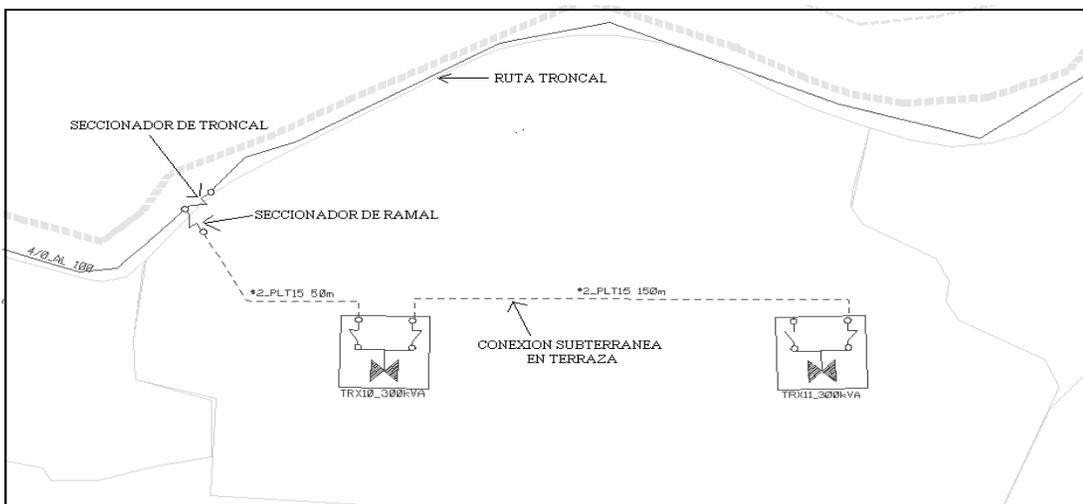


Figura 4.2. Conexión subterránea entre sectores.

#### 4.4.2 Selección de transformadores de distribución y seccionadores a utilizar en el proyecto.

Para la selección de los transformadores se entrevistó a los desarrolladores del proyecto Ciudad Caribia y al personal de la Unidad de Planificación de Distribución de La EDC filial de CORPOELEC. Por requerimientos de los desarrolladores se decidió elaborar el proyecto con transformadores tipo pedestal de 300kVA y 500kVA ver anexo 3.

Dado a que no se posee información sobre la ubicación de las edificaciones, los puntos de transformación fueron colocados en forma distribuida en cada terraza o sector con el fin de que cubra la demanda de la misma. La distancia entre puntos de transformación no será mayor a 150 metros, esto con la finalidad de disminuir la caída de tensión en baja tensión.

Para el seccionamiento de las líneas y las interconexiones se seleccionaron, según manual de equipos, seccionadores manuales de 600 amperes. Esto debido a las cortas distancias que tienen los circuitos y a la economía. Ver especificaciones en anexo

#### 4.4.3 Simulación de los circuitos

Una vez seleccionados y calculados los respectivos factores de diseño de cada circuito se procedió a aplicar la norma de seccionamiento y a simular cada uno de ellos por sus respectivas rutas.

Las simulaciones se realizaron con el programa ASP (Análisis de Sistemas Primarios) con el fin de verificar que los mismos cumplieren con los criterios de diseño de la empresa

En la tabla 4.21 se muestran los resultados obtenidos de las simulaciones para cada uno de los circuitos.

Tabla 4.21 Resultados de las simulaciones de los circuitos Caribia

<b>CIRCUITO</b>	<b>Capacidad Instalada (kVA)</b>	<b>Demanda (kVA)</b>	<b>V<sub>mín</sub> (pu)</b>	<b>FU</b>	<b>CN %</b>	<b>CE %</b>	<b>Perd %</b>	<b>Alimenta a sector</b>	<b>Tipo</b>
Caribia_A01	5.500	4.329,58	0,98	0,79	56	56	1,24	SV1, SV2, C.A N°8	R
Caribia_A02	5.500	4.398,99	0,98	0,80	57	57	1,58	Cementerio, SV7, C.A N°9 y N°10, Sist.de bombeo de agua	R
Caribia_A03	5.600	4.476,69	0,97	0,80	58	58	1,71	SV8, SV10, C.A N°11, Agricultura Educativa y Sociocultural	R
Caribia_A04	5.300	4.086,91	0,96	0,77	52	52	2,45	Indus. Metalurgia, Indus. Calzado	I
Caribia_A06	6.000	4.636,62	0,96	0,77	60	60	2,20	SV4, C.A N°1,2,3, Agricultura Suburbana	R
Caribia_A07	5.600	4.432,28	0,98	0,79	57	57	1,41	SV5, Deportes, SV6	R
Caribia_A08	5.100	4.087,95	0,97	0,80	53	53	2,55	Indus. Alimenticia, Indus. Muebles	I
Caribia_A09	5.600	4.378,14	0,98	0,78	65	56	0,73	Sector Comercial, Sector Universitario	C
Caribia_B01	2.500	1.729,23	0,99	0,69	22	22	0,28	Sector Comercial, Vivienda Agrícola	C
Caribia_B02	5.150	4.102,00	0,97	0,80	53	53	1,48	SV9, Barrio, C.A N°4,5,6,7	R
Caribia_B03	5.600	4.390,00	0,97	0,78	56	56	1,37	SV3, SV11	R
Caribia_B04	5.000	3.972,94	0,96	0,79	51	51	2,68	Indus: Textil, Vidrio, Farmaceuta, Construcción	I

En la tabla 4.21 se observa que todos los circuitos diseñados cumplen con los criterios de diseños de la Empresa, es decir, Capacidad Nominal (CN) por debajo del 67%, caída de tensión entre +- 5% y porcentaje de pérdidas menor al 3%. Ver resultados de simulaciones en anexo A6.

En las figuras 4.3, 4.4, 4.5 y 4.6 se presentan gráficamente los factores de diseño más importantes (caída de tensión, porcentaje de emergencia, factor de pérdidas y factor de utilización).

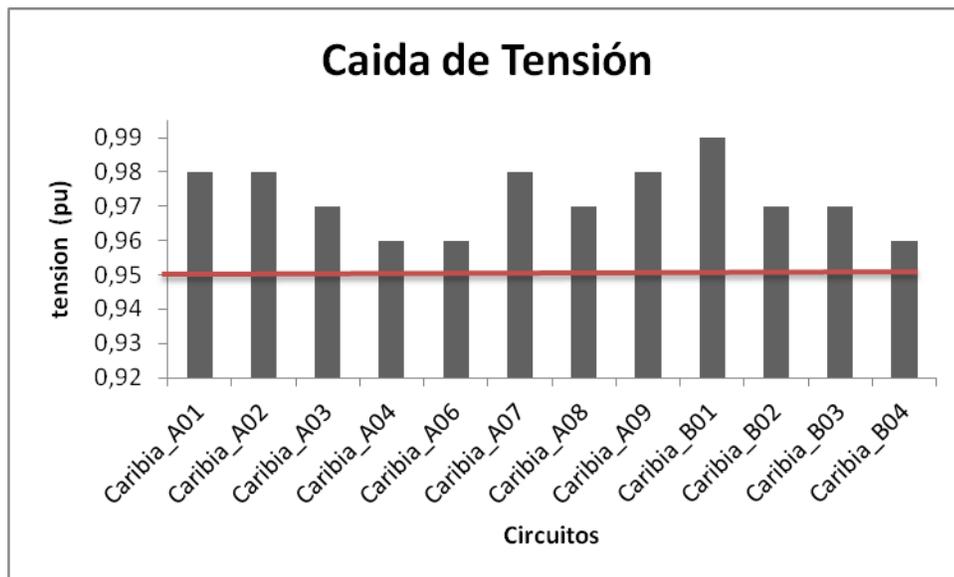


Figura 4.3.Caída de tensión en circuitos

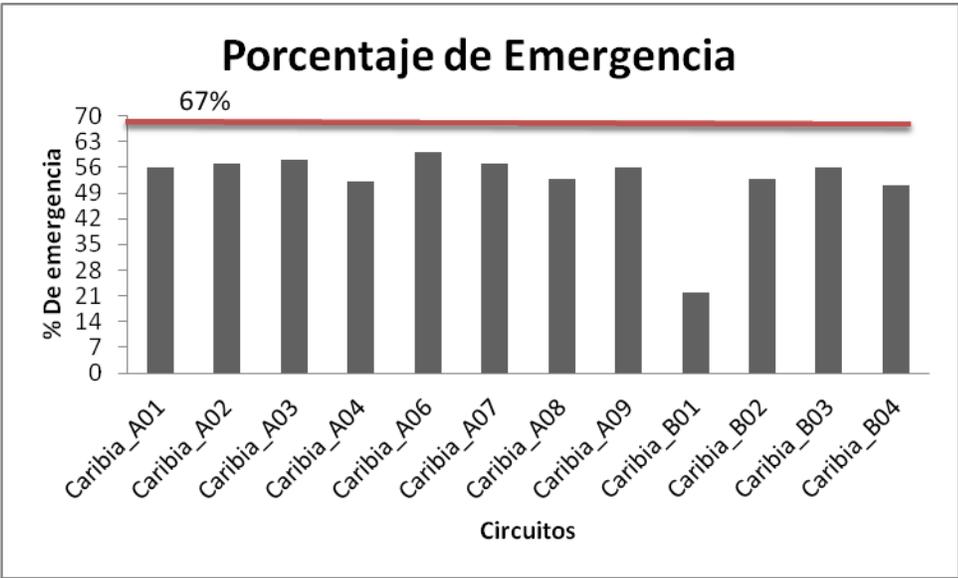


Figura 4.4. Porcentaje de emergencia por circuito

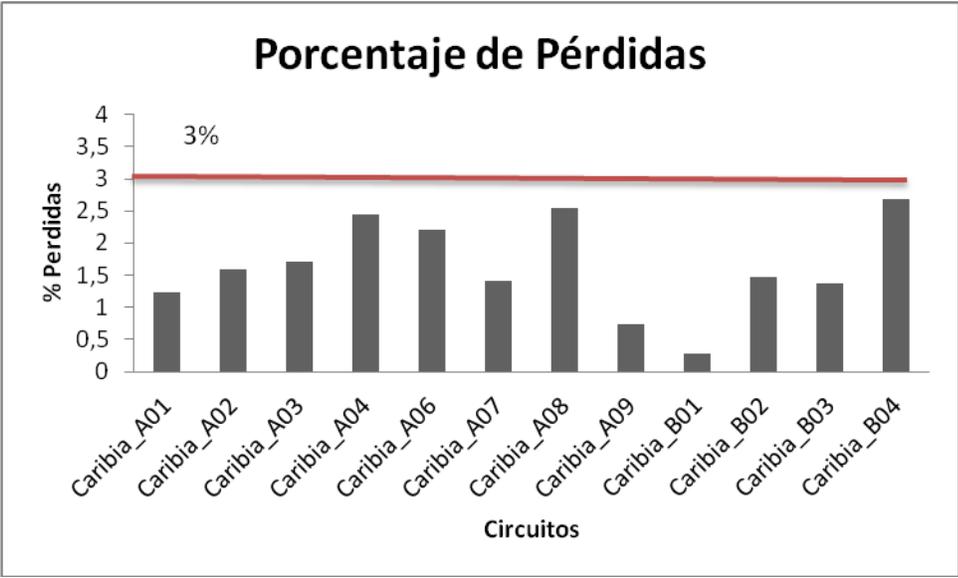


Figura 4.5. Porcentaje de pérdidas por circuitos.

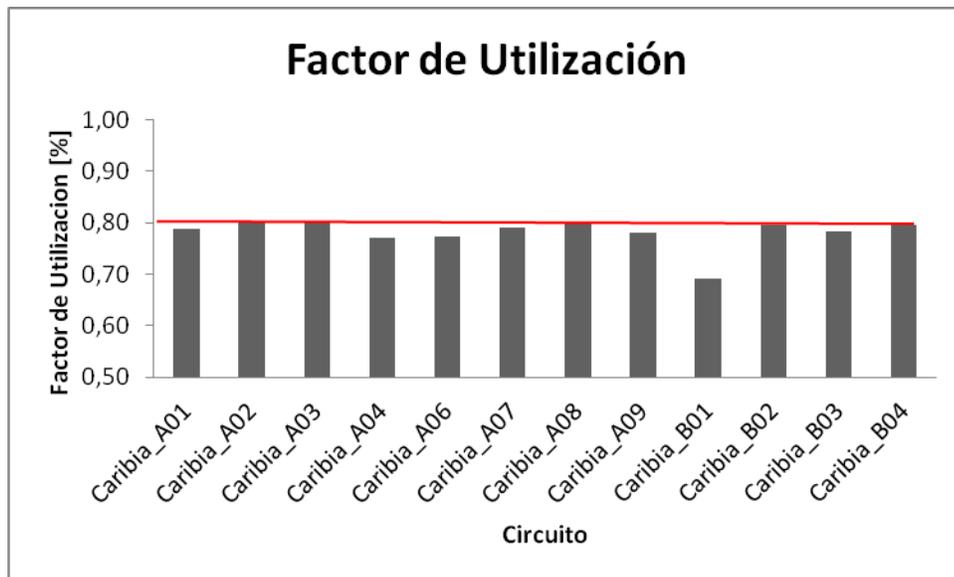


Figura 4.6. Factor de utilización de cada circuito

Los circuitos del Caribia\_A01 al Caribia\_A04 pertenecen a la primera unidad, del Caribia\_A06 al Caribia\_A09 a la segunda y del Caribia\_B01 al Caribia\_B04 a la tercera. Como se muestra en la figura 4.5

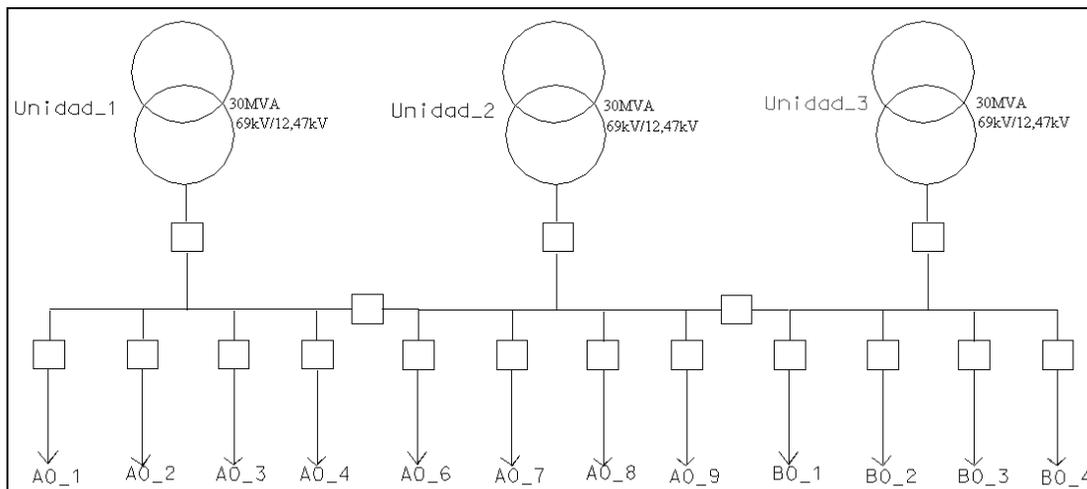


Figura 4.7. Esquema de salida de subestación.

Un aspecto importante en el diseño de redes de distribución es la longitud troncal de los circuitos y la cantidad de materiales que se requieren para la construcción de los mismos.

En la figura 4.8 se muestra la longitud de cada circuito (longitud troncal)

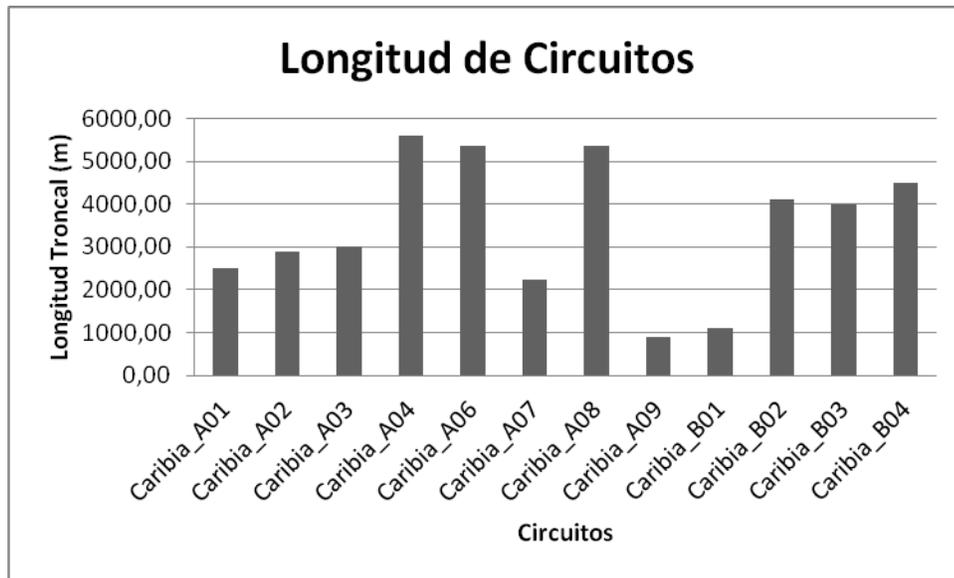


Figura 4.8. Longitud del troncal de los circuitos Caribia

Por otra parte en la tabla 4.22 se muestran la cantidad de conductores seccionadores y transformadores que se necesitan para la construcción de cada circuito.

Tabla 4.22. Materiales que lleva cada circuito

CIRCUITO	LONGITUD CONDUTORES (m)				TRANSFORMADORES		SECCIONADORES
	500PLT	#6PLT	3/0_AL	4/0_AL	300kVA	500KvA	600A
Caribia_A01	20	750	2500	0	14	1	16
Caribia_A02	20	600	2900	0	9	3	12
Caribia_A03	20	650	0	3000	9	4	14
Caribia_A04	20	450	0	5600	0	9	14
Caribia_A06	20	650	0	5350	8	5	18
Caribia_A07	20	850	0	2250	17	0	13
Caribia_A08	20	450	0	5350	0	9	17
Caribia_A09	20	600	900	0	6	6	13
Caribia_B01	20	300	1100	0	4	2	7
Caribia_B02	20	650	4100	0	9	4	20
Caribia_B03	20	850	4000	0	12	5	24
Caribia_B04	20	400	0	4500	0	8	14
<b>TOTAL:</b>	<b>960</b>	<b>28800</b>	<b>15500</b>	<b>26050</b>	<b>88</b>	<b>56</b>	<b>182</b>

En la tabla 4.20 se muestra una aproximación de la cantidad de material que llevará la construcción de cada circuito conforme a la red de distribución. Los 20 metros de cable 500PLT serán utilizados para salir de la subestación de forma subterránea hasta llegar a los diferentes postes que llevaran el servicio eléctrico por la red troncal en forma aérea. Se aplica el conductor 500PLT15kV dado que los esquemas de salida de las subestaciones así lo requieren.

En la figura 4.9 se muestra la salida de los circuitos de la subestación.

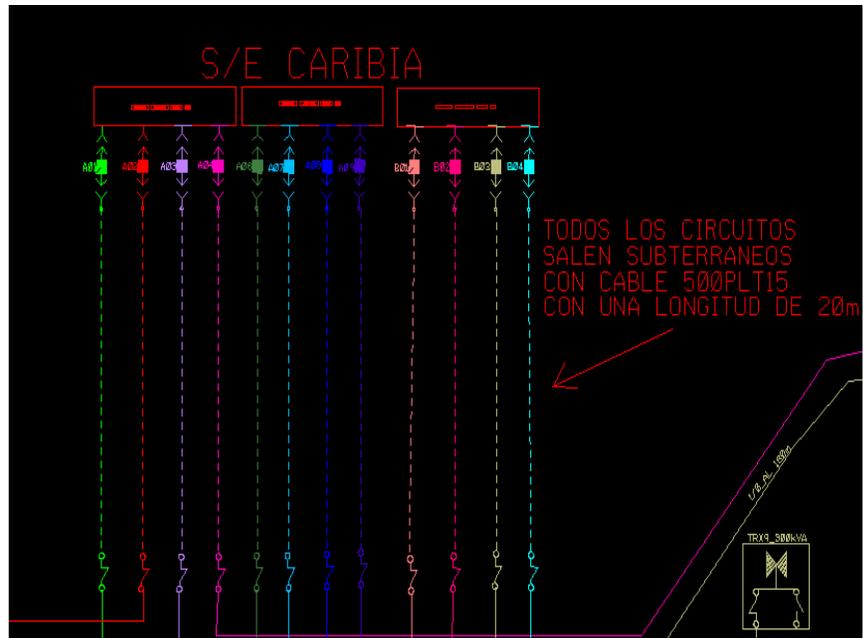


Figura 4.9. Salida de los circuitos de la subestación

#### 4.4.4 Interconexiones entre los circuitos.

Para realizar la interconexión entre los circuitos se verificó en primer lugar que los mismos tuvieran rutas similares. Por otra parte las interconexiones se realizaron en la mayoría de los casos entre circuitos de unidades diferentes. Esto se hace de esta manera con el fin de brindar más flexibilidad y confiabilidad al sistema.

En la tabla 4.23 se muestran las interconexiones entre cada uno de los circuitos.

Tabla 4.23. Interconexiones entre circuitos

<b>CIRCUITO</b>	<b>INTERCONEXIONES</b>		
Caribia_A01	Caribia_B03	PRO_B02	
Caribia_A02	Caribia_A06	Caribia_A09	
Caribia_A03	Caribia_A07	Caribia_B03	
Caribia_A04	Caribia_A08	Caribia_B04	
Caribia_A06	Caribia_A04	Caribia_A02	
Caribia_A07	Caribia_B02	Caribia_A03	
Caribia_A08	Caribia_B04	Caribia_A04	
Caribia_A09	Caribia_A02	Caribia_B01	Caribia_B02
Caribia_B01	Caribia_B02	Caribia_A09	
Caribia_B02	Caribia_B01	Caribia_A09	Caribia_A06
Caribia_B03	Caribia_B02	Caribia_A01	Caribia_A03
Caribia_B04	Caribia_A04	Caribia_A08	

Los circuitos están diseñados de tal manera que cada interconexión realizada recupere un tercio (1/3) de la carga de un circuito adyacente que presente una falla.

El procedimiento para realizar las interconexiones entre los circuitos será manual debido a las cortas distancias de los circuitos lo cual no justifica la inversión de hacer interconexiones automáticas.

En la figura 4.10 se muestra la interconexión entre los circuitos Caribia\_B03 y Caribia\_A01

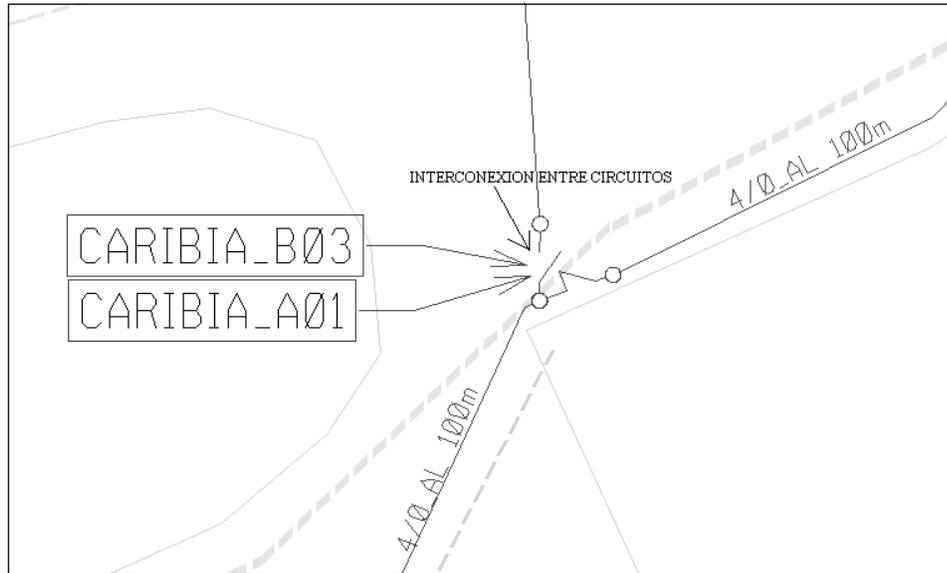


Figura 4.10. Interconexiones entre circuitos.

Por ejemplo al producirse una falla en la unidad de transformación 1 de la futura subestación un tercio del circuito Caribia\_A01 será recuperado por Caribia\_B03 y el otro tercio por PRO\_B02. De esta manera se le da mayor confiabilidad y flexibilidad al sistema.

## CAPÍTULO V

### ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

#### 5.1 Demanda estimada

La demanda total estimada para la construcción de la red de distribución de media tensión (12,47kV) de Ciudad Caribia fue 49.201,41kVA la misma está dividida en tres sectores: Residencial, Comercial e Industrial. De la demanda total un 62,89% corresponde al sector residencial, 24,70% al sector industrial y 12,41% al sector comercial.

Esto indica que la carga eléctrica predominante en Ciudad Caribia será la residencial. De esta manera se pueden validar los resultados obtenidos dado que para la estimación de la demanda residencial se aplicaron las normas establecidas por La EDC filial de CORPOELEC.

Por otra parte cabe destacar que la demanda del sector industrial fue estimada haciendo uso de datos e índices de demanda, que posee la compañía de clientes ubicados en las zonas industriales de Guarenas y Guatire. Dichos resultados permitieron tener una aproximación real del consumo eléctrico de las industrias más importantes (Alimenticia, Textil, Farmaceuta, entre otras) y de esa manera se hizo una similitud para tener un valor aproximado para la zona industrial de la Ciudad.

## **5.2 Centro de carga y tipo de red a diseñar**

El área en el cual quedó el centro de carga obtenido en el diseño de la red de distribución, se adapta a los requerimientos técnicos necesarios para la construcción de la subestación Caribia. Esto debido a que la subestación de transmisión (S/E Arrecife) con la cual se pretende alimentar la subestación se encuentra al norte del terreno seleccionado, a unos 7km aproximadamente. Lo cual justifica la construcción de la subestación en ese lugar.

En cuanto al tipo de red eléctrica a diseñar, de los análisis técnicos y económicos se obtuvo que la mejor opción era una red aérea dado a que es la que mejor se adapta a la geografía del terreno y es más económica que la subterránea.

El punto de lo económico es extremadamente importante en este proyecto debido a que la ejecución del mismo debe realizarse en corto plazo dado al gran déficit de viviendas que existe actualmente en el país. Ese factor no técnico pero de gran importancia justifica la elección de una red aérea que cumple con los requerimientos técnicos establecidos y brinda un servicio seguro y de calidad.

## **5.3 Esquemas de servicios y número de circuitos**

El esquema de servicio seleccionado para la red de distribución de la Ciudad fue el primario radial con interconexión. Dicho esquema no es el más confiable y versátil que existe pero permite brindar un servicio de calidad y seguro. Además es un esquema sencillo, económico, flexible y de fácil mantenimiento lo cual garantiza su permanencia en el tiempo.

Por otra parte el número de circuitos necesarios para dar servicio a todos los sectores de la Ciudad quedó condicionado por las rutas de los mismos.

#### **5.4 Diseño de los circuitos**

El cálculo de los conductores fue realizado por capacidad de corriente y caída de tensión. En la tabla 4.17 se observa que los conductores obtenidos para la red troncal fueron el 3/0 y el 4/0 La EDC tiene normalizado para los circuitos troncales el conductor desnudo calibre 4/0 aluminio. De tal manera que si se desea implementar este proyecto con dicho conductor, el mismo cumplirá con los criterios de diseño establecidos de la Empresa.

Por otra parte para los tramos ramales (aéreos y subterráneos) el conductor calculado fue el calibre #6, sin embargo, la Compañía tiene normalizados para tramos ramales subterráneos mínimo el conductor #2, esto indica que el mismo puede ser utilizado para la implementación del proyecto debido a que cumple con los requerimientos de diseño de la empresa. Para los tramos ramales aéreos la Compañía tiene normalizado el conductor calibre 1/0 de material aluminio el cual también cumple por ser de mayor calibre.

Por otra parte en la tabla 4.19 se muestran los resultados de las simulaciones realizadas a cada circuito. En la misma se observan todos los factores involucrados en el diseño.

Luego en la figura 4.3 se muestra el gráfico de la caída de tensión en cada circuitos, se observa que todos los circuitos cumplen con el criterio de caída de tensión establecido por las normas de la Empresa (+/- 5%). Se observa además que los

circuitos que presentan una mayor caída de tensión son el Caribia\_A04, Caribia\_A06 y el Caribia\_B04.

La figura 4.4 muestra los porcentajes de emergencia de cada circuito, en la misma. Se observa que todos los circuitos están por debajo de la capacidad de emergencia, es decir, menores al 67%. Esto permite afirmar que cada circuito puede recuperar al menos el 33% de otro circuito ante una posible falla o maniobra en el sistema. En dicha figura también se observa que el circuito que puede recuperar más carga es el Caribia\_B01 dado a que es el que presenta menor carga conectada.

En la figura 4.5 se muestran los porcentajes de pérdidas técnicas de los circuitos se observa que todos cumplen con el criterio de diseño de la Empresa (pérdidas menor al 3%). Por otra parte en la figura también se observa que los circuitos que presentan mayor porcentaje de pérdidas son los industriales (Caribia\_A04, Caribia\_A08, y Caribia\_B04).

En la figura 4.6 se presenta el factor de utilización de cada circuito, se observa que en todos los casos la utilización de los transformadores es menor o igual al 80%. Esto es así debido a que para el diseño de circuitos de distribución se establece un factor de utilización de los equipos de transformación entre un rango que va del 60% al 80% con esto se prolonga la vida útil de los transformadores de distribución, según [18]

Por otra parte en la figura 4.8 se muestra la longitud en metros de cada circuito. Se observa que los mismos están por debajo de 6.000 metros de longitud, es decir son circuitos cortos. Se observa que los circuitos de mayor longitud son los industriales lo cual justifica que los mismos presenten la mayor cantidad de pérdidas y caída de tensión.

La distancia del circuito es un factor muy importante a considerar cuando se desean hacer las interconexiones entre los mismos. Cuando se tienen circuitos de distribución largos (15km o más) es conveniente que las mismas se realicen de forma automática, esto minimizará los costos de operatividad y mantenimiento. Cuando los circuitos son cortos se recomienda que las interconexiones se realicen de forma manual dado que es más fácil despejar y aislar las fallas y además es más económica la inversión.

## CONCLUSIONES RECOMENDACIONES

### 6.1 Conclusiones

- El estudio de estimación de la demanda eléctrica para Ciudad Caribia arrojó una demanda de 49.201,41 kVA de los cuales 63% al sector residencial, 25% al sector industrial y 12% al sector comercial.
- Para dar servicio eléctrico a Ciudad Caribia se necesitarán 12 circuitos de distribución, de los cuales 7 serán residenciales, 3 Industriales y 2 Comerciales.
- Los cálculos de los conductores de distribución arrojaron que todos los circuitos troncales serán aéreos con conductores desnudos calibres 3/0 y 4/0, y la distribución en las distintas terrazas será subterránea con conductores calibre #6PLT15kV.
- Para cubrir la demanda eléctrica de la Ciudad se deben instalar 3 unidades de transformación de 30MVA cada una.
- El esquema de servicio que se empleó fue el radial simple con interconexión debido a su sencillez y economía.
- Las interconexiones entre circuitos serán realizadas de forma manual debido a las cortas distancias entre los mismos

- De las entrevistas realizadas a los desarrolladores del proyecto se obtuvo que todos los transformadores empleados para la construcción serán de tipo pedestal, de potencias nominales 300kVA y 500kVA.
- De la inspección realizada al terreno destinado para la subestación se encontró que el mismo se adapta a las condiciones técnicas requeridas dado a que no posee obstáculos y es de fácil acceso.
- La ruta de los circuitos será por la vialidad existente en el urbanismo, debido a que disminuye los costos de construcción y facilita las labores de operación y mantenimiento de los circuitos.
- La salida de los circuitos de la subestación será subterránea con cable PLT 500kcmil.

## 6.2 Recomendaciones

De acuerdo al diseño realizado se recomienda lo siguiente:

- Elaborar un estudio para el diseño de la subestación de Ciudad Caribia y adaptarlo a los resultados obtenidos en este proyecto.
- Realizar un estudio para determinar la salida de los circuitos de la subestación eléctrica.
- Al construir la red de distribución ubicar transformadores y puntos de interconexión en lugares de fácil acceso para la operación y mantenimiento.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Harper, G. *Líneas de transmisión y redes de distribución de potencia eléctrica* (Libro). México: LIMUSA, 1983. P. 532-535.

[2] Pansini J., Anthony. *Electrical distribution engineering*. (Libro) Oklahoma: The Fairmont Press, INC, 1992.

[3] Santiago, D. *Ubicación de subestaciones por medio de densidades de carga*. (Tesis). Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala. 2006. p. 8-10.

[4] Castaño, S. *Redes de distribución de energía*. (Libro). Colombia: Universidad Nacional de Colombia. 2004. p. 6-7.

[5] Naranjo, A. *Proyecto del sistema de distribución eléctrico*. (Libro). Venezuela: Universidad Simón Bolívar. 2004. p. 49-50.

[6] Norma de servicio ((III) 3: 2006). *Esquemas de servicio y tipos de distribución*. Caracas: C.A La Electricidad de Caracas.

[7] Rodríguez, Carla. *Estudio de Planificación a mediano plazo de la S/E Esmeralda de 12,47kV de la Electricidad de Caracas*. (Tesis). Caracas: Universidad Simón Bolívar, 2008.

[8] Manual de Procedimientos. *Estudios de Planificación a Corto Plazo*. C.A La Electricidad de Caracas, 2008.

[9] Norma de Diseño (IIB)-2006. *Tensiones normalizadas en el sistema de distribución*. Caracas: C.A La Electricidad de Caracas.

[10] Norma de Diseño (I) 3-2006. *Capacidad de carga de conductores en circuitos de distribución*. Caracas: C.A La Electricidad de Caracas.

[11] Normas de Ingeniería (III) 3-2006. *Esquemas de servicio y tipos de distribución*. Caracas: C.A La Electricidad de Caracas.

[13] Norma de diseño ((IID) 6: 2006). *Aplicación de seccionamiento e interconexión manual en alimentadores de distribución*. Caracas: CA. Electricidad de Caracas.

[14] Estudio para la alimentación del desarrollo urbanístico ciudad Caribia. Caracas: CA. Electricidad de Caracas.

[15] Estudio para la ubicación del centro de carga. Caracas: CA. Electricidad de Caracas.2010

[16] Norma de diseño ((I) 1: 1972). *Estimación de cargas constantes* Caracas: CA. Electricidad de Caracas.

[17] Manual de Estimación de Demanda y Diseño de Distribución para la Elaboración de Proyectos en la C.A. La Electricidad de Caracas elaborado por los ingenieros Carlos .A. Angulo y Juan Carlos Ascencao 2010.

[18] Norma de diseño ((IIC) 3: 2006). *Selección y operación económica de transformadores de distribución*. Caracas: CA. Electricidad de Caracas.

[19] Jiménez, V. *Estudio de saturación de la demanda en la región de Guarenas y Guatire*. (Tesis). Caracas: Universidad Simón Bolívar.2010. p. 40-60.

## BIBLIOGRAFÍA

Grainger J., Stevenson W. *Análisis de sistemas de potencia*. U.S.A: Mac Graw Hill, INC, 1996.

Montilva, Alexis. *Estudio de Planificación de S/E de distribución caso de estudio: S/Es PICURE en 12,47kV y MARAPA en 4,8kV de la Región Vargas de la EDC*. (Tesis). Caracas: Universidad Central de Venezuela, 2010.

Naranjo, Alberto. *Guía de Comandos del Programa ASPV7A*. Caracas: C.A La Electricidad de Caracas. 2005

Naranjo, Alberto. *Proyecto del sistema de distribución eléctrico*. Caracas: Equinoccio, USB, 2004.

Pansini J., Anthony. *Basic Electrical Power Distribution engineering*. Oklahoma: The Fairmont Press, INC, 1971.

González. Ayleen *Estudio de la demanda de Saturación de Energía Eléctrica de la Isla de Margarita Estado Nueva Esparta* (Tesis). Barcelona: Universidad de Oriente, 2009.

Mendez. María *Estudio de demanda de Saturación del sistema de distribución de los altos mirandinos*. (Tesis). Barcelona: Universidad de Oriente, 2009.

## **GLOSARIO**

### **Archivos \*.dat**

Son archivos que almacenan la información por circuito de los equipos, cargas, longitud de tramos, ductos ocupados en las bancadas y las interconexiones con circuitos adyacentes.

### **Análisis de Sistemas Primarios (ASP)**

Programa de análisis de sistemas primarios de distribución, que permite simular el estado del circuito para diversas condiciones de operación, no permite la modificación de los archivos \*.dat.

### **Cable**

Se llama cable a un conductor o conjunto de ellos generalmente recubierto de un material aislante o protector.

### **Caída de tensión**

Diferencia de tensión entre dos nodos de un circuito producto de la impedancia del conductor entre ambos, generalmente estos nodos corresponden al nodo del generador y nodo de la carga respectivamente.

### **Cuadrículas**

Son planos de escala 1:1.000 o 1:500, que abarcan un área de 250.000 m<sup>2</sup>, donde se muestra la información de las obras civiles existentes en la zona tales como sótanos, tuberías, calles, construcciones y además contiene información de los conductores de alta y baja tensión. Cada cuadrícula tiene su número de identificación interno el cual es utilizado para ubicar a los diferentes elementos de la red tales como: la ruta de los conductores, tipo de bancada instalada, ubicación de los sótanos, tipo de zona servida, entre otros.

### **Capacidad Nominal**

Se define como la carga máxima que puede soportar un conductor sin que se reduzca su vida útil; tomando en consideración el calibre, el material aislante (polietileno, papel plomo, goma neopreno, etc.).

### **Indicador de Falla (IF)**

Es un dispositivo que señala el paso de la corriente de cortocircuito por el punto donde se encuentra instalado.

### **Interconexión**

Unión de dos alimentadores a través de un equipo de seccionamiento, normalmente abierto, para recuperar carga de un alimentador transfiriéndola a otro, tanto en condiciones normales como de emergencia.

## **Planos de Operación**

Son planos que contienen información geográfica de las rutas de los circuitos primarios y de los equipos asociados. Se resaltan los diferentes puntos de seccionamiento, puntos de transformación, puntos de interconexión con circuitos vecinos, el tipo y calibre los conductores y los puntos de compensación reactiva si existiesen. Los planos están en escala 1:2.500 y presentan leyendas en las cuales se especifican los datos de cada uno de los equipos conectados en el circuito.

### **Plano macro**

Es un plano que se encuentra dividido en cuadrículas en el cual se muestran todos los circuitos de una subestación. Es utilizado para visualizar rápidamente los recorridos de los circuitos y los puntos de interconexión de los mismos, en donde cada circuito se identifica con un color y también se encuentran los nombres de los interruptores y elementos más importantes de cada circuito.

### **Ramal**

Tramo de línea, distinto del troncal y conectado a este, generalmente con calibre inferior y que alimenta uno o más puntos de transformación.

## **SCADA**

Siglas en inglés de Supervisión, Control y Adquisición de Datos. Un SCADA es un sistema de control computarizado el cual permite monitorear y operar a distancia (remota) una instalación o circuito.

### **Transformador de distribución**

Transformador que tiene una capacidad nominal desde 5kVA hasta 2000kVA y una tensión eléctrica nominal de hasta 34,5kV en el lado primario y hasta 15kV nominales en el lado secundario.

### **Transformador tipo pedestal**

Es aquel transformador diseñado para ser instalado en montaje superficial sobre una base de concreto u otro material. El núcleo y sus devanados están inmersos en aislante líquido contenido en un tanque sellado que evita el contacto con el medio externo.

### **Troncal**

Ruta de mayor carga del alimentador.

## **ANEXOS**

Anexo N°1: Procedimientos y tablas para la estimación de demanda.

Anexo N°2: Capacidad de Carga de Conductores

Anexo N°3 Equipos utilizados para la construcción de líneas de distribución

Anexo N°4 Características de los tipos de distribución

Anexo N°5 Capacidades nominales de los transformadores de distribución

Anexo N°6 Perfiles de tensión obtenidos en las simulaciones de las simulaciones con el ASP

Anexo N°7 Grilla usada por la compañía para la ubicación geográfica de circuitos

Anexo N°8 Esquema de interconexiones entre circuitos Caribia

Anexo N°9 Rutas de los circuitos Caribia

# ANEXO N°1

## Procedimientos y tablas para la estimación de demanda

A1.1 Tablas y gráficos para la estimación de la demanda eléctrica residencial según las normas de la EDC [16]

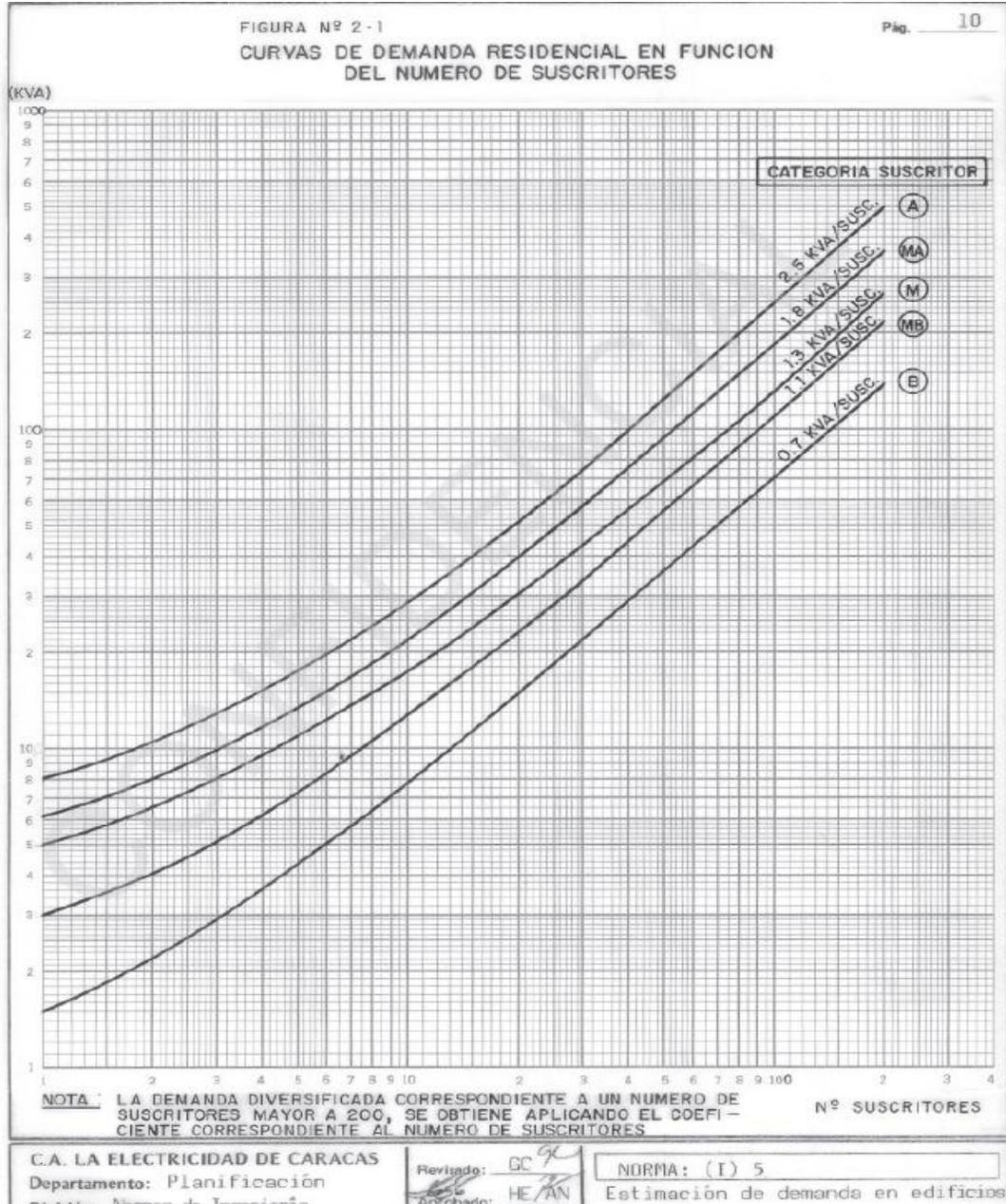


Figura A1.1. Estimación de cargas y constantes para la demanda eléctrica

INDICES DE DEMANDA POR ILUMINACION GENERAL.

CATEGORIA	KVA APARTAMENTO	
	AREAS DE CIRCULACION	ESTACIONAMIENTO CUBIERTOS
BAJA	0,07	0,160
MEDIA-BAJA	0,07	0,160
MEDIA	0,10	0,160
MEDIA-ALTA	0,14	0,160
ALTA	0,25	0,215

C.A. LA ELECTRICIDAD DE CARACAS Departamento: Planificación División: Normas de Ingeniería Sección: Normas de Diseño	Revisado: GC <i>GC</i>	NORMA: (I) 5
	Aprobado: HE-AN <i>HE-AN</i>	Estimación de demanda en edificios residenciales y/o residenciales comerciales.
	Fecha: 03-07-84	

Figura A1.2: Índices de demanda por iluminación general. [16]

CAPACIDAD INSTALADA  
DE SISTEMAS HIDRONEUMATICOS.

Nº DE PISOS	CAPACIDAD INSTALADA POR EQUIPOS:KVA (HP)	NUMERO DE EQUIPOS
Hasta 4	2,80 (2)	1
5 y 6	6,30 (5)	1
7 a 10	9,00 (7-1/2)	2
11 a 14	11,50 (10)	2
15 a 20	17,30 (15)	2

Figura A1.3: Capacidad para sistemas hidroneumáticos. [16]

FACTORES DE DEMANDA PARA HIDRONEUMÁTICOS.

NUMERO DE BOMBAS	FACTOR DE DEMANDA DEL GRUPO	
	PARA CALCULO DE ACOMETIDA	PARA CALCULO DEL PUNTO DE TRANSFORMACION.
1	0,65	0,60
2	0,65	0,60
3 y más	0,55	0,50

Figura A1.4: Factores de demanda para hidroneumáticos. [16]

**Ejemplo de aplicación N°1:**

Estimación de la demanda residencial para el sector SV1, 1420 suscriptores, edificios de 5pisos, 71 edificios, 20 apartamentos por edificio, edificios sin ascensores.

De la figura A1.1, asignando 1,1kVA/susc, se tiene que:

Demanda total apartamentos=1420susc\*1,1kVA/susc=1562kVA

Servicios generales:

Áreas de circulación= 1420apart\*0,07kVA/apart=99.4kVA

Hidroneumáticos= 6,30\*1\*7\*0,60=268,38kVA

Luego:

Total residencial= Demanda total apartamentos+ Áreas de circulación+ Hidroneumáticos

Total residencial=1929,78kVA.

## A1.2 Demanda de alumbrado público.

LOS VALORES EN kVA/Ha SE USAN PARA DISEÑO DE CIRCUITOS SECUNDARIOS Y PUNTOS DE TRANSFORMACION													
LOS VALORES EN kVA/Km2 SE USAN PARA DETERMINAR LA NECESIDAD DE SUBESTACIONES Y RUTAS PRIMARIAS TRONCALES													
- LA ESTIMACION ESTA HECHA EN BASE A LOS % DE CONSTRUCCION -													
ZONA	% CONSTRUCCION (PROMEDIO DE USOS)	DEMANDA BASICA DE ALUMBRADO Y MISCELANEOS		DEMANDA DE SERVICIOS PUBLICOS Y OTROS								DEMANDA TOTAL	
		kVA Ha	kVA Km2	ALUMBRADO PUBLICO		AIRE ACONDICIONADO		ASCENSORES Y BOMBAS		VIDRIERAS Y ANUNCIOS		kVA Ha	kVA Km2
				kVA Ha	kVA Km2	kVA Ha	kVA Km2	kVA Ha	kVA Km2	kVA Ha	kVA Km2		
C1	30*	40	2.680	**	**	60	3.600	2	120	170	17.000	270	23.400
C2	60*	80	5.370	**	**	120	7.200	5	240	170	17.000	380	30.000
C3	240	295	19.712	5	500	240	14.400	48	2.400	170	17.000	760	54.000
C1	160	215	14.336	5	500	160	9.600	32	1.600	170	17.000	580	43.000
CC	300	400	26.880	5	500	300	18.000	60	3.000	170	17.000	935	65.000

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

DEMANDA COMERCIAL: 300 kVA/Ha (de Tabla (1)).

DEMANDA RESIDENCIAL:  $\frac{165 - 60}{165} \times 303 = 192$

TOTAL: 572

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

NOTAS: (1) En el Distrito Federal se emplean otras denominaciones, con la siguiente equivalencia:

CL = C1: COMERCIO LOCAL  
CV = C2: COMERCIO VECINAL

(2) La zonificación R9-A-C3 debe ser estimada en la forma siguiente:

$$DEMANDA R9-A-C3 = \frac{DEMANDA C3}{3} + \frac{2}{3} DEMANDA R9$$

Figura A1.5: kVA/Ha para alumbrado público. [16]

### Ejemplo de aplicación N°2:

Estimación de demanda de alumbrado público para el sector SV1, 20Ha.

Demanda alumbrado público=20Ha\*5kVA/ha=100kVA.

A1.3 Tablas para la demanda de tipo comercial. [16]

COEFICIENTE EN VA/M <sup>2</sup> PARA ESTIMAR LA DEMANDA EN EDIFICIOS COMERCIALES E INSTITUCIONALES							
Tipo de Edificio	Demanda de alumbrado VA/M <sup>2</sup>			Demanda de los servicios de fuerza			
	Area útil	Area de circulación	Estacionamientos internos	Factor de Demanda	Aire Acondicionado	Ascensores y Bombas	Factor de demanda y diversidad combinado
Oficinas	60	10	10	100%	40	20	60%
Tiendas y Comercios	70	20	10	100%	60	10	40%
Hospitales y Clínicas	40	20	10	30%	15	2	30%
Cines	30	--	10	100%	75VA/ asiento	--	40%
Escuelas	50	10	--	100%	--	--	--
Mercados	50	--	10	100%	--	--	40%
Clubes	30	--	10	100%	--	--	30%
Hoteles	30	20	10	40%	*15	2	30%
Restaurant	40	--	10	100%	150	--	40%

\* Aparatos individuales  
 + VA/M<sup>2</sup> de espacio acondicionado solamente  
 ++ Para calcular el factor de diversidad en un grupo de ascensores, referirse al gráfico 2.  
 No se aplicará ningún factor de demanda a este resultado. Los coeficientes aplican al área habitada, sin incluir circulación, estacionamientos, almacenes, etc.

GRUPO (1) ESTIMACION DE CARGAS Y CONSTANTES

C.A. LA ELECTRICIDAD DE CARACAS  
 Departamento: Planificación  
 División: Normas de Ingeniería  
 Sección:

Revisado: [Firma]  
 Aprobado: [Firma]  
 Fecha: 11/11/93

NORMA: (1) 2  
 Estimación de demanda en edificios comerciales.

Página 8

Figura A1.5: Estimación de demanda de tipo comercial e institucional. [16]

A1.4 Tabla para la demanda de áreas deportivas. [17]

Tabla A.1.1: coeficientes de demanda para áreas deportivas.

Tipo de Cancha	Coefficiente de Demanda	Área [m <sup>2</sup> ]
Basketball	0,024	508
Volleyball	0,02	288
Softball	0,0016	3420
Tenis	0,015	518
Fútbol	0,0029	8625
Piscina	0,0045	1344

## ANEXO N°2

### Capacidad de Carga de Conductores

Código Documental: (E) - 2006	Simbolos: (1) 3 111/73	Normas de la gestión: M. Estrada I. Jarama A. Rizzo	Aprobado por: O. de Alpoim de W. Silva	Vigencia: 12/2006	Páginas 57 de 74
----------------------------------	------------------------------	---	--	----------------------	------------------

**MEDIA TENSIÓN - AÉREO**

**TABLA A1**

**CAPACIDAD DE CARGA DE CONDUCTORES DESNUDOS**

AWG O KCMIL	COBRE TRENZADO 97,3% DE CONDUCTIVIDAD				ALEACIÓN DE ALUMINIO 6201 (AAAC)*			
	Amps.	KVA			Amps.	KVA		
		4800 Δ	8314 Y 4800	12470 Y 7200		4800 Δ	8314 Y 4800	12470 Y 7200
6	110	915	1580	2373	-	-	-	-
4	150	1250	2160	3240	125	1040	1800	2700
2	200	1660	2880	4315	170	1410	2450	3672
1/0	260	2160	3740	5616	230	1910	3310	4970
2/0	300	2490	4320	6472	270	2240	3890	5832
3/0	340	2830	4900	7344	300	2490	4320	6480
4/0	420	3490	6050	9072	360	2990	5180	7776
394,5	-	-	-	-	483	4016	6956	10433

Temperatura en el conductor: 75°C  
 Temperatura ambiente: 40°C  
 Factor de carga: 30% a 100%  
 Velocidad del viento: 0,60 m/seg.

\* "All Alloy Aluminum Conductor"



La Electricidad de Caracas

NORMAS DE INGENIERIA

NORMA (E) - 2006  
CAPACIDAD DE CARGA DE  
CONDUCTORES EN CIRCUITOS DE  
DISTRIBUCIÓN

Figura A2.1: Capacidad de carga de conductores desnudos. [10]

**CARACTERÍSTICAS DE CONDUCTORES ELÉCTRICOS EN LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN**

**TABLA 1: LÍNEAS AÉREAS ABIERTAS DE ALEACIÓN DE ALUMINIO (ARVIDAL) DE LOS MISMOS DIÁMETROS QUE SUS EQUIVALENTES EN A.C.S.R.**

AWG O KCMIL	ÁREA (mm <sup>2</sup> )	SOSTEN CIÓN	RMG (mm)	R (Ω/km)	60 Hz								
					CONFIGURACIÓN "U" DMG = 1,122 m			CONFIGURACIÓN "R" DMG = 0,882 m			CONFIGURACIÓN "Q" DMG = 1,535 m		
					X (Ω/km)	Z (Ω/km)	α	X (Ω/km)	Z (Ω/km)	α	X (Ω/km)	Z (Ω/km)	α
4	24,7	7	2,34	1,500	0,465	1,570	17,22°	0,447	1,565	16,59°	0,489	1,578	18,06°
2	39,3	7	2,90	0,943	0,449	1,044	25,46°	0,431	1,037	24,56°	0,473	1,055	26,64°
1/0	62,5	7	3,58	0,593	0,433	0,734	36,14°	0,415	0,724	35,00°	0,457	0,749	37,62°
2/0	78,7	7	4,14	0,469	0,422	0,631	41,98°	0,404	0,619	40,74°	0,446	0,647	43,56°
3/0	99,2	7	4,61	0,373	0,414	0,557	47,98°	0,396	0,544	46,71°	0,438	0,575	49,58°
4/0	125,1	7	5,19	0,276	0,405	0,502	53,84°	0,387	0,487	52,59°	0,429	0,521	55,40°
394.5	199,9	19	6,93	0,168	0,384	0,419	66,41°	0,365	0,402	65,38°	0,407	0,440	67,65°

Conductor de Aluminio de construcción trenzada

Temperatura de operación: 50 °C

Resistividad a 20°C: 0,028264 Ohm/m/mm<sup>2</sup>

Coeficiente de resistencia a 20°C: 0,00403 por grado.

Referencia: Distribution Systems.

Figura A2.2: Características eléctricas de conductores desnudos. [10]

**CAPACIDAD DE CARGA EN kVA CONDUCTORES DE COBRE 15 kV  
INSTALADOS EN DUCTOS SUBTERRÁNEOS**



UN DUCTO CARGADO - DOS DUCTOS CARGADOS

FACTOR DE CARGA = 50%

CALIBRE	POSICIÓN DEL CIRCUITO EN LA BANCADA			
	UN DUCTO CARGADO		DOS DUCTOS CARGADOS	
	1	2	1	2
2 AWG	3804	-	3573	3573
2/0 AWG	5670	-	5292	5292
250 KCMIL	8188	-	7582	7582
500 KCMIL	11996	-	11002	11002
750 KCMIL	15235	-	13882	12882

FACTOR DE CARGA = 75%

CALIBRE	POSICIÓN DEL CIRCUITO EN LA BANCADA			
	UN DUCTO CARGADO		DOS DUCTOS CARGADOS	
	1	2	1	2
2 AWG	3553	-	3215	3215
2/0 AWG	5260	-	4719	4719
250 KCMIL	7532	-	6690	6690
500 KCMIL	10992	-	9587	9587
750 KCMIL	13774	-	11998	11998

FACTOR DE CARGA = 100%

CALIBRE	POSICIÓN DEL CIRCUITO EN LA BANCADA			
	UN DUCTO CARGADO		DOS DUCTOS CARGADOS	
	1	2	1	2
2 AWG	3292	-	2879	2879
2/0 AWG	4841	-	4194	4194
250 KCMIL	6877	-	5869	5896
500 KCMIL	9880	-	8369	8369
750 KCMIL	12384	-	10409	10409

Figura A2.3: Capacidad de carga de para cables subterráneos. [10]

### ANEXO N°3

#### Equipos utilizados para la construcción de líneas de distribución

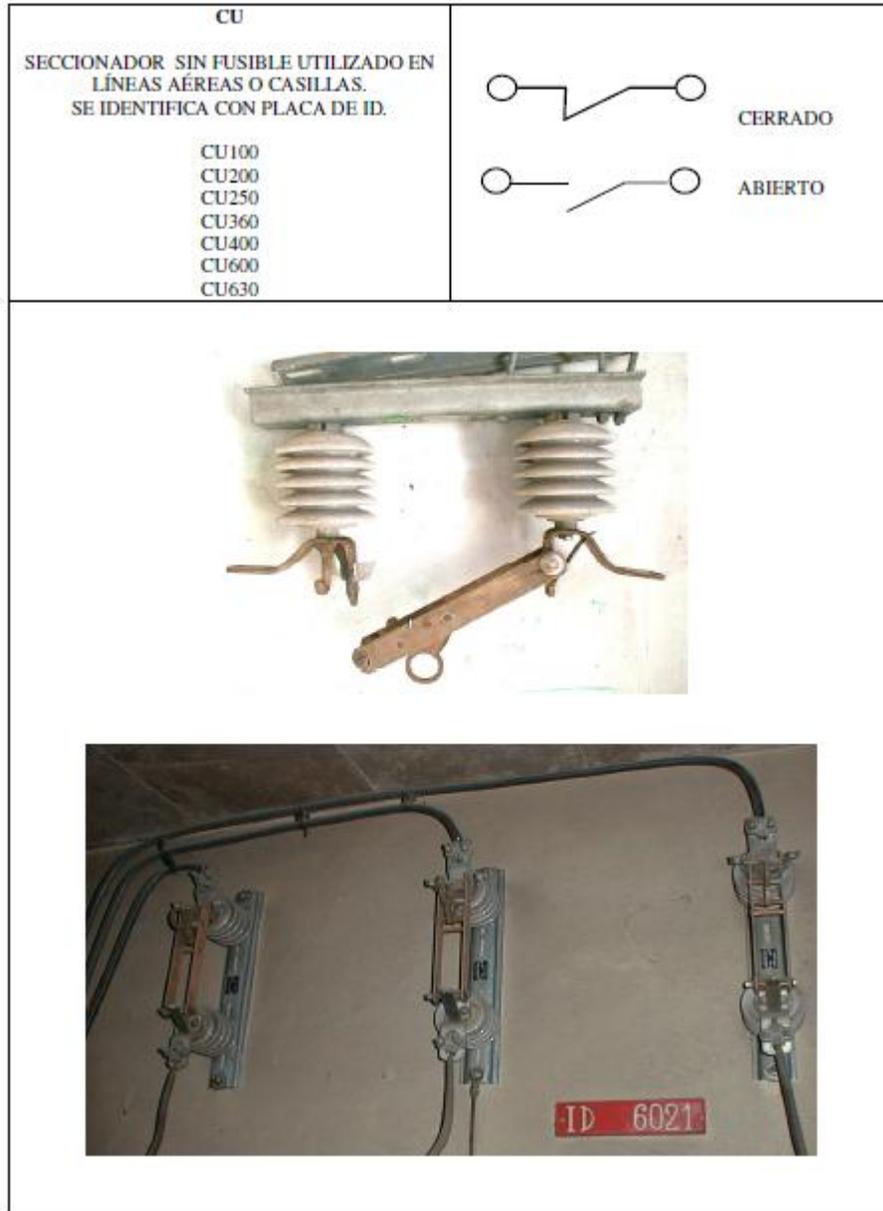


Figura A3.1. Seccionador sin fusible para líneas aéreas



Figura A3.2. Transformador tipo pedestal

## ANEXO N°4

### Características de los tipos de distribución

Características de los Tipos de Distribución para Cargas Distribuidas en Urbanizaciones y Parcelamientos . Distribución Aérea.									
Tipo de Distribución		Características Eléctricas					Tipo de Construcción		
		Distribución Primaria			Distribución Secundaria		Primario	Secundario	Transformador y Equipos (5)
		Voltaje Nominal (V)	Tipo de Sistema	Esquema de servicio	Voltaje nominal (V)	Esquema de Servicio (L)			
Radial Aéreo  Residencial Comercial	RA- 240	12470 / 7200	Troncal: Radial Simple con interconexión	PRI	120/240  3 Hilos	Sector Radial simple, ramificado  o  Sector Mallado	Poste en acera o servidumbre	En poste , en acera, o en servidumbre	En poste, casilla o pedestal
	RA - 208		Ramales: Radial Simple o con interconexión	PRS	208/120  4 Hilos				
Radial Aéreo Industrial	RAI-208	8314 / 4800  4800  (2)	Troncal: Radial con interconexión  Ramales: Radiales con interconexión	PRI  (3)	208/120  4 Hilos	No hay  (Acometida individual)	(4)	En poste , en acera, o en servidumbre	En poste, casilla o pedestal

**Notas:**

- (1). Se define como "sector" la red secundaria servida por el punto de transformación.
- (2). Las tensiones de 8314Y/4800 V y 4800 V, no deberán proyectarse para cubrir nuevas áreas, y en todo caso deberán construirse previendo su conversión a 12470Y/7200V.
- (3). Para el servicio de cargas concentradas de alta demanda dentro del área se aplicaran las tablas del capítulo 10
- (4). La servidumbre de paso se usará si es absolutamente necesario
- (5). Queda excluida en forma terminante la ubicación de puntos de transformación en zonas de servidumbre, excepto cuando sea para el uso exclusivo

Figura A4.1. Características de los esquemas de distribución aéreas. [6]

Tipo de Distribución		Características Eléctricas					Tipo de Construcción		
		Distribución Primaria			Distribución Secundaria		Primario	Secundario	Transformador y Equipos (5)
		Voltaje Nominal (V)	Tipo de Sistema	Esquema de servicio	Voltaje nominal (V)	Esquema de Servicio (1)			
Radial Subterránea Residencial y Comercial de baja densidad	RS-240	12470 / 7200	Troncal: Radial con interconexión	PRI	120/240 3 Hilos	Sector Radial simple, ramificado	Troncal: Ductos en la calzada  Ramales: En la calzada o acera	Ductos en acera o en servidumbre con tanquilla	Sótano en acera o pedestal (en servidumbre o en zona verde), o casilla
	RS-208		Radial Simple o con interconexión	PRS	208/120 4 Hilos	Sector Mallado			
Radial Subterránea Industrial	RSI-208	8314 / 4800  4800  (2)	Troncal: Radial con interconexión  Ramales: Radiales con interconexión	PRI  (3)	208/120 4 Hilos	No hay (Acometida individual)		(4)	

Notas:  
(1). Se define como "sector" la red secundaria servida por el punto de transformación.  
(2). Las tensiones de 8314Y/4800 V y 4800 V, no deberán proyectarse para cubrir nuevas áreas, y en todo caso deberán construirse previendo su conversión a 12470Y/7200V.  
(3). Para el servicio de cargas concentradas de alta demanda dentro del área se aplicarán las tablas del capítulo 10  
(4). La servidumbre de paso se usará si es absolutamente necesario  
(5). Queda excluida en forma terminante la ubicación de puntos de transformación en zonas de servidumbre, excepto cuando sea para el uso exclusivo de un cliente único.

Figura A4.2. Características de los esquemas de distribución subterráneas. [6]

## ANEXO N°5

### Capacidades nominales de los transformadores de distribución

CAPACIDADES NOMINALES DE LOS TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN ( kVA)				
MONOFASICOS			TRIFÁSICOS	
INTEMPERIE	SUMERGIBLE	SECO <sup>(1)</sup>	SUMERGIBLE	PEDESTAL
5	50	100/133	150	150
10	75	167/223	225	300
15	100	250/333	300	500
25	167	333/444	500	750
37 ½	250	500/667	750	1000
50	333	667/889	1000	
75	500		1500	
100			2000	
167				
250				
333				

(1) Los transformadores secos pueden suministrar dos capacidades nominales debido a la utilización de dos clases de enfriamiento: Tipo AA(Aire aire) y FA (Aire forzado a través de ventiladores)

Figura A5.1. Capacidades de transformadores de distribución. [18]

**Nota:**

**Características de la Impedancia de los Transformadores utilizados en la empresa:**

- Intemperie monofásico: 2% ± 7,5 % hasta 50 kVA , 4% ± 7,5 % de 100 kVA en adelante
- Seco monofásico: 5% ± 7,5 % hasta 333/444 kVA, 7% ± 7,5% 500/667 kVA y mayores
- Sumergible monofásico: 4% ± 7,5 % hasta 500 kVA
- Sumergible trifásico : 5% ± 7,5 % hasta 1000 kVA , 7% ± 7,5 % para 1500 kVA
- Sumergible trifásico tipo network: 5% ± 7,5 % hasta 1000 kVA , 7% ± 7,5 % para 2000 kVA

- Sumergible trifásico en anillo con seccionador incorporado:  $5\% \pm 7,5\%$  hasta 1000 kVA
- Sumergible trifásico radial con seccionador incorporado:  $5\% \pm 7,5\%$  hasta 500 kVA
- Tipo Pedestal:  $5\% \pm 7,5\%$  hasta 1000 kVA

kVA	TIPO DE CARGA					
	RESIDENCIAL			MIXTO		
	RANGO DE OPERACION ÓPTIMO kVA		LIMITE DE REEMPLAZO kVA	RANGO DE OPERACION ÓPTIMO kVA		LIMITE DE REEMPLAZO kVA
	INFERIOR	SUPERIOR		INFERIOR	SUPERIOR	
150	0	175	175	0	168	168
300	176	350	350	169	336	336
500	351	584	584	337	561	561
750	585	876	876	562	841	841
1000	877	1168	1168	842	1121	1121

kVA	TIPO DE CARGA					
	COMERCIAL			INDUSTRIAL		
	RANGO DE OPERACION ÓPTIMO kVA		LIMITE DE REEMPLAZO kVA	RANGO DE OPERACION ÓPTIMO kVA		LIMITE DE REEMPLAZO kVA
	INFERIOR	SUPERIOR		INFERIOR	SUPERIOR	
150	0	163	163	0	150	150
300	164	326	326	151	300	300
500	327	543	543	301	500	500
750	544	815	815	501	750	750
1000	816	1086	1086	751	1000	1000

Figura A5.2. Selección de las capacidades de transformadores de distribución. [18]

REGIÓN: VARGAS, GUARENAS Y GUATIRE

TEMPERATURA AMBIENTE PROMEDIO: 35° C

## ANEXO N°6

Perfiles de tensión obtenidos en las simulaciones de las simulaciones con el ASP

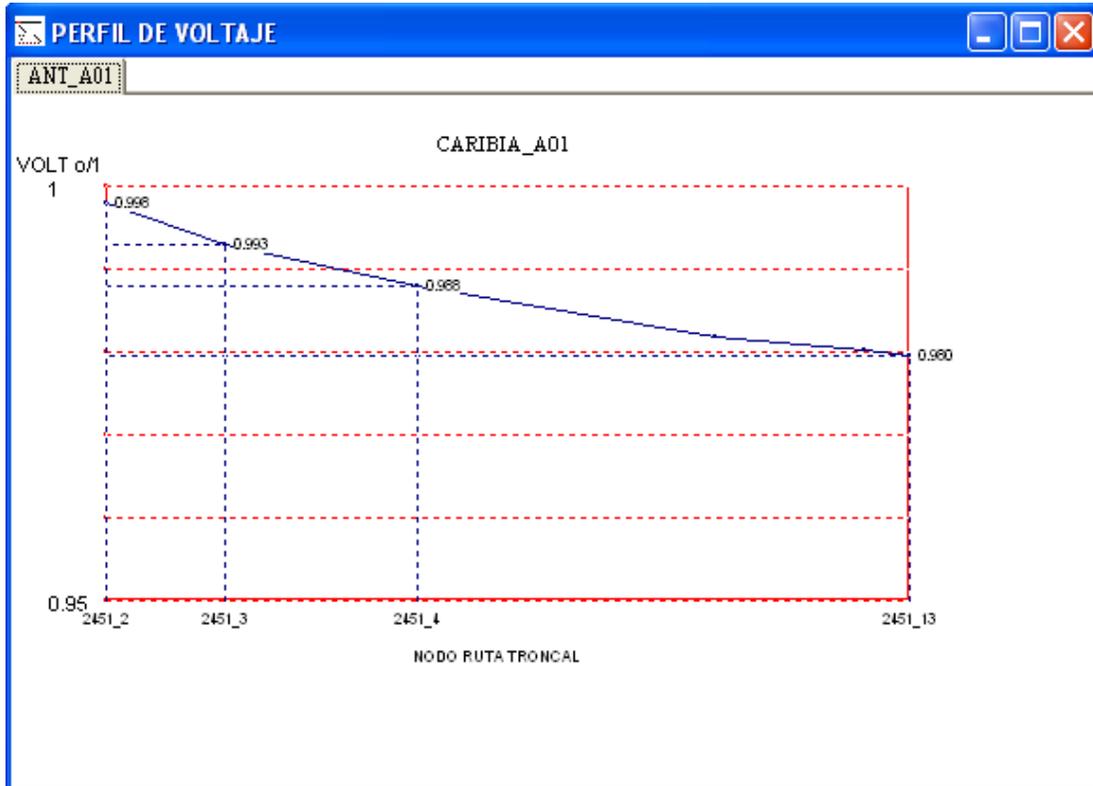


Figura A6.1. Perfil de tensión de circuito Caribia\_A01

## ANEXO N°7

### Grilla usada por la compañía para la ubicación geográfica de circuitos

↙ Origen de la Grilla

00AA	01AA	02AA	03AA	04AA
10AA	11AA	12AA	13AA	14AA

Figura A7.1. Grilla usada por la EDC.

La cuadrícula 00AA tiene coordenadas  $X=0$  e  $Y=0$ . Las coordenadas son medidas en metros en el centro de cada cuadrícula. Los resultados del cálculo del centro de carga se muestran en la tabla A7.1

Tabla A7.1 Cálculo del centro de carga

CUADRICULA	X	Y	kVA	X*kVA	Y*kVA
<b>37DH</b>	1078310,91	1747269,39	674,07	726853440,73	1177776053,49
<b>38DH</b>	1078009,91	1746968,39	695,68	749953527,56	1215336792,78
<b>35DH</b>	1077408,91	1746367,39	1158,98	1248690761,05	2023997393,23
<b>36DH</b>	1076507,91	1745466,39	1644,50	1770319052,17	2870422387,47
<b>27D7</b>	1075306,91	1744265,39	994,61	1069511005,76	1734863799,55
<b>23DH</b>	1073805,91	1742764,39	1352,14	1451934133,47	2356458537,69
<b>27DH</b>	1072004,91	1740963,39	1011,10	1083904164,50	1760288083,63
<b>23DH</b>	1069903,91	1738862,39	845,30	904384425,60	1469851683,96
<b>52DH</b>	1067502,91	1736461,39	977,35	1043318631,57	1697121857,21
<b>56DH</b>	1064801,91	1733760,39	558,74	594950968,53	968727059,51
<b>52DH</b>	1061800,91	1730759,39	558,74	593274179,79	967050270,77
<b>57DH</b>	1058499,91	1727458,39	2704,28	2862476608,28	4671525416,71
<b>72DH</b>	1054898,91	1723857,39	464,14	489620780,09	800111168,99
<b>31DH</b>	1050997,91	1719956,39	1614,47	1696804595,76	2776817992,96
<b>30DH</b>	1046796,91	1715755,39	322,81	337913021,19	553857278,26
<b>62DH</b>	1042295,91	1711254,39	41,17	42911322,61	70452343,24

<b>40DH</b>	1037494,91	1706453,39	2704,28	2805673276,90	4614722085,33
<b>51DH</b>	1032393,91	1701352,39	1433,37	1479804179,43	2438670310,84
<b>71DH</b>	1026992,91	1695951,39	1901,51	1952840711,60	3224874180,77
<b>55DH</b>	1021291,91	1690250,39	41,17	42046587,93	69587608,56
<b>11DH</b>	1015290,91	1684249,39	2704,28	2745627517,79	4554676326,22
<b>44DH</b>	1008989,91	1677948,39	338,93	341976950,20	568707047,82
<b>38DH</b>	1002388,91	1671347,39	1676,05	1680048920,66	2801253436,27
<b>24DH</b>	995487,91	1664446,39	657,25	654284428,85	1093957389,83
<b>13DH</b>	988286,91	1657245,39	789,39	780147098,17	1308218462,56
<b>58DH</b>	980785,91	1649744,39	882,89	865929341,37	1456548323,64
<b>34DH</b>	1073310,91	1749269,39	885,09	949980331,03	1548266675,29
<b>45DH</b>	1073811,91	1749770,39	791,59	850022349,21	1385106575,59
<b>18DG</b>	1074812,91	1750771,39	791,59	850814734,14	1385898960,51
<b>19DG</b>	1076313,91	1752272,39	89,37	96185868,88	156593574,40
<b>28DG</b>	1078314,91	1754273,39	89,37	96364690,25	156772395,77
<b>29DG</b>	1080815,91	1756774,39	89,37	96588194,61	156995900,14
<b>10DH</b>	1083816,91	1759775,39	1158,98	1256117477,42	2039536939,61
<b>11DJ</b>	1087317,91	1763276,39	953,44	1036692388,11	1681178241,28
<b>01DJ</b>	1091318,91	1767277,39	953,44	1040507101,55	1684992954,72
<b>00DJ</b>	1095819,91	1771778,39	34,38	37674288,51	60913741,05
<b>99CH</b>	1100820,91	1776779,39	3565,62	3925109053,11	6335320128,57
<b>98CH</b>	1106321,91	1782280,39	1935,92	2141750712,01	3450352252,61
<b>89CH</b>	1112322,91	1788281,39	89,37	99403849,18	159811554,70
<b>88CH</b>	1118823,91	1794782,39	1158,98	1296689740,25	2080109202,44
<b>87CH</b>	1125824,91	1801783,39	2977,50	3352143669,53	5364810043,73
<b>30DJ</b>	1133325,91	1809284,39	522,33	591970122,57	945043515,43
<b>63DH</b>	1141326,91	1817285,39	2195,16	2505395179,76	3989232196,71
<b>31DJ</b>	1149827,91	1825786,39	260,64	299691146,46	475872964,69
<b>86CH</b>	1158828,91	1834787,39	700,42	811666945,14	1285121783,70
			<b>TOTAL</b>	<b>52808410140,38</b>	<b>86066520457,84</b>

Tabla A7.2 Centro de carga

<b>Coordenada X</b>	<b>1073310,91</b>
<b>Coordenada Y</b>	<b>1749269,39</b>
<b>CUADRICULA</b>	<b>34DH</b>

## ANEXO N°8

### Esquema de interconexiones entre circuitos Caribia

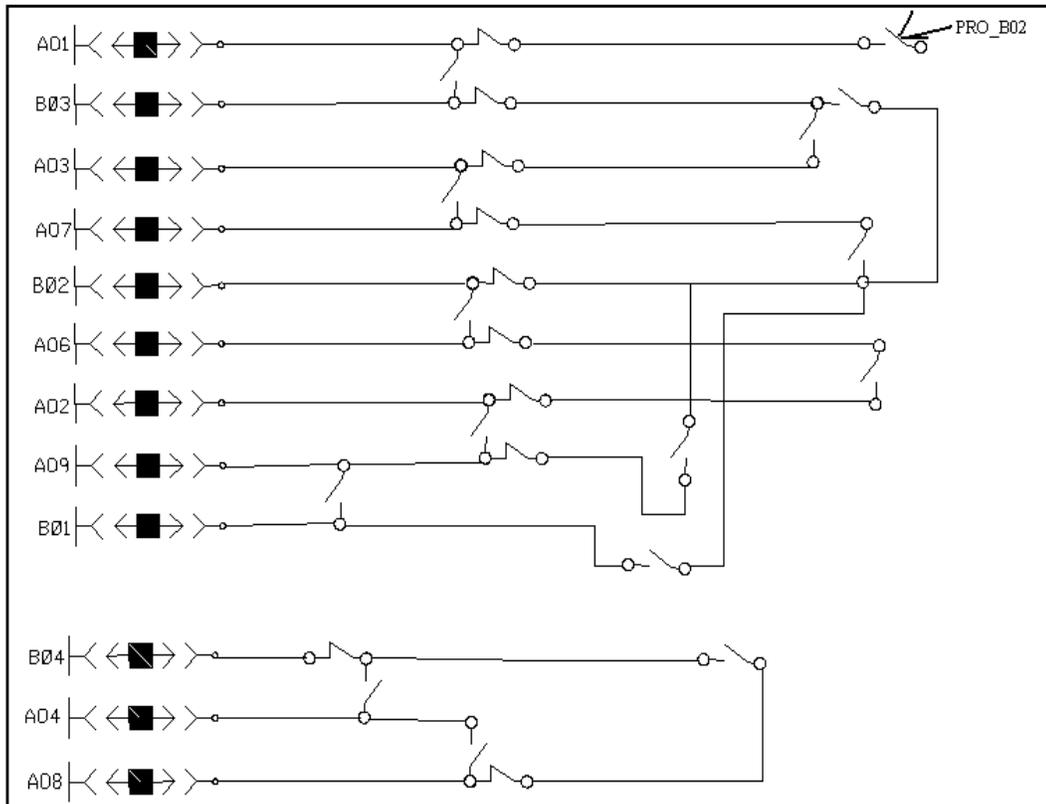


Figura A8.1. Esquema de interconexiones entre circuitos Caribia.

## ANEXO N°9

### Rutas de los circuitos Caribia

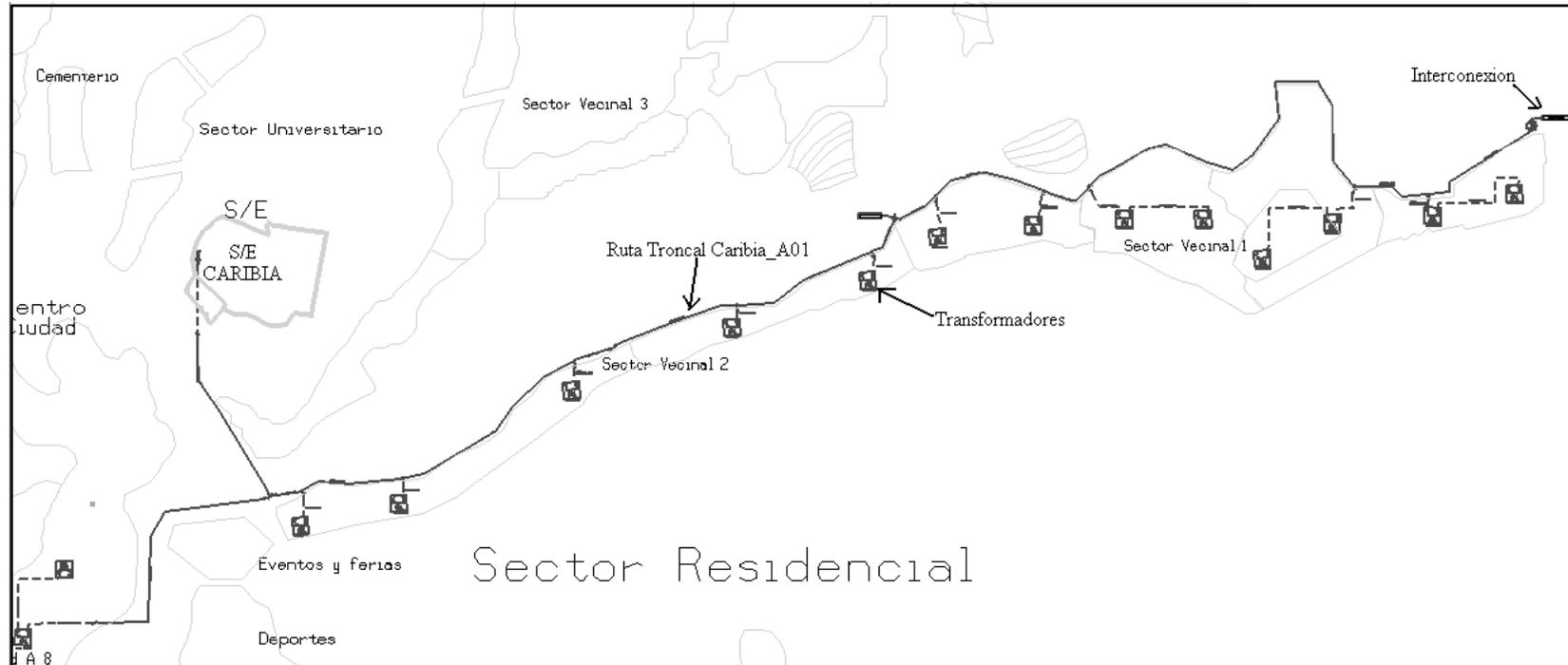


Figura A9.1. Ruta del circuito Caribia\_A01

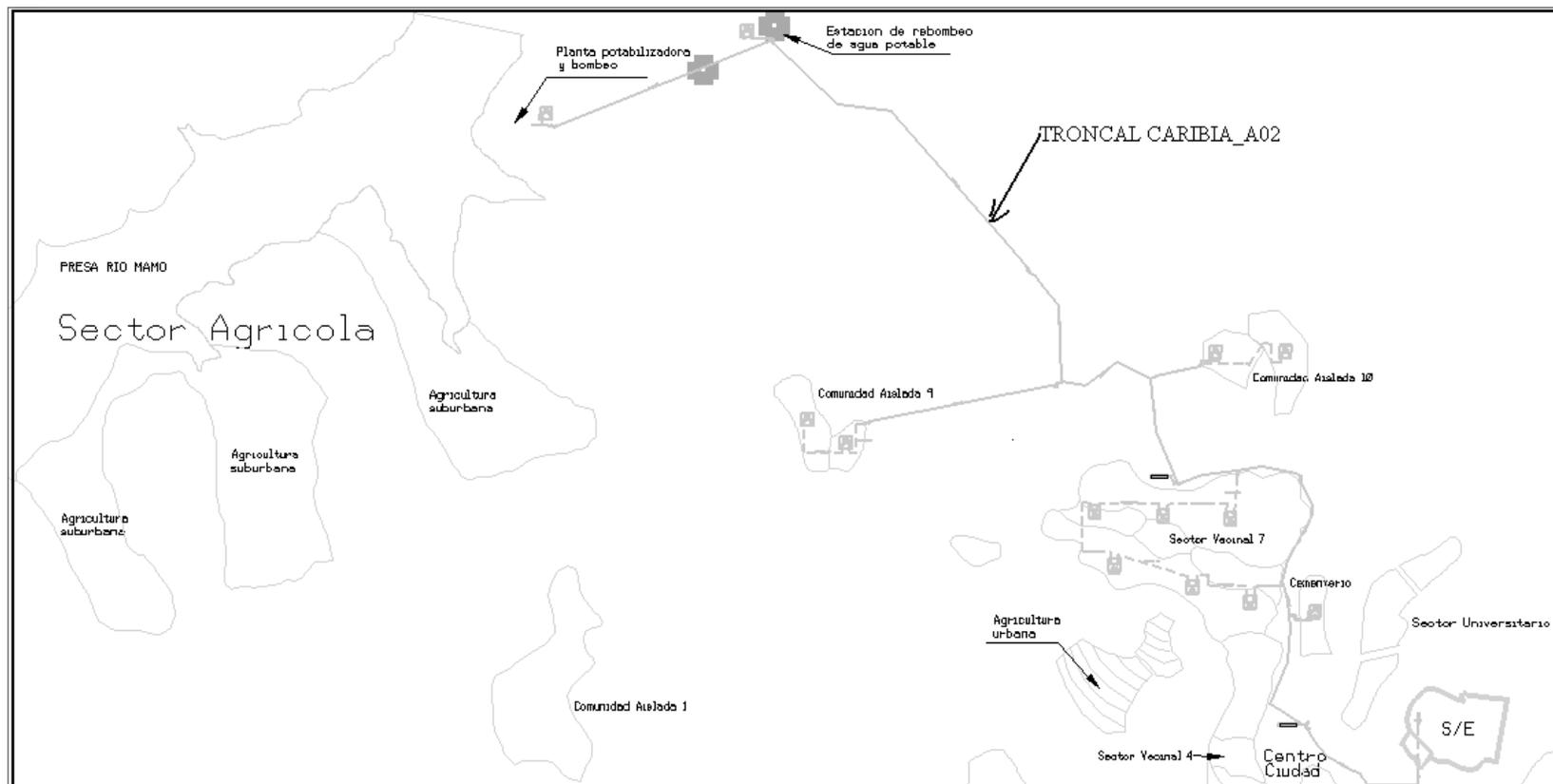


Figura A9.2: Ruta de circuito Caribia\_A02



Figura A9.3: Ruta de circuito Caribia\_A03

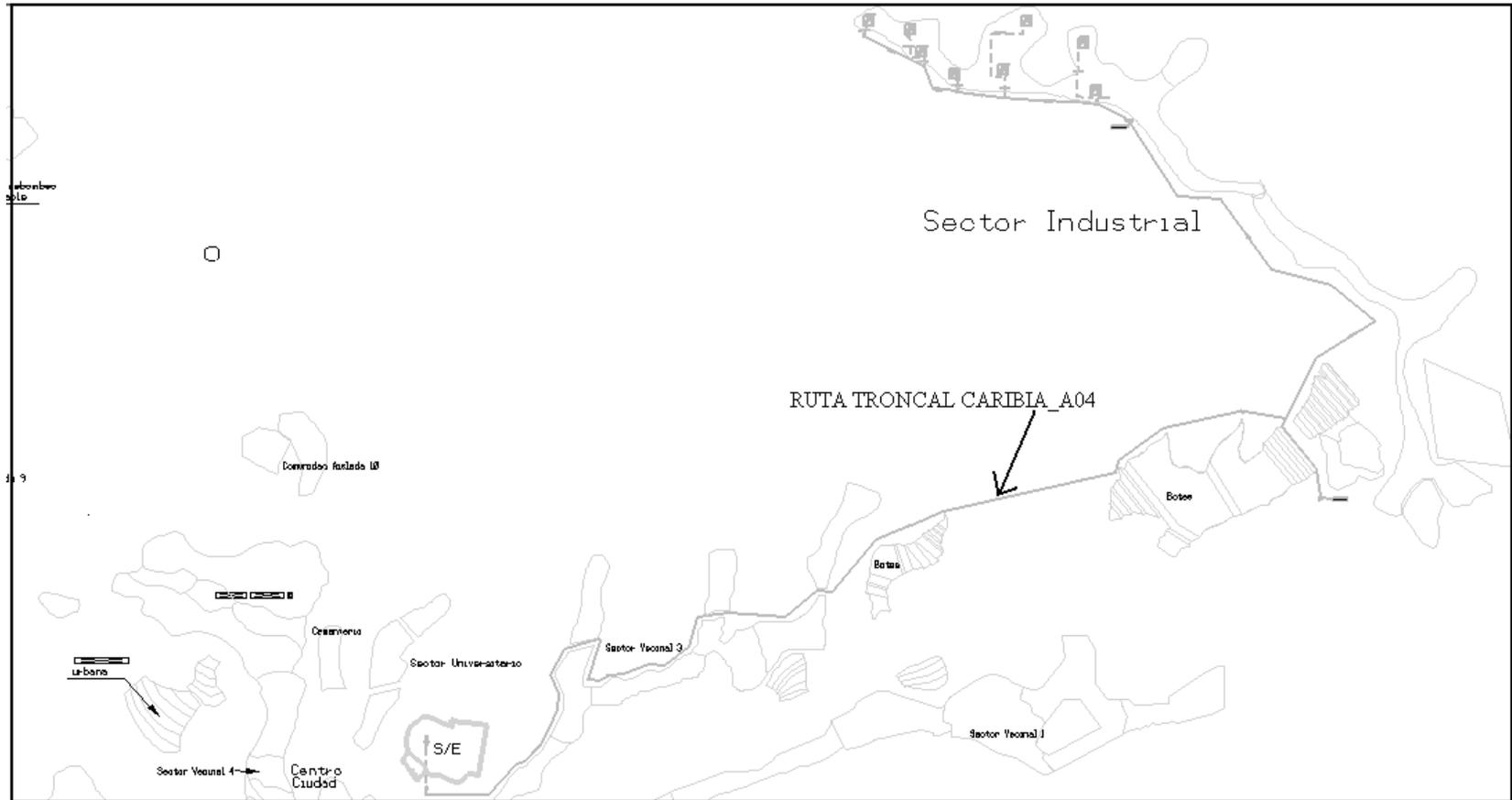


Figura A9.4: Ruta de circuito Caribia\_A04

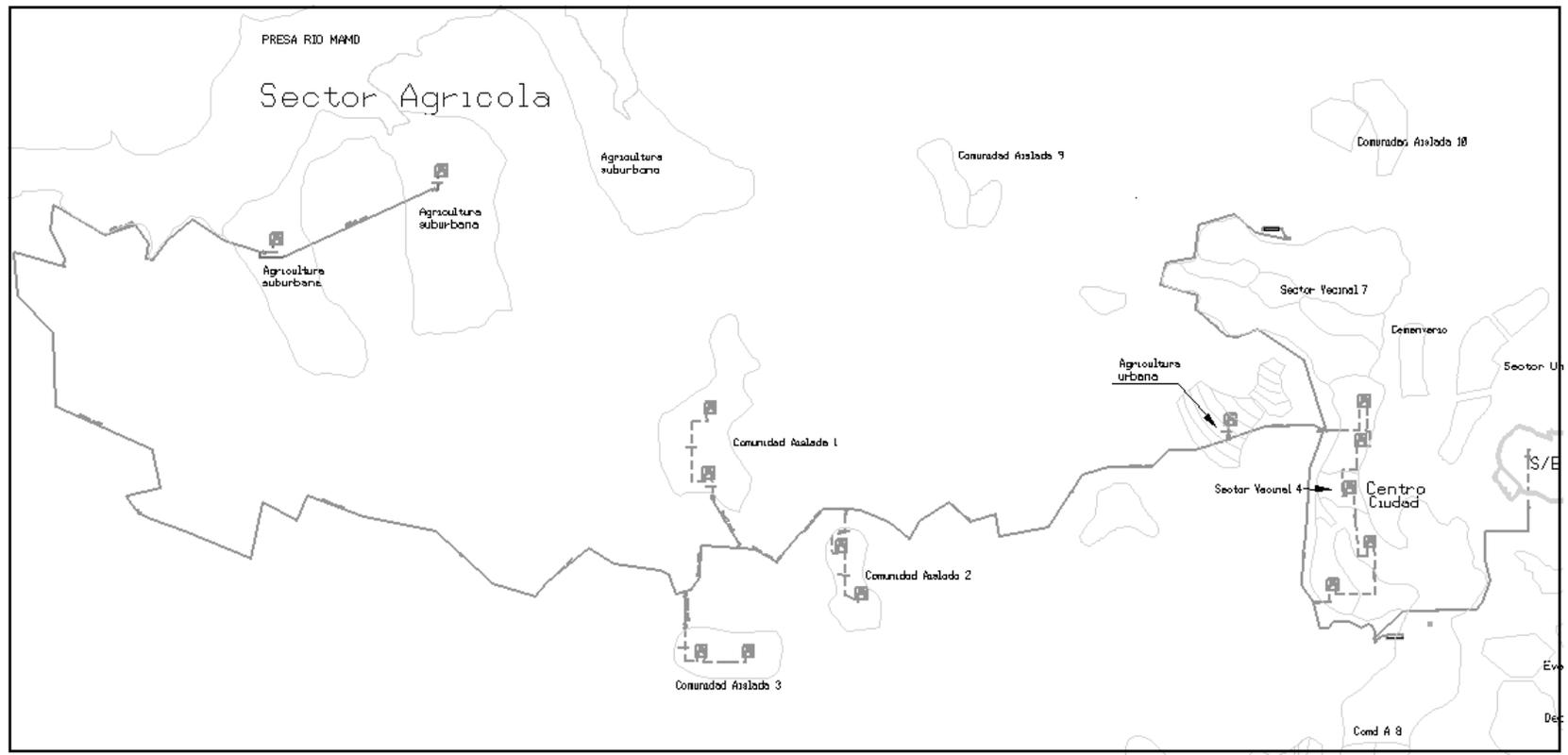


Figura A9.5: Ruta de circuito Caribia\_A06

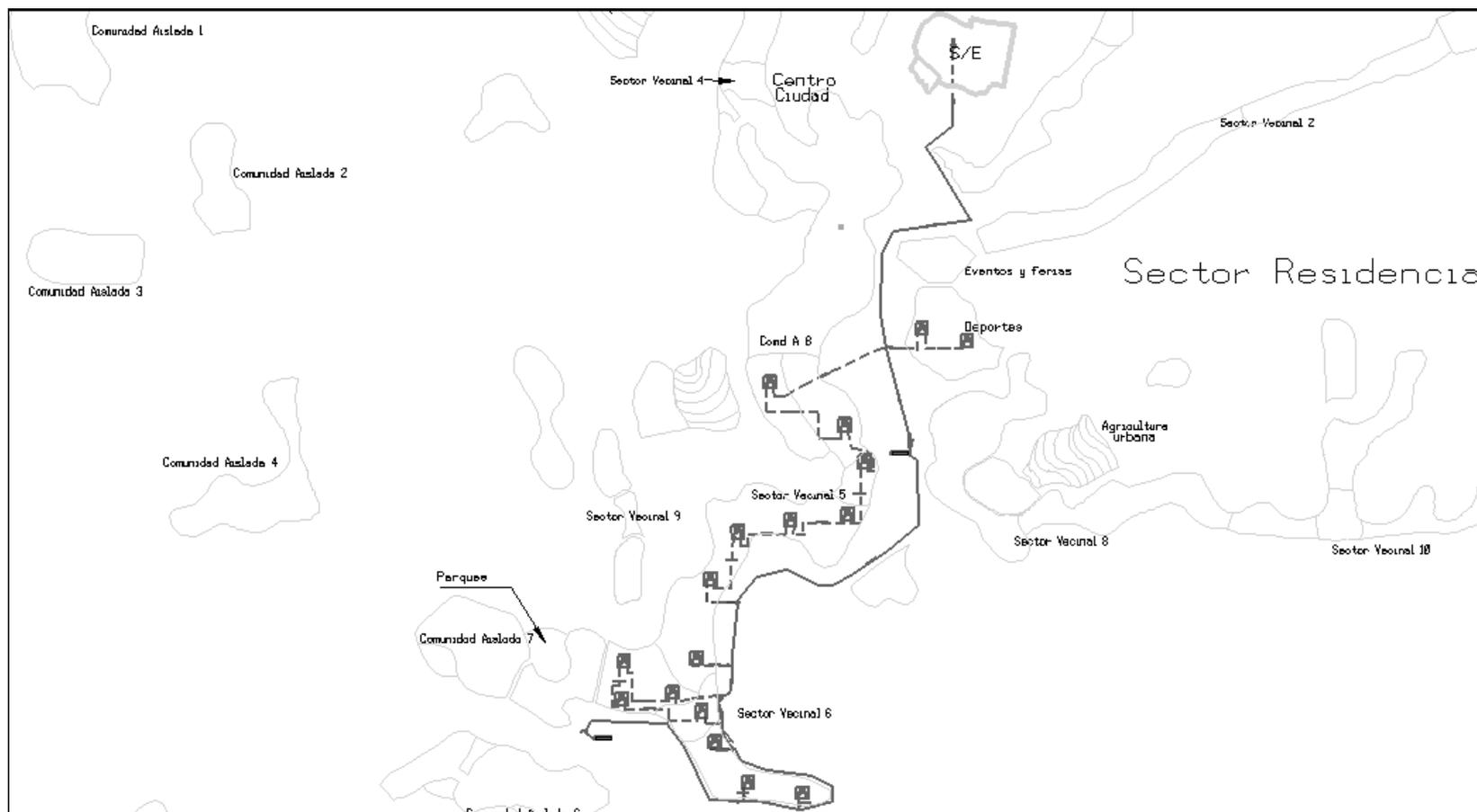


Figura A9.6: Ruta de circuito Caribia\_A07

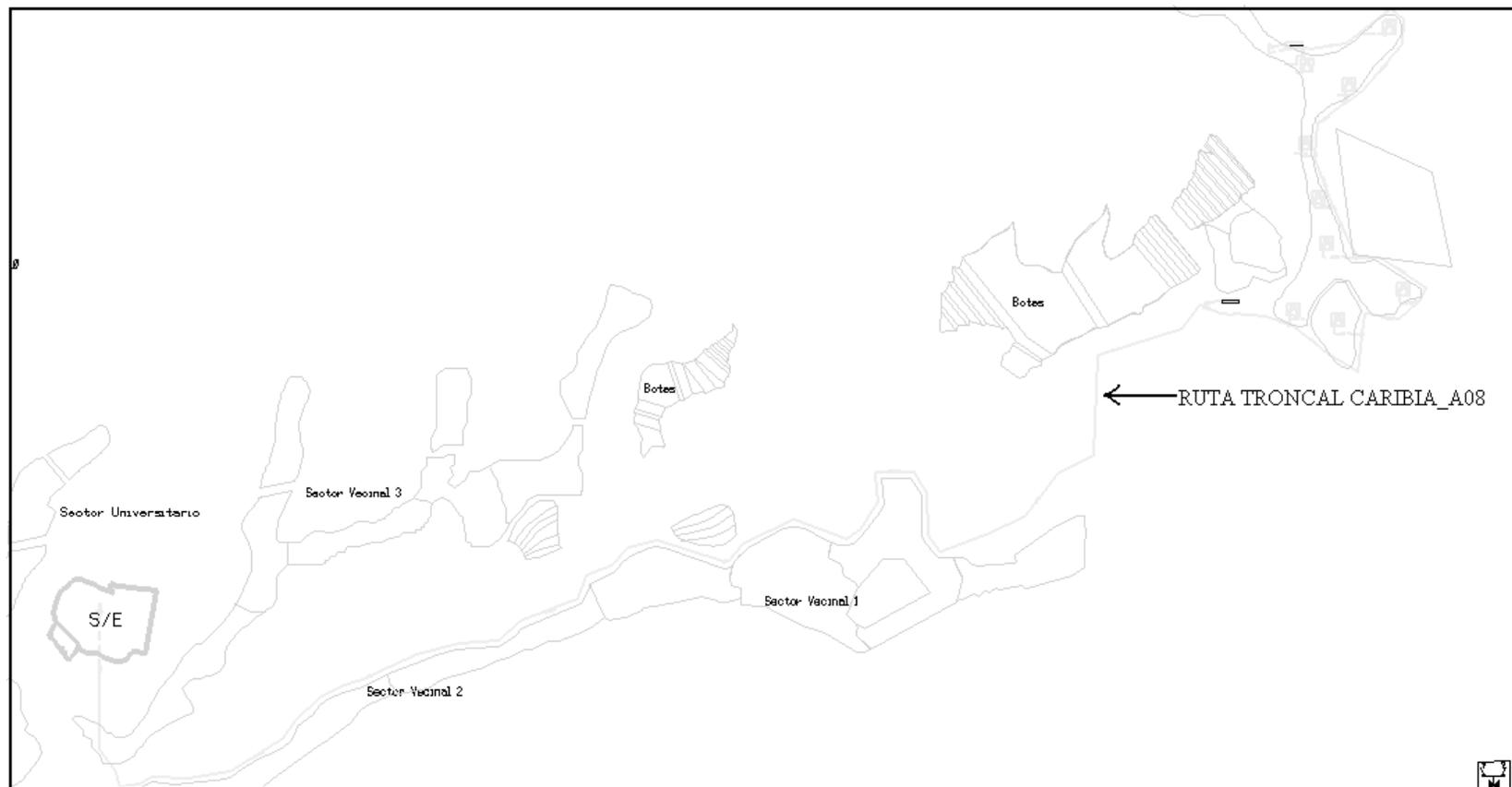


Figura A9.7: Ruta de circuito Caribia\_A08

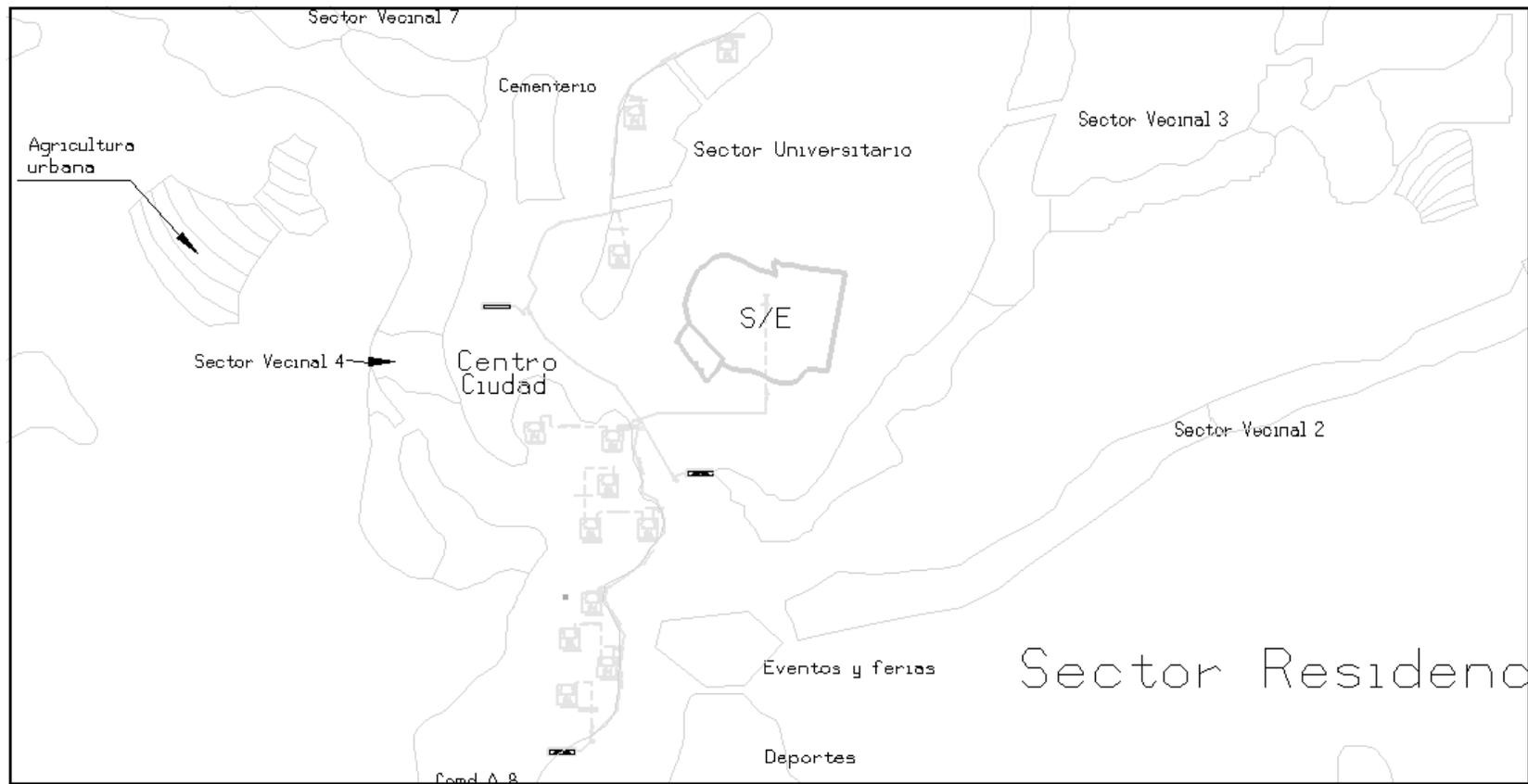


Figura A9.8: Ruta de circuito Caribia\_A09



Figura A9.9: Ruta de circuito Caribia\_B01

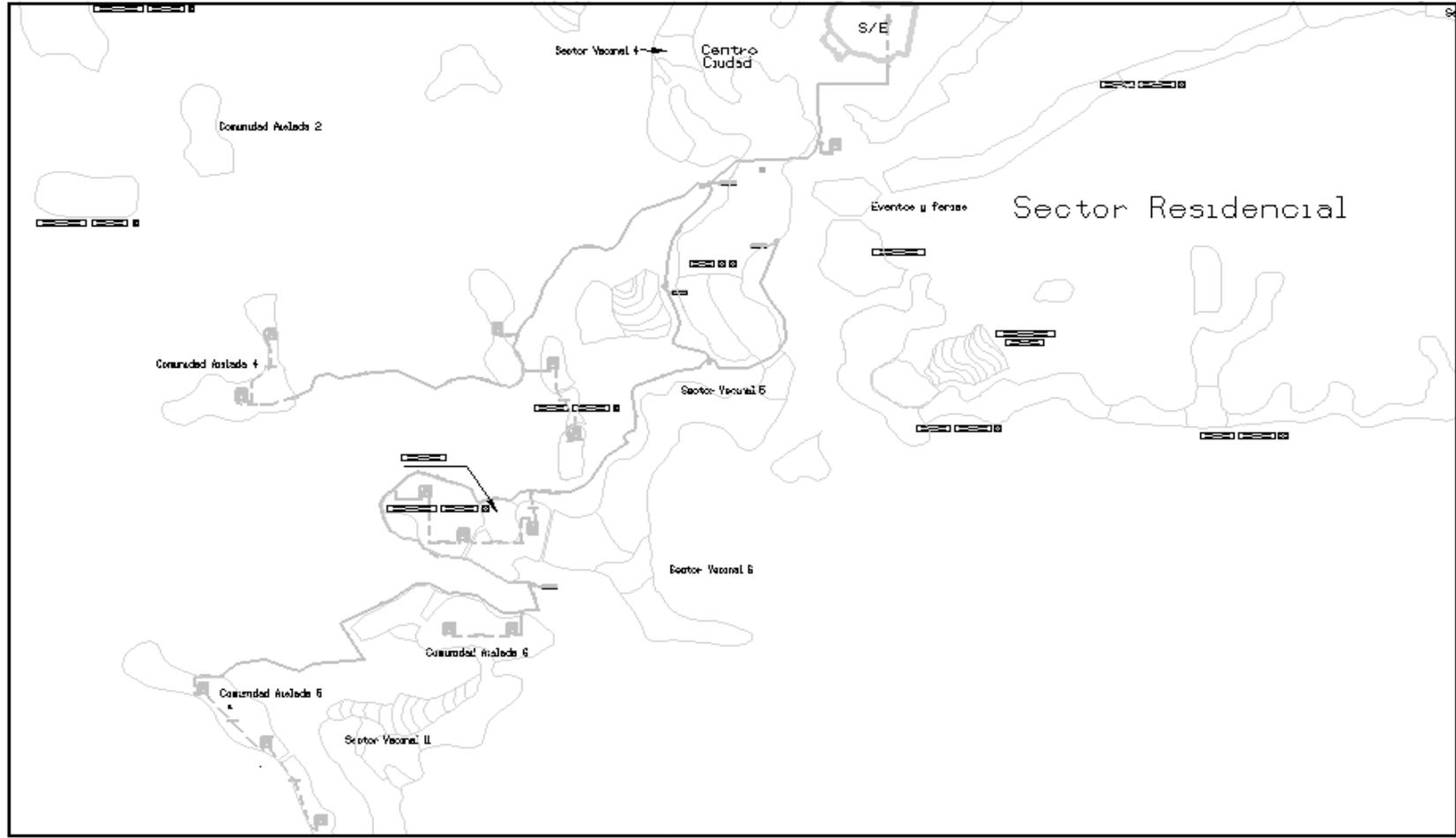


Figura A9.10: Ruta de circuito Caribia\_B02

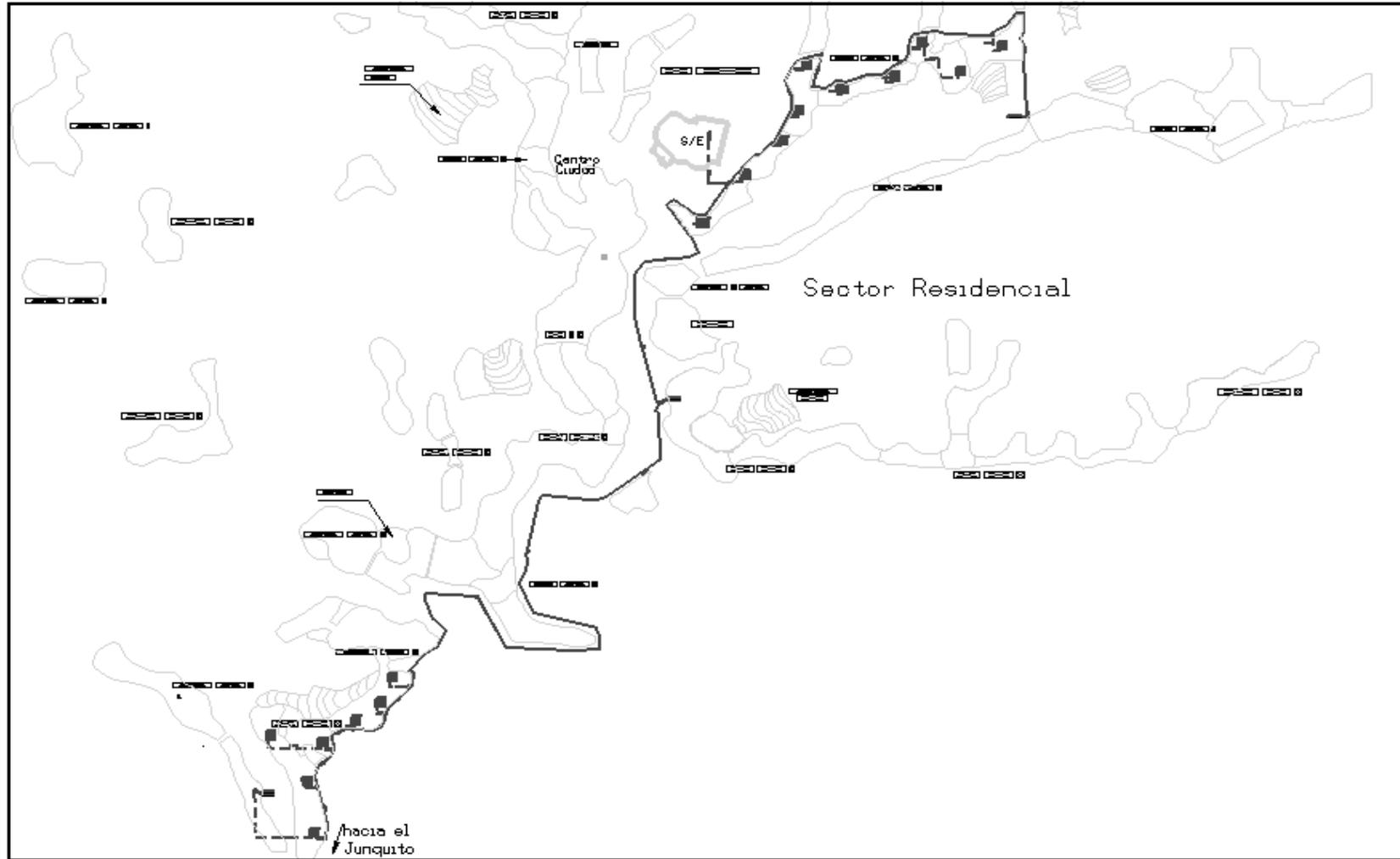


Figura A9.11: Ruta de circuito Caribia\_B03

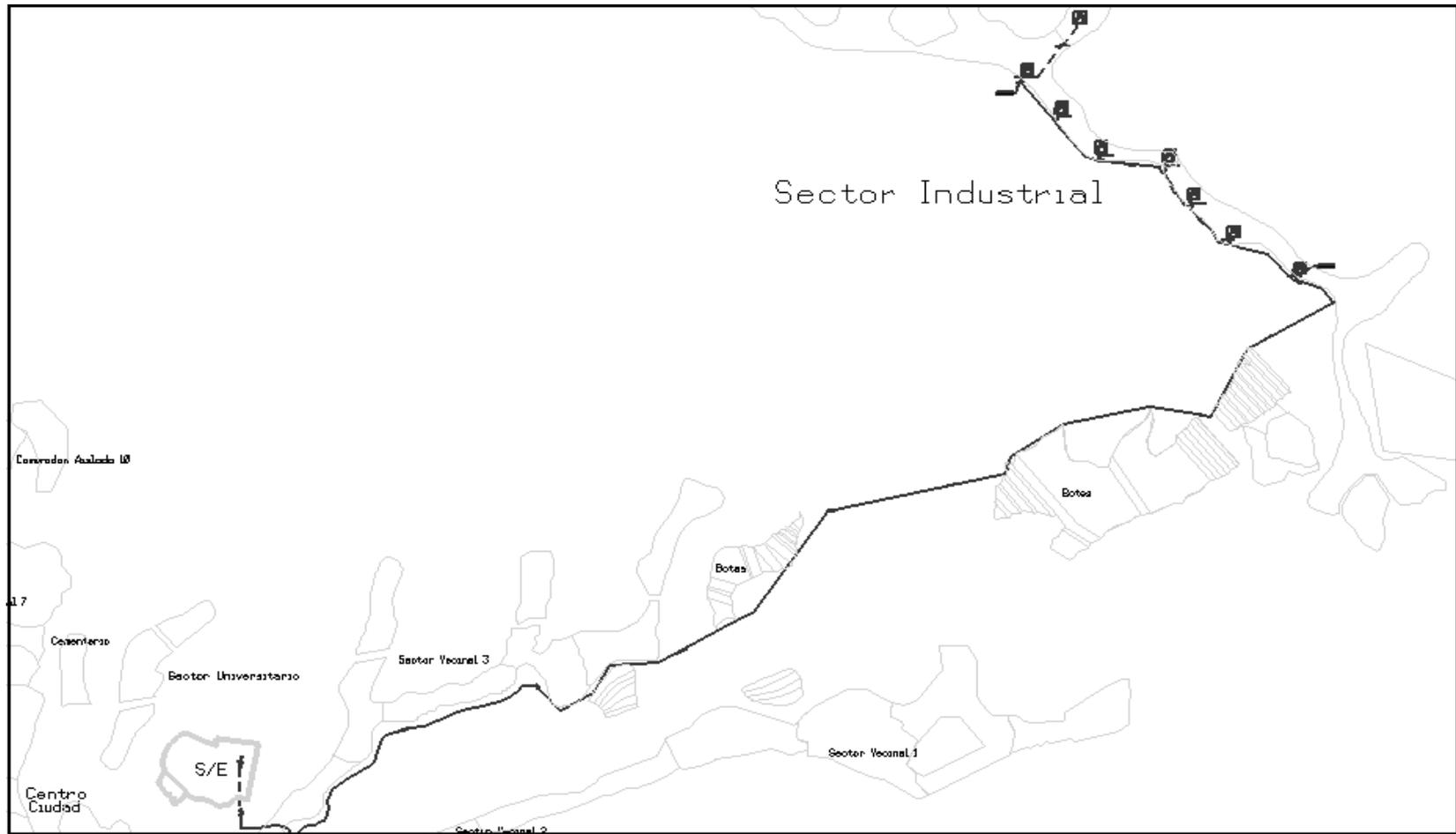


Figura A9.12: Ruta de circuito Caribia\_B04

