

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS**

### **DISEÑO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA DEL BARRIO CALLUMA DE PIFO (ZONA 1 Y ZONA 4)**

#### **TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGO EN ELECTROMECAÁNICA**

**Bryan Ramiro Ortega Cando**

bryan.ortega01@epn.edu.ec

**Gilson Fabian Simbaña Gualoto**

gilson.simbana@epn.edu.ec

**DIRECTORA: ING. CATALINA ELIZABETH ARMAS FREIRE MSC.**

elizabeth.armas@epn.edu.ec

**CODIRECTOR: ING. CARLOS ORLANDO ROMO HERRERA MSC.**

carlos.romo@epn.edu.ec

**Quito, mayo 2021**

# CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por los Sres. Bryan Ramiro Ortega Cando y Gilson Fabian Simbaña Gualoto, como requerimiento parcial a la obtención del título de TECNÓLOGO EN ELECTROMECAÁNICA, bajo nuestra supervisión:

---

**Ing. Catalina Elizabeth Armas Freire**

DIRECTORA DEL  
PROYECTO

---

**Ing. Carlos Orlando Romo Herrera**

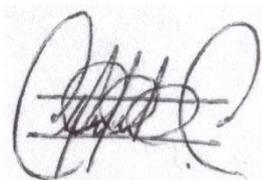
CODIRECTOR DEL PROYECTO

## DECLARACIÓN

Nosotros Bryan Ramiro Ortega Cando y Gilson Fabian Simbaña Gualoto con CI: 1753453800 y 1727243469 declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

Sin perjuicio de los derechos reconocidos en el primer párrafo del artículo 144 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación – COESC-, somos titulares de la obra en mención y otorgamos una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva de uso con fines académicos a la Escuela Politécnica Nacional.

Entregamos toda la información técnica pertinente, en caso de que hubiese una explotación comercial de la obra por parte de la EPN, se negociará los porcentajes de los beneficios conforme lo establece la normativa nacional vigente.



---

**Bryan Ramiro Ortega Cando**

CI: 1753453800

Teléfono: 0960760886

Correo: bryan.ortega01@epn.edu.ec



---

**Gilson Fabian Simbaña Gualoto**

CI: 1727243469

Teléfono: 0998311526

Correo: gilson.simbana@epn.edu.ec

## **DEDICATORIA**

A mis padres, quienes me han brindado su apoyo incondicional en el transcurso de mi formación académica y quienes me han forjado como la persona que soy actualmente, muchos de mis logros son gracias a ustedes y este es uno de ellos.

Bryan

# **AGRADECIMIENTO**

A mis padres, quienes confiaron y apoyaron incondicionalmente en el transcurso de mi vida universitaria.

A nuestra directora de tesis Ing. Elizabeth Armas MSc. por la paciencia y el apoyo que nos ha brindado para culminar con éxito este proyecto.

A la Escuela Politécnica Nacional por abrirme sus puertas y a sus maestros por compartir los conocimientos que hoy tengo y que me guiarán en las decisiones como profesional.

Bryan

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo está dedicado a toda mi familia, los cuales están pendientes de mí, brindándome su apoyo y por estar ahí en los momentos tristes y alegres de la vida. Gracias a todos por enseñarme a luchar y trabajar contra las adversidades de la vida. Este es el resultado de mi esfuerzo y ellos se lo merecen.

Gilson

# AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por la vida y la salud que me ha brindado y con las bendiciones que me ha regalado.

A mi madre, Victoria aquella persona que ha estado conmigo en todos los momentos, apoyándome día a día, dándome sabios consejos y sobre todo cuidándome y bendiciéndome.

A mi padre, Patricio quien ha estado siempre a mi lado, gracias por todo el apoyo y por enseñarme a respetar y a esforzarme en la vida.

A mi hermana, Viviana quien ha estado conmigo en todo momento, enseñándome a perseverar en la vida, apoyándome, dándome sabios consejos y sobre todo a enseñarme a nunca darme por vencido.

A mis panas, con quienes he compartido momentos inolvidables en mi vida estudiantil.

A toda mi familia y amigos por estar pendientes en mi bienestar personal.

A la Escuela Politécnica Nacional quien me ha instruido con conocimientos y valores.

A los docentes, que me entregaron conocimientos, enseñanzas y experiencias para ser una mejor persona y un buen profesional.

Gilson

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

1	Introducción .....	1
1.1	Objetivo general.....	1
1.2	Objetivos específicos .....	1
1.3	Fundamentos.....	2
	Sistema de distribución de la energía eléctrica .....	2
	Red de media tensión .....	2
	Centro de transformación .....	3
	Red de baja tensión.....	3
	Norma para sistemas de distribución de la E.E.Q.S.A. ....	4
2	Metodología.....	6
2.1	Descripción de la metodología usada .....	6
3	Resultados y Discusión.....	8
3.1	Levantamiento de información en campo de la zona 1 y la zona 4. ....	8
3.2	Diseño de los sistemas de alumbrado público de la zona 1 y la zona 4 .....	9
3.3	Estudios de la demanda eléctrica de la zona 1 y la zona 4. ....	10
	Estudio de la demanda eléctrica. ....	10
	Cálculo de la demanda máxima diversificada .....	11
	Cálculo de la demanda de diseño .....	14
	Cálculo de la capacidad del transformador .....	15
3.4	Diseño de las redes primaria y secundaria para la zona 1 y la zona 4. ....	16
	Red primaria .....	16
	Red secundaria.....	19
	Seccionamiento y protecciones. ....	21
	Estructuras de soporte.....	24
3.5	Estudio económico de materiales para la zona 1 y la zona 4. ....	26
4	Conclusiones y Recomendaciones .....	28
4.1	Conclusiones .....	28

4.2	Recomendaciones .....	29
5	Referencias Bibliográficas .....	30
	ANEXOS.....	32
	Anexo 1: Plano de alumbrado público para la zona 1 y zona 4 .....	i
	Anexo 2: Plano de las redes de baja tensión para la zona 1 y zona 4.....	ii
	Anexo 3: Plano de la red de media tensión para la zona 1 y zona 4 .....	iii
	Anexo 4: Plano de estructuras de soporte .....	iv
	Anexo 5: Distribución de estratos de consumo en el área de concesión de la E.E.Q.S.A. .....	v
	Anexo 6: Cálculo de demanda de servicios generales .....	vi
	Anexo 7: Cómputo de caída de tensión del circuito primario.....	vii
	Anexo 8: Cómputo de caída de tensión de circuitos secundarios.....	viii
	Anexo 9: Ejemplo de caída de tensión en el circuito C1 de la zona 1 .....	xii
	Anexo 10: Tabla de protecciones para transformadores de distribución .....	xiii
	Anexo 11: Diagrama unifilar (zona 1) .....	xiv
	Anexo 12: Diagrama unifilar (zona 4) .....	xv

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1</b> Distribución de la energía eléctrica de alta, media y baja tensión.....	2
<b>Figura 1.2</b> Esquema de la red de media y baja tensión.....	3
<b>Figura 1.3</b> Circuito de un sistema de distribución.....	4
<b>Figura 3.1</b> Punto de conexión principal de M.T. (a) Vista inferior (b) Vista superior.....	8
<b>Figura 3.2</b> Visita en campo-zona 1 (a) Vista inferior (b) Vista superior.....	9
<b>Figura 3.3</b> Visita en campo-zona 4 (a) Vista inferior (b) Vista superior.....	9
<b>Figura 3.4</b> Nivel de tensión primaria del barrio Calluma.....	17
<b>Figura 3.5</b> Código QR de la memoria técnica descriptiva.....	26
<b>Figura 3.6</b> Sociabilización del estudio eléctrico para el barrio Calluma.....	27

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 3.1</b>	Escala de consumo sin influencia de cocinas de inducción.....	10
<b>Tabla 3.2</b>	Demanda máxima diversificada sin afectación de cocinas de inducción .....	11
<b>Tabla 3.3</b>	DMD <sub>total</sub> con afectación de cocinas de inducción.....	14
<b>Tabla 3.4</b>	Demanda de diseño.....	15
<b>Tabla 3.5</b>	Potencia nominal de los transformadores .....	16
<b>Tabla 3.6</b>	Capacidad de los transformadores .....	16
<b>Tabla 3.7</b>	Caída máxima de voltaje en la red primaria .....	17
<b>Tabla 3.8</b>	(kVA x km) para 1% de caída de voltaje para media tensión .....	18
<b>Tabla 3.9</b>	Caída máxima de voltaje en la red secundaria.....	19
<b>Tabla 3.10</b>	(kVA x m) para 1% de caída de voltaje para baja tensión .....	20
<b>Tabla 3.11</b>	Conductores para red secundaria.....	21
<b>Tabla 3.12</b>	Tabla de tensiones nominales y máximas para una onda de corriente de 8x20 microsegundos.....	22
<b>Tabla 3.13</b>	Tabla de estructuras de soporte zona 1 .....	25
<b>Tabla 3.14</b>	Tabla de estructuras de soporte zona 4 .....	25
<b>Tabla 3.15</b>	Tabla de estructuras de soporte-red de media tensión .....	25
<b>Tabla 3.16</b>	Costo estimado del proyecto.....	26

## **RESUMEN**

En este proyecto de titulación se presenta el diseño de la red de distribución eléctrica y el sistema de alumbrado público para la zona 1 y zona 4 del barrio Calluma en la parroquia Pifo, en base a la norma de la Empresa Eléctrica Quito S.A. (E.E.Q.S.A.), donde se especifican los parámetros para su desarrollo. El proyecto consta de cinco capítulos, los cuales se resumen a continuación.

El capítulo uno contiene la introducción e información del proyecto, los objetivos que son las actividades desarrolladas, los fundamentos teóricos sobre la distribución eléctrica y la normativa en la que se basa el proyecto.

El capítulo dos describe la metodología empleada, que son los pasos necesarios para alcanzar los objetivos planteados, utilizando técnicas, normas y herramientas para la ejecución de los mismos.

En el capítulo tres se muestran los resultados alcanzados al aplicar los criterios y cálculos indicados en la norma para el diseño de la red de distribución eléctrica. Además, se muestran los planos eléctricos del sistema y se presenta el costo estimado del proyecto.

El capítulo cuatro contiene las conclusiones y recomendaciones obtenidas al terminar el diseño del sistema.

Finalmente, en el capítulo cinco se enlistan las referencias bibliográficas utilizadas.

### **PALABRAS CLAVE:**

Electricidad    Distribución    Alumbrado

## **ABSTRACT**

This degree project presents the design of the electrical distribution network and the public lighting system for zone 1 and zone 4 of the Calluma neighborhood in the Pifo parish, based on the norm of the Empresa Eléctrica Quito SA (EEQSA), where the parameters for its development are specified. The project consists of five chapters, which are summarized below.

Chapter one contains the introduction and information on the project, the objectives, which are the activities developed, the theoretical foundations on electrical distribution and the regulations on which the project is based.

Chapter two describes the methodology used, which are the steps necessary to achieve the objectives set, using techniques, standards and tools for the execution of the same.

Chapter three shows the results achieved by applying the criteria and calculations indicated in the standard for the design of the electrical distribution network. In addition, the electrical drawings of the system are shown and the estimated cost of the project is presented.

Chapter four contains the conclusions and recommendations obtained upon completion of the system design.

Finally, chapter five lists the bibliographical references used.

### **KEY WORDS:**

Electricity Distribution Lighting

# 1 INTRODUCCIÓN

La parroquia Pifo ha experimentado un incremento debido a nuevos asentamientos de familias, esto ha provocado la formación de nuevos barrios, como es el barrio Calluma, el cual requiere mejorar su infraestructura y acceder a los servicios básicos (energía eléctrica, agua potable, saneamiento, desechos sólidos, etc.), dichos servicios se han visto desatendidos ya que a nivel de comunidades en la parroquia existen terrenos que aún no están legalizados, limitando la intervención de obras y servicios [1][2].

Con base en lo expuesto y debido a que la Escuela de Formación de Tecnólogos (ESFOT) de la Escuela Politécnica Nacional mantuvo el Proyecto de Vinculación con la Colectividad PVS-2019-026, "Capacitación y Asesoramiento Tecnológico en la población de Pifo", se propuso realizar el diseño de la red de distribución eléctrica para la zona 1 y la zona 4 del barrio Calluma, en base a la norma para Sistemas de Distribución de la Empresa Eléctrica Quito S.A., con el fin de que la directiva del barrio pueda iniciar el proceso con la entidad mencionada para la futura implementación del sistema, y así los habitantes del barrio puedan gozar de una mejor calidad de vida y condiciones de desarrollo favorables [3].

Debido a la magnitud geográfica del barrio Calluma, se lo ha dividido en 4 zonas para realizar los diferentes estudios eléctricos. Este proyecto realizó el diseño de distribución eléctrica para la zona 1 y zona 4.

## 1.1 Objetivo general

Diseñar la red de distribución eléctrica del Barrio Calluma de Pifo (zona 1 y zona 4).

## 1.2 Objetivos específicos

Realizar levantamiento de información en campo de la zona 1 y la zona 4.

Diseñar los sistemas de alumbrado público de la zona 1 y la zona 4.

Realizar los estudios de la demanda eléctrica de la zona 1 y la zona 4.

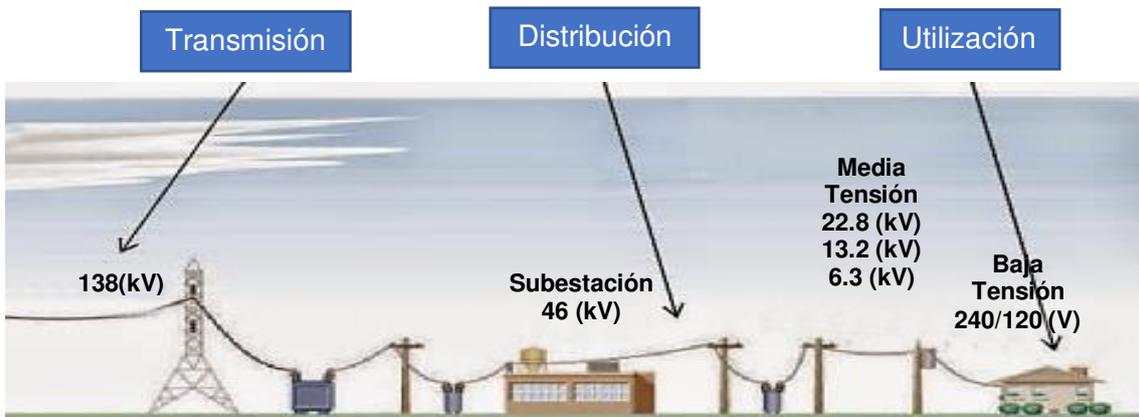
Diseñar las redes primaria y secundaria para la zona 1 y la zona 4.

Realizar el estudio económico de materiales para la zona 1 y la zona 4.

## 1.3 Fundamentos

### Sistema de distribución de la energía eléctrica

Es una parte del sistema eléctrico de potencia que abarca un conjunto de centrales generadoras de energía, líneas de transmisión y sistemas de distribución que operan como un todo. Su función principal es la de llevar la energía de los centros de generación hasta los centros de consumo de forma segura, en la Figura 1.1 se muestra la distribución de la energía eléctrica desde las líneas de transmisión hasta los consumidores finales [4].



**Figura 1.1** Distribución de la energía eléctrica de alta, media y baja tensión [4].

### Red de media tensión

La red de media tensión (M.T.) o red primaria son aquellas líneas que distribuyen la energía desde las subestaciones de distribución hasta los centros de transformación. En Quito los valores estandarizados de M.T. según la norma de la E.E.Q.S.A. son de 6.3, 13.2 y 22.8 (kV) de esquema radial.

Sistema radial: Se caracteriza por tener una sola trayectoria sin retorno entre la fuente y la carga, por la cual fluye una corriente desde la subestación y la distribuye en forma de rama. La ventaja del sistema radial es que su instalación es sencilla al igual que las protecciones eléctricas. Mientras que el inconveniente de este sistema es que ante un posible fallo del transformador toda la red quedará sin energía eléctrica [5].

- Las redes de media tensión a 6,3 (kV) son especialmente a 3 conductores asociadas con circuitos secundarios monofásicos [6].
- Las redes de media tensión a 22,8 (kV) están conformadas por 1, 2 o 3 conductores de fase y un neutro el cual es común con los circuitos secundarios. Los circuitos secundarios pueden ser monofásicos a 3 hilos y trifásicos [6].

- Las redes de media tensión a 13,2 (kV) están conformadas por 1, 2 o 3 conductores de fase y un neutro puesto a tierra a partir del punto neutro de la subestación de distribución y común con los circuitos secundarios. Los circuitos secundarios pueden ser monofásicos a 3 hilos [6].

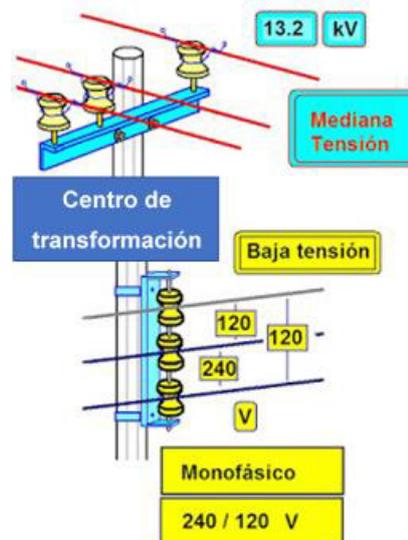
### Centro de transformación

Son transformadores de distribución (C.T.) que tienen como función reducir los niveles de tensión de la red de M.T. a niveles de baja tensión o voltajes adecuados para el consumo del usuario final. Existen diferentes tipos de transformadores de distribución, convencionales y auto protegidos, los cuales pueden ser: Monofásicos de 2 hilos de 120 (V<sub>AC</sub>) , monofásicos de 3 hilos de 240/120 (V<sub>AC</sub>), trifásicos de 3 hilos de 210/121 (V<sub>AC</sub>) y trifásicos de 4 hilos de 210/121 (V<sub>AC</sub>) con neutro [3].

### Red de baja tensión

La red de baja tensión (B.T.) o red secundaria se constituye por líneas aéreas o subterráneas que parten de los centros de transformación y conducen la energía hasta los usuarios finales. En Quito, uno de los valores estandarizados de B.T. según la norma de la E.E.Q.S.A. es de 240/120 (V<sub>AC</sub>).

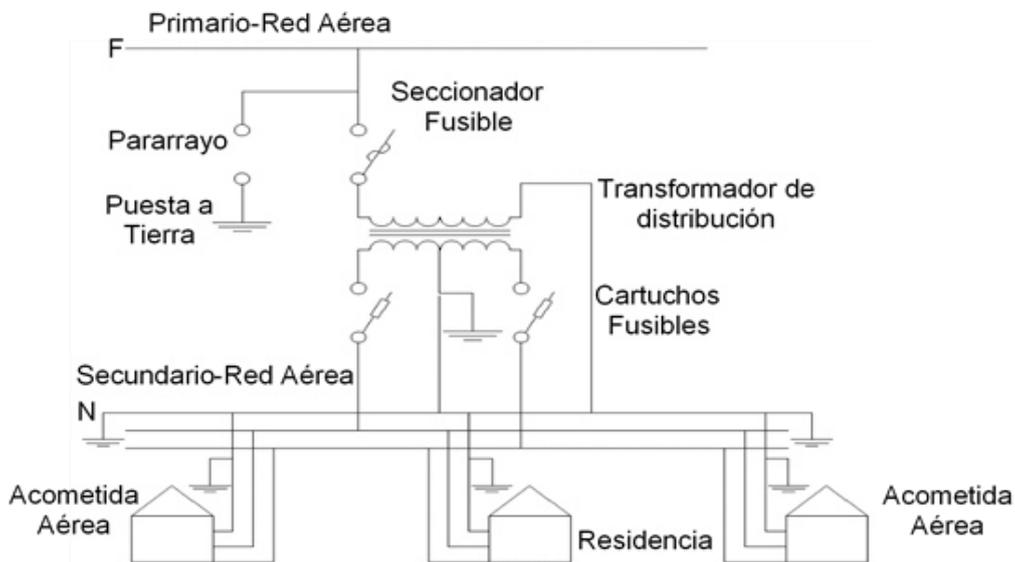
En la Figura 1.2 se muestra el esquema de M.T., el centro de transformación y B.T.[7]



**Figura 1.2** Esquema de la red de media y baja tensión [7].

Los elementos de un sistema de distribución son propensos a fallas por lo que es importante disponer de protecciones en las redes de B.T y centros de transformación. En lado de baja tensión se tiene los cartuchos fusibles, mientras que en el lado de media

tensión un pararrayos, un seccionador fusible y la respectiva puesta a tierra tanto para M.T y B.T como se muestra en la Figura 1.3.



**Figura 1.3** Circuito de un sistema de distribución.

### **Norma para sistemas de distribución de la E.E.Q.S.A.**

La norma para sistemas de distribución de la E.E.Q.S.A. se conforma por las partes A, B y C, estas contienen un conjunto de criterios y recomendaciones básicas con el fin de orientar al personal de la E.E.Q.S.A. o a profesionales independientes en el proceso de diseño de redes de distribución eléctrica para instalaciones localizadas dentro del área de servicio de la E.E.Q.S.A. Las partes antes nombradas se clasifican de la siguiente forma [6]:

- Parte A: “Guía para diseño de redes de distribución”
  - Parte B: “Unidades de Propiedad y de construcción”
  - Parte C: “Especificaciones Técnicas de Equipos y Materiales”
- **Parte A: “Guía para diseño de redes de distribución”.**

La parte A de la normativa abarca el contenido para el diseño de redes de distribución dentro del área de concesión de la E.E.Q.S.A., la cual se enfoca en la estimación de la demanda máxima diversificada, dimensionamiento y trazado, seccionamiento y protecciones, estructuras de soporte y materiales, aplicando técnicas teóricas y prácticas de manera estándar, con el fin de regular el diseño y construcción de los sistemas de distribución eléctrica. Esta parte se complementa con la parte B y C de la norma para sistemas de distribución de la E.E.Q.S.A. [6].

- **Parte B: “Unidades de propiedad y de construcción”.**

La parte B de la normativa abarca el contenido correspondiente a materiales de construcción, montaje, implantación y dimensionamiento de estructuras, que se deben aplicar para el diseño y construcción de los sistemas de distribución para redes de media y baja tensión [8].

Esta parte se clasifica de manera resumida en los siguientes literales [8]:

- Consideraciones generales para la implantación de postes
- Disposiciones básicas de los conductores sobre las estructuras
- Separaciones mínimas de seguridad
- Disposición de listas de materiales y guías de su utilización
- Disposiciones y estructuras para redes aéreas y subterráneas de distribución
- Disposiciones para el tipo de montaje, fijación y ensamblaje de los equipos
- Disposiciones para la instalación de conexiones a tierra de los equipos
- Designación de las unidades para la contratación y ejecución de obras

- **Parte C: “Especificaciones Técnicas de Equipos y Materiales”.**

La Parte C de la norma abarca las especificaciones técnicas de equipos y materiales, tiene como fin instituir estos parámetros de una forma estándar en los proyectos de redes de distribución, principalmente en los siguientes apartados [9]:

- Especificaciones técnicas de transformadores de distribución.
- Especificaciones técnicas de herrajes.
- Especificaciones técnicas de luminarias.

Los elementos, equipos y materiales que se especifican en la norma de la E.E.Q.S.A. se basan en las normas que se anotan a continuación o sus equivalentes [6]:

- ASA: American Standard Association.
- ASTM: American Society of Testing and Materials.
- ANSI: American National Standards Institute.
- EEI: Edison Electrical Institute.
- IEC: International Electrotechnical Commission.
- IPCEA: Insulated Power Cable Engineer Association.
- NEMA: National Electrical Manufacturers Association.
- IRAM: Instituto Argentino de Normalización y Certificación.

## **2 METODOLOGÍA**

### **2.1 Descripción de la metodología usada**

Se realizó un levantamiento de información para verificar en cada una de las zonas la medida de las calles y número de lotes que necesitan del sistema de distribución eléctrica y alumbrado público, para luego asociarlos con los planos entregados por los dirigentes del barrio. Además, se verificó el suministro de energía de media tensión para la parroquia Pifo en la página Sistema de Información Geográfica (GIS).

Se analizó la Norma para Sistemas de Distribución de la Empresa Eléctrica Quito S.A., la cual está dividida en la parte A: Guía para diseño de redes para distribución, parte B: Unidades de propiedad y de construcción, y parte C: Especificaciones técnicas de equipos y materiales. Finalmente, se identificaron en cada una de las partes de la norma los criterios adecuados para el diseño del proyecto.

Con los criterios generales y los valores de referencia para el diseño de alumbrado público en áreas residenciales que se especifican en la parte A de la norma, específicamente en las secciones correspondientes al alumbrado de vías, nivel de iluminación y factores de uniformidad; se determinaron: el tipo de luminaria, el tipo de control y la distribución más conveniente de las estructuras para el alumbrado público. Con esta información se diseñaron los planos correspondientes al sistema de alumbrado público de la zona 1 y la zona 4.

Con la información de los planos entregados, la ubicación geográfica del barrio Calluma y el número de usuarios de cada una de las zonas, se definieron: el estrato de consumo eléctrico, la demanda máxima diversificada, la demanda de diseño y la demanda de cargas especiales. Datos que de acuerdo con la parte A de la norma sirven para el dimensionamiento y selección de los centros de transformación.

Con la ayuda de la página GIS, se realizó una investigación acerca de la disposición de energía eléctrica en la parroquia Pifo, específicamente en el barrio Calluma. Además, utilizando la parte A de la norma se dimensionaron los conductores y protecciones para la red primaria y las redes secundarias, con el fin de alimentar y proteger a los transformadores y cargas secundarias de la zona 1 y zona 4.

Con la información adquirida y la selección adecuada de conductores, protecciones y centros de transformación, se procedió a elaborar los diagramas unifilares y planos correspondientes al sistema de distribución eléctrica para cada una de las zonas.

Una vez realizada la parte técnica del proyecto, se procedió con la selección de las estructuras y materiales de la red de distribución eléctrica y alumbrado público de las zonas 1 y 4 del barrio Calluma, para lo cual se utilizaron la parte B y C de la norma; y el catálogo digital de unidades de propiedad para redes de distribución de energía eléctrica del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER), donde se especifican los materiales y accesorios adecuados para el diseño, luego se investigó el costo de cada uno de ellos, para obtener el costo total estimado de materiales para cada una de las zonas.

### 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Levantamiento de información en campo de la zona 1 y la zona 4.

Se realizaron visitas en campo para el levantamiento de información, obteniéndose lo siguiente:

- Los dirigentes del barrio Calluma entregaron 3 planos:
  - Plano general con el nombre Virgen San Vicente Primavera, en el que se muestra la distribución del barrio Calluma, los postes de alumbrado público existentes y la medida de las calles.
  - Plano con el nombre Pifo Primera Etapa, donde se detalla el número de lotes y ancho de calles de la zona 3 del barrio Calluma.
  - Plano con el nombre Pifo Segunda Etapa, donde se detalla el número de lotes y ancho de calles de la zona 1 y zona 3 del barrio Calluma.
- La zona 1 está conformada por 28 lotes según el plano general.
- La zona 4 está conformada por 18 lotes según el plano general.
- La medida de las calles de la zona 1 son de 10 (m) incluido la acera, mientras que la medida de las calles de la zona 4 son de aproximadamente 8 (m) incluido la acera según el plano general.

De acuerdo con el Sistema de Información Geográfica (GIS), el pasaje principal San Javier dispone de una red monofásica de sistema radial de 13.16 (kV), desde la cual se realizó la derivación monofásica de media tensión a los transformadores de distribución para cada una de las zonas [10]. En la Figura 3.1 se muestra el punto de conexión principal de donde se diseñó la acometida de M.T. de 13,16 (kV).



(a)



(b)

**Figura 3.1** Punto de conexión principal de M.T. (a) Vista inferior (b) Vista superior.

De acuerdo con la visita en campo se verificó que la zona 1 no se encuentra habitada como se muestra en la Figura 3.2. Mientras que, en la zona 4 ya existe viviendas como se observa en la Figura 3.3. Además, se verificó que las zonas 1 y 4 no cuentan con un sistema de distribución eléctrica y alumbrado público.



**Figura 3.2** Visita en campo-zona 1 (a) Vista inferior (b) Vista superior.



**Figura 3.3** Visita en campo-zona 4 (a) Vista inferior (b) Vista superior.

### **3.2 Diseño de los sistemas de alumbrado público de la zona 1 y la zona 4**

Debido a que las calles de la zona 1 y zona 4 están comprendidas entre 8 y 10 (m) de ancho, según los planos del barrio Calluma, se seleccionó una luminaria con una potencia de 100 (W), debido a que para este tipo de vías la norma nos recomienda dicha luminaria, respetando la distancia máxima entre ellas de 40 (m) [6]. La altura de los postes de media-baja tensión es de 11,5 (m) con 1,65 (m) de empotramiento y una altura de fijación de luminaria de 8 (m), mientras que en el poste de baja tensión de 9 (m) el empotramiento es de 1,4 (m) y la altura de fijación de la luminaria es de 7,45 (m), como lo especifica la parte B de la norma [8].

Se proyectó dos circuitos de alumbrado público para cada una de las zonas ( $C_1$ ,  $C_2$  para la zona 1 y  $C_3$ ,  $C_4$  para la zona 4), los cuales son aéreos y alimentados con un voltaje de 240 ( $V_{AC}$ ) entre líneas, junto con luminarias de sodio de alta presión de 100 (W) con foto-control incorporado. De acuerdo con el plano de alumbrado público que se muestra en el Anexo 1, para la zona 1 y la zona 4 se empleó 8 y 9 luminarias de 100 (W), respectivamente.

### 3.3 Estudios de la demanda eléctrica de la zona 1 y la zona 4.

#### Estudio de la demanda eléctrica.

Para determinar la demanda eléctrica es necesario definir el estrato de consumo al que pertenecen los usuarios del barrio Calluma, para ello es necesario ubicar geográficamente el lugar del proyecto. Debido a que la parroquia Pifo está ubicada en el área rural se debe usar el plano del Anexo 5 proporcionado por la parte A de la Norma. En este plano se especifica por colores los estratos de consumo según la ubicación geográfica del distrito metropolitano de Quito. Existen cinco estratos de consumo (A, B, C, D y E), los cuales están divididos por la escala de consumo mensual en (kWh), sin considerar la afectación de la carga de cocinas de inducción como se muestra en la Tabla 3.1.

**Tabla 3.1** Escala de consumo sin influencia de cocinas de inducción [6].

Categoría de Estrato de Consumo	Escala de Consumo (kWh/mes/cliente) sin considerar la influencia de cocinas de inducción para usuarios tipo C, D y E
E	0-100
D	101-150
<b>C</b>	<b>151-250</b>
B	251-350
A	351-500
A1	501-900

En el Ecuador, el consumo de energía eléctrica de una vivienda promedio es mayor a 150 (kWh) al mes según la página web Ecuatran. Además, Pifo es una parroquia rural ubicada en la periferia de la ciudad de Quito, por lo tanto, se utiliza el plano del Anexo

5, determinando que el estrato al que pertenecen los usuarios de las zonas 1 y 4 del barrio Calluma es el tipo C. Por ello los cálculos y criterios utilizados para el diseño se realizan en base a este estrato [11].

### **Cálculo de la demanda máxima diversificada**

El pico de carga de una instalación eléctrica o Demanda Máxima Diversificada (DMD) depende del número de usuarios y del estrato de consumo al que estos pertenecen. En la Tabla 3.2 proporcionada por la parte A de la norma se tiene los valores de DMD sin afectación de la carga de las cocinas de inducción para diferente número de usuarios.

**Tabla 3.2** Demanda máxima diversificada sin afectación de cocinas de inducción [6].

<b>Demanda máxima diversificada considerando los factores M y N, sin afectación de la carga de las cocinas de inducción (kW)</b>					
<b># Usuarios</b>	<b>Estrato A</b>	<b>Estrato B</b>	<b>Estrato C</b>	<b>Estrato D</b>	<b>Estrato E</b>
1	4,7	3,4	2,5	1,6	1,1
2	8,3	6,1	4,5	2,8	2,0
3	10,2	7,4	5,5	3,5	2,5
4	12,1	8,8	6,6	4,2	2,9
5	13,8	10,0	7,4	4,7	3,3
6	15,7	11,4	8,5	5,4	3,8
7	17,5	12,8	9,5	6,0	4,2
8	19,6	14,3	10,6	6,7	4,7
9	21,5	15,6	11,6	7,4	5,2
10	23,3	17,0	12,6	8,0	5,6
11	25,2	19,4	13,6	8,6	6,1
12	27,1	19,8	14,7	9,3	6,5
13	29,1	21,2	15,8	10,0	7,0
14	31,0	22,6	16,8	10,6	7,4
15	32,9	24,0	17,8	11,3	7,9
16	34,8	25,4	18,8	11,9	8,4
17	36,7	26,7	19,8	12,6	8,8
<b>18</b>	<b>38,6</b>	<b>28,1</b>	<b>20,9</b>	<b>13,2</b>	<b>9,3</b>
19	40,3	29,4	21,8	13,8	9,7

Demanda máxima diversificada considerando los factores M y N, sin afectación de la carga de las cocinas de inducción (kW)					
# Usuarios	Estrato A	Estrato B	Estrato C	Estrato D	Estrato E
20	42,3	30,9	22,9	14,5	10,2
21	44,1	32,1	23,8	15,1	10,6
22	46,0	33,5	24,9	15,8	11,0
23	47,6	34,7	25,7	16,3	11,4
24	49,2	35,8	26,6	16,8	11,8
25	50,5	36,9	27,4	17,3	12,1
26	52,2	38,1	28,2	17,9	12,5
27	53,9	39,3	29,2	18,5	12,9
<b>28</b>	56,4	41,1	<b>30,5</b>	19,3	13,5
29	57,3	41,8	31,0	19,6	13,7
30	59,0	43,0	31,9	20,2	14,2

En base a la Tabla 3.2, se determinan los valores de DMD sin afectación de cocinas de inducción para los usuarios de las zonas 1 y 4.

Zona 1 (28 usuarios): DMD = 30,5 (kW)

Zona 4 (18 usuarios): DMD = 20,9 (kW)

Según la ficha informativa del Programa de Cocción Eficiente del MEER, el 91% de los hogares ecuatorianos usan gas licuado del petróleo (GLP) para la cocción de alimentos, por lo que se ha considerado para este diseño que solo el 20% de los usuarios de las zonas 1 y 4 cuentan con una cocina de inducción. Teniendo como resultado que 6 usuarios en la zona 1 y 4 usuarios en la zona 4 cuentan con una de ellas [12].

Debido a la carga de estos artefactos (cocinas de inducción), la DMD sufre un incremento, ya que se le añade la Demanda Máxima Diversificada de Cocinas de Inducción ( $DMD_{CI}$ ), es decir se obtiene la Demanda Máxima Diversificada total ( $DMD_{total}$ ).

Para obtener la  $DMD_{total}$  es decir, que incluya la afectación de cocinas de inducción, se utiliza la Ecuación 3.1.

$$DMD_{total} = DMD + DMD_{CI}$$

**Ecuación 3.1** Demanda máxima diversificada total [6].

- Para la zona 1.

Donde:

- DMD : 30,5 (kW) demanda máxima diversificada sin afectación de cocinas de inducción
- DMD<sub>CI</sub> : (kW) demanda máxima diversificada de cocinas de inducción
- DMD<sub>total</sub> : (kW) demanda máxima diversificada con afectación de cocinas de inducción

Para obtener la DMD<sub>CI</sub> se utiliza la siguiente expresión:

$$DMD_{CI} = 0,6 \times N_{CI} \times FC_{CI} \times DMU_{CI}$$

**Ecuación 3.2** Demanda máxima diversificada de cocinas de inducción [6].

Donde:

- N<sub>CI</sub> : número de cocinas de inducción
- FC<sub>CI</sub> : factor de coincidencia
- DMU<sub>CI</sub> : 2,4 (kW) demanda máxima unitaria de cocina de inducción [6].

Para obtener el FC<sub>CI</sub> se utiliza la siguiente expresión:

$$FC_{CI} = e^{-0.7243} \times N_{CI}^{-0.128443} + 0,037$$

**Ecuación 3.3** Factor de coincidencia de cocinas de inducción [6].

Donde:

- N<sub>CI</sub> : 6 (20% del número total de los usuarios de la zona 1)
- $e^{-0.7243}$  : 0,4846

Usando la Ecuación **3.3** se obtiene:

$$FC_{CI} = 0,422$$

Usando la Ecuación **3.2** se obtiene:

$$DMD_{CI} = 3,646 \text{ (kW)}$$

En base a los valores calculados y usando la Ecuación **3.1**, se obtiene la DMD<sub>total</sub> de la zona 1:

$$DMD_{total} = 34,146 \text{ (kW)}$$

En la Tabla 3.3, se muestra los valores de  $DMD_{total}$  incluyendo el 20% de la carga por afectación de cocinas de inducción para los usuarios de las zonas 1 y 4.

**Tabla 3.3**  $DMD_{total}$  con afectación de cocinas de inducción

Zonas	$N_{CI}$ (20 %de los usuarios)	$FC_{CI}$	$DMU_{CI}$ (kW)	$DMD_{CI}$ (kW)	DMD (kW)	$DMD_{total}$ (kW)
Zona 1	6	0,422	2,4	3,646	30,5	34,146
Zona 4	4	0,443	2,4	2,549	20,9	23,449

### Cálculo de la demanda de diseño

Con el fin de dimensionar la red de distribución de cada una de las zonas, se calcula la Demanda de Diseño (DD) con la Ecuación 3.4, que se indica a continuación:

$$DD = \frac{D_{AP} + D_{PT} + DMD_{total}}{FP}$$

**Ecuación 3.4** Demanda de diseño [6].

- Para la zona 1

Donde:

- $D_{AP}$  : 0,8 (kW) demanda de alumbrado público, debido a que se tiene 8 luminarias de 100 (W) en la zona 1 como se indica en el apartado de alumbrado público
- $D_{PT}$  : 3,6 % x 30,5 (kW) demanda de pérdidas de diseño técnicas resistivas en la red secundaria, en acometidas y en conductores de energía
- $DMD_{total}$  : 34,146 (kW) demanda máxima diversificada con afectación de cocinas de inducción
- $F_p$  : 0,95 factor de potencia
- DD : (kVA) demanda de diseño en los bornes secundarios del transformador

Usando la Ecuación 3.4 se obtiene la DD de la zona 1:

$$DD = 37,94 \text{ (kVA)}$$

En la Tabla 3.4, se muestra los valores de DD para las zonas 1 y 4.

**Tabla 3.4** Demanda de diseño

Zonas	Nro. Luminarias	DMD (kW)	DMD <sub>total</sub> (kW)	D <sub>AP</sub> (kW)	D <sub>PT</sub> (kW)	DD (kVA)
Zona 1	8	30,5	34,146	0,8	1,10	37,94
Zona 4	9	20,9	23,449	0,9	0,75	26,42

### Cálculo de la capacidad del transformador

Para determinar la capacidad del transformador de distribución para cada una de las zonas se considera la DD previamente calculada, así como la Demanda de Cargas Especiales (DMD<sub>CE</sub>). La capacidad del transformador viene dada por la Ecuación 3.5.

$$kVA(t) = DD \times (\%) + DMD_{CE}$$

**Ecuación 3.5** Capacidad del transformador [6].

- Para la zona 1

Donde:

- DD : 37,94 (kVA) demanda de diseño en los bornes secundarios del transformador
- % : 80 (%) porcentaje de acuerdo con el tipo de usuario (estrato C)
- DMD<sub>CE</sub> : 11,13 (kVA) demanda correspondiente a las cargas especiales

Se considera que en un futuro se tendrá cargas especiales como, por ejemplo: una casa comunal, canchas deportivas, iluminación de parqueaderos, áreas verdes y juegos infantiles. Las mismas que son consideradas como Demanda de Servicios Generales DMD<sub>CE</sub>, el cálculo se especifica en el Anexo 6 [3].

Usando la Ecuación 3.5 se calcula la capacidad del transformador para la zona 1.

$$kVA(t) = 41,48 \text{ (kVA)}$$

Mientras que, aplicando los mismos criterios de diseño se obtiene la capacidad del transformador para la zona 4.

$$kVA(t) = 32,27 \text{ (kVA)}$$

En los circuitos secundarios asociados con la red primaria de 13,2 (kV) predominan los transformadores monofásicos de 3 hilos, por lo cual se seleccionan este tipo de transformadores; de 50 (kVA) con voltaje nominal de 240/120 (V<sub>AC</sub>) para la zona 1 y de

37,5 (kVA) con voltaje nominal de 240/120 (V<sub>AC</sub>) para la zona 4, considerando los valores nominales para transformadores de distribución que se muestran en la Tabla 3.5.

**Tabla 3.5** Potencia nominal de los transformadores [6].

<b>Potencia nominal de los transformadores</b>			
<b>VOLTAJE NOMINAL</b>		<b>N° DE FASES</b>	<b>POTENCIA NOMINAL (kVA)</b>
<b>MV (kV)</b>	<b>BV (V)</b>		
6,0	220/127	3	15; 30; 50; 60; 75; 100; 112,5; 125; 150; 160; 200; 225; 250; 300; 350
6,0	240/120	2	5; 10; 15; 25; 37,5; 50
13,2	220/127	3	15; 30; 50; 60; 75; 100; 112,5; 125; 150; 160; 200; 225; 250; 300; 350
<b>13,2 GRDY/7,62</b>	240/120	1	5; 10; 15; 25; <b>37,5; 50</b>
22,8	220/127	3	15; 30; 50; 60; 75; 100; 112,5; 125; 150; 160; 200; 225; 250; 300; 350
22,8 GRDY/13,2	240/120	1	5;10;15;25;37,5;50

En la Tabla 3.6, se muestra la capacidad calculada del transformador para cada una de las zonas.

**Tabla 3.6** Capacidad de los transformadores

<b>Zonas</b>	DD (kVA)	%	DMD <sub>CE</sub> (kVA)	<b>Capacidad del transformador</b>	
				<b>Calculada</b> kVA (t)	<b>Seleccionada</b> kVA (t)
Zona 1	37,94	0,8	11,13	41,48	50
Zona 4	26,42	0,8	11,13	32,27	37,5

### **3.4 Diseño de las redes primaria y secundaria para la zona 1 y la zona 4.**

#### **Red primaria**

Para la acometida de media tensión de las zonas 1 y 4, se ha realizado la conexión desde la red primaria que llega de la calle principal correspondiente al Pasaje San Javier. Esta red de media tensión es aérea, monofásica y de sistema radial. De acuerdo con la página del GIS, el voltaje nominal de esta red es de 13,164 (kV) como se muestra

en la Figura 3.4, desde el cual se realizó la derivación hacia los transformadores monofásicos de distribución de 50 (kVA) y 37,5 (kVA) [10][13].



**Figura 3.4** Nivel de tensión primaria del barrio Calluma [10][13].

Para el dimensionamiento de los conductores de la red primaria, se ha considerado que la caída de tensión en el punto más alejado de la fuente de alimentación principal no supere el 4,0% (con cambiador de taps bajo carga), debido que este es el porcentaje máximo admisible en sectores rurales según la Tabla 3.7.

**Tabla 3.7** Caída máxima de voltaje en la red primaria [6].

Caída Máxima de Voltaje en la Red Primaria (S/E con cambiador de taps bajo carga)		
Componentes del Sistema de Distribución	Alimentador	
	Urbano	Rural
	Caída de Voltaje	Caída de Voltaje
<b>Primario</b>	3,5%	<b>4,0%</b>

Existen varios conductores de fase para redes primarias aéreas de 22,8 (kV) y 13,2 (kV) que van desde 4/0 a 4 AWG ASC. Según la sección A-12-E de la parte A de la norma, el conductor tipo 4 AWG ASC es el calibre mínimo para redes primarias aéreas, por lo cual se seleccionó este tipo de conductor, ya que con este no se supera el porcentaje de caída de tensión máxima admisible de 4,0% y su costo es menor. El conductor de neutro en la red primaria debe ser el mismo que se emplea en las redes secundarias según la parte A de la norma, es decir, un neutro común para la red primaria y circuitos

secundarios, por lo que este es de tipo 2 AWG ASC como se especifica en el apartado correspondiente a la red secundaria.

En el Anexo 7, se muestra el cálculo de las caídas de tensión para la red primaria con el conductor tipo 4 AWG ASC. El procedimiento se describe a continuación [6]:

Columna 1: Especificar el tramo de la red primaria comprendida entre centros de transformación, partiendo desde el punto de alimentación.

Columna 2: Registrar la longitud correspondiente a cada tramo en (km).

Columna 3: Registrar el número del transformador correspondiente a cada tramo.

Columna 4: Registrar la capacidad nominal de cada transformador en (kVA).

Columna 5: Registrar la potencia transferida en cada tramo.

Columna 6: Registrar el número de fases. (Monofásica).

Columna 7: Registrar el calibre o sección del conductor.

Columna 8: Registrar el momento (kVA x km) para caída de voltaje del 1%.

- 495 (kVA x km) para un conductor 4 AWG ASC según como se especifica en la Tabla 3.8.

**Tabla 3.8** (kVA x km) para 1% de caída de voltaje para media tensión [6].

CONDUCTOR		(kVA x km) PARA 1% DE CAIDA DE VOLTAJE				
SECCIÓN	CALIBRE	6,3 (kV)		22,8GRDY/13,2 (kV)		
mm <sup>2</sup>		3 $\phi$	1 $\phi$	3 $\phi$	22,8 (kV)	13,2 (kV)
21	<b>4</b>	230	115	3010	1500	<b>495</b>
34	2	345	172	4490	2230	735
54	1/0	500	253	6540	3230	1065
68	2/0	600	303	7800	3845	1270
85	3/0	720	360	9220	4530	1495
107	4/0	840	423	10785	5290	1740

Columna 9: Registrar el producto de la potencia transferida en (kVA x km).

- (kVA x km) = (valor columna 5 x valor columna 2)

Columna 10: Registrar la caída de voltaje parcial resultante de cada tramo.

- Caída de voltaje parcial:  $\left(\frac{\text{valor columna 5} \times \text{valor columna 2}}{\text{valor columna 8}}\right) = \left(\frac{\text{valor columna 9}}{\text{valor columna 8}}\right)$

Columna 11: Sumatoria de las caídas de voltaje parciales que no debe de sobrepasar el 4,0% como se especifica en la Tabla 3.7.

En el Anexo 3 se muestra el plano de la red de media tensión para la zona 1 y zona 4.

### Red secundaria

Para el dimensionamiento de los conductores de la red secundaria, se ha considerado que la caída de tensión en el punto más alejado de la fuente de alimentación no supere el 3,5% (con cambiador de taps bajo carga), debido que este es el porcentaje máximo admisible en sectores rurales según la Tabla 3.9.

**Tabla 3.9** Caída máxima de voltaje en la red secundaria [6].

Caída Máxima de Voltaje en la Red Secundaria (S/E con cambiador de taps bajo carga)		
Componentes del Sistema de Distribución	Alimentador	
	Urbano	Rural
	Caída de Voltaje	Caída de Voltaje
<b>Secundario</b>	3,0%	<b>3,5%</b>

Por cuestiones de diseño se ha considerado que solo el 20% de los usuarios de cada una de las zonas cuentan con una cocina de inducción. Teniendo como resultado que 6 usuarios de la zona 1 y 4 usuarios de la zona 4 cuentan con una de ellas, distribuidos de la siguiente manera:

- 3 usuarios con cocinas de inducción para C<sub>1</sub> de la zona 1.
- 3 usuarios con cocinas de inducción para C<sub>2</sub> de la zona 1.
- 2 usuarios con cocinas de inducción para C<sub>3</sub> de la zona 4.
- 2 usuarios con cocinas de inducción para C<sub>4</sub> de la zona 4.

En donde, C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub> y C<sub>4</sub> corresponden a los circuitos secundarios que se derivan de los centros de transformación.

Existen varios conductores de fase para redes secundarias aéreas que van desde 2 a 4/0 AWG ASC de acuerdo con la Tabla 3.10. Por ello se realizó el cálculo de caída de tensión para cada uno de los circuitos con los conductores de calibre 2, 1/0, 2/0, 3/0 y 4/0 los cuales cumplieron con la condición de no sobrepasar el 3,5% de caída de voltaje. En la parte A de la norma se especifica que para redes secundarias monofásicas aéreas

a 3 hilos el conductor del neutro debe ser mínimo de tipo 2 AWG ASC, y que su sección debe ser el 50% del conductor de fase, por lo cual se seleccionó un conductor de neutro 2 AWG ASC (34 mm<sup>2</sup>) y dos conductores de fase tipo 2/0 AWG ASC (68 mm<sup>2</sup>), cumpliendo así con las condiciones mencionadas anteriormente [6].

En el Anexo 8, se muestra el cálculo de las caídas de tensión con el conductor tipo 2/0 AWG ASC para los circuitos secundarios de cada una de las zonas. El procedimiento se describe a continuación [6]:

Columna 1: Especificar el tramo del circuito comprendido entre dos postes o puntos de derivación.

Columna 2: Registrar la longitud correspondiente a cada tramo.

Columna 3: Registrar el número total de abonados que incide sobre cada uno de los tramos, considerado como la suma de los mismos vistos desde la fuente hacia el extremo del circuito en la sección correspondiente.

Columna 4: Registrar la DD para los usuarios que inciden sobre cada uno de los tramos.

- En el Anexo 9, se muestra el ejemplo de cálculo de la DD para el circuito C<sub>1</sub> de la zona 1, considerando que en ese circuito solo 3 de 6 usuarios cuentan con cocinas de inducción.

Columna 5: Registrar el calibre del conductor para baja tensión en redes aéreas.

Columna 6: Registrar el calibre del conductor para baja tensión en redes subterráneas (N/A).

Columna 7: Registrar el momento (kVA x m) para caída de voltaje del 1%.

- 502 (kVA x m) para un conductor 2/0 AWG ASC según la Tabla 3.10.

**Tabla 3.10** (kVA x m) para 1% de caída de voltaje para baja tensión [6].

CONDUCTOR		(kVA x m)		CONDUCTOR		(kVAxm)	
SECCIÓN	CALIBRE	3 $\phi$	1 $\phi$	SECCION	CALIBRE	3 $\phi$	1 $\phi$
mm <sup>2</sup>	AWG			mm <sup>2</sup>	AWG		
34	2	429	283	85	3/0	925	604
54	1/0	655	431	107	4/0	1094	731
68	2/0	766	502				

Columna 8: Registrar el producto de la DD por la longitud del tramo.

- (kVA x m): (valor columna 4 x valor columna 2)

Columna 9: Registrar la caída de voltaje parcial en porcentaje de cada tramo que es:

- Caída de voltaje parcial:  $\left(\frac{\text{valor columna 4} \times \text{valor columna 2}}{\text{valor columna 7}}\right) = \left(\frac{\text{valor columna 8}}{\text{valor columna 7}}\right)$

Columna 10: Sumatoria de las caídas de voltaje parciales que no debe de sobrepasar el 3,5% según la Tabla 3.9.

En la Tabla 3.11, se muestra los conductores seleccionados de la red secundaria para cada una de las zonas.

**Tabla 3.11** Conductores para red secundaria

Zonas	Nivel de tensión	CONDUCTORES
Zona 1	240/120 (V <sub>AC</sub> )	2 × 2/0 AWG + 1 × 2 AWG ASC
Zona 4	240/120 (V <sub>AC</sub> )	2 × 2/0 AWG + 1 × 2 AWG ASC

En el Anexo 2 se muestra el plano de las redes de baja tensión para la zona 1 y zona 4

### **Seccionamiento y protecciones.**

Todo sistema de distribución eléctrico es susceptible a posibles fallos, por lo que se dimensionan las respectivas protecciones tanto para el transformador como para las cargas conectadas a la red secundaria.

#### **Seccionador porta fusible y elemento tira fusible para media tensión.**

Las redes de distribución eléctrica deben poseer su respectiva protección, para ramales y derivaciones se tendrá un seccionador junto con el rango del tira fusible adecuado a la carga a proteger. Según las normas ANSI C 37.41 y ANSI C 37.42 para seccionador-fusible unipolares se especifica que, para cargas menores a 300 (kVA) se debe disponer de un seccionador unipolar de protección, tipo abierto de 15 (kV), 100 (A). De acuerdo al diseño, las cargas no superan los 300 (kVA), por lo que se ha seleccionado un seccionador de 15 (kV) para cada una de las zonas [14].

Para la selección del tira fusible se realizó el cálculo con la Ecuación 3.6.

$$S = I * V$$

#### **Ecuación 3.6** Potencia aparente [14].

- Para la zona 1

Donde:

- S : 50 (kVA) potencia aparente (capacidad del transformador)  
 V : 13,2 (kV) voltaje de la red primaria  
 I : (A) corriente de carga

Se obtiene:

$$I_{\text{carga}} = 3,78 \text{ (A)}$$

Reemplazando los datos de la zona 1 se obtiene que la  $I_{\text{carga}}$  es de 3,78 (A), por lo que el tira fusible de protección para el transformador de 50 (kVA) debe de ser de máximo de 3,78 (A) y de tipo 10K, de acuerdo con la tabla de protecciones para transformadores que se muestra en el Anexo 10. Mientras que aplicando el mismo criterio para el dimensionamiento del tira fusible de la zona 4 donde se tiene un transformador de 37,5 (kVA) con una  $I_{\text{carga}}$  de 2,84 (A) el tira fusible de protección debe de ser máximo de 2,84 (A) y de tipo 6K.

### Pararrayo

Para acometidas de 13,2 (kV) se dispone de un pararrayo de 9 - 10 (kV) según la norma ANSI C 62.11 que se especifica en la parte A de la norma [6][14]. El pararrayo para instalarse en los dos transformadores es de clase distribución de polímero, óxido metálico de 10 (kV), con desconectador para una tensión primaria de 13,2 (kV). La selección de la capacidad de los pararrayos se basa en el voltaje primario, tensiones nominales y máximas de descarga para una onda de corriente de  $8 \times 20$  microsegundos, valores que se especifican en la Tabla 3.12.

**Tabla 3.12** Tabla de tensiones nominales y máximas para una onda de corriente de  $8 \times 20$  microsegundos [6].

Voltaje primario, (kV)	22,8	13,2	6,3
Voltaje Nominal, kV	18	10	6,0
Máximo Voltaje de Descarga para 5 Ka, Kv	59	59	22
Máximo Voltaje de Descarga para 10 Ka, Kv	66	66	24

### Cartucho fusible NH para baja tensión

En el lado de baja tensión de los transformadores de las zonas 1 y 4 es necesario la protección contra sobrecargas y fallas en los circuitos secundarios, por lo que se coloca dos cartuchos fusibles tipo NH-1 de alta capacidad de ruptura. La selección de la

capacidad de los fusibles de baja tensión se basó en la tabla de protecciones para transformadores que se muestra en el Anexo 10.

Para el dimensionamiento del cartucho fusible NH-1 de baja tensión se debe calcular la  $I_{carga}$  con la Ecuación 3.6.

$$S = I * V$$

- Para la zona 1

Donde:

S	:	50 (kVA) potencia aparente (capacidad del transformador)
V	:	240 ( $V_{AC}$ ) voltaje de la red secundaria
I	:	(A) corriente de carga

Se obtiene:

$$I_{carga} = 208,33 \text{ (A)}$$

Reemplazando los datos de la zona 1 se obtiene la  $I_{carga}$  de 208,33 (A), se seleccionó el cartucho fusible NH-1 de alta capacidad de ruptura de 160 (A), de acuerdo con la tabla de protecciones para transformadores que se muestra en el Anexo 10. Mientras que aplicando el mismo criterio para el dimensionamiento de la protección de la zona 4, donde se tiene un transformador de 37,5 (kVA) con una  $I_{carga}$  de 156,25 (A) se seleccionó un cartucho fusible NH-1 de 125 (A).

En el Anexo 11 y Anexo 12, se muestran los diagramas eléctricos unifilares para cada una de las zonas en donde se encuentran las protecciones del transformador, así como las protecciones para los circuitos secundarios.

### **Puesta a tierra**

La puesta a tierra del neutro del transformador es otro elemento de protección cuando se presenta una falla, por lo tanto se especificó una puesta a tierra por cada centro de transformación, para lo cual se utilizó una varilla copperweld de puesta a tierra de  $\frac{5}{8}$  de diámetro y 1,8 (m) de longitud con un conductor desnudo cableado N.º 2 AWG que se conecta directamente al pararrayos y al neutro del transformador, como se especifica en la parte A de la norma, considerando que para instalaciones aéreas la resistencia de puesta a tierra debe ser inferior a 25 ( $\Omega$ ). Además, se especificó puestas a tierra de

similares características en los puntos más lejanos de la red secundaria de cada una de las zonas, como se muestra en el Anexo 2 y Anexo 3 [6].

### **Estructuras de soporte**

En base a las partes B y C de la norma y al catálogo digital de unidades de propiedad para redes de distribución de energía eléctrica del MEER, donde se detalla los nombres de las estructuras, así como cada uno de los materiales que las conforman. Se seleccionaron las estructuras de soporte para el sistema de distribución y alumbrado público de cada una de las zonas [8][9][15].

Para la zona 1 se utilizó 3 postes PP (Poste Principal), P2 (Poste 2) y P0 (Poste 0) de 11,5 (m) de altura para el transporte y conexión de la línea de media-baja tensión con el transformador de 50 (kVA), que se encuentra ubicado entre los circuitos  $C_1$  y  $C_2$ . Adicionalmente, se ubicaron 6 postes de baja tensión de 9 (m) de altura para la red secundaria y alumbrado público.

Para la zona 4 se utilizó 3 postes PP (Poste Principal), P2 (Poste 2) y P0 (Poste 0) de 11,5 (m) de altura, para el transporte y conexión de la línea de media-baja tensión con el transformador de 37,5 (kVA), que se encuentra ubicado entre los circuitos  $C_3$  y  $C_4$ . Adicionalmente se ubicaron 7 postes de baja tensión de 9 (m) de altura para la red secundaria y alumbrado público. El tipo de poste que se especificó es de hormigón armado centrifugado circular.

Además, se colocó tensores tipo farol simple en los postes terminales de cada circuito, así como en los postes de esfuerzo transversal.

En las Tablas 3.13, 3.14 y 3.15, se especifican las estructuras de soporte necesarias para el transporte de las redes de baja y media tensión. En el Anexo 4, se muestra el plano correspondiente a las estructuras de soporte.

**Tabla 3.13** Tabla de estructuras de soporte zona 1

Estructuras de soporte-Zona1						
Postes	Estructuras de soporte	Luminaria	Puesta a Tierra	Tensor	Nivel de Tensión	Nro. Circuito
P0	1CR 3ED	X	X	X	MT/ BT	CT-01
PP	1CR 1ER		X	X	MT	C1
P2	1CP 2ER 1ED	X			MT/BT	
P3	3ER	X		X	BT	
P4	3ER	X		X	BT	
P6	3ER	X		X	BT	C2
P7	3ER	X		X	BT	
P8	3EP	X			BT	
P9	3ER	X	X	X	BT	

**Tabla 3.14** Tabla de estructuras de soporte zona 4

Estructuras de soporte-Zona4						
Postes	Estructuras de soporte	Luminaria	Puesta a Tierra	Tensor	Nivel de Tensión	Nro. Circuito
P0	1CR 3ED	X	X	X	MT/ BT	CT-02
PP	1CA 1CR 1ER		X	X	MT	C3
P1	1CD 3ER	X		X	MT/ BT	
P2	2ER 1ED	X			BT	
P3	3EP	X			BT	
P4	3ER	X	X	X	BT	C4
P5	3ER	X		X	BT	
P6	3ER	X		X	BT	
P7	3EP	X			BT	
P8	3ER	X	X	X	BT	

**Tabla 3.15** Tabla de estructuras de soporte-Red de media tensión

Estructuras de soporte-Red de media tensión			
Postes	Estructuras de soporte	Luminaria	Tensor
Poste principal M.T.	1CR		X
PMT1	1CP 1ER	EXISTENTE	
PMT2	1CP 1EP	EXISTENTE	
PMT3	1CP 1EP	EXISTENTE	
PMT4	1CP 1EP	EXISTENTE	
PTM5	1CR 1ER	EXISTENTE	

### 3.5 Estudio económico de materiales para la zona 1 y la zona 4.

El precio de cada uno de los materiales se consultó en tablas de cotización que la E.E.Q.S.A. ha realizado para otros proyectos similares. En base a los datos obtenidos se realizó un análisis de costo estimado de materiales para el presente proyecto, el cual se muestra en la Tabla 3.16.

**Tabla 3.16** Costo estimado del proyecto

Zonas	Costo de materiales (Sin IVA)
Zona 1	\$ 7.986,4
Zona 4	\$ 8.136,78
Red de media tensión	\$ 895,95

En la Figura 3.5, se muestra un código QR que permite redirigirse a la Memoria Técnica del proyecto, que contiene de forma detallada las cantidades y el valor unitario de cada uno de los materiales (estos precios no incluyen IVA). La Memoria Técnica es un documento que fue sociabilizado y entregado a los dirigentes del barrio Calluma, la respectiva evidencia se muestra en la Figura 3.6.



**Figura 3.5** Código QR de la memoria técnica descriptiva.



**Figura 3.6** Sociabilización del estudio eléctrico para el barrio Calluma.

## 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

- Con el levantamiento de información y con los planos entregados por los dirigentes del barrio Calluma se verificó que las zonas 1 y 4 tienen 28 y 18 lotes respectivamente, los cuales corresponden al sector rural residencial y no cuentan con un sistema de distribución eléctrica y alumbrado público.
- Se verificó con la ayuda del plano general que la medida de las calles de la zona 1 y la zona 4 son de 10 y 8 (m) incluido la acera, respectivamente. Además, existen 5 postes de alumbrado público en la calle principal los cuales sirvieron para el transporte de la línea de media tensión.
- De acuerdo con la página GIS se constató que el voltaje de media tensión más cercano para alimentar las zonas 1 y 4 es de 13,16 (kV), el cual se encuentra en el pasaje principal San Javier.
- De acuerdo a la información proporcionada por los planos, la visita en campo y los criterios de la Norma para Sistemas de Distribución se diseñó el sistema de alumbrado para cada una de las zonas, proyectando 8 y 9 luminarias de 100 (W) con foto-control incorporado para las zonas 1 y 4, respectivamente.
- Se determinó que la demanda eléctrica de la zona 1 es 37,94 (kVA), la cual es superior a la de la zona 4 que es de 26,42 (kVA); esto debido al mayor número de usuarios. De acuerdo con este cálculo se dimensionaron los transformadores de distribución obteniendo que, para la zona 1 el transformador adecuado es de 50 (kVA), mientras que para la zona 4 es de 37,5 (kVA).
- Para la red de media tensión de las zonas 1 y 4 se dimensionó el conductor Nro. 4 AWG ASC, el cual resulta ser el más económico y recomendado para alimentar los 2 tipos de transformadores de distribución seleccionados. Así mismo, para la red de baja tensión el conductor que asegura el transporte de la energía eléctrica hasta los usuarios más lejanos de la red es el Nro. 2/0 AWG ASC.
- En base al análisis económico se estima que el valor total del proyecto es de \$17.019,13 del cual, a los usuarios de la zona 1 les correspondería costear un valor aproximado de \$305 por lote, mientras que a los usuarios de la zona 4 un valor aproximado de \$472 por lote. Cabe recalcar que este análisis se realizó sin incluir el valor del IVA de materiales ni mano de obra.

## 4.2 Recomendaciones

- Previo a la fase de implementación del proyecto se deberá coordinar con las entidades pertinentes la verificación de aspectos como: medida de calles, ancho de aceras y factibilidad de ubicación de postes y tensores, en caso ser necesario generar los planos AS BUILT en base a los planos diseñados en el presente documento.
- Es importante investigar y escoger el tipo de estrato de consumo eléctrico adecuado ya que de esto dependen todos los cálculos para el diseño del proyecto.
- Verificar los niveles de media tensión del sector donde se realizará el sistema de distribución eléctrica, ya que este dato es importante para el dimensionamiento de los centros de transformación y protecciones.
- Para la selección de los conductores de media y baja tensión se debe realizar los cálculos de caída de tensión para los diferentes tipos de conductores y con ello evaluar cuales son los más adecuados para el diseño.
- Para la distribución de luminarias se debe de tener en cuenta los aspectos técnicos como: Ancho de vía, distancias entre postes, altura y potencia de luminarias con el fin de obtener una iluminación adecuada.
- Se recomienda que, para la selección de estructuras del sistema de distribución eléctrica y alumbrado público se utilice como referencia estructuras ya existentes en el Distrito Metropolitano de Quito y observadas con la ayuda de la herramienta Google maps.

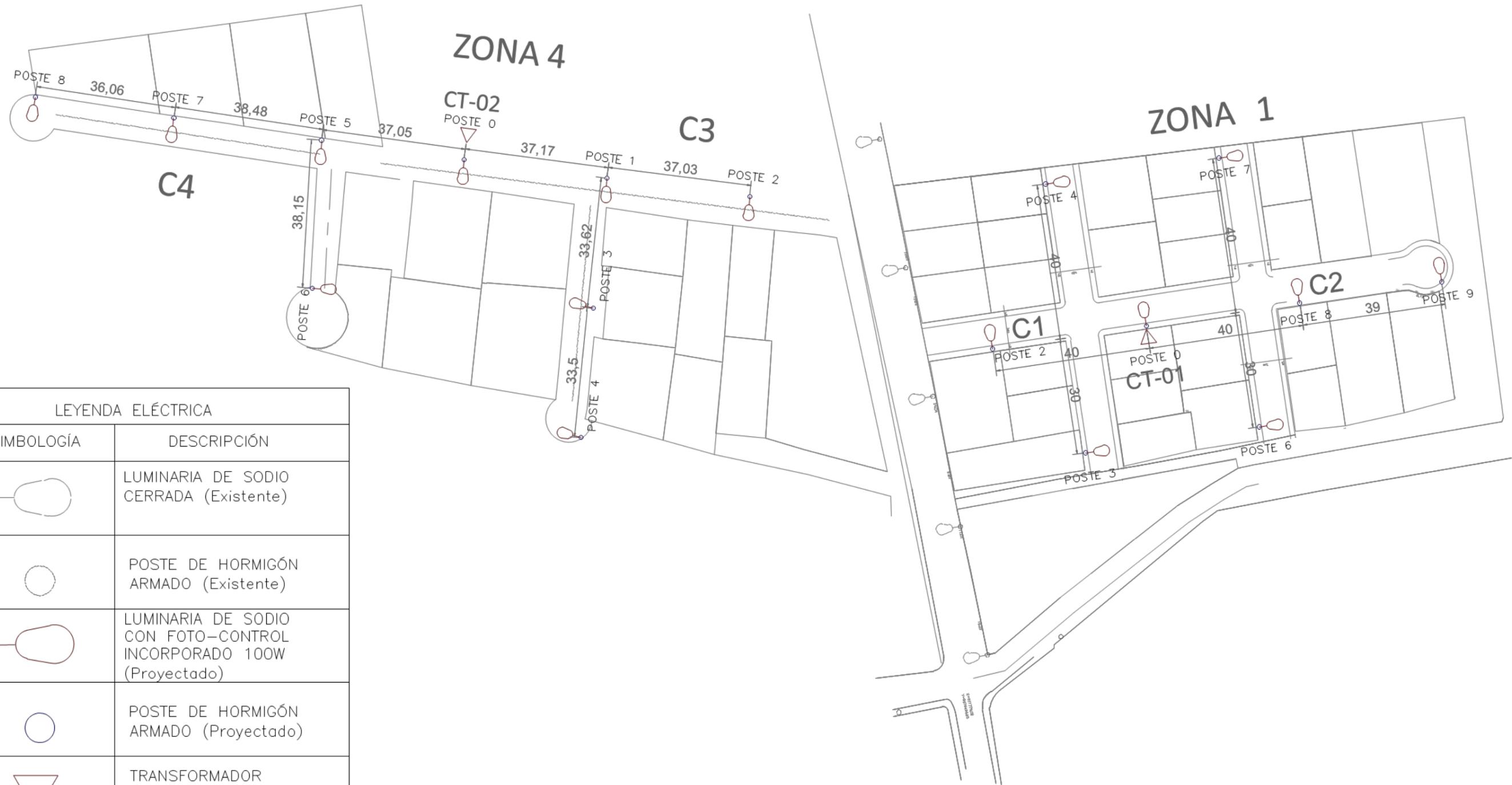
## 5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Capservs medios, "Actualización del plan de ordenamiento territorial de la parroquia de Yaruquí," p. 160, 2015, [Online]. Available: <https://bit.ly/38Jh9cn>.
- [2] Gad Pifo, "se-abre-nueva-via-en-pifo-desde-la-calle-jaime-del-castillo-barrio-calluma-hacia-el-barrio-san-javier @ www.pifo.gob.ec," *Apertura de nueva vía, alumbrado público desde el estadio Jaime del Castillo barrio Calluma hacia el barrio san Javier (calle Gustavo Chávez)*, 2018. <http://www.pifo.gob.ec/web/index.php/contenido/item/se-abre-nueva-via-en-pifo-desde-la-calle-jaime-del-castillo-barrio-calluma-hacia-el-barrio-san-javier>.
- [3] B. Juan, "Escuela politécnica nacional," Escuela Politécnica Nacional, 2002.
- [4] Alcantar Luis Pedro, "Estructuras y equipos de subestaciones eléctricas," Instituto Tecnológico de Mochis, 2015.
- [5] T. J. García, *Instalaciones eléctricas en media y baja tensión*. Madrid: Paraninfo, 2016.
- [6] E.E.Q.S.A., "Guía para diseño de redes para distribución (Parte A)," 2014. <https://bit.ly/3lnz9wp>.
- [7] "Distribucion de la energía eléctrica," 2016. <https://n9.cl/o1the%0A>.
- [8] E.E.Q.S.A., "Unidades de propiedad y de construcción (Parte B)," 2014. <https://bit.ly/35mhxvq>.
- [9] E.E.Q.S.A., "Especificaciones técnicas de equipos y materiales (Parte C)," 2014. <https://bit.ly/3n8NBbY>.
- [10] GIS, "Mapas de sector eléctrico Ecuatoriano." <https://bit.ly/3e1K0HD%0A>.
- [11] Ecuatran, "Electrodomesticos que consumen mas energia en tu hogar," *Electrodomesticos que consumen mas energia en tu hogar*, 2017. <https://bit.ly/2GJD33v>.
- [12] MERNNR, "Ficha Informativa de Proyecto 2019 Subsecretaria de Distribución y Comercialización de Energía Eléctrica Dirección de Gestión y Promoción de Proyectos de Eficiencia Energética," 2019, [Online]. Available: <https://bit.ly/3eFJWiZ>.
- [13] G. Maps, "No Title," *Pifo*, 2014. <https://bit.ly/2C0gHlu%0A>.

- [14] R. Bryan, "Memoria técnica de un proyecto de distribución," no. nodo 17, pp. 1–6, 2015.
- [15] MEER, "index @ www.unidadespropiedad.com." <https://bit.ly/3qbZj7O>.

## **ANEXOS**

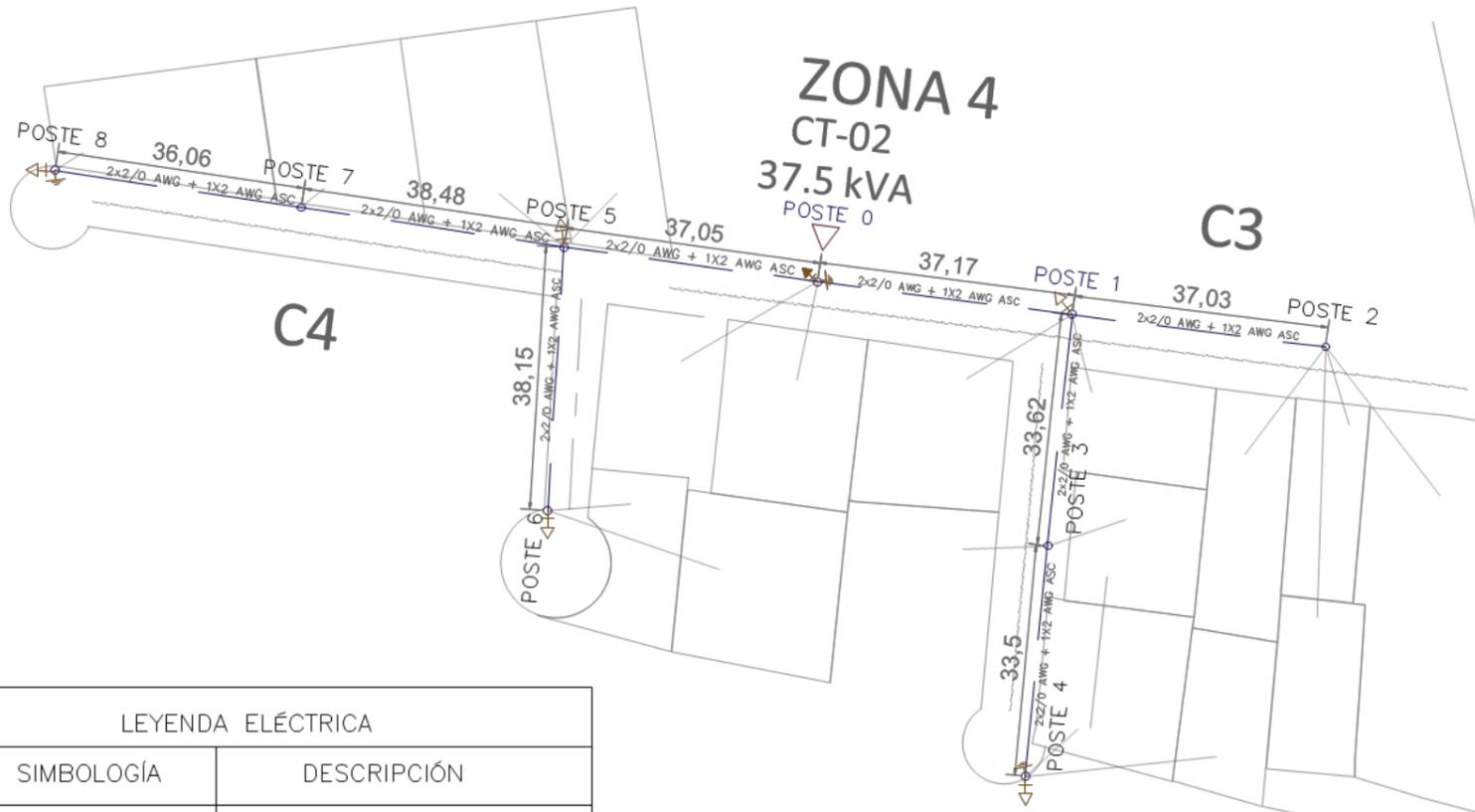
# ANEXO 1: PLANO DE ALUMBRADO PÚBLICO PARA LA ZONA 1 Y ZONA 4



LEYENDA ELÉCTRICA	
SIMBOLOGÍA	DESCRIPCIÓN
	LUMINARIA DE SODIO CERRADA (Existente)
	POSTE DE HORMIGÓN ARMADO (Existente)
	LUMINARIA DE SODIO CON FOTO-CONTROL INCORPORADO 100W (Proyectado)
	POSTE DE HORMIGÓN ARMADO (Proyectado)
	TRANSFORMADOR MONOFÁSICO INSTALADO EN POSTE (PROYECTADO)

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - ESFOT		
<b>PLANO DE ALUMBRADO PÚBLICO PARA LA ZONA 1 Y ZONA 4</b>	<b>ESCALA:</b> 1:1	<b>FORMATO:</b> A3
	<b>DISEÑADO POR:</b> BRYAN RAMIRO ORTEGA CANDO GILSON FABIAN SIMBAÑA GUALOTO	<b>FECHA:</b> 08/01/2021

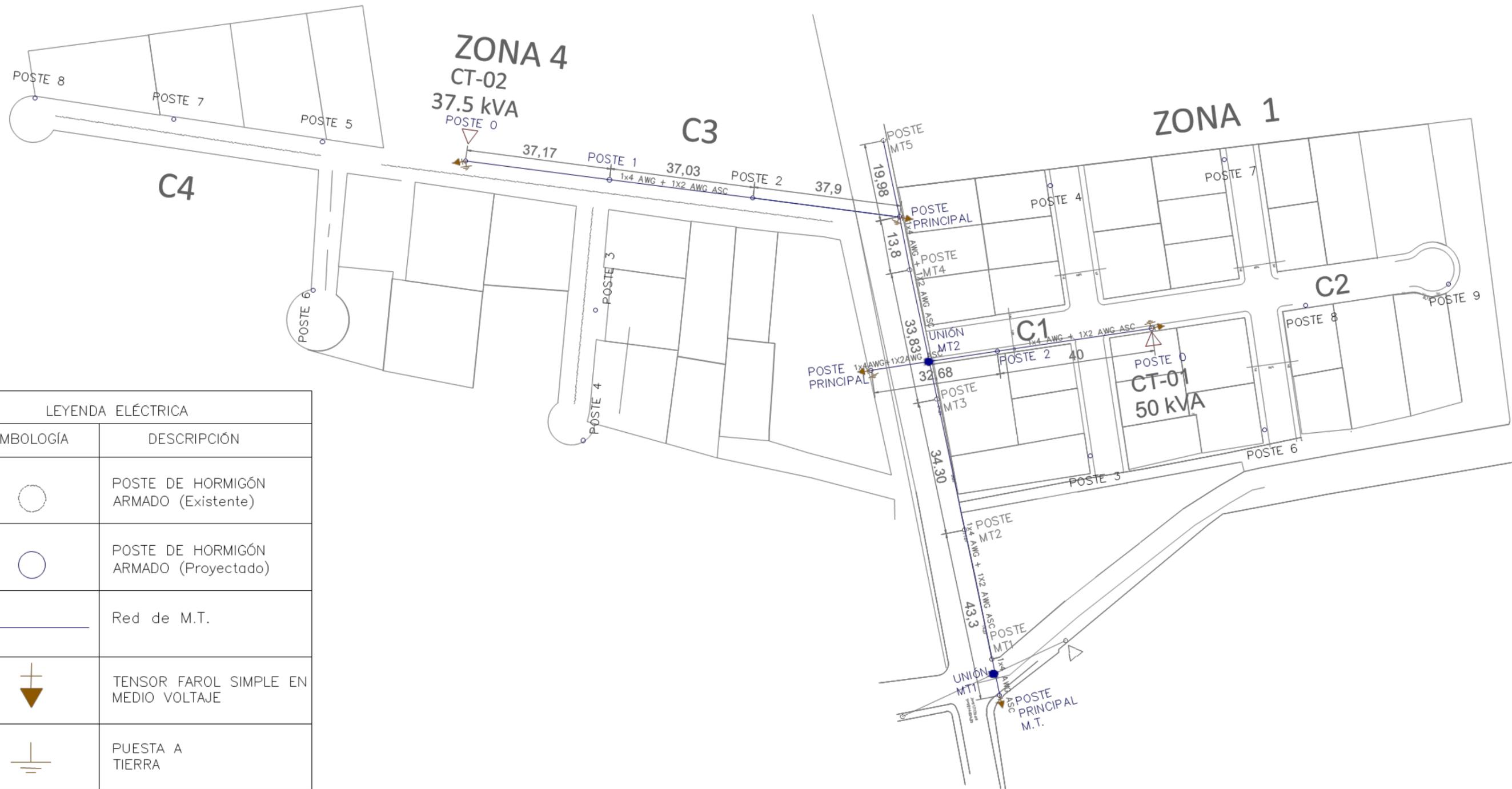
**ANEXO 2: PLANO DE LAS REDES DE BAJA TENSIÓN PARA LA ZONA 1 Y ZONA 4**



LEYENDA ELÉCTRICA	
SIMBOLOGÍA	DESCRIPCIÓN
	POSTE DE HORMIGÓN ARMADO (Existente)
	POSTE DE HORMIGÓN ARMADO (Proyectado)
	Red de B.T.
	Acometidas de B.T.
	TENSOR FAROL SIMPLE EN BAJO VOLTAJE
	TENSOR FAROL SIMPLE EN MEDIO VOLTAJE
	PUESTA A TIERRA
	TRANSFORMADOR MONOFÁSICO INSTALADO EN POSTE
	UNIÓN DOBLE DE CONDUCTORES

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - ESFOT		
<b>PLANO DE LAS REDES DE BAJA TENSIÓN PARA LA ZONA 1 Y ZONA 4</b>	<b>ESCALA:</b> 1:1	<b>FORMATO:</b> A3
	<b>DISEÑADO POR:</b> BRYAN RAMIRO ORTEGA CANDO GILSON FABIAN SIMBAÑA GUALOTO	<b>FECHA:</b> 08/01/2021

**ANEXO 3: PLANO DE LA RED DE MEDIA TENSIÓN PARA LA ZONA 1 Y ZONA 4**



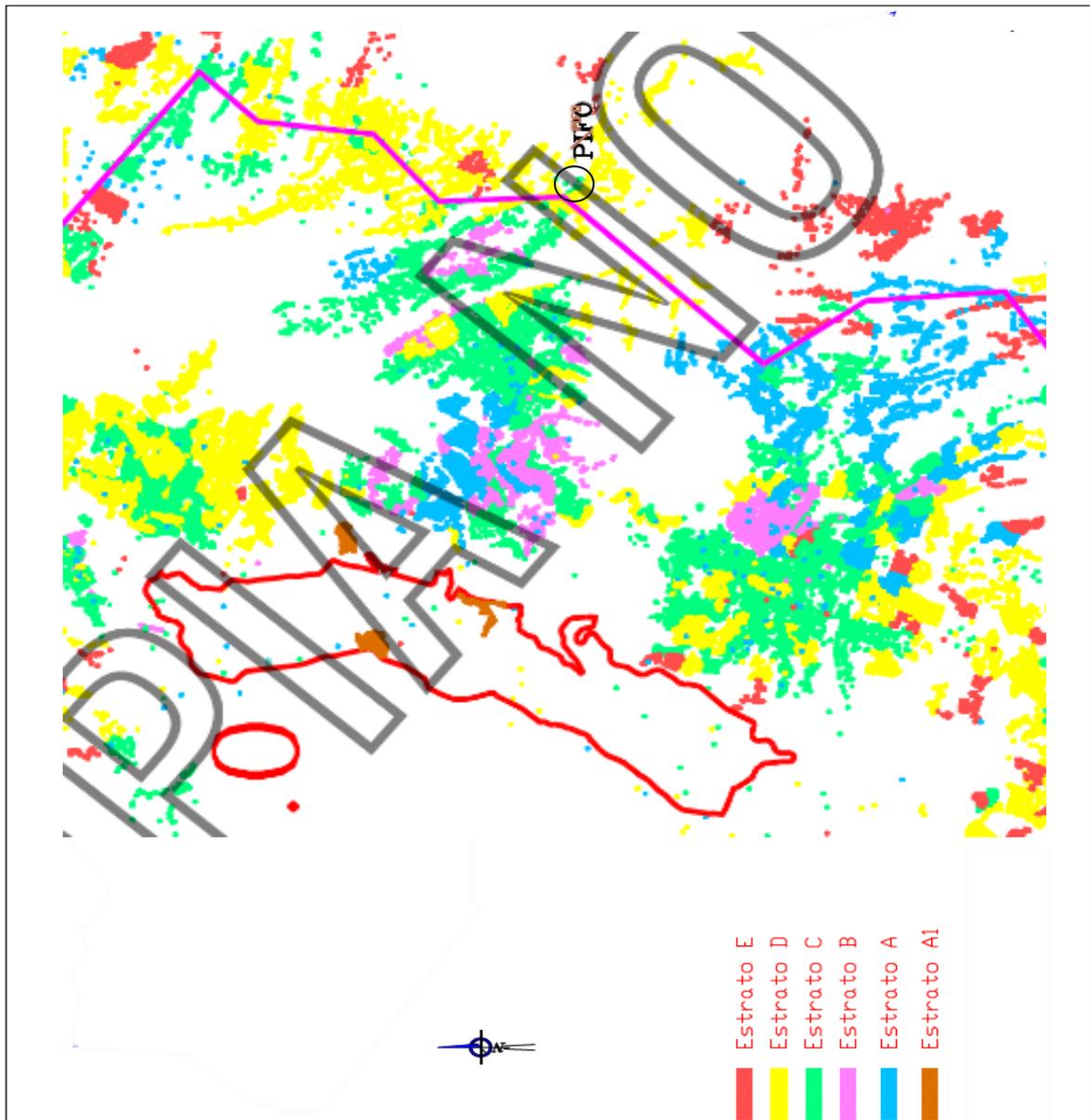
LEYENDA ELÉCTRICA	
SIMBOLOGÍA	DESCRIPCIÓN
	POSTE DE HORMIGÓN ARMADO (Existente)
	POSTE DE HORMIGÓN ARMADO (Proyectado)
	Red de M.T.
	TENSOR FAROL SIMPLE EN MEDIO VOLTAJE
	PUESTA A TIERRA
	TRANSFORMADOR MONOFÁSICO INSTALADO EN POSTE (EXISTENTE)
	TRANSFORMADOR MONOFÁSICO INSTALADO EN POSTE (PROYECTADO)
	UNIÓN DOBLE DE CONDUCTORES

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - ESFOT		
<b>PLANO DE LA RED DE MEDIA TENSIÓN PARA LA ZONA 1 Y ZONA 4</b>	<b>ESCALA:</b> 1:1	<b>FORMATO:</b> A3
	<b>DISEÑADO POR:</b> BRYAN RAMIRO ORTEGA CANDO GILSON FABIAN SIMBAÑA GUALOTO	<b>FECHA:</b> 08/01/2021



## ANEXO 5: DISTRIBUCIÓN DE ESTRATOS DE CONSUMO EN EL ÁREA DE CONCESIÓN DE LA E.E.Q.S.A.

 EMPRESA ELÉCTRICA QUITO S.A.	NORMAS PARA SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN - PARTE -A GUÍA PARA DISEÑO DE REDES DE DISTRIBUCIÓN	
	SISTEMAS DE GESTIÓN DE CALIDAD CÓDIGO: DI-EP-P001-D001	
REVISIÓN: 05		
SECCIÓN: A11	PARAMETROS DE DISEÑO	
A-11-A HOJA 2 DE 2	DISTRIBUCIÓN DE ESTRATOS DE CONSUMO EN EL AREA DE CONCESIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA QUITO S.A.	A-11-A REVISIÓN: 05 FECHA: 2014-02-28



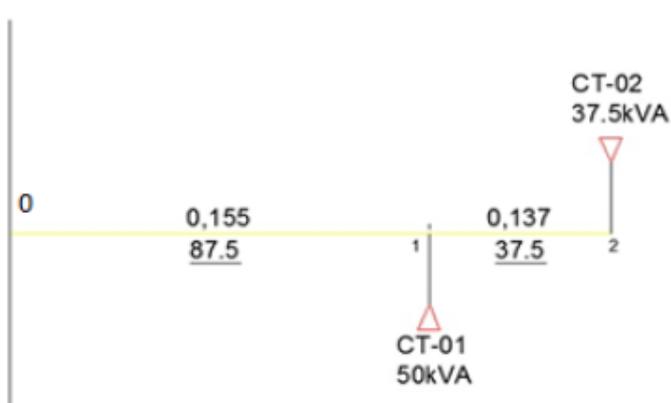
## ANEXO 6: CÁLCULO DE DEMANDA DE SERVICIOS GENERALES [3]

PROYECTO	DISEÑO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA DEL BARRIO CALLUMA DE PIFO (ZONA 1 Y ZONA 4)
DIRECCION	BARRIO CALLUMA, PASAJE SAN JAVIER 2
CIUDAD	QUITO
FECHA	ENERO DEL 2021
USUARIO	SERVICIOS GENERALES

APARTOS ELECTRICOS Y ALUMBRADO			Ffun (%)	CIR (W)	FSn (%)	DMU (W)
DESCRIPCION	CANT	Pn(W)				
Tomacorriente doble	10	200	100%	2000	40%	800
Luminaria incandescente	6	100	100%	600	40%	240
Luminaria Fluorescente	20	80	100%	1600	100%	1600
Luz de aplique	1	60	100%	60	20%	12
Salida para ducha	1	1800	100%	1800	20%	360
Reflectores de cuarzo	8	500	100%	4000	100%	4000
Luminaria ornamental de Na.	4	70	100%	280	100%	280
Luminaria abierta de Na.	6	70	100%	420	100%	420
Bomba de agua.	1	1500	100%	1500	20%	300
<b>TOTALES</b>				<b>12260</b>		<b>8012</b>

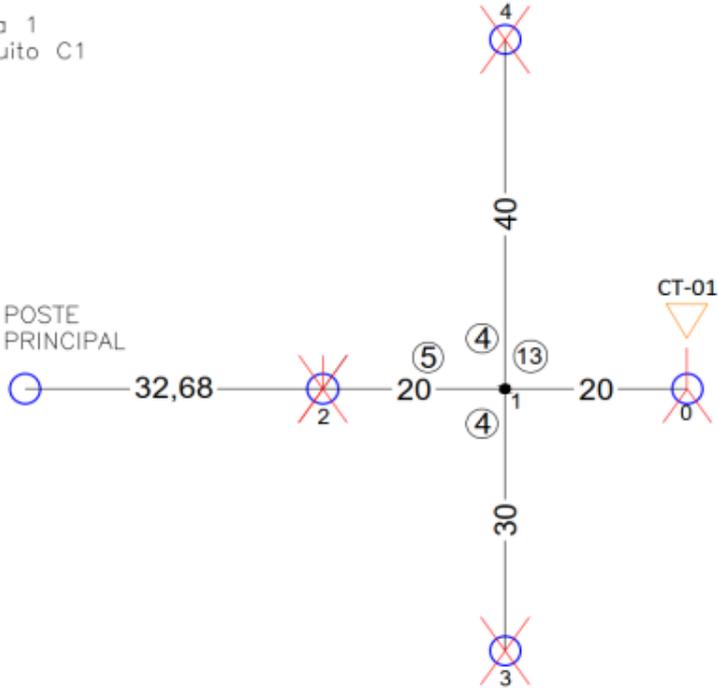
Factor de potencia:	0,9	Factor de Demanda:	0,73
DMU(KVA):	8,90		
Tasa de Crecimiento Ti:	1,50%	Número de usuarios:	1,00
Ti para 10 años:	1,25	Factor de Diversidad:	1,00
DMUp (kVA):	11,3	<b>DEMANDA SS.GG:</b>	<b>11,13</b>

## ANEXO 7: CÓMPUTO DE CAÍDA DE TENSIÓN DEL CIRCUITO PRIMARIO

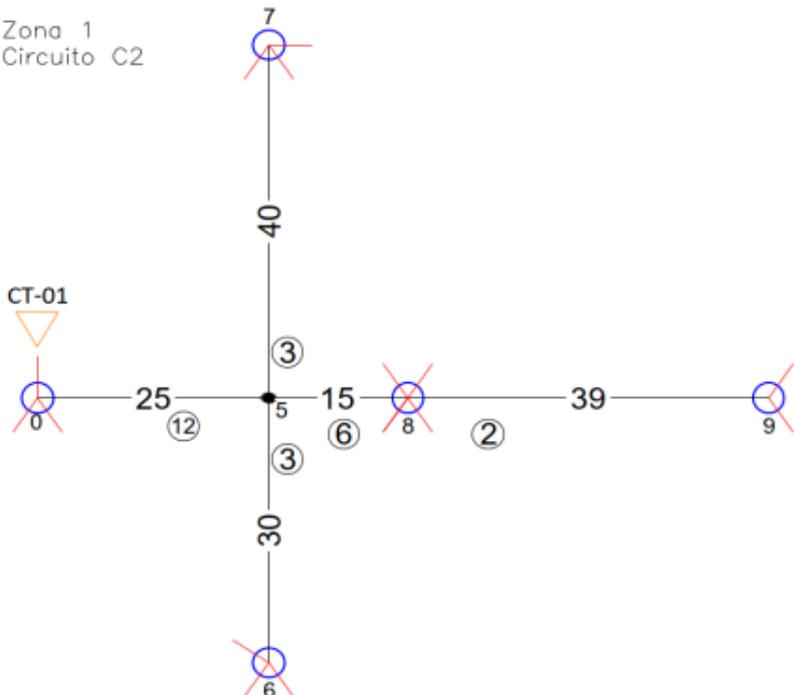
	<b>CÓMPUTO DE CAÍDA DE VOLTAJE DE REDES PRIMARIAS</b>	<b>FECHA:ENERO 2021</b>																																																																		
<b>NOMBRE DEL PROYECTO:</b> DISEÑO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA DEL BARRIO CALLUMA DE PIFO (ZONA 1 Y ZONA 4) <b>Nro. DEL PROYECTO:</b> 001 <b>TIPO DE INSTALACIÓN:</b> AÉREA	<b>TENSIÓN :</b> 13.2 kv  <b>LÍMITE DE CAÍDA DE VOLTAJE</b> 4 % <b>MATERIAL DEL CONDUCTOR</b> ASC	<b>Nro. FASES</b> 1																																																																		
<b>ESQUEMA</b>																																																																				
																																																																				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="5">ESQUEMA</th> <th colspan="3">LÍNEA</th> <th colspan="3">CÓMPUTO</th> </tr> <tr> <th colspan="2">TRAMO</th> <th colspan="2">CENTROS DE TRANSFORMACIÓN</th> <th>CARGA</th> <th>Nro. DE</th> <th colspan="2">CONDUCTOR</th> <th></th> <th colspan="2">AV %</th> </tr> <tr> <th>Designación</th> <th>LONG.(Km)</th> <th>Nro.</th> <th>kVA</th> <th>TOTAL kVA</th> <th>FASES</th> <th>CALIBRE</th> <th>kVA-km</th> <th>kVA-km</th> <th>PARCIAL</th> <th>TOTAL</th> </tr> <tr> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> <th>7</th> <th>8</th> <th>9</th> <th>10</th> <th>11</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0-1</td> <td>0.155</td> <td>CT-1</td> <td>50</td> <td>87.5</td> <td>1</td> <td>4</td> <td>495</td> <td>14</td> <td>0.027</td> <td>0.027</td> </tr> <tr> <td>1-2</td> <td>0.15</td> <td>CT-2</td> <td>37.5</td> <td>37.5</td> <td>1</td> <td>4</td> <td>495</td> <td>6</td> <td>0.011</td> <td>0.039</td> </tr> </tbody> </table>			ESQUEMA					LÍNEA			CÓMPUTO			TRAMO		CENTROS DE TRANSFORMACIÓN		CARGA	Nro. DE	CONDUCTOR			AV %		Designación	LONG.(Km)	Nro.	kVA	TOTAL kVA	FASES	CALIBRE	kVA-km	kVA-km	PARCIAL	TOTAL	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	0-1	0.155	CT-1	50	87.5	1	4	495	14	0.027	0.027	1-2	0.15	CT-2	37.5	37.5	1	4	495	6	0.011	0.039
ESQUEMA					LÍNEA			CÓMPUTO																																																												
TRAMO		CENTROS DE TRANSFORMACIÓN		CARGA	Nro. DE	CONDUCTOR			AV %																																																											
Designación	LONG.(Km)	Nro.	kVA	TOTAL kVA	FASES	CALIBRE	kVA-km	kVA-km	PARCIAL	TOTAL																																																										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11																																																										
0-1	0.155	CT-1	50	87.5	1	4	495	14	0.027	0.027																																																										
1-2	0.15	CT-2	37.5	37.5	1	4	495	6	0.011	0.039																																																										

## ANEXO 8: CÓMPUTO DE CAÍDA DE TENSIÓN DE CIRCUITOS SECUNDARIOS

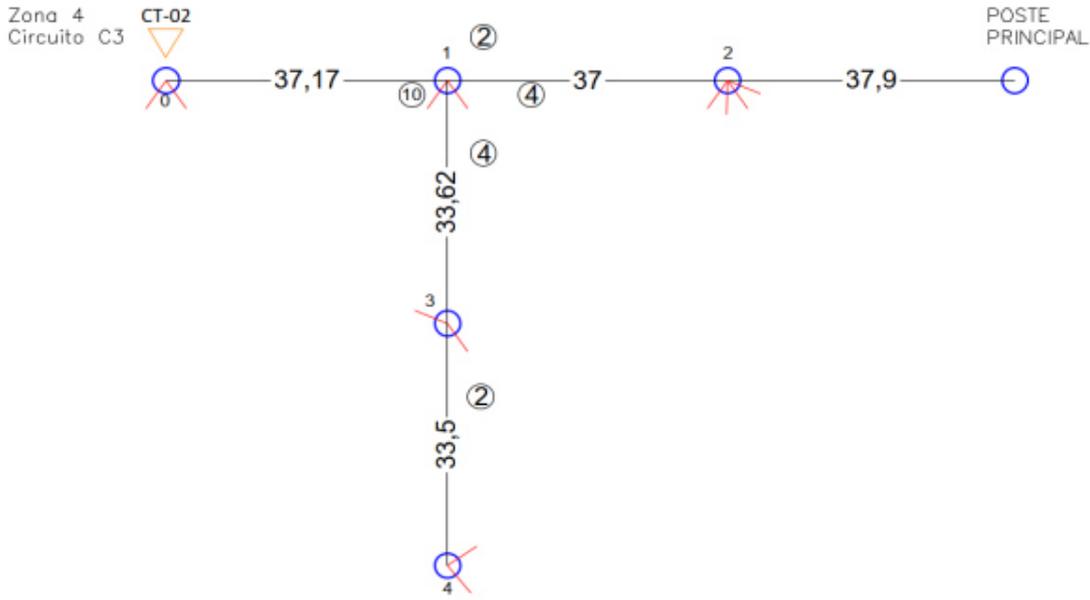
### CIRCUITO 1

	<b>CÓMPUTO DE CAÍDA DE VOLTAJE DE CIRCUITOS SECUNDARIOS</b>	FECHA: ENERO 2021							
Nro. DEL PROYECTO: 001 TIPO DE INSTALACIÓN: AÉREA VOLTAJE: 240/120 V Nro. FASES: 2 LÍMITE DE CAÍDA DE TENSIÓN: 3,5%	USUARIO TIPO: C DMU: 2,63 kV CIRCUITO Nro. 1 MATERIAL DEL CONDUCTOR: ASC								
<b>ESQUEMA</b> Zona 1 Circuito C1									
									
ESQUEMA			CONDUCTOR				CÓMPUTO		
TRAMO		Nro de USUARIOS	DEMANDA kVA(d)	CALIBRE	kVA (LT)	KVA-m	KVA-m	AV%	
Designación	LONG.(m)							PARCIAL	TOTAL
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0-1	20	13	17.55	2/0		502	350.92	0.70	0.70
1-2	20	5	8.97	2/0		502	179.32	0.36	1.06
1-3	30	4	8.09	2/0		502	242.80	0.48	1.54
1-4	40	4	8.09	2/0		502	323.74	0.64	2.18

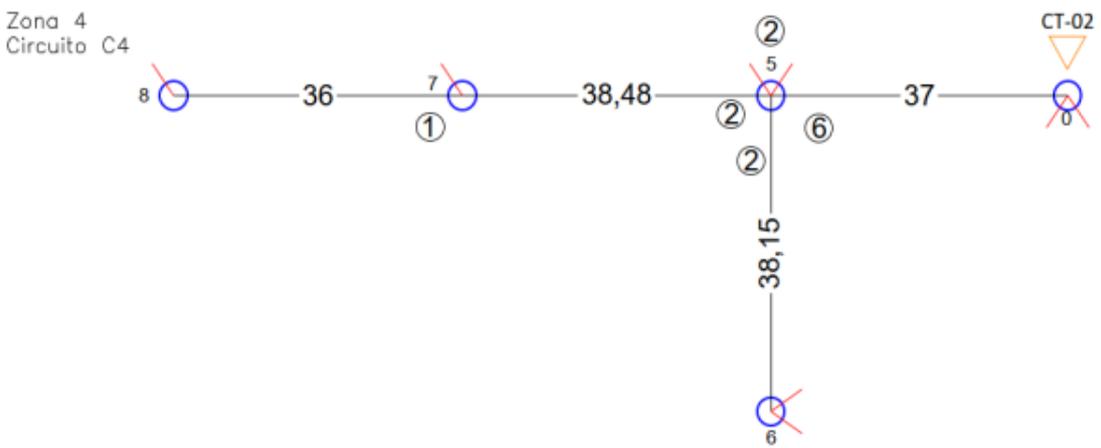
## CIRCUITO 2

	<b>CÓMPUTO DE CAÍDA DE VOLTAJE DE CIRCUITOS SECUNDARIOS</b>		FECHA: ENERO 2021						
	Nro. DEL PROYECTO: 001 TIPO DE INSTALACIÓN: AÉREA VOLTAJE: 240/120 V Nro. FASES: 2 LÍMITE DE CAÍDA DE TENSIÓN: 3,5%		USUARIO TIPO: C DMU: 2,63 kV CIRCUITO Nro. 2 MATERIAL DEL CONDUCTOR: ASC						
<b>ESQUEMA</b> Zona 1 Circuito C2									
									
ESQUEMA			CONDUCTOR			CÓMPUTO			
TRAMO		Nro de USUARIOS	DEMANDA kVA(d)	CALIBRE	kVA (LT)	KVA-m	KVA-m	AV%	
Designación	LONG.(m)							PARCIAL	TOTAL
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0-5	25	12	16.45	2/0		502	411.25	0.82	0.82
5-6	30	3	6.1	2/0		502	183.00	0.36	1.18
5-7	40	3	6.92	2/0		502	276.80	0.55	1.74
5-8	15	6	10.29	2/0		502	154.35	0.31	2.04
8-9	39	2	5.83	2/0		502	227.37	0.45	2.50

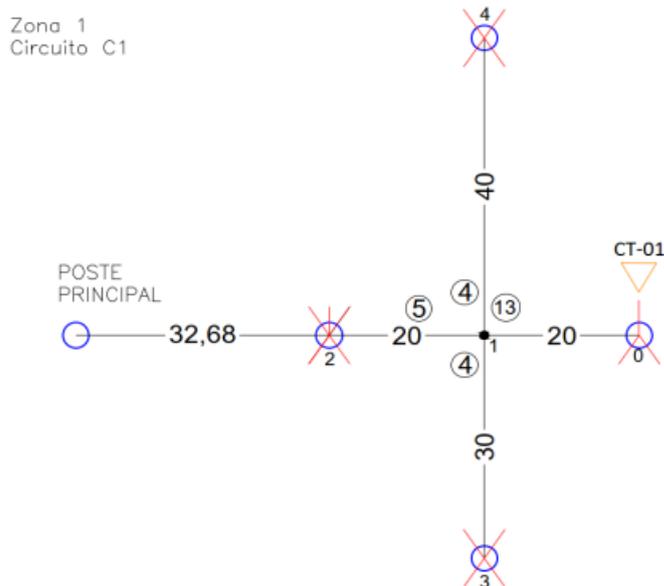
### CIRCUITO 3

	<b>CÓMPUTO DE CAÍDA DE VOLTAJE DE CIRCUITOS SECUNDARIOS</b>	FECHA:ENERO 2021																																																																																			
Nro. DEL PROYECTO: 001 TIPO DE INSTALACIÓN: AÉREA VOLTAJE: 240/120 V Nro. FASES: 2 LÍMITE DE CAÍDA DE TENSIÓN: 3,5%		USUARIO TIPO: C DMU: 2,63 kV CIRCUITO Nro. 3 MATERIAL DEL CONDUCTOR: ASC																																																																																			
<b>ESQUEMA</b>  <p>Zona 4 Circuito C3</p> <p>CT-02</p> <p>POSTE PRINCIPAL</p> <p>Distances: 37,17 (0-1), 37 (1-2), 33,62 (1-3), 33,5 (3-4)</p> <p>User counts: 10 (at node 1), 4 (at nodes 2, 3, 4)</p>																																																																																					
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th colspan="3">ESQUEMA</th> <th rowspan="2">DEMANDA kVA(d)</th> <th colspan="3">CONDUCTOR</th> <th colspan="3">CÓMPUTO</th> </tr> <tr> <th colspan="2">TRAMO</th> <th rowspan="2">Nro de USUARIOS</th> <th rowspan="2">CALIBRE</th> <th rowspan="2">kVA (LT)</th> <th rowspan="2">KVA-m</th> <th rowspan="2">KVA-m</th> <th colspan="2">AV%</th> </tr> <tr> <th>Designación</th> <th>LONG.(m)</th> <th>PARCIAL</th> <th>TOTAL</th> </tr> <tr> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> <th>7</th> <th>8</th> <th>9</th> <th>10</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0-1</td> <td>37.17</td> <td>10</td> <td>14.16</td> <td>2/0</td> <td></td> <td>502</td> <td>526.33</td> <td>1.05</td> <td>1.05</td> </tr> <tr> <td>1-2</td> <td>37</td> <td>4</td> <td>7.30</td> <td>2/0</td> <td></td> <td>502</td> <td>270.10</td> <td>0.54</td> <td>1.59</td> </tr> <tr> <td>1-3</td> <td>33.62</td> <td>4</td> <td>8.20</td> <td>2/0</td> <td></td> <td>502</td> <td>275.64</td> <td>0.55</td> <td>2.14</td> </tr> <tr> <td>3-4</td> <td>33.5</td> <td>2</td> <td>5.80</td> <td>2/0</td> <td></td> <td>502</td> <td>194.41</td> <td>0.39</td> <td>2.52</td> </tr> <tr> <td> </td> </tr> </tbody> </table>			ESQUEMA			DEMANDA kVA(d)	CONDUCTOR			CÓMPUTO			TRAMO		Nro de USUARIOS	CALIBRE	kVA (LT)	KVA-m	KVA-m	AV%		Designación	LONG.(m)	PARCIAL	TOTAL	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	0-1	37.17	10	14.16	2/0		502	526.33	1.05	1.05	1-2	37	4	7.30	2/0		502	270.10	0.54	1.59	1-3	33.62	4	8.20	2/0		502	275.64	0.55	2.14	3-4	33.5	2	5.80	2/0		502	194.41	0.39	2.52										
ESQUEMA			DEMANDA kVA(d)	CONDUCTOR			CÓMPUTO																																																																														
TRAMO		Nro de USUARIOS		CALIBRE	kVA (LT)	KVA-m	KVA-m	AV%																																																																													
Designación	LONG.(m)		PARCIAL					TOTAL																																																																													
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10																																																																												
0-1	37.17	10	14.16	2/0		502	526.33	1.05	1.05																																																																												
1-2	37	4	7.30	2/0		502	270.10	0.54	1.59																																																																												
1-3	33.62	4	8.20	2/0		502	275.64	0.55	2.14																																																																												
3-4	33.5	2	5.80	2/0		502	194.41	0.39	2.52																																																																												

# CIRCUITO 4

	<b>CÓMPUTO DE CAÍDA DE VOLTAJE DE CIRCUITOS SECUNDARIOS</b>	FECHA:ENERO 2021																																																																																			
Nro. DEL PROYECTO: 001 TIPO DE INSTALACIÓN: AÉREA VOLTAJE: 240/120 V Nro. FASES: 2 LÍMITE DE CAÍDA DE TENSIÓN: 3,5%		USUARIO TIPO: C DMU: 2,63 kV CIRCUITO Nro. 4 MATERIAL DEL CONDUCTOR: ASC																																																																																			
<b>ESQUEMA</b>  Zona 4 Circuito C4  																																																																																					
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th colspan="3">ESQUEMA</th> <th rowspan="2">DEMANDA kVA(d)</th> <th colspan="3">CONDUCTOR</th> <th colspan="3">CÓMPUTO</th> </tr> <tr> <th colspan="2">TRAMO</th> <th rowspan="2">Nro de USUARIOS</th> <th rowspan="2">CALIBRE</th> <th rowspan="2">kVA (LT)</th> <th rowspan="2">KVA-m</th> <th rowspan="2">KVA-m</th> <th colspan="2">AV%</th> </tr> <tr> <th>Designación</th> <th>LONG.(m)</th> <th>PARCIAL</th> <th>TOTAL</th> </tr> <tr> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> <th>7</th> <th>8</th> <th>9</th> <th>10</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0-5</td> <td>37</td> <td>6</td> <td>9.6906</td> <td>2/0</td> <td></td> <td>502</td> <td>358.55</td> <td>0.71</td> <td>0.71</td> </tr> <tr> <td>5-7</td> <td>38.48</td> <td>2</td> <td>5.1179</td> <td>2/0</td> <td></td> <td>502</td> <td>196.94</td> <td>0.39</td> <td>1.11</td> </tr> <tr> <td>7-8</td> <td>36</td> <td>1</td> <td>3.6508</td> <td>2/0</td> <td></td> <td>502</td> <td>131.43</td> <td>0.26</td> <td>1.37</td> </tr> <tr> <td>5-6</td> <td>38.15</td> <td>2</td> <td>5.8318</td> <td>2/0</td> <td></td> <td>502</td> <td>222.48</td> <td>0.44</td> <td>1.81</td> </tr> <tr> <td></td> </tr> </tbody> </table>			ESQUEMA			DEMANDA kVA(d)	CONDUCTOR			CÓMPUTO			TRAMO		Nro de USUARIOS	CALIBRE	kVA (LT)	KVA-m	KVA-m	AV%		Designación	LONG.(m)	PARCIAL	TOTAL	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	0-5	37	6	9.6906	2/0		502	358.55	0.71	0.71	5-7	38.48	2	5.1179	2/0		502	196.94	0.39	1.11	7-8	36	1	3.6508	2/0		502	131.43	0.26	1.37	5-6	38.15	2	5.8318	2/0		502	222.48	0.44	1.81										
ESQUEMA			DEMANDA kVA(d)	CONDUCTOR			CÓMPUTO																																																																														
TRAMO		Nro de USUARIOS		CALIBRE	kVA (LT)	KVA-m	KVA-m	AV%																																																																													
Designación	LONG.(m)		PARCIAL					TOTAL																																																																													
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10																																																																												
0-5	37	6	9.6906	2/0		502	358.55	0.71	0.71																																																																												
5-7	38.48	2	5.1179	2/0		502	196.94	0.39	1.11																																																																												
7-8	36	1	3.6508	2/0		502	131.43	0.26	1.37																																																																												
5-6	38.15	2	5.8318	2/0		502	222.48	0.44	1.81																																																																												

## ANEXO 9: EJEMPLO DE CAÍDA DE TENSIÓN EN EL CIRCUITO C1 DE LA ZONA 1



Para calcular la caída de voltaje en los circuitos secundario es necesario obtener la DD para los usuarios que inciden sobre cada uno de los tramos.

Se considera que para el circuito C1 solo 3 de 6 usuarios cuentan con cocina de inducción, por lo que se calcula la  $DMD_{CI}$  para los tramos en los que se encuentran dichos usuarios. La  $DMD_{CI}$  se calcula con la siguiente expresión:

$$DMD_{CI} = 0,6 \times N_{CI} \times FC_{CI} \times DMU_{CI}$$

Donde:

- $N_{CI}$  : número de cocinas de inducción
- $FC_{CI}$  : factor de coincidencia
- $DMU_{CI}$  : 2,4 (kW) demanda máxima unitaria de cocina de inducción [6].

Para obtener el  $FC_{CI}$  se utiliza la siguiente expresión:

$$FC_{CI} = e^{-0,7243 \times N_{CI}} + 0,037$$

Circuito C1				
Demanda Máxima Diversificada (Cocina de Inducción)				
Tramo	$N_{CI}$	$FC_{CI}$	$DMU_{CI}$ (kW)	$DMD_{CI}$ (kW)
0 - 1	0	0	0	0
1 - 2	1	0.522	2.4	0.751
1 - 3	1	0.522	2.4	0.751
1 - 4	1	0.522	2.4	0.751

Representa los 3 de 6 usuarios que cuentan con cocinas de inducción en la zona 1

Luego se anota el valor de la DMD de los usuarios que inciden sobre cada uno de los tramos de C1 con la ayuda de la tabla proporcionada por la parte A de la norma en la que se tiene los valores de DMD sin afectación de la carga de cocinas de inducción para el diferente número de usuarios y que se muestra en la Tabla 3.2.

En los tramos que se tienen usuarios con cocina de inducción la  $DMD_{total}$  es la suma de la DMD y la  $DMD_{CI}$ .

Para obtener la DD de cada uno de los tramos se utiliza la siguiente expresión:

$$DD = \frac{D_{AP} + D_{PT} + DMD_{total}}{FP}$$

Donde:

- $D_{AP}$  : (kW) demanda de alumbrado público
- $D_{PT}$  : 3,6 % x DMD (kW) demanda de pérdidas de diseño técnicas resistivas en la red secundaria, en acometidas, en conductores de energía
- $DMD_{total}$  : (kW) demanda máxima diversificada con afectación de cocinas de inducción
- $Fp$  : 0,95
- $DD$  : (kVA) demanda de diseño

Demanda Máxima Diversificada				Demanda de Diseño					
C1	Nro. Usuarios	DMD (kW)	DMD <sub>TOTAL</sub> (kW)	C1	Nro. Luminarias	D <sub>AP</sub> (kW)	D <sub>PT</sub> (kW)	Fp	DD (kVA)
0 – 1	13	15.8	15.800	0 – 1	3	0.3	0.57	0.95	17.55
1 – 2	5	7.4	8.151	1 – 2	1	0.1	0.27	0.95	8.97
1 – 3	4	6.6	7.351	1 – 3	1	0.1	0.24	0.95	8.09
1 – 4	4	6.6	7.351	1 – 4	1	0.1	0.24	0.95	8.09

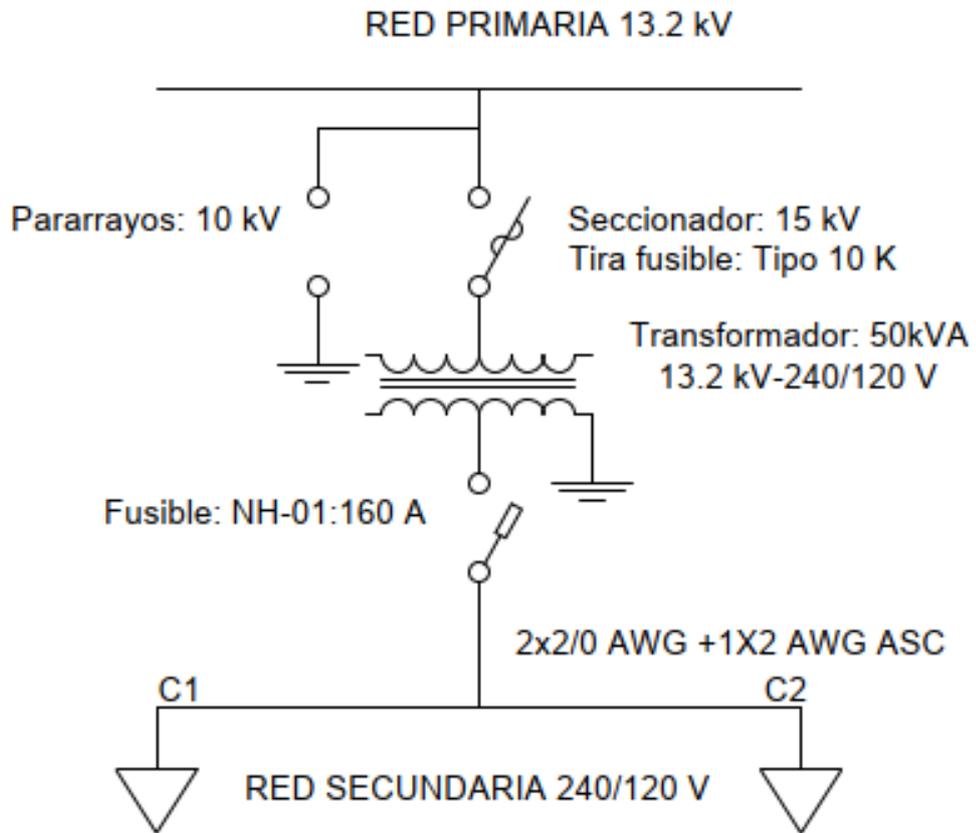
ESQUEMA			DEMANDA kVA(d)	CONDUCTOR			COMPUTO		
TRAMOS	LONG.(m)	Nro. de USUARIOS		CALIBRE	kVA (LT)	KVA-m	KVA-m	AV%	
Designación								PARCIAL	TOTAL
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0-1	20	13	17.55	2/0		502	350.92	0.70	0.70
1-2	20	5	8.97	2/0		502	179.32	0.36	1.06
1-3	30	4	8.09	2/0		502	242.80	0.48	1.54
1-4	40	4	8.09	2/0		502	323.74	0.64	2.18

## ANEXO 10: TABLA DE PROTECCIONES PARA TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN [3]

EMPRESA ELECTRICA QUITO S. A. DIRECCION DE DISTRIBUCION										
FASES	CAPACIDAD TRANSFORMADOR (kVA)	TENSION PRIMARIA				TENSION SECUNDARIA				
		22.8 GRDy/13.2 kV		6.3 kV		240/120 V o 210/121 V				
		I <sub>N</sub>	FUSIBLE	I <sub>N</sub>	FUSIBLE	I <sub>N</sub>	BASES	CARTUCHO	CONDUCTOR	
MONOFASICO	10.0	0.76	2 H	1.59	3 H	41.67	NH-1	36	2	TTU
	15.0	1.14	2 H	2.38	5 H	62.50	NH-1	63	2	TTU
	25.0	1.89	5 H	3.97	8 K	104.17	NH-1	80	2	TTU
	CT-02 37.5	2.84	6 K	5.95	12 K	156.25	NH-1	125	1/0	TTU
	CT-01 50.0	3.79	10 K	7.94	15 K	208.33	NH-1	160	3/0	TTU
TRIFASICO	30.0	0.76	2 H	2.75	5 H	82.58	NH-1	63	1/0	TTU
	45.0	1.14	3 H	4.13	10 K	123.86	NH-1	100	1/0	TTU
	50.0	1.26	3 H	4.59	10 K	137.63	NH-1	125	1/0	TTU
	75.0	1.90	5 H	6.88	15 K	206.44	NH-1	160	3/0	TTU
	90.0	2.28	6 K	8.26	15 K	247.73	NH-1	224	2 x 1/0	TTU
	100.0	2.53	6 K	9.18	15 K	275.25	NH-2	224	2 x 1/0	TTU
	112.5	2.84	6 K	10.32	20 K	309.66	NH-2	250	2 x 1/0	TTU
	125.0	3.16	6 K	11.47	20 K	344.07	NH-2	250	2 x 2/0	TTU
	150.0	3.79	8 K	13.76	25 K	412.88	NH-3	400	2 x 4/0	TTU
	160.0	4.05	8 K	14.68	25 K	440.41	NH-3	400	2 x 4/0	TTU
	200.0	5.06	10 K	18.35	30 K	550.51	NH-3	500	4 x 1/0	TTU
	225.0	5.69	10 K	20.64	40 K	619.32	NH-3	500	4 x 1/0	TTU
	250.0	6.32	12 K	22.94	40 K	688.14	NH-4	500	4 x 2/0	TTU
	300.0	7.59	15 K	27.53	50 K	825.76	NH-4	630	4 x 3/0	TTU
	315.0	7.97	15 K	28.90	65 K	867.05	NH-4	630	4 x 4/0	TTU
	400.0	10.11	20 K	36.70	65 K	1101.02	NH-4	800	4 x 4/0	TTU
	500.0	12.64	25 K	45.88	100 HHC	1376.27	2 NH-4	2 x 500	4 x 250	TTU
	630.0	15.93	30 K	57.80	100 HHC	1734.10	2 NH-4	2 x 630	4 x 300	TTU
750.0	18.96	40 K	68.81	100 HHC	2064.41	2 NH-4	2 x 800	4 x 350	TTU	
800.0	20.23	40 K	73.40	100 HHC	2202.04	2 NH-4	2 x 800	4 x 400	TTU	
1000.0	25.29	50 K	91.75	100 HHC	2752.55	INTERRUPTOR TERMOMAGNE		4 x 600	TTU	

**ANEXO 11: DIAGRAMA UNIFILAR (ZONA 1)**

**Diagrama Unifilar  
ZONA 1**



LEYENDA ELÉCTRICA	
SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
	Puesta a Tierra
	Pararrayo
	Cartucho Fusible
	Transformador
	Seccionador
	Carga

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - ESFOT**

**DIAGRAMA UNIFILAR  
ZONA1**

ESCALA:  
1:1

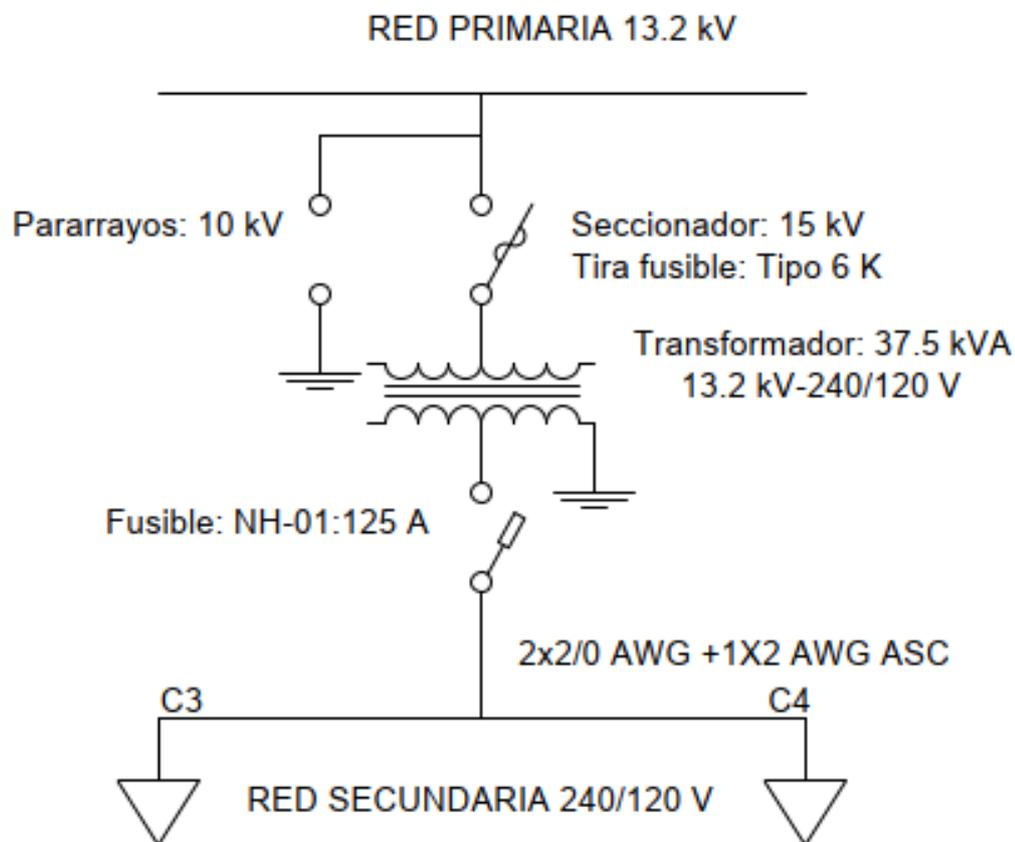
FORMATO:  
A4

DISEÑADO POR:  
BRYAN RAMIRO ORTEGA CANDO  
GILSON FABIAN SIMBAÑA GUALOTO

FECHA:  
08/01/2021

LÁMINA:  
5

## Diagrama Unifilar ZONA 4



LEYENDA ELÉCTRICA	
SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
	Puesta a Tierra
	Pararrayo
	Cartucho Fusible
	Transformador
	Seccionador
	Carga

### ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - ESFOT

**DIAGRAMA UNIFILAR  
ZONA4**

ESCALA:  
1:1

FORMATO:  
A4

DISEÑADO POR:  
BRYAN RAMIRO ORTEGA CANDO  
GILSON FABIAN SIMBAÑA GUALOTO

FECHA:  
08/01/2021

LÁMINA:  
6