



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

**DISEÑO Y ANÁLISIS COMPARATIVO TÉCNICO Y ECONÓMICO EN LA DISTRIBUCIÓN DE
ENERGÍA ELÉCTRICA DE BAJA TENSIÓN, CON EL SISTEMA DUCTO BARRA *VERSUS* EL
SISTEMA CONVENCIONAL EN EL PROYECTO AVIA**

Juan Carlos Patal Batzibal

Asesorado por el Ing. Jorge Gilberto González Padilla

Guatemala, mayo de 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

DISEÑO Y ANÁLISIS COMPARATIVO TÉCNICO Y ECONÓMICO EN LA DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE BAJA TENSIÓN, CON EL SISTEMA DUCTO BARRA *VERSUS* EL SISTEMA CONVENCIONAL EN EL PROYECTO AVIA.

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JUAN CARLOS PATAL BATZIBAL

ASESORADO POR EL ING. JORGE GILBERTO GONZÁLEZ PADILLA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, MAYO DE 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Christian Moisés de la Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Julio Rolando Barrios Archila
EXAMINADOR	Ing. Jorge Gilberto González Padilla
EXAMINADOR	Ing. José Guillermo Bedoya Ramos
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

DISEÑO Y ANÁLISIS COMPARATIVO TÉCNICO Y ECONÓMICO EN LA DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE BAJA TENSIÓN, CON EL SISTEMA DUCTO BARRA *VERSUS* EL SISTEMA CONVENCIONAL EN EL PROYECTO AVIA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica con fecha 6 de febrero de 2015.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Juan Carlos Patal Batzibal', enclosed within a rectangular box. The signature is stylized and cursive.

Juan Carlos Patal Batzibal

Guatemala, 27 de Mayo de 2019

Ingeniero

Julio Rolando Barrios Archila

Coordinador de Electrotecnia

Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

Universidad de San Carlos de Guatemala

Presente.

Estimado Ingeniero Barrios:

Por este medio me dirijo a usted para informarle que habiendo asesorado al estudiante Juan Carlos Patal Batzibal con carnet No. 1998-11546, en el trabajo de graduación **DISEÑO Y ANÁLISIS COMPARATIVO TÉCNICO Y ECONÓMICO EN LA DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE BAJA TENSIÓN, CON EL SISTEMA DUCTO BARRA VERSUS EL SISTEMA CONVENCIONAL EN EL PROYECTO AVIA** y llenando este los objetivos trasados, extendiendo la aprobación del mismo.

Por lo tanto, el autor de este trabajo y yo como asesor, nos hacemos responsables del contenido y conclusiones del mismo.

Sin otro particular, me suscribo atentamente.

Jorge Gilberto González Padilla
INGENIERO ELECTRICISTA
No. DE COLEGIADO 9055


Ingeniero Jorge Gilberto Gonzalez Padilla



REF. EIME 68. 2019.
23 de SEPTIEMBRE 2019.

Señor Director
Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado: DISEÑO Y ANÁLISIS COMPARATIVO TÉCNICO Y ECONÓMICO EN LA DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE BAJA TENSIÓN, CON EL SISTEMA DUCTO BARRA VERSUS EL SISTEMA CONVENCIONAL EN EL PROYECTO AVIA del estudiante; Juan Carlos Patal Batzibal, que cumple con los requisitos establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Otto Fernando Andriño González
Coordinador de Electrotécnica





REF. EIME 67. 2019.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante: JUAN CARLOS PATAL BATZIBAL titulado; DISEÑO Y ANÁLISIS COMPARATIVO TÉCNICO Y ECONÓMICO EN LA DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE BAJA TENSIÓN, CON EL SISTEMA DUCTO BARRA VERSUS EL SISTEMA CONVENCIONAL EN EL PROYECTO AVIA, procede a la autorización del mismo.

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'AR' with a flourish.

Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo

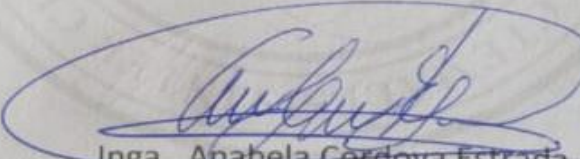


GUATEMALA, 14 DE OCTUBRE 2019.

DTG. 133.2020.

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO Y ANÁLISIS COMPARATIVO TÉCNICO Y ECONÓMICO EN LA DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE BAJA TENSIÓN, CON EL SISTEMA DUCTO BARRA VERSUS EL SISTEMA CONVENCIONAL EN EL PROYECTO AVIA**, presentado por el estudiante universitario: **Juan Carlos Patal Batzibal**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Anabela Córdova Estrada

Decana



Guatemala, junio de 2020

/asga

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por ser Nuestro Padre y Creador nuestro, que con su inmensa misericordia ha sido una importante influencia en mi vida.
- Mis padres** Juan Patal González y Rosenda Batzibal Baran (q.e.p.d). Su amor será siempre mi inspiración.
- Mi esposa** Mildred Carolina Cap Saquec, por ser una importante influencia en mi carrera, entre otras cosas
- Mis hijos** Carlos Javier Patal Cap (q.e.p.d), Fátima Alejandrina Patal Cap y Juan Luis Patal Cap, por ser la inspiración de mi diario vivir.
- Mis hermanos** Por todo el cariño y apoyo que me han brindado.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por ser la casa de estudios que me abrió las
puertas para el enriquecimiento intelectual

Por las enseñanzas transmitidas.

Facultad de Ingeniería

**Mis amigos de la
Facultad**

Por el trabajo en equipo que realizamos y los
momentos únicos vividos como estudiantes
universitarios.

Mi asesor

Ing. Jorge Gilberto González Padilla, por su
inmenso apoyo en este trabajo.

ECA Electricidad

Por abrirme sus puertas, por darme la
oportunidad de aprender y formar parte de un
importante grupo de ingenieros electricistas.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
INTRODUCCIÓN	XV
1. GENERALIDADES DEL PROYECTO AVIA.....	1
1.1. Aspectos generales del proyecto.....	1
1.2. Características de funcionamiento del proyecto	5
2. DISEÑO EN LA DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE BAJA TENSIÓN CON EL SISTEMA CONVENCIONAL.....	7
2.1. Generalidades del sistema convencional	7
2.2. Diagrama unifilar del sistema	9
2.3. Características y ubicación de la carga	11
2.4. Cálculo de conductores	12
2.4.1. Cálculo de conductores por caída de tensión	12
2.4.2. Cálculo de conductores por capacidad de corriente.....	15
2.5. Elección de tableros	17
2.6. Elección de protecciones.....	19
2.7. Cálculo y tipo de tuberías	20
2.8. Cálculo y análisis económico del sistema convencional.....	25

3.	DISEÑO EN LA DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE BAJA TENSIÓN CON EL SISTEMA DUCTO BARRA	29
3.1.	Generalidades del ducto barra	29
3.2.	Diagrama unifilar del sistema	32
3.3.	Características y ubicación de la carga.....	33
3.4.	Cálculo y tipos de las barras	34
3.4.1.	Cálculo de las barras por su capacidad de corriente	37
3.5.	Capacidad de cortocircuito de las barras	38
3.6.	Las derivaciones para los tableros de distribución.....	39
3.7.	Tipo y grado de protección.....	39
3.8.	Cálculo y análisis económico del sistema ducto barra	41
4.	ANÁLISIS COMPARATIVO TÉCNICO Y ECONÓMICO DEL SISTEMA DUCTO BARRA <i>VERSUS</i> EL SISTEMA CONVENCIONAL	43
4.1.	Comparativo técnico del sistema convencional <i>versus</i> el ducto barra.....	43
4.1.1.	Tiempo de instalación	43
4.1.2.	Resistencia mecánica del sistema	43
4.1.3.	Facilidad en el mantenimiento.....	44
4.1.4.	Eficiencia del sistema.....	45
4.1.5.	El sistema es reusable	45
4.1.6.	Facilidad en el montaje	46
4.1.7.	Tamaño del sistema	47
4.1.8.	Capacidad de aislamiento del sistema	47
4.1.9.	Consideraciones de seguridad.....	48
4.2.	Análisis económico.....	48
4.3.	Principales normas relacionados con el sistema ducto barra...52	

CONCLUSIONES	57
RECOMENDACIONES	59
BIBLIOGRAFÍA.....	61
APÉNDICES	63

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Ducto barra	2
2.	Ubicación y estilo del proyecto	4
3.	Vista general del edificio	5
4.	Tipos de canalizados.....	7
5.	Diagrama unifilar	10
6.	Características de ducto barra	31
7.	Instalación eléctrica del edificio	32
8.	Ducto barra como alimentador	40
9.	Inspección visual de componentes.....	44
10.	Montaje de ducto barra	46

TABLAS

I.	La caída de tensión	13
II.	Tabla de sección de conductores.....	13
III.	Cálculo de conductores correspondiente al diseño	14
IV.	Distribución de carga.....	15
V.	Descripción de las variables de la fórmula	16
VI.	Número máximo de cables en tubería metálica	24
VII.	Número máximo de cables en tubería conduit PVC.....	25
VIII.	Equipos y acometidas para el sistema convencional	26
IX.	Capacidad de corriente	37
X.	Capacidades interruptivas mínimas del ducto barra	38

XI.	Equipo y acometidas para el sistema de ducto barra	41
XII.	Análisis económico sistema convencional versus sistema ducto barra	49

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Amperio
BT	Baja tensión
CA	Corriente alterna
FP	Factor de potencia
C	Grado centígrado
HZ	Hertz
PVC	Policloruro de vinilo

GLOSARIO

ANSI	American National Standard Institute (Instituto Nacional de Normas Americanas).
Auxiliares	Equipo, accesorio, que se requiere para operar una central generadora (bombas, interruptores, ventiladores, pulverizadores).
Barras conductoras	Conductor eléctrico rígido, ubicado con la finalidad de servir como conector de dos o más circuitos eléctricos.
Blindaje	Capa conductiva en un cable que tiene la función de reducir la interferencia electromagnética.
Corriente nominal	Es el valor de la corriente máxima para la cual el equipo fue diseñado y debe funcionar en condiciones normales sin que sufra daño.
DME	Demanda máxima estimada.
Ducto eléctrico	Es el espacio físico donde se instalan los equipos eléctricos.
EEGSA	Empresa Eléctrica de Guatemala S. A.

IEEE Institute Electrical and Electronics Engineers
(Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos).

NEMA National Electrical Manufacturers Association
(Asociación Nacional de Fabricantes de Productos).

RESUMEN

Actualmente, existen diferentes formas de distribuir la energía eléctrica de baja tensión; en este trabajo se tratará sobre la distribución por medio del ducto barra y el convencional que es con cables eléctricos.

Generalmente, la distribución por medio de cables eléctricos es el más común, pero este tipo de distribución se va reemplazando por el ducto barra ya que para el método común se requiere de tableros muy grandes para la distribución.

Ahora, refiriéndose a la distribución de energía eléctrica en baja tensión, por medio de ducto barra, este se convierte en un solo alimentador y a través de cajas de derivación enchufables, se logra simplificar la instalación eléctrica logran también una disminución en las dimensiones del tablero eléctrico.

En el proyecto de AVIA se diseñó la distribución de energía eléctrica por medio de ducto barra; de esta manera se logra ahorrar hasta un 50 % de espacio en comparación con los cables. Los cables requieren un espacio mayor y un espacio adicional para los radios de curvatura; los ductos barras utilizan accesorios apropiados para maximizar la eficiencia del espacio.

Los ductos barras se pueden utilizar en las rutas más diversas y complejas, para ello utilizan accesorios como curvas, *offset* y *tes*, y pueden transmitir corrientes elevadas sin pérdida eléctrica y mecánica.

OBJETIVOS

General

Realizar un diseño y análisis comparativo técnico y económico en la distribución de energía eléctrica de baja tensión, con el sistema ducto barra *versus* el sistema convencional.

Específicos

1. Dar a conocer los sistemas de distribución de energía eléctrica que se están utilizando en edificios modernos.
2. Analizar y diseñar la distribución de energía eléctrica baja tensión con el sistema convencional.
3. Analizar y diseñar la distribución de energía eléctrica en baja tensión con el sistema de ducto barra.
4. Analizar y determinar por medio de un análisis técnico y económico, cuál de los dos sistemas es el más viable y con mejores ventajas.

INTRODUCCIÓN

El método convencional de distribución de la energía eléctrica en baja tensión es el uso de cable, conductores de cobre o aluminio canalizados mediante bandejas o tuberías; este método ha dado buenos resultados por décadas.

Una distribución de energía eléctrica, por medio de conductores, en un edificio requiere de grandes tendidos de conductores, tableros de distribución muy grandes y que representa la necesidad de áreas grandes para la instalación de los tableros y para el paso de tuberías donde ira el cableado. Por otro lado, está la cantidad de la mano de obra necesaria para elaborar la instalación; estas son algunas desventajas de utilizar el método tradicional.

Con el sistema convencional planteado, anteriormente, es indispensable contar con soluciones técnicas y económicas eficientes, como los ducto barras que reemplazan a las soluciones convencionales con cables eléctricos.

En el uso de ducto barras, para alimentar desde el tablero eléctrico hacia las cargas, se logra una disminución en las dimensiones del tablero eléctrico general; la distribución de las cargas es más racionalizada y se realiza a través de cajas de derivación que se enchufan al ducto barra.

1. GENERALIDADES DEL PROYECTO AVIA

1.1. Aspectos generales del proyecto

El sector eléctrico se encuentra más afectado en las nuevas tecnologías; muchas veces, generan controversias al momento de analizar la relación costo/beneficio. Ante esta situación, la evolución que están llevando a cabo los materiales y bienes de equipo, hacia la estandarización y la utilización de elementos prefabricados, es un hecho. Existe, cada vez más, conciencia en su uso, tanto en el transporte como en la distribución de energía. Las ventajas frente a los sistemas convencionales son muy evidentes, como la reducción de espacios para el paso de los conductores, la rapidez en los montajes, evitar daños en los conductores, son unos ejemplos que podemos mencionar.

Dos son las premisas básicas a la hora de optar por las canalizaciones eléctricas prefabricadas, más conocidas en el mercado como ducto barras.

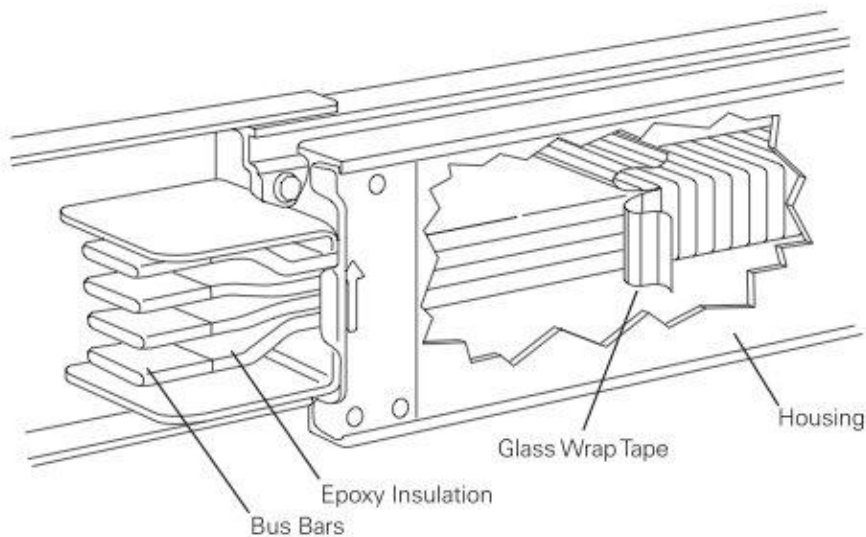
- Características técnicas: proporcionan una amplia seguridad contra contactos directos y efectos de ambientes agresivos o húmedos en cualquier ámbito de la instalación. Gran resistencia al fuego (RF120) y robustez mecánica (IK10) son características técnicas muy apreciadas; también, mejora la interconexión entre tableros y transformadores de potencia como para la alimentación de cargas dispersas en un recorrido.
- Proceso de montaje o instalación del sistema: facilita y agiliza la instalación eléctrica; la hace cómoda y sencilla. En primer término, proporcionan un ahorro en tiempos de montaje, que puede situarse entre

un 60 % y 70 %, ya que es muy fácil realizar una unión eléctrica y mecánica, y la mayor parte del tiempo se trabaja en el suelo. Se trata de un material tan fácil de instalar que se limita a realizar un montaje sin errores.

Se da el sistema de ducto barras, su aparición normalizada por los años 40; vino a solucionar gran parte de los problemas con el sistema convencional.

El ducto barra es definido por la National Electrical Manufacturers Association (NEMA) como un sistema de distribución eléctrica prefabricada que consta de barras dentro de una carcasa protectora, incluyendo tramos rectos, dispositivos y accesorios.

Figura 1. **Ducto barra**



Fuente: *ducto barra*. <https://legrand.com.pe>. Consulta: 20 de junio de 2019.

Este sistema consiste generalmente en tres barras de cobre, una para cada fase. Sin embargo, también, existen configuraciones con una barra para el neutro, que puede ser diseñado según la carga que se tenga o se alimente, y una barra para el sistema de tierra física, aunque en algunos casos la carcasa de metal que recubre las barras es utilizada para tal fin.

En el mercado eléctrico es posible encontrar diferentes opciones de ducto barra, dependiendo de la dimensión, la disposición de las barras dentro de la carcasa y la cantidad de corriente que soportan. La dimensión a considerar dependerá de las necesidades de su instalación eléctrica.

El diseño de la instalación eléctrica es del proyecto ubicado en 12 calle 2-25, zona 10, AVIA es un novedoso proyecto inmobiliario ubicado en la zona 10.

El diseño eléctrico del edificio de oficina está enfocado en hacer de la distribución eléctrica en baja tensión la mejor opción para la reducción de espacio para el transporte de energía, la capacidad y la seguridad de distribución, como la optimización del sistema ante la caída de voltaje.

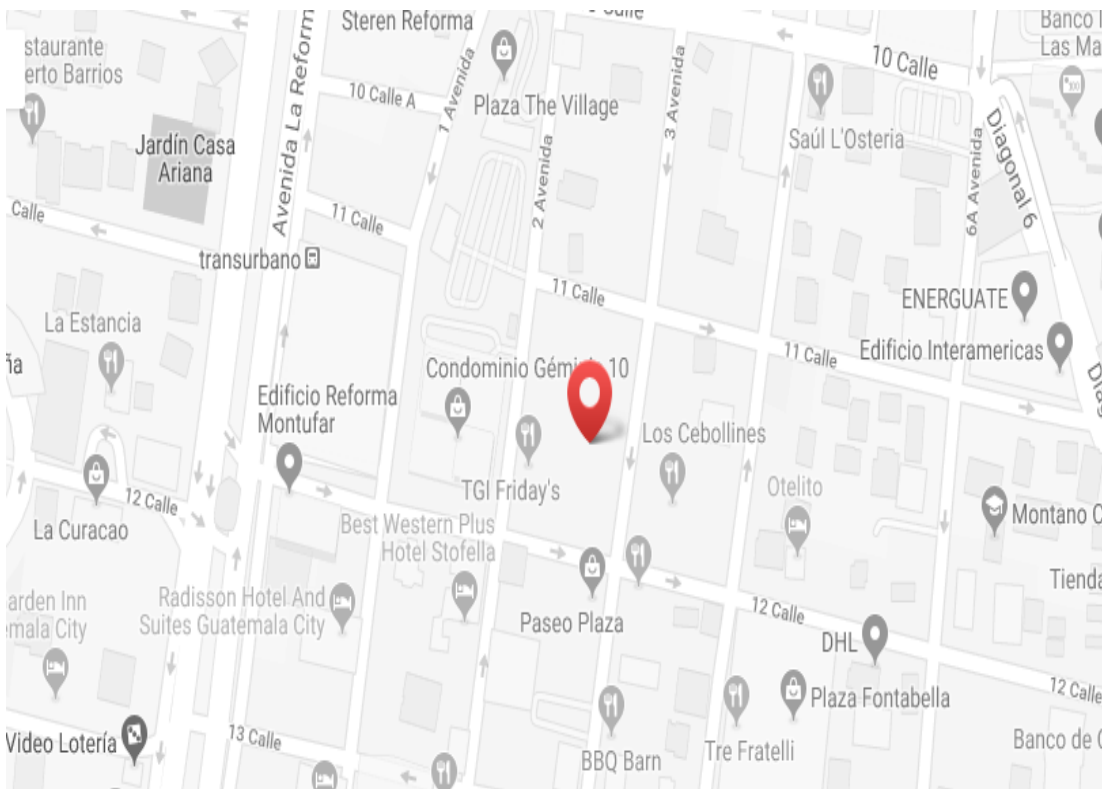
Para lograr el enfoque original del proyecto, existe un equipo de personas visionarias que están comprometidas con realizar un proyecto ejemplar en cada uno de sus aspectos que buscan elevar el estándar en lo que a propuestas inmobiliarias se refiere.

En este proyecto se pretende dar una sensación más cercana a un bosque; por lo cual, en las plazas centrales, se sembrarán árboles que llegarán a medir hasta 12 metros de alto, además, contará con una fachada con muchos cristales, para que se mantenga el contacto entre el interior y el exterior.

Será un lugar donde el placer, el trabajo, el intercambio, la exploración y la cultura se sustentarán e irán de la mano acorde a una tecnología moderna en la distribución de la energía eléctrica.

En la figura número 2, se muestra la ubicación del proyecto y el estilo del edificio; no solamente el edificio como tal es moderno, también, la distribución eléctrica.

Figura 2. Ubicación y estilo del proyecto



Fuente: Google Earth. <https://avia.com.gt>. Consulta: 20 de junio de 2019.

Figura 3. **Vista general del edificio**



Fuente: Google Earth. <https://avia.com.gt>. Consulta: 20 de junio de 2019.

1.2. Características de funcionamiento del proyecto

Los ductos de barra son la solución más adecuada para la distribución de energía eléctrica en una instalación para maquinaria, equipamiento y accesorios de iluminación en todo tipo de construcciones, como bodegas, ferias comerciales, en cualquier lugar donde el ritmo de las operaciones de instalación brinda beneficios tangibles de inmediato. Además, sigue acumulando beneficios en cada modificación o intervención de mantenimiento. Los ductos de barra se utilizan frecuentemente también para energizar las estructuras principales (horizontales y verticales) de construcciones utilizadas para los sectores comerciales y de servicios. Cumple, de esta manera, con el tiempo necesario para la instalación y suministra una solución final con ventajas técnicas, si se le compara con un sistema equivalente de cableado tradicional. Los ductos de

barra están disponibles en 3 líneas segmentadas (baja potencia, media potencia y alta potencia), pueden cumplir con todos los requisitos de instalación, desde 25 A hasta 5 000 A.

Los grupos que regulan la construcción e instalación del ducto barra son:

- Underwriters Laboratories, Inc. (UL).
- La Asociación Nacional de Fabricantes de Productos Eléctricos de Estados Unidos (The National Electrical Manufacturers Association, NEMA).
- La Asociación Nacional de Protección contra el Fuego de Estados Unidos (The National Fire Protection Association, NFPA) por medio del código eléctrico nacional (The National Electrical code, NEC).

2. DISEÑO EN LA DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE BAJA TENSIÓN CON EL SISTEMA CONVENCIONAL

2.1. Generalidades del sistema convencional

La distribución de energía eléctrica convencional se refiere a la distribución de la energía por medio de conductores eléctricos, ya sea de cobre o aluminio; este sistema requiere de una protección mecánica, eléctrica y químicos para los conductores, por lo que es necesario utilizar tuberías, canaletas o escalerías para dicha protección.

Dependiendo del área de paso de las acometidas, así será el diseño para colocar tuberías, canaletas o escaleras, para la respectiva protección de los conductores eléctricos.

En la figura 4, se aprecian los diferentes tipos de canalizados que se pueden realizar para la protección de los conductores eléctricos.

Figura 4. Tipos de canalizados



Continuación de la figura 4.



Fuente: elaboración propia.

El sistema de distribución del proyecto es un sistema de distribución vertical para la alimentación de los diferentes niveles de oficinas de AVIA, la cual consiste en suministrar cierta potencia para los diferentes niveles.

Dependiendo de la potencia requerida para los diferentes niveles, así será el calibre de los conductores eléctricos como también el tipo y diámetro de la protección mecánica y así se requerirá el área del ducto para el paso de las diferentes acometidas eléctricas.

Para un sistema convencional, se parte desde un transformador tipo seco que reduce el nivel de voltaje, para luego pasar a un interruptor principal conectándose así por medio de barras a un tablero de potencia de distribución.

El tablero de distribución principal cuenta con los *breakers* de protección para cada acometida eléctrica que se tiene para ciertos niveles de oficina y, al

finalizar el tramo de la acometida, nuevamente se contará con otro *breaker* principal de protección.

En el diseño de una instalación eléctrica interviene una serie de factores, una parte de estos dependientes de la carga.

El primer requerimiento del sistema es que el servicio sea de calidad satisfactoria para asegurar la operación de todas las cargas. El conocimiento de las características de la carga permite lograr el mejor diseño de la instalación.

2.2. Diagrama unifilar del sistema

Un esquema o diagrama unifilar es una representación gráfica de una instalación eléctrica. El esquema unifilar se distingue de otros tipos de esquemas eléctricos en que el conjunto de conductores de un circuito se representa mediante una única línea, independientemente, de la cantidad de dichos conductores.

El propósito de un diagrama unifilar es el de suministrar en forma concisa información significativa acerca del sistema eléctrico.

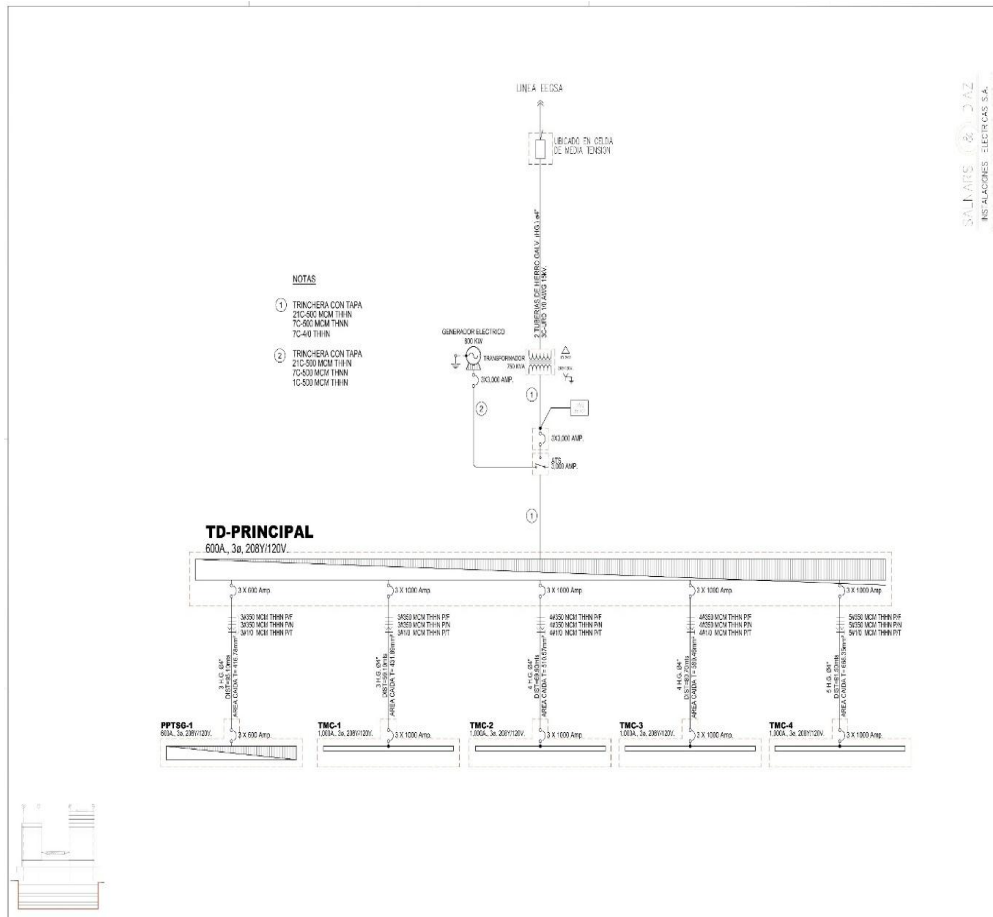
La importancia de las diferentes partes de un sistema varía con el problema y la cantidad de información que se incluye en el diagrama, depende del propósito para el que se realiza. La localización de los interruptores y relevadores no es importante para un estudio de cargas.

Los interruptores y relevadores no se mostrarían en el diagrama si su función primaria fuera la de proveer información para tal estudio. Por otro lado, la determinación de la estabilidad de un sistema bajo condiciones transitorias

resultantes de una falla depende de la velocidad con la que los relevadores e interruptores operan para aislar la parte del sistema que ha fallado.

En la figura 5 se muestra el diagrama unifilar de la distribución de energía eléctrica en la torre de oficina del proyecto.

Figura 5. Diagrama unifilar



Fuente: elaboración propia.

2.3. Características y ubicación de la carga

La finalidad de un sistema eléctrico es suministrar energía a todos los usuarios, en la medida en que estos la necesitan y con la calidad adecuada.

Organizativamente, los consumidores forman una entidad independiente por quedar sus instalaciones fuera del control de la empresa que opera el sistema de energía. Sin embargo, desde el punto de vista operativo, las cargas eléctricas vinculadas al mismo, constituyen los receptores de energía que consumen su producción y es esa la razón fundamental por la que sus características y su comportamiento deben conocerse en cada momento. Las características de las cargas en forma individual escapan al control del ingeniero electricista, salvo las especificaciones técnicas del contrato de suministro de energía, puesto que cada usuario, fundamentalmente los mediados y los pequeños, la toman de la red cuando la necesitan, sin realizar ningún análisis del estado en que se encuentra esta. Es pues función del diseñador del sistema conocer adecuadamente la naturaleza, magnitud y duración de las cargas para planificar en forma adecuada su alimentación.

Tratándose de una torre de oficina, las necesidades energéticas de los consumidores son diferentes a cada hora del día lo que ocasiona variaciones en el consumo en su transcurso. Cada consumidor en particular presenta sus propias necesidades de energía en mayor y menor magnitud a determinadas horas; puede o no coincidir con los requerimientos de los demás usuarios. Lo anteriormente expuesto son características de las cargas consideradas para poder realizar un buen cálculo para la alimentación de los diferentes puntos de carga.

Las cargas están ubicadas y distribuidas en cuatro puntos por cada nivel de la torre de oficina del proyecto de AVIA.

2.4. Cálculo de conductores

De acuerdo al lugar donde se instalará un dispositivo específico, la selección adecuada del conductor se hace tomando en consideración dos factores:

- La caída de voltaje
- La capacidad de conducción de corriente (ampacidad)

2.4.1. Cálculo de conductores por caída de tensión

Cuando los conductores recorren una distancia larga, existirá una caída de tensión debido a la impedancia del conductor, es necesario que la caída de tensión en los conductores no exceda de las estipuladas por las normas. La caída de tensión permisible es 2 % de la tensión nominal para la acometida y del 3 % máxima, de la misma para los ramales. Lo anteriormente descrito, se encuentra en la norma del NEC. Para calcular la caída de tensión es necesario conocer la distancia que recorre el conductor, así como la corriente que va a transportar.

Tabla I. **La caída de tensión**

Fórmula para calcular la caída de tensión	
$S = (KxLxI_s)/(P \times \% \times E_r)$	
S	sección del conductor en mm cuadrado
K	2 para un sistema monofásico
K	3 para un sistema trifásico
L	distancia en metros
I _s	corriente nominal
P	conductividad del material (cobre P=57, P=36)
%	porcentaje de caída de tensión permitida
E _r	tensión nominal

Fuente: elaboración propia.

Tabla II. **Tabla de sección de conductores**

AWG/MCM	Sección de cobre en mm²	Diámetro del conductor mm	Sección del conductor en mm²
14	2,08	3,43	9,2
12	3,31	3,91	12
10	5,26	4,52	16,1
8 8,	37	6,1	29,2
6	13,3	7,82	48
4	21,15	9,05	64,2
2	33,63	10,57	87,8
1/0	53,48	13,44	142
2/0	67,43	14,62	168
3/0	85,05	15,91	199
4/0	107,2	17,37	237
250	126,7	19,38	295
300	152,2	20,78	339
350	177,6	22,08	383
400	202,8	23,27	425,4
500	253,1	25,43	508
600	303,7	28,23	626
750	379,3	30,89	749
1000	506,7	34,8	951

Fuente: elaboración propia.

Para el diseño de AVIA, y con el sistema convencional para la distribución de potencia en la torre de oficina, se realizó el cálculo de conductores correspondiente al diseño, tal como lo muestra el siguiente cuadro.

Tabla III. **Cálculo de conductores correspondiente al diseño**

Área de caída		
Alimentador	Ramal	Cobre (ρ)
0,02	0,03	57

Tablero Múltiple De contadores	Distancia (L)	Sistema	Sistema (K)	Voltaje (Er)	Amperaje (Is)	Área caída (S)	Fases	Neutro	Tierra
TMC1	59,10	3Ø	1,732	208	1 000	431,69	3#350 THHN	3#350 THHN	3#1/0 THHN
TMC2	69,90	3Ø	1,732	208	1 000	510,57	4#350 THHN	4#350 THHN	4#1/0 THHN
TMC3	80,70	3Ø	1,732	208	1 000	589,46	4#350 THHN	4#350 THHN	4#1/0 THHN
TMC4	91,50	3Ø	1,732	208	1 000	668,35	5#350 THHN	5#350 THHN	5#1/0 THHN
PPSTG-1	95,10	3Ø	1,732	208	600	416,78	3#350 THHN	3#350 THHN	3#1/0 THHN

Fuente: elaboración propia.

En la tabla III se observa la columna de los tableros múltiples de contadores en la que se derivan 12 contadores para 12 oficinas; la columna de distancias de cada acometida, la columna que indica que el sistema es trifásico, la columna de la cantidad de amperaje disponible en cada acometida, las áreas de conductores necesarias para cada acometida y las columnas de los calibres y las cantidades de conductores por acometida.

En la tabla VI se presenta la distribución de carga considerada para cada oficina, la cual se refleja en la potencia diseñada para cada acometida de los paneles múltiples de contadores.

Tabla IV. **Distribución de carga**

Tablero	Sistema	Sistema (3 fases)	Carga en va	Voltaje (er)	Amperaje (in)	Amperaje (id)
Iluminación	3Ø	1,732	1 500,00	208	4	4,996446971
Fuerza normal	3Ø	1,732	5 000,00	208	14	16,65482324
Fuerza regulada	3Ø	1,732	3 500,00	208	10	11,65837627
Aire acondicionado	3Ø	1,732	13 000,00	208	36	43,30254042
Total (l)					64	77

Fuente: elaboración propia.

2.4.2. **Cálculo de conductores por capacidad de corriente**

Los conductores eléctricos están forrados por material aislante que, por lo general, contienen materiales orgánicos. Estos forros están clasificados de acuerdo con la temperatura de operación permisible; de tal forma que una misma sección de cobre puede tener diferente capacidad de conducción de corriente, dependiendo del tipo de aislamiento que se seleccione.

El NEC recomienda no cargar un conductor sobre el 80 % de su capacidad nominal, cuando se selecciona por corriente o ampacidad; ya que como toda instalación eléctrica es un sistema dinámico, pueden existir

sobrecargas o desbalances lo que hace necesario dejar un margen de seguridad en el cálculo del conductor.

La ecuación es la utilizada para el cálculo de la corriente del circuito donde se toma en cuenta los factores de corrección.

$$I = \frac{S}{V \times \text{factores de corrección}}$$

El dato calculado determina el calibre de conductor a utilizar.

Tabla V. **Descripción de las variables de la fórmula**

Fórmula para calcular por capacidad de corriente	
$I = S / (V \times F_{sis} \times F_{\#c} \times F_{tub} \times F_{tem})$	
I	Corriente
S	Potencia en VA
V	Voltaje
F _{sis}	Factor de sistema continuo o no continuo
F _{#c}	Factor por número de conductores en tubería
F _{tub}	Factor de tubería por disipación de calor
F _{tem}	Factor de temperatura ambiente

Fuente: elaboración propia.

El término ampacidad se define como la capacidad de conducción de corriente de un conductor; considera los factores de agrupación, temperatura, servicio y canalizaciones utilizadas.

2.5. Elección de tableros

El tablero eléctrico es la parte principal de la instalación eléctrica en donde se encuentran todos los dispositivos de seguridad y maniobra de los circuitos eléctricos de la instalación. Consiste en un gabinete metálico donde se montan los interruptores termomagnéticos respectivos, cortacircuitos y fusibles, y el medidor de consumo.

- Funciones del tablero
 - Dividir un circuito eléctrico en varios circuitos derivados.
 - Proveer de un medio de conexión y desconexión manual de cada uno de los circuitos derivados.
 - Proteger cada uno de los circuitos contra sobrecorrientes.
 - Concentrar en un solo punto todos los interruptores.

De acuerdo con la ubicación en la instalación, los tableros reciben las designaciones siguientes:

- Caja o gabinete individual de medidor: es el circuito de alimentación y que contiene el medidor de energía desde donde parte el circuito principal. Esta caja o gabinete puede contener, además medios de maniobra, protección y control pertenecientes al circuito de alimentación.

- Tablero principal de distribución: es aquel que se conecta a la línea principal y que contiene el interruptor principal y del cual se derivan el (los) circuito (s) secundarios o ramales.
- Tablero o gabinete múltiple de medidores: es el circuito de alimentación y que contiene los medidores de energía eléctrica y los circuitos principales. Este tablero puede contener a los dispositivos de maniobra, protección y control pertenecientes al circuito de alimentación y a los interruptores principales pertenecientes a la instalación del inmueble, desde donde parten los circuitos seccionales. En este caso, los gabinetes que albergan a los interruptores principales se comportan como tableros principales.
- Tablero secundario de distribución: es el segundo nivel y suministra de energía eléctrico al tablero principal, suministrando a su vez corriente a otros equipos o tableros de distribución de tercer nivel.
- Tablero de distribución local: es la unidad que suministra energía eléctrica a un equipo determinado.
- De acuerdo a su aplicación: los tableros reciben las designaciones siguientes:
 - Tablero residencial o centro de carga (TR)
 - Centro de distribución de potencia (CDP)
 - Centro de fuerza (CDF)
 - Centro de control de motores (CCM)
 - Tableros de distribución (TD)
 - Tableros de alumbrado (TA)

- Consolas y pupitres de mando (CPM)
- Celdas de seccionamiento (CSEC)
- Subestaciones (S/E)

2.6. Elección de protecciones

Todo sistema de protección eléctrica, por sobrecorriente y cortocircuito, generalmente, consta de una coordinación de protecciones individuales que pueden resumirse en tres tipos fundamentales:

- **Relevadores:** es un dispositivo electromecánico que provoca un cambio en uno o más circuitos de control eléctrico, cuando la cantidad medida a la cual responde, cambia de una manera prescrita.

Todos los relevadores utilizados para protección de cortocircuitos y muchos otros tipos; también, funcionan en virtud de la corriente y tensión proporcionada a estos por los transformadores de corriente y tensión conectados en diversas combinaciones al elemento del sistema que va a protegerse. Por cambios individuales o relativos en estas dos magnitudes, las fallas señalan su presencia, tipo y localización a los relevadores de protección. Para cada tipo y localización de falla, hay alguna diferencia característica en estas magnitudes, así como varios tipos de equipos de protección por relevadores disponibles, cada uno de los cuales está diseñado para reconocer una diferencia particular y funcionan en respuesta a esta.

- **Los fusibles son autodestructivos:** cuando actúan, cortando un circuito, deben reponerse para establecer el servicio. Están constituidos por un cartucho de porcelana en cuyo interior se aloja el conductor fusible,

generalmente, de una cinta o un alambre de aleación de plomo-estaño, que posee un bajo punto de fusión, que se funde cuando se excede del límite para el cual ha sido diseñado en un medio de extinción de aleación de plomo.

- Interruptores: existen tres tipos: térmico, magnético y termo magnético. Normal, esta pasa por la bobina del electroimán creando un campo magnético débil. Si la intensidad es mayor de un determinado valor, el campo magnético creado es suficientemente fuerte como para poner en funcionamiento un dispositivo mecánico que interrumpe la corriente eléctrica. El valor de esta corriente suele ser de entre 3 y 20 veces mayor que la corriente nominal, protegiendo al circuito de cortocircuitos. Se suelen usar para proteger motores con arrancadores cuando estos últimos disponen de protección térmica integrada (la protección térmica es la encargada de interrumpir la corriente en condiciones de sobrecarga). Los de tipo térmico actúan contra sobrecorrientes, usa un elemento bimetálico, el cual se calienta y se dobla en una situación de sobrecorriente; este desplazamiento permite liberar el pestillo de corte. Este tipo es frecuentemente usado en circuitos de control de motores. Estos interruptores a menudo poseen un elemento que compensa el efecto de la temperatura ambiente sobre el rango de corriente del aparato.

2.7. Cálculo y tipo de tuberías

Es el conjunto de tubos que forman una estructura determinada a las necesidades preestablecidas, que llevan uno o varios circuitos eléctricos en su interior.

- Tubo tipo *conduit* (galvanizado o negro): está diseñado para proteger cables eléctricos en instalaciones industriales, en áreas clasificadas de alto riesgo de explosión y en zonas de ambiente corrosivo. El tubo tipo *conduit* negro, tiene la misma utilidad, pero la palabra negro indica que no está galvanizado, minimizando su capacidad de durabilidad en ambientes corrosivos.
- Tubo *conduit* metálico rígido para pared gruesa: puede ser de acero o aluminio y se encuentra disponible en diámetros desde 1/2 pulgada hasta 6 pulgadas.
- Tubo metálico para pared delgada: estos son similares a los de pared gruesa, pero tiene su pared interna mucho más delgada, se pueden utilizar en instalaciones ocultas y visibles, embebido en concreto o embutido en mampostería, pero en lugares secos no expuestos a humedad o ambientes corrosivos. Estos tubos no tienen sus extremos roscados y tampoco usan los mismos conectores que los tubos metálicos rígidos de pared gruesa, de hecho usan sus propios conectores de tipo atornillado.
- Tubería PVC eléctrico: la longitud de esta tubería es de 3,0 metros; la temperatura máxima que se recomienda es de 140 °F (60 °C).
- Tubería de tipo conduven: el tubo estructural nace de la tecnología desarrollada en la fabricación de acero estructural de alta resistencia mecánica, conformado en frío y soldado eléctricamente por alta frecuencia; forma tubos de sección circular, cuadrada, rectangular y en 12,00 m de largo. La eficiencia se debe a la forma de su sección

transversal, permitiéndole manejar solicitudes de flexo-compresión y alta compresión axial.

Cálculo de tubería eléctrica: desde el punto de vista de ventilación sería deseable que todos los conductores estuvieran colocados de tal forma que el aire circulara libremente por su superficie.

Los conductores tienen una limitante en su capacidad de conducción de corriente debido a la baja disipación de calor, ya que el aislante tiene límite térmico bajo.

Por esta razón, el número de conductores dentro de un tubo o cualquier sistema de canalización debe encontrarse limitado, de manera que se logre un arreglo físico de acuerdo con la forma y el área transversal de la canalización de forma tal que se facilite el alojamiento y la manipulación de los conductores durante la instalación.

Además, debe considerarse la cantidad adecuada de aire dentro de la tubería para que se disipe el calor que se genera internamente debido al efecto *joule*.

Para el cálculo del diámetro de tuberías donde irán alojados varios conductores, debe tomarse en cuenta la relación entre la suma total de las secciones transversales de los conductores (incluyen el aislamiento) y el área transversal del tubo.

Esta relación se le llama factor de relleno. Según la norma NEC para un conductor, el factor de relleno debe ser de 53 %; para dos conductores se limita a un máximo de 31 % y para 3 o más conductores a un 40 %. También, se toma

en cuenta el factor de arreglo el cual es 0,80 por la norma NEC, esto es debido a que el área del conductor de cobre no es igual al área del conductor forrado.

$$A_{tubo} = \frac{\pi\theta^2}{4}$$

$$A_{tubo} = \frac{\text{Sumatoria de conductores}}{FA \times FR}$$

De las ecuaciones anteriores, se obtiene la siguiente ecuación para encontrar el diámetro del tubo:

$$\theta = \sqrt{\frac{4x \sum A_{conductores}}{\pi FAFR}}$$

Donde:

- Φ = diámetro
- A = sección de área transversal
- FA = factor de arreglo
- FR = factor de relleno

Tabla VI. Número máximo de cables en tubería metálica

Cables TF, TFN, TFFN, TW, THW, THHW

TIPO DE CABLE	CAL.	DIÁMETRO DE TUBERÍA									
		1/2"	3/4"	1"	1-1/4"	1-1/2"	2"	2-1/2"	3"	3-1/2"	4"
TF, TFN, TFFN	18	22	38	63	108	148	244				
	16	17	29	48	83	113	186				
TW	14	8	15	25	43	58	96	168	254	332	424
	12	6	11	19	33	45	74	119	195	255	326
	10	5	8	14	24	33	55	36	145	190	243
THW, THHW	8	2	5	8	13	18	30	53	81	105	135
	14	6	10	16	28	39	64	112	169	221	282
	12	4	8	13	23	31	51	90	136	177	227
TW, THW, THHW	10	3	6	10	18	24	40	70	106	138	177
	8	1	4	6	10	14	24	42	63	83	106
	6	1	3	4	8	11	18	32	48	63	81
THHW	4	1	1	3	5	7	12	20	31	40	52
	3	1	1	3	5	7	12	20	31	40	52
	2	1	1	2	4	6	10	17	26	34	44
	1	1	1	1	3	4	7	12	18	24	31
	1/0	1	1	1	2	3	6	10	16	20	26
	2/0	1	1	1	1	3	5	9	13	17	22
	3/0	1	1	1	1	2	4	7	11	15	19
	4/0	1	1	1	1	1	3	6	9	12	16
	250	1	1	1	1	3	5	7	10	13	17
	300	1	1	1	1	2	4	6	8	11	14
	350	1	1	1	1	1	4	6	7	10	13
	400	1	1	1	1	1	3	5	7	9	12
	500	1	1	1	1	1	3	4	6	7	9
	600	1	1	1	1	1	2	3	4	6	7
	700	1	1	1	1	1	1	3	4	5	7
	750	1	1	1	1	1	1	3	4	5	7
800	1	1	1	1	1	1	3	3	5	7	
900	1	1	1	1	1	1	2	3	4	5	
1000	1	1	1	1	1	1	2	3	4	5	

CALIBRES EN AWG/MCM

Cables THHN/THWN/THWN-2

TIPO DE CABLE	CAL.	DIÁMETRO DE TUBERÍA									
		1/2"	3/4"	1"	1-1/4"	1-1/2"	2"	2-1/2"	3"	3-1/2"	4"
THHN, THWN	14	12	22	35	61	84	138	241	364	476	608
THWN-2	12	9	16	26	45	61	101	176	266	347	443
	10	5	10	16	28	38	63	111	167	219	279
THWN-2	8	3	6	9	16	22	36	64	96	126	161
	6	2	4	7	12	16	26	46	69	91	116
	4	1	2	4	7	10	16	28	43	56	71
THWN-2	3	1	1	3	6	8	13	24	36	47	60
	2	1	1	3	5	7	11	20	30	40	51
	1	1	1	1	4	5	8	15	22	29	37
	1/0	1	1	1	3	4	7	12	19	25	32
	2/0	1	1	1	2	3	6	10	16	20	26
	3/0	1	1	1	1	3	5	8	13	17	22
	4/0	1	1	1	1	2	4	7	11	14	18
	250	1	1	1	1	3	6	9	11	15	19
	300	1	1	1	1	1	3	5	7	10	13
	350	1	1	1	1	1	2	4	6	9	11
	400	1	1	1	1	1	4	6	8	10	13
	500	1	1	1	1	1	3	5	6	8	10
	600	1	1	1	1	1	1	2	4	5	7
	700	1	1	1	1	1	1	2	3	4	6
	750	1	1	1	1	1	1	1	3	4	5
	800	1	1	1	1	1	1	1	3	4	5
900	1	1	1	1	1	1	1	3	3	4	
1000	1	1	1	1	1	1	1	2	3	4	

CALIBRES EN AWG/MCM

Fuente: ESTÉVEZ, Ángel. *Código eléctrico nacional*. p. 70-173.

Tabla VII. **Número máximo de cables en tubería conduit PVC**

Cables TF, TW, THW

TIPO DE CABLE	CAL.	DIÁMETRO DE TUBERÍA					
		1/2"	3/4"	1"	1-1/2"	2"	3"
TF	18	11	20	32	79	129	
	16	10	18	30	72	118	
TW	14	9	15	25	60	99	
THW		6	10	16	40	65	143
TW	12	7	12	19	47	78	171
THW		4	8	13	32	53	117
TW	10	5	9	15	36	60	131
THW		4	6	11	26	43	95
TW	8	2	4	7	17	28	62
THW		1	3	5	13	22	49
THW	6	1	2	4	10	16	36
	4	1	1	3	7	12	27
	2	1	1	2	5	9	20
	1		1	1	4	6	14
	1/0		1	1	3	5	12
	2/0		1	1	3	5	10
	3/0		1	1	2	4	9
	4/0			1	1	3	7
	250			1	1	2	6
	300			1	1	2	5
	350				1	1	4
	400				1	1	4

CABLES EN AWG/MCM

Fuente: ESTÉVEZ, Ángel. *Código eléctrico nacional*. p. 70-174.

2.8. Cálculo y análisis económico del sistema convencional

Se presenta el cuadro económico del sistema convencional; se observa el precio de cada metro lineal de acuerdo a la cantidad de conductores por fase; pero se debe de considerar que ante cualquier aumento de carga limita la capacidad de los conductores por acometida.

También, se consideran los equipos necesarios para la distribución de las acometidas que se necesitan en la derivación de cada múltiple de contadores que se hace por medio del *Plug Inn*.

Tabla VIII. Equipos y acometidas para el sistema convencional

Alcances y unidades					
Alcances y unidades				Sub total	
No.	Descripción	Unidad	Cantidad	Unitario	Total
1	Entubado y cableado trifásico desde TDP PRINCIPAL hasta PPTSG-1 con 3X(3# 350 MCM THHN (F) + 3#350 MCM THHN (N) + 3# 1/0 THHN (T)) con 3 tubos de 3" HG.	ml	96	Q 4 378,30	Q420 316,94
2	Entubado y cableado trifásico desde TDP PRINCIPAL hasta TMC-1 con 3X(3# 350 MCM THHN (F) + 3#350 MCM THHN (N) + 3# 1/0 THHN (T)) con 3 tubos de 3" HG.	ml	60	Q4 378,30	Q262 698,09
3	Entubado y cableado trifásico desde TDP PRINCIPAL hasta TMC-2 con 3X(4# 350 MCM THHN (F) + 4#350 MCM THHN (N) + 4# 1/0 THHN (T)) con 4 tubos de 4" HG.	ml	70	Q5 373.,30	Q376 130,72
4	Entubado y cableado trifásico desde TDP PRINCIPAL hasta TMC-3 con 3X(4# 350 MCM THHN (F) + 4#350 MCM THHN (N) + 4# 1/0 THHN (T)) con 4 tubos de 4" HG.	ml	81	Q5 373,30	Q435 236,98

Continuación de la tabla VIII.

5	Entubado y cableado trifásico desde TDP PRINCIPAL hasta TMC-4 con 3X(5# 350 MCM THHN (F) + 5#350 MCM THHN (N) + 5# 1/0 THHN (T)) con 5 tubos de 4" HG.	ml	92	Q6 368.29	Q585 882,68
6	TD-PRINCIPAL Tablero de distribución principal trifásico, 120/208V, con barras de 3000Amperios, con interruptor principal de 3X3000 Amperios, barra de neutro sólido y aislado, barra de tierra física independiente, conteniendo los siguientes ramales: -- 04 de 3X1000A -- 01 de 3X600A	u	1	Q172 350,00	Q172 350,00
7	Entubado y cableado trifásico desde la Transferencia Automático hasta TD-PRINCIPAL con 3X(7# 500 MCM THHN (F) + 7#500 MCM THHN (N) +7 # 500 THHN (T))	ml	8	Q9 867,25	Q78 938,00
Total					Q 2 331 553,41
IVA 12%					Q 279 786,41
Gran total					Q 2 611 339,82

Fuente: elaboración propia.

3. DISEÑO EN LA DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE BAJA TENSIÓN CON EL SISTEMA DUCTO BARRA

3.1. Generalidades del ducto barra

El ducto barra es un elemento prefabricado, moderno, económico y eficiente de distribución eléctrica en baja tensión que nos permite trasladar grandes bloques de energía a una tensión hasta 600 V desde un punto a otro donde se ubique la carga a ser alimentada. Se le llama prefabricado porque son fabricados para cada proyecto y la única tarea del proyectista es la instalación y ensamblaje en obra.

En el mercado es posible encontrar diferentes opciones de ducto barra, dependiendo del tamaño, la disposición de las barras dentro de la carcasa y la cantidad de corriente que soportan. La selección de las propiedades de las barras dependerá de las necesidades de las instalaciones eléctricas.

Las generalidades del ducto-barras y las partes asociadas estarán conformadas por barras de aluminio o cobre totalmente encerradas en dos piezas de aluminio extruidas como encerramiento. Las barras tipo alimentador (*feeder*) de uso externo, *feeder* de uso interno y *plug-in* (enchufable) de uso interno deben ser intercambiables para capacidades y configuraciones de barras iguales, sin el uso de adaptadores o empalmes especiales. Los accesorios deben ser idénticos para el uso con barras tipo *feeder* y tipo *plug-in*. Las barras podrán montarse en planicies, flanco o posiciónes verticales. La barra consistirá de secciones *standard* de 10 pies con secciones especiales y accesorios fabricados para ajustarse a la instalación requerida. Los tramos

horizontales deben ser apropiados para poder soportarse máximo cada 3 metros a centros de línea. Los tramos verticales deben ser apropiados para soportarse máximo cada 5 metros a centros de línea. Se debe proporcionar un soporte para instalar cada 3 metros de montaje horizontal de barra. Para las barras de montaje vertical, se debe suministrar un soporte tipo resorte, por piso y al final del recorrido en el último piso.

Las barras deben ser fabricadas de alta resistencia, 55 % de conductividad en caso de barras de aluminio o 98 % de conductividad en caso de barras en cobre, y deben ser electroplateadas en las uniones y en las superficies de contacto. Las barras deben ser aisladas en toda su longitud, excepto en las uniones y superficies de contacto, con aislamiento epóxico, clase B, 130 °C, aplicado por un proceso de lecho fluidizado (*fluidized bed process*). El aislamiento epóxico se extiende totalmente hasta la superficie de contacto de la unión en la barra. Aislamiento de las barras con cintas no serán permitidas. Las barras deben ser capaz de transportar corriente nominal continua sin exceder un nivel de temperatura de 55 °C a una temperatura ambiente de 40 °C.

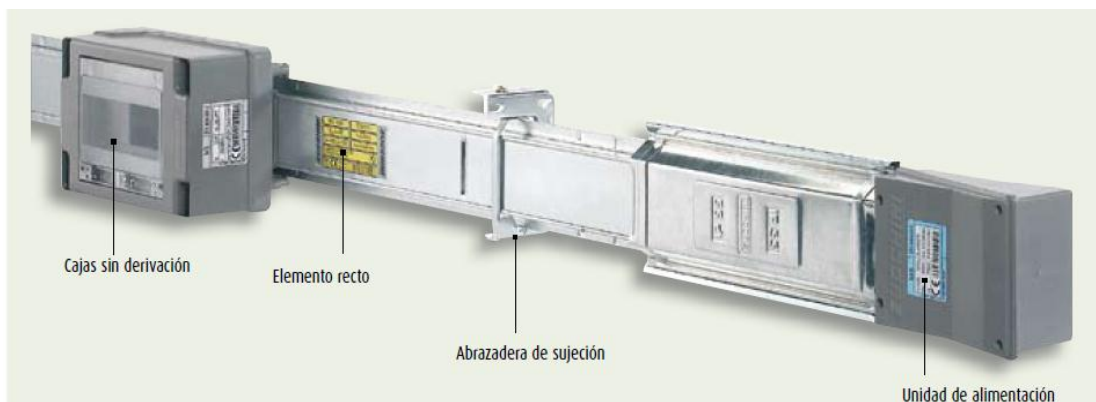
La construcción del encerramiento de la barra debe ser en aluminio y la construcción del encerramiento será diseñado únicamente en dos piezas y será fabricado con aluminio extruido. Las dos piezas del encerramiento estarán atornilladas únicamente a lo largo de la parte inferior, usando tornillos grado 5-20 zinc-plateado cada 3 pulgadas para una máxima resistencia mecánica. La barra soportará una corriente mínima de corto circuito de 85 kA rms simétrica para corrientes hasta de 800 A, 100 kA rms simétrica hasta 1 350 A, 125 kA rms simétrica hasta 1600 A, 150 kA rms simétrica hasta 2 500 A y 200 kA simétrica a través de 5 000 A.

Un ducto de barra no utiliza grandes cantidades de material plástico aislante ni materiales potencialmente peligrosos en caso de incendio. Además, los materiales plásticos utilizados en las piezas aislantes de los ductos siempre son autoextinguibles y la emisión de gas es por lo general muy baja.

La baja emisión electromagnética es otra ventaja de los ductos de barra si se le compara con la de un sistema de cableado equivalente. Como resultado, la caja de placas metálicas de los ductos de barra conductoras sirve como pantalla para el campo eléctrico (gabinete blindado). La cercanía extrema entre los conductores de fase también reduce la emisión del campo magnético considerablemente.

Cuando se utilizan ductos de barra, la protección de carga se ubica muy cerca del dispositivo, las cajas de conexión pueden contener dispositivos de protección como interruptores, portafusibles y conmutadores motorizados que le permitirán manejar el sistema de forma fácil y eficaz.

Figura 6. **Características de ducto barra**

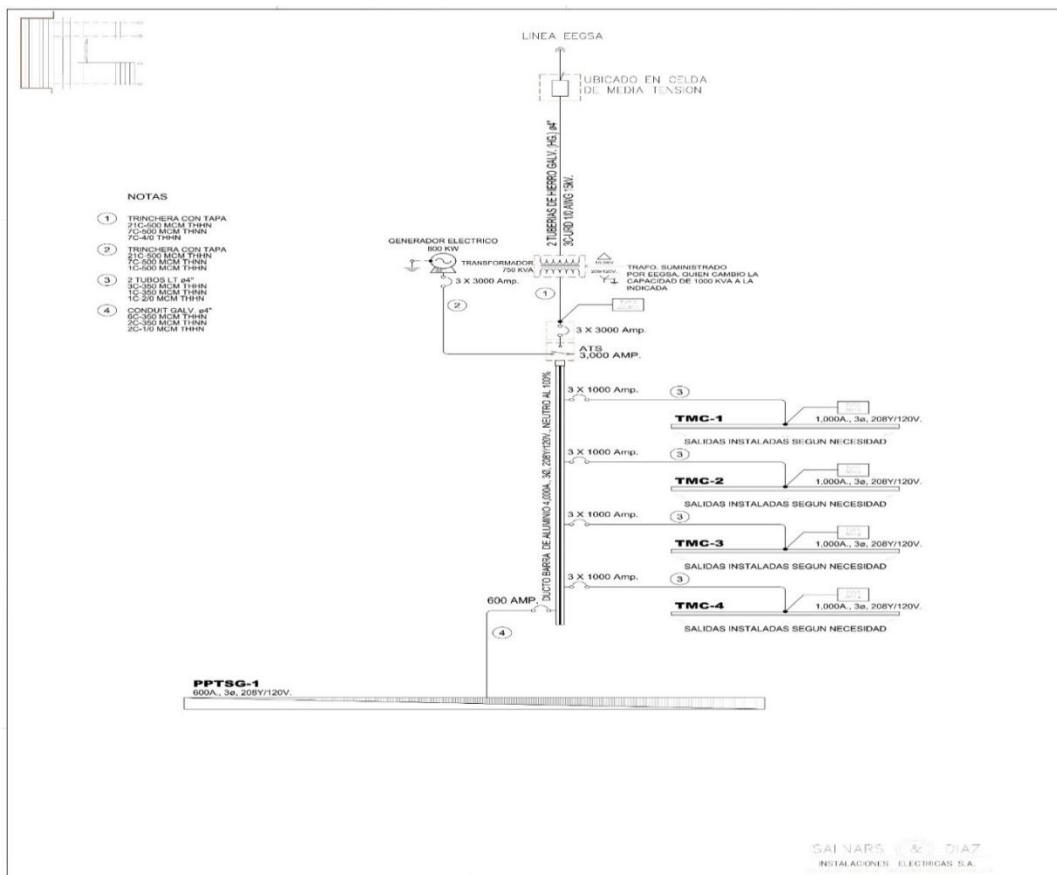


Fuente: Google Earth. <https://legrand.com.pe> Consulta: 20 de junio de 2019.

3.2. Diagrama unifilar del sistema

Se representa gráficamente la instalación eléctrica del edificio de acuerdo a lo diseñado.

Figura 7. Instalación eléctrica del edificio



Fuente: elaboración propia.

En la figura anterior se presenta el diagrama unifilar del diseño para el sistema convencional.

3.3. Características y ubicación de la carga

El servicio para cargas individuales a conectarse que sean monofásicas y trifásicas y, que coincida con la característica de estar en un mismo inmueble, se instalará cumpliendo con los requisitos constructivos y el procedimiento descrito a continuación:

- El requerimiento de servicio de energía eléctrica debe efectuarse antes de hacer la instalación y comprar e instalar equipo eléctrico, en virtud de que pueda coordinarse con EEGSA, todo lo referente a la instalación de los paneles de medidores.

- EEGSA hace el estudio técnico:
 - Definición del punto de entrega de energía eléctrica.

 - Punto de colocación del equipo de medida.

 - La tensión de suministro al panel de medidores será 120/208 voltios, 3 fases, estrella, 4 conductores.

 - Los servicios trifásicos individuales podrán ser 120/208 voltios, 3 fases, estrella, 4 conductores.

 - Los servicios monofásicos individuales podrán ser 120/208 voltios, 1 fase, estrella, 3 conductores.

 - Para el voltaje arriba indicado, EEGSA suministrará el centro de transformación y toda la infraestructura necesaria dentro de la

franja obligatoria de 200 metros con líneas, postes, bajada primaria.

- Si el lugar donde se requiere el servicio (punto de entrega) se encuentra a una distancia mayor a 200 metros del poste de la red a la cual debe conectarse (punto de enganche), el solicitante tiene que construir por sus medios la red necesaria hasta aproximarse a 200 metros del punto de enganche. A partir de ahí, se construirá el resto de la red hasta el punto de entrega.
- Los medidores de energía estarán concentrados en un panel múltiple de medidores.

3.4. Cálculo y tipos de las barras

Las barras representan el medio por donde circula la corriente eléctrica y se fabrican de cobre o aluminio. Estas están colocadas una a la par de otra, únicamente separadas por una película aislante. El tamaño de las barras está en función de la cantidad de corriente que va a circular por ellas y, como en los sistemas convencionales, pueden usarse dos barras en paralelo por fase para aumentar la capacidad de transporte de corriente eléctrica.

El ducto barra puede ser suministrado en configuraciones de tres o cuatro polos, con o sin barra de tierra interna. Debido a que la carcasa está fabricada con un material conductor, puede ser utilizada como conductor de tierra. El neutro puede ser del mismo tamaño que las barras principales (100 %), puede tener la mitad de la sección (50 %) o dos veces la sección de las barras principales (200 %).

- Los aislantes: son materiales que tienen como función principal soportar y aislar eléctricamente las barras para evitar contacto entre ellas. Los materiales aislantes quedan a criterio de los fabricantes y por lo general usan PVC, *epoxy* y papel *mylar*. Estos son colocados en los extremos de las secciones como soportes y alrededor de cada una de las barras para aislarlas.
- Ducto barra tipo FEEDER (alimentador): tiene una carcasa completamente cerrada, la cual no tiene ninguna salida para derivaciones o conexiones. La construcción y diseño permite la máxima eficiencia en la transmisión de energía eléctrica. Por sus características, es usado para alimentar convenientemente y segura cargas que están concentradas en un área determinada. Con el ducto barra tipo alimentador es posible alimentar, sin ningún problema, cargas comprendidas entre 600 y 5 000 amperios usando barras de cobre y cargas comprendidas entre 600 y 4 000 amperios usando barras de aluminio. La tensión de operación normalizada es de 600 voltios de corriente alterna o corriente directa.

Para este tipo de ducto barra, es posible encontrar configuraciones eléctricas en cobre como en aluminio:

- I. 3 fases, 3 alambres
- II. 3 fases, 4 alambres (neutro al 100 %)
- III. 3 fases, 4 alambres (neutro al 200 %)

El sistema de tierra puede ser integrada (carcasa), barra de tierra interna o barra de tierra interna aislada.

- Ducto barra tipo RISER (enchufable para elevación): se caracteriza, principalmente, porque provee tomas de corriente para conexiones y derivaciones a todo lo largo de su recorrido, en intervalos regulares. El espacio entre las tomas de corriente para enchufe que, se encuentran a ambos lados del ducto, es de 2 pies. Este ducto barra se usa principalmente en distribuciones verticales de edificios altos. Por razones de espacio físico, en los edificios, el ducto barra tiene una disposición vertical y su recorrido esta siempre cerca de una pared, lo cual no permite enchufar accesorios en ambos lados del ducto.

- Ducto barra tipo *PLUG IN* (enchufable estándar): tiene las mismas características que el tipo RISER. Este tipo de ducto barra es usado para alimentar equipos móviles, o cuando se requiere un sistema de distribución versátil que permita la fácil y rápida reubicación de ciertos equipos fijos ya existentes en un área determinada. Las capacidades normalizadas para este tipo de ducto barra van desde 100 hasta 4 000 amperios, 600 voltios de corriente alterna o corriente continua. Para este tipo de ducto barra, es posible encontrar configuraciones eléctricas en cobre como en aluminio:
 - I. 3 fases, 3 alambres
 - II. 3 fases, 4 alambres (neutro al 100 %)
 - III. 3 fases, 4 alambres (neutro al 200 %)

El sistema de tierra puede ser integrada (carcasa), barra de tierra interna o barra de tierra interna aislada.

3.4.1. Cálculo de las barras por su capacidad de corriente

La capacidad de conducción de las barras está en función del tamaño de la carga completa que dicho ducto va a alimentar. Entonces esta sección de ducto barra alimentará los niveles 7, 10, 14, 17 y 18, los cuales tienen una carga de 230 KVA por nivel, a excepción del nivel 18 que tiene una carga de 165 000,00 VA, considerando un factor de crecimiento del 20 %, la corriente será de acuerdo al siguiente cuadro:

Tabla IX. Capacidad de corriente

Tablero	Sistema	Sistema (3 fases)	Carga en va	Voltaje (er) v	Amperaje (in) a	Amperaje (id)
TMC1	3Ø	1,732	230 000.00	208 V	638 A	766,12 A
TMC2	3Ø	1,732	230 000.00	208 V	638 A	766,12 A
TMC3	3Ø	1,732	230 000.00	208 V	638 A	766,12 A
TMC4	3Ø	1,732	230 000.00	208 V	638 a	766,12 A
PPSTG-1	3Ø	1,732	165 000.00	208 V	458 A	549,60 A
Total (I)					3,012	3,614

Fuente: elaboración propia.

El valor de la corriente no coincide con ninguna capacidad comercial del ducto barra; por lo tanto, se escogerá el valor inmediato superior, el cual es de 4 000 A.

3.5. Capacidad de cortocircuito de las barras

No hay requerimientos máximos ni mínimos en las clasificaciones de corto circuito especificadas por Underwriters Laboratories (UL). De cualquier forma, la Asociación Nacional de Fabricantes de Productos Eléctricos (NEMA) recomienda las siguientes clasificaciones mínimas mostradas en la siguiente tabla.

Tabla X. Capacidades interruptivas mínimas del ducto barra

Corrientes nominal Continua del ducto Barra (amperios)	Corriente simétrica de Corto circuito, Ducto Barra enchufable (amperios)	Corriente simétrica de Corto circuito, ducto barra Alimentador (amperios)
100	10000	--
225	14000	--
400	22000	--
600	22000	42000
800	22000	42000
1000	42000	75000
1200	42000	75000
1350	42000	75000
1600	65000	100000
2000	65000	100000
2500	65000	150000
3000	85000	150000
4000	85000	200000
5000	--	200000

Fuente: GARCÍA, Victor. *Normalización y diseño de un sistema de distribución de energía eléctrica de baja tensión por medio de ducto barra*. p. 56.

3.6. Las derivaciones para los tableros de distribución

El tablero eléctrico es la parte principal de la instalación eléctrica, en el mismo se encuentran todos los dispositivos de seguridad y maniobra de los circuitos eléctricos de la instalación. Consiste en un gabinete metálico donde se montan los interruptores automáticos respectivos, cortacircuitos y fusibles, y el medidor de consumo.

- Funciones del tablero de distribución:
 - Dividir un circuito eléctrico en varios circuitos derivados.
 - Proveer de un medio de conexión y desconexión manual de cada uno de los circuitos derivados.
 - Proteger cada uno de los circuitos contra sobre corrientes.
 - Concentrar en un solo punto todos los interruptores.

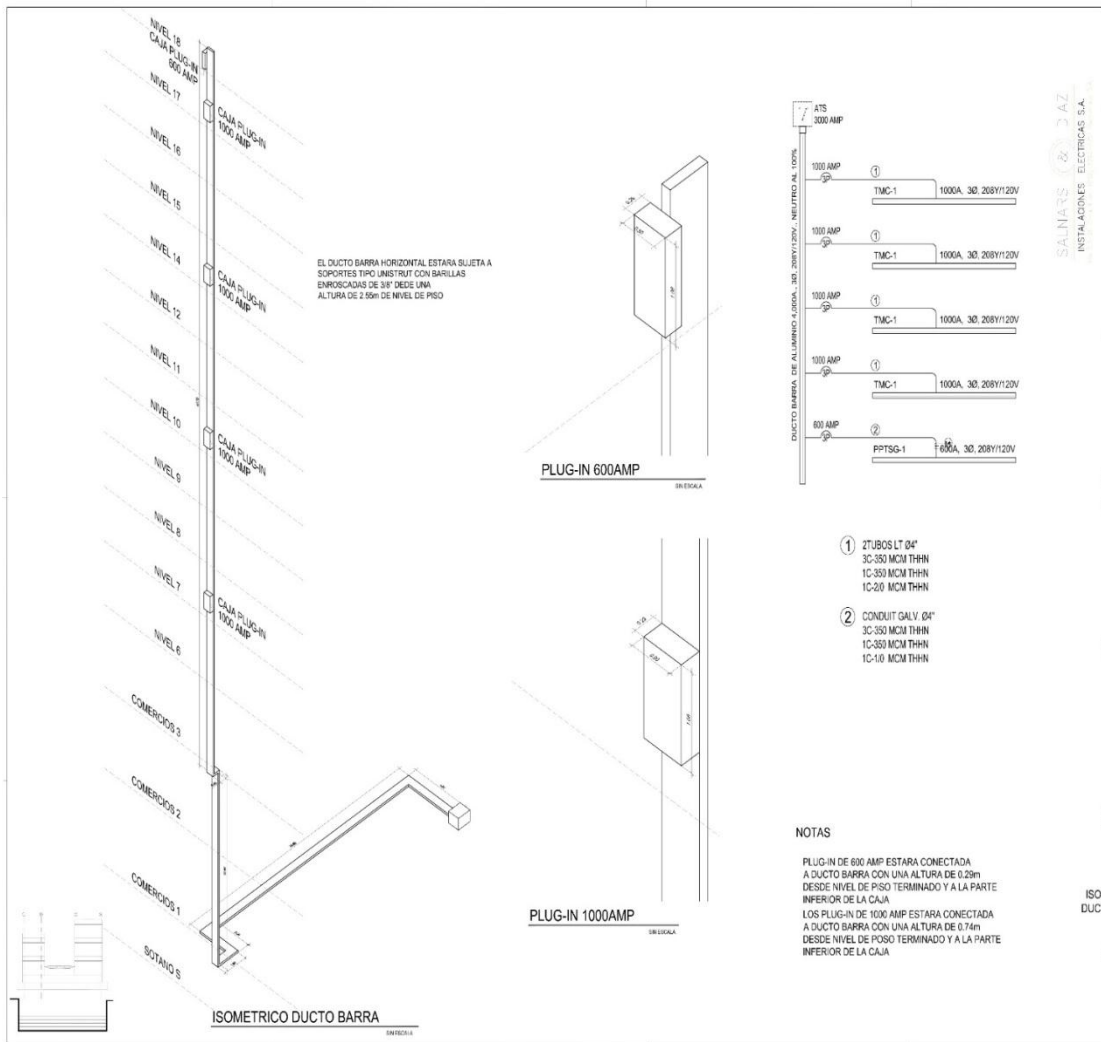
3.7. Tipo y grado de protección

Cuando un ducto barra se usa como alimentador, dispositivos de conexión o *plug-in* se utilizan para conectarse a los alimentadores o circuitos subalimentadores, estos deberán tener el dispositivo de sobrecorriente requerido para la protección de dicho alimentador o subalimentador.

El *plug-in* es un dispositivo que se compone de un circuito externamente operable, un interruptor o interruptor con fusibles externamente operables. Estos dispositivos están montados fuera de alcance y contiene los medios de

desconexión, medios adecuados como cables, cadenas, o palancas deberán ser previstos para operar los medios de desconexión de la planta.

Figura 8. Ducto barra como alimentador



Fuente elaboración propia.

3.8. Cálculo y análisis económico del sistema ducto barra

Se presentan el cuadro económico del sistema ducto barra; se observa que el precio de cada pie de ducto barra es caro, pero se debe considerar la calidad del equipo y las ventajas que está dando.

También, se consideran las acometidas que se necesitan en la derivación de cada múltiple de contadores que se hace por medio del *plug in*.

Tabla XI. **Equipo y acometidas para el sistema de ducto barra**

Alcances y unidades					
Alcances y unidades				Subtotal	
No.	Descripción	Unidad	Cantidad	Unitario	Total
1	DB PLUG INN Y FEEDER ducto barra de 4,000 amperios, de aluminio, 100% neutro, trifásico, 120/208V para conexión de <i>plug in</i> . (pies). El ducto barra debe estar compuesto por los siguientes accesorios: -- 1 Box Conection. -- 2 Codos Horizontales a 90 grados. -- 1 Codo Vertical a 90 grados. -- 1 Tapadera end box para el final del ducto barra.	Ft	281	Q3 871,27	Q1 08 826,87
2	PI-800A <i>plug in</i> para ducto barra de 4,000 amperios, con interruptor termo magnético de 3 X 1 000 amperios.	U	4	Q67 242,14	Q268 968,56
3	PI-600A <i>plug in</i> para ducto barra de 4,000 amperios, con interruptor termo magnético de 3 X 600 amperios.	U	1	Q28 398,02	Q28 398,02
4	Entubado y cableado trifásico desde PLUG INN hasta PPTSG-1 con 3X(2# 350 MCM THHN (F) + 2#350 MCM THHN (N) + 2# 1/0 THHN (T)) con 2 tubos de 2" HG.	ml	3	Q3 383,31	Q10 149,93

Continuación de la tabla XI.

5	Entubado y cableado trifásico desde TDP PRINCIPAL hasta PMC-1 con 3X(3# 350 MCM THHN (F) + 3#350 MCM THHN (N) + 3# 1/0 THHN (T)) con 3 tubos de 3" HG.	ml	3	Q4 378,30	Q13 134,90
6	Entubado y cableado trifásico desde TDP PRINCIPAL hasta PMC-2 con 3X(3# 350 MCM THHN (F) + 3#350 MCM THHN (N) + 3# 1/0 THHN (T)) con 3 tubos de 3" HG.	ml	3	Q4 378,30	Q13 134,90
7	Entubado y cableado trifásico desde TDP PRINCIPAL hasta PMC-3 con 3X(3# 350 MCM THHN (F) + 3#350 MCM THHN (N) + 3# 1/0 THHN (T)) con 3 tubos de 3" HG.	ml	3	Q4 378,30	Q13 134,90
8	Entubado y cableado trifásico desde TDP PRINCIPAL hasta PMC-4 con 3X(3# 350 MCM THHN (F) + 3#350 MCM THHN (N) + 3# 1/0 THHN (T)) con 3 tubos de 3" HG.	ml	3	Q4 378,30	Q13 134,90

Total	Q1 447 883,00
IVA 12%	Q173 745,96
Gran total	Q1 621 628,96

Fuente: elaboración propia.

Los datos anteriores corresponden al diseño del sistema diseñado y a los precios a un promedio de los costos del mercado.

4. ANÁLISIS COMPARATIVO TÉCNICO Y ECONÓMICO DEL SISTEMA DUCTO BARRA *VERSUS* EL SISTEMA CONVENCIONAL

4.1. Comparativo técnico del sistema convencional *versus* el ducto barra

En este apartado se establecerán las diferencias técnicas de ambos sistemas; se describirán en cada punto ambos sistemas.

4.1.1. Tiempo de instalación

El sistema convencional requiere de una cantidad de tiempo para el canalizado, un tiempo para el cableado y una cantidad considerable de mano de obra tanto para el canalizado como para el cableado.

El ducto barra es más fácil y práctico para su instalación, ya que con el máximo cuidado y precisión que se le dedicó en su levantamiento isométrico, ya las piezas vienen solo para unirlos; esto se hace más eficiente con el tiempo de instalación y con menos recursos en mano de obra.

4.1.2. Resistencia mecánica del sistema

En el sistema convencional la resistencia mecánica lo proporciona el tipo de tubería que se utilizará en el canalizado del sistema y así será la protección de resistencia mecánica para los conductores.

La resistencia mecánica en el ducto barra lo proporciona la estructura metálica que recubre las barras; también, una estructura sólida que tiene como soporte en los extremos a lo largo de su recorrido.

La mejor resistencia mecánica de ambos sistemas la tiene el ducto barra, ya que los materiales que lo compone, metal y cobre, tienen propiedades muy eficientes para su uso.

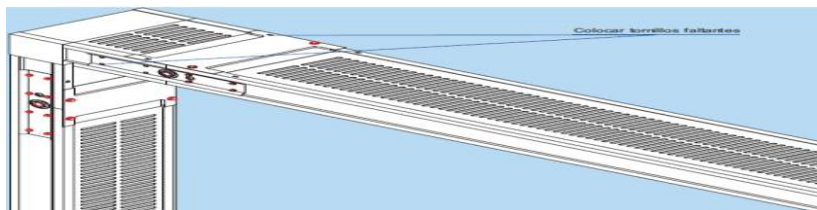
4.1.3. Facilidad en el mantenimiento

La facilidad del mantenimiento se basa en realizar inspecciones visuales de los componentes, medición de voltaje en los extremos del sistema como también en los *plug in* del sistema.

La medición de la temperatura se utiliza termómetro de contacto con rango de operación de 20-100 grados centígrados, pero se recomienda utilizar medidores infrarrojos para facilitar la operación de inspección.

En la siguiente figura se aprecia un tramo de ducto barra, en la que se puede apreciar lo simple que se puede realizar una inspección visual, ya que las piezas a inspeccionar no son muchas y tampoco complicadas.

Figura 9. Inspección visual de componentes



Fuente: elaboración propia.

4.1.4. Eficiencia del sistema

La eficiencia del sistema convencional de acometidas se limita un tanto por la limitante de los conductores que se calcula para cierta capacidad y para un solo punto de alimentación, por lo que, si en algún momento se decide aumentar la carga, se deberá de recalcular y lo más seguro habría que cambiar toda la acometida eléctrica.

Las instalaciones construidas con el sistema de ducto barras es una alternativa ante el sistema tradicional, ya que genera ahorros en los tiempos de desarrollo del proyecto e instalación.

El precio de las barras es competitivo con sus equivalentes en cables ms tuberías o bandejas. A medida que aumentan las cargas, la diferencia se cuantifica en forma mucho más favorable al inversionista.

El sistema es bastante eficiente ante el aumento de cargas en los niveles superiores ya que por lo regular la capacidad de ampacidad que tiene al inicio será la que finaliza.

4.1.5. El sistema es reusable

El sistema convencional no es aconsejable su reutilización ya que los conductores sufren daños al momento de su desinstalación y la cristalización de los conductores.

El sistema de ducto barra es reusable debido a que se puede acoplar en diferentes posiciones según lo requiera el proyecto y su ampliación; la

desinstalación del sistema no es complicado y por lo regular no sufre ningún daño, por lo que no es impedimento su reutilización.

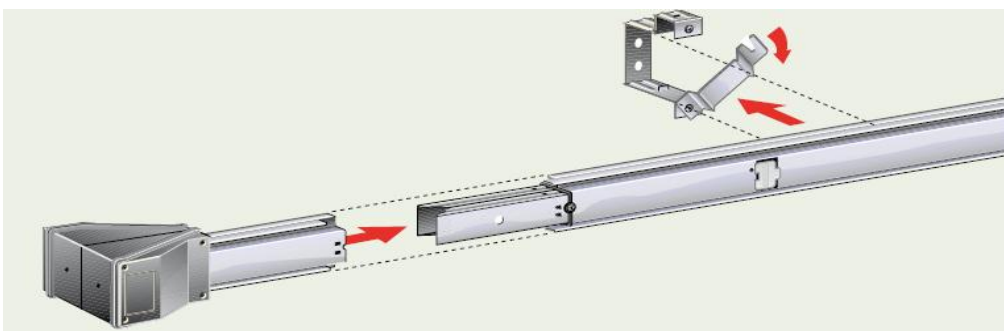
4.1.6. Facilidad en el montaje

Los sistemas de uniones y fijación han sido diseñados y creados a fin de instalar los ductos de barra fácilmente.

En un sistema de cables y bandeja porta cables, el tiempo necesario para instalar solamente la bandeja es el mismo utilizado para instalar un sistema de ductos de barra completo. Además, dada la misma capacidad, un ducto de barra de potencia que, por lo general, posee conductores de aluminio, es mucho más liviano que un sistema hecho de bandejas y cables (de cobre): los pesos más livianos necesitan un número menor de estructuras de soporte o, en cualquier caso, estructuras de soporte más simples y económicas.

Es por esto que el tiempo de instalación de un ducto de barra es evidentemente más corto que sistema similar compuesto por cables.

Figura 10. **Montaje de ducto barra**



Fuente: elaboración propia.

4.1.7. Tamaño del sistema

Las dimensiones totales de los ductos de barra son, por lo general, más pequeñas que un sistema equivalente compuesto por cables; especialmente, cuando las corrientes a ser transportadas superan los 1 000 A y cuando se necesitan varios cables en paralelo para asegurar dicha capacidad. Se pueden aprovechar otras ventajas en caso de cambios de dirección, cuando el radio de curvatura de los cables es mínimo y suficiente para no dañar el material aislante; los ductos de barra permiten cambiar las direcciones en ángulos de 90°; optimizan los espacios reducidos utilizados en las áreas de servicio.

4.1.8. Capacidad de aislamiento del sistema

Un ducto de barra no utiliza grandes cantidades de material plástico aislante ni materiales potencialmente peligrosos en caso de incendio. Además, los materiales plásticos utilizados en las piezas aislantes de los ductos siempre son autoextinguibles y la emisión de gas es por lo general muy baja (sin halógeno).

La baja emisión electromagnética es otra ventaja de los ductos de barra si se le compara con la de un sistema de cableado equivalente: como resultado, la caja de placas metálicas de los ductos de barra conductoras sirve como pantalla para el campo eléctrico (gabinete blindado); la cercanía extrema entre los conductores de fase también reduce la emisión del campo magnético considerablemente.

4.1.9. Consideraciones de seguridad

El ducto barra se trata de un sistema bastante más seguro que los cables, ya que tiene una mejor respuesta a los incendios en sus tres etapas (calor/extinción/caídas de objetos y golpes), gracias a su alta resistencia al calor con 180 minutos de fuego según IEC 60331 y 120 minutos según DIN 4102 parte 12; sigue los requerimientos de no emisión de humos visibles ni tóxicos, autoextinguible y retardante al fuego.

4.2. Análisis económico

En este apartado se presenta el análisis económico para la realización del proyecto; se considera los precios promedios del mercado.

En el cuadro que se presenta se visualiza claramente la diferencia económica que existe entre ambos sistemas; se resalta el valor económico favorable que presenta al utilizar el sistema de ducto barra.

La razón primordial se basa en las distancias que recorren las acometidas; estas distancias requieren de conductores con calibres grandes para minimizar o compensar las caídas de tensiones.

Con el sistema de ducto barra se tiene la capacidad de conducción en amperaje y es de menor costo.

Los cuadros económicos que se presenta a continuación, cuenta con 2 de los sistemas (convencional y ducto barra), la cual se aprecia las diferencias.

Tabla XII. **Análisis económico sistema convencional versus sistema ducto barra**

Equipos y acometidas para el sistema eléctrico convencional					
Alcances y unidades				Subtotal	
No.	Descripción	Unidad	Cantidad	Unitario	Total
1	Entubado y cableado trifásico desde TDP PRINCIPAL hasta PPTSG-1 con 3X (3# 350 MCM THHN (F) + 3#350 MCM THHN (N) + 3# 1/0 THHN (T)) con 3 tubos de 3" HG.	ml	96	Q4 378,30	Q420 316,94
2	Entubado y cableado trifásico desde TDP PRINCIPAL hasta TMC-1 con 3X (3# 350 MCM THHN (F) + 3#350 MCM THHN (N) + 3# 1/0 THHN (T)) con 3 tubos de 3" HG.	ml	60	Q4 378,30	Q262 698,09
3	Entubado y cableado trifásico desde TDP PRINCIPAL hasta TMC-2 con 3X (4# 350 MCM THHN (F) + 4#350 MCM THHN (N) + 4# 1/0 THHN (T)) con 4 tubos de 4" HG.	ml	70	Q5 373,30	Q376 130,72
4	Entubado y cableado trifásico desde TDP PRINCIPAL hasta TMC-3 con 3X (4# 350 MCM THHN (F) + 4#350 MCM THHN (N) + 4# 1/0 THHN (T)) con 4 tubos de 4" HG.	ml	81	Q5 373,30	Q435 236,98
5	Entubado y cableado trifásico desde TDP PRINCIPAL hasta TMC-4 con 3X (5# 350 MCM THHN (F) + 5#350 MCM THHN (N) + 5# 1/0 THHN (T)) con 5 tubos de 4" HG.	ml	92	Q6 368,29	Q585 882,68

Continuación de la tabla XII.

6	Tablero de distribución principal trifásico, 120/208V, con barras de 3000 amperios, con interruptor principal de 3X3000 amperios, barra de neutro sólido y aislado, barra de tierra física independiente, conteniendo los siguientes ramales: -- 04 de 3X1000A -- 01 de 3X600A	u	1	Q172 350,00	Q172 350,00
7	Entubado y cableado trifásico desde la transferencia automático hasta TD-PRINCIPAL con 3X (7# 500 MCM THHN (F) + 7#500 MCM THHN (N) +7 # 500 THHN (T))	ml	8	Q9 867,25	Q78 938,00

Total	Q2 331 553,41
IVA 12 %	Q279 786,41
Gran total	Q2 611 339, 82

Equipos y acometidas para el sistema ducto barra					
Alcances y unidades				Subtotal	
No.	Descripción	Unidad	Cantidad	Unitario	Total
1	DB PLUG INN Y FEEDER Ducto Barra de 4,000 amperios, de aluminio, 100% neutro, trifásico, 120/208V para conexión de Plug Inn. (pies). El ducto barra debe estar compuesto por los siguientes accesorios: -- 1 Box Conexión. -- 2 Codos Horizontales a 90 grados. -- 1 Codo Vertical a 90 grados. -- 1 Tapadera End Box para el final del ducto barra.	Ft	281	Q3 871,27	Q1 087 826,87

Continuación de la tabla XII.

2	PI-800A Plug Inn para ducto barra de 4,000 amperios, con interruptor termo magnético de 3 X 1,000 amperios.	U	4	Q67 242,14	Q268 968,56
3	PI-600A Plug Inn para Ducto Barra de 4,000 amperios, con interruptor termo magnético de 3 X 600 amperios.	U	1	Q28 398,02	Q28 398,02
4	Entubado y cableado trifásico desde PLUG INN hasta PPTSG-1 con 3X(2# 350 MCM THHN (F) + 2#350 MCM THHN (N) + 2# 1/0 THHN (T)) con 2 tubos de 2" HG.	ml	3	Q3 383,31	Q10 149,93
5	Entubado y cableado trifásico desde TDP PRINCIPAL hasta PMC-1 con 3X(3# 350 MCM THHN (F) + 3#350 MCM THHN (N) + 3# 1/0 THHN (T)) con 3 tubos de 3" HG.	ml	3	Q4 378,30	Q13 134,90
6	Entubado y cableado trifásico desde TDP PRINCIPAL hasta PMC-2 con 3X(3# 350 MCM THHN (F) + 3#350 MCM THHN (N) + 3# 1/0 THHN (T)) con 3 tubos de 3" HG.	ml	3	Q4 378,30	Q13 134,90
7	Entubado y cableado trifásico desde TDP PRINCIPAL hasta PMC-3 con 3X(3# 350 MCM THHN (F) + 3#350 MCM THHN (N) + 3# 1/0 THHN (T)) con 3 tubos de 3" HG.	ml	3	Q4 378,30	Q13134,90
8	Entubado y cableado trifásico desde TDP PRINCIPAL hasta PMC-4 con 3X(3# 350 MCM THHN (F) + 3#350 MCM THHN (N) + 3# 1/0 THHN (T)) con 3 tubos de 3" HG.	ml	3	Q4 378,30	Q13134,90

Total	Q1 447 883,00
IVA 12 %	Q 173745,96
Gran total	Q 1 621 628,96

Fuente: elaboración propia.

4.3. Principales normas relacionados con el sistema ducto barra

La National Electrical Manufacturers Association (NEMA) define al ducto barra como un sistema de distribución eléctrica prefabricada que consta de barras dentro de una carcasa protectora; incluyen tramos rectos, dispositivos y accesorios.

Los siguientes artículos cubren el servicio de entrada, alimentador, las vías de circuitos derivados y accesorios correspondientes.

- Normas relacionadas con la instalación del ducto barra de baja tensión según el código eléctrico nacional (NEC). Los principales requerimientos para la segura aplicación del ducto barra, según el código eléctrico nacional (NEC), se mencionan a continuación.
 - Artículo 368-10. Usos permitidos
 - Expuestos. El ducto barra solo puede ser utilizado en instalaciones a la vista. Excepto lo indicado en 368-10 (C).
 - Oculto. El ducto barra se podrá instalar detrás de paneles de acceso, siempre que los ductos barras sean totalmente cerradas, del tipo no ventilado e instalado de manera que las uniones entre las secciones y en los accesorios sean accesibles para fines de mantenimiento. Si se instala detrás de paneles de acceso, los medios de acceso deben facilitarse y cualquiera de las siguientes condiciones se cumpla:

- ✓ El espacio detrás de los paneles de acceso no se utilizarán para distribución de aire.
 - ✓ Cuando el espacio detrás de los paneles de acceso se utiliza para distribución de aire, sean los ductos y cámaras, deberá haber disposiciones para conexiones *plug-in* y los cables deben estar aislados.
- A través de paredes y pisos. Se permite instalarse el ducto barra a través de paredes o pisos de acuerdo con (c)(1) y (c)(2).
 - Paredes. Ducto barra sin conexiones intermedias se permitirá que se extienda a través de paredes secas.
 - Pisos. Para instalarse en piso debe cumplirse lo siguiente:
 - El ducto barra se permitirá que se extienda verticalmente a través de piso seco si está totalmente cerrado (sin ventilación) y a una distancia mínima de 1,8 m (6 pies) por encima del suelo para proporcionar una protección adecuada contra daño físico.
 - En establecimientos industriales, donde el ducto barra pasa por dos o más plantas secas, un mínimo de 100 mm (4 pulg.) de bordillo se instalará alrededor de todas las aberturas del piso del ducto barratipo elevación para evitar que entren líquidos. El bordillo se instalará a menos de 300 mm (12 pulgadas) de la abertura en el piso. El equipo

eléctrico deberá ser ubicado de manera que no se dañe por líquidos que no sean retenidos por el bordillo.

- Artículo 368.12. Usos no permitidos
 - El ducto barra no debe ser instalado donde está expuesto a severos daños físicos o vapores corrosivos.
 - No deben instalarse en ductos de elevadores.
 - No pueden instalarse ductos barra en zonas peligrosas (clasificada) a menos que estén aprobadas para tal uso.
 - Ductos barra no deben ser instalados al aire libre o en lugares húmedos o mojados a menos que estén identificados para ese uso.
- Artículo 368.17. Protección contra sobrecorrientes: la protección contra sobrecorriente será previsto de acuerdo a lo siguiente:
 - Capacidad nominal de protección de sobrecorriente, alimentadores. Un ducto barra deberá protegerse contra sobrecorriente de acuerdo con la capacidad de corriente permisible. Excepto lo indicado en los artículos 240-4 y 450-6(a)(3).
 - Reducción en ampacidad del ducto barra. La protección de sobrecorriente será exigida cuando el ducto barra disminuye su corriente admisible.

- Artículo 368.30. Soportes: el ducto barra deberá estar seguramente soportado a distancias no mayores de 5 pies (1,5 m) a menos que estén diseñados y marcados de otra forma.

- Artículo 368.56. Ramales desde el ducto barra
 - General. Los ramales desde el ducto barra se harán usando cualquiera de los siguientes métodos de cableado: tipo AC cable blindado, tipo MC metal-clad cable, tipo MI con aislamiento mineral, cable forrado de metal, tipo IMC tubo metálico intermedio, tipo RMC tubo metal rígido, tipo FMC tubo metálico flexible, tipo LFMC tubo flexible metálico hermético, tipo PVC, tipo RTRC tubo reforzado con resina, tipo LFNC tubo flexible no metálico, tipo EMT tubo metálico eléctrico, tipo ENT tubo no metálico eléctrico, canalización metálica de superficie y canalización de superficie no metálica.

 - Conexión de cables y cordones. Las conexiones de cordones y cables adecuados son los aprobados para el servicio pesado para la conexión de equipo portátil o para la conexión de equipo fijo con el fin de facilitar su intercambio de acuerdo con 400,7 y 400,8.

- Artículo 368.58. Terminales muertas: las terminales muertas de ducto barra deben estar completamente cerrados por medio de una tapa final.

- Artículo 368-60. Toma de tierra: el ducto barra deberá ser conectada a un equipo de conductores de tierra, a un equipo de

unión puente, o a un conductor de protección cuando lo permita o requerido por 250,92 (B)(1) o 250,142.

- Artículo 368.120. Marcas: el ducto barra debe marcarse con el voltaje y la capacidad de corriente para los que fue diseñado, así como con el nombre del fabricante o marca comercial, de manera que sean visibles después de la instalación.

CONCLUSIONES

1. El método convencional necesita grandes espacios para la distribución de la energía eléctrica en cada nivel, en el proyecto de AVIA en su diseño se exigió la optimización, por lo que el método convencional exigía más espacio en la distribución ya que los calibres de los conductores a utilizar serían muy grandes y, de igual manera, en los tableros de distribución principal. Si bien, con este método todo lo relacionado a la distribución eléctrica sería muy voluminoso.
2. Generalmente, la distribución por medio de cables eléctricos es el más común, por lo que diseñar un sistema convencional facilitó un poco, ya que se cuenta con mucha información la cual ayudó a tomar rápidamente ciertas decisiones en el diseño. Diseño utilizando ducto barras para alimentar desde el tablero eléctrico hacia las cargas, se logra una disminución en las dimensiones del tablero eléctrico general; la distribución de las cargas es más racionalizada y se realiza a través de cajas de derivación que se enchufan al ducto barra.
3. El análisis de diseño en ducto barra tiene sus complicaciones, pero al hacer las investigaciones correspondiente, se logran buenos resultados en el diseño; también, identificar las ventajas ante un sistema convencional.
4. Al comparar los dos sistemas en estudio, se identificaron las ventajas y desventajas de ambos sistemas; con ello tenemos claro que un sistema

de ducto barra es más eficiente y económico, logran satisfacer todas las necesidades o requerimiento de nuestro proyecto.

RECOMENDACIONES

1. Los tableros eléctricos deben tener la respectiva puesta a tierra por medio de sus armazones para evitar contactos eléctricos no deseados.
2. Las ubicaciones y dimensionamiento de los elementos eléctricos deben cumplir con las respectivas normas de seguridad, con el fin de mantener la continuidad del servicio eléctrico, además de la seguridad de las personas al realizar trabajos de mantenimiento.
3. Los ducto barras se pueden utilizar en las rutas más diversas y complejas, para ello utilizan accesorios como curvas, *offset* y tes; y pueden transmitir corrientes elevadas sin pérdida eléctrica y mecánica.

BIBLIOGRAFÍA

1. ABB Power Technology, S.A. *Transformadores de distribución tipo seco encapsulado al vacío*. Madrid: Enabled, 2004. 4 p.
2. ESTEVEZ, Ángel. *Código eléctrico nacional*. Estados Unidos: NEC, 2008. 32 p.
3. DUFO LOPEZ, Rodolfo. *Cálculo de sistemas de tierra para edificios*. España: Fundación Técnica Industrial, 2004. 75 p.
4. Empresa Eléctrica de Guatemala. *Manual de acometidas*. Guatemala: EEGSA, 2004. 41 p.
5. ENRIQUEZ HARPER, Gilberto. *Elementos de diseño de subestaciones eléctricas*. 2a ed. México: Limusa, 2008. 137 p.
6. KOENISGSBERGER, Rodolfo. *Instalaciones eléctricas*. Trabajo de graduación de Ing. Eléctrica. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 1994. 157 p.
7. National Eléctrical Manufacturers Association. *Busway the Modern way to power distribution*. USA: NEMA, 1986. 4 p.
8. Ducto barra EATON. [en línea]. <<http://www.ducto>>. [Consulta: 25 de junio de 2019].

APÉNDICES

Apéndice 1. Característica general del ducto barra



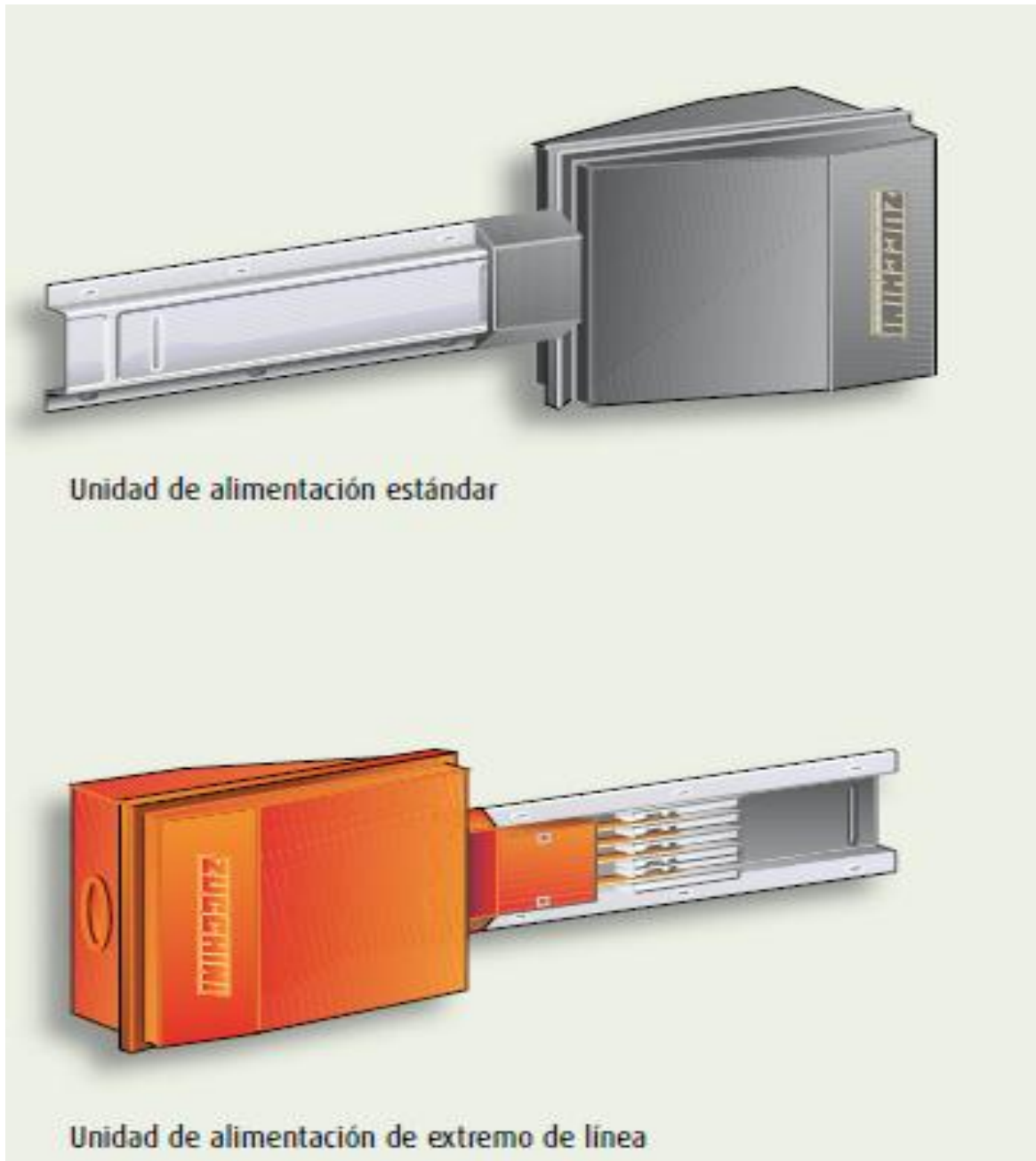
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Caja sin derivación**



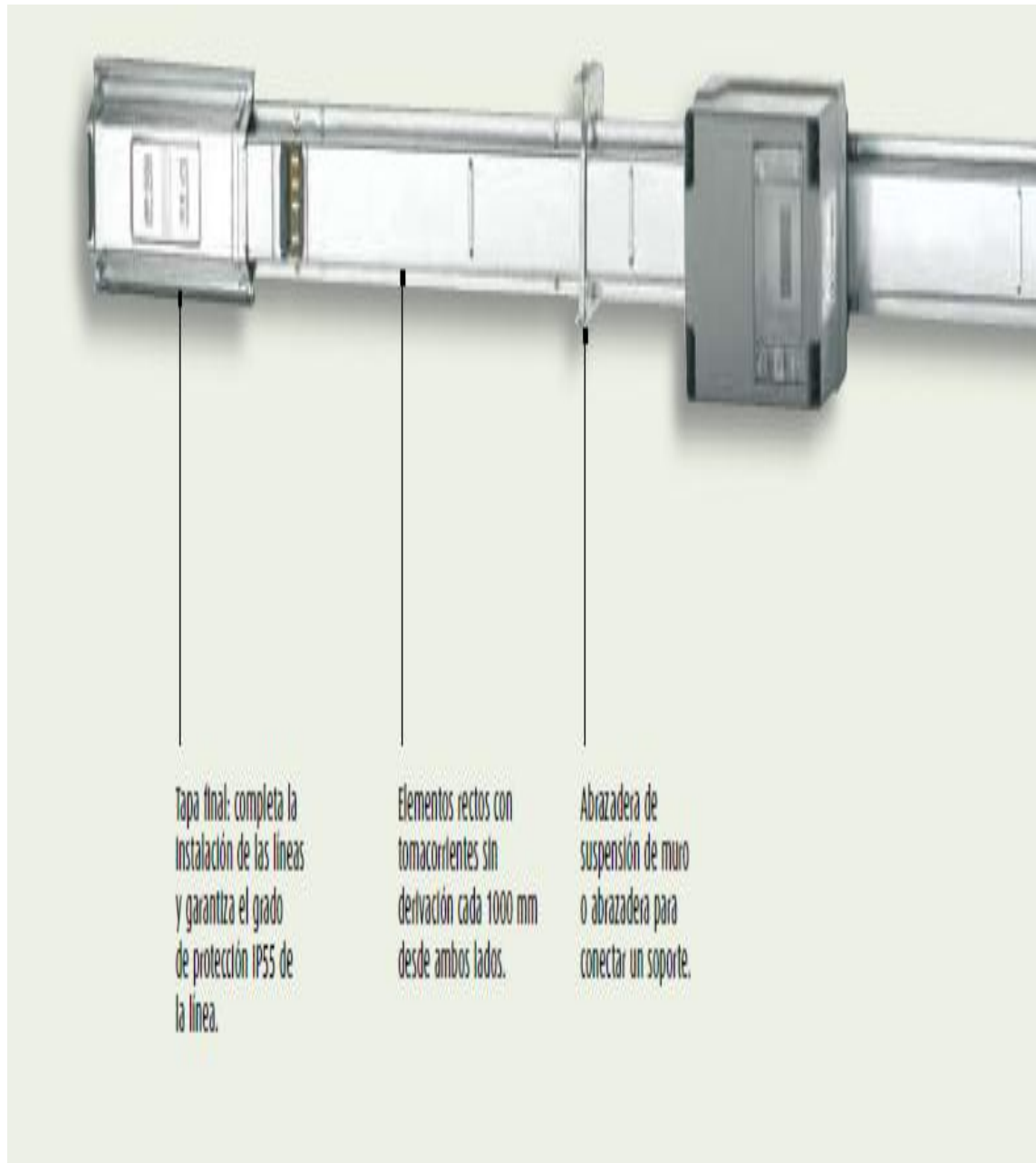
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. **Unidad de alimentación**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. Componentes de enlace y elementos adicionales



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. Partes de la línea



Fuente: elaboración propia.

