

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



**DISEÑO FOTOVOLTAICO Y DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA  
SUBTERRÁNEA PARA LAS FACULTADES DE CIENCIAS Y  
HUMANIDADES Y CIENCIAS ECONÓMICAS DE LA  
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

PRESENTADO POR:

**JAIME ANTONIO AGUILAR RODRIGUEZ**

**JOSE LUIS MARQUEZ DIAZ**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

**INGENIERO ELECTRICISTA**

CIUDAD UNIVERSITARIA, AGOSTO DE 2019

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

RECTOR:

**MSC. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO**

SECRETARIA GENERAL:

**MSC. CRISTOBAL HERNÁN RÍOS BENÍTEZ**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

DECANO:

**ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL**

SECRETARIO:

**ING. JULIO ALBERTO PORTILLO**

**ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

DIRECTOR:

**ING. ARMANDO MARTÍNEZ CALDERÓN**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

**INGENIERO ELECTRICISTA**

Título :

**DISEÑO FOTOVOLTAICO Y DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA  
SUBTERRÁNEA PARA LAS FACULTADES DE CIENCIAS Y  
HUMANIDADES Y CIENCIAS ECONÓMICAS DE LA  
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

Presentado por :

**JAIME ANTONIO AGUILAR RODRIGUEZ**

**JOSE LUIS MARQUEZ DIAZ**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

**MSC. JORGE ALBERTO ZETINO CHICAS**

San Salvador, Agosto de 2019

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor:

**MSC. JORGE ALBERTO ZETINO CHICAS**

## ACTA DE CONSTANCIA DE NOTA Y DEFENSA FINAL

En esta fecha, martes 30 de julio de 2019, en la Sala de Lectura de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, a las 11:00 a.m. horas, en presencia de las siguientes autoridades de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador:

1. Ing. Armando Martínez Calderón  
Director

  
Firma

2. MSc. José Wilber Calderón Urrutia  
Secretario

  
Firma

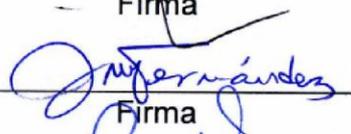


Y, con el Honorable Jurado de Evaluación integrado por las personas siguientes:

- MSC. JORGE ALBERTO ZETINO CHICAS  
(Docente Asesor)

  
Firma

- ING. JOSE MIGUEL HERNANDEZ

  
Firma

- ING. GERARDO MARVIN JORGE HERNANDEZ

  
Firma

Se efectuó la defensa final reglamentaria del Trabajo de Graduación:

DISEÑO FOTOVOLTAICO Y DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA SUBTERRÁNEA PARA LAS FACULTADES DE: CIENCIAS Y HUMANIDADES Y CIENCIAS ECONÓMICAS DE LA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

A cargo de los Bachilleres:

- AGUILAR RODRIGUEZ JAIME ANTONIO

- MÁRQUEZ DÍAZ JOSÉ LUIS

Habiendo obtenido en el presente Trabajo una nota promedio de la defensa final: 8.5

( Ocho punto cinco )

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios Padre, Hijo y Espíritu Santo por protegerme durante todo mi camino y darme fuerzas para superar obstáculos y dificultades a lo largo de toda mi vida, por permitirme llegar a este momento tan especial.

A mi hermana Patricia Aguilar que siempre ha estado junto a mí y siempre me brindó su apoyo durante este proceso universitario.

De igual forma, dedico esta tesis a mi madre que ha sabido formarme con buenos sentimientos, hábitos y valores, lo cual me ha ayudado a salir adelante en los momentos más difíciles.

Agradezco también a mi Padre por ser en apoyo en mi carrera en determinados momentos, que aun estando lejos lo llevo siempre en mi corazón y mente.

Gracias a todas las personas que ayudaron directa e indirectamente en la realización de este proyecto.

**Jaime Antonio Aguilar Rodriguez.**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecer a Dios por siempre darme la salud, fortaleza y perseverancia necesaria para poder alcanzar este logro.

A mis padres José Elías Márquez y Dinora Díaz de Márquez por su esfuerzo y ser mi apoyo siempre en cada momento que lo necesito, por haber confiado en mí y darme la oportunidad de estudiar.

A los docentes que día con día nos ayudaron a nuestra formación profesional.

A mis compañeros con quienes compartimos durante este proceso académico.

**José Luis Márquez Díaz**

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	4
OBJETIVOS:.....	5
General.....	5
Específicos.....	5
ALCANCES: .....	6
ANTECEDENTES:.....	7
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA: .....	8
JUSTIFICACIÓN: .....	9
CAPÍTULO I .....	10
1. DISEÑO FOTOVOLTAICO .....	10
1.1 ESTADO ACTUAL DE LA GENERACION FOTOVOLTAICA.....	10
1.2 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA .....	11
1.3 SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO CONECTADO A LA RED .....	11
1.4 CRITERIOS DE DISEÑO DE LA RED FOTOVOLTAICA .....	12
1.4.1 Selección del módulo fotovoltaico e inversor.....	12
1.4.2 Selección de modulo fotovoltaico a utilizar.....	15
1.5 CALCULO DE PARAMETROS PARA EL DISEÑO.....	16
1.5.1 Análisis de temperatura .....	16
1.5.2 Calculo de la corriente de cortocircuito.....	17
1.5.3 Calculo del número de módulos fotovoltaicos por string .....	17
1.5.4 Calculando la potencia de cada string. ....	18
1.6 SELECCIÓN DE INVERSOR A UTILIZAR .....	19
1.7 CALCULANDO NÚMERO DE STRING POR INVERSOR.....	20
1.7.1 Potencia que le llegara a cada entrada del inversor: .....	21
1.8 DISEÑO FOTOVOLTAICO .....	21
1.8.1 Factores a tomar en cuenta en el diseño del sistema fotovoltaico.....	22
1.8.2 Diseño de la estructura a emplear en techos sin inclinación .....	22
1.8.3 Diseño de la estructura a emplear en techos con inclinación.....	24
1.8.4 Fusibles y cableado a utilizar .....	27
1.8.5 Circuito unifilar modelo para este proyecto .....	27
1.8.6 Diseño fotovoltaico para edificio de periodismo y letras .....	28
1.8.7 Resumen de las características del sistema fotovoltaico .....	31
1.8.8 Índice de producción final (yf) .....	32

CAPITULO II .....	35
2. FUNDAMENTOS DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN .....	35
2.1 CONFIGURACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN .....	35
2.1.1 Configuración en anillo .....	35
2.1.2 Configuración en anillo con una fuente de alimentación. ....	35
2.1.3 Configuración en anillo con dos fuentes de alimentación .....	36
2.1.4 Configuración en anillo con tres fuentes de alimentación.....	37
2.2 EQUIPOS ELECTRICOS EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN.....	38
2.2.1 Transformadores de distribución .....	38
2.2.2 Interruptor de distribución (switchgear) .....	45
2.3 ACCESORIOS PAR EQUIPOS ELECTRICOS DE DISTRIBUCIÓN SUBTERRANEA.....	47
2.3.1 Derivador múltiple.....	47
2.3.2 Terminales en sistemas en 200 amperios.....	48
2.4 CABLE DE ENERGIA DE MEDIA TENSIÓN .....	52
2.4.1 Elementos que componen un cable .....	52
2.5 ESPECIFICACIONES TECNICAS .....	59
2.5.1 Especificaciones del sitio .....	59
2.5.2 Obra civil.....	59
2.5.3 Tensiones y longitud máxima de jalado.....	63
2.5.4 Obra eléctrica .....	71
2.5.5 Guía para el mantenimiento eléctrico de la red primaria subterránea .....	75
2.5.6 Mantenimiento de los transformadores de distribución subterránea.....	81
CAPITULO III .....	86
3. CARACTERISTICAS DE LA DEMANDA DE ENERGIA .....	86
3.1 INTRODUCCIÓN .....	86
3.2 EQUIPO DE MEDICION USADO PARA OBTENER LOS PERFILES DE CARGA DE CADA EDIFICIO.....	86
3.3 PERFILES DE CARGA DE LOS EDIFICIOS DE LA FACULTAD DE CIENCIAS Y HUMANIDADES. ....	88
3.3.1 Subestación del edificio Dagoberto Marroquín .....	88
3.3.2 Subestación del edificio administrativo cchh.....	89
3.3.3 Subestación del edificio de periodismo. ....	90
3.3.4 Subestación del edificio de idiomas.....	91
3.3.5 Subestación auditorium 4 de humanidades. ....	92
3.3.6 Subestación del auditorium 2 .....	93
3.4 FACULTAD DE CIENCIAS ECONOMICAS.....	93

3.4.1 Subestación del comedor universitario. ....	93
3.4.2 Subestación del edificio administrativo. ....	95
3.4.3 Subestación del edificio Rafael Menjivar. ....	96
3.4.4 Subestación del edificio de docentes. ....	98
3.4.5 Subestación del edificio compartido con derecho. ....	99
3.4.6 Subestación del edificio Felipe Peña. ....	100
3.4.7 Subestación del edificio académica y economía. ....	101
3.4.8 Subestación del edificio Carlos Rodas. ....	102
3.5 FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMATICA. ....	103
3.5.1 Subestación del edificio de biología. ....	103
3.5.2 Subestación del edificio de química. ....	104
3.5.3 Subestación del edificio de jóvenes talentos. ....	105
3.5.4 Subestación del edificio de matemáticas. ....	106
3.5.5 Aire acondicionado para edificio de biología. ....	108
3.5.6 Laboratorios a-b. ....	108
3.5.7 Subestación del edificio de física. ....	109
3.5.8 Auditorium de ciencias naturales. ....	110
CAPITULO IV .....	113
4. PROPUESTA DE DISEÑO PARA LA RED SUBTERRÁNEA. ....	113
4.1 Introducción .....	113
4.2 CALCULO DEL ALIMENTADOR. ....	114
4.2.1 TENSIONES DE JALADO .....	115
4.2.2 DISTRIBUCIÓN DE RED ELÉCTRICA SECUNDARIA .....	121
4.3 EFECTOS A LA RESISTENCIA ALTERNA EN EL CABLE .....	123
4.4 IMPEDANCIA DE SECUENCIA CERO .....	132
4.5 ESTUDIO DE FALLAS. ....	136
4.5.1 Análisis de cortocircuito .....	136
4.5.2 protecciones para transformador del edificio de periodismo .....	139
4.5.3 PROTECCIONES EN LOS DERIVADORES .....	140
4.5.4 COORDINACIÓN ENTRE FUSIBLES LIMITADORES DE CORRIENTE Y FUSIBLES VISIGAP. ....	141
4.6 DISEÑO DE RED DE TIERRA .....	143
4.7 PRESUPUESTO PARA LA RED ELÉCTRICA SUBTERRÁNEA .....	145
CONCLUSIONES .....	149
BIBLIOGRAFIA. ....	151
ANEXOS .....	152

## INTRODUCCIÓN

El siguiente documento incluye el diseño de la red de distribución eléctrica subterránea para las facultades de Ciencias y Humanidades y la Facultad de Ciencias Económicas, y un diseño de un sistema fotovoltaico con conexión a red.

Las redes de distribución subterránea tienen diversas características como son: tipo de carga, nivel de tensión, topología de la red y los equipos para su operación. Las características anteriores constituyen los elementos más comunes para el diseño de los sistemas de distribución subterránea.

En el capítulo uno se expone el diseño de la red fotovoltaica, se hace un estudio de lo que es el estado actual de la generación fotovoltaica en El Salvador, se dan criterios de diseño de la red, así como de los equipos a utilizar.

Los siguientes capítulos contienen todo lo referente a la red de distribución subterránea. Se presenta la teoría sobre los sistemas de distribución en anillo, el equipo eléctrico a utilizar en el diseño, así como los accesorios que formaran parte de toda la configuración.

En el capítulo tres, se presentan los resultados de la investigación en cuanto al consumo eléctrico, se muestran los perfiles de carga, cuánto consume y qué tan sobredimensionado está cada transformador.

El capítulo cuatro presenta el diseño para la red eléctrica subterránea, para la que se utilizarán equipos como transformadores que ya estaban en uso, se realizó un cálculo detallado para la tensión de jalado que soporta el cable, se muestra los resultados de la simulación realizada en el software ETAP, esto para calcular las corrientes de cortocircuito que servirán para la selección de los equipos que conformarán la nueva red eléctrica.

Para el diseño fotovoltaico y el diseño de la red subterránea se muestra con detalle el cálculo del presupuesto por partidas y el tiempo en que se recuperará la inversión.

## **OBJETIVOS:**

### **General**

- Diseñar una red de distribución eléctrica subterránea y un sistema fotovoltaico con conexión a red para la Facultad de Ciencias y Humanidades y la Facultad de Ciencias Económicas.

### **Específicos**

- Elaborar los perfiles de carga de las edificaciones que se encuentran en la Facultad de Ciencias y Humanidades y la Facultad de Ciencias Económicas.
- Realizar con detalle el presupuesto del diseño de la red de distribución subterránea para ambas facultades.
- Elaborar un documento con especificaciones técnicas.
- Diseñar la instalación eléctrica de la red primaria y secundaria, así como los detalles de construcción y su respectivo diagrama unifilar.
- Realizar el cálculo adecuado para aprovechar al máximo la energía solar.
- Seleccionar los componentes eléctricos que garanticen la estabilidad y la calidad de energía por parte del sistema fotovoltaico.
- Calcular el presupuesto total del sistema fotovoltaico integrado.

**ALCANCES:**

En esta investigación se hará un estudio de la capacidad instalada y la carga que demandan ambas facultades, así como el diseño de la nueva red de distribución subterránea y el diseño del sistema fotovoltaico. Este tipo de instalación contribuirá a conservar el medio ambiente de la universidad ya que por la naturaleza de la red no se necesita la poda de árboles. Además se realizarán dos presupuestos, el de la nueva instalación, el del sistema fotovoltaico. Se elaborará un documento con las especificaciones técnicas de los equipos así como las normas de construcción de la red eléctrica y de los equipos que se utilizarán en la red fotovoltaica.

**ANTECEDENTES:**

La red primaria aérea existente en la UES presenta considerables desventajas en relación con una red subterránea; en ese sentido se han venido desarrollando diversos tipos de graduación con los cuales se pretende preparar las condiciones para llevar licitaciones para la construcción de dicha red. En el 2016 se terminó de desarrollar un trabajo de tesis “Distribución Eléctrica Subterránea, plan de desarrollo de la facultad de ingeniería y arquitectura”, la cual corresponde a la acometida subterránea que comprende el complejo deportivo, la Facultad de Ingeniería y una parte de la Facultad de Agronomía. En esta oportunidad se trata de desarrollar lo correspondiente a la Facultad de Ciencias y Humanidades y la Facultad de Ciencias Económicas integrado a los trabajos efectuados con anterioridad.

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:**

En la actualidad la red eléctrica que funciona en la Facultad de Ciencias y Humanidades y la Facultad de Ciencias Económicas, es aérea y por lo tanto está expuesta a una gran cantidad de fallas de todo tipo, entre las que se pueden mencionar; fallas por sobrecarga, fallas por contacto animal, por postes caídos, por carga atmosférica, etc. La red de distribución subterránea está exenta de muchas de estas fallas, evitando así los cortes repentinos de energía provocados por estas. Por otra parte la red eléctrica aérea presenta un alto grado de inseguridad para los estudiantes, ya que las líneas se encuentran al alcance de las personas que transitan por la zona. Una de las principales fallas en la red actual es por el contacto de ramas de árboles con las líneas y esto conlleva a podar constantemente los árboles, generando un impacto considerable en el medio ambiente. La distribución eléctrica subterránea es una solución viable para solucionar los problemas mencionados anteriormente. Hoy en día la Universidad está pagando alrededor de 125,000 dólares mensuales en energía eléctrica y para reducir este gasto se quiere implementar una red fotovoltaica, aprovechando los techos de los edificios en las ya mencionadas facultades.

## **JUSTIFICACIÓN:**

Con la red de distribución subterránea se pretende mejorar la distribución de energía eléctrica en, así como reducir significativamente la tasa de fallas de las líneas de distribución, reducir la probabilidad de accidentes por contacto eléctrico y contribuir a la conservación del medio ambiente en la Universidad. En este punto se evita la poda de árboles por mantenimiento de la red aérea, además la fauna que habita en el campus muchas veces muere al hacer contacto con estas. El proyecto contribuirá a cuidar tanto la fauna como la flora de la Universidad.

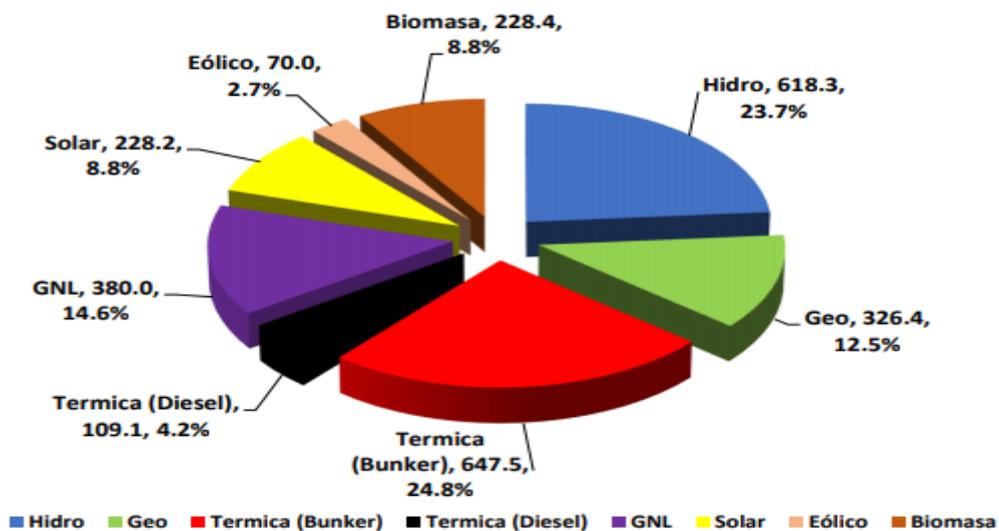
Mediante el diseño fotovoltaico se pretende reducir el costo de la energía eléctrica del campus, además se quiere aprovechar el buen nivel de irradiación que se tiene en nuestro país. El sistema será integrado a la distribución subterránea diseñada para la acometida Complejo Deportivo en la tesis “distribución eléctrica Subterránea, plan de desarrollo de la facultad de ingeniería y Arquitectura”, realizada el año 2016. En el futuro se pretende que la acometida del polideportivo junto a la Facultad de Agronomía sean las únicas que brinden energía eléctrica en forma subterránea a la Universidad.

## CAPÍTULO I

### 1. DISEÑO FOTOVOLTAICO

#### 1.1 ESTADO ACTUAL DE LA GENERACION FOTOVOLTAICA

El Salvador crece en la producción de energía fotovoltaica. La matriz energética cada vez depende menos de los combustibles fósiles. La producción de energía en El Salvador incrementó en los últimos cinco años principalmente por el despegue de proyectos solares. Según datos de la Superintendencia General de Electricidad Telecomunicaciones (SIGET), la estructura de producción del sector se acentuó entre 2014 y 2017 se incrementó 339,47 MW en las diferentes tecnologías. Solo en la generación fotovoltaica, el incremento de la capacidad instalada fue de 1,9 % entre 2014 y 2017, indican las cifras de esta institución. Una de las fuentes que más creció fue la de la energía solar, En 2014 esta fuente solo representaba el 0,72 % de participación de toda la matriz energética, pero ahora ha crecido a 4.91 % impulsada por más de siete proyectos de plantas solares colocadas en distintos puntos del país y promovidos, en su mayoría, por la empresa privada.



*Figura1. Escenario de capacidad instalada en El Salvador al 2021.*

Para el 2021 se pretende tener una matriz energética como la que se presenta en la figura 1.1 donde podemos ver un incremento en el porcentaje aportado por la energía generada a partir del aprovechamiento de la energía solar.

El alto costo de la energía eléctrica que tiene que pagar la universidad de El Salvador ha llevado a que en algunas de las facultades se cuente ya con un diseño fotovoltaico para poder implementarlo en un futuro, es por ello que se ha tomado a bien realizar un diseño fotovoltaico para las facultades de economía y humanidades esto con el fin de poder reducir el costo de la energía aprovechando el recurso de la energía solar.

## 1.2 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Se entiende por energía solar fotovoltaica la transformación de los rayos del sol en energía eléctrica a partir de la utilización de las propiedades eléctricas de los materiales contenidos en las células solares.

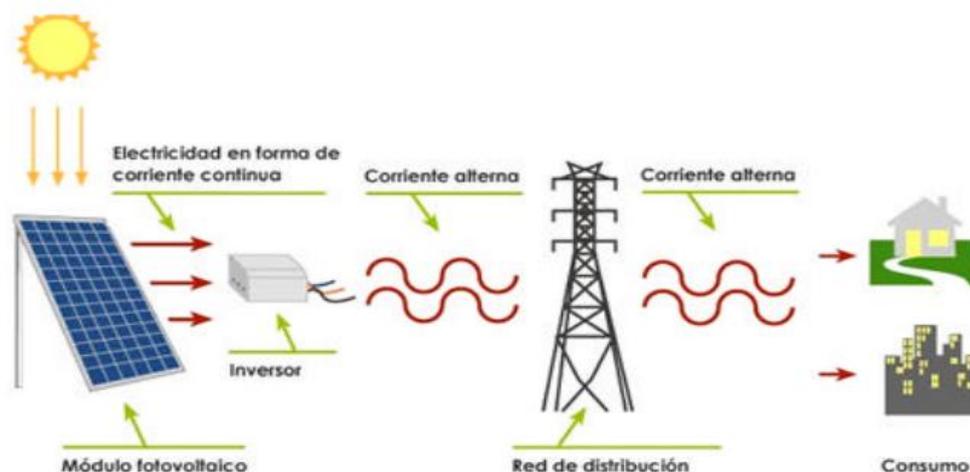
Durante los últimos años, en el campo de la actividad fotovoltaica, los sistemas de conexión a la red eléctrica constituyen la aplicación que mayor expansión ha experimentado. La extensión a gran escala de este tipo de aplicaciones ha requerido el desarrollo de una ingeniería específica que permite, por un lado, optimizar diseño y funcionamiento tanto de productos como de instalaciones completas, desarrollar nuevos productos con los conocimientos adquiridos y, por otro, evaluar su impacto en el conjunto del sistema eléctrico, siempre cuidando la integración de los sistemas y respetando el entorno arquitectónico y ambiental.

## 1.3 SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO CONECTADO A LA RED

Este tipo de instalaciones se encuentra permanentemente conectado a la red eléctrica, de tal forma que en periodos de irradiación solar, sea el sistema fotovoltaico quien entregue energía, mientras que en periodos de radiación limitada o nula, sea la red eléctrica quien entregue la electricidad necesaria para satisfacer la demanda.

En el caso de que la energía generada por el sistema sea superior a la demanda localmente, la red eléctrica aceptará todo excedente de energía que no sea utilizado.

Los equipos que forman parte de estas instalaciones son: panel fotovoltaico, inversor de corriente para pasar de CC a CA. Para poner en funcionamiento una instalación fotovoltaica de este tipo es necesario contar con un punto de acceso a la red eléctrica, que permitirá entregar la energía generada, este punto de acceso es asignado por la compañía eléctrica del sector donde se realice la instalación. La figura2 presenta un esquema de un sistema conectada a la red.



**Figura 2.** Ilustración de un sistema fotovoltaico conectado a la red.

La universidad paga por el suministro de energía eléctrica alrededor de \$18,733.96 mensualmente a la empresa distribuidora CAESS por el servicio en la acometida para Ciencias y Humanidades, por lo que se ha tomado a bien reducir el consumo energético diseñando un sistema fotovoltaico conectado a la red que suministre energía eléctrica a 9 edificios los cuales cuentan con un área de techos ideal para este tipo de proyectos, esto ayudara también a reducir las carencias que presenta el servicio de energía eléctrica que abastece la universidad y para este caso puntual para las Facultades que son alimentadas por la acometida de HUMANIDADES ubicada en el sector NOR-OESTE frente a ANDA.



*Figura 3. Edificios correspondientes a las dos facultades a realizar el diseño FV*

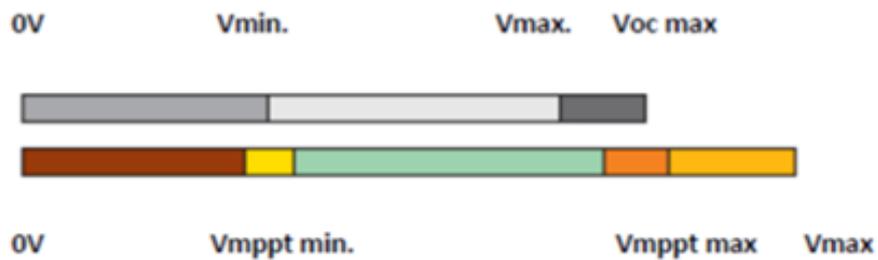
## 1.4 CRITERIOS DE DISEÑO DE LA RED FOTOVOLTAICA

### 1.4.1 Selección del módulo fotovoltaico e inversor

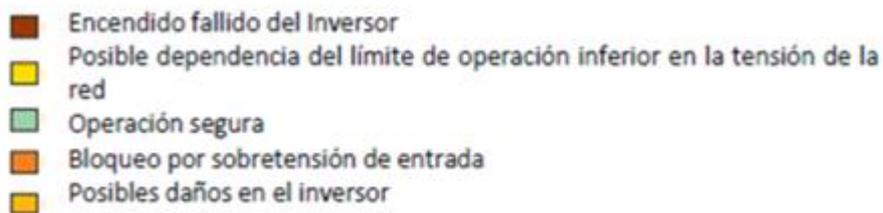
Una de las principales razones para la selección de los módulos es la eficiencia y su potencia pico, ya que a mayor eficiencia y potencia, menor número de módulos por instalación y área a utilizar, otro factor a tomar en cuenta es la disponibilidad de fabricantes con la que se cuente en el país lo que nos ayudara a reducir los costos a

la hora de obtener los módulos fotovoltaicos, otros factores que a los que se debe prestar atención para realizar un buen diseño son los mostrados a continuación.

- Requerimientos de voltaje y corriente DC y AC tanto a la entrada como a la salida de los diferentes equipos, monofásicos o trifásicos.
- Debido a que los inversores de conexión a red permiten operar a los MFV en el punto de máxima potencia MPPT, debe asegurarse que el voltaje de trabajo del conjunto de MFV o string, opere dentro del rango de operación en el que el inversor controla el MPPT.



**Figura 4.** Intervalo de operación en DC del campo fotovoltaico.

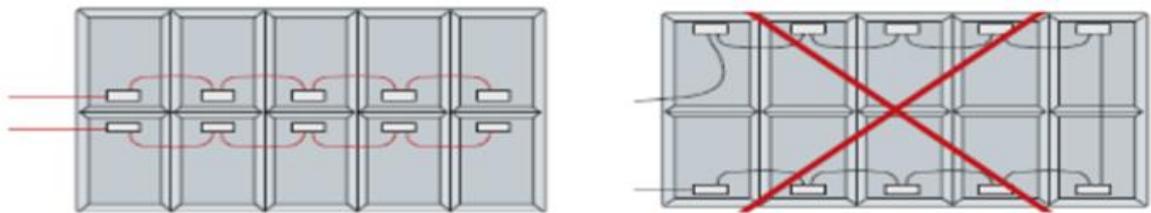


**Figura 5.** Intervalo de operación en DC del inversor.

- Los MFV, tienen un voltaje en vacío  $V_{oc}$  mayor, en aproximadamente un 15% al voltaje de trabajo  $V_{mppt}$ , es necesario asegurarse que el voltaje resultante de la configuración de MFV, string, no sobrepase el voltaje máximo que soporta el inversor a su entrada.
- En El Salvador la temperatura de operación de los MFV puede alcanzar los  $70^{\circ}\text{C}$ , y de igual manera, la temperatura ambiente varía, dependiendo de la zona, entre los  $5^{\circ}\text{C}$  y  $40^{\circ}\text{C}$ , estas variaciones afectan la operación de los MFV, su potencia y sus voltajes de trabajo y de vacío, por tanto, es necesario evaluar los cambios y asegurarse de que estos no superen los voltajes y corrientes de operación del inversor. El fabricante proporciona los coeficientes de temperatura de sus MFV, útiles para efectuar los cálculos.
- Las protecciones del sistema tanto en DC como en AC se deben instalar tomando en cuenta que cada String de MFV, debe tener su respectiva protección basados en la corriente de cortocircuito  $I_{sc}$ , y considerando que dicha corriente corresponde a una irradiancia de  $1000\text{W}/\text{m}^2$ , y que esta

puede bajo condiciones especiales ser mayor, lo que incrementaría la corriente en el sistema por encima de los valores normalizados.

- Las protecciones contra transitorios de sobretensión por descargas eléctricas y conmutación también deben de instalarse en la entrada DC de cada inversor y en el tablero de inversores AC .
- En general, aunque se ha diseñado la instalación a un nivel de tensión inferior a 600 voltios DC, el nivel de aislamiento del cableado DC será para 1000 voltios.
- Los MFV se escogerán de manera tal que la relación KWp/Área sea la más grande posible, para asegurar un mejor aprovechamiento del espacio disponible, en ese sentido las tecnologías de MFV a emplear serán mono cristalinas o policristalinas.
- El cableado entre MFV se debe efectuar instalando los MFV en oposición, facilitando que los conductores + y - se canalicen juntos, con el objeto de disminuir el campo magnético en la instalación, otras alternativas deben evaluarse basados en el criterio anterior.



**Figura 6.** Forma correcta de conectar los módulos FV.

- Se evitará que en los MFV, se tengan problemas de sombra por árboles, edificaciones y entre filas. Se dispondrán en forma horizontal o vertical, para minimizar dichos efectos.
- En cuanto a la ubicación de los MFV en los diferentes edificios, la figura muestra algunas alternativas que pueden emplearse.



**Figura 7.** Formas de instalar los MFV. Sobre techos inclinados, integrado al techo, en techos planos, en la fachada, como tragaluz, como cubre sol, en el piso.

Para hacer una buena elección del MFV nos ayudaremos también de la tabla 1, en ella se hace una comparación de las características de diferentes potencias y tecnologías de módulos fotovoltaicos.

DIMENSIONES		POTENCIA	AREA	RELACION	TECNOLOGIA
LARGO(M)	ANCHO(M)	WATTS	M2	W/AREA	
1.2	0.6	85	0.72	118.06	Placa delgada CdTe
1.58	0.8	200	1.26	158.23	Mono o Poli
1.65	1.75	220	2.89	76.19	Monocristalino
1.68	1	240	1.68	142.86	Monocristalino
1.68	0.99	245	1.66	147.31	Monocristalino
1.65	0.99	245-270	1.63	165.3	Monocristalino
1.95	0.99	300	1.93	155.4	Monocristalino
1.954	0.982	310	1.918	161.62	Policristalino
1.95	0.996	310	1.94	159.61	Policristalino
1.56	1.04	315	1.62	194.16	Monocristalino
1.65	1.42	320	2.34	136.58	Policristalino
1.56	1.56	325	2.43	133.55	Monocristalino

**Tabla 1.** Cuadro comparativo  $W_p/\text{Área}$  entre diferentes tecnologías.

Como se puede ver la mejor relación que se obtiene es para una potencia de 310 Wp con tecnología Policristalina, por lo que se tomara en cuenta esto a la hora de seleccionar el módulo a emplear para este proyecto.

Después de revisar los factores que se tomarán en cuenta para hacer una buena selección del módulo fotovoltaico, también debemos hacer lo mismo con el inversor ya que este es uno de los elementos que viene a ser de los más importantes en un sistema fotovoltaico por lo que se debe elegir un inversor que ayude a optimizar nuestro diseño.

A la hora de entregar la energía eléctrica a la red, es necesario tratarla para que cumpla las características establecidas para inyectarla a la red, como que debe de ser senoidal, con frecuencia de 60 Hz y unos valores de tensión determinados para no crear perturbaciones en la red de suministro.

El inversor es el equipo que permite inyectar a la red eléctrica comercial la energía producida por el generador fotovoltaico. Su función principal es convertir la corriente continua procedente de la unidad generadora como lo son los paneles fotovoltaicos en corriente alterna. Un inversor debe de estar equipado de manera que se asegure un buen funcionamiento de la instalación como la seguridad de la misma.

#### 1.4.2 Selección de módulo fotovoltaico a utilizar

El módulo que se utilizara para este diseño será de la marca ALBATECH, el cual presenta las características mostradas en la tabla 2. Es de mencionar que el proveedor de este módulo solar es salvadoreño.

## MODULO SOLAR ALBATECH 310W

### 72 CELDAS/POLICRISTALINAS

#### RENDIMIENTO BAJO CONDICIONES DE PRUEBA

Potencia Maxima	Pmax	310 W
Voltaje de Circuito Abierto	Voc	45.7 V
Voltaje de MaximaPotencia	Vmpp	37.14 V
Corriente de Corto Circuito	Isc	8.87 A
Corriente Maxima Potencia	Impp	8.41 A

**Tabla 2.** Características del módulo fotovoltaico a utilizar.

## 1.5 CALCULO DE PARAMETROS PARA EL DISEÑO

### 1.5.1 Análisis de temperatura

Las temperaturas que se usaran deben estar en un rango donde se tomen en cuenta tanto como las mínimas así como las más extremas temperaturas a las que se puede exponer un equipo eléctrico para nuestro país, los valores que se usaran son :  $10^{\circ}\text{C}$  a  $75^{\circ}\text{C}$  y se usara una temperatura ambiente de  $25^{\circ}\text{C}$ .

Para todos los parámetros a utilizar en los siguientes cálculos que se harán presentamos una tabla con el valor de cada uno de ellos, tomados de los datos de proporcionados por el fabricante y para algunos parámetros que no se pudieron obtener vamos a utilizar valores estándares usados por la mayoría de proveedores.

#### PARAMETROS PARA ANALISIS DE TEMPERATURA

Temperatura ambiente	T	25	$^{\circ}\text{C}$
Temperatura minima	T	10	$^{\circ}\text{C}$
Temperatura maxima	T	75	$^{\circ}\text{C}$
Coeficiente de temperatura para Voc	$\beta_{\text{oc}}$	-0.3	$\%/^{\circ}\text{C}$
coeficiente de temperatura para Isc	$\alpha_{\text{sc}}$	0.02	$\%/^{\circ}\text{C}$
Coeficiente de temperatura para Vmpp	$\gamma_{\text{mpp}}$	-0.3	$\%/^{\circ}\text{C}$

**Tabla 3.** Parámetros a utilizar para análisis de temperatura.

Primero se realiza el cálculo de temperatura máxima y mínima de acuerdo a la temperatura ambiente.

$$(\Delta T)(10^{\circ}) = 10^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C} = -15^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T(75^{\circ}\text{C}) = (75 - 25)^{\circ}\text{C} = 50^{\circ}\text{C}$$

- CALCULANDO  $\Delta V_{OC}$  PARA CADA RANGO DE TEMPERATURA

$$\Delta V_{OC(10^{\circ}C)} = \beta_{V_{oc}} * \Delta T_{5^{\circ}} * V_{OC} + V_{OC}$$

$$\Delta V_{OC(10^{\circ}C)} = \frac{-0.3}{100} * (-15^{\circ}C) * 45.7 + 45.7 = 47.7565V$$

$$\Delta V_{OC(75^{\circ}C)} = \beta_{V_{oc}} * \Delta T_{70^{\circ}C} * V_{OC} + V_{OC}$$

$$V_{OC(75^{\circ}C)} = \frac{-0.3}{100} * (50^{\circ}C) * 45.7 + 45.7 = 38.8V$$

- CALCULANDO  $\Delta V_{MPP}$  PARA CADA RANGO DE TEMPERATURA

$$\Delta V_{MPP(10^{\circ}C)} = \beta_{V_{mpp}} * \Delta T_{10^{\circ}} * V_{MPP} + V_{MPP}$$

$$\Delta V_{MPP(10^{\circ}C)} = \frac{-0.3}{100} * (-25^{\circ}C) * 37.14 + 37.14 = 39.9255V$$

$$\Delta V_{MPP(75^{\circ}C)} = \beta_{V_{mpp}} * \Delta T_{75^{\circ}} * V_{MPP} + V_{MPP}$$

$$\Delta V_{MPP(75^{\circ}C)} = \frac{-0.3}{100} * (50^{\circ}C) * 37.14 + 37.14 = 31.569V$$

### 1.5.2 Calculo de la corriente de cortocircuito

Calculo para la mínima corriente de cortocircuito que se tendrá en el sistema.

$$I_{sc(10^{\circ}C)} = \frac{0.02}{100} * (-15^{\circ}C) * 8.87 + 8.87 = 8.84A$$

La corriente máxima que se puede alcanzar se debe calcular de acuerdo a la temperatura más alta para la cual se esté diseñando.

$$I_{sc(75^{\circ}C)} = \frac{0.02}{100} * (50^{\circ}C) * 8.87 + 8.87 = 8.96A$$

### 1.5.3 Calculo del número de módulos fotovoltaicos por string

$$\#Maximo\ de\ MFV/String = \frac{V\ Máxima\ de\ Inversor}{V_{OC}(10^{\circ}C)} = \frac{600V}{47.76V} = 12.56$$

$$\#Maximo\ de\ MFV/String \cong 12\ MFV/String$$

$$\#Minimo\ de\ MFV/String = \frac{V\ Minima\ de\ Inversor}{V_{OC}(75^{\circ}C)} = \frac{300V}{38.8V} = 7.7$$

El mínimo número de módulos que se podrán usar por string al igual que se hizo para el número máximo de módulos lo aproximaremos al siguiente valor entero que para este caso sería de 8 MFV por string

$$\# \text{Mínimo de MFV} / \text{String} \cong 8 \text{ MFV} / \text{String}$$

Ahora que ya tenemos el número mínimo y máximo de módulos para los que podemos diseñar, se trabajara con el valor promedio que resulte y así asegurarnos que no estemos por debajo o sobrepasando la cantidad de módulos que se puede usar de acuerdo a las temperaturas que ya se mencionaron anteriormente. Por lo que se usaran 10 MFV por cada string.

#### 1.5.4 Calculando la potencia de cada string.

Calculando para 10MFV:

La potencia que tendremos a la salida de cada string la obtenemos calculando para 10 MFV y usando la potencia que entrega el modulo, de la tabla2 tomamos su potencia de 310 Wp.

$$\text{Potencia/String} = \# \text{MFV/String} * \text{Potencia del módulo}$$

$$\text{Potencia/String} = 10 \text{MFV} * 310 \text{Wp}$$

$$\text{Potencia/String} = 3.1 \text{kW}$$

A la salida de cada string tendremos 3.1 kW, esto usando 10 MFV por string.

#### ➤ VMPP PARA EL RANGO DE TEMPERATURA 10°C A 75°C

Este rango es importante calcularlo porque nos ayudara a que el inversor trabaje de forma adecuada, el valor máximo lo encontramos de acuerdo al valor mínimo de temperatura para la que se está trabajando y el valor mínimo de arranque se obtiene con la temperatura máxima.

$$\text{Rango de VMPP}(10^\circ\text{C}) = \# \text{MFV/String} * V_{MPP}(10^\circ\text{C})$$

$$\text{Rango de VMPP}(10^\circ\text{C}) = 10 \text{MFV} * 39.3 \text{V}$$

$$\text{Rango de VMPP}(10^\circ\text{C}) = 392 \text{V}$$

$$\text{Rango de VMPP}(75^\circ\text{C}) = \# \text{MFV/String} * V_{MPP}(75^\circ\text{C})$$

$$\text{Rango de VMPP}(75^\circ\text{C}) = 10 \text{MFV} * 31.6$$

$$\text{Rango de VMPP}(75^\circ\text{C}) = 310 \text{V}$$

El inversor a utilizar deberá de estar en el rango de 310 V a 392 V

## 1.6 SELECCIÓN DE INVERSOR A UTILIZAR

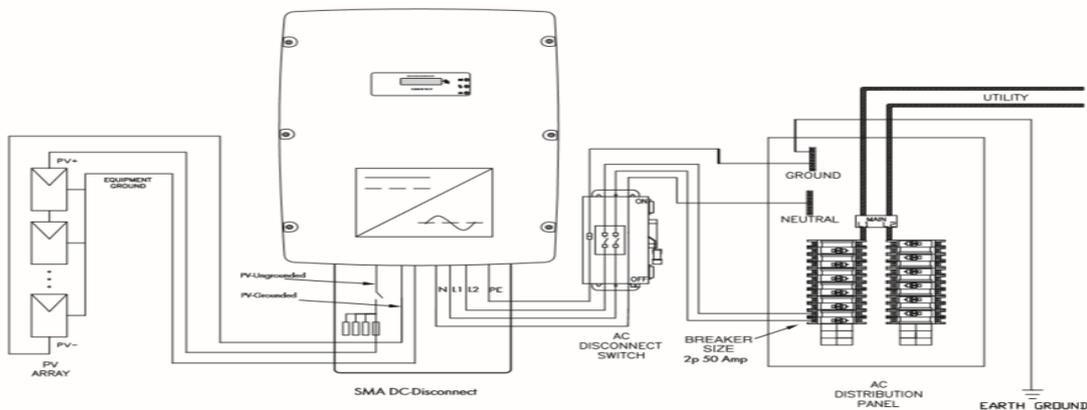
Se usaran inversores SUNNY BOY TL-US puesto que estos tienen características que se apegan al diseño que se quiere implementar, los inversores con potencias de 6000W y 9000W fueron los seleccionados para este proyecto, se analizaron diferentes potencias siendo las mencionadas que contribuyen a un mejor aprovechamiento del área disponible en cada edificio, hacemos mención que inversores de este proveedor con potencia de 8000W no se tomaron en cuenta a la hora de diseñar debido a que estos no están configurados para dar 208V a la salida y para nuestro caso es necesario este tipo de tensión por las configuraciones que tienen los arreglos trifásicos en el lado de media tensión.

Cuando se diseñe la cantidad de string que llegara a cada inversor se tomara en cuenta la corriente de cortocircuito pues es diferente la corriente que soporta a la entrada cada inversor de los dos mencionados anteriormente, otro punto que debe de especificarse en los cálculos es el rango de voltaje en el que opera el inversor, más adelante se mostraran los resultados del análisis para cada uno.

Los inversores se deben de elegir teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- Potencia Nominal (kW)
- Tensión nominal de entrada (V)
- Tensión nominal de salida (V)
- Frecuencia de operación (Hz)
- Rendimiento

Este proveedor facilita un diagrama de conexión el cual lo mostramos en la siguiente figura 1.1, este es válido para valores de tensión que ya mencionamos que se deben de tener a la salida.



**Figura 8.** Diagrama de conexión para inversores SUNNY BOY a 208V Y 240V.

Las características de cada inversor se dejaron en los anexos, en la tabla 1.4 mostramos los datos para el de capacidad de 6000W.

**INVERSOR SUNNY BOY 6000 TL-US**

	208 V	240 V
<b>Input (DC)</b>		
Max. Recommended PV power	7500 W	7500 W
Max. DC power	6300 W	6200 W
Max. Input voltaje	600 V	600 V
MPP voltage range/rated input voltage	300 V - 480 V / 345 V	345 V - 480 V / 379 V
Min. Input voltage/initial input voltage	300 V / 360 V	345 V / 360 V
Max. Input current	20.9 A	18.1 A
Max. Input current per string	20.9 A	18.1 A
Number of independt MPP inputs	1	1
Strings per MPP input @ Combiner Box	6	6
<b>Output (AC)</b>		
Rated power/max apparent AC power	6000 W / 6000 VA	6000 W / 6000 VA
Nominal AC voltage/nominal AC voltage range	208 V / 183 V - 299 V	240 V / 211 V - 264 V
AC power frequency/range	60 Hz / 59,3 Hz...60,5 Hz	
Max output current	28,8 A	25 A
Power factor at rated power	1	1
Feed-in phases/connection phases	1/2	1/2
<b>Efficiency</b>		
CEC efficiency/max efficiency	98 % / 98.6 %	98.5 % / 98.7 %

**Tabla 4:** Características del inversor SUNNY BOY 6000 TL-US.

### 1.7 CALCULANDO NÚMERO DE STRING POR INVERSOR

Ahora que ya tenemos los datos de los inversores a utilizar podemos seguir calculando los parámetros necesarios para nuestro diseño, lo primero será calcular el número de string que le llegara a cada inversor usando la máxima potencia en DC que soporta el inversor de 6000W.

$$\#String/Inversor = \frac{Potencia\ Inversor}{Potencia/String}$$

$$\#String/Inversor = \frac{6.3\ kW}{3.1\ kW} = 2.02$$

$$\#String/Inversor \approx 2$$

Se obtuvo un total de dos string para el inversor de 6000W, luego se hace el mismo cálculo para el de 9000W

$$\#String/Inversor = \frac{Potencia\ Inversor}{Potencia/String}$$

$$\#String/Inversor = \frac{9.4\ kW}{3.1\ kW} = 3.03$$

$$\#String/Inversor \approx 3$$

Se diseñara con dos string de diez módulos cada una para el inversor de 6000W y con tres para el de 9000W, luego se pasa al siguiente paso que es conocer la potencia que se le entregara a cada inversor.

### **1.7.1 Potencia que le llegara a cada entrada del inversor:**

Teniendo la cantidad de string por inversor y la potencia que entregara cada una podemos conocer la potencia que llegara a la entrada de los inversores. Primero se muestra el cálculo para el inversor de 6000W.

$$Potencia/mpp = \# String/mpp * Potencia/String$$

$$Potencia/mpp = 2 String * 3.1kW$$

$$Potencia/mpp = 9.3kWp/mpp$$

Luego se tiene la potencia que entregaran dos string usando siempre diez MFV.

$$Potencia/mpp = \# String/mpp * Potencia/String$$

$$Potencia/mpp = 2 String * 3.1kW$$

$$Potencia/mpp = 6.2kWp/mpp$$

Como se puede ver en los dos casos se cumple de no sobrepasar las potencias máximas que soporta casa inversor a la entrada, esto se cumplirá siempre y cuando se tenga 1000W/M2 de irradiancia.

Teniendo ya todo lo necesario para realizar el diseño para cada edificio pasamos al siguiente paso en este proyecto.

### **1.8 DISEÑO FOTOVOLTAICO**

El diseño fotovoltaico se hará para nueve edificios, cinco para la Facultad de Ciencias Económicas y cuatro para la facultad de Ciencias y Humanidades, ambas facultades poseen otras edificaciones a las cuales no se incluyeron por presentar diversos factores que lo impedían. En el desarrollo se presenta un diseño para mostrar los lineamientos que se siguieron a la hora de llevar a cabo este proyecto.

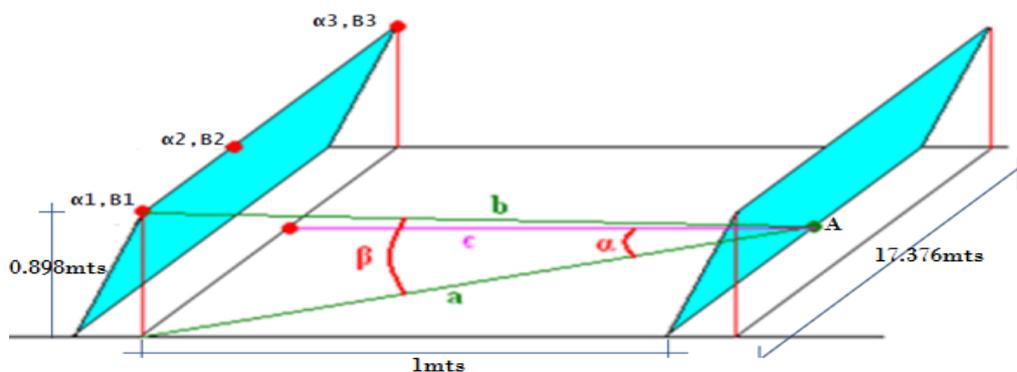
Para realizar un buen diseño se debe tomar en cuenta todas las pérdidas que puedan disminuir la generación del sistema, para nuestro proyecto no se cuenta con afectación de sombreado entre edificios, si realizaremos un estudio de sombra para la distancia que se tendrá entre las filas de módulos fotovoltaicos.

### 1.8.1 Factores a tomar en cuenta en el diseño del sistema fotovoltaico

- Orientación del arreglo FV: en el hemisferio norte, debe orientarse al Sur, si no es posible, en un máximo de 30° del Sur.
- Inclinación del arreglo FV: debe inclinarse para el máximo aprovechamiento de energía, de preferencia correspondiendo con la latitud del lugar.
- Selección del sitio: Este se toma en cuenta para evitar sombras y obstáculos por árboles, edificios u otros durante el año.

### 1.8.2 Diseño de la estructura a emplear en techos sin inclinación

Se diseñara para un metro de separación entre filas pensando en evitar sombreado y para facilitar trabajos de mantenimientos en cada parque fotovoltaico.



**Figura 9.** Distancia entre paneles ubicados en plafón.

Se procede a calcular cada uno de los parámetros para luego ubicarlos en la carta solar y saber si es factible trabajar con la separación que se ha asignado.

$$\theta = \tan^{-1} \frac{1}{17.376} = 3.293^\circ$$

$$hip = \frac{1}{\text{sen}(3.293^\circ)} = 17.4$$

Angulo que forman los módulos fotovoltaicos.

$$op = (\text{sen}(13^\circ)) (3.992) = 0.898$$

- Punto 1 sobre el punto A, igual, punto 3 sobre punto A.  
 $\alpha_1 = \alpha_3 = 90^\circ - 3.293^\circ = 86.707^\circ$

$$\beta_1 = \beta_3 = \tan^{-1} \frac{0.898}{17.4} = 2.95^\circ$$

- Punto 2 sobre el punto A.

$$\alpha_2 = 0^\circ$$

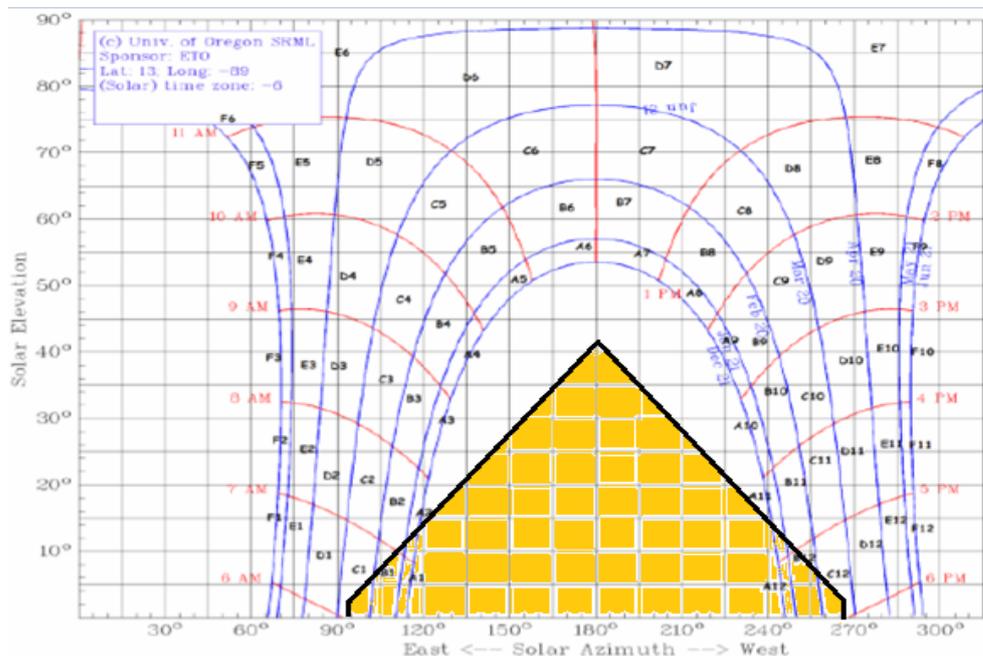
$$\beta_2 = \tan^{-1} \frac{0.898}{1} = 41.92^\circ$$

Teniendo todos los valores necesarios los resumimos en la siguiente tabla 1.5:

COORDENADAS PARA LA CARTA SOLAR					
$\alpha_1$	$\beta_1$	$\alpha_2$	$\beta_2$	$\alpha_3$	$\beta_3$
-86,707°	2,95°	0°	41,92°	86,707°	2,95°

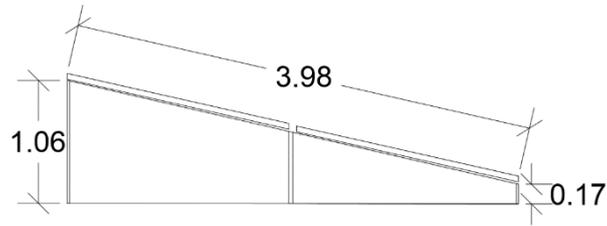
**Tabla 5.** Parámetros usados para la carta solar.

Al ubicar los puntos en la carta solar queda como se puede ver en la siguiente figura 10:



**Figura 10.** Sombra entre módulos ubicados en techo plafón.

Los resultados que nos da la carta solar nos indica que se tendría perdidas por sombreado por la mañana de las 6:00 am hasta las 7:30 am y por la tarde desde las 5:00 pm en adelante, de esto podemos decir que no afectara en gran proporción el sombreado entre filas, siendo esas horas en las que se tiene menos irradiación, se podría diseñar para una mayor separación entre filas para disminuir el sombreado por la mañana pero eso nos llevaría a sacrificar parte del área con la que se cuenta. Sabiendo que ya las distancias que se tendrán entre filas podemos hacer un bosquejo de lo que será la estructura en la que se montaran los módulos fotovoltaicos, las dimensiones con las que contara dicha estructura están la figura 11.

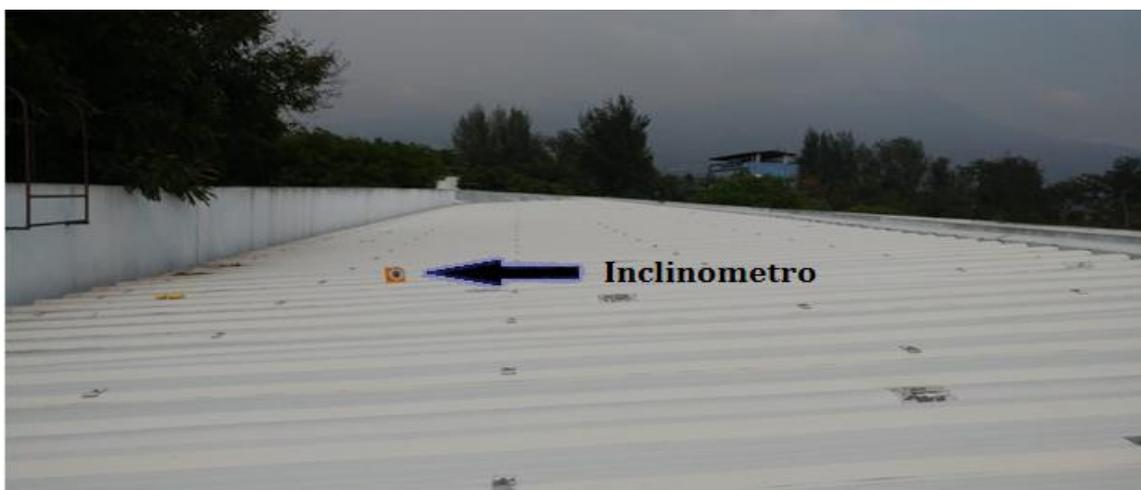


**Figura 11.** Dimensiones para la estructura a utilizar en techos sin inclinación.

### 1.8.3 Diseño de la estructura a emplear en techos con inclinación

Para cada techo además de medir el área disponible también se medía la inclinación que tenía cada uno esto para poder saber que ángulo de inclinación tendrían las estructuras en las que estarán los módulos fotovoltaicos sabiendo que para nuestra zona en la que está ubicado nuestro país se debe tener una inclinación de los módulos hacia el sur de 13.2 grados por lo que para diseñar la estructura debemos tomar en cuenta la inclinación del techo y no tener problemas a la hora de montarla.

Siempre para la Facultad de Ciencias y Humanidades se tomara también como ejemplo el edificio Dagoberto Marroquín, con este se mostrara el cálculo de sombra para un techo de lámina galvanizada de dos aguas una orientada al sur y la otra al norte, este mismo método se usara para los demás edificios que posean un techo con las mismas características. Para este edificio también se hace el cálculo de sombra para la que se pueda generar entre filas y además se hace el análisis de sombra para una pared que esta hacia el sur la cual en horas de la mañana puede llegar a proporcionar sombra al sistema. El techo al que se hace referencia tiene una inclinación de 5° la cual se toma en cuenta para el cálculo del tamaño para la estructura que sostendrá el módulo fotovoltaico. Hacia el lado sur está un árbol al cual no se le hizo análisis de sombra porque se cree conveniente mejor podarlo para aprovechar mejor toda el área disponible.



**Figura 12.** Techo de edificio Dagoberto Marroquín.

Análisis para la sombra que pueda ocasionar a los módulos FV la pared que esta al sur.

COORDENADAS PARA LA CARTA SOLAR

$\alpha 1$	$\beta 1$	$\alpha 2$	$\beta 2$	$\alpha 3$	$\beta 3$
-87,8°	1,87°	0°	40,55°	87,8°	1,87°

Tabla 6. Parámetros usados para la carta solar para edificio Carlos Rodas.

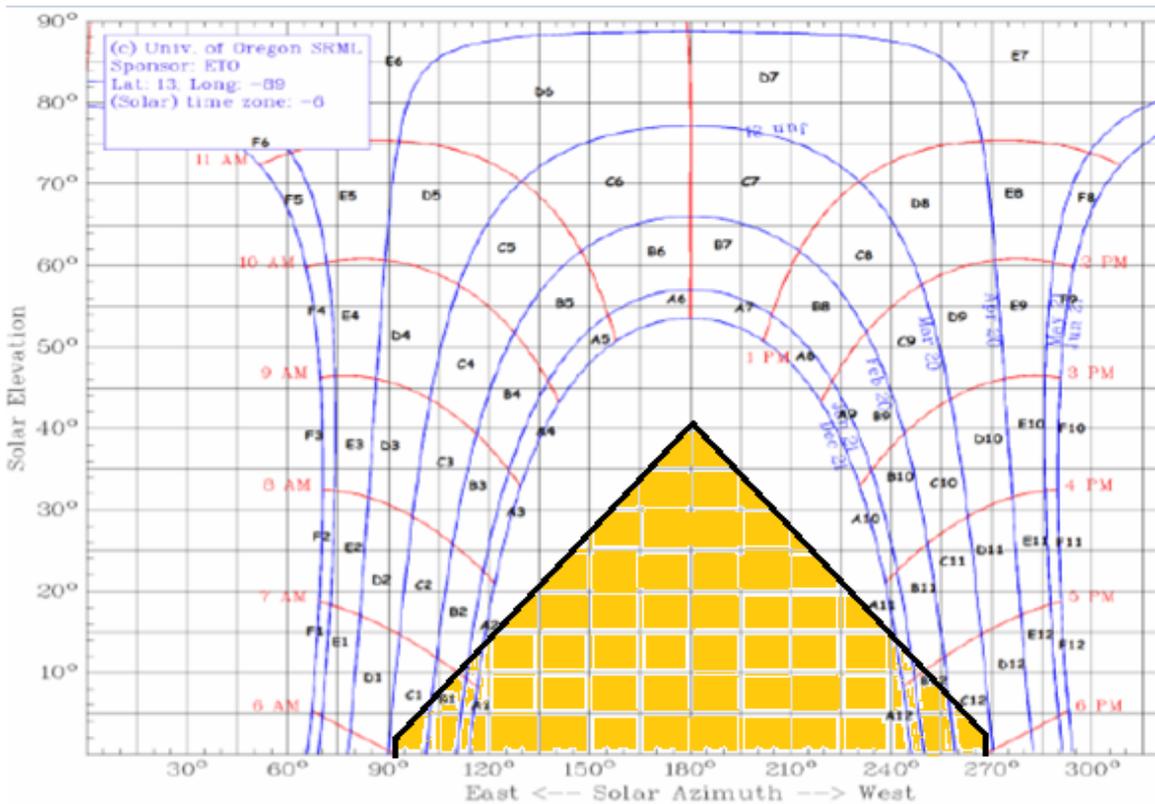
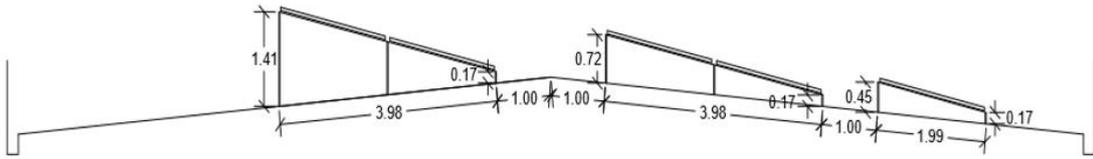


Figura 13. Análisis de sombra para edificio Carlos Rodas.

Como se puede ver en la carta el tiempo que se tendrá sombra será corto lo cual traería perdidas pequeñas ya que esta pared solo afectaría la primera fila por lo que no podemos modificar la distribución propuesta puesto que eso nos llevaría a no aprovechar todo el total del área disponible

En la mayoría de edificios de cuenta con techos de dos caídas de agua hay que hacer análisis para la caída que está orientada hacia el norte porque aquí los soportes van a tener una mayor altura para no tener problemas de sombreado por las estructuras que ya estén en el ala con pendiente hacia el sur.

Se dejara el modelo para las estructuras que tengan que instalarse en las alas del techo que están hacia el norte, en la figura14 se muestra la vista de perfil para las estructuras de soporte de los paneles fotovoltaicos



**Figura 14.** Vista de perfil para las estructuras de soporte en techo inclinado.

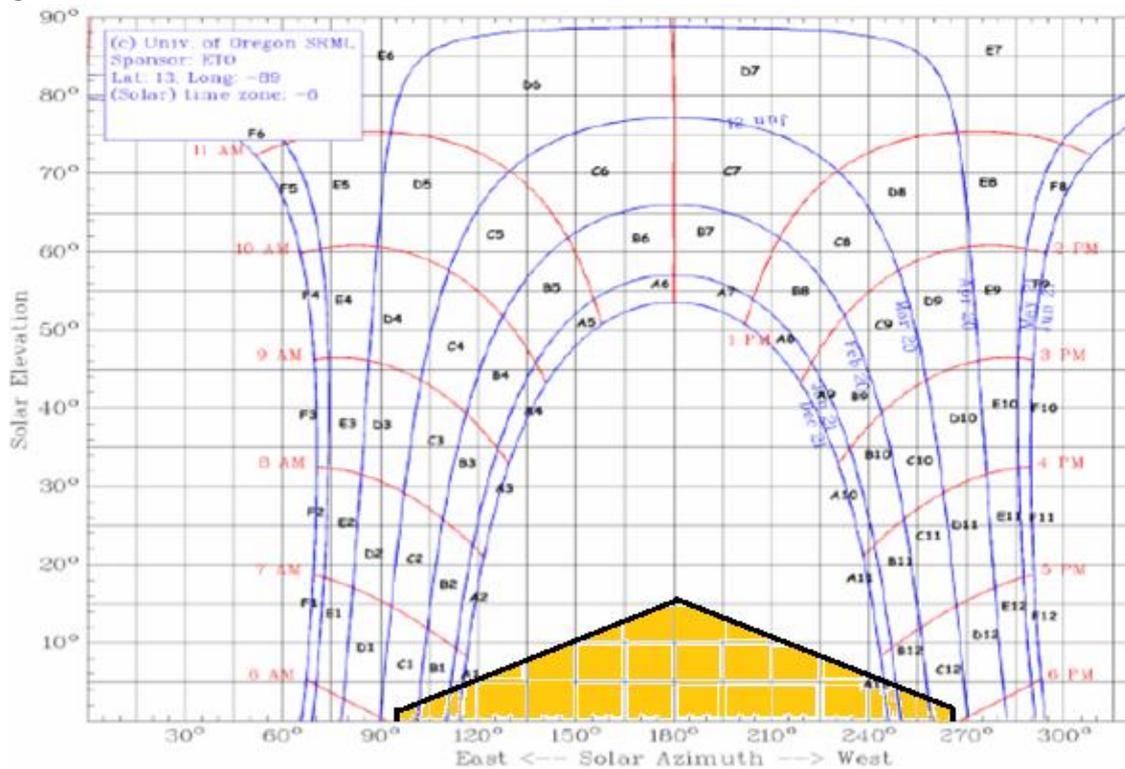
Para la estructura ubicada en la caída de agua hacia el norte también se realizó el análisis de sombra el cual también se usó para los demás edificios que tengan las mismas características.

**COORDENADAS PARA LA CARTA SOLAR**

$\alpha_1$	$\beta_1$	$\alpha_2$	$\beta_2$	$\alpha_3$	$\beta_3$
-85,32°	1,285°	0°	15,376°	85,32°	1,285°

**Tabla 7.** Parámetros para calcular sombreado con la carta solar

Se ubican los puntos en la carta solar para conocer la cantidad de tiempo que se tendría sombras durante el transcurso del día, los resultados se tienen en la figura 15.



**Figura 15.** Análisis para fila ubicada en el lado norte del edificio.

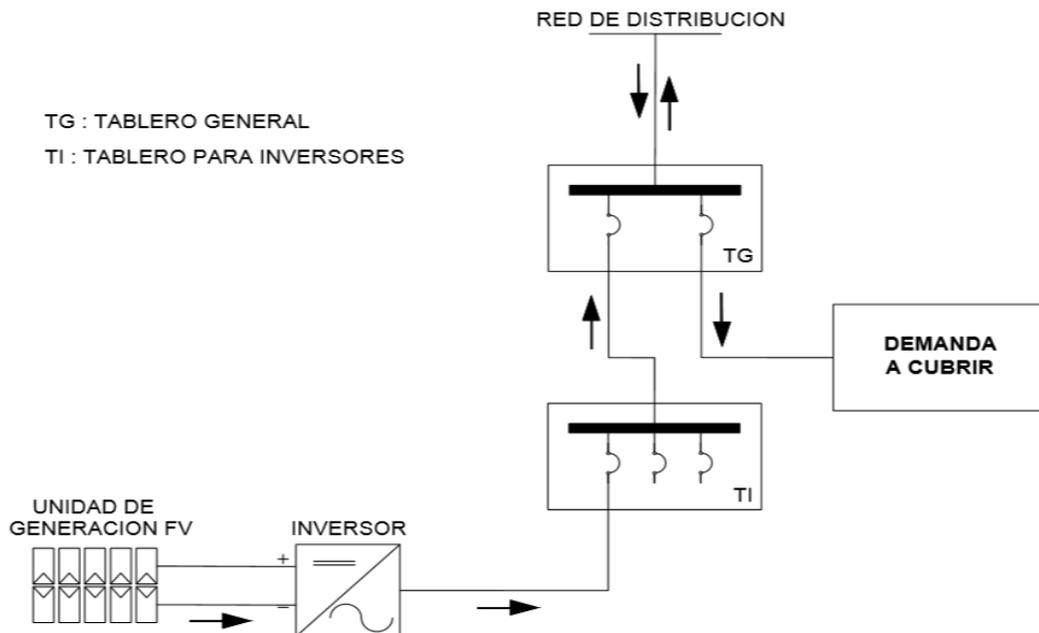
De la carta vemos que para las estructuras que estarán en el techo con inclinación hacia el norte se tendrán pérdidas por sombreado de 6:00 de la mañana hasta aproximadamente las 7:00 am y por la tarde habría sombra desde las 5:00 pm en adelante por lo que al igual que en el caso anterior donde se usó la carta solar, las pérdidas que se tendrían son pequeñas, se usaran las estructuras antes mencionadas ya que no afectarían el buen desempeño del sistema.

### 1.8.4 Fusibles y cableado a utilizar

Como se sabe a la hora de diseñar fusibles no se deben seleccionar muy pequeños porque podrían ceder antes del tiempo y llevar a fallos en el sistema, si se utilizan sobredimensionados no estaría asegurada la protección requerida puesto que sería lo contrario con las protecciones demasiado pequeñas, actuarían tarde. La forma correcta de dimensionar las protecciones es de acuerdo a normas y tomando en cuenta las indicaciones que da el NEC (National Electrical Code), este establece que el tamaño de los fusibles y cables se calcula de acuerdo al tamaño nominal para la corriente de cortocircuito ( $I_{sc}$ ) del módulo fotovoltaico, otra de las recomendaciones que aconseja es que todos los fusibles y cables se deben dimensionar para al menos 1.56 veces el valor de la corriente de cortocircuito del módulo fotovoltaico utilizado en la instalación.

### 1.8.5 Circuito unifilar modelo para este proyecto

Como se puede ver en el sistema modelo, se diseñara la unidad generadora fotovoltaica la cual se conectara al inversor, luego se tendrá un tablero en el que estarán conectados los inversores, para este se hará un balance de corrientes para las fases ya sean monofásicas o en algunos casos trifásicas, después se pasara al tablero general del correspondiente edificio para el que se esté diseñando y de ahí la corriente se distribuirá hacia la carga y los excedentes de energía fotovoltaica que en determinados instantes de tiempo sobrepasen la demanda de la carga pasaran a la red.



**Figura 16.** Modelo a utilizar en este proyecto.

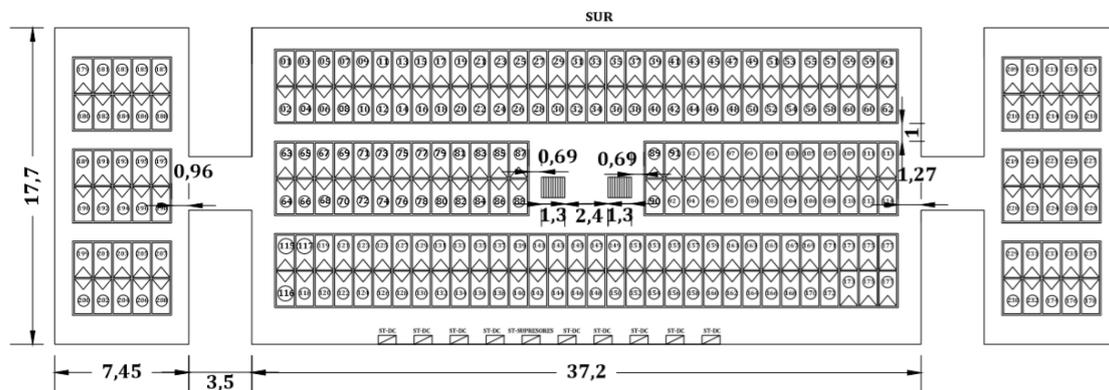
### 1.8.6 Diseño fotovoltaico para edificio de periodismo y letras

Este es un edificio con techo tipo plafón, para este techo no se tomó en cuenta un desnivel ya que la forma en que se hace el desagüe no afecta para darle orientación a los paneles, el área disponible nos permite instalar 240 paneles FV, generando así 74.4 kWp para lo que se instalarán nueve inversores, seis con potencia de 9000W y tres de 6000W, con la potencia que genera esta cantidad de paneles FV no se excede la capacidad de la subestación de 150 kVA que alimenta a este edificio, es de mencionar que este edificio será alimentado desde un transformador de 225 kVA ya con la nueva red subterránea. Se utilizó toda el área disponible ya que solo se tiene una poca sombra del lado sur que pueda afectar la producción del sistema, esta sombra la generan unos árboles los cuales se pueden talar y con eso se solucionaría este inconveniente.



**Figura 17.** Techo correspondiente al edificio de periodismo y letras.

La distribución de paneles se realizó de acuerdo a la distancia calculada anteriormente de un metro entre filas, también se dejó una distancia de un metro en los extremos del techo esto para poder facilitar trabajos de mantenimiento en el sistema fotovoltaico. En la figura 18 se muestra como quedaron distribuidos los 240 módulos que conforman este sistema.



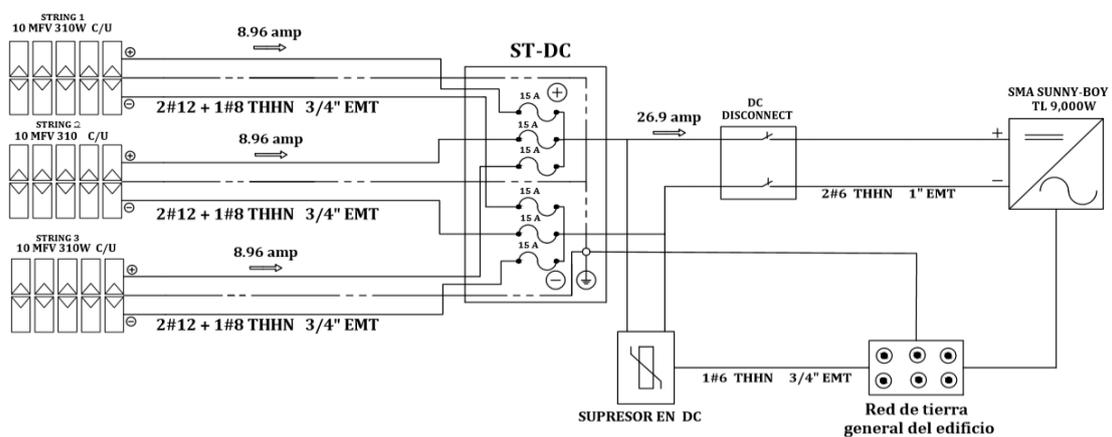
**Figura 18.** Distribución de módulos fotovoltaicos en edificio de Periodismo y letras.

Este es el edificio que dispone de mayor área de techo disponible por lo que es del que se obtendrá una mayor capacidad de potencia fotovoltaica generada, según el estudio que se realizó donde se obtuvo el perfil de carga, la potencia que consume la

carga instalada en este edificio ronda el 61% de la potencia que se generara con el sistema fotovoltaico, por lo que el excedente se ira a la red eléctrica siempre dentro de la Universidad.

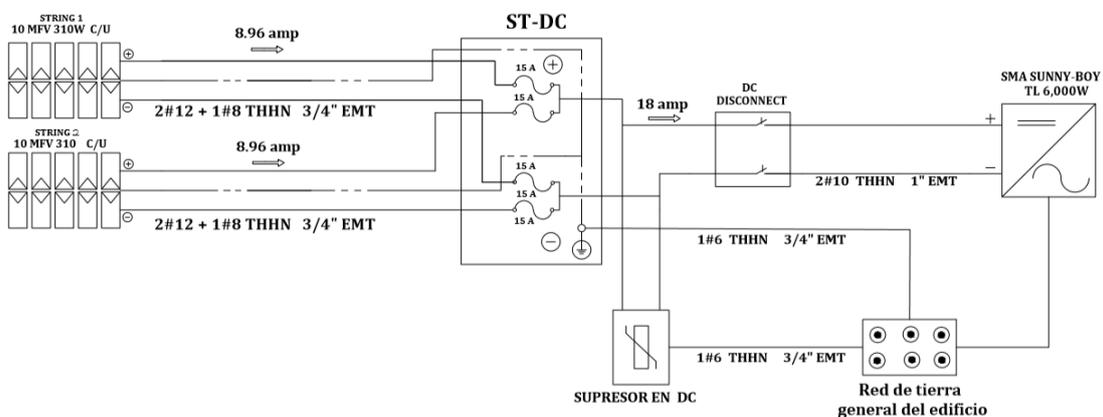
➤ **DIAGRAMA UNIFILAR EN DC PARA EDIFICIO DE PERIODISMO Y LETRAS**

Como ya se mencionó anteriormente cada string estará formada por diez modulos fotovoltaicos los cuales estarán conectados a un sub tablero o Combiner Box (Caja de combinación de string) en la cual están especificados la capacidad de los fusibles que se utilizaran, después las salidas estarán conectadas al DC DISCONNECT (Desconectador de DC) de la que saldrán dos cables hacia el inversor, teniendo en paralelo las líneas un supresor de transientes tal y como se puede ver en la figura19, se usara la red de tierra existente para aterrizar el sistema.



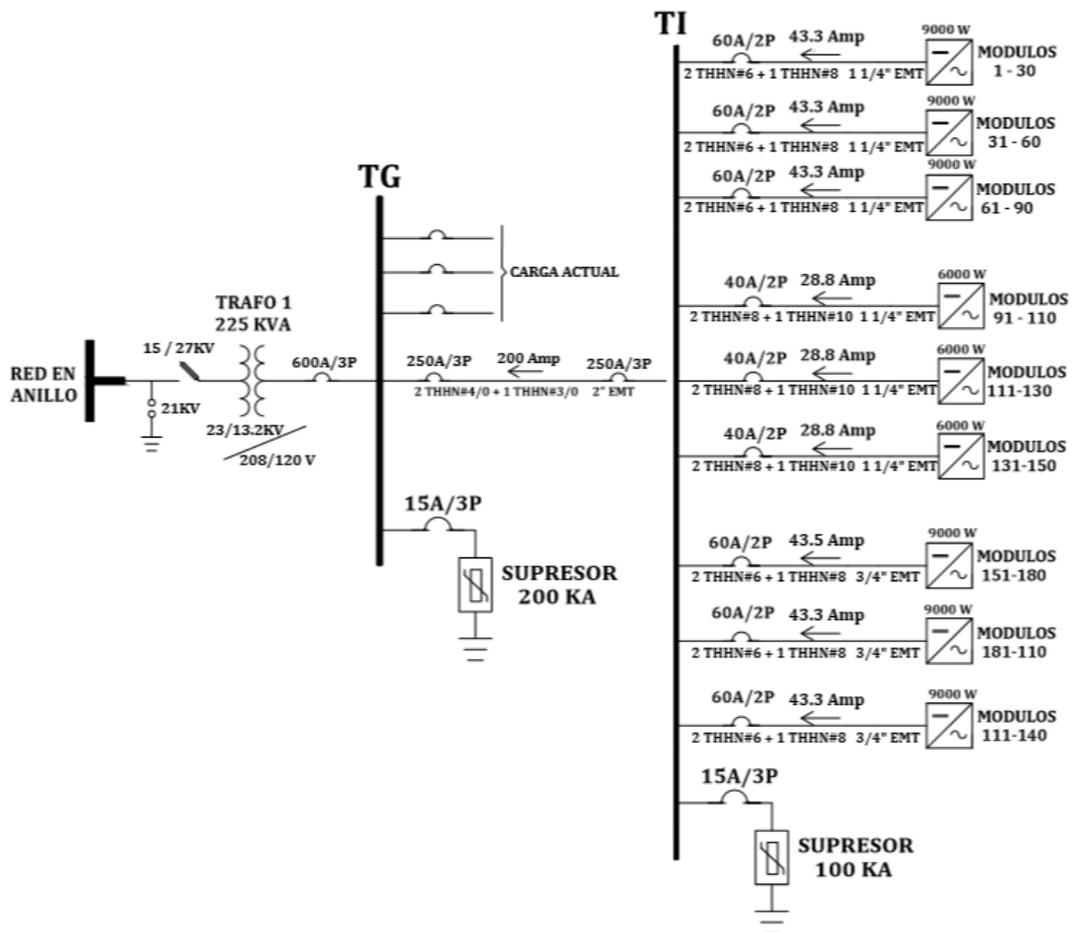
**Figura 19.** Diagrama en DC para inversor de 9 kW, edificio de Periodismo y Letras.

El modelo de la figura19 es válido para inversores con capacidad de 9 kW, para los inversores a 6 kW se utilizara el diagrama mostrado en la figura20, en este se usaran dos string siempre de 10 modulos cada una con las que se tendrán 6.2 kW a la entrada del inversor, la máxima potencia en DC que soporta es de 6.3 kW por lo que se está dentro de los valores permitidos.



**Figura 20.** Diagrama en DC para inversor de 6 kW, edificio de Periodismo y Letras.

Estos dos diagramas presentados son los utilizados en todo el proyecto, luego procedemos a mostrar la parte del sistema en AC por lo que presentamos el diagrama unifilar correspondiente en la figura 21, este está conformado por nueve inversores todo monofásicos como lo serán también los demás utilizados en todo el proyecto, tres de estos con potencia de salida de 6000W y seis con capacidad de 9000W, se han distribuido en un tableros trifásico así se nos facilitó dejar un balance de corriente adecuado como se podrá ver más adelante ,para cada tablero se instalara un supresor de transientes de 100 kA cada uno esto para mitigar cualquier anomalía que se pueda dar proveniente desde la red externa. Desde los tableros de inversores se saldrá hacia el tablero general (TG) existente.



**Figura 21.** Diagrama unifilar en AC para edificio de Periodismo y Letras.

➤ BALANCE DE CORRIENTES EN TABLERO DE INVERSORES

En la tabla 8 se detalla como quedaran distribuidos los inversores por fase en el tablero donde se conectaran los nueve inversores instalados en el edificio de Periodismo.

# INVERSOR	CAPACIDAD	VOLTAJE	FASE A	FASE B	FASE C
1	6000 W	208/120	26.88	26.88	
2	6000 W	208/120		26.88	26.88
3	6000 W	208/120	26.88		26.88
4	9000 W	208/120	43.3	43.3	
5	9000 W	208/120		43.3	43.3
6	9000 W	208/120	43.3		43.3
7	9000 W	208/120	43.3	43.3	
8	9000 W	208/120		43.3	43.3
9	9000 W	208/120	43.3		43.3
TOTAL			226.96	226.96	226.96

**Tabla 8.** Balance corriente para edificio de Periodismo.

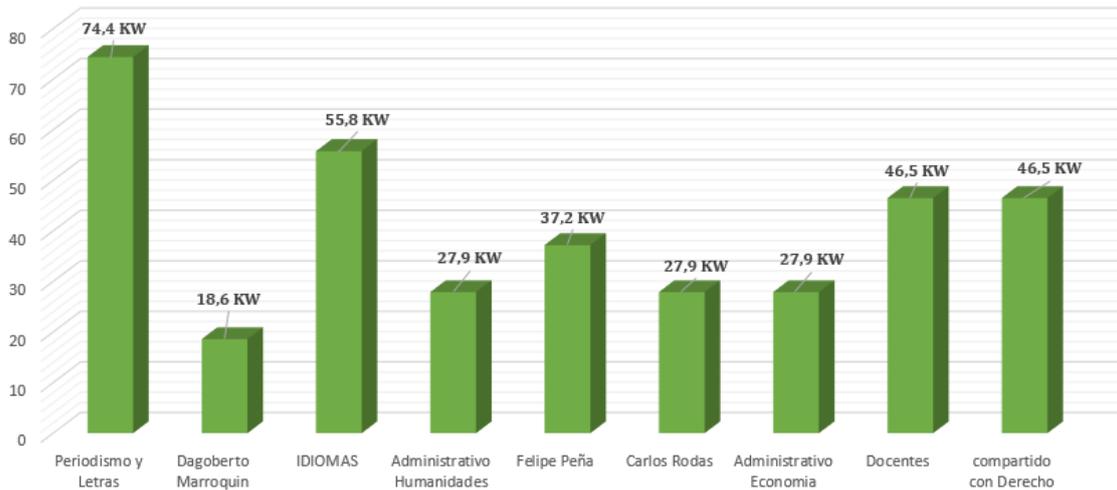
### 1.8.7 Resumen de las características del sistema fotovoltaico

Edificio	MFV	Inversores 6KW	Inversores 9KW	Potencia KWp	Area M2	W/M2	Subestación
Periodismo y Letras	240	3	6	74.4	922.17	80.68	150 KVA
Dagoberto Marroquin	60	3		18.6	279.5	66.55	225 KVA
IDIOMAS	180		6	55.8	768.95	72.57	100 KVA
Admo. Humanidades	90		3	27.9	360	77.5	100 KVA
Felipe Peña	90		3	37.2	464.08	80.16	100KVA
Carlos Rodas	120		4	27.9	421.33	66.22	75 KVA
Admo. Economia	90		3	27.9	390.78	71.39	150KVA
Docentes	150		5	46.5	729.12	63.77	100KVA
compartido con Derecho	150	3	3	46.5	1074	43.29	225KVA
<b>TOTAL</b>	<b>1170</b>	<b>9</b>	<b>33</b>	<b>362.7</b>	<b>4361.48</b>	<b>622.13</b>	

**Tabla 9.** Resumen del nuevo sistema fotovoltaico

En resumen todo el sistema será capaz de generar 362,7 kWp, se emplearán 1170 módulos fotovoltaicos, todos de 310 W, 9 inversores monofásicos con capacidad para 6 kW y 33 inversores siempre monofásicos de 9 kW.

Para ver la producción que se tendrá por edificio se muestra el gráfico de la figura 22, en este se puede ver que el mayor aporte lo hará el sistema instalado en el edificio de Periodismo y Letras con 74,4 kWp



**Figura 22.** Aporte en kWp que ara cada sistema.

### 1.8.8 Índice de producción final (yf)

Este parámetro se basa en estudios estadísticos, la cual relaciona la cantidad de energía que se ha producido durante un año y la capacidad instalada del sistema fotovoltaico. El valor de  $Y_f$  en San Salvador es conocido y es el siguiente:

$$Y_f = 1537.71 \frac{\text{kWh}}{\text{kWp}}$$

Para obtener la producción anual que obtendrá este sistema fotovoltaico nos hacemos valer del siguiente parámetro de diseño

$$Y_f = \frac{\text{Produccion Anual}}{\text{kWp Instalados}}$$

Donde el  $Y_f$  ya se especificó anteriormente, los kWp Instalados es la capacidad total de cada sistema fotovoltaico multiplicado por el valor en dólares que tiene cada Watt en el mercado eléctrico, se conoció que el valor ronda los 0.126843 \$/kWh, por lo que la ecuación quedaría de la siguiente manera:

$$\text{Produccion Anual} = Y_f * \text{kWp Instalados} * 0.126843 \frac{\$}{\text{kWh}}$$

Al sustituir en la ecuación todos los datos ya conocidos obtendremos la producción anual en dólares que tendrá la suma de las potencias pico de todos los módulos fotovoltaicos instalados. Tal y como se ha venido mostrando como modelo el edificio de Periodismo y Letras se harán estos cálculos para este mismo, por lo que usaremos los 74.4 kWp que generara dicho sistema.

$$\text{Produccion Anual} = 1537.71 \frac{\text{kWh}}{\text{kWp}} * 74.4 \text{ kWp} * 0.126843 \frac{\$}{\text{kWh}}$$

$$\text{Produccion Anual} = \$ 14,511.55$$

La producción anual sería de \$14,511.55 para este sistema que estará ubicado en el techo del edificio de Periodismo y Letras, más adelante se mostrara una tabla resumen para todos los sistemas instalados en este proyecto.

EDIFICIO	CAPACIDAD FV GENERADA KWp	Yf (Ip=1,537.71)	AHORRO ANUAL
<b>FACULTAD DE CIENCIAS Y HUMANIDADES</b>			
Dagoberto Marroquin	18.6	28,601.41	\$3,628.00
ADMINISTRATIVO	27.9	42,902.11	\$5,442.00
PERIODISMO Y LETRAS	74.4	114,405.62	\$14,512.01
IDIOMAS	55.8	85,804.22	\$10,884.01
<b>FACULTAD DE CIENCIAS ECONOMICAS</b>			
ADMINISTRATIVO	27.9	42,902.11	\$5,442.00
DOCENTES	46.5	69,750.00	\$9,070.01
FELIPE PEÑA	37.2	55,800.00	\$7,256.01
CARLOS RODAS	27.9	41,850.00	\$5,442.00
COMPARTIDO CON DERECHO	46.5	69,750.00	\$9,070.01
<b>TOTAL</b>	<b>362.7</b>	<b>551,765.47</b>	<b>\$70,746.05</b>

**Tabla 10.** Ahorro anual generado individual para cada sistema fotovoltaico.

El ahorro que se tendrá con todo el sistema fotovoltaico trabajando sería de \$70,746.05 por año, si hacemos un estimado por mes tendríamos \$5,895.5 este valor representa un 31.5% de los \$18,733.96 que paga la Universidad mensualmente a la empresa distribuidora CAESS por el servicio en la acometida para la Facultad de Ciencias y Humanidades.

El monto que tendrá cada sistema fotovoltaico es presentado en la tabla en la cual también se muestra el total que se invertirá para llevar a cabo este proyecto.

EDIFICIO	KWp	MONTO
<b>FACULTAD DE CIENCIAS Y HUMANIDADES</b>		
Edificio Periodismo y Letras	74.4	\$109,338.03
Edificio Dagoberto Marroquin	55.8	\$31,873.22
Edificio Idiomas	18.6	\$82,671.47
Edificio Administrativo	27.9	\$47,757.99
<b>FACULTAD DE CIENCIAS ECONOMICAS</b>		
Edificio Administrativo	27.9	\$42,630.68
Edificio Docentes	46.5	\$75,127.54
Edificio Carlos Rodas	27.9	\$42,689.88
Edificio Felipe Peña	37.2	\$54,466.31
Edificio compartido con derecho	46.5	\$69,534.08
Total KWp FV a instalar	362.7	
Monto total sin IVA		\$556,089.22

**Tabla 11.** Resumen del monto que costara el proyecto.

El monto total para llevar a cabo el proyecto es de \$556,089.22, en anexos se presentara el desglose del presupuesto por cada edificio.

Para conocer el tiempo en que se recuperara la inversión realizada en este proyecto se continuara con los siguientes cálculos teniendo el valor que costara cada watts instalado.

Valor del Watt instalado:  $1.53 \frac{\$}{W}$

Ahora se obtiene el precio para toda la instalación:

Monto total de la instalación = Valor del Watt instalado \* kWp Instalados

Monto total de la instalación =  $1.53 \frac{\$}{W} * 0.3627kWp$

Monto total de la instalación = \$556,089.22

Este valor es el reflejado en la tabla 1.12, ya teniendo todos los datos necesarios se obtiene el tiempo en que se recuperara la inversión.

$$\textit{Tiempo de recuperacion de la inversion} = \frac{\textit{monto total de la instalacion}}{\textit{Produccion anual}}$$

$$\textit{Tiempo de recuperacion de la inversion} = \frac{\$556.089.22}{\$70,746.05}$$

$$\textit{Tiempo de recuperacion de la inversion} = 7 \text{ años con } 10 \text{ meses}$$

## CAPITULO II

### 2. FUNDAMENTOS DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

#### 2.1 CONFIGURACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN

Las redes de distribución subterráneas tienen diversas características como son: el tipo de carga, el nivel de tensión en el sistema primario, en el secundario, la topología de la red primaria, la red secundaria y los equipos para su operación. Las características anteriores constituyen los elementos más comunes para el diseño de los sistemas de distribución subterráneos.

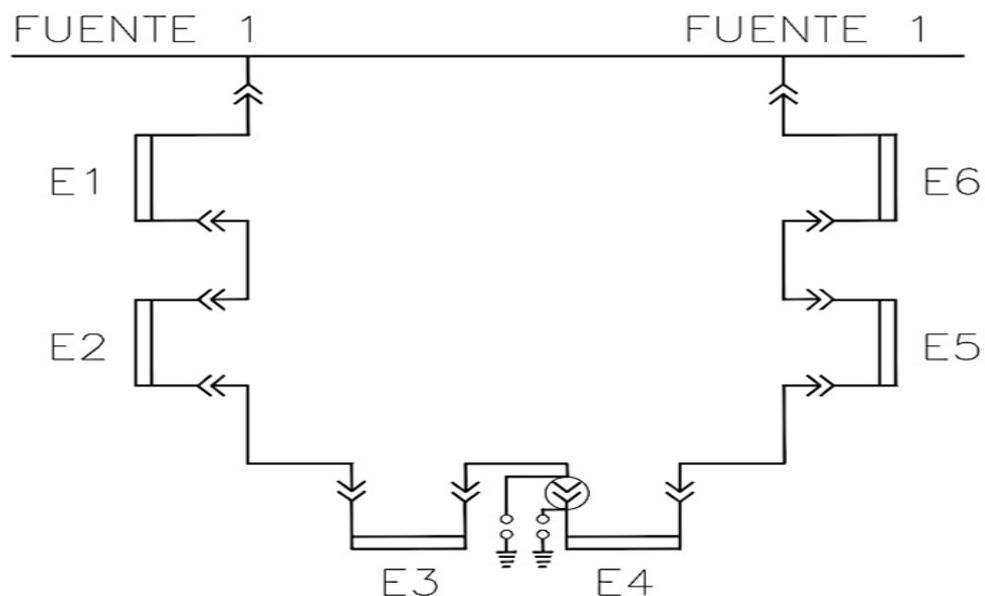
En la actualidad las redes de distribución subterránea son de dos tipos; radiales y en anillo, estas configuraciones se diseñan para operar con tensiones de 34.5kV, 23kV y 13.8kV.

##### 2.1.1 Configuración en anillo

La configuración en anillo tiene más de una trayectoria entre la fuente o fuentes y la carga para proporcionar el suministro de energía eléctrica. El arreglo en anillo es el más costoso debido a que requiere más equipo, pero cualquier punto sobre la línea tiene servicio desde dos direcciones, si alguna queda fuera de servicio el cliente puede seguir siendo suministrado por medio de otra línea. Existen diferentes configuraciones en los arreglo tipo anillo, las cuales se describen a continuación.

##### 2.1.2 Configuración en anillo con una fuente de alimentación.

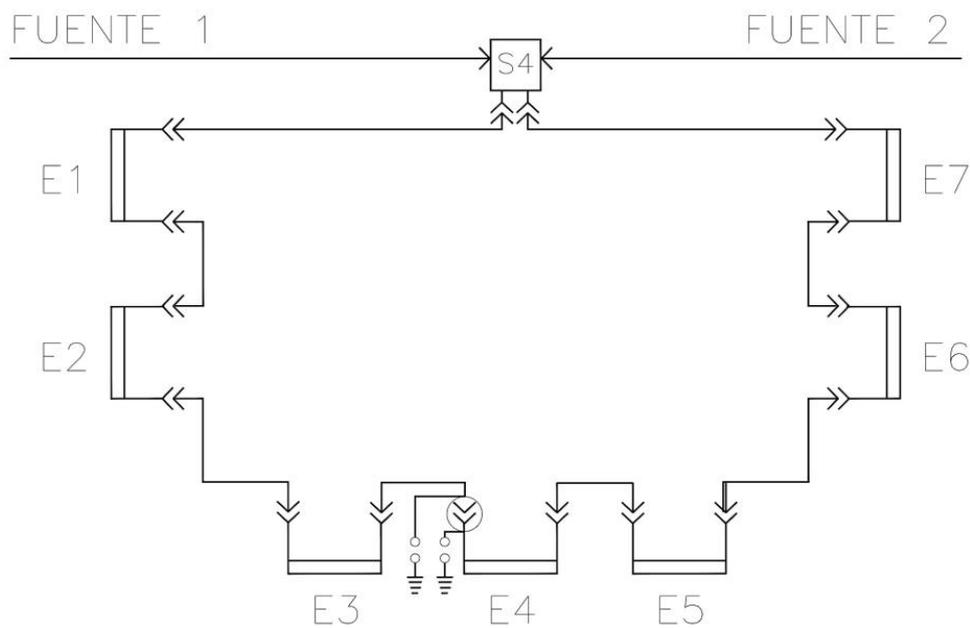
Es la configuración que cuenta con una sola fuente de alimentación, está opera de forma radial con un punto de enlace normalmente abierto en el centro de la carga, como se en la figura uno.



**Figura 23.** Configuración en anillo con una fuente de alimentación

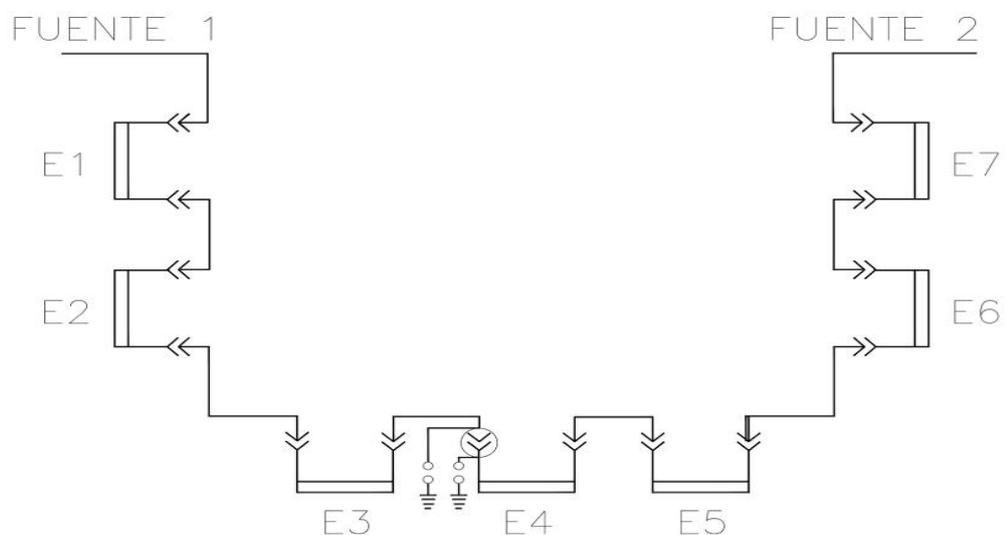
### 2.1.3 Configuración en anillo con dos fuentes de alimentación

Este tipo de configuración cuenta con dos fuentes de alimentación, opera en forma radial con puntos de enlace normalmente abierto en el centro de la carga. En la siguiente figura se muestra el diagrama unifilar de un arreglo en anillo con dos fuentes de alimentación conectado a un equipo o accesorio de la red y el punto de enlace normalmente abierto entre los transformadores E3 y E4.



**Figura 24.** Configuración en anillo con dos fuentes de alimentación

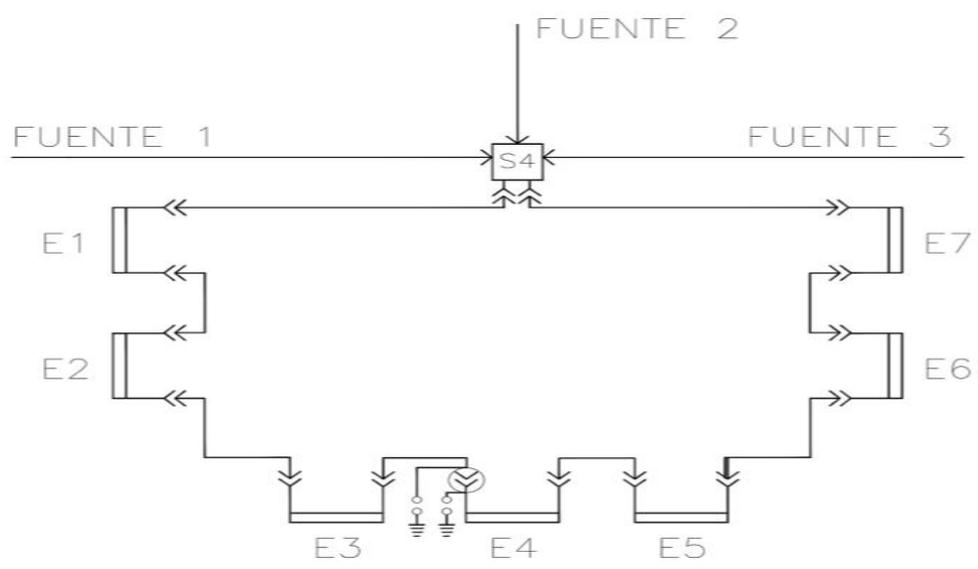
En la figura 25 se muestra el diagrama unifilar de un arreglo en anillo con dos fuentes de alimentación sin conexión a equipo y el punto de enlace normalmente abierto entre los transformadores E3 y E4.



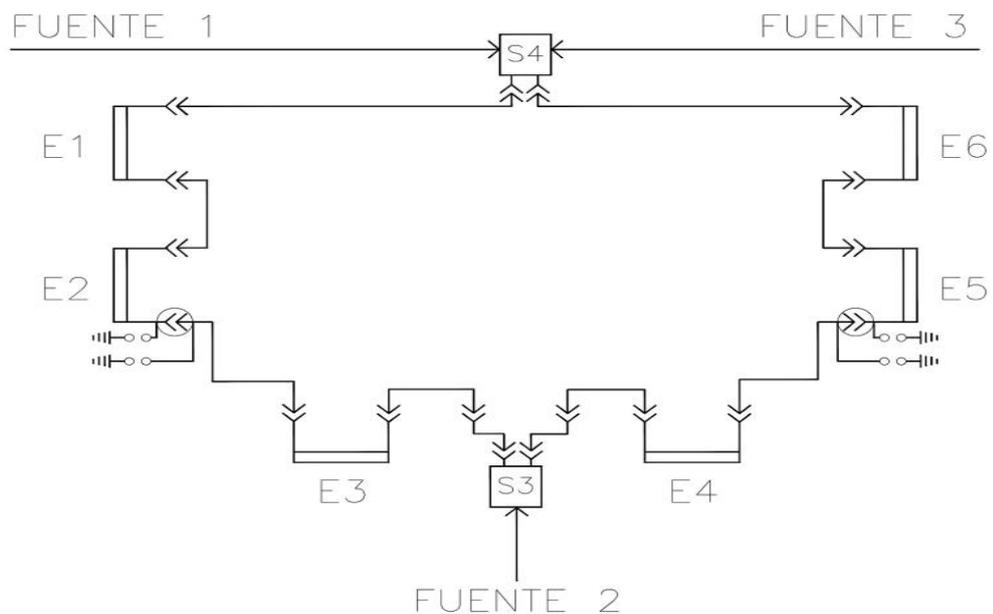
**Figura 25.** Anillo con dos fuentes de alimentación

### 2.1.4 Configuración en anillo con tres fuentes de alimentación

Cuenta con tres fuentes de alimentación, está opera de forma radial con punto de enlace normalmente abierto en el centro de la carga. El diagrama unifilar se muestra la siguiente figura.



**Figura 26.** Arreglo en anillo con tres fuentes de alimentación con conectado al mismo equipo de red.



**Figura 27.** Diagrama unifilar de una configuración de fuentes conectadas a diferentes equipos de la red

## 2.2 EQUIPOS ELECTRICOS EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

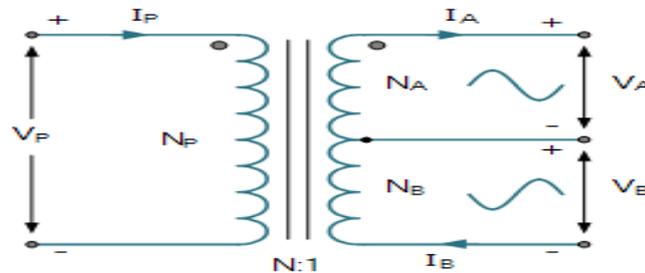
### 2.2.1 Transformadores de distribución

En general, los transformadores de distribución se utilizan para reducir los voltajes primarios del sistema (2.4-34.5 kV) a Tensiones de utilización (120-600 V). La tabla 12 proporciona capacidad de transformador estándar y valores de voltaje de acuerdo con la norma ANSI C57.12.20 para transformadores de distribución.

CAPACIDAD EN KVA DE TRANSFORMADOR ESTÁNDAR Y VALORES DE VOLTAJE					
KVA		Alto voltaje		Bajo voltaje	
Monofásico	Trifásico	Monofásico	Trifásico	Monofásico	Trifásico
5	30	2400/4160 Y	2400	120/240	208Y/120
10	45	4800/8320 Y	4160Y/2400	240/480	240
15	75	4800 Y 18320 YX	4160Y	2400	480
25	112.5	7200/12,470 Y	4800	2520	480Y/277
37.5	150	12,470GndY/7200	8320Y/4800	4800	240X480
50	225	7620/13,200 Y	8320Y	5040	2400
100	300	13,200 Gnd Y/7620	7200	6900	4160Y/2400
167	500	12,000	12,000	7200	4800
250		13,200/22,860 Gnd Y	12,470 Y/7200	7560	12,470Y/7200
333		13,200	12,470Y	7980	13,200Y/7620
500		13,800 Gnd Y/7970	13,200 Y/7620		
		13,800/23,900 Gnd Y	13,200Y		
		13,800	13,200		
		14,400/24,940 Gnd Y	13,800		
		16,340	22,900		
		19,920/34,500 Gnd Y	34,400		
		22,900	43,800		
		34,400	67,000		
		43,800			
		67,000			

**Tabla 12.** Capacidad estándar de transformadores

Los símbolos secundarios utilizados son la letra Y, que indica que el devanado está conectado o podría estar conectado en Y. Mientras GndY, indica que el devanado tiene un extremo conectado a tierra. En la tabla 12 se proporciona información según el orden en que se escriben los voltajes para los devanados. Según la notación el voltaje en todo el devanado se escribe primero, luego una barra invertida y por último el voltaje de toma central del devanado secundario o voltaje entre fase y neutro. Por ejemplo si tenemos 240/120 V, indica una conexión de tres conductores o tres hilos, lo cual se designa un voltaje central de devanado de 120 voltios y un voltaje de 240 voltios de devanado completo.



**Figura 28.** Voltaje central de devanado

**Donde**  $V_A = V_B = 120\text{ V}$ , Voltaje de central de devanado

$V_A + V_B = 240\text{V}$  Voltaje de devanado completo

El devanado de un transformador que es apropiado para conexión en serie, múltiple y a tres hilos, tendrá la designación primero de su voltaje múltiple una barra inclinada y el índice de su voltaje serie, por ejemplo la notación **120/240** significa que el devanado es apropiado para una conexión múltiple de 120 voltios, para 240 voltios. Para conexión en serie y de tres hilos se usa la notación **240/120**.

Cuando los voltajes están separados por una Cruz(X), indica que es un devanado para la conexión múltiple y en serie, pero no para la conexión de tres hilos. La notación **120X240** se utiliza para diferenciar un devanado que puede utilizarse para una conexión múltiple de 120 voltios y para una conexión en serie de 240 voltios pero no para una conexión de tres cables.

En la siguiente tabla se muestran ejemplos de todos los símbolos

Designación de las clasificaciones de voltaje para transformadores de distribución monofásicos y trifásicos			
Monofásico		Trifásico	
Designación	Significado	Designación	Significado
<b>120/240</b>	Conexión en serie, múltiple o de tres hilos	2400/4160Y	Adecuado para conexión delta o estrella

<b>240/120</b>	Conexión en serie o de tres hilos solamente	4160 Y	Conexión solo en estrella (sin neutro)
<b>240 X 480</b>	Solo para conexión múltiple y en serie	4160 Y2400	Sólo conexión en estrella (con neutro disponible)
<b>120/208 Y</b>	Adecuado para conexión delta o estrella trifásica	12,470 Gnd Y/7200	Sólo conexión en estrella (con aislamiento neutro trifásico reducido disponible)
<b>12,470 Gnd Y/7200</b>	Un extremo del devanado conectado a tierra o al tanque, sacado a través del bushing de aislamiento.	4160	Sólo para conexión en delta

**Tabla 13.** Clasificación de voltajes para transformadores.

La construcción física del transformador depende del tipo de montaje y del sitio de localización. Para un sistema de distribución subterráneo, se utilizan transformadores de pedestal o pad-mounted, los cuales se colocan por encima de la superficie de la tierra, pero que son conectados a los alimentadores primarios subterráneos y a los cables de alimentación secundaria.

➤ TRANSFORMADOR TIPO PEDESTAL.

Los transformadores tipo pedestal son los más utilizados en instalaciones eléctricas subterráneas, algunas de las características de instalación y servicio que poseen estos transformadores son las siguientes:

- Requerimiento mínimo de espacio
- Seguridad de maniobras a su alrededor
- Mantenimiento mínimo por contaminación
- Auto protegido
- Facilidad de restablecimiento después de falla
- Detección de fallas, tanto de lado de la alimentación como de la carga
- Desconexión de la alimentación en forma rápida y segura
- Aspecto estético general agradable

➤ TRANSFORMADOR PEDESTAL TIPO EN ANILLO.

El transformador puede formar parte de un sistema de alimentación que interconecte varios aparatos entre sí. La ventaja de este tipo de conexión es que si por alguna razón la alimentación principal se ve interrumpida, puede transferirse a una fuente de alimentación alterna, lo cual da la ventaja de tener energizado y funcionando el aparato, mientras es corregida la falla que interrumpió la alimentación original.

El Transformador Pedestal Tipo Anillo tiene las siguientes características que lo distinguen:

- Tiene seis boquillas en la alta tensión.
- Posee un seccionador del tipo anillo y en ocasiones, en serie con uno radial o dos base del transformador seccionadores radiales.

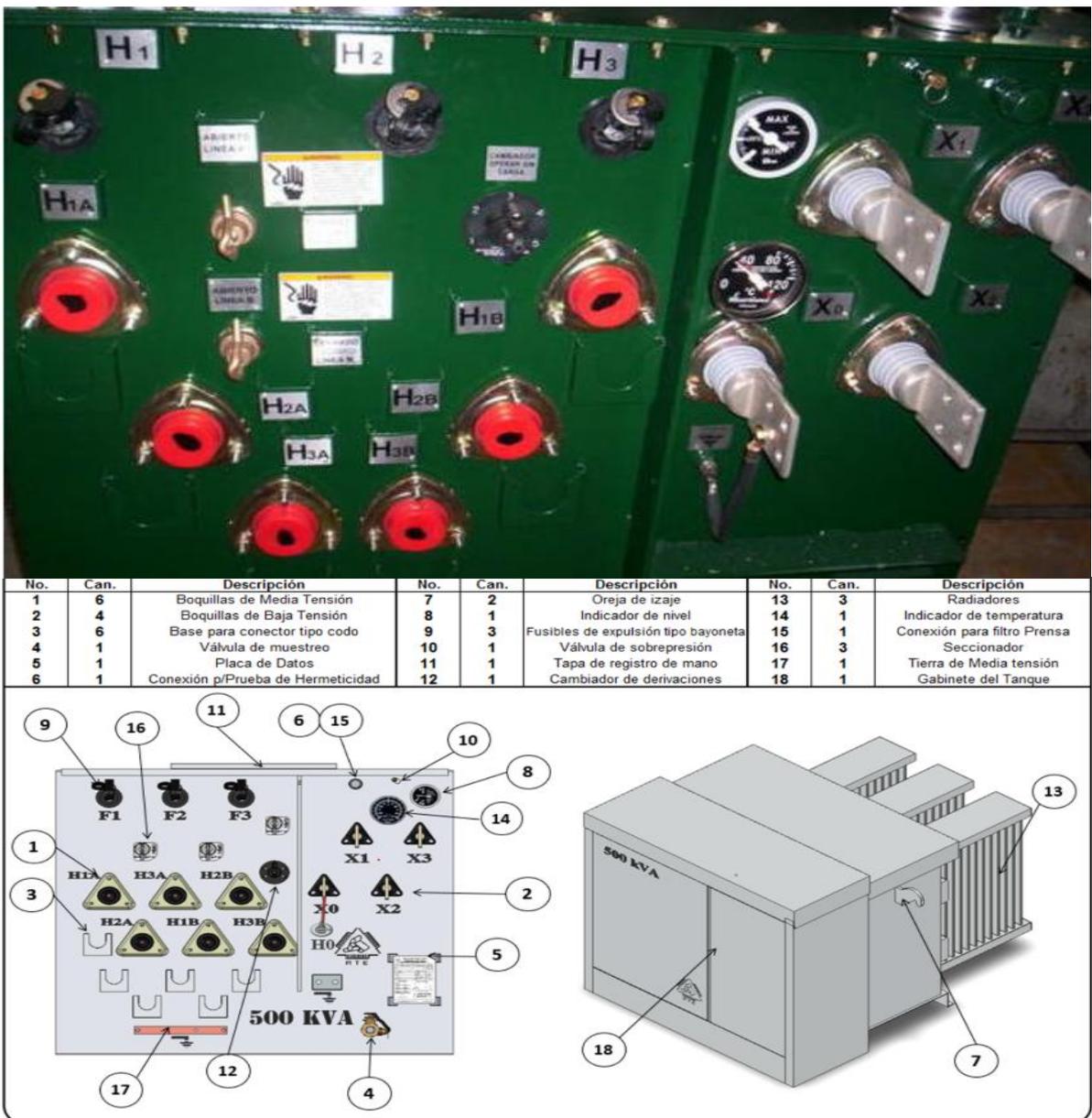
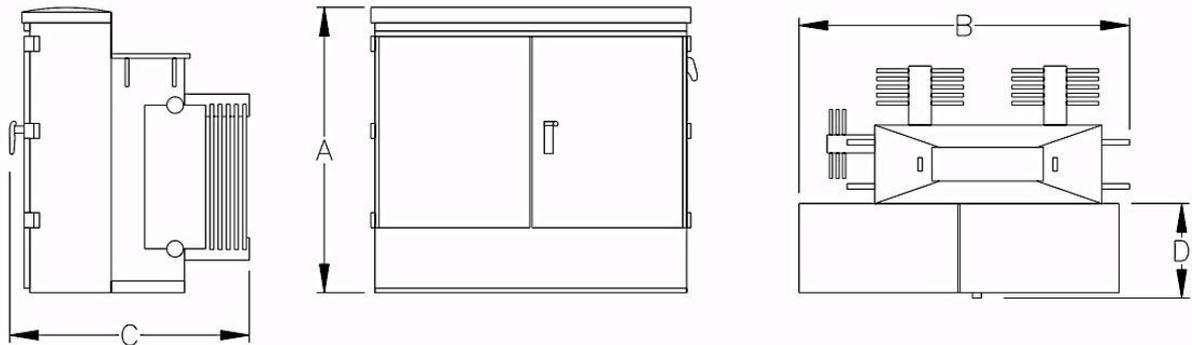


Figura 29. Seccionador de transformadores de pedestal tipo anillo

Las dimensiones de un transformador varían según su capacidad y la cantidad de fases, las dimensiones para cada tipo de transformador son necesarias para seleccionar la base del transformador. En la siguiente figura se muestran un transformador tipo pedestal y la respectiva tabla con sus dimensiones.



**Figura 30.** Transformador monofásico tipo sumergible

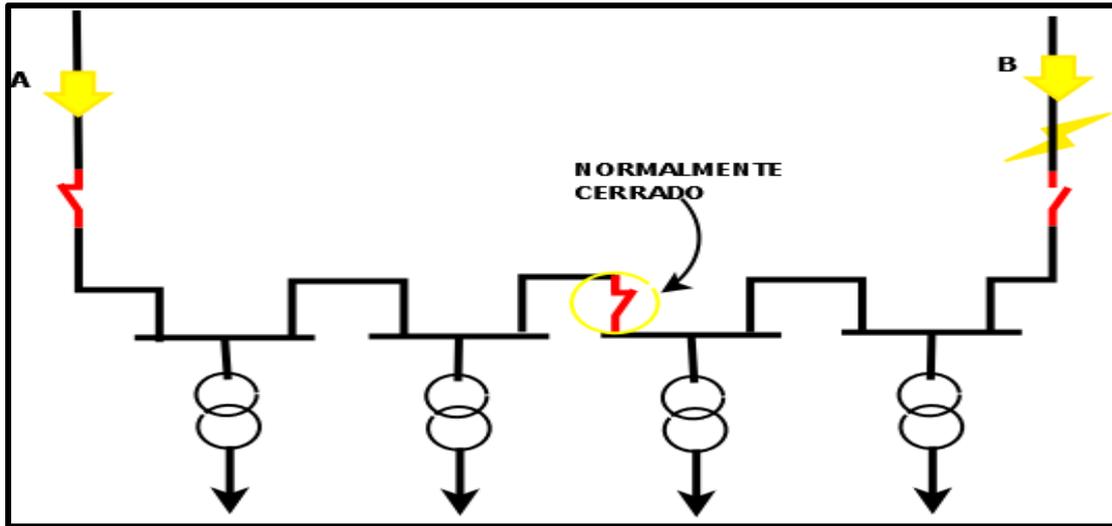
kVA	A [mm]	B [mm]	C [mm]	D [mm]
30 a 150	1 050 a 1 400	1 320 a 1 565	1 120 a 1 160	770 a 1 600
225 a 300	1 430 a 1 445	1 580 a 1 675	1 450	2 020 a 2 335
500	1 585 a 1 600	1 845 a 2 055	1 525	3 090 a 3 125
750	1 675	2 070	1 650	4 080
1,000	1 675	1 880	2 560	4 095
1,500	1 820	2 330	2 110	5 050

**Tabla 14.** Dimensiones de transformadores tipo pedestal

Las dimensiones que se muestran en la tabla anterior, son necesarias para seleccionar la bóveda.

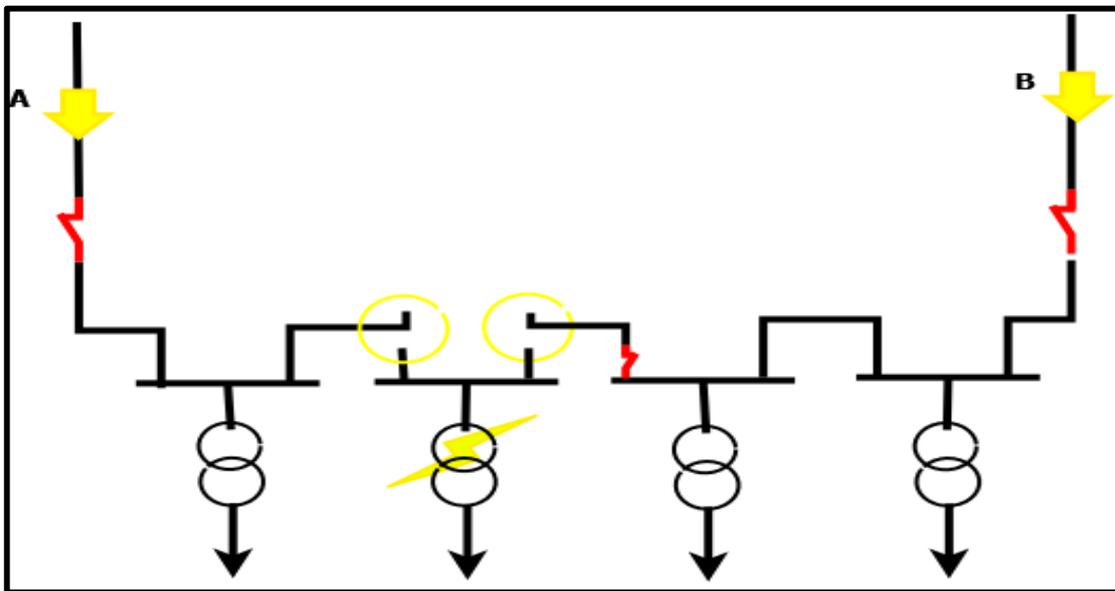
➤ TRANSFORMADORES CONECTADOS EN ESQUEMA DE ANILLO

Conectar los transformadores en anillo, tiene la ventaja que si ocurre una falla en uno de los alimentadores de entrada, entonces este puede ser aislado y cerrar el desconector que esta normalmente abierto como se muestra en la figura31.



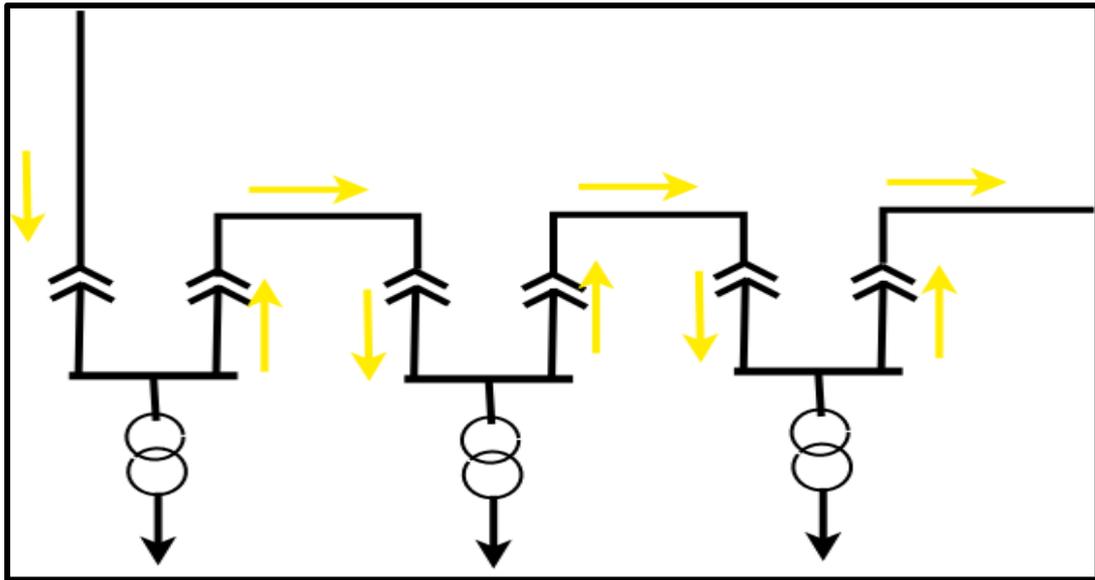
**Figura 31.** Falla en uno de los alimentadores principales del anillo

Similarmente una falla en cualquier parte del anillo, puede ser seccionada dejando que el resto del anillo se alimente de cualquiera de las fuentes, como se muestra en la figura 32.



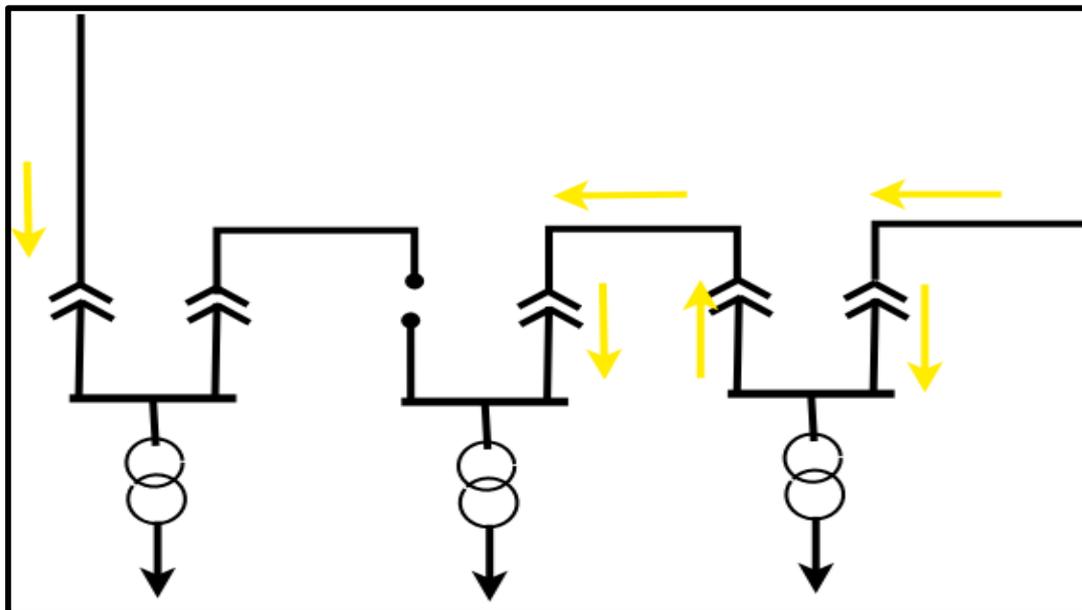
**Figura 32.** Aislamiento cuando ocurre una falla en cualquier parte del anillo

El seccionamiento se logra no al abrir los desconectores, si no al remover los conectores angulares en codo, los cuales están instalados en el terminal de cada sección de cable, estos están enchufados en receptáculos al interior del gabinete de pedestal. Las dos terminales de alto voltaje realmente son; entrada y salida para continuar el anillo primario, el lado de alto voltaje del transformador de distribución, se deriva de este anillo. Si todos los conectores angulares están enchufados, entonces tenemos un anillo continuo.



**Figura 33.** Anillo continuo, con todos los conectores angulares conectados

Si cualquiera de los conectores es removido, este sirve como desconector y así se interrumpe el anillo.



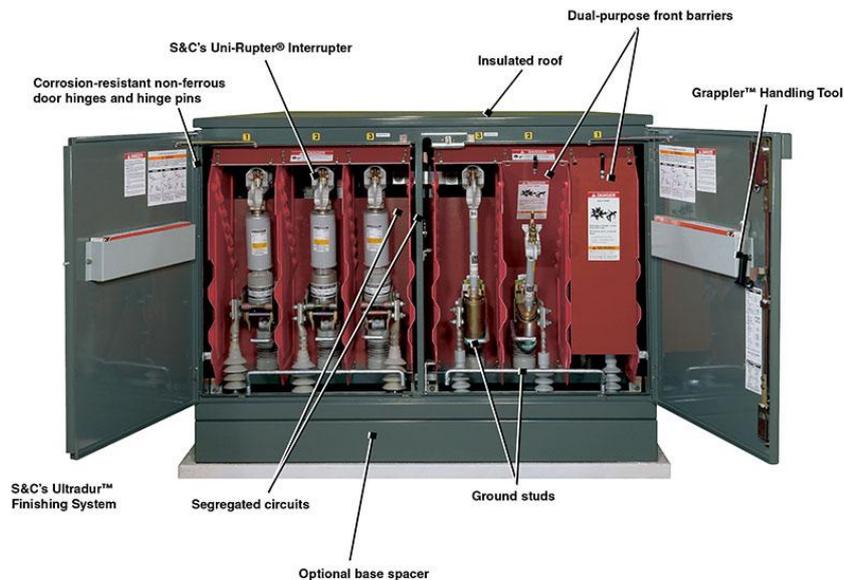
**Figura 34.** Conector angular removido, para aislar una falla

Hay que tener presente que algunos conectores angulares son capaces de interrumpir el flujo de carga, se debe estar seguro de conocer el tipo de conector angular que se está usando, con interrupción de carga o sin ella. Cuando se conecta o se desconecta un conductor angular, se puede estar tratando con un terminal de cable o receptáculo vivo, este estará al voltaje monofásico primario; de este modo siempre es necesario que el técnico use pértiga para línea viva cuando enchufa y desenchufa estas conexiones.

### 2.2.2 Interruptor de distribución (switchgear)

El switchgear a utilizar será del tipo manual modelo PMH9 de la marca S&C, con capacidad de 25kV. El modelo contiene 4 vías, con 2 interruptores de carga y 2 de falla. El modelo cuenta con Interruptores Mini-Rutper externos de accionamiento por palanca de 600 amperes para el seccionamiento trifásico de los circuitos fuente. Los Interruptores Mini-Rupter fueron diseñados específicamente para manejar todas las tareas de seccionamiento trifásico, incluyendo las de plena carga al igual que las relacionadas con las corrientes magnetizantes del transformador y las corrientes de carga del cableado.

En la siguiente imagen se muestra el modelo PMH9 con sus componentes.



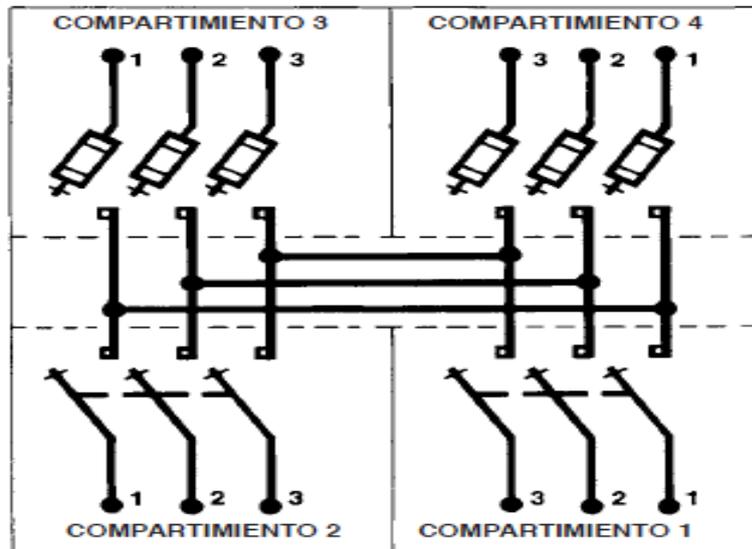
**Figura 35:** Características del switchgear que se usará en el diseño.

El modelo PMH9, incorpora fusibles limitadores de corriente los cuales proporcionan máxima protección contra la gama completa de corrientes de falla y brindan una coordinación precisa con todos los dispositivos protectores de aguas arriba y de aguas abajo.

Con el Equipo Tipo Pedestal de S&C, cuenta con visibilidad, seccionamiento y aislamiento aéreo. Los componentes, los cuales son fáciles de ver, dan al operador la oportunidad de visualizar la configuración del circuito al igual que todos los componentes que están en operación. Las separaciones aislantes de los interruptores.

➤ MODELO PMH9

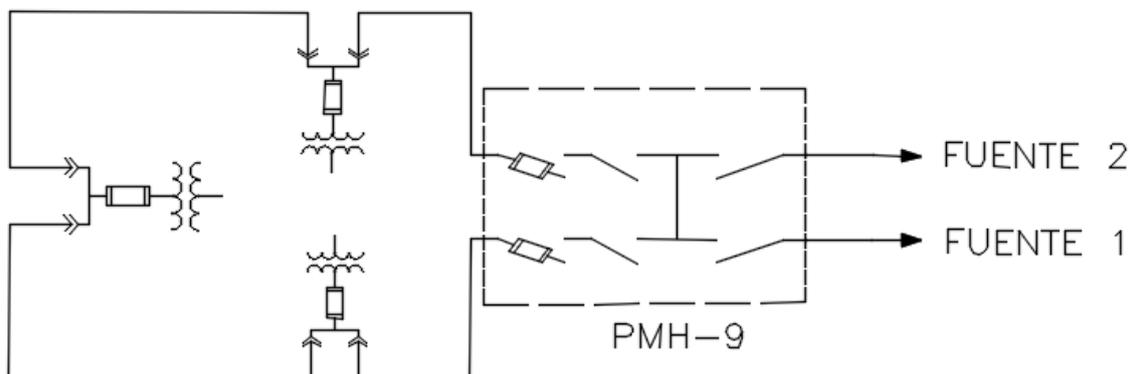
El PMH9 de 4 vías cuenta con 2 interruptores de carga y 2 interruptores de fallas. En la siguiente figura se muestra el diagrama de conexiones del equipo.



**Figura 36** Configuración en anillo con una fuente de alimentación

Con esta configuración, el circuito en anillo será alimentado por el compartimiento uno, y se dejara de reserva el compartimiento dos, por si se desea alimentar el circuito de otra fuente.

En la siguiente figura se muestra la red en anillo conectada al switchgear PMH9, y como la red en anillo se podrá alimentar de dos fuentes.



**Figura 37.** Configuración para el switchgear que se utilizará.

➤ FUSIBLES

Los fusibles que se utilizarán serán tipo SMU-20, con capacidad de 200 amperios máximos continuos. Los Fusibles de SMU-20 se fabrican conforme a un sistema de calidad certificado para cumplir con las normas ISO9001:2000.

## **Características**

Los fusibles de potencia SML, como se mencionó anteriormente, incluyen Uni-Rupter , que proporciona el seccionamiento en vivo monofásico de 200 amperios de circuitos monofásicos o trifásicos en sistemas de distribución de hasta 25 kV. Uni-Rupter ofrece lo último en simplicidad de seccionamiento en vivo: un tirón firme y seguro en el fusible con una pértiga es todo lo que se necesita para la interrupción del circuito. Dado que la interrupción del circuito es interna a Uni-Rupter, no hay llama ni arco externo.

## **Capacidad**

Para el diseño de la red primaria, se utilizarán fusibles SMU-20 de 25kV nominales y 27kV máximo y BIL de 25kV, y 20,000 amperes RMS asimétricos (12,500 amperes RMS simétricos) con capacidad de interrupción a los 25 kV.

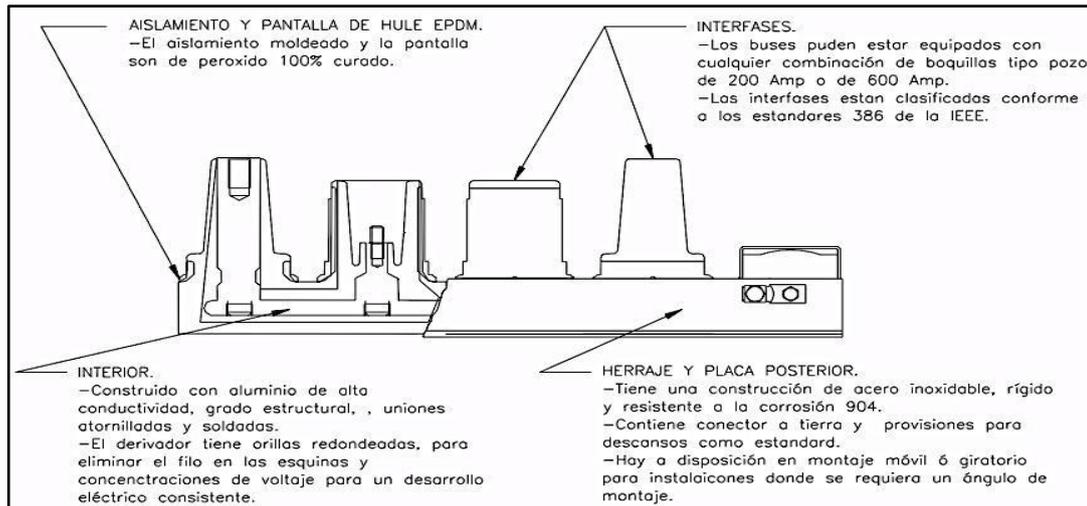
## **Interrupción de la falla**

La interrupción de falla rápida y positiva de los fusibles SMU-20 se logra mediante la elongación de alta velocidad del arco en el barreno revestido de material sólido y por la eficiente acción des-ionizante de los gases generados a través de una reacción térmica del material sólido debido al calor del arco confinado.

## **2.3 ACCESORIOS PAR EQUIPOS ELECTRICOS DE DISTRIBUCIÓN SUBTERRANEA**

### **2.3.1 Derivador múltiple**

Los derivadores múltiples son dispositivos que permiten hacer derivaciones en media tensión en 600 A - 600 A, 600 A - 200 A y 200 A - 200 A. A su vez estos derivadores tienen diferentes configuraciones según la cantidad de vías, siempre teniendo en cuenta que como mínimo es de tres vías, porque básicamente se necesita una entrada y una salida del alimentador y una tercera vía para el punto de acometida. Lo anterior se muestra en la siguiente figura.



**Figura 38.** Descripción de un derivador múltiple 4 vías 600 A - 200 A

Los derivadores múltiples pueden ser de dos tipos operación con carga u operación sin carga, siendo el primero el más común debido a que se puede operar con tensión lo que permite hacer mantenimientos sin la necesidad de afectar al usuario. En estos derivadores es donde existe la conexión de las acometidas a los usuarios así como los puntos abiertos de los anillos. Son colocados principalmente dentro de los registros o en muretes, su colocación es mediante ménsulas.

Comúnmente sus diseños son ligeros y resistentes a los daños debidos a la corrosión y humedad, son construidos en hule EPDM, su fijación es mediante herrajes de acero inoxidable y resistente a la corrosión. Los puntos de conexión comúnmente no necesitan mantenimiento ya que se encuentran sellados herméticamente. Son ideales para aplicaciones sumergibles, estos dispositivos deben ser diseñados y aprobados por las normas IEEE 336, ANSI, C119.4.

### 2.3.2 Terminales en sistemas en 200 amperios

Las terminales en media tensión permiten conectar los cables de media tensión a transformadores o derivadores de forma segura. Están fabricados de hule EPDM moldeado lo que permite que la terminal sea resistente a la humedad y elimina la exposición de partes vivas hacia el operador. Hay dos tipos de terminales en 200 A según su tipo de operación:

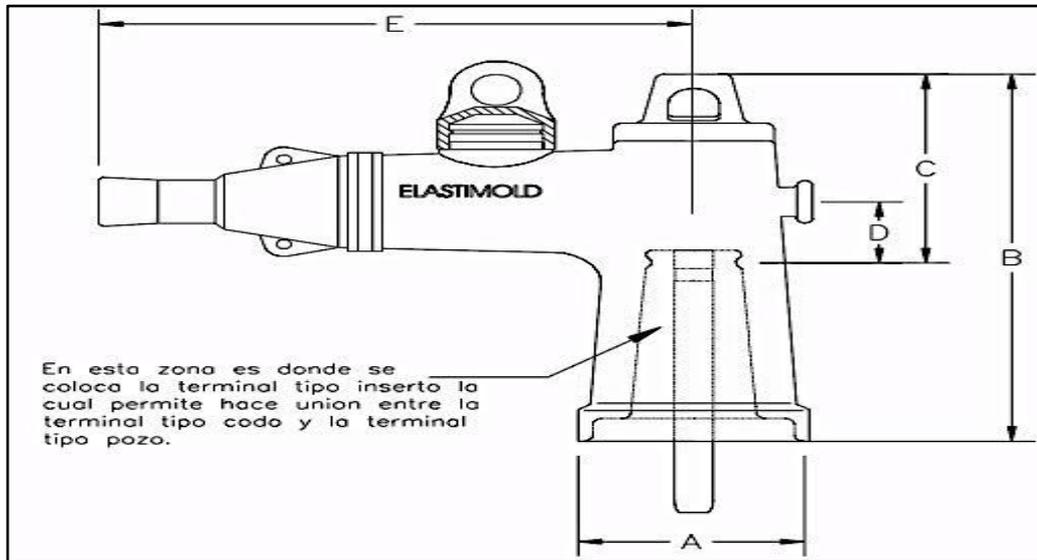
- **Operación con carga.**
- **Operación sin carga.**

#### ➤ **TERMINAL TIPO CODO**

Este tipo de terminales permiten conectar los cables de energía a los diferentes tipos de equipos como pueden ser transformadores, seccionadores, interruptores,

derivadores múltiples etc. La terminal tipo codo se usa para sistemas en 200 A con niveles de aislamiento para 15 kV, 25 kV y 35 kV.

Las terminales tipo codo permiten conectar cables de energía desde el calibre 1/0 AWG hasta el calibre 250 MCM con un nivel de aislamiento del 100%, 133% y 173%. En la siguiente figura se muestra las cotas de una terminal tipo codo 200 A, así como en la tabla las dimensiones de dicha terminal.



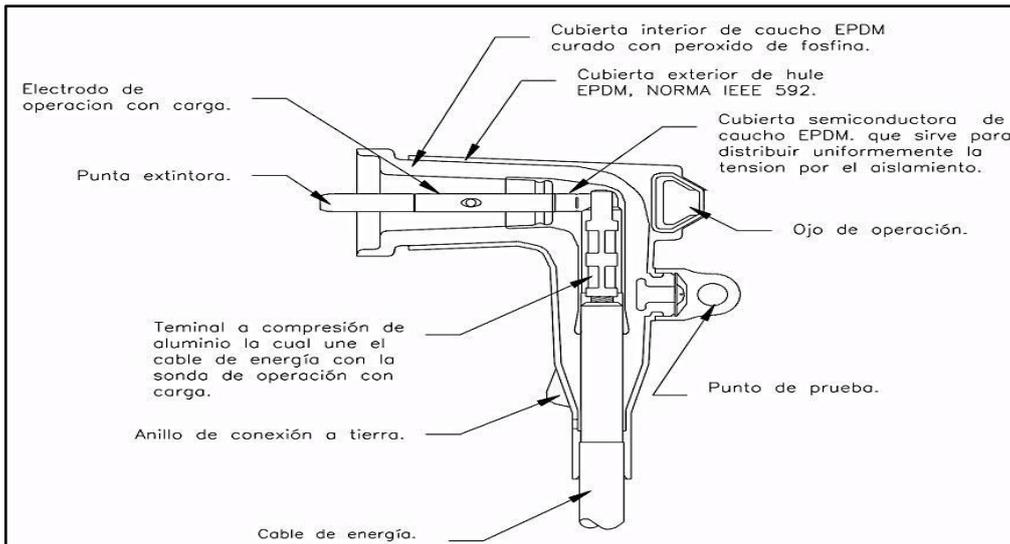
**Figura 39.** Acotaciones de terminal tipo codo 200 A

Terminal tipo codo			
Dimensiones	15kV	25kV	35kV
A	74.3	8.2	80.2
B	192.3	221.0	241.1
C	99.6	100.9	100.8
D	32.8	41.2	41.2
E	191.4	192.1	192.1

**Tabla 15.** Dimensiones de terminal tipo codo 200 A

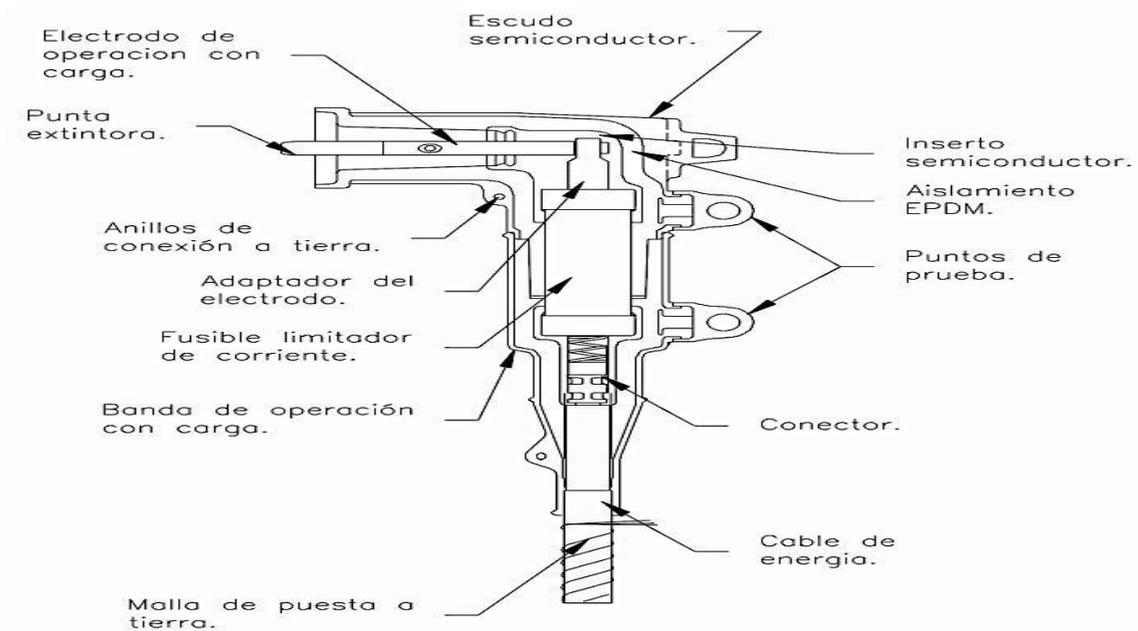
➤ **TERMINAL TIPO CODO PORTAFUSIBLE**

Las terminales tipo codo porta fusible se utilizan para proteger sistemas de distribución en 200 A incluyendo los circuitos en anillo y radial, cajas derivadores, transformadores y otros equipos



**Figura 40.** Terminal tipo codo de operación con carga

Las terminales tipo codo porta fusible son de cuerpo separable lo que permite extraer el fusible que trae en su interior.



**Figura 41.** Partes que conforman a una terminal tipo codo porta fusible 200 A

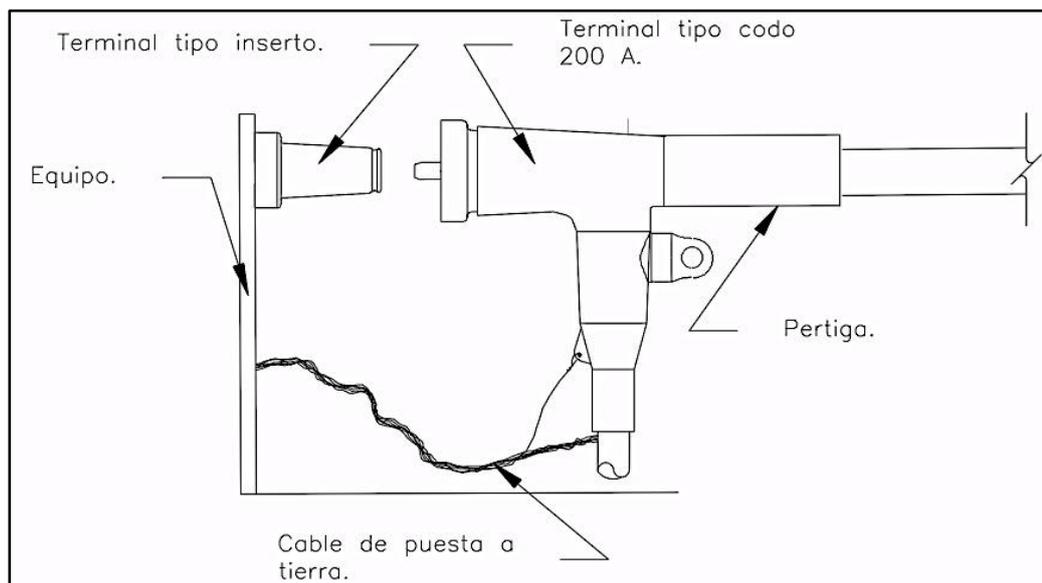
Especificaciones eléctricas, terminal tipo codo 200 A								
Nivel de	Corriente de	Corriente	Tensión	Tensión	Nivel básico de	Tensión	Tensión	Extinció

tensión [kV]	operación [A]	de corto circuito o 10 ciclos [kA]	de fase tierra [kV]	de fase fase [kV]	aislamiento BIL [kV]	máxima ca sostenida en un minuto [kV]	máxima cd sostenida en un minuto [kV]	n de la corona [kV]
15	200	10	8.3	14.4	95	34	53	11
25	200	10	15.2	26.3	125	40	78	19
35	200	10	21.1	36.6	150	50	103	106

**Tabla 16.** Intervalos de operación de las terminales tipo codo 200 A

Hay dos tipos de terminales tipo codo; terminales de operación con carga y terminales de operación sin carga las cuales deben de cumplir con la norma IEEE STANDARD 386. Las terminales de operación con carga son las más utilizadas ya que permiten hacer maniobras sin interrumpir el suministro de energía eléctrica a los usuarios (lo contrario de las terminales de operación sin carga), está se opera mediante una pértiga que sirve como un punto de aislamiento entre el equipo energizado y el operador.

La forma correcta de instalar la terminal mediante una pértiga, se muestra en la siguiente figura.



**Figura 42.** Colocación de terminal tipo codo 200 A a equipo de media tensión

## 2.4 CABLE DE ENERGIA DE MEDIA TENSION

Un cable de potencia es un dispositivo eléctrico utilizado para transmitir energía eléctrica de un lugar a otro a una corriente y tensión determinadas. al tratar el tema de cables para media tensión, se está hablando de un rango de 1.1 [kV] hasta 35 [kV], los valores de diseño para la fabricación de cables son de 5, 8, 15, 25, 35 [kV]. En la siguiente tabla se muestran los niveles de energía con sus respectivos valores de diseño de los cables.

NIVELES DE ENERGÍA	RANGO	VALORES DE DISEÑO
Baja tensión	300[V]-1.0[kV]	440[V]
<b>Media tensión</b>	<b>1.1[kV]-35[kV]</b>	<b>5, 8, 15, 25 y 35[kV]</b>
Alta tensión	69[kV]-161[kV]	69, 115, 138, 161 y 170 [kV]
Extra alta tensión	230[kV]-500[kV]	230, 345, 400 y 500 [kV]

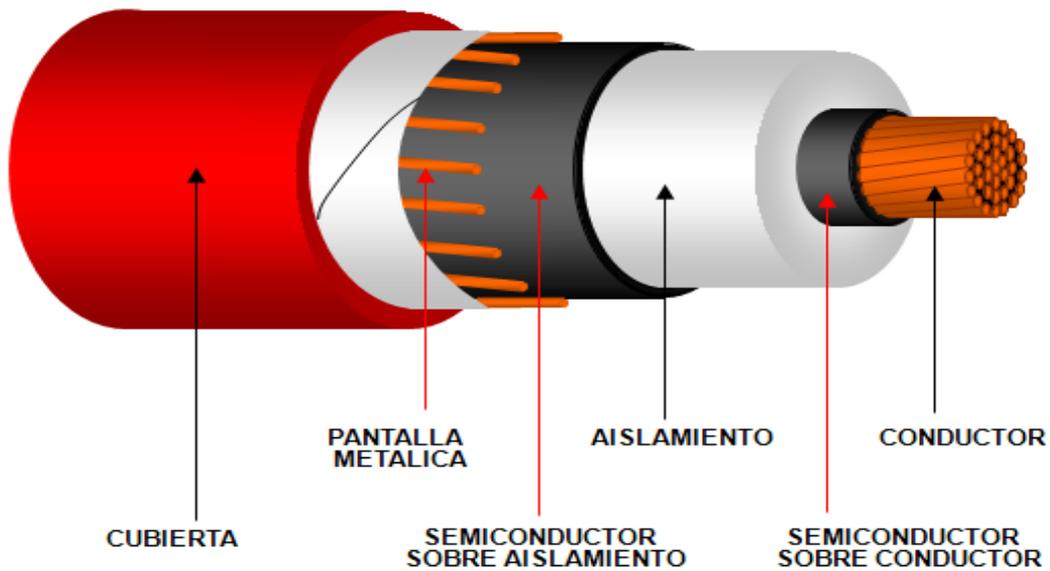
*Tabla17. Valores comerciales de tensión*

### 1.4.1 Elementos que componen un cable

En un cable de energía existen tres elementos principales:

- El conductor
  - ✓ Cobre recocido, desnudo o recubierto de una capa metálica.
  - ✓ Aluminio, o aleación de aluminio
- El aislamiento
  - ✓ Papel impregnado en aceite
  - ✓ Polietileno vulcanizado (XLPE)
  - ✓ Etileno propileno (EPR)
- Las protecciones
  - ✓ Contra daños de origen eléctrico
    - Capa semiconductor
    - Pantallas
  - ✓ Contra daños de origen mecánico
    - Cubierta (interior y exterior)
    - Armadura

En la siguiente figura se muestran cada una de las partes del cable de potencia

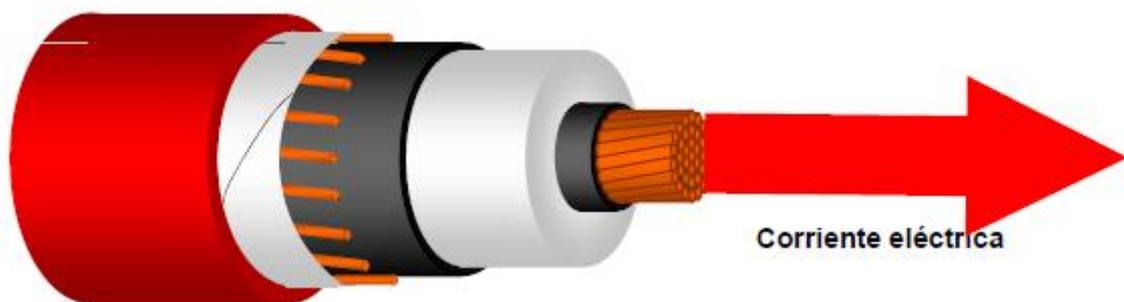


*Figura43. Elementos componentes de un cable de energía*

#### ➤ EL CONDUCTOR

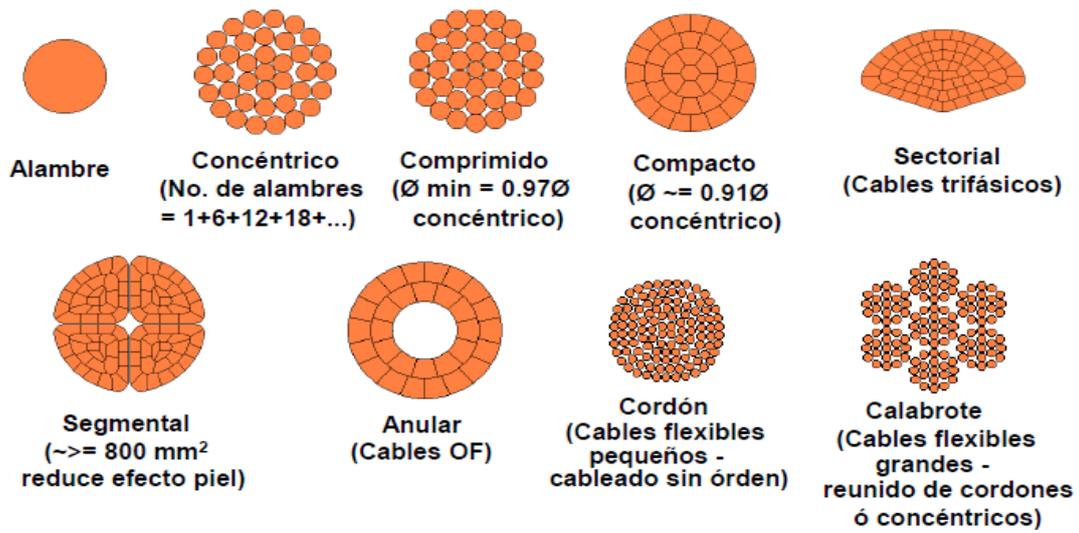
Un conductor es todo aquel material que permite el flujo de la corriente o de cargas eléctricas en movimiento sin mucha oposición. Es un elemento metálico que permite con facilidad el paso de corriente eléctrica, es decir, posee baja resistencia y alta conductividad. Para efectos de un cable de potencia de media tensión solamente se utiliza cobre o aluminio, por lo cual a mayor área del conductor, mayor capacidad de transmisión de corriente eléctrica.

El conductor transmite la corriente eléctrica ó la energía eléctrica de un lugar a otro.



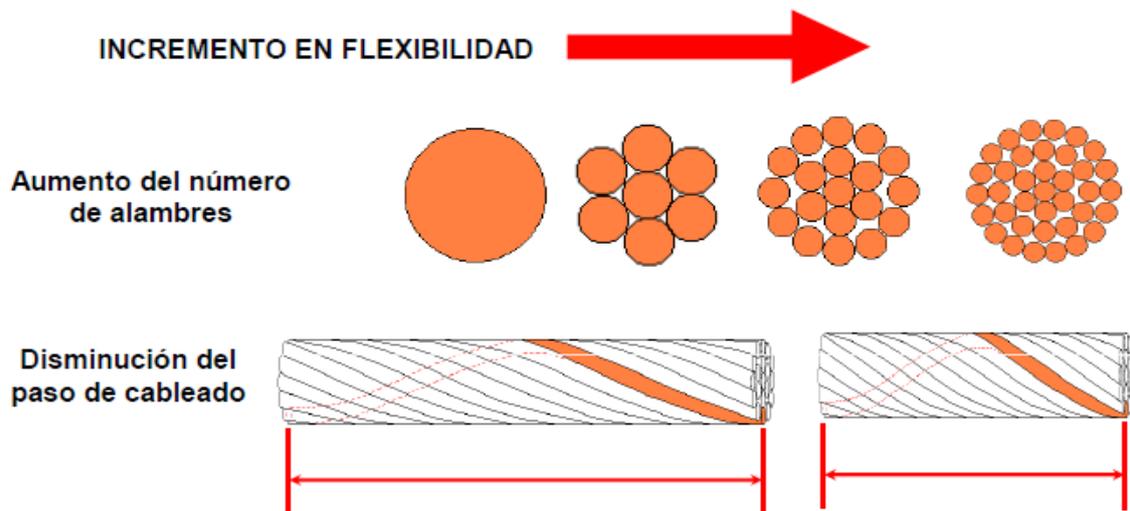
*Figura 44. Conductor de potencia*

➤ FORMAS Y TIPOS DE CONDUCTORES



*Figura 45. Distintas formas y tipos de conductores*

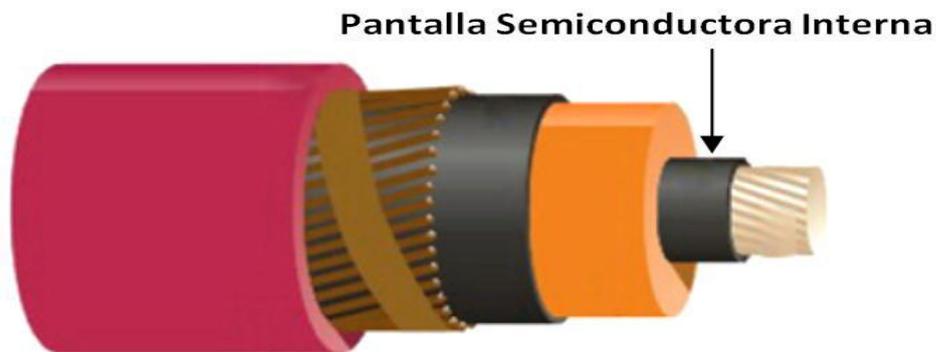
➤ FLEXIBILIDAD EN CONDUCTORES



*Figura 46. Aumento de la flexibilidad en conductores de potencia*

➤ LA PANTALLA SEMICONDUCTORA SOBRE EL CONDUCTOR (PANTALLA INTERNA)

Se coloca sobre el conductor, es la capa de material sintético y de baja resistividad que tiene como función promover la disminución simétrica y radial del esfuerzo del campo eléctrico sobre el aislamiento, haciendo uniforme el gradiente eléctrico en la superficie del conductor.

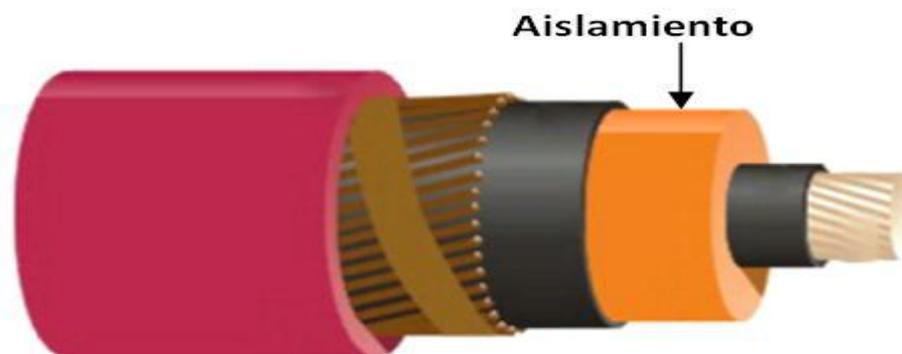


**Figura 47.** Pantalla interna

Es decir, alisa el campo eléctrico más cercano al conductor haciéndolo uniforme, disminuyendo de ésta manera el gradiente eléctrico y el riesgo de la formación de puntos de ionización en la parte del aislamiento en la que el campo es más intenso.

➤ LOS AISLAMIENTOS EXTRUIDOS. GENERALIDADES

Un material aislante es aquel que tiene fuertemente ligados los electrones de sus átomos a sus núcleos y por lo tanto no permite su fácil desplazamiento por lo que ante la acción de una diferencia de potencial, tales electrones no tienen la libertad de moverse. El aislamiento en un cable de potencia es una capa de material sintético de alta resistividad y tiene como función confinar el campo eléctrico.



**Figura 48.** Aislamiento

El espesor del aislamiento es importante que sea el apropiado para la tensión del conductor, ya que tiene la finalidad de que el campo eléctrico al que se somete al aislamiento sea menor a la rigidez dieléctrica del medio aislante. Las características eléctricas ya se han descrito, sin embargo también existen otro tipo de condiciones con las que debe de cumplir un aislamiento.

➤ CARACTERÍSTICAS DE LOS PRINCIPALES AISLAMIENTOS EMPLEADOS EN CABLES



	PVC (Policloruro de Vinilo)	PE (Polietileno)	XLPE (Polietileno de Cadena Cruzada)	EPR (Etileno – Propileno)	Papel impregnado en aceite
Temperatura máxima de operación (°C)	75	75	90	90	85
Temperatura máxima de sobrecarga (°C)	105	85	130	130	100
Temperatura máxima de corto circuito (°C)	150	150	250	250	150
Constante Dielectrica (a 60 Hz y temperatura de operación)	4 – 8	2.3	2.5	3.0	3.9
Tan δ (a 60 Hz y temperatura de operación)	0.09	0.001	0.001	0.015	0.011
Constante K de resistencia de aislamiento (a 15.6 °C ) (MΩ-km)	750	15 250	6 100	6 100	1 000

**Tabla 18** Características de los principales aislamientos empleados en cables

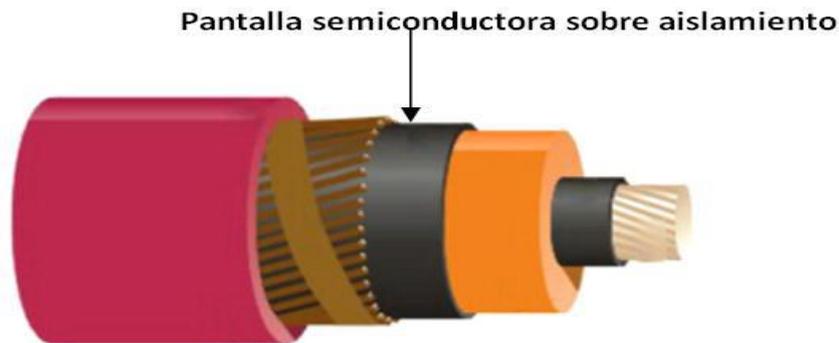
➤ POLIETILENO VULCANIZADO (XLPE)

También llamado polietileno de cadena cruzada o polietileno reticulado, se logra a través de la suma de un peróxido que al ser expuesto a una temperatura elevada en el proceso de vulcanización tiene una reacción con el polietileno provocando la liga de las cadenas moleculares de polietileno.

El proceso de vulcanización es importante, ya que aumenta la rigidez y eso conlleva una mayor dificultad para el manejo mecánico del cable. Éste material tiene una muy buena estabilidad térmica, lo que le permite soportar una temperatura de operación de hasta 90°C y soportar sobrecargas o cortocircuitos como un material termoestable. Como desventaja, tiene una baja resistencia de ionización en presencia de humedad lo que se conoce como arborescencia.

➤ LA PANTALLA SEMICONDUCTORA SOBRE EL AISLAMIENTO (PANTALLA EXTERNA)

Los cables de energía, bajo el potencial aplicado, quedan sometidos a esfuerzos eléctricos radiales, tangenciales y longitudinales. Los esfuerzos radiales están siempre presentes en el aislamiento de los cables energizados. El aislamiento cumplirá su función en forma eficiente si el campo eléctrico se distribuye uniformemente. Una distribución no uniforme conduce a un incremento de estos esfuerzos en porciones del cable, con el consecuente deterioro.

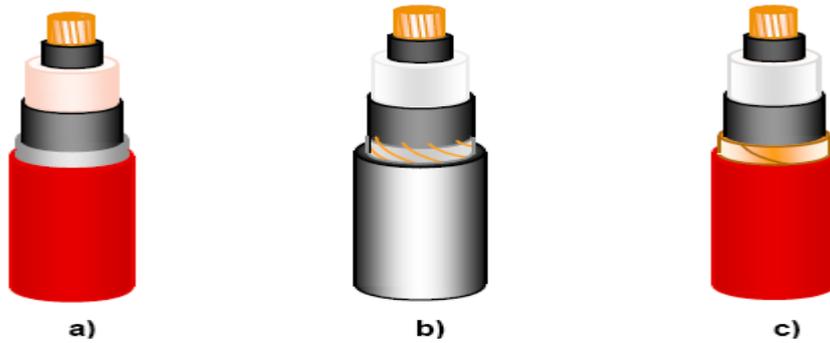


**Figura 49.** Pantalla semiconductora sobre aislamiento

Se aplica sobre el aislamiento con el fin de hacer que las líneas del campo eléctrico sean radiales haciendo trabajar en forma uniforme el aislamiento. Debe ser lo más tersa y lisa posible para evitar la formación de burbujas en la interface con el aislamiento. Se utiliza un material semiconductor para evitar que se produzca ionización a su vez producida por descargas eléctricas, las cuales son reducidas por dicho material semiconductor.

➤ LA PANTALLA METÁLICA

Ésta pantalla está formada por hilos y cintas de cobre aplicadas en forma helicoidal sobre la semiconductora externa y su función es la de proteger la vida humana, pues sirve para realizar las conexiones de puesta a tierra, y para una instalación es recomendable aterrizar la pantalla en todos aquellos lugares en donde sea posible. Dicha pantalla también puede estar construida de plomo tal y como se observa en la Figura



**Figura 50.** Variantes de pantallas metálicas. a) Plomo, b) Alambres de cobre, c) Cintas de cobre

De acuerdo al propósito de diseño, la pantalla metálica puede tener tres funciones:

- Para propósitos electrostáticos. Deben ser de metales no magnéticos y pueden consistir en cintas, alambres o cubiertas metálicas de plomo o aluminio.
- Para conducir corriente de falla. En ésta se requiere que tenga una conductancia mayor para conducir corriente de falla.
- Para ser utilizado como neutro en el caso de sistemas monofásicos de distribución residencial subterránea.

#### ➤ LA CUBIERTA EXTERNA OCHAQUETA

La cubierta externa proporciona protección contra los agentes mecánicos, intemperismos y agentes químicos externos. El forro debe de proteger mecánicamente al cable y es en éste en donde se graba la identificación del cable, así como del voltaje de operación, el calibre y algunos otros datos. Existen diversos materiales de la cubierta externa que se mencionan a continuación.

- Cubiertas termoplásticas
- Policloruro de vinilo (PVC)
- Polietileno de alta densidad (HDPE)
- Cubiertas elastoméricas
- Policloropreno (Neopreno)
- Polietileno clorosulfonado (Hypalon)

#### ➤ CUBIERTAS METÁLICAS

En algunos casos por condiciones de operación y contaminación del terreno es indispensable utilizar otro tipo de cubiertas, las cuales pueden ser hechas de una capa de plomo, acero, o una malla de alambre de acero cubriendo la totalidad del cable.

La cubierta de plomo brinda una conductancia adicional que se puede aprovechar para conducir corriente de falla dado los espesores que se necesitan desde el punto de vista mecánico. De la misma manera, existen cubiertas metálicas tubulares, laminadas, engargoladas y combinadas, dependiendo del tipo de instalación y sobre todo de la protección que se desee brindar al sistema de cables.

## **2.5 ESPECIFICACIONES TECNICAS**

### **2.5.1 Especificaciones del sitio**

La Universidad de El Salvador está ubicada en la ciudad de San Salvador, en la Autopista Norte y Final 25 Av. Norte, con un clima cálido en todo el año. A continuación se presentan algunas características del sitio.

➤ **CONDICIONES DEL SITIO DATOS**

**Temperatura min / máx:** +13 / +33 °C

**Humedad relativa máxima:** 100%

**Altitud:** 650 m sobre el nivel del mar

**Velocidad del viento:** 100 km / hora

**Coefficiente sísmico:** 0.25

**Clasificación del área:** Anisotrópico

**Nivel Isoceráunico:** 125 días al año

### **2.5.2 Obra civil**

➤ **ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA INSTALACIÓN LOS DUCTOS**

- a)** El material de los ductos debe ser resistente a esfuerzos mecánicos, a la humedad y al ataque de agentes químicos del medio donde quede instalado, de tal forma que una falla de un cable en un ducto no se propague a los cables de los ductos adyacentes.
- b)** El interior de los ductos debe tener un acabado libre de asperezas y filos; los extremos dentro de las cámaras deben tener los bordes redondeados y lisos; en las uniones de ductos se deben colocar acoples de tal forma que no queden escalones entre uno y otro tubo; se debe evitar el uso de materiales que puedan penetrar al interior de los ductos formando protuberancias que, al solidificarse puedan causar daño a los cables durante la instalación.
- c)** Los ductos deben ser de asbesto cemento, PVC grado eléctrico o metálicos.
- d)** En los cruces de calles o en lugares de tráfico pesado, será necesario colocar una loza de concreto armado sobre el banco de ductos.

- e) Los cambios de dirección en el plano horizontal y vertical se hará por medio de cámaras y la distancia entre ellas en tramos rectos no debe ser mayor de 80 mt, con una pendiente mínima de 0.3%.
- f) La sección transversal de los ductos debe ser tal que al instalar los cables estos solo ocupen el 40%.
- g) El diámetro mínimo de los ductos será de 4" y el número máximo de cables aislados será de 3 más el respectivo neutro. El mínimo de ductos a instalar será de 3.
- h) Los ductos deben quedar fijos por el material de relleno, en tal forma que se mantengan en su posición original bajo los esfuerzos impuestos durante la instalación, se debe evitar que los ductos pasen por terrenos inestables.
- i) Los ductos que atraviesan los muros de un edificio, deben estar provistos de sellos que eviten la entrada de gases o líquidos al edificio.
- j) A la entrada de cámaras o recintos deben quedar dichos ductos en terreno bien compactado o quedar soportados adecuadamente para evitar esfuerzos cortantes en los mismos.
- k) Cuando los ductos se crucen con alguna fuente de calor, será indispensable colocar entre ellos una barrera térmica adecuada.
- l) Sobre los ductos se colocará una banda plástica de 30 cm de ancho de color rojo, señalizando de esta forma que existe canalización de cables de alta tensión.

#### ➤ CANALIZACIÓN EN MEDIA TENSIÓN

- a) Se entiende por canalización la excavación a efectuarse dentro del área del

Proyecto, para la colocación de los ductos (tubos de PVC lisos) donde serán instalados posteriormente los conductores.

- b) Los conductos en donde se colocarán los conductores tendrán un diámetro de pulgadas, con características mecánicas equivalentes y no menores a la tubería de PVC DB 120. Existiendo, además, un tubo adicional de iguales características, previsto como reserva. Para conservar una distancia uniforme, entre ellos, se deben usar separadores tipo yugo y podrán ser de madera, fibra de vidrio o plástico, colocados a una distancia máxima de tres metros entre ellos.

#### ➤ POZOS DE REGISTRO

Se requerirán pozos de registro cuando existan cambios de dirección, en transiciones aéreas subterráneas, en bóvedas de transformadores, así como a lo largo de todos los tramos rectos de la ruta normal del circuito. Los pozos de registro deben cumplir los siguientes requerimientos:

- a) Ser lo suficientemente amplios para permitir al cable los radios de curvatura recomendados y realizar dentro de él las maniobras necesarias para tendido, fabricación de empalmes, etc...

- b)** Estar contruidos de forma tal que sean capaces de soportar, con suficiente margen de seguridad, las cargas que se le impongan; esto es válido también para las tapaderas.
- c)** Contar con un sistema de drenaje suficiente para manejar las filtraciones o condensaciones que pudieran darse.
- d)** Se requerirá solamente una caja de registro ubicada bajo el transformador de pedestal, en tramos de líneas trifásicas o monofásicas no mayores a 40 metros de longitud, cuando se usen conductores calibre 1/0 AWG, en tal caso, se deberá dejar como reserva 2 metros de cable por fase.
- e)** Tener argollas que faciliten fijar los equipos de halado. Deben proveerse soportes para soportar los cables y evitar que descansen en el suelo y puedan ser dañados.
- f)** Si existe la posibilidad de realizar empalmes o derivaciones deberá colocarse en su interior como mínimo una barra de tierra, para aterrizar estructuras y pantallas de cables.
- g)** Cuando el pozo de registro albergue empalmes, deberá tener espacio suficiente para éstos, además del espacio para maniobrarlos.
- h)** Las bocas de los ductos deben estar emboquilladas y pulidas.
- i)** En los pozos se deben colocar soportes para descansar el cable y empalmes. Estos soportes deben estar provistos de porcelanas o protegidos, con el objeto de que los cables puedan moverse libremente con los ciclos térmicos.
- j)** Cuando la obra civil se hace con mucha anticipación a la instalación de los cables, se corre el riesgo de que se inunden los registros, por lo cual el conveniente colocar tapones provisionales (papel y yeso) para evitar que los ductos se obstruyan.
- k)** El interior de todas las cajas debe ser recubierto con un mortero impermeabilizante. Éste se debe aplicar en dos capas, gris la primera y blanca la segunda. Antes de su aplicación, todas las grietas o agujeros deberán ser rellenados con un sellador de poliuretano mono componente.
- l)** El espesor de las paredes será “como mínimo” de 12 centímetros.
- m)** El acero de refuerzo se armará en forma de malla con claro de 15 centímetros.
- n)** Las cajas deberán ser construidas de concreto colado.
- o)** Se debe utilizar vibrador para dar uniformidad al concreto.
- p)** El nivel de acceso a las cajas de registro, deberá estar a 10 cm sobre el nivel del suelo en zonas verdes. Si la caja se localiza en acera o calle, la tapa de ésta deberá quedar al nivel y será empotrada en la losa superior.

➤ DISEÑO

Para EL diseño se hace referencia al documento “Sistemas de distribución de líneas Subterráneas”, código SNE-EC-DS, de AES El Salvador. En la siguiente imagen se muestran un pozo de paso de línea primaria.



**Figura 51.** Pozo de paso para líneas primarias.

En la siguiente imagen se puede ver un pozo derivador, tal y como se muestra aún no se le ha colocado el derivador, este tipo de pozos puede manejar tanto línea primaria como secundaria



**Figura 52.** Pozo de paso para líneas primarias y secundarias

➤ **CÁMARAS DE EMPALME.**

Son aquellas que se deben construir para efectuar instalación de empalmes premoldeados de entrada y salida, en derivación, rectos o en cinta. También se usa como cámara de paso para redes principales.

Sus dimensiones serán de 1.5 x 1.5 x 1.8 metros (largo, ancho y profundidad). Se hace necesario en este tipo de cámara el sifón de desagüe, debido a su función de conexión.

➤ **CÁMARAS DE EQUIPO.**

Son aquellas donde se montará equipo de maniobra y / o transformador subterráneo. Sus dimensiones serán de 3 x 3 x 2 m.

Las cámaras antes anotadas deben estar ubicadas fuera de las áreas de circulación vehicular, a no ser que sea estrictamente necesario. Las canalizaciones deben ir sobre andenes y zonas verdes, evitando al máximo su ubicación sobre vías vehiculares. Si en una cámara de equipo van a ser instalados más equipos de los mencionados se debe construir una cámara especial

Todas y cada una de las cámaras mencionadas deberán tener:

- a) Fácil acceso para efectos de inspección y mantenimiento.
- b) Desagüe adecuado al tipo de cámara.
- c) Tapas y paredes resistentes.
- d) Ventilación adecuada.

### 2.5.3 Tensiones y longitud máxima de jalado.

Es difícil determinar la tensión máxima que un cable puede soportar sin dañarse, sin embargo el daño puede presentarse por varias causas, incluyendo la deformación del cable por alargamiento excesivo del conductor, por los jalones bruscos o por la presión que ejercen las paredes del ducto en secciones curvadas. En una trayectoria con una considerable cantidad de curvas es más complicado jalar el cable que en un tramo recto, la tensión es directamente proporcional a la longitud y al peso del cable.



*Figura 53. Ilustración de tensión máxima de jalado*

La tensión no debe exceder lo que resulte de la siguiente formula

$$T_m = T \cdot n \cdot A$$

$T_m$  = Tension maxima permisible en kg

$T$  = Tension del material que se esta utilizando

$n$  = Numero de conductores

$A$  = Area de cada conductor en

Para un conductor individual

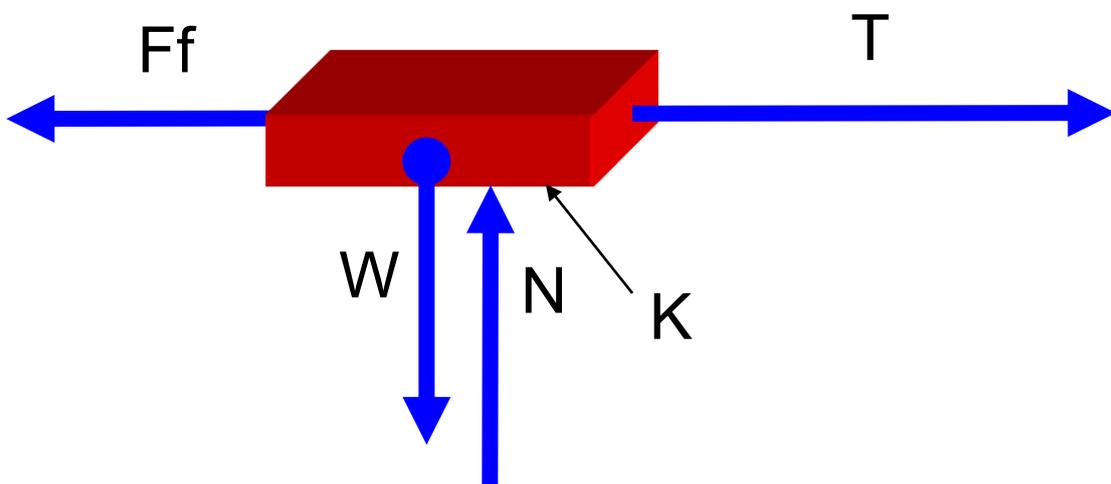
$$T_{mi} = K * A (2)$$

$T_{mi}$  = Tension maxima de jalado de un conductor individual en lb

$K$  = Es una constante = 8lb/kcmil

$A$  = Area de la seccion trasversal de cada conductor en kcmil

Principio de básico de jalado de cable en ductos



**Figura 54.** Diagrama de cuerpo libre para determinar la tensión de jalado

$$T = KW$$

Donde:

T = Tensión de jalado

W = Peso del cable

N = Fuerza Normal

Ff = Fuerza de fricción

K = Coeficiente de fricción que depende de las dos superficies en contacto.

➤ FÓRMULAS PARA CALCULAR LA TENSIÓN DE JALADO

**a) Jalado horizontal**

Tramo recto:

$$T = wflW$$

Longitud máxima:

$$L_m = \frac{T_m}{wfW}$$

**b) Jalado inclinado (donde A es el ángulo con la horizontal)**

Hacia arriba:  $T = Wl(\sin A + wf \cos A)$

Hacia abajo:  $T = Wl(\sin A - wf \cos A)$

**c) Curva horizontal (doble es el ángulo considerado).**

$$T_s = T_e \cdot \cosh wf\theta + \sinh wf\theta \sqrt{T_e^2 + (WR)^2}$$

**d) Curva vertical, jalado hacia arriba.**

Cóncava con el ángulo hacia abajo:

$$T_s = T_e \cdot e^{wf\theta} + \frac{WR}{1 + (wf)^2} [2wf e^{wf\theta} \sin \theta + (1 - w^2 f^2)(1 - e^{wf\theta} \cos \theta)]$$

Cóncava con el ángulo hacia arriba:

$$T_s = T_e \cdot e^{wf\theta} - \frac{WR}{1 + (wf)^2} [2wf e^{wf\theta} \sin \theta - (1 - w^2 f^2)(e^{wf\theta} - \cos \theta)]$$

**d) Curva vertical, jalado hacia abajo.**

Cóncava con el ángulo hacia abajo:

$$T_s = T_e \cdot e^{wf\theta} + \frac{WR}{1 + (wf)^2} [2wf \sin \theta - (1 - w^2 f^2)(e^{wf\theta} - \cos \theta)]$$

Cóncava con el ángulo hacia arriba:

$$T_s = T_e \cdot e^{wf\theta} + \frac{WR}{1 + (wf)^2} [2wf e^{wf\theta} \sin \theta + (1 - w^2 f^2)(1 - e^{wf\theta} \cos \theta)]$$

**e) Aproximaciones Para curvas.**

Si  $T_e > 10 WR$  entonces:

$$T_s = T_e e^{wf\theta}$$

Si  $T_s < 0$  Usar cero para el siguiente tramo del tendido

Para las formulas

$T =$  Tensión de jalado en kg.

$l =$  Longitud del ducto en mm.

$W =$  Peso total del cable.

$T_m =$  Tensión máxima en kg.

$w =$  Factor de corrección por peso.

$A =$  Ángulo con la horizontal en radianes.

$f =$  Coeficiente de fricción (generalmente se toma como 0.5).

$T_s =$  Tensión a la salida de la curva en kg.

$T_e =$  Tensión a la entrada de la curva en kg.

$\theta =$  Ángulo de la curva en radianes.

$R =$  Radio de la curva en m.

$e =$  Base de los logaritmos naturales

En la siguiente tabla se muestran valores de  $e^{wf\theta}$  para los ángulos más comunes y cuando  $T_e > 10WR$  y  $w = 1$

Angulo (Grados)	f = 0.4	f = 0.5	f = 0.5
15	1.11	1.14	1.22
30	1.23	1.3	1.48
45	1.37	1.48	1.81
60	1.52	1.68	2.2
75	1.7	1.93	2.68
90	1.88	2.19	3.24

**Tabla 19.** Valores para ángulos comunes

**f) Otras fórmulas a utilizar.**

Peso del montaje:

$$W = W_{1/c}(n + n/100)$$

Porcentaje de llenado para conductores redondos y cables de igual diámetro:

$$\% \text{ De relleno} = \frac{d^2}{D^2} \cdot n \cdot 100$$

Máxima tensión para conductores solos, jalados en paralelos:

$$T_m = T_{1/c} \cdot n \text{ para } n \leq 3$$

$$T_m = T_{1/c} \cdot n \cdot 0.8 \text{ para } n > 3$$

$$T_m = 4712t \cdot (d - t) \text{ Para cubierta de plomo}$$

Para varios conductores:

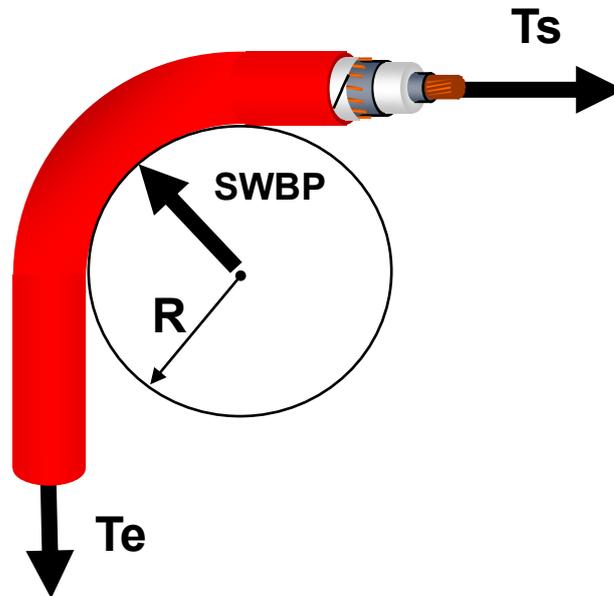
$$T_m = 0.8 \sum T_{1/c} \text{ Para cables sin disposición entrelazada}$$

$$T_m = 0.6 \sum T_{1/c} \text{ Para cables con disposición entrelazada}$$

Cuando se jalen directamente de los conductores metálicos de fase, se permite una tensión máxima de 0.008 lb/cmil, usando un factor de seguridad de 2.4. Sin embargo la tensión máxima no debe exceder las 5000 lb para un solo conductor y 6000lb para varios conductores calibre 8 o superior o 1000 libras para calibres inferiores a 8AWG

➤ PRESIÓN LATERAL EN CURVAS

Cuando se excede la presión máxima permisible, existe la posibilidad que el cable se dañe por aplastamiento. Esta presión se denomina; presión lateral y es la fuerza radial ejercida en el aislamiento y cubierta de un cable.



*Figura 55: Ilustración de la presión lateral que sufre el cable*

Como puede verse en la figura **SWBP**, es la presión lateral en **kg/m**, **Ts** la tensión de jalado, **Te** la tensión en la entrada de la curva y **R** es el radio de curvatura en **m**.

En la siguiente tabla se muestran valores de presión lateral máxima permitida para diferentes tipos de cables.

TIPO DE CABLE	Presión lateral Máxima (kg/m) (1)
600 V con aislamiento de XLPE	1786
600 V con aislamiento de EPR o Neopreno	1488
Aislamiento de XLPE o PE, pantalla de alambres concéntricos: - Sin cubierta (2) - Con cubierta embebiendo alambres	2976
Aislamiento de XLPE o PE, pantalla "LC", cubierta de LDPE	2232

<b>Aislamiento de XLPE, EPR o PE, pantalla de alambres concéntricos o cintas, cubierta tubulada de LDPE o PVC (3)</b>	2976
<b>Cable con cubierta de plomo, con o sin cubierta exterior polimétrica:</b> - Aislamiento de XLPE - Aislamiento de EPR	2946

*Tabla 20 Tipos de cable*

Pueden usarse las siguientes fórmulas para determinar la presión lateral, dependiendo de la geometría:

**a) Un cable por ducto.**

$$P_L = \frac{T_S}{R}$$

**b) Tres cables acuñaados.**

$$P_{La} = \frac{(3w_{3a} - 2)T_{3/A}}{3R}$$

**c) Tres cables triplexados.**

Donde  $P_L = P_{La} = P_{Lt}$  = Presión total en curvas

$$P_{Lt} = \frac{3w_{3t}T_{3/T}}{2R}$$

$T_S$  = Tensión a la salida de la curva en kg.

$R$  = Radio de la curva en m.

$w_{3\theta}$  = Factor de corrección por peso en 3 cables acuñaados.

$w_{3t}$  = Factor de corrección por peso para 3 cables triplexados.

$T_{3/A}$  = Tensión de jalado de 3 cables acuñaados a la salida de la curva en kg.

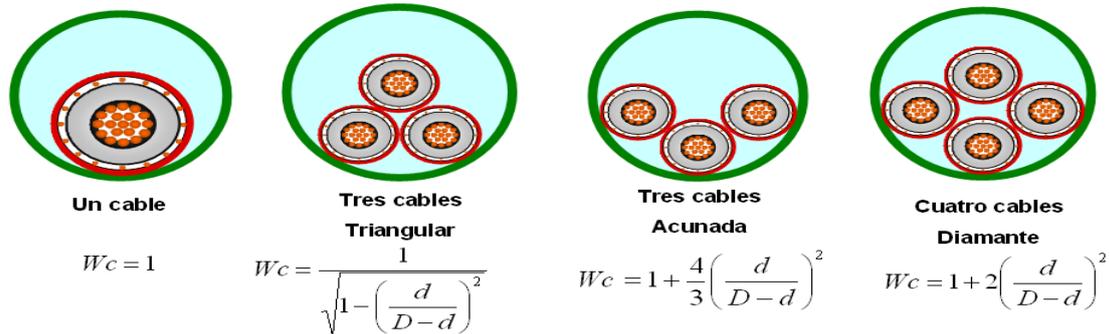
$T_{3/T}$  = Tensión de jalado de 3 cables triplexados a la salida de la curva en kg

**c) Formación triplexada**

$$W_{3-t} = 1 + \frac{4}{3} \left( \frac{d}{D-d} \right)^2 \text{ Con un limite inferior} = 2.155$$

Factor de corrección

Cuando se realiza el jalado de los cables a través de los ductos, en el momento de introducir más de un conductor se tiene que hacer una corrección de peso del cable, ya que al estar en contacto con otros se tiene una mayor fricción y por lo tanto una mayor dificultad para jalarlos, por lo cual se tiene que debe de corregirse dependiendo del número de conductores que han de instalarse en el mismo ducto



**Figura 56.** Tabla de corrección de pesos del cable

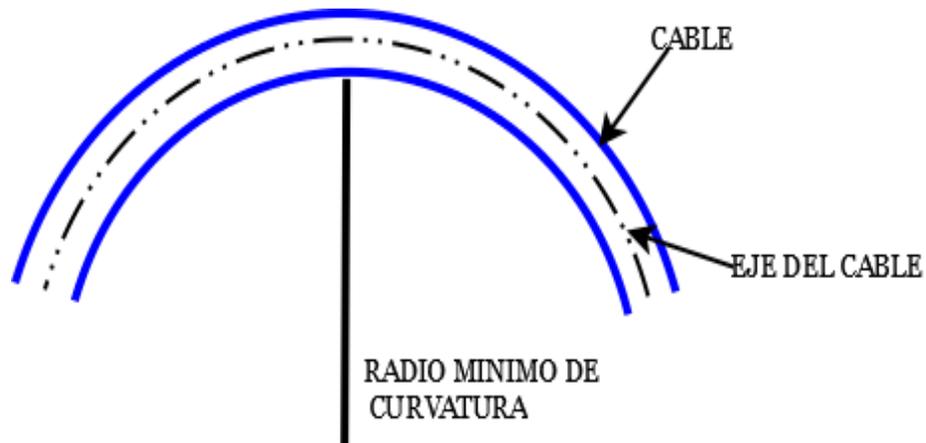
Donde D es el diámetro interior del ducto y d es el diámetro exterior de un cable monopolar.

➤ RECOMENDACIONES

- a) Verificar continuamente la tensión mecánica por medio de un dinamómetro colocado en el cable guía.
- b) Usar dispositivos que interrumpan la tensión si llegase a exceder los valores máximos permisibles.
- c) El cable de energía y el cable guía deben apoyarse por medio de poleas y rodillos, especialmente en las curvas para reducir la tensión de jalado. Los radios de curvatura de los dispositivos, deberán ser lo suficientemente grandes para evitar que sufra daño el cable.
- d) Usar lubricantes adecuados en la instalación del cable para reducir la tensión.

➤ RADIOS MÍNIMOS DE CURVATURA

En la instalación de cables de energía es muy frecuente que el dobléz dado al cable al ser introducido en un banco de ductos, o al existir una curva en la trayectoria, sea menor que el radio mínimo de curvatura especificado por el fabricante; así mismo, cuando un cable se retira para ponerlo o recorrerlo hacia otro lugar, generalmente el tambor que se usa para enrollarlo no es del diámetro adecuado.



**Figura 57.** Radio mínimo de curvatura en un cable de energía.

Estos dobleces ocasionan graves lesiones al aislamiento, a las cintas de la pantalla metálica o a la cubierta de plomo, si se usa. El daño que se le ocasiona al aislamiento es producto de un esfuerzo de tensión mayor que su límite elástico, teniendo como consecuencia su posible fractura o debilitamiento, cuando el cable tiene cintas metálicas como pantalla, estas sufren deslizamiento de una sobre otra, ocasionando que no vuelvan a su estado original.

En la siguiente tabla se muestra los radios mínimos de curvatura para espesores de aislamiento.

Espesor del aislamiento (mm)	25.4 y menores	Diámetro total del cable (mm) 25.4 a 50.8	50.8 y mayores
<b>3.94 y menores</b>	4D	5D	6D
<b>4.32 a 7.87</b>	5D	6D	7D
<b>8.26 y mayores</b>		7D	8D

**Tabla 21.** Radios mínimos de curvatura

El tipo de cable que se utiliza en líneas subterráneas puede ser de cobre o aluminio, con un recubrimiento aislante XLPE, en el caso del diseño presentado para este proyecto, el cable que se utilizara está formado por hilos de cobre, distribuidos de forma concéntrica con una cubierta exterior que se construye en polietileno color negro de alta densidad y cuyo apantallamiento será de neutro concéntrico.

#### 1.5.4 Obra eléctrica

- INTERRUPTOR DE MEDIA TENSIÓN TIPO PEDESTAL (SWICHGEAR)

**Tipo de diseño:** Manual

**Modelo:** PMH9 DE S&C

**Frecuencia:** 60 Hertz

**Barra principal:** 600 Amperios

**Capacidad interruptora mínima:** 12 kA Simétricos

**Capacidades Nomina:** 25kV

**Numero de vías:** 4

**Interruptores:** 2 de carga y 2 de falla

**Tipos de interruptor:** Mini-Rupter y Uni-Rupter

**Material del tanque y/o gabinete:** Acero inoxidable tipo AISI 304. Los de tipo pedestal de color verde oliva.

**Fusibles:** tipo SMU-20, con capacidad para 25kV nominales y 27kV máximo y BIL de 25kV, y 20,000 amperes RMS asimétricos (12,500 amperes RMS simétricos) con capacidad de interrupción a los 25 kV.

➤ TRANSFORMADOR PADMONTED

**Frecuencia de Operación:** 60 Hz.

**Fases:**  $1\phi$  y  $3\phi$

**Capacidades Nominales:** desde 50 kVA hasta 300 kVA

**Voltaje nominal media tensión:** 24,940 Volts.

**Voltaje nominal baja tensión:** 120/208 GrdY.

**Conexiones:** Las conexiones de media tensión serán en “delta” y baja tensión deben ser en “estrella” sólidamente aterrizadas.

**Núcleo:** El núcleo deberá quedar eléctricamente conectado al tanque

**Corriente de excitación:** No deberá ser mayor al 2% de la corriente nominal.

**Derivaciones (Taps):** Deberán tener cinco derivaciones en el lado de media tensión, con una diferencia del 2.5% por cada derivación, por abajo del voltaje nominal.

**Impedancia:** La impedancia deberá cumplir con la norma ANSI C57.12.26

**Configuración:** En lazo (loop feed). Todos los componentes para este tipo de configuración deben ser operables bajo carga.

**Seccionador:** Deberá contar con un seccionador de 4 posiciones, con corriente nominal de 200 A, voltaje máximo de operación de 35 kV, corriente momentánea simétrica RMS de 10 kA.

**Terminales primarios:** Los transformadores trifásicos deben tener un total de seis terminales en media tensión, que cumplan los estándares ANSI / IEEE 386 y cuatro tipo espada n el lado de baja tensión, aterrizamiento y conexión de neutro Ho-Xo.

**Pérdidas:** Las pérdidas permisibles deben de ser de acuerdo a la norma ANSI / IEEE C57.12.00 y se detallan a continuación.

**Nivel básico de Impulso (BIL):** 125 kV en media tensión y 30 kV en baja tensión.

**Temperatura:** Deberá ser diseñado para que opere a una temperatura ambiente máxima de 40 °C.

**Elevación de temperatura:** No debe exceder a los 65 °C sobre la temperatura ambiente según la norma ANSI / IEEE C57.12.00.

**Aceite Aislante:** Puede ser dieléctrico de origen mineral según norma ASTM D3487 y de origen vegetal según norma ASTM D6871-3.

**Material de los devanados:** Puede ser aluminio o cobre.

**Protecciones:** Deben estar protegidos por cada fase con dos fusibles conectados en serie y coordinados entre sí. El primero debe de ser tipo “expulsión”, de doble elemento tipo “bayoneta” (dual sensing) de operación interna, reemplazable exteriormente por medio de pértiga. Y el segundo debe ser un fusible limitador de corriente “FLC” de arena plata de rango parcial.

**Construcción:** Debe ser construido en su totalidad de acero inoxidable tipo AISI 304. Los compartimientos deben ser separados por una barrera de metal, de dos puertas y cumplir con lo estipulado en norma ANSI C.57.12.28.

**Compartimientos:** Visto de frente, el compartimiento de media tensión debe estar al lado izquierdo y los de baja tensión al lado derecho. El compartimiento de media tensión sólo puede ser abierto, hasta que el compartimiento de baja tensión haya sido abierto. Bisagras, pines y demás componentes deber ser anticorrosivos equivalentes al tipo AISI 304. Se debe proveer medios para su bloqueo como candados y tornillo con cabeza pentagonal.

**Placa de datos:** Debe tener la información descrita en las placas definidas por ANSI/IEEE C57.12.00 colocada en el compartimiento de baja tensión. Construida con acero inoxidable o aluminio resistente a la corrosión e indeleble. Los datos que deben aparecer en dicha placa son los siguientes:

- .Número de serie
- Clase de ventilación
- Número de fases
- Frecuencia
- Potencia
- Rango de Tensiones
- Incremento de temperatura en °C
- Polaridad de las fases
- Diagrama fasor del transformador
- Impedancia de Cortocircuito

- Masa aproximada en kg.
- Diagrama de conexiones
- Nombre del fabricante
- Instrucciones de referencia y operación
- La palabra Transformador
- Tipo de aislante líquido
- Material del conductor del bobinado
- No PCB

El tanque y los compartimientos deben tener un recubrimiento anticorrosivo de pintura epoxi bituminosa color verde Munsell 7GY 3.29/1.5.

Las características de pintura deben ser iguales o superiores a las descritas en ANSI/IEEE C.57.12.28.

➤ **TABLEROS DE DISTRIBUCIÓN.**

Los tableros de distribución secundaria serán fabricados bajo la norma IEC 604391 con las características siguientes:

**Voltaje de operación:** 120/208 V.

**Número de espacios:** Los detallados en cuadros de carga

**Capacidad de barras:** La detallada en cuadro de carga

**Capacidad de corriente de corto circuito:** La detallada en cuadro de carga

**Número de fases:** 3 fases + neutro + polarización clase 1

**Interruptor principal:** En caja moldeada del tipo termomagnético (MCCB)

**Tipo de montaje del interruptor principal:** Fijo

**Interruptores ramales:** En caja moldeada del tipo termomagnético. (MCCB)

**Medición:** Con medidores analizadores de redes para cada ramal

**Grado de protección:** IP 55

**Material de las Barras:** Cobre

**Material del Gabinete:** Estructura en Chapa de Acero de 1mm de espesor. Paneles externos, en chapa de acero de 2mm de espesor puertas. Chapa de acero de 2mm de espesor

**Placa de Montaje:** Chapa Galvanizada

**Colores:** Pintura Pulverizada RAL 7024 o RAL 7035

**Acceso:** Con puerta transparente frontal, para la toma de lectura en los medidores, con bisagras que permitan un ángulo de apertura de 180°.

➤ MEDIDORES.

Serán del tipo analizadores de energía, trifásicos y monofásicos, para montaje en el panel frontal del tablero general, con dimensiones de 144 x 144 mm con las características siguientes:

- Clase 0,2 para energía y potencia
- Clase B medición de eventos de calidad de suministro
- Pantalla para monitorizar hasta 32 módulos de medida
- Medición de intensidad de neutro mediante transformador
- Opcionalmente posibilidad de tarifación en energía consumida y generada
- Comunicación RS485 Modbus /RTU y Ethernet RJ-45
- Pantalla gráfica VGA retroiluminada
- Muestra de parámetros eléctricos instantáneos, máximos y mínimos con fecha y hora
- Contador de energía consumida y generada hasta 100GWh
- Voltaje de alimentación: de 85 a 265 VCA
- Frecuencia: 50/60 Hz.
- Consumo de alimentación: 3 VA
- Voltaje de medición: hasta 600 Volts
- Frecuencia de medición: de 45 a 65 Hz
- Corriente de Medida : de 1 a 120% de  $I_n$
- Temperatura de trabajo : -10 a 50 °C
- Humedad relativa : 5% a 95%

### **1.5.5 Guía para el mantenimiento eléctrico de la red primaria subterránea**

➤ MANTENIMIENTO DE LOS CABLES

El aislamiento eléctrico está sujeto a un esfuerzo severo inclusive en condiciones ideales de operación generando esfuerzos que causan el debilitamiento progresivo del valor de resistencia de Aislamiento. Algunos patrones que causan la variación de la resistencia de aislamiento son:

- a) El calor.
- b) La humedad.
- c) Esfuerzos eléctricos.
- d) Golpes.
- e) Sobretensiones.
- f) Elementos corrosivos.

g) Ataque de animales.

Para evitar daño en el aislamiento, se recomienda elaborar pruebas y revisiones periódicas, para determinar o evaluar el estado del equipo. Para una adecuada revisión, se debe contar con el historial del cable.

La historia del cable debe contar con los siguientes datos:

- a) Año de fabricación del cable y de puesta en servicio.
- b) Tipo de cable (aislamiento).
- c) Número y tipos de empalmes y terminales.
- d) Reportes de prueba del cable.
- e) Diagrama de la ruta del cable.

➤ EMPALMES Y TERMINALES.

Como los empalmes en todo cable son un punto potencial de falla, se debe tener especial cuidado en las revisiones que se hagan.

Si es un empalme, revisar la cinta protectora contra la humedad, además es importante revisar la pantalla del cable para que no vaya a estar rota.

Si es un empalme pre moldeado, tener especial cuidado y que sea completamente cerrado, si se tienen dudas, lo más recomendable es verificar si el empalme es apto para ese tipo de cable. De acuerdo a las políticas de cada empresa se deben verificar que las conexiones a tierra estén en buen estado en los empalmes. En cuanto a los terminales se tendrá especial cuidado con aquellos que se encuentren en zonas de alta contaminación.

A continuación se mencionan algunos puntos que es conveniente verificar periódicamente para corregir condiciones que puedan ocasionar una falla:

- a) Verificación, ajuste y coordinación de las protecciones contra sobrecorrientes del sistema.
- b) Instalación de pararrayos adecuados al sistema y revisión periódica de los mismos.
- c) Verificación de los valores de resistencia y conexión del sistema de tierra.
- d) Limpieza y ajuste de conectores mecánicos en puntos de transición a cables desnudos, cuchillas, etc.
- e) Limpieza exterior de terminales instalados en ambientes excesivamente contaminados.

f) Instalación de terminales de cobre adecuados en el punto de transición, con el objeto de que no le entre agua al cable a través del conductor.

➤ PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO EN EL CABLE.

Esta prueba consiste en la medición directa de la resistencia por medio de aparatos y comparar este valor medido con el valor inicial de puesta en servicio del cable y con el valor teórico esperado el cual se puede calcular de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$R = K \log \left( \frac{D}{d} \right) fL \cdot Ft$$

Donde:

R = Resistencia aislamiento en M/kM.

K = Constante de resistencia de aislamiento.

D = Diámetro sobre aislamiento en mm.

d = Diámetro bajo aislamiento en mm.

fL = Factor de corrección por longitud.

fT = Factor de corrección por temperatura.

➤ PRUEBA DE ALTA TENSIÓN EN CORRIENTE CONTINÚA EN CABLES.

El propósito de esta prueba es el de detectar algún deterioro del sistema para corregir o reemplazar la parte potencialmente dañada, antes de que falle y provoque una interrupción costosa. Esta prueba consiste en aplicar una tensión de corriente directa de un valor predeterminado, manteniéndola por un cierto tiempo a un sistema cable accesorio.

Por lo tanto, el objetivo de esta prueba es la de aplicar una tensión lo suficientemente alta para detectar los puntos débiles del sistema.

➤ LOCALIZACIÓN DE FALLAS EN CABLES SUBTERRÁNEOS

Para encontrar una falla en una instalación eléctrica subterránea, se hace necesario utilizar varios métodos y equipos. Además se requiere un buen conocimiento del cable en el que se va a trabajar.

Para la localización de fallas, no hay un equipo que pueda servir para localizar todos los tipos de fallas en las diferentes condiciones de instalación y con los distintos cables utilizados en instalaciones subterráneas. Este resumen sólo pretende proveer las bases que sirvan para decidir cuál método es el más adecuado para localizar una falla específica.

➤ **MÉTODOS PARA LOCALIZAR FALLAS EN CABLES SUBTERRÁNEOS.**

Los métodos para localizar fallas en cables subterráneos se pueden clasificar en: aproximados o exactos

**a) método aproximado:** Este método proporciona una localización general de la falla pero no necesariamente con la suficiente seguridad para proceder confiadamente con los trabajos de reparación.

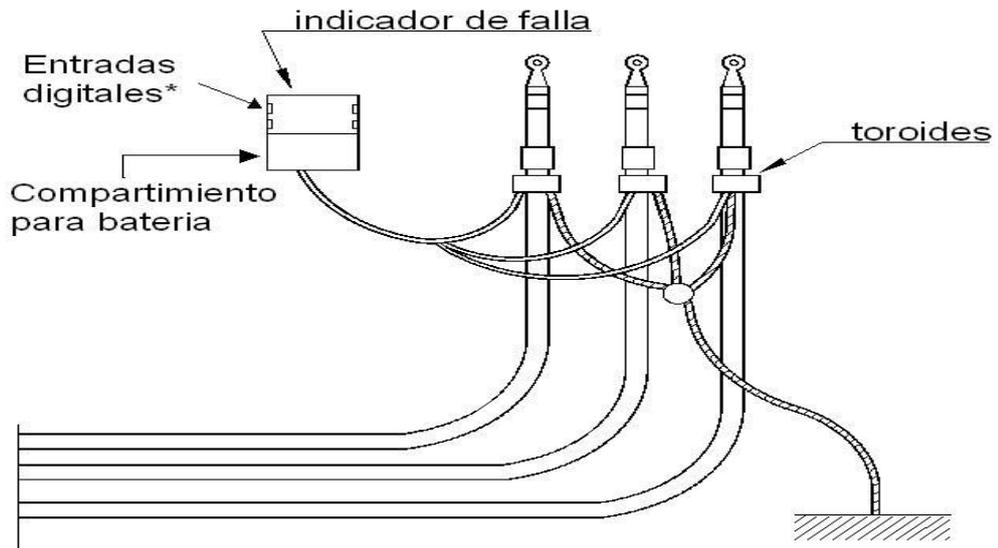


*Figura 58. Equipo de medición de fallas*

En este método el único equipo necesario, son los indicadores de fallas. Un ejemplo de dicho equipo se muestra en la siguiente figura.

Este equipo es un indicador de falla de restablecimiento automático, tipo sumergible para operar a una corriente de  $A$  amperes. Puede ser tipo dona o punto de prueba, con señalización luminosa o microprocesada. Su función es señalar el paso de una corriente de falla en el sistema de distribución subterránea

- Los indicadores de fallas indican visualmente cuando la corriente en el cable sobrepasa un valor máximo de corriente preestablecido en el indicador. En condición normal la indicación es blanca.
- Estos indicadores deben coordinarse con los equipos de protección de las subestaciones para que actúen más rápido que éstos y así puedan detectar el "paso" de la corriente de falla.
- Estos indicadores se colocan sobre la cinta semiconductora del cable, en varios puntos determinados de la ruta del cable. Al ocurrir una falla los indicadores que "sienten" la corriente de falla darán indicación roja.



**Figura 59.** Indicador de falla

**b) método exacto:** Este método localiza la falla con la seguridad necesaria para llegar hasta la falla o poder cortar el cable entre cámaras. En este método para localizar una falla deberá seguir la siguiente secuencia de operación:

1. Chequeo de que el cable fallado está des-energizado y que no presente "regresos" de voltaje.
2. Aislar y desconectar los terminales, pararrayos y transformadores.
3. Determinar el tipo de falla.
4. Pre localizar la falla.
5. Localizar el punto exacto de la falla

➤ TIPO DE FALLA.

Para determinar el tipo de fallas se utiliza un megómetro que al dar la resistencia de la falla permite decidir qué tipo de método y equipo a emplear y si ésta es entre conductores o de conductor a tierra.



**Figura 60.** Equipo para determinar tipos de fallas.

Las fallas se clasifican en: fallas francas y no francas, combinación de francas y no francas

Fallas francas: A tierra, abierto, cortocircuito

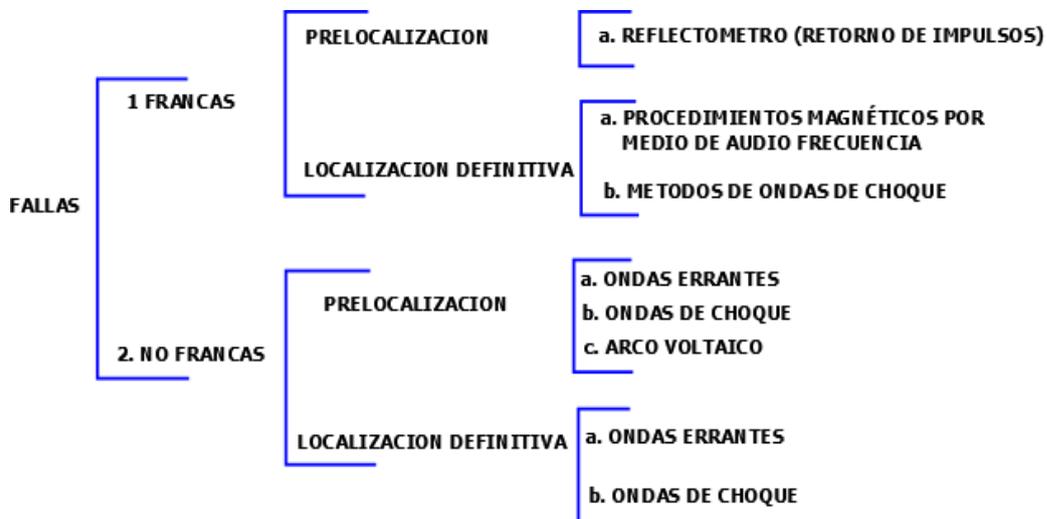
No francas: De alta tensión, intermitente

**Falla franca:** Son las que incluyen cortocircuito o una interrupción del cable, este tipo de falla solo representa un 5% del total de las fallas.

**Fallas no francas:** Es aquel tipo de falla que presenta un bajo aislamiento en el cable, y este no puede seguir en servicio. Este es generalmente el caso de la mayoría de las fallas (más del noventa y cinco por ciento (95%) del total).

➤ APLICACIÓN DE LOS MÉTODOS.

Los métodos que se van a tratar se pueden resumir en el siguiente cuadro:



**Figura 61.** Esquema para aplicar el método de la localización de fallas.

➤ PROCEDIMIENTO DE RETORNO DE IMPULSOS.

Este procedimiento solo puede ser utilizado si la falla es franca (hasta  $500\Omega$ ). Para la pre localización del defecto, se envían impulsos al cable, de forma y duración adecuadas de acuerdo a cada cable. Cualquier irregularidad (falla) en el cable da lugar a una variación de la inductancia y la capacidad y por consiguiente a una modificación de la impedancia característica. Tales reflexiones se producen, por ejemplo, en uniones de dos (2) líneas diferentes (cortocircuitos), en empalmes. etc.

Todo punto de este tipo provoca la reflexión de una parte de la energía del impulso enviado por él mismo; del tiempo transcurrido entre el instante en que se envía el impulso al cable y el instante en que vuelve la reflexión se puede determinar el lugar de la falla, conociendo la velocidad de propagación del impulso que es una constante para cada tipo de cable.

En la siguiente tabla se muestran algunos valores

Línea aérea de alta tensión	148 m/ $\mu$ seg
Cable aislado con papel bajo plomo	80-86 m/ $\mu$ seg.
Cable aislado con materia sintética	75-90 m/ $\mu$ seg

**Tabla 22.** *Constante para algunos tipos de cables*

La amplitud y forma del impulso reflejado, depende de la magnitud en que se aparta la impedancia en el lugar de la falla, de la impedancia característica del cable, como así también de la cantidad de reflexiones que se producen, de la longitud del cable y de la distancia a la cual se encuentra la falla.

La velocidad de propagación puede ser calculada mediante la siguiente fórmula:

$$\frac{V}{2} = \frac{l}{t}$$

$l$  = Longitud del cable hasta la falla en metros

$t$  = Tiempo en  $\mu$  segundos.

$\frac{V}{2}$  = Velocidad promedio de propagación

Conociendo exactamente la velocidad de propagación se puede determinar la longitud a la cual está la falla.

$$l = \left(\frac{V}{2}\right) \cdot t$$

El equipo para "quemar" las fallas consiste en una fuente de tensión de corriente continua con varias escalas de corriente y voltaje pero la potencia es la misma. El carbón crea una trayectoria de bajo valor óhmico que se puede utilizar para localizar la falla.

### 2.5.6 Mantenimiento de los transformadores de distribución subterránea

Para garantizar periodo largo de vida del transformador es de suma importancia verificar continuamente su comportamiento y proporcionar mantenimiento adecuado

Al igual que en cualquier equipo eléctrico, podemos clasificar el mantenimiento a realizar en los transformadores de distribución subterránea, en dos tipos: Mantenimiento Preventivo y Mantenimiento Correctivo.

Se realiza bajo un programa que permita operar los transformadores en las mejores condiciones de continuidad. Una guía para este propósito es el siguiente:

- a) Revisión periódica
- b) Limpieza

- c) Aceite aislante
- d) Control de la carga

**a) REVISIÓN PERIÓDICA:**

Se sugiere registrar las condiciones generales del estado en que se encuentra el transformador y sus accesorios, de acuerdo al siguiente arreglo:

<b>NOMENCLATURA</b>		
ESTADO DEL EQUIPO: (B) BUENO (M) MALO		
<b><u>CARACTERÍSTICAS A REVISAR</u></b>		
CONEXIONES A TIERRA	(B)	(M)
CABLES DE ALTA TENSION	(B)	(M)
CABLES DE BAJA TENSION	(B)	(M)
CAMBIADOR DE DERIVACIONES	(B)	(M)
CORROSION EN GENERAL	(B)	(M)
FUGAS O MANCHAS	(B)	(M)
INDICADORES DE FALLA	(B)	(M)
LUZ INDICADORA INTERRUPTOR DE BAJA TENSION	(B)	(M)
NIVEL DE ACEITE	(B)	(M)
NOMENCLATURA	(B)	(M)
MANIJA(S) DE SECCIONADOR (ES)	(B)	(M)
ESTADO DE LA PINTURA	(B)	(M)
PLACA DE DATOS	(B)	(M)
VÁLVULA DE SOBREPRESION	(B)	(M)
VÁLVULAS DE DRENADO DEL LIQUIDO AISLANTE.	(B)	(M)
VÁLVULAS DE LLENADO DEL LIQUIDO AISLANTE.	(B)	(M)
ACCESORIOS DE MEDICION (TERMÓMETROS, NIVELES, CONTACTOS DE ALARMA, ETC.)	(B)	(M)
TEMPERATURAS MÁXIMAS DE OPERACIÓN	(B)	(M)
JUNTAS Y EMPAQUES	(B)	(M)
ESTADO DE LAS BOQUILLAS	(B)	(M)

**Tabla 23.** Tabla para mantenimiento predictivo de transformadores

**b) LIMPIEZA:**

Este aspecto requiere cada día mayor importancia debido a los efectos destructores de la contaminación ambiental, manifestándose en la corrosión o deterioro de los aislamientos externos.

Se recomienda limpiar cuando menos una vez al año con soluciones de agua o jabón suave (no usar detergentes ni solventes), adoptándose todas las medidas de seguridad. Cuando no es posible programar licencias para interrumpir los servicios, se deben usar puentes de tierra, bloqueo de interruptores de recierre automático en instalaciones mixtas, dotar al personal de detectores de potencial, guantes aislantes etc.

**c) ACEITE AISLANTE:**

Uno de los elementos más importantes en la vida de los transformadores es el aceite aislante, por lo cual hay que tener cuidado especial en las características de este material. Se recomienda revisar el aceite una vez al año en condiciones normales o una vez cada seis meses, cuando los transformadores están sujetos a sobrecargas o se hayan detectado deficiencias en su funcionamiento o que en revisiones anteriores el aceite tuvo valores cercanos del límite inferior de rigidez dieléctrica ( 30 kV).

Las pruebas recomendadas para determinar el buen estado de aceite son la Inspección visual (condición y color) y de tensión de ruptura dieléctrica (kV). Si con estas pruebas hay dudas de la condición del aceite, será necesario hacer pruebas adicionales en un laboratorio acreditado.

Para obtener las muestras se deben usar botellas de vidrio claro para poder inspeccionar visualmente las impurezas tales como agua y partículas extrañas. Los tapones de corcho deben estar recubiertos con una hoja de papel aluminio, si son de vidrio debe cuidarse que el tapón se ajuste perfectamente en la botella, y que la limpieza del recipiente sea adecuada.

Si el aceite no cumple con lo anterior deberá reacondicionarse, lo cual puede hacerse por medio de filtros o plantas procesadoras del líquido aislante con sistemas centrifugados, deshumificadores, descalcificadores apropiados para este tipo de aceite.

**d) CONTROL DE LA CARGA:**

Periódicamente debe de verificarse que el transformador este suministrando la carga para la cual fue instalado, ya que si rebasa dicha carga se estará disminuyendo la vida útil del equipo.

➤ **MANTENIMIENTO CORRECTIVO**

Las fallas que pueden ocurrir a un transformador son las siguientes:

- a) Deterioro del aceite aislante
- b) Fallas en el algún accesorio
- c) Fallas en los devanados
- d) Conexiones flojas
- e) Sobre tensiones
- f) Sobrecargas

#### **a) DETERIORO DEL ACEITE AISLANTE:**

El aceite aislante se deteriora por la acción de humedad y del oxígeno, por la presencia de catalizadores (cobre) y por temperatura.

La combinación de estos elementos produce una acción química en el aceite, la cual da como resultado la generación de ácidos que atacan a los aislamientos y a las partes mecánicas del transformador. De esta acción química resultan los lodos que se precipitan en el transformador y que impiden la correcta disipación de calor, acelerando por lo tanto, el envejecimiento de los aislamientos y por consiguiente del transformador.

La humedad presente en el aceite puede originarse por el aire que entra en el transformador en operación a través de sus juntas y de grietas en el tanque. También se genera por descomposición propia del aceite y de los aislamientos. Al romperse la condición de equilibrio, es decir al aumentarse el valor del contenido de humedad en el aceite, se obtienen los siguientes resultados:

- El aceite cede su humedad a los aislamientos, lo cual da por resultado que se incremente su valor de factor de potencia y sus pérdidas, lo que se traduce en envejecimiento acelerado y una reducción de su vida útil.
- El incremento de humedad del aceite da por resultado una disminución del valor de tensión de ruptura o rigidez dieléctrica.

Bajo la condición, de contaminación, es recomendable sustituir el aceite, para lo cual se debe disponer de lo siguiente:

1. Sacar la parte viva.
2. - Drenar el aceite.
3. - Limpiar el tanque en su interior.
4. - Limpiar la parte viva con aceite nuevo
5. - Llenar en vacío con aceite nuevo.
6. - Probar hermeticidad

#### **b) FALLAS EN ALGÚN ACCESORIO**

El transformador está provisto de accesorios que están susceptibles a dañarse o fallar, como son los fusibles, conexiones externas a los devanados, cambiadores, aisladores en los cables, etc. La falla de alguno de estos accesorios y la falta de revisión de los mismos, puede originar que se tome una decisión equivocada en el diagnóstico de la falla y peor aún de la reparación. Es importante siempre verificar si alguna de estas partes no está fallada antes de tomar la decisión de extraer la parte viva para su reparación.

### **c) FALLAS EN LOS DEVANADOS**

Estas se pueden presentar debido a rupturas dieléctricas por aislamientos deteriorados, por tensiones de impulso, arcos por falla de espira a espira.

### **d) CONEXIONES FLOJAS**

Un falso contacto por conexiones flojas puede provocar calentamientos. Cuando el calentamiento es excesivo, puede dañar el aislamiento adyacente y esto a su vez promueve la generación de carbones y gases dentro del transformador.

Los falsos contactos se pueden detectar mediante un micróhmetro(Ducter) para medir resistencias.

### **e) SOBRE TENSIONES:**

En ocasiones son generadas por descargas atmosféricas, por mal diseño o cálculo de los circuitos de distribución de carga, por falta de equipo de protección (pararrayos). Las sobre tensiones pueden provocar un exceso de tensión en cada una de las espiras del principio o final del devanado, produciendo arco, sobrepresión interna y deformación de tanque o recipiente. Es importante revisar siempre los sistemas de protección de los equipos, su adecuado funcionamiento y verificar que las cargas sean correspondientes a la capacidad del transformador.

### **f) SOBRECARGAS:**

La sobrecarga en un transformador provoca también elevación excesiva de temperatura en los devanados y por consecuencia un deterioro prematuro de los aislamientos y disminución en la resistencia de aislamiento.

## CAPITULO III

### 3. CARACTERISTICAS DE LA DEMANDA DE ENERGIA

#### 3.1 INTRODUCCIÓN

La acometida de anda alimenta las facultades de ciencias y humanidades, ciencias económicas, física, biología, matemática y química. El sistema de distribución primario aéreo actual de dicha acometida, cuenta con veintiún subestaciones las cuales se muestran en una tabla al final del capítulo.

##### ➤ FACTOR DE UTILIZACIÓN

El factor de utilización es un sistema eléctrico en un intervalo de tiempo t, es la razón entre la demanda máxima y la capacidad nominal del sistema (capacidad instalada), es decir:

$$F_U = \frac{\text{CARGA MAXIMA}}{\text{CAPACIDAD INSTALADA}} = \frac{D_M}{PI}$$

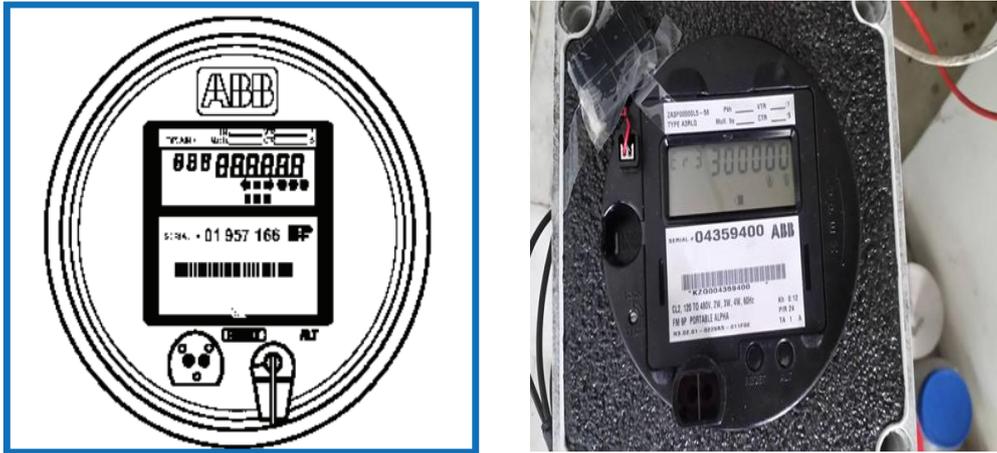
El factor de utilización indica la fracción de la capacidad del sistema que se está utilizando

#### 3.2 EQUIPO DE MEDICION USADO PARA OBTENER LOS PERFILES DE CARGA DE CADA EDIFICIO.

El medidor que se uso es el ALPHA Power+, este es un contador polifásico de energía eléctrica y registrador integral totalmente electrónico. Este medidor provee la siguiente funcionalidad general, ya sea en medición de una sola tarifa o en base multitarea (TOU):

- Registra la energía usada y los datos de demanda.
- Procesa la energía usada y los datos de demanda.
- Almacena la energía usada y los datos de demanda.

El medidor ALPHA Power+ cumple o excede los estándares ANSI para la medición de energía eléctrica, y está destinado al uso por parte de empresas eléctricas y clientes industriales. En la figura62 se tiene una ilustración del medidor ALPHA Power+.



*Figura 62. Esquema del medidor ALPHA Power+.*

Para ilustrar la conexión del medidor mostramos los tableros del Edificio Rafael Menjivar el cual tiene alimentación trifásica, así mismo, se puede ver la conexión en el tablero del edificio que comparten Ciencias Económicas y la facultad de Derecho el cual tiene una configuración monofásica.



*Figura 63. Ilustración de la conexión trifásica y monofásica para el medidor ALPHA Power*

### 3.3 PERFILES DE CARGA DE LOS EDIFICIOS DE LA FACULTAD DE CIENCIAS Y HUMANIDADES.

#### 3.3.1 Subestación del edificio Dagoberto Marroquín

Este edificio fue construido recientemente y lo alimenta un transformador tipo pedestal de 225 kVA trifásico, como se podrá ver en el perfil de carga este está bastante sobredimensionado puesto que solo tiene como carga luminarias y un pequeño centro de cómputo. La demanda mayor que se presentó para este transformador es de 9.46 kW, al calcular el factor de demanda que tiene este transformador se tiene 4% lo cual es bastante bajo, esto refleja el común sobredimensionamiento que tienen la mayoría de transformadores en la Universidad. El transformador que alimenta este edificio se puede observar en la siguiente figura.



Figura 64. Transformador Pad-Mounted trifásico de 225 kVA de edificio de.

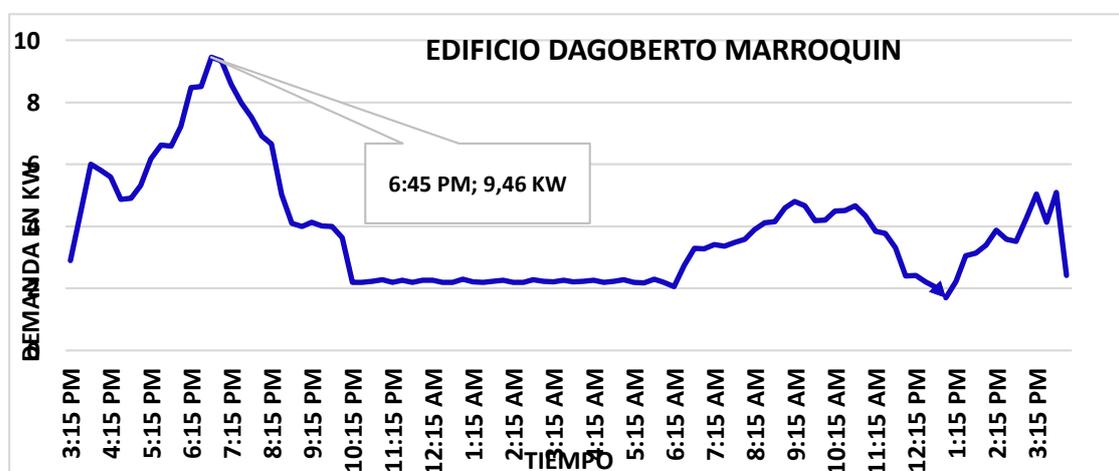


Figura 65. Perfil de carga para edificio Dagoberto Marroquín.

➤ CARGA FUTURA PARA EDIFICIO DAGOBERTO MARROQUÍN.

En esta instalación se pretende instalar 2 Mini Split de 48,000 BTUH cada uno, se instalaran en el centro de cómputo de sociales. Se tiene que 12,000 BTUH equivalen a 1 tonelada por lo que cada AA seria de 4 toneladas. De tablas se sabe que 1 tonelada consume 1250 VA. En total los 4 AA demandarían 5 kVA, estos se sumarian a los kVA obtenidos del perfil de carga para dimensionar el nuevo transformador.

### 3.3.2 Subestación del edificio administrativo cchh.

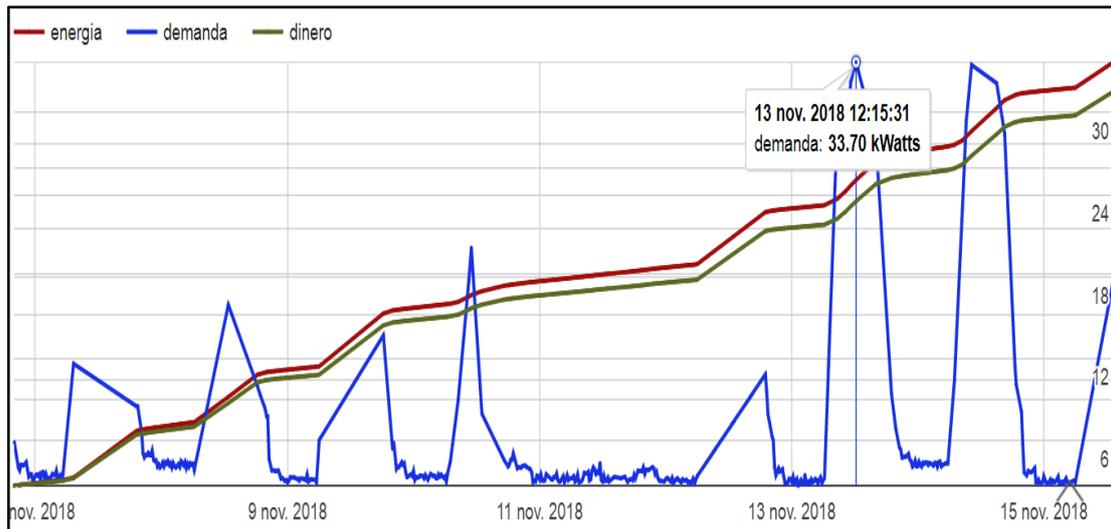
La potencia instalada acá es de 100 kVA con un transformador monofásico, alimentando solamente a este edificio, él cual es de dos niveles con personal administrativo lo que como se sabe solo utiliza equipo informático, esto se refleja en la gráfica de demanda ya que en horas del mediodía disminuye pues es a esa hora que dejan de usar el equipo, la demás carga para este transformador solo es de luminarias. En la imagen se puede ver que esta otro transformador el cual es para alimentar la iluminación externa al edificio.



*Figura 66. Transformador del edificio administrativo de Humanidades*

Como se puede ver en la gráfica la demanda es de 33.70 kW, esto no representa ni el 50% de la potencia instalada. Si calculamos el porcentaje de utilización obtenemos un 33.7%.

Al consultar si se tiene previsto ampliar las instalaciones o agregar más equipo al edificio, se nos informó que no hay ningún proyecto a futuro, por lo que cuando se haga el nuevo diseño se trabajara solamente con la carga existente sin agregar carga futura.



**Figura 67.** Perfil de carga para el edificio adm. de humanidades

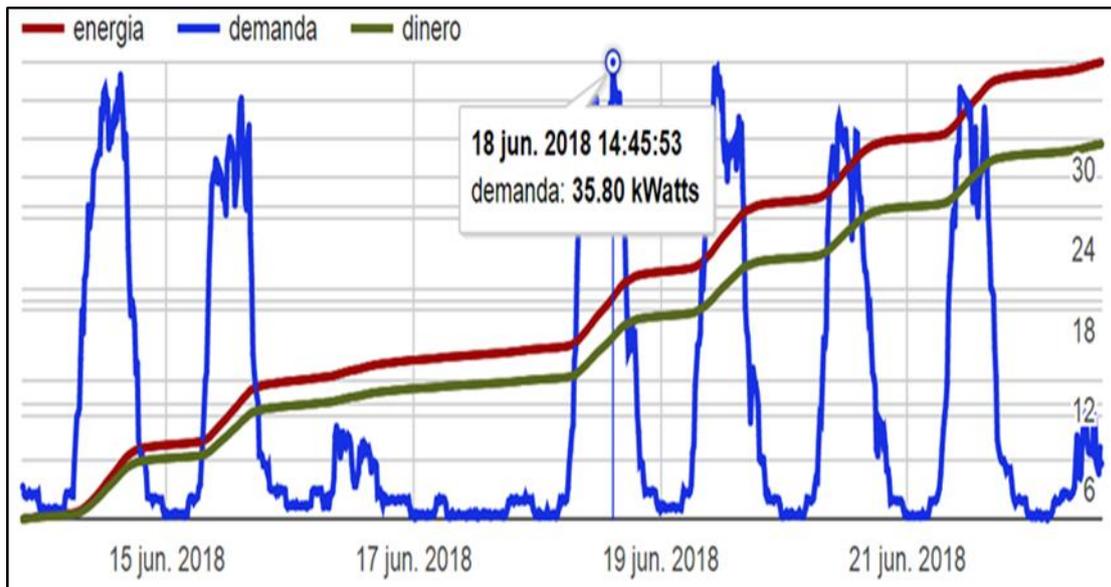
### 3.3.3 Subestación del edificio de periodismo.

Para alimentar estas instalaciones se tiene un banco de 3 transformadores con capacidad de 50 kVA cada uno, este edificio cuenta en su mayoría con aulas siendo poco el equipo informático que posee, tiene aires acondicionados pero son pocos, algunos de 5 toneladas los de mayor consumo y otros de 1 tonelada



**Figura 68.** Arreglo trifásico de 150 KVA para alimentar edificio Periodismo

Para saber el consumo que tienen estas instalaciones nos auxiliamos de los datos que brinda el medidor número 13. El grafico de demanda se muestra en la siguiente figura69.



**Figura 69.** Perfil de carga para edificio de Periodismo.

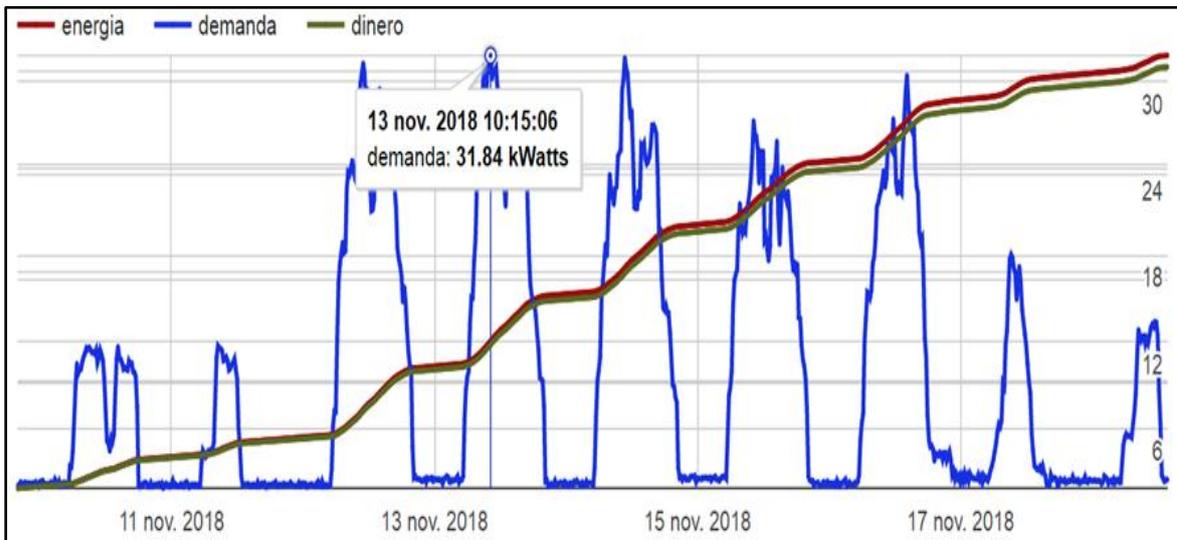
### 3.3.4 Subestación del edificio de idiomas.

La capacidad del transformador en este edificio es de 100 kVA monofásico, alimenta en su mayoría luminarias, equipo informático y pocos aires acondicionados, la alimentación desde el transformador es subterránea hasta el tablero principal, la iluminación externa esta suministrada por el transformador de 37.5 kVA que se puede ver en la figura70.



**Figura 70.** Transformadores monofásicos que alimenta el edificio de idiomas.

Como se puede ver en la figura70 este transformador tiene instalado en el lado secundario un medidor del que se obtuvieron los datos para el perfil de demanda por lo que no fue necesario instalar nuestro medidor ALPHA Power+. En la figura71 se muestra el perfil de carga para este edificio.



**Figura 71.** Perfil de carga para edificio de Idiomas.

De el grafico podemos notar que la mayor demanda se dio el 13 de noviembre en horas de la mañana, siendo 31.84 kW la potencia demandada y si hacemos una comparación de este dato con respecto a la capacidad instalada nos damos cuenta que solo se tiene un 31.8% de los 100 kVA.

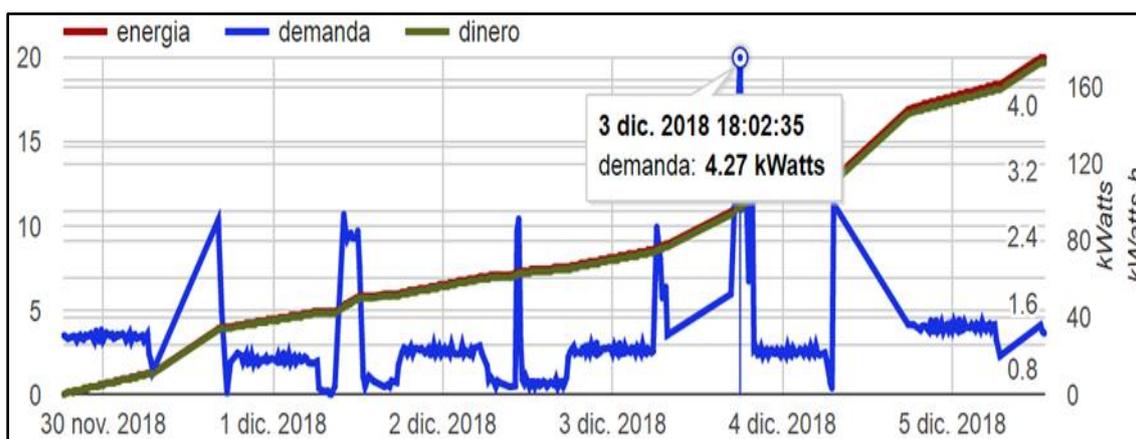
### 3.3.5 Subestación auditorium 4 de humanidades.

Transformador monofásico de 75 kVA para alimentar la carga del auditorium 4 de la Facultad de Ciencias y Humanidades, este tiene como carga solo luminarias ya que aún no se han instalado aires acondicionados en la instalación.



**Figura 72.** Transformador monofásico de 75 kVA, alimenta auditorium 4

Este auditorium cuenta con un medidor de los que están conectados a lo largo de toda la universidad. La gráfica de demanda obtenida se muestra en la figura 73.



**Figura 73.** Perfil de carga para auditorium 4 de humanidades

Como se puede ver en el perfil de carga la demanda es pequeña esto por no tener equipos que demanden mayor potencia, esto se ve reflejado en los 4.27 kW registrados el 3 de Diciembre. Aun con la sobrada capacidad que presenta el transformador no se tienen proyectos para este auditorium por lo que a la hora de realizar el nuevo diseño es probable que el suministro de potencia se tome compartido desde un transformador que alimente otro edificio.

### 3.3.6 Subestación del auditorium 2

Para este auditorium no se cuenta con medidor de la red de medidores de la universidad, tampoco se instaló nuestro medidor ALPHA Power+ por lo que nos auxiliamos del cuadro de carga debido a que bastante de las luminarias no están en uso, lo que no nos habría dado datos incorrectos en las mediciones.

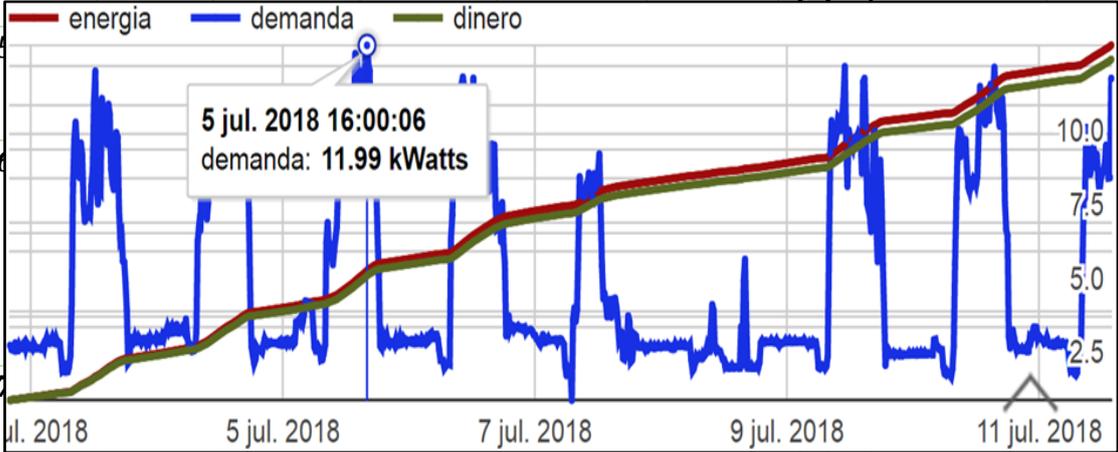
**Tabla 24.** Cuadro de carga para auditorium 2

De acuerdo al cuadro de carga la potencia total instalada es de 17.35 kVA, lo que no especifica es el porcentaje de carga futura pero se le asignara un 25% de carga futura.

## 3.4 FACULTAD DE CIENCIAS ECONOMICAS

### 3.4.1 Subestación del comedor universitario.

Para el comedor universitario se cuenta con un transformador monofásico de 50 kVA, este tiene instalado el medidor 11 de la red de medidores con la que cuenta la universidad del que se obtuvieron los datos para poder conocer el perfil de demanda de estas instalaciones que en su mayoría solo tiene conectada luminarias en el interior y otras en el exterior para la iluminación en horas de la noche.

Nº de circuito	Voltaje	Carga	Corriente en amp's		Protección	Descripción
			Fase A	Fase B		
1						
2						
3						
			<p><b>Figura 74. Transformador de 50 kVA del comedor Universitario pared 175 W haluro metalico (escenario)</b></p>			
4	120	1200	10		20A/1p	6 Luminarias 3x32W(ciclo
						
8	120	1000	8.33		20A/1p	falso) 5 Tomas dobles polarizados (escenario y corredor atrás del escenario)
9	120	1200	10		20A/1p	6 Luminarias 3x32W(cielo falso)
10	120	1000	8.33		20A/1p	5 Tomas dobles polarizados (circuito donde

El

consumo de este edificio es bajo comparado con el demandado por otros, del perfil de demanda se tienen 11.99 kW como el valor más alto lo que se puede ver en la

						<i>están los tomas de piso escenario)</i>
<b>11</b>	120	1200	10		20A/1p	<b>6 luminarias 3x32 W (losa)</b>
<b>12</b>	120	600	5		20A/1p	<b>3 tomas dobles polarizados(Cuarto de proyección)</b>
<b>13</b>	120	500		4.16	20A/1p	<b>2 luminarias 2x32 + 4 luminarias cartucho 75W (entrada de auditorium y cuarto de proyecciones )</b>
<b>14</b>	240	4400	20	20	20A/2p	<b>Pantalla salida en caja 4X2 (arriba del cielo falso del escenario)</b>
<b>15</b>	120	200	1.67		20A/1p	<b>Equipo de sonido</b>
<b>Carga Total</b>		<b>17350</b>	<b>84.17</b>	<b>64.99</b>		

figura 12. De los 50 kVA instalados la demanda representa solo un 23% por lo que a pesar que la capacidad instalada es pequeña aún se encuentra sobredimensionado.

### 3.4.2 Subestación del edificio administrativo.

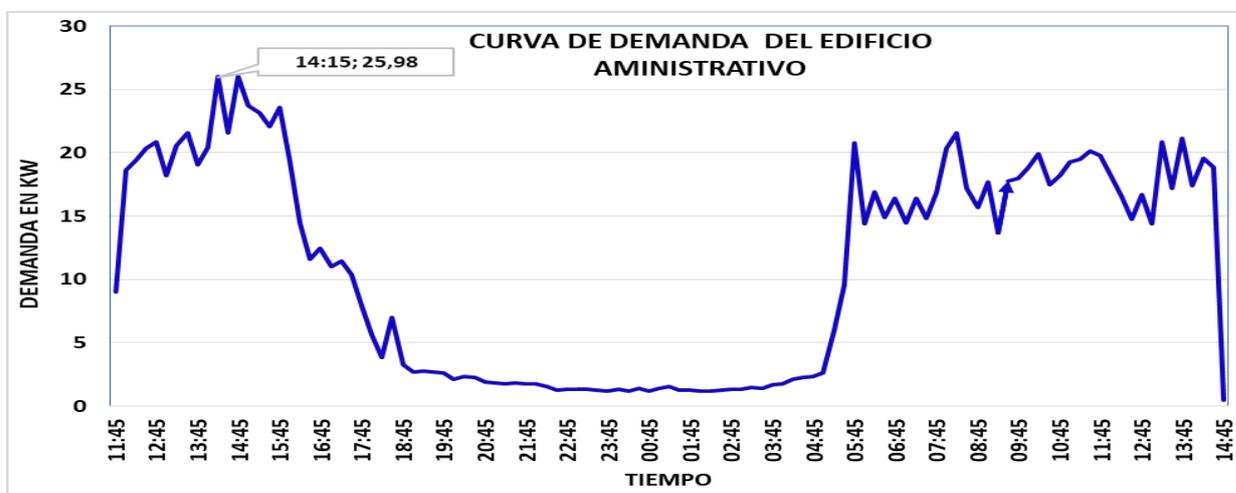
Este edificio cuenta con el suministro de energía de un transformador Pad-Mounted trifásico de 150 kVA, se tiene carga de luces, equipo informático y aires acondicionados

**Figura 75.** Perfil de carga para el edificio del comedor Universitario



**Figura76.** Transformador pad-mounted trifásico de 150KVA edificio administrativo

Para obtener el perfil de carga de este edificio fue necesario dejar conectado el medidor alpha power+ por 3 días en el tablero principal de lo que se presentan los resultados en la siguiente figura.



**Figura 77.** Perfil de demanda para edificio administrativo de Economía.

En esta medición el valor más alto de demanda fue de 25.98 kW para lo que se obtiene un factor de utilización de 17.32% con respecto a la capacidad instalada. Para este edificio según fuimos informados, no se cuenta con instalación de más equipo a futuro.

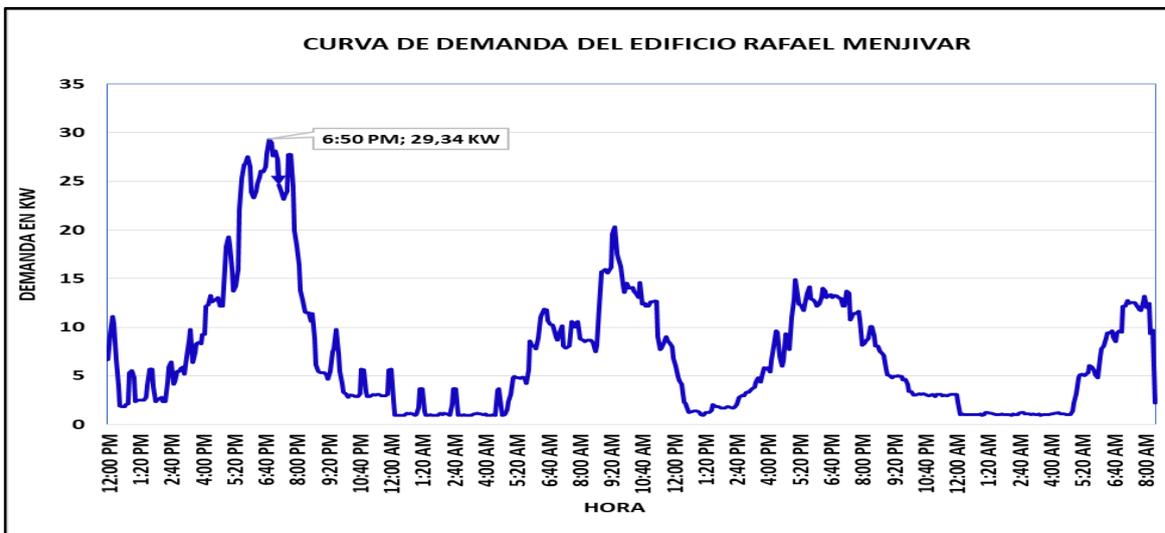
### 3.4.3 Subestación del edificio Rafael Menjivar.

Este edificio es uno de los más grandes el cual posee un transformador pad-mounted de 225 kVA con conexión trifásica.



**Figura 78.** Transformador Pad-Mounted de 225 kVA para edificio Rafael Menjivar.

La demanda se obtuvo instalando por tres días el analizador ALPHA Power+, los resultados se pueden observar en la siguiente figura.



**Figura 79.** Perfil de carga para edificio Rafael Menjivar.

El valor más alto que se obtuvo fue de 29.34 kW siendo este valor bastante pequeño comparado con la capacidad del transformador ya que el porcentaje de utilización es de 12.85%.

➤ **CARGA FUTURA PARA EDIFICIO RAFAEL MENJIVAR.**

En la unidad de desarrollo físico se nos dio la información que para este edificio se tiene previsto instalar 3 aires acondicionados (AA), los cuales tendrán la capacidad de 60,000 BTHU, estos se tomarán en cuenta a la hora de dimensionar el transformador. Se tiene que 12,000 BTHU equivalen a 1 tonelada de refrigeración, por lo que cada AA sería de 5 toneladas. Basados en hojas técnicas de diversas marcas y tamaños de aire acondicionado se puede asignar una demanda de potencia de 1250 VA por tonelada instalada.

La demanda adicional que se tendría con los 5 AA sería de 6.3 kVA.

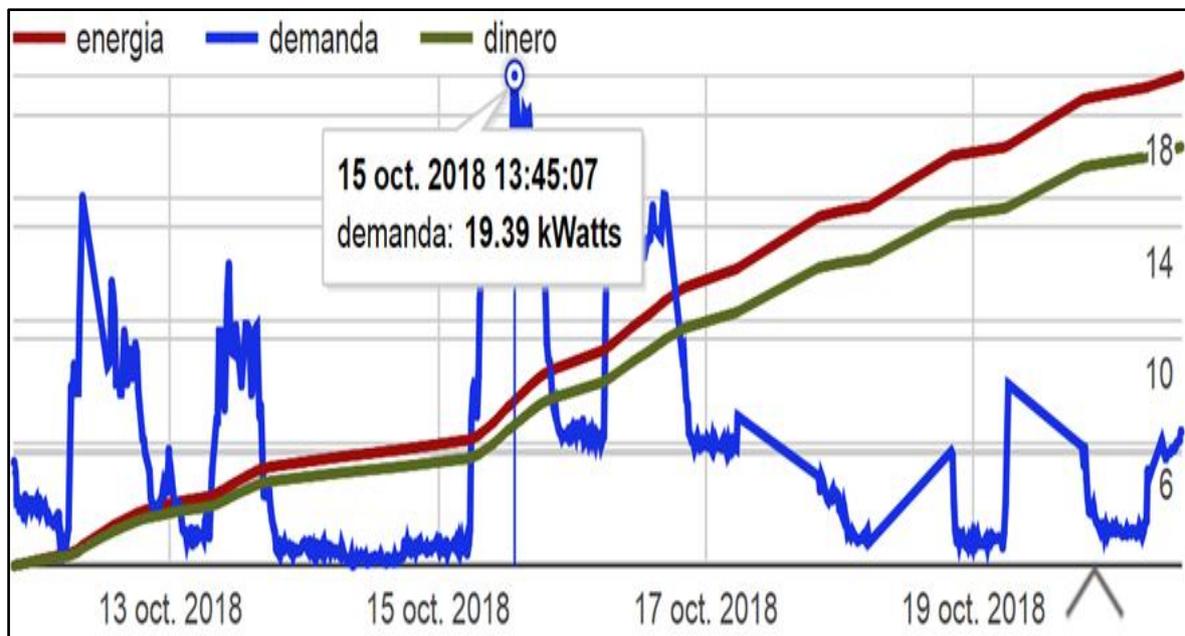
### 3.4.4 Subestación del edificio de docentes.

Para este se cuenta con un transformador monofásico de 100 kVA el cual tiene medición propia de la cual se obtuvo el perfil de carga, en este edificio es dos niveles en el cual tienen sus cubículos los maestros de esta facultad, la carga que tiene es luces y computadoras. En este se tienen 9 aires acondicionados los cuales son trifásicos por lo que no son suministrados por el transformador que se muestra en la figura 28, estos AA son alimentados desde otra subestación de la cual se darán detalles más adelante



*Figura 80. Transformador de 100 kVA que alimenta el edificio de Docentes*

Los datos para el perfil de demanda de estas instalaciones se obtuvieron del medidor 5 de la red de medidores que ya se ha mencionado.



*Figura 81. Perfil de carga de economía y docentes*

Como se puede observar en la figura la demanda es de 19.39 kW para lo que se tendría un factor de utilización de 19,39 con respecto a la capacidad del transformador instalado.

➤ TRANSFORMADORES PARA AA DEL EDIFICIO DE DOCENTES.

El edificio de docentes de la Facultad de Ciencias Económicas tiene 9 aires acondicionados los cuales son suministrados desde un banco de transformadores externos al transformador que alimenta dicho edificio, para saber cuánto consumen estos AA obtenemos de los datos de placa cuantos los BTUH correspondientes. Cada AA es de 60,000 BTUH lo que equivale a 5 toneladas y si hacemos que 1 tonelada necesita de 1250 VA entonces necesitamos de 6.25 kVA para alimentar 1 AA. En total para suministrar los 9 AA se deben tener 56.25 kVA disponibles



*Figura 82. Banco trifásico para AA*

### 3.4.5 Subestación del edificio compartido con derecho.

Este edificio es alimentado por un transformador tipo pedestal de 225 kVA el cual está justo frente a las instalaciones, la carga que se tiene es solo luminarias pero al



*Figura 83. Transformador Pad-Mounted 225 kVA trifásico.*

ser una edificación grande que comparte la Facultad de Ciencias Económicas con la Facultad de Derecho consume una cantidad de potencia considerable.

El perfil de demanda se muestra en la figura 84, como se puede observar en horas de la noche presenta un gasto de energía bastante pequeño, esto se debe que la iluminación en los alrededores no está a cargo del transformador que suministra este edificio. Por el día la mayor demanda fue de 31.5 kW, siendo bastante inferior a la potencia instalada ya que esta solo representa un 14% de esta.



*Figura 84. Perfil de carga para edificio compartido con derecho.*

Al consultar en el área de desarrollo físico si habían proyectos futuros para este edificio se nos informó que no se tiene previsto instalar ningún equipo, por lo que no se tendrá carga futura a la hora de dimensionar el nuevo transformador.

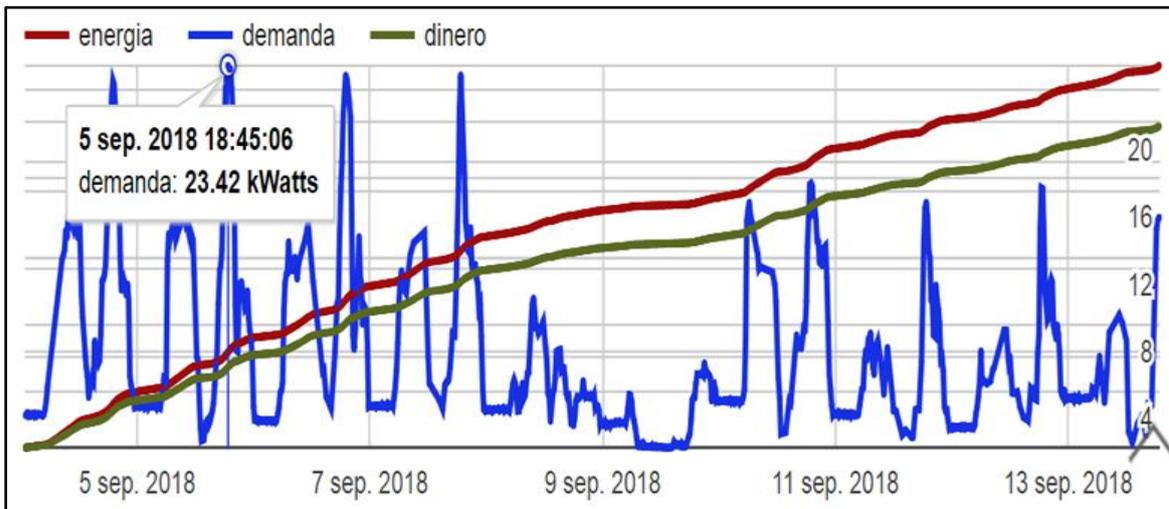
### 3.4.6 Subestación del edificio Felipe Peña.

Para este edificio se tiene un transformador monofásico de 100 kVA el cual tiene conectada como carga luminarias interiores y exteriores para la noche, la alimentación desde el transformador hasta el tablero principal es subterránea.



*Figura 85. Transformador de 100 kVA monofásico para edificio Felipe Peña.*

El perfil de carga se obtuvo del medidor 2 de la red de medidores con la que cuenta la universidad, la gráfica que detalla la demanda se presenta en la figura 86.

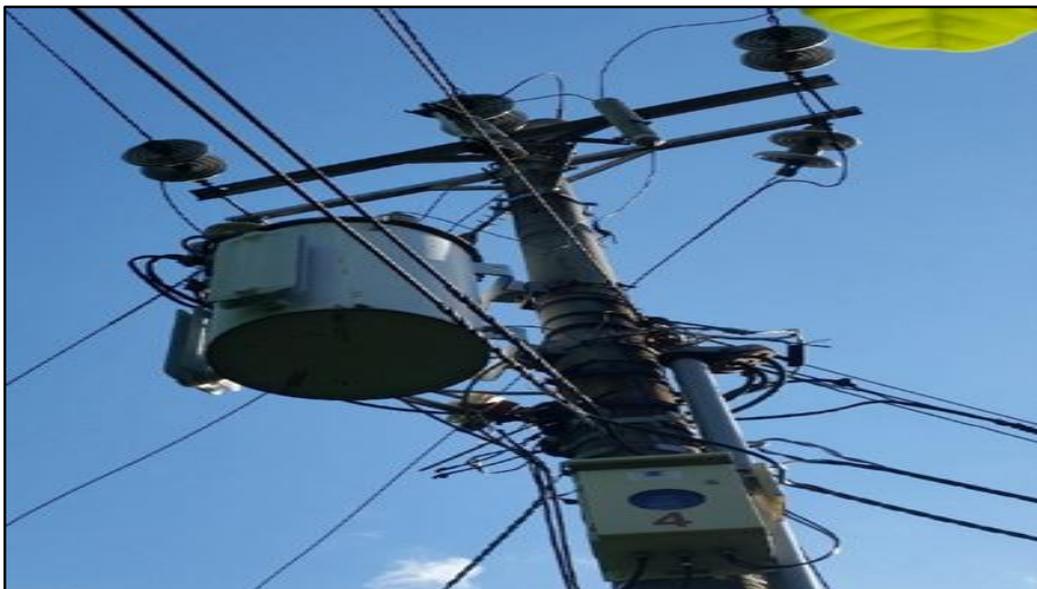


**Figura 86.** Perfil de carga para edificio Felipe Peña.

El pico más alto se dio el 5 de septiembre con valor de 23.42 kW, si calculamos el porcentaje de utilización obtenemos un 23.42% lo cual es pequeño respecto a la capacidad que puede suministrar el transformador.

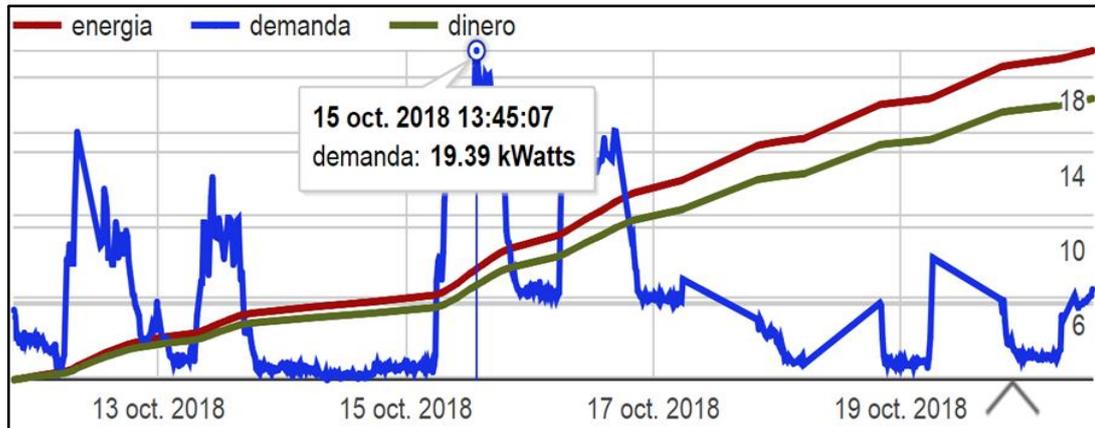
### 3.4.7 Subestación del edificio académica y economía.

Transformador monofásico de 75 kVA suministra al edificio administrativo de la Facultad de Ciencias Económicas, cuenta con medidor de la red universitaria, la carga es de aires acondicionados, luminarias y equipo informático



**Figura 87.** Transformador de 75 kVA que alimenta edificio administrativo

El perfil de demanda se obtuvo del medidor que se encuentra instalado en el lado secundario del transformador, la gráfica que describe el consumo de este edificio se presenta en la figura 88.



**Figura 88.** Perfil de carga para edificio Administrativo.

Como se observa en la gráfica el pico más alto se dio el 15 de octubre en horas de la tarde con 19.39 kW lo cual es un 25% de la potencia total instalada. Para este edificio no se cuenta con proyectos a futuro por lo que no será necesario agregar cargas futuras a la hora de realizar el cálculo para el nuevo transformador.

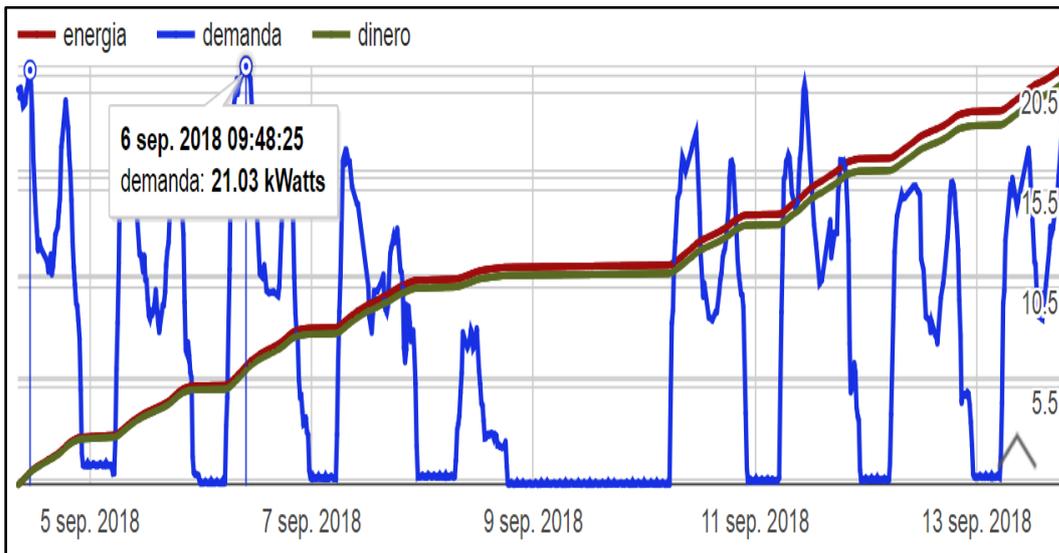
#### **3.4.8 Subestación del edificio Carlos Rodas.**

Transformador monofásico de 75 kVA suministra al edificio Carlos Rodas, edificio de dos niveles solo para aulas, tiene carga solamente de luminarias interiores y exteriores, la acometida hasta el tablero principal es subterránea



**Figura 89.** Transformador de 75 kVA monofásico para edificio Carlos Rodas.

Este transformador también cuenta con uno de los medidores que posee la universidad, por lo que no fue necesario instalar el medidor ALPHA Power+, los datos de demanda para este edificio se muestran en la gráfica de la figura 90.



*Figura 90. Perfil de carga para edificio Carlos Rodas.*

### **3.5 FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA.**

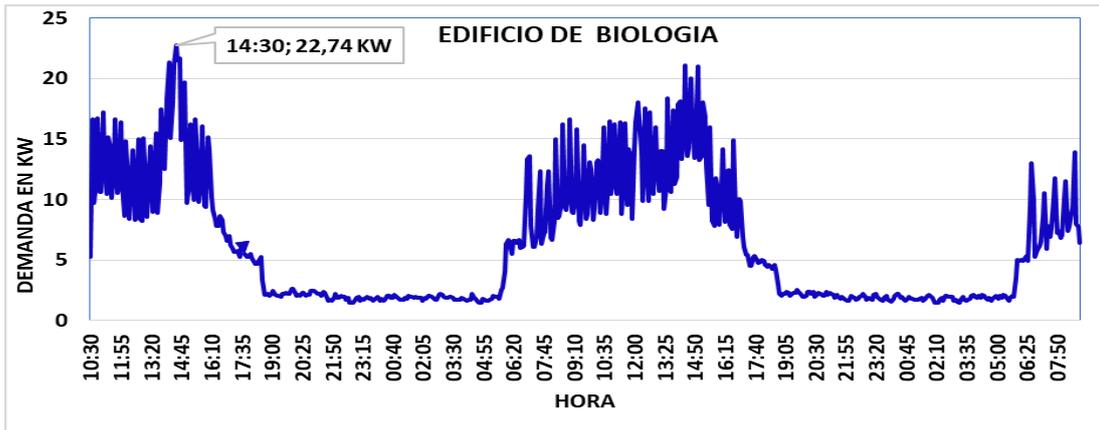
#### **3.5.1 Subestación del edificio de biología.**

Este edificio cuenta con un transformador de 100 kVA monofásico el cual llega al tablero principal de forma subterránea, la carga que se tiene es solo aires acondicionados, computadoras y luminarias dentro del edificio, las luminarias externas son controladas automáticamente a través de LOGO, el cual está programado para que enciendan en horas de la tarde-noche y sean apagadas por la mañana. En este edificio se encuentra un aire acondicionado de 86,000 BTUH trifásico el cual es suministrado desde un banco de transformadores que está cercano a las instalaciones



*Figura 91. Transformador monofásico de 100 kVA para edificio de Biología.*

El perfil de demanda se muestra en la figura 92, este se obtuvo de instalar el medidor ALPHA Power+ por 3 días.



*Figura 92. Perfil de carga para edificio de Biología.*

Con los datos obtenidos ya podemos saber el valor máximo de demanda el cual para nuestro caso fue de 22.74 kW esto representa el 22.74% de la capacidad total instalada.

### **3.5.2 Subestación del edificio de química.**

En la siguiente imagen vemos el transformador monofásico de 75 kVA que alimenta el edificio de Química, en este se tiene carga de luminarias, equipo informático, pocos aires acondicionados y están los laboratorios los cuales no se usan simultáneamente, a la hora de realizar las mediciones no se encontraban funcionando el 100% de los laboratorios, pero es de mencionar que la parte de la carga que estaba en desuso era bastante pequeña en comparación con la carga total.



*Figura 93. Transformador monofásico de 75 kVA, alimenta edificio de Química*

La demanda más alta que se registro fue de 32.52 kW en horas de la mañana, este valor hace que el transformador opere al 43.36% de su capacidad, esto se tomara en cuenta en el nuevo diseño.



Figura 94. Perfil de carga para edificio de Química

### 3.5.3 Subestación del edificio de jóvenes talentos.



Figura 95. Transformador trifásico Pad-Mounted de 112.5 kVA para el edificio de jóvenes talentos



*Figura 96. Perfil de carga para edificio de Jóvenes Talentos.*

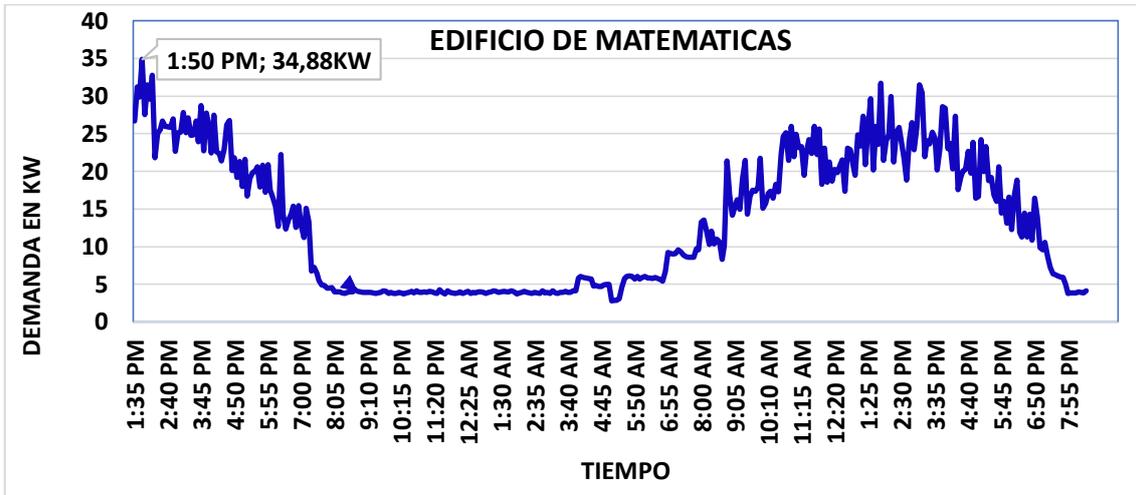
### 3.5.4 Subestación del edificio de matemáticas.

Arreglo trifásico, compuesto por tres transformadores monofásicos de 50 kVA cada uno los cuales alimentan el edificio de jóvenes talento, el laboratorio y el aire acondicionado que está detrás del edificio de Biología. La alimentación para cada una de las cargas que tiene esta subestación es de forma subterránea.



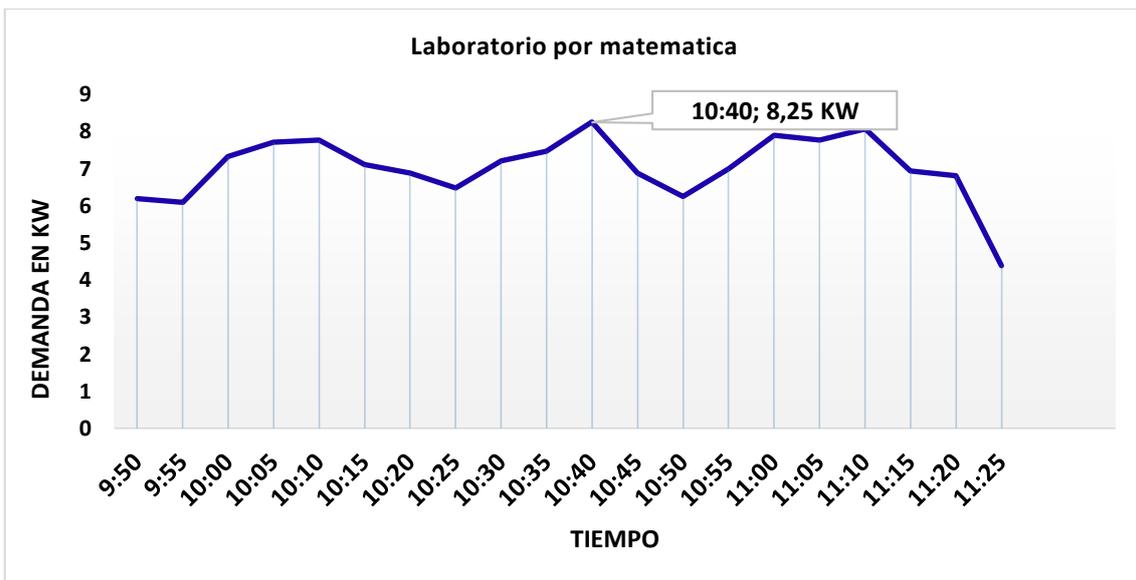
*Figura 97. Arreglo trifásico de 150 kVA para edificio de Matemáticas y laboratorio.*

Primero presentamos le perfil de carga para el edificio de jovenes talentos, en el que se obtuvo un valor de 34.88 kW como el consumo mas alto registrado. Para estas mediciones se dejo conectado el medidor ABB tres dias; la grafica del perfil de carga se presenta en la siguiente figura.



**Figura 98.** Perfil de carga para edificio de Matemáticas

Luego obtuvimos el perfil de carga para el laboratorio que esta junto al edificio de jóvenes talentos, para este caso solo se instaló el medidor por 2 horas, en este tiempo se hizo encender todo el equipo y los resultados obtenidos los podemos observar en la siguiente gráfica.



**Figura 99.** Perfil de carga para laboratorio

La mayor demanda registrada en esta medición fue de 8.25 kW, cabe aclarar que hay un equipo que no estaba en funcionamiento por motivos de desperfectos, este es quizá el que mayor energía consume, para saber el consumo de este equipo nos auxiliamos de los datos de placa la cual tiene un valor de 2100 VA, esta potencia la agregaremos a la hora de dimensionar el transformador que alimentara esta carga en el nuevo diseño.

### 3.5.5 Aire acondicionado para edificio de biología.

Este AA se instaló recientemente, ya que esta es una carga trifásica no se pudo alimentar del transformador que corresponde al edificio de Biología por ser monofásico, es por esto que optaron por que trabajara con la subestación trifásica que abastece al edificio de jóvenes talento.



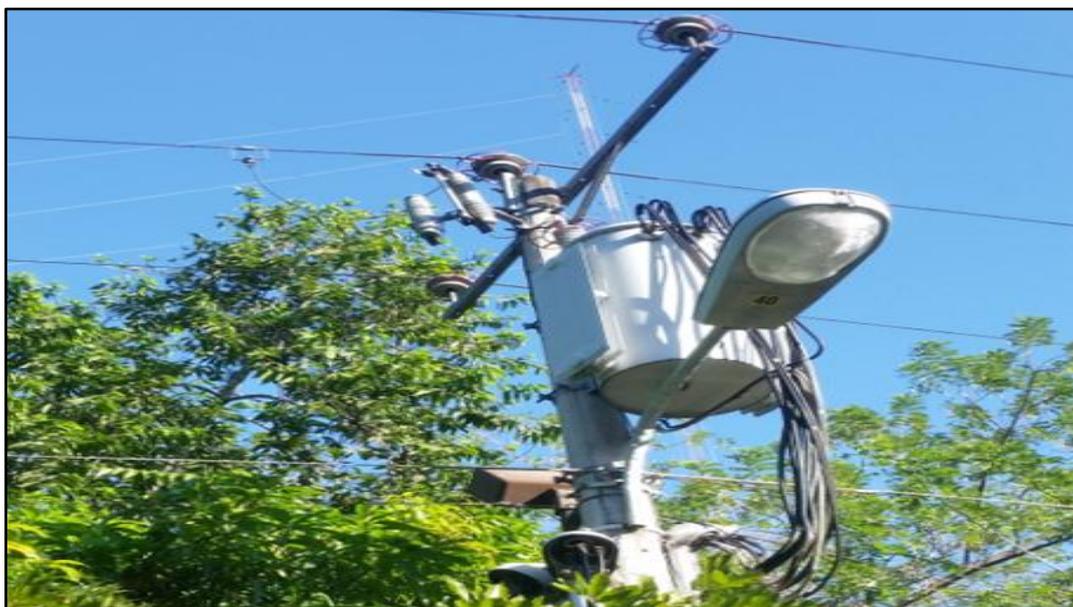
SPECIFICATIONS		
General Data	Nominal Tonnage	7.5 Ton
	Model Number	KCB092S4B
	Efficiency Type	Standard
	Blower Type	Constant Air Volume (CAV)
Cooling Performance	Gross Cooling Capacity - Btuh	87,800
	<sup>1</sup> Net Cooling Capacity - Btuh	86,000
	AHRI Rated Air Flow - cfm	2400
	Total Unit Power - kW	7.7
	<sup>1</sup> EER (Btuh/Watt)	11.2
	<sup>1</sup> IEER (Btuh/Watt)	12.9
	Refrigerant Type	R-410A
Refrigerant Charge Furnished	Circuit 1	4 lbs. 0 oz.
	Circuit 2	3 lbs. 6 oz.

*Figura 100. AA del edificio de biología*

La capacidad de este AA es de 86,000 BTUH lo que equivale a 7.167 toneladas, para saber la potencia que demanda se hizo uso del valor que normalmente se utiliza de 1250 VA por cada tonelada de refrigeración, en total se tienen 8.96 kVA y para más practicidad a la hora de diseñar lo dejaremos como 9 kVA, este valor lo veremos reflejado en el resumen de carga que presentaremos más adelante.

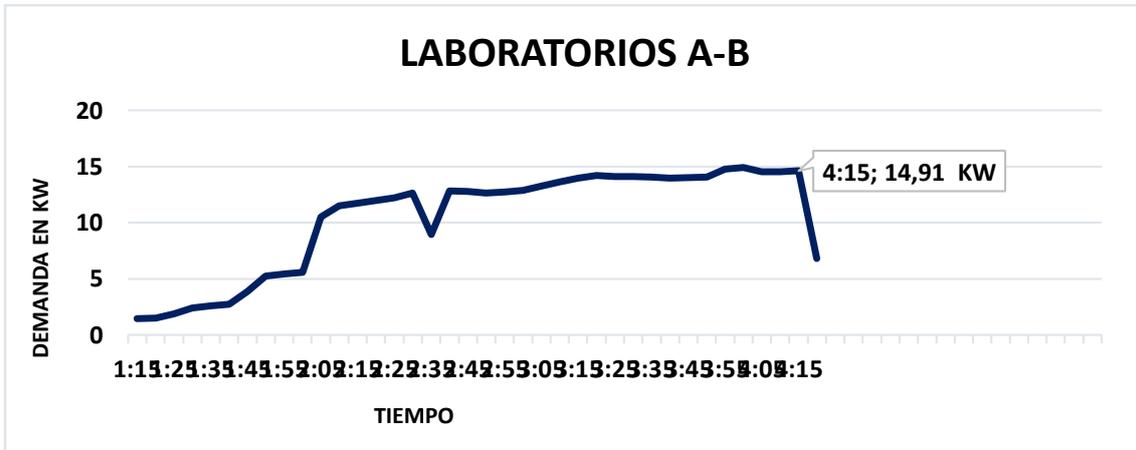
### 3.5.6 Laboratorios a-b.

La energía eléctrica para los laboratorios de Biología es suministrada por un transformador monofásico de 75 kVA, la alimentación llega a los tableros de forma subterránea y de forma individual a cada uno de los dos laboratorios.



*Figura 101. Transformador monofásico de 75 kVA para laboratorios de biología*

Para estas mediciones vamos a mencionar que solo se instaló el medidor en uno de los laboratorios porque es difícil coincidir para que estén en uso ambos, la demanda se obtuvo para un día en que sería utilizado el 100% de los equipos del laboratorio A y ya que poseen el mismo equipo solo se duplicaría la potencia medida para conocer el perfil de carga completo.

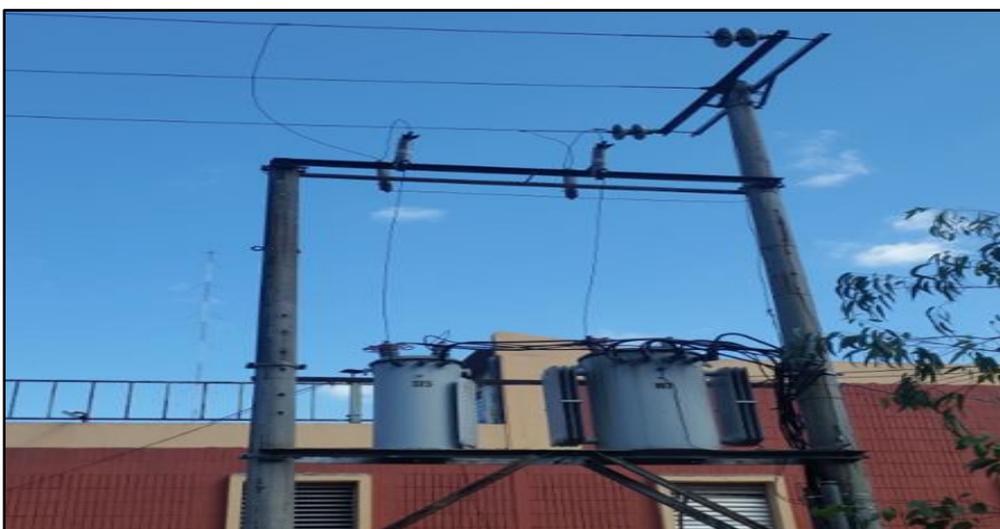


*Figura 102. Perfil de carga para laboratorios de biología.*

Del perfil de carga se obtuvo 14.91 kW como el valor más alto registrado para el laboratorio A, para saber los kW total de ambos laboratorios duplicamos los 14.91 kW de los que tendríamos 29.82 kW como carga total para el transformador de 75 kVA.

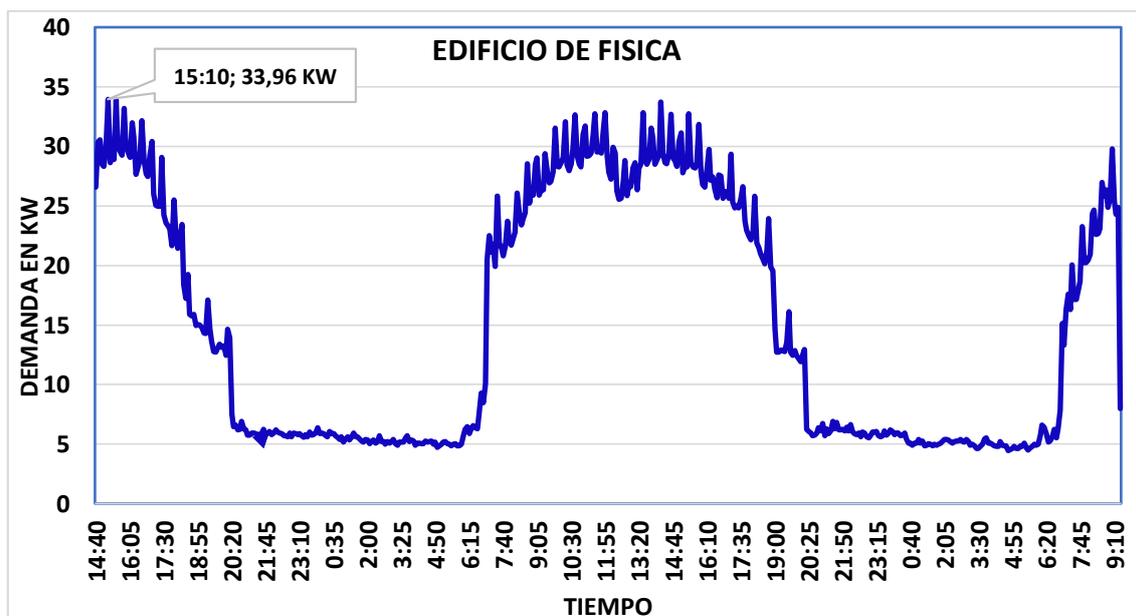
### 3.5.7 Subestación del edificio de física.

Este es el único banco de transformadores con configuración delta abierta compuesta de un transformador de 37.5 kVA y otro de 167 kVA, en este edificio existe un equipo de soldadura eléctrica el cual es la carga trifásica por la que se tiene este tipo de conexión en los transformadores. De los 204.5 kVA que suministran estos transformadores solo un 16.6% se le es demandado, por lo que se podría instalar más equipo y no se sobrecargaría la subestación.



*Figura 103. Subestación trifásica en delta abierta para edificio de Física.*

En este edificio no se cuenta con medidor de la red universitaria, por lo que fue necesario instalar el medidor ALPHA Power+ por 3 días en donde se obtuvieron los datos representados en la gráfica de la figura 104.



*Figura 104. Perfil de carga para edificio de física.*

De los resultados podemos ver que el la mayor demanda es de 33.96 kW es cual es una potencia bastante pequeña comparada con la capacidad que puede suministrar el banco de transformadores, otro dato importante que se puede observar es la disminución de demanda que se en horas de 12md a 1pm pues es cuando el equipo informático y aires acondicionados dejan de funcionar al 100%.

### 3.5.8 Auditorium de ciencias naturales.

Para obtener el perfil de carga de este auditorium no instalamos el medidor ALPHA Power+, nos basaremos en el cuadro de carga del tablero principal.

<b>ST-AUD-2 SUBTABLER O AUDITORIUM 2</b>	CARGA INSTALADA	10,580.0	44.0	44.1	ALIMENTADO R 2 THHN #6(N)-1 THHN #6(T) EN $\Phi$ 1 1/2" LONGITUD CT(%) 1.00% TABLERO TABLERO DE 42 ESPACIOS BARRAS 200 AMPERIOS
		0	3	3	
	F.D	0.70			
	DEMANDA MAXIMA(WATT)	7,406.00	30.8	30.8	
	F.P	1.00			
	DEMANDA MAXIMA (VA)	7,406.00			
	20% RESERVA	1,481.20			
	<b>TOTAL (VA)</b>	<b>8,887.20</b>			
<b>CORRIENTE(AMP)</b>	<b>37.03</b>				

**Tabla 25.** Cuadro de carga del auditorium de CIENCIAS NATURALES

			FASES MONOFASICO MAIN 100 A/2P VOLTAJE 120/240V CAPACIDAD INTERRUPTIV A 10KA
--	--	--	--

Para efectos de diseño tomaremos el total de kVA instalados los cuales son 8.887 kVA, lo que no posee el cuadro de carga es el porcentaje de carga futura, el cual lo asignaremos de un 25%, todo esto lo detallaremos en la tabla 26 donde resumimos toda la carga.

EDIFICIO	SUBESTACION ACTUAL kVA	DEMANDA KW	% UTILIZADO	% DE INCREMENTO DE LA CARGA	CARGA FUTURA EN KW	CARGA TOTAL KW	CARGA TOTAL EN kVA CON FP DE 0,8
<b>FACULTAD DE CIENCIAS Y HUMANIDADES</b>							
Dagoberto Marroquin	225	9.46	4%	0.5	4.73	14.19	17.74
ADMINISTRATIVO	100	33.7	34%	0.25	8.43	42.13	52.66
PERIODISMO Y LETRAS	150	35.8	24%	0.25	8.95	44.75	55.94
IDIOMAS	100	31.84	32%	0.25	7.96	39.80	49.75
AUDITORIUM 4	75	4.27	6%	0.25	1.07	5.34	6.67
<b>FACULTAD DE CIENCIAS ECONOMICAS</b>							
ADMINISTRATIVO	150	25.98	17%	0.25	6.50	32.48	40.59
DOCENTES	100	19.39	19%	0.25	4.85	24.24	30.30
RAFAEL MENJIVAR	225	29.34	13%	0.5	14.67	44.01	55.01
COMPARTIDO CON DERECHO	225	32.5	14%	0.25	8.13	40.63	50.78
FELIPE PEÑA	100	23.42	23%	0.25	5.86	29.28	36.59
CARLOS RODAS	75	21.03	28%	0.25	5.26	26.29	32.86
ACADEMICA	75	19.39	26%	0.25	4.85	24.24	30.30
COMEDOR UES	50	11.99	24%	0.25	3.00	14.99	18.73
TRANSFORMADOR PARA AA	150	56.25	38%	0.25	14.06	70.31	87.89
<b>FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA</b>							
BIOLOGIA	100	22.74	23%	0.5	11.37	34.11	42.64
QUIMICA	75	32.52	43%	0.25	8.13	40.65	50.81
JOVENES TALENTO	112.5	30.66	27%	0.25	7.67	38.33	47.91
MATEMATICAS	150	34.88	23%	0.25	8.72	43.60	54.50
LABORATORIO		8.25	6%	0.25	2.06	10.31	12.89
AA DE BIOLOGIA		9	6%	0.25	2.25	11.25	14.06
AUDITORIUM CC NN	37.5	8.9	24%	0.25	2.23	11.13	13.91
AUDITORIUM 2		17.35	46%	0.25	4.34	21.69	27.11
LABORATORIOS A-B	75	29.82	40%	0.25	7.46	37.28	46.59
FISICA	204.5	33.96	17%	0.25	8.49	42.45	53.06

*Tabla 26. Resumen de las capacidades de la carga y transformadores actuales.*

## CAPITULO IV

### 4. PROPUESTA DE DISEÑO PARA LA RED SUBTERRÁNEA

#### 4.1 Introducción

Se pretende en un futuro reducir a dos las acometidas que suministren energía a la Universidad, estas serían la acometida del Polideportivo y la de Economía, estas estarían conectadas en configuración en anillo, en anteriores trabajos de graduación ya se ha diseñado una red subterránea para la acometida del Polideportivo, por lo que ahora se hará lo mismo con la que está frente a ANDA, la carga que se tenía en esta acometida se anexara al nuevo sistema subterráneo que se tendrá en toda la Universidad. En el estudio de perfiles de carga que se realizó se mostró las características que esta presenta, de ahí se es que se obtendrá las capacidades que tendrán las nueva subestaciones tal y como se muestra en la siguiente tabla.

EDIFICIO	CARGA TOTAL ACTUAL EN KVA	CAPACIDAD DE SUBESTACION NUEVA
DAGOBERTO MARROQUIN	55.97	75 KVA 3Ø
AUDITORIUM 3		
AUDITORIUM CC NN		
ADMINISTRATIVO HUMANIDADE	52.66	75 KVA 1Ø
COMEDOR UES	124.42	225 KVA 3Ø *
PERIODISMO Y LETRAS		
FILOSOFIA		
LABORATORIOS A-B	46.59	50 KVA 1Ø
ADMINISTRATIVO ECONOMIA	47.26	150 KVA 3Ø *
AUDITORIUM 4		
DOCENTES		
TRANSFORMADOR PARA AA	118.19	150 KVA 3Ø
COMPARTIDO CON DERECHO	50.78	75 KVA 1Ø
FELIPE PEÑA	69.45	100 KVA 1Ø
CARLOS RODAS		
ACADEMICA ECONOMIA		
RAFAEL MENJIVAR	85.31	225 KVA 3Ø *
BIOLOGIA		
AA DE BIOLOGIA		
QUIMICA	107.51	150 KVA 3Ø
JOVENES TALENTO		
MATEMATICA		
LABORATORIO	115.30	150 KVA 3Ø
FISICA		
EDIFICIO DERECHOS		
EDIFICIO USOS MULTIPLES	-----	300 KVA 3Ø *
<b>TOTAL</b>		<b>2004 KVA</b>

*Tabla27. Capacidad de subestaciones nuevas*

\*. Transformadores que ya están en uso en la actual red aérea y que se utilizaran en la red eléctrica subterránea.

Se puede ver en la tabla 27 las nuevas capacidades que tendrá cada transformador y el total de potencia para la cual se diseñara, siendo esta de 2154 kVA, se contara con catorce transformadores para poder abastecer dicha potencia, entre ellos estarán nueve trifásicos y cinco monofásicos, para el dimensionamiento de estos se tomó en cuenta que cuando el transformador trabaje a plena carga esta no sobrepase el 80% de la capacidad nominal de este.

#### 4.2 CALCULO DEL ALIMENTADOR

La potencia total a la que se deberá alimentar es de 2004 kVA, tal y como se puede ver en la tabla 1, por lo que el cable a utilizar deberá ser capaz de soportar la corriente necesaria para suplir dicha potencia, a continuación calcularemos el calibre de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} * V_{LL}}$$

El nivel de voltaje  $V_{LL}$  que suministra la distribuidora en el punto de conexión es de 23 KV, por lo que el valor de la corriente es de:

$$I = \frac{2004 \text{ kVA}}{\sqrt{3} * 23 \text{ kV}}$$

$$I = 50.3 \text{ A}$$

Al aplicar el factor de 1.25 que recomienda el NEC para dimensionar la capacidad del cable se obtiene un valor de 62.9 amperios por lo que de acuerdo a este valor se elegirá el calibre del conductor. El calibre mínimo que permite SIGET es el número 2 y la IEEE permite como mínimo el calibre 1/0 que es de acuerdo al cual diseñaremos para cumplir con ambas normativas, el nivel de corriente que soporta este es de 200A con factor de carga del 100% y resistencia térmica (RHO) DE 90 según el NEC en la tabla 310.77, Por lo que este calibre de conductor soportaría fácilmente la corriente de 62.9 A para la que se está diseñando.

Calibre del conductor (AWG o kcmil)	Ampacidad para 2001-5000 volts		Ampacidad para 5001-35,000 volts	
	90 ° C (194° F)	105 ° C (221° F)	90 ° C (194° F)	105 ° C (221° F)
	Tipo MV-90	Tipo MV-105	Tipo MV-90	Tipo MV-105
<b>Un circuito (Véase la Figura 310.60, Detalle 1)</b>				
8	64	69	—	—
6	85	92	90	97
4	110	120	115	125
2	145	155	155	165
1	170	180	175	185
1/0	195	210	200	215
2/0	220	235	230	245
3/0	250	270	260	275
4/0	290	310	295	315

**Figura 105.** Selección para el cable 1/0 según el NEC.

#### 4.2.1 TENSIONES DE JALADO

Para determinar la tensión de jalado a la que será expuesto el cable usaremos tres formulas las cuales ya se detallaron en el capítulo II en la sección 2.5.3 pero que las volveremos a mencionar en este apartado, para los tramos rectos sin ningún desnivel se usara la siguiente formula:

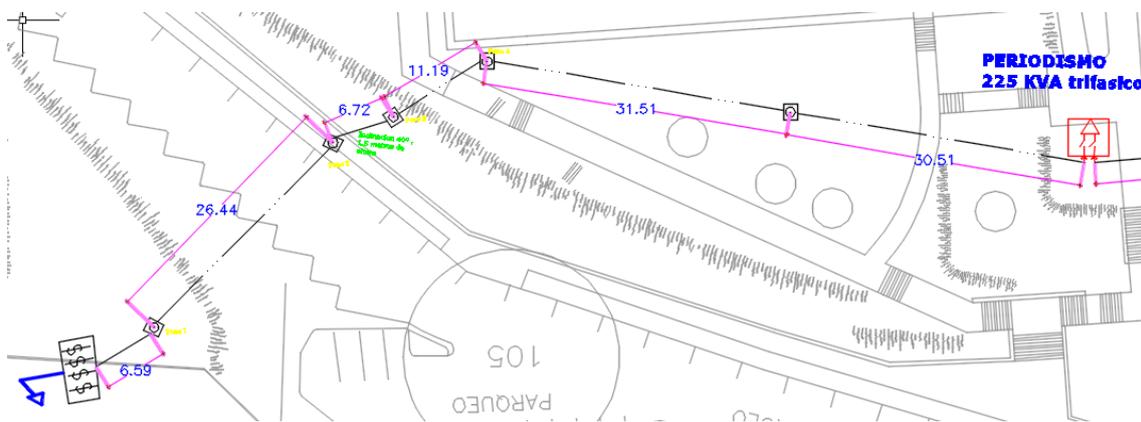
$$T = w * f * l * W$$

Para los tramos donde se cuente con un desnivel hacia arriba y hacia abajo se usaran las fórmulas:

Hacia arriba:  $T = Wl(\sin A + wf \cos A)$

Hacia abajo:  $T = Wl(\sin A - wf \cos A)$

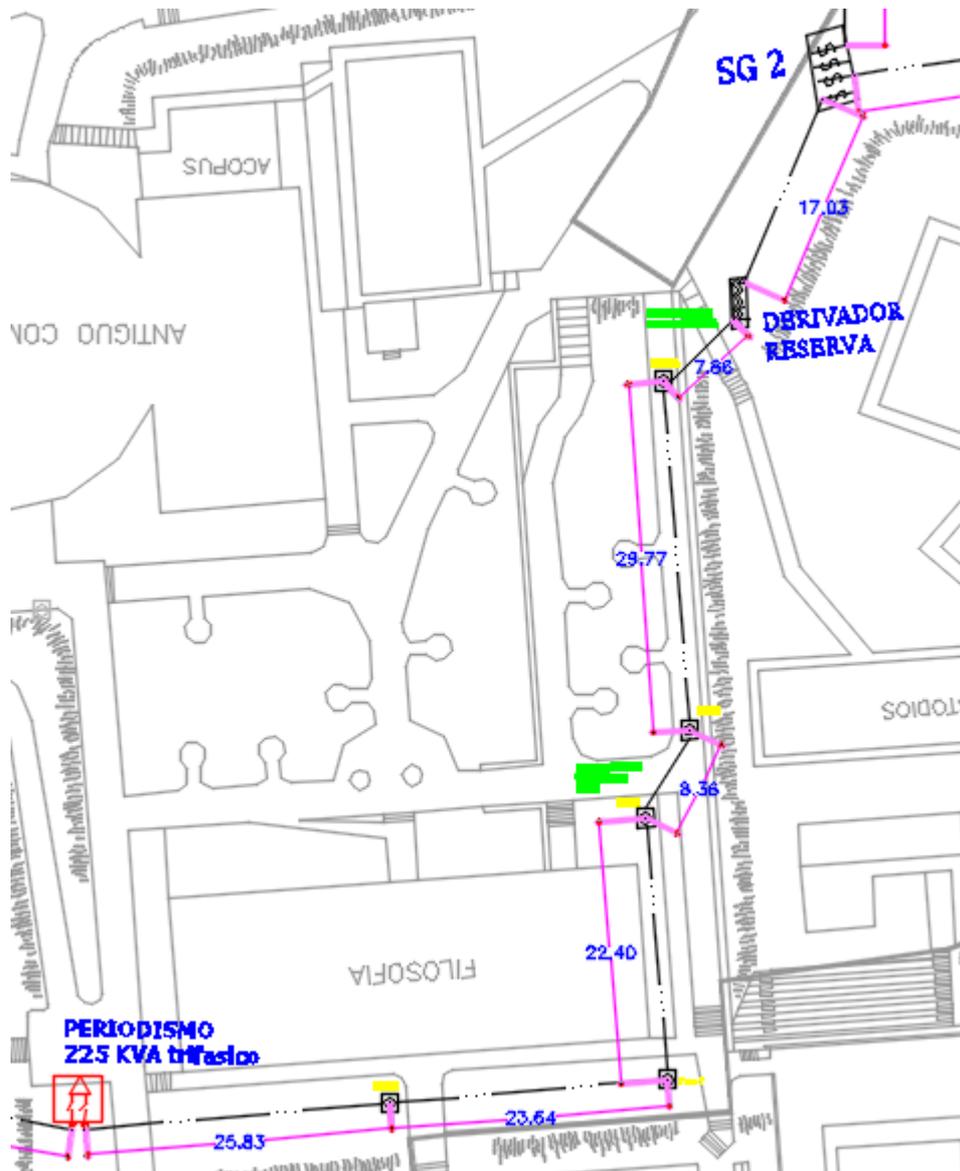
Antes de mostrar los resultados de los valores obtenidos para cada tramo, se mostrara y se hablara sobre las características de cada uno.



**Figura 106.** Tramos de línea trifásica desde la FIA hasta transformador de 225 kVA.

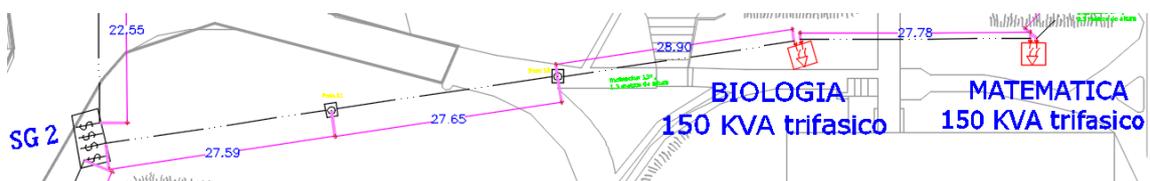
Esta sección de línea es trifásica va desde el que se ha nombrado como SG FIA el cual es donde se hará la conexión de nuestra red subterránea con la acometida del polideportivo, de este SG hasta el primer transformador se tienen 112.96 metros, dentro de los cuales se contara con cinco pozos de paso hasta llegar al pozo de registro en el cual se conectara el transformador que alimentara los edificios de Periodismo y Letras, Idiomas y el Cafetín Universitario.

La siguiente sección que mostramos en la figura 107 contiene el tramo de línea que va desde el transformador de Periodismo hasta el SG2.



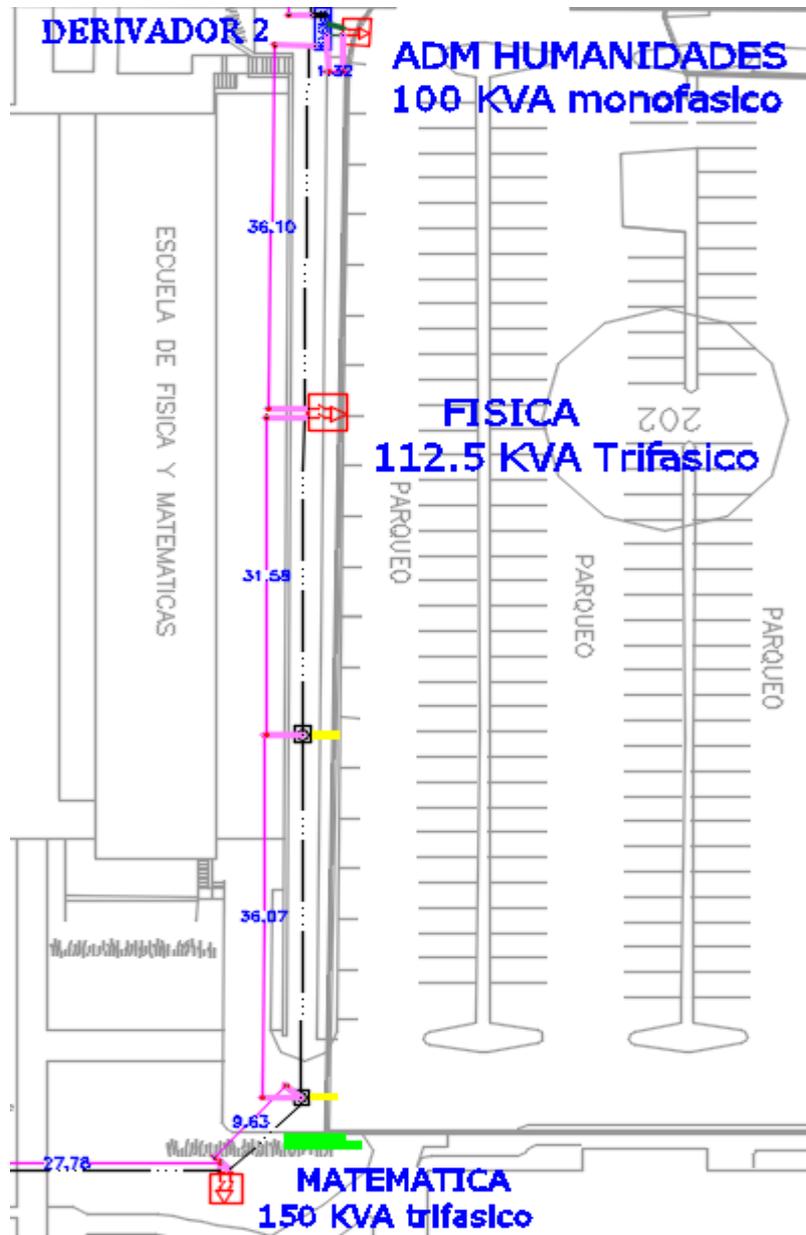
**Figura 107.** Tramos de línea trifásica desde transformador de 225 kVA hasta el SG2.

En esta parte de la red se tendrán 134.89 metros de línea, en este trayecto habrán cinco pozos de paso y uno en el que estará instalado un derivador de reserva el cual servirá para cuando en un futuro se conecten para alimentar las aulas que están en las cercanías ya que estas actualmente no son usadas, después de pasar por este derivador se llega al al SG2, este es donde se inicia el anillo, las características de todos estos elementos las encontraremos en otro apartado de este documento.

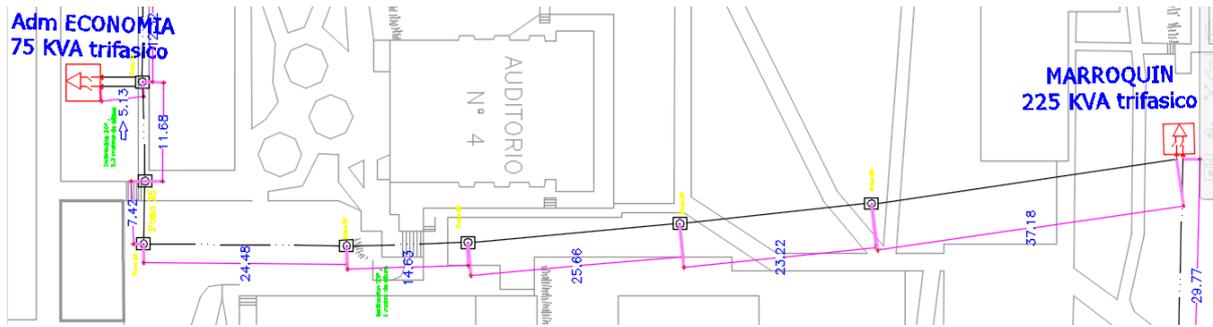


**Figura 108:** Tramos de línea trifásica desde el sg2 hasta el transformador #3.

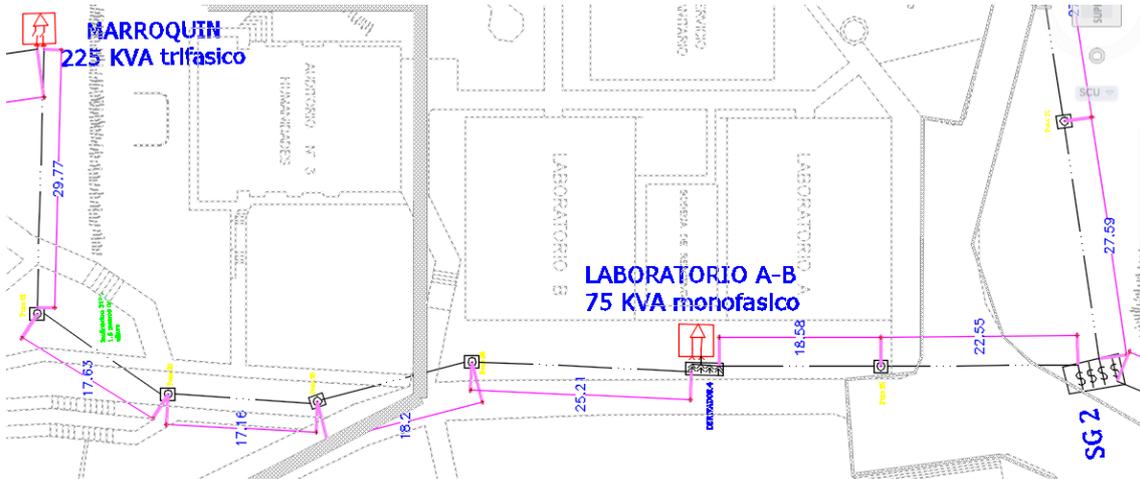
En el tramo que va desde el SG2 hasta el pozo de registro donde conectara el transformador #2 que suministrara los edificios de Biología, el AA que está detrás de este y la carga del edificio de Química se tiene 84.14 metros de línea, luego se tienen 27.78 metros que van hasta el transformador #3 que alimentara la carga de los edificios de Matemáticas, Jóvenes Talentos y el Laboratorio que esta junto a este edificio.



**Figura 109.** Tramos de línea trifásica desde el trafo #3 hasta el trafo #5.



**Figura 110.** Tramos de línea trifásica desde el trafo #8 hasta el trafo #9.



**Figura 111.** Tramos de línea trifásica desde el trafo #9 hasta el SG2.

Para realizar los cálculos de tensión de jalado mostramos en la siguiente tabla las características físicas del cable que se utilizara en este proyecto.

XLPE - 25 KV											
Calibre	Área nominal de la sección transversal	Número de hilos	Diámetro del conductor	100% Nivel de Aislamiento Espesor de aislamiento : 6,60 mm ( 260 mils)			133% Nivel de Aislamiento Espesor de aislamiento : 8,13 mm ( 320 mils)			Peso Total aproximado ( kg / 100 m )	
				Diámetro sobre el aislamiento	Diámetro total aproximado	Peso Total aproximado	Diámetro sobre el aislamiento	Diámetro total aproximado			
AWG o kcmil	mm <sup>2</sup>		mm	mm	mm	Cobre	Aluminio	mm	mm	Cobre	Aluminio
1/0	53.48	19	8.6	23.3	31.8	125	90.7	35.3	35.3	143	108
2/0	67.43	19	9.6	24.3	32.9	142	98	36.4	36.4	160	117
3/0	85.01	19	10.8	25.5	34.6	165	110	37.7	37.7	182	127
4/0	107.2	19	12.1	27.1	36.2	192	123	39.2	39.2	209	140
250	126.7	37	13.2	28.5	37.6	217	135	40.7	40.7	235	153
300	152.0	37	14.5	29.8	38.9	246	147	42.0	42.0	264	165
350	177.3	37	15.7	31.0	40.2	274	158	43.3	43.3	293	177
400	202.7	37	16.7	32.0	41.2	301	169	45.9	45.9	337	205
500	253.4	37	18.7	34.0	43.3	356	191	47.9	47.9	393	228
600	304.0	61	20.6	36.1	47.0	430	232	50.1	50.1	453	255
750	380.0	61	23.0	38.5	49.5	511	264	53.0	53.0	538	291
1 000	506.7	61	26.9	42.4	53.9	649	320	57.0	57.0	674	345

**Tabla 28.** Características físicas del cable a utilizar.

Luego de aplicar el método antes explica, se muestran los resultados de tensión de jalado para cada tramo de cable, como se verá en ninguno de los tamos se sobrepasó los 143 kg/100m que soporta el cable.

TRAMO	Calibre del cable	Diametro total del conductor (mm)	Distancia (metros)	Peso del cable Kg/100 m	Angulo de inclinacion	Coefficiente de correccion de peso	Tension (kgf)
SG1 - Pozo1	1/0	35.3	6.59	143		0.95744	13.53398
Pozo1 - Pozo2	1/0	35.3	26.46	143		0.95744	54.34130
Pozo2 - Pozo3	1/0	35.3	6.72	143	40	0.95744	18.89752
Pozo3 - Pozo4	1/0	35.3	11.19	143		0.95744	22.98107
Pozo4 - Pozo5	1/0	35.3	31.59	143		0.95744	64.87686
Pozo5 - PozoReg1	1/0	35.3	30.51	143		0.95744	62.65884
PozoReg1 - Pozo6	1/0	35.3	25.83	143		0.95744	53.04746
Pozo6 - Pozo7	1/0	35.3	23.64	143		0.95744	48.54982
Pozo7 - Pozo8	1/0	35.3	22.4	143		0.95744	46.00322
Pozo8 - Pozo9	1/0	35.3	8.36	143	33	0.95744	19.93464
Pozo9 - Pozo10	1/0	35.3	29.77	143		0.95744	61.13909
Pozo10 - Derivador1	1/0	35.3	7.86	143	13	0.95744	8.05167
Derivador1 - SG2	1/0	35.3	17.03	143		0.95744	34.97477
SG2 - Pozo11	1/0	35.3	27.59	143		0.95744	56.66200
Pozo11 - Pozo12	1/0	35.3	27.65	143		0.95744	56.78522
Pozo12 - PozoReg2	1/0	35.3	28.9	143		0.95744	59.35236
PozoReg2 - PozoReg3	1/0	35.3	27.78	143		0.95744	57.05220
PozoReg3 - Pozo13	1/0	35.3	9.63	143	17	0.95744	12.53647
Pozo13 - Pozo14	1/0	35.3	36.07	143		0.95744	74.07750
Pozo14 - PozoReg4	1/0	35.3	31.58	143		0.95744	64.85632
PozoReg4 - Derivador2	1/0	35.3	36.1	143		0.95744	74.13911
Derivador2 - PozoReg5	1/0	35.3	1.32	143		0.95744	2.71090
Derivador2 - Pozo15	1/0	35.3	28.39	143		0.95744	58.30497
Pozo15 - Pozo16	1/0	35.3	26.83	143		0.95744	55.10117
Pozo16 - Pozo17	1/0	35.3	19.57	143	13	0.95744	40.19120
Pozo17 - Pozo18	1/0	35.3	25.75	143		0.95744	52.88316
Pozo18 - PozoReg6	1/0	35.3	33.82	143		0.95744	69.45664
PozoReg6 - Pozo19	1/0	35.3	18.23	143		0.95744	37.43922
Pozo19 - Pozo20	1/0	35.3	2.71	143		0.95744	5.56557
Pozo20 - PozoReg7	1/0	35.3	2.71	143		0.95744	5.56557
PozoReg7 - Pozo20	1/0	35.3	18.23	143		0.95744	37.43922
Pozo20 - Pozo19	1/0	35.3	15.63	143	35	0.95744	32.09956
Pozo19 - Derivador3	1/0	35.3	2	143		0.95744	4.10743
Derivador3 - PozoReg8	1/0	35.3	8.14	143		0.95744	16.71724

**Tabla 29.** Tensiones de jalado desde el pozo 1 hasta el pozo de registro 8.

TRAMO	Calibre del cable	Diametro total del conductor (mm)	Distancia (metros)	Peso del cable Kg/100 m	Angulo de inclinacion	Coefficiente de correccion de peso	Tension (kgf)
Derivador3 - Pozo22	1/0	35.3	16	143		0.95744	32.8594
Pozo22 - Pozo23	1/0	35.3	22.82	143		0.95744	46.8658
Pozo23 - Pozo24	1/0	35.3	18.6	143		0.95744	38.1991
Pozo24 - Pozo25	1/0	35.3	19.83	143		0.95744	40.7252
Pozo25 - Derivador4	1/0	35.3	2	143		0.95744	4.10743
Derivador4 - PozoReg9	1/0	35.3	25.5	143		0.95744	52.3697
Derivador4 - Pozo27	1/0	35.3	23.78	143		0.95744	48.8373
Pozo27 - Pozo28	1/0	35.3	20.76	143		0.95744	42.6351
Pozo28 - Pozo29	1/0	35.3	29.92	143		0.95744	61.4472
Pozo29 - Pozo30	1/0	35.3	17.67	143		0.95744	36.2891
Pozo30 - Pozo31	1/0	35.3	14.59	143		0.95744	29.9637
Pozo31 - PozoReg10	1/0	35.3	8	143		0.95744	16.4297
pozoReg10 - PozoReg11	1/0	35.3	23.18	143		0.95744	47.6051
PozoReg10 - Pozo32	1/0	35.3	6.39	143		0.95744	13.1232
Pozo32 - Pozo33	1/0	35.3	22.24	143		0.95744	45.6746
Pozo33 - Pozo34	1/0	35.3	37.25	143		0.95744	76.5009
Pozo34 - Pozo35	1/0	35.3	37.26	143		0.95744	76.5214
Pozo35 - Pozo36	1/0	35.3	12	143	33	0.95744	24.6446
Pozo36 - Pozo37	1/0	35.3	27.65	143		0.95744	56.7852
Pozo37 - Pozo38	1/0	35.3	5.87	143		0.95744	12.0553
Pozo38 - Pozo39	1/0	35.3	12.32	143		0.95744	25.3018
Pozo39 - Pozo40	1/0	35.3	5.13	143	30	0.95744	10.5356
Pozo40 - PozoReg12	1/0	35.3	5.13	143		0.95744	10.5356
PozoReg12 - Pozo40	1/0	35.3	11.68	143		0.95744	23.9874
Pozo40 - Pozo41	1/0	35.3	7.42	143		0.95744	15.2386
Pozo41 - Pozo42	1/0	35.3	24.48	143		0.95744	50.2749
Pozo42 - Pozo43	1/0	35.3	14.63	143	33	0.95744	30.0459
Pozo43 - Pozo44	1/0	35.3	25.66	143		0.95744	52.6983
Pozo44 - Pozo45	1/0	35.3	23.22	143		0.95744	47.6873
Pozo45 - Pozo46	1/0	35.3	37.18	143		0.95744	76.3571
Pozo46 - PozoReg13	1/0	35.3	29.77	143		0.95744	61.1391
PozoReg13 - Pozo47	1/0	35.3	17.63	143	31	0.95744	36.207
Pozo47 - Pozo48	1/0	35.3	17.16	143		0.95744	35.2417
Pozo48 - Pozo49	1/0	35.3	18.29	143		0.95744	37.5624
Pozo49 - Derivador5	1/0	35.3	25.21	143		0.95744	51.7742
Derivador5 - PozoReg14	1/0	35.3	1.5	143		0.95744	3.08057
Derivador5 - pozo50	1/0	35.3	18.58	143		0.95744	38.158
Pozo50 - SG2	1/0	35.3	22.55	143		0.95744	46.3113

**Tabla 30.** Tensiones de jalado desde el pozo de registro8 hasta el switchgear.

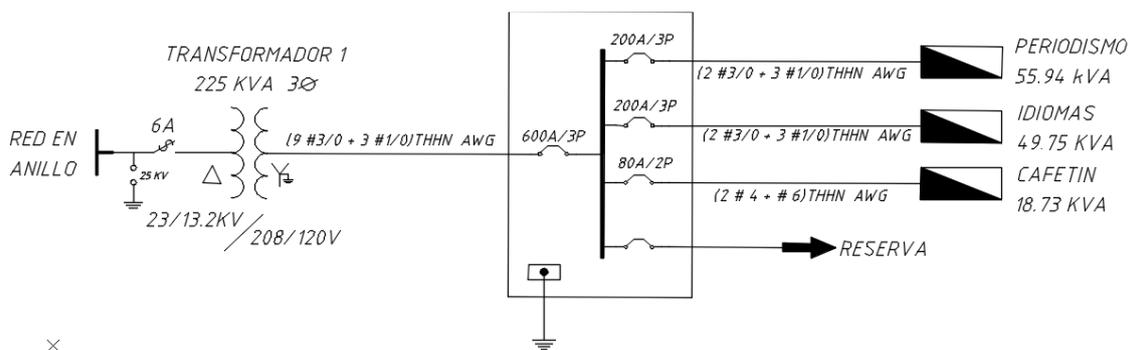
## 4.2.2 DISTRIBUCIÓN DE RED ELÉCTRICA SECUNDARIA

Para este proyecto se ha considerado a bien utilizar un mismo transformador para alimentar la carga de dos o más edificios, por lo que es necesario instalar tableros a la salida de cada transformador, los cuales servirán para distribuir la potencia hacia cada uno de los tableros ubicados en cada edificio.

Los tableros son los nodos desde los cuales se alimentan otros tableros o algunas cargas, además de contener las protecciones de los mismos, son importantes ya que distribuyen la potencia en ramales a toda la instalación.

Debido a la cantidad de circuitos que puede ser requerida para una instalación, éstos se especifican para una salida estándar, en este proyecto no se superan los taleros de más de 24 polos.

Como se ha venido haciendo a lo largo de este documento, se usará el transformador1 como ejemplo para mostrar los criterios usados para diseñar el lado de baja de cada transformador. En la figura112 se muestra el diagrama unifilar secundario para el transformador antes mencionado, el tablero principal alimentara tres ramales, el edificio de Periodismo, Idiomas y el cafetín universitario, para estos ramales se mantendrán los tableros que ya están instalados en cada edificio, puesto que se encuentran en buenas condiciones.



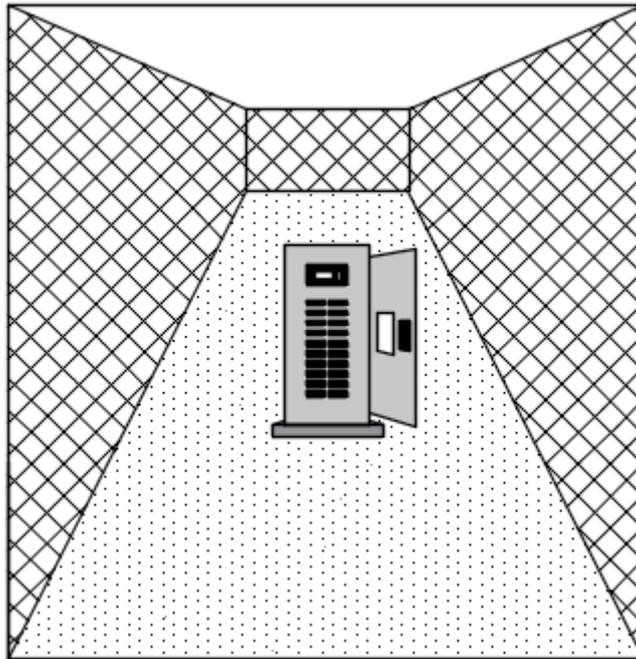
**Figura 112:** Distribución secundaria para transformador1.

Para la elección del tablero principal del transformador1 se realizó una visita a las instalaciones del viceministerio de obras públicas (MOP) para tomar como referencia las características de los tableros que se encuentran instalados en dicho lugar, en la figura113 se puede observar el equipo al que se hace mención.



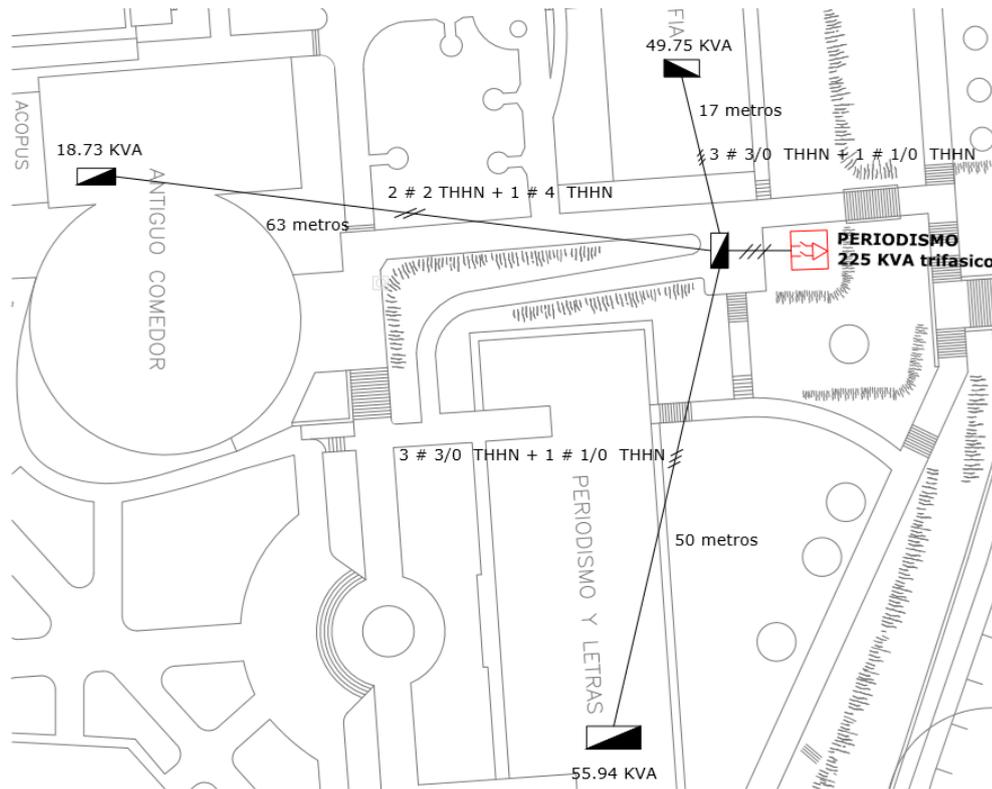
**Figura 113:** Ilustración de un tablero similar al que se usará en el proyecto.

Estos tableros estarán ubicados a pocos metros de su respectivo transformador, por cuestiones de seguridad estarán dentro de una cerca construida con malla ciclón con características similares a las mostradas en la siguiente figura:



**Figura 114:** Área donde se instalarán los tableros principales.

Se optó por un tablero de la marca SIEMENS cuyas características se anexan al final del documento, el diagrama unifilar con sus respectivas distancias y ubicaciones de los tableros se presenta en la siguiente figura.



**Figura 115:** Características de la ubicación de los tableros para el transformador 1.

#### 4.3 EFECTOS A LA RESISTENCIA ALTERNA EN EL CABLE

La resistencia de un conductor eléctrico por el que circula corriente alterna es mayor que la resistencia que presenta el mismo conductor a la corriente directa. Este incremento es ocasionado por dos efectos.

- Efecto piel
- Efecto de proximidad

Cuando un conductor por el que fluye una corriente eléctrica alterna se encuentra cercano a otro que transporta un flujo de iguales características pero de sentido contrario, crea una resta vectorial de densidad de flujo, originando una reducción en la inductancia en las caras próximas y en las diametralmente opuestas, dando por resultado una distribución no uniforme de la densidad de corriente y aumento aparente de la resistencia efectiva, la cual se calcula afectando la resistencia original por un factor  $Y_p$ .

Expresando la resistencia de corriente alterna.

$$R_{ca} = R_{dc}(1 + Y_s + Y_p)$$

Donde:

$R_{ca}$  : Resistencia a la corriente alterna.

$R_{dc}$  : Resistencia a la corriente directa.

$Y_s$  : Factor debido al efecto pie.

$Y_p$  : Factor debido al efecto proximidad.

$$R_{cd20^\circ} = \rho * \frac{L}{A} * (1 + K_c) \left[ \frac{\Omega}{Km} \right]$$

$\rho$  : Resistividad volumetrica del material conductor.

$L$  : Longitud del conductor.

$A$  : Area de la seccion transversal del conductor.

$K_c$  : Factor de cableado.

Se usara el siguiente valor para la resistividad volumétrica.

$$\rho = 17.241 \left[ \frac{\Omega}{Km} \right]$$

Para la longitud de conductor se tomara la distancia que hay desde el SG1 hasta el primer transformador el cual es el que alimentara el edificio de Periodismo y Letras, este tramo tiene la siguiente longitud.

$$L = 112.96 \text{ metros}$$

La sección transversal del conductor es tomada de las especificaciones dadas por el fabricante del cable a utilizar en este proyecto.

$$A = 53.5 \text{ mm}^2$$

El parámetro para el factor de cableado se obtiene de la tabla31 seleccionando el tipo de cableado redonda compacto.

TIPO CABLEADO	Kc
Redondo normal	0.02
Redondo Compacto	0.02
Sectorial	0.015
Segmental	0.02

**Tabla 31.** Incremento de resistencia por efecto de cableado.

Entonces se tendrá para  $K_c$  el valor siguiente:

$$K_c = 0.02$$

Teniendo ya todos los datos necesarios para conocer la resistencia de corriente alterna que se tendrá los sustituimos en la ecuación correspondiente.

$$R_{cd}20^{\circ} = 17.241 * \frac{0.11296}{53.25} (1 + 0.02)$$

$$R_{cd}20^{\circ} = 0.03724 \frac{\Omega}{Km}$$

El siguiente cálculo que se debe hacer es para el parámetro del efecto piel.

$$Y_s = \frac{X_s^4}{192 + 0.8 X_s^4}$$

Donde:

$$X_s^2 = \frac{8 * \pi * f}{R} * 10^{-4} * K_s$$

$f$  : Frecuencia del sistema en Hz.

$K_s$  : Factor debido a la forma del conductor.

$R$ : Resistencia del conductor a la corriente directa corregida a la temperatura de operación.

La frecuencia a la que operara el sistema como cualquier sistema en nuestra región es de

$$f = 60 \text{ Hz}$$

El factor debido a la forma del conductor lo tomamos de la tabla 32.

FORMA DEL CONDUCTOR	Ks	Kp
Redondo Normal	1	1
Redondo Compacto	1	1
Segmental	0.435	0.37

**Tabla 32.** Incremento de la resistencia por efecto de cableado.

El valor para  $K_s$  se elige para un cable redondo compacto.

$$K_s = 1$$

Para conocer el valor de la resistencia corregida se usa la siguiente ecuación a temperatura de 90°C puesto que es a la máxima temperatura para la que se diseñara.

$$R_{cd}90^{\circ} = \frac{R_{cd}20^{\circ} (234.5 + 90)}{254.5} \left[ \frac{\Omega}{Km} \right]$$

Al sustituir el valor encontrado anteriormente para la temperatura a 20° se tiene:

$$R_{cd}90^{\circ} = \frac{(0.03724) (234.5 + 90)}{254.5} \left[ \frac{\Omega}{Km} \right]$$

$$R_{cd}90^{\circ} = 0.047483 \frac{\Omega}{Km}$$

Ya podemos encontrar el valor para  $X_s$ :

$$X_s^2 = \frac{8 * \pi * 60}{0.047483} * 10^{-4} * 1$$

$$X_s^2 = 3.175798$$

Al sustituir este valor en la ecuación para el parámetro de efecto piel.

$$Y_s = \frac{3.175798^2}{192 + 0.8 * 3.175798^2}$$

$$Y_s = 0.050411$$

➤ FACTOR DE PROXIMIDAD

$$Y_p = \frac{X_p^4}{192 + 0.8 * X_p^4} * \left(\frac{d_c}{s}\right)^2 * \left[ 0.312 * \left(\frac{d_c}{s}\right)^2 + \frac{1.18}{\frac{X_p^4}{192 + 0.8 * X_p^4} + 0.27} \right]$$

$d_c$  : Diametro del conductor.

$s$  : Distancia entre ejes de los conductores (mm)

$$Y_p = \frac{3.175798^2}{192 + 0.8 * 3.175798^2} * (1)^2$$

$$* \left[ 0.312 * (1)^2 + \frac{1.18}{\frac{3.175798^2}{192 + 0.8 * 3.175798^2} + 0.27} \right]$$

$$Y_p = 0.20138$$

Teniendo todos los datos necesarios podemos conocer ya el valor de la resistencia en corriente alterna, se sustituyen los valores en la ecuación.

$$R_{ca} = 0.047483 (1 + 0.050411 + 0.20138)$$

$$R_{ca} = 0.059439 \frac{\Omega}{Km}$$

La resistencia en corriente alterna para el tramo que va desde el SG FIA hasta el transformador 1 es de 0.059439 ohmios por kilómetro, los resultados para cada uno de los tramos se muestran en las siguientes tablas.

TRAMO	Calibre del cable	seccion transversal (mm2)	Distancia (Km)	Rdc a 20°	Rdc a 90°	Xs^2	Ys	Xp^2	Xp^4	Yp	Rac
SG1 - Pozo1	1/0	53.5	0.00659	0.00217	0.00276	54.59715	1.15686	54.59715	2980.84833	1.31765	0.00960
Pozo1 - Pozo2	1/0	53.5	0.02646	0.00870	0.01109	13.59770	0.54395	13.59770	184.89750	0.95829	0.02775
Pozo2 - Pozo3	1/0	53.5	0.00672	0.00221	0.00282	53.54095	1.15343	53.54095	2866.63343	1.31605	0.00977
Pozo3 - Pozo4	1/0	53.5	0.01119	0.00368	0.00469	32.15328	1.01449	32.15328	1033.83334	1.24848	0.01530
Pozo4 - Pozo5	1/0	53.5	0.03159	0.01038	0.01324	11.38953	0.43858	11.38953	129.72135	0.86720	0.03053
Pozo5 - PozoReg1	1/0	53.5	0.03051	0.01003	0.01279	11.79270	0.45858	11.79270	139.06771	0.88579	0.02998
PozoReg1 - Pozo6	1/0	53.5	0.02583	0.00849	0.01083	13.92935	0.55880	13.92935	194.02688	0.96993	0.02738
Pozo6 - Pozo7	1/0	53.5	0.02364	0.00777	0.00991	15.21976	0.61392	15.21976	231.64118	1.01111	0.02601
Pozo7 - Pozo8	1/0	53.5	0.0224	0.00736	0.00939	16.06229	0.64759	16.06229	257.99701	1.03483	0.02518
Pozo8 - Pozo9	1/0	53.5	0.00836	0.00275	0.00350	43.03770	1.10661	43.03770	1852.24381	1.29383	0.01191
Pozo9 - Pozo10	1/0	53.5	0.02977	0.00979	0.01248	12.08583	0.47293	12.08583	146.06731	0.89871	0.02959
Pozo10 - Derivador1	1/0	53.5	0.00786	0.00258	0.00329	45.77547	1.12154	45.77547	2095.39361	1.30097	0.01127
Derivador1 - SG2	1/0	53.5	0.01703	0.00560	0.00714	21.12714	0.81291	21.12714	446.35604	1.13942	0.02107
SG2 - Pozo11	1/0	53.5	0.02759	0.00907	0.01156	13.04078	0.51840	13.04078	170.06201	0.93763	0.02840
Pozo11 - Pozo12	1/0	53.5	0.02765	0.00909	0.01159	13.01248	0.51709	13.01248	169.32475	0.93655	0.02843
Pozo12 - PozoReg2	1/0	53.5	0.0289	0.00950	0.01211	12.44966	0.49049	12.44966	154.99405	0.91410	0.02913
PozoReg2 - PozoReg3	1/0	53.5	0.02778	0.00913	0.01164	12.95159	0.51424	12.95159	167.74370	0.93419	0.02851
PozoReg3 - Pozo13	1/0	53.5	0.00963	0.00317	0.00404	37.36191	1.06662	37.36191	1395.91230	1.27442	0.01348
Pozo13 - Pozo14	1/0	53.5	0.03607	0.01186	0.01512	9.97492	0.36634	9.97492	99.49893	0.79363	0.03265
Pozo14 - PozoReg4	1/0	53.5	0.03158	0.01038	0.01324	11.39313	0.43876	11.39313	129.80352	0.86737	0.03052
PozoReg4 - Derivador2	1/0	53.5	0.0361	0.01187	0.01513	9.96663	0.36591	9.96663	99.33363	0.79315	0.03267
Derivador2 - PozoReg5	1/0	53.5	0.00132	0.00043	0.00055	272.57211	1.24598	272.57211	74295.55745	1.35858	0.00199

**Tabla 33.** Parámetros para el cálculo de la resistencia en corriente alterna Rac.

TRAMO	Calibre del cable	seccion transversal (mm2)	Distancia (Km)	Rdc a 20°	Rdc a 90°	Xs^2	Ys	Xp^2	Xp^4	Yp	Rac
Derivador2 - Pozo15	1/0	53.5	0.00697	0.00229	0.00292	51.62054	1.14672	51.62054	2664.68055	1.31289	0.01011
Pozo15 - Pozo16	1/0	53.5	0.02839	0.00933	0.01190	12.67331	0.50115	12.67331	160.61271	0.92321	0.02885
Pozo16 - Pozo17	1/0	53.5	0.02683	0.00882	0.01124	13.41018	0.53543	13.41018	179.83299	0.95149	0.02797
Pozo17 - Pozo18	1/0	53.5	0.01957	0.0064328	0.0082021	18.385038	0.7309775	18.3850379	338.0096168	1.089776	0.0231362
Pozo18 - PozoReg6	1/0	53.5	0.02575	0.0084642	0.0107923	13.972629	0.5607162	13.9726288	195.2343547	0.971419	0.0273275
PozoReg6 - Pozo19	1/0	53.5	0.03382	0.0111169	0.0141746	10.638533	0.4005709	10.6385331	113.1783874	0.829861	0.0316154
Pozo19 - Pozo20	1/0	53.5	0.01823	0.0059923	0.0076405	19.736434	0.7734516	19.7364339	389.5268248	1.115984	0.0220768
Pozo20 - PozoReg7	1/0	53.5	0.00271	0.0008908	0.0011358	132.76575	1.233209	132.765753	17626.74518	1.352815	0.004073
PozoReg7 - Pozo20	1/0	53.5	0.00271	0.0008908	0.0011358	132.76575	1.233209	132.765753	17626.74518	1.352815	0.004073
Pozo20 - Pozo19	1/0	53.5	0.01823	0.0059923	0.0076405	19.736434	0.7734516	19.7364339	389.5268248	1.115984	0.0220768
Pozo19 - Derivador3	1/0	53.5	0.01563	0.0051377	0.0065508	23.019526	0.8603383	23.019526	529.8985755	1.166563	0.0198286
Derivador3 - PozoReg8	1/0	53.5	0.002	0.0006574	0.0008382	179.8976	1.2407984	179.897595	32363.14482	1.356247	0.0030152
Derivador3 - Pozo22	1/0	53.5	0.00814	0.0026757	0.0034116	44.200883	1.1132459	44.2008834	1953.718092	1.297005	0.0116345
Pozo22 - Pozo23	1/0	53.5	0.016	0.0052593	0.0067059	22.487199	0.8476795	22.4871994	505.6741379	1.159421	0.0201653
Pozo23 - Pozo24	1/0	53.5	0.02282	0.0075011	0.0095643	15.76666	0.6359852	15.7666604	248.5875808	1.026766	0.0254672
Pozo24 - Pozo25	1/0	53.5	0.0186	0.0061139	0.0077956	19.343827	0.7615468	19.3438275	374.1836608	1.108746	0.0223756
Pozo25 - Derivador4	1/0	53.5	0.01983	0.0065183	0.0083111	18.143983	0.7229483	18.1439834	329.2041335	1.084697	0.0233346
Derivador4 - PozoReg9	1/0	53.5	0.002	0.0006574	0.0008382	179.8976	1.2407984	179.897595	32363.14482	1.356247	0.0030152
Derivador4 - Pozo27	1/0	53.5	0.0255	0.008382	0.0106875	14.109615	0.5667551	14.1096153	199.0812446	0.976071	0.0271764
Pozo27 - Pozo28	1/0	53.5	0.02378	0.0078167	0.0099666	15.130159	0.6102344	15.1301594	228.9217238	1.008444	0.0260994
Pozo28 - Pozo29	1/0	53.5	0.02076	0.006824	0.0087009	17.331175	0.6948245	17.3311749	300.3696231	1.06657	0.0240266
Pozo29 - Pozo30	1/0	53.5	0.02992	0.0098349	0.01254	12.02524	0.4699818	12.0252403	144.6064051	0.896083	0.0296704

**Tabla 34.** Parámetros para el cálculo de la resistencia en corriente alterna Rac.

TRAMO	Calibre del cable	seccion transversal (mm2)	Distancia (Km)	Rdc a 20°	Rdc a 90°	Xs^2	Ys	Xp^2	Xp^4	Yp	Rac
Pozo30 - Pozo31	1/0	53.5	0.01767	0.0058083	0.0074058	20.361924	0.7917104	20.3619236	414.6079344	1.126932	0.0216149
Pozo31 - PozoReg10	1/0	53.5	0.01459	0.0047958	0.0061149	24.660397	0.8962828	24.6603969	608.1351752	1.186465	0.0188508
pozoReg10 - PozoReg11	1/0	53.5	0.008	0.0026297	0.0033529	44.974399	1.1174148	44.9743988	2022.696552	1.298998	0.011455
PozoReg10 - Pozo32	1/0	53.5	0.02318	0.0076194	0.0097151	15.521794	0.6262035	15.5217943	240.9260968	1.019876	0.025707
Pozo32 - Pozo33	1/0	53.5	0.00639	0.0021004	0.0026782	56.305977	1.1620328	56.3059766	3170.363006	1.320073	0.0093256
Pozo33 - Pozo34	1/0	54.5	0.02224	0.0071763	0.0091501	16.480231	0.6636021	16.4802309	271.5980095	1.045785	0.0247913
Pozo34 - Pozo35	1/0	55.5	0.03725	0.0118031	0.0150495	10.020013	0.3686856	10.0200128	100.4006573	0.796193	0.0325804
Pozo35 - Pozo36	1/0	56.5	0.03726	0.0115973	0.0147871	10.197816	0.3778954	10.1978159	103.99545	0.806157	0.0322959
Pozo36 - Pozo37	1/0	57.5	0.012	0.0036701	0.0046795	32.224647	1.0153368	32.2246471	1038.427884	1.248912	0.0152752
Pozo37 - Pozo38	1/0	58.5	0.02765	0.0083119	0.0105981	14.228604	0.5719622	14.2286043	202.453181	0.98005	0.0270465
Pozo38 - Pozo39	1/0	53.5	0.00587	0.0019295	0.0024602	61.2939	1.1749426	61.2938996	3756.942131	1.326089	0.0086133
Pozo39 - Pozo40	1/0	53.5	0.01232	0.0040497	0.0051635	29.204155	0.9754966	29.2041551	852.8826748	1.228553	0.0165442
Pozo40 - PozoReg12	1/0	53.5	0.00513	0.0016863	0.0021501	70.135515	1.1918491	70.1355148	4918.990432	1.333914	0.0075806
PozoReg12 - Pozo40	1/0	53.5	0.00513	0.0016863	0.0021501	70.135515	1.1918491	70.1355148	4918.990432	1.333914	0.0075806
Pozo40 - Pozo41	1/0	53.5	0.01168	0.0038393	0.0048953	30.804383	0.997668	30.8043828	948.9099979	1.239945	0.0158491
Pozo41 - Pozo42	1/0	53.5	0.00742	0.002439	0.0031099	48.489918	1.1342267	48.4899179	2351.272137	1.306992	0.0107017
Pozo42 - Pozo43	1/0	53.5	0.02448	0.0080467	0.01026	14.697516	0.5921298	14.697516	216.0169755	0.995195	0.0265459
Pozo43 - Pozo44	1/0	53.5	0.01463	0.004809	0.0061317	24.592973	0.8948924	24.5929727	604.8143068	1.185705	0.0188893
Pozo44 - Pozo45	1/0	53.5	0.02566	0.0084346	0.0107546	14.021636	0.5628821	14.0216364	196.6062881	0.973092	0.0272733
Pozo45 - Pozo46	1/0	53.5	0.02322	0.0076326	0.0097319	15.495056	0.6251259	15.4950556	240.0967477	1.019112	0.0257335

**Tabla 35.** Parámetros para el cálculo de la resistencia en corriente alterna Rac.

TRAMO	Calibre del cable	seccion transversal (mm <sup>2</sup> )	Distancia (Km)	Rdc a 20°	Rdc a 90°	Xs <sup>2</sup>	Ys	Xp <sup>2</sup>	Xp <sup>4</sup>	Yp	Rac
Pozo46 - PozoReg13	1/0	53.5	0.03718	0.0122213	0.0155828	9.6771165	0.350845	9.67711648	93.64658339	0.776292	0.0331467
PozoReg13 - Pozo47	1/0	53.5	0.02977	0.0097856	0.0124771	12.085831	0.4729334	12.0858311	146.0673125	0.898715	0.0295914
Pozo47 - Pozo48	1/0	53.5	0.01763	0.0057951	0.007389	20.408122	0.7930253	20.408122	416.4914433	1.127713	0.0215815
Pozo48 - Pozo49	1/0	53.5	0.01716	0.0056406	0.0071921	20.967086	0.808576	20.9670857	439.6186831	1.136886	0.0211839
Pozo49 - Derivador5	1/0	53.5	0.02521	0.0082867	0.010566	14.271923	0.5738489	14.2719235	203.6877996	0.981485	0.0269995
Derivador5 - PozoReg14	1/0	53.5	0.0015	0.0004931	0.0006287	239.86346	1.2448074	239.863461	57534.47969	1.358056	0.002265
Derivador5 - pozo50	1/0	53.5	0.01858	0.0061074	0.0077872	19.36465	0.7621869	19.3646497	374.9896566	1.109137	0.0223596
Pozo50 - SG2	1/0	53.5	0.02255	0.0074123	0.0094511	15.955441	0.6434199	15.9554408	254.5760921	1.031948	0.0252852

**Tabla 36.** Parámetros para el cálculo de la resistencia en corriente alterna Rac.

#### 4.4 IMPEDANCIA DE SECUENCIA CERO

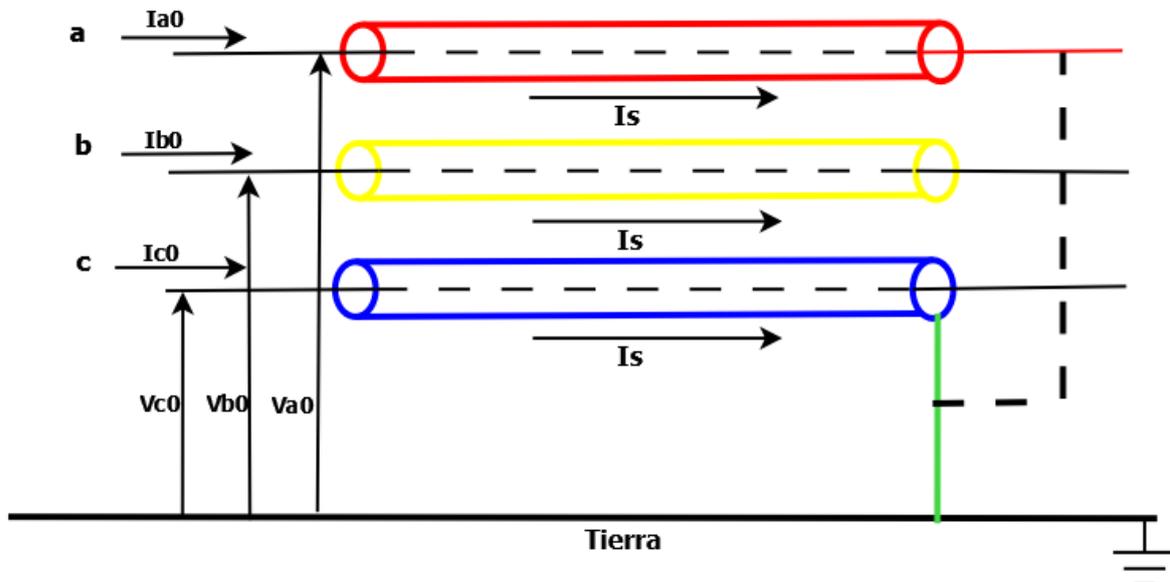
Cuando existe circulación de corriente de secuencia cero y dependiendo del arreglo, esta tendrá trayectorias bien definidas de circulación. En la práctica se dan tres posibles arreglos:

1. Que el regreso de corrientes de secuencia cero se haga únicamente por tierra, como es el caso donde los forros metálicos están aislados de tierra o bien, no tengan forro.
2. Que el retorno se efectúe por ambos caminos, forro metálico y tierra
3. Que el regreso se efectúe únicamente por el forro metálico.

En cada uno de los casos anteriores, la corriente encontrará determinadas impedancias, como son la resistencia a la corriente alterna del conductor, resistencia que presenta la tierra y cubierta, además el efecto de las corrientes en el conductor, forro y tierra, agregan inductancias mutuas.

Para el cableado primario de la red de distribución subterránea, se utilizara cable monopolar con forro metálico.

La figura se muestra un circuito real equivalente para cables unipolares, dentro de un circuito trifásico perfectamente transpuesto donde sus forros están sólidamente unidos a tierra



*Figura 116. Circuito equivalente de cables unipolares dentro de un circuito trifásico.*

Las ecuaciones para el cálculo de la impedancia de secuencia cero para cables unipolares, se muestran a continuación:

$$Z_C = R_c + R_e + j(0.5209) \log \frac{100D_e}{RMG_{3C}} \frac{\Omega}{km} \text{ por fase}$$

Donde:

$$Z_C = R_c + R_e + j(X_a + X_e - 2X_d)$$

$R_c$  = Resistencia a la c.a. de un conductor  $\frac{\Omega}{km}$

$R_e$  = Resistencia equivalente de la tierra  $\frac{\Omega}{km}$

Profundidad de regreso por tierra  $D_e$  e impedancia  $R_e$  y  $X_e$  a 60 Hz

Resistividad del terreno $\Omega - m$	Profundidad equivalente $D_e$ [m]	Resistencia equivalente de la tierra $\Omega/km$	Reactancia equivalente de la tierra $\Omega/km$
1	$8.53 \times 10^1$	0.178	1.27
5	$1.89 \times 10^2$	0.178	1.45
10	$2.69 \times 10^2$	0.178	1.54
50	$6.10 \times 10^2$	0.178	1.72
100	$8.53 \times 10^2$	0.178	1.80
500	$1.89 \times 10^3$	0.178	1.98
1000	$2.69 \times 10^3$	0.178	2.06
5000	$6.10 \times 10^3$	0.178	2.24
10000	$8.53 \times 10^3$	0.178	2.32

**Tabla 37.** Profundidad de regreso por tierra

$D_e$  = Profundidad equivalente de la trayectoria de regreso por tierra.

$RMG_{3C}$  = Radio medio geométrico de los tres cables tomados como grupo.

$X_a$  = Reactancia de un conductor de fase individual a 12 pulgadas de separación  $\frac{\Omega}{km}$

$X_e$  = Reactancia del regreso a tierra.

$$X_e = 0.5209 \log \frac{D_e}{0.3048} \frac{\Omega}{km}$$

$$X_d = 0.1736 \log \frac{DMG_{3C}}{30.48} \frac{\Omega}{km}$$

$$DMG_{3C} = (S_{ab} * S_{bc} * S_{ac})^{1/3} = \text{Distancia media geometrica}$$

$$Z_P = R_P + R_e + j(0.5209) \log \frac{100D_e}{RMG_{3C}} \frac{\Omega}{km} \text{ por fase}$$

$$Z_p = R_p + R_e + j(X_p + X_e - 2X_d) \frac{\Omega}{km} \text{ por fase}$$

Donde:

$$RMG_{3C} = \sqrt[3]{\frac{r_0 + r_i}{2} (DMG_{3P})^2}$$

Es el radio medio geométrico de los 3 forros en paralelo.

$R_p$  Resistencia de un forro en  $\frac{\Omega}{km}$

$$R_p = \frac{0.8019}{(r_0 + r_i)(r_0 - r_i)} \text{ Para forro metálico}$$

$r_i$  = Radio interno del forro en centímetros.

$r_0$  = Radio externo del forro en centímetros.

$X_p$  = Reactancia del forro en  $\frac{\Omega}{km}$

$$X_p = 0.17361 \log \frac{60.96}{r_0 + r_i}$$

$$Z_m = R_e + j(0.5209) \log \frac{100D_e}{DMG_{3C-3P}} \frac{\Omega}{km} \text{ por fase}$$

$$Z_m = R_p + R_e + j(X_p + X_e - 2X_d) \frac{\Omega}{km} \text{ por fase}$$

$DMG_{3C-3P}$  = Distancia media geométrica entre forros y conductores.

$$DMG_{3C-3P} = \sqrt[3]{\frac{r_0 + r_i}{2} (DMG_{3C})^6} * \sqrt[3]{\frac{r_0 + r_i}{2} (DMG_{3C})^2}$$

Para el cálculo de la impedancia de secuencia cero, se pueden presentar tres casos.

**Caso 1:** Cuando la corriente regresa por el forro y la tierra en paralelo

$$Z_0 = Z_C - \frac{Z_m^2}{Z_p} \frac{\Omega}{km} \text{ por fase}$$

**Caso 2:** Cuando la corriente regresa únicamente por cubierta metálica

$$Z_0 = Z_C + Z_P - 2Z_m \frac{\Omega}{km} \text{ por fase}$$

$$Z_0 = R_C + R_P + J(0.5209) \log \frac{RMG_{3S}}{RMG_{3C}} \frac{\Omega}{km} \text{ por fase}$$

$$Z_0 = R_C + R_P + j(X_a - X_P) \frac{\Omega}{km} \text{ por fase}$$

**Caso 3:** Regreso de corrientes únicamente por tierra.

$$Z_0 = (Z_C - Z_m) + Z_m = Z_C \frac{\Omega}{km} \text{ por fase}$$

En este trabajo se usara el caso 1, por lo que el desarrollo se realizara de acuerdo a la ecuación que se describe para este caso. Los resultados detallados para cada tramo de la red se presentan en la tabla 38.

TRAMO	DISTANCIA [m]	IMPEDANCIA DE SECUENCIA [+]	IMPEDANCIA DE SECUENCIA CERO
SG1 - PozoReg1	113.06	0.07639+0.016540j	0.29382+1.85428j
Pozo10 - Derivador1	117.86	0.08163+0.017242j	0.30224+1.85428j
Derivador1 - SG2	17.03	0.013096+0.002491j	0.19196+1.85428j
Pozo12 - PozoReg2	84.14	0.05342+0.012309j	0.25685+1.85428j
PozoReg2 - PozoReg3	27.78	0.01771+0.004064j	0.1994+1.85428j
Pozo14 - PozoReg4	77.28	0.04764+0.01130j	0.24735+1.85428j
PozoReg4 - Derivador2	36.1	0.02030+0.00528j	0.20356+1.85428j
Derivador2 - PozoReg5	1.32	0.00123+0.00547j	-----
Pozo18 - PozoReg6	107.51	0.07295+0.015721j	0.28827+1.85428j
Pozo20 - PozoReg7	36.57	0.02857+0.00801j	0.21887+1.85428j
Pozo19 - Derivador3	54.76	0.03590+0.005349j	0.22865+1.85428j
Derivador3 - PozoReg8	2	0.00187+0.000299j	-----
Pozo25 - Derivador4	85.39	0.06400+0.01249j	0.27387+1.85428j
Derivador4 - PozoReg9	2	0.00187+0.00029j	-----
Pozo31 - PozoReg10	132.22	0.09163+0.019343j	0.31833+1.85428j
pozoReg10 - PozoReg11	8	0.00719+0.001170j	-----
Pozo40 - PozoReg12	189.29	0.124151+0.02769j	0.37065+1.85428j
PozoReg12 - PozoReg13	112.22	0.08239+0.021856j	0.30346+1.85428j
PozoReg13 - Derivador5	108.06	0.075501+0.01580j	0.29237+1.85428j
Derivador5 - PozoReg14	1.5	0.00140+0.000219j	-----
Pozo50 - SG2	41.13	0.029611+0.00601j	0.21853+1.85428j

**Tabla 38.** Resultados detallados para cada tramo

## 4.5 ESTUDIO DE FALLAS

### 4.5.1 Análisis de cortocircuito

Por medio del estudio de fallas en los circuitos eléctricos es posible determinar las corrientes de cortocircuito, las cuales representan un riesgo tanto para los equipos que operan en el momento de la falla, como para los operarios.

Un estudio de coordinación es el proceso de determinar las características y ajustes óptimos de los elementos de protección de un sistema eléctrico. Los ajustes son elegidos para obtener interrupciones de la mínima parte del sistema durante condiciones de falla.

Para obtener las corrientes de cortocircuito se ha utilizado el software ETAP 12.6, el cual calcula la corriente de cortocircuito para cada punto al ingresar el diseño como un diagrama unifilar, en la figura 118 se muestra el unifilar de cortocircuito ingresado en este programa.

Para poder obtener las corrientes de cortocircuito es necesario ingresar en el programa los datos obtenidos de la red de distribución en el punto de entrega, en la figura 117 se ve la ventana power grid en la que se introdujeron los valores de la Isc y X/R.

SC Rating				SC Impedance (100 MVA <sub>b</sub> )	
	MVA <sub>sc</sub>	MVA <sub>sc</sub>	X/R	% R	% X
3-Phase	216.435		15	3.07339	46.1009
1-Phase	216.435	72.145	15	3.07339	46.1009
	sqrt(3)V <sub>ll</sub> If	V <sub>ln</sub> If		Zero	3.07339

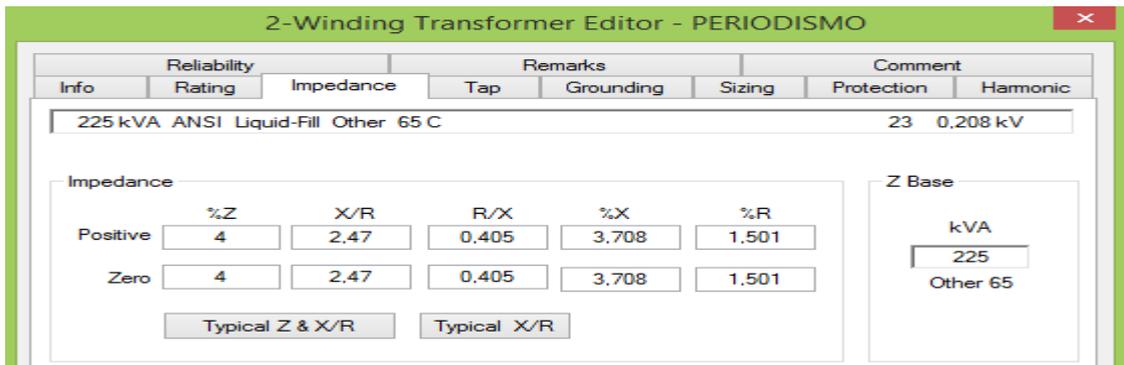
**Figura 117:** Potencia de cortocircuito obtenida en el punto de entrega.

Para los transformadores se deben ingresar los valores de impedancia y X/R estos datos los obtuvimos de tablas de impedancias de transformadores comerciales.

kVA	%Z
45	2.70–5.75
75	2.7–5.75
112-1/2	3.1–5.75
150	3.1–5.75
225	3.1–5.75
300	3.1–5.75
500	4.35–5.75
750	5.75
1000	5.75
1500	5.75
2000	5.75
2500	5.75
3000	5.75
3750	5.75
5000–10,000	6.0–6.5

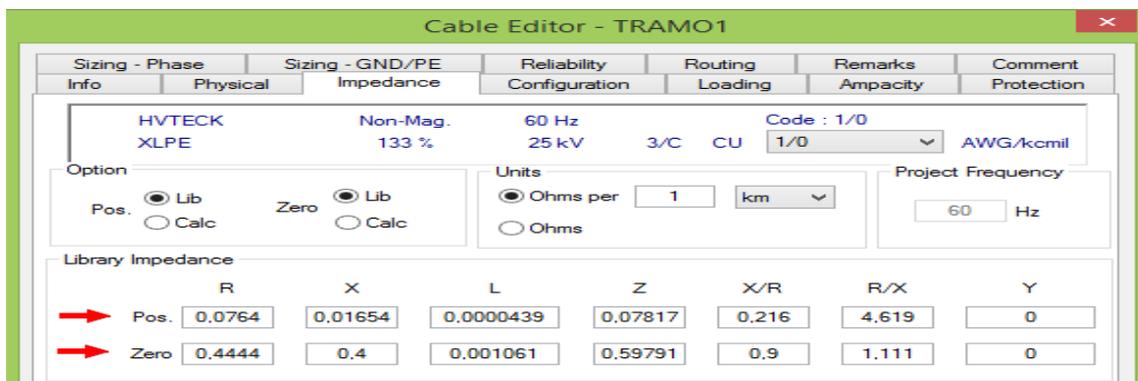


En la siguiente figura se observan los datos ingresados para el transformador 1 de 225 kVA el cual es el que suministrara las cargas de los edificios de periodismo, idiomas y el cafetin universitario.



**Figura 119:** valores de impedancia ingresados en ETAP para el transformador1.

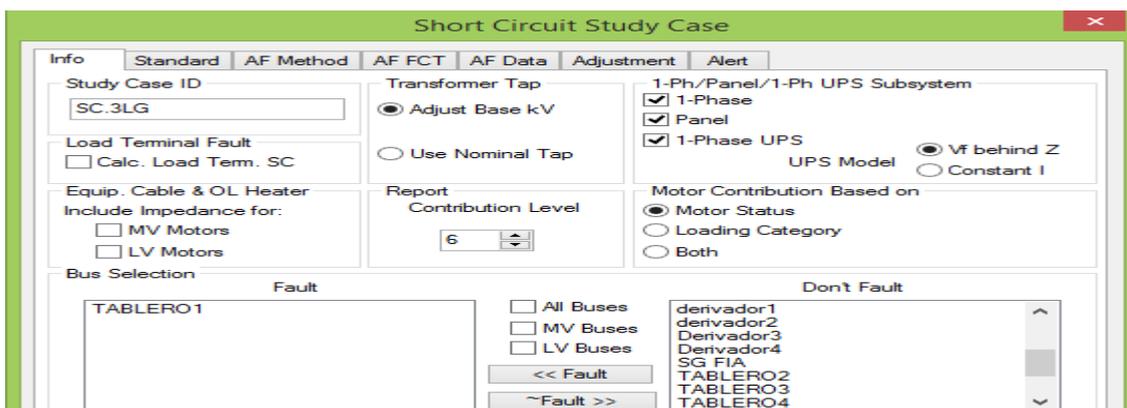
También se muestra los parámetros ingresados para el tramo1 de cables, los valores de impedancia fueron calculados y se presentaron en la sección anterior.



**Figura 120:** Parámetros de impedancias ingresadas para el conductor.

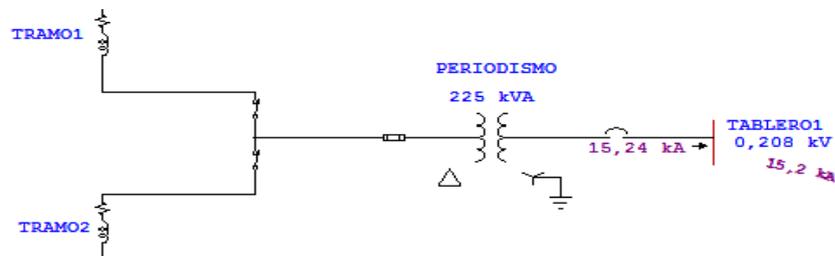
Teniendo todos los datos necesarios se procede a realizar la simulación para obtener las corrientes de cortocircuito en cada punto del sistema y así luego poder calcular las protecciones.

Para fallar cada punto donde se requiere conocer las corrientes de cortocircuito se debe hacer configurar la siguiente pestaña en el software. En la pestaña se puede ver como ejemplo el tablero1.



**Figura 121:** seleccionando el elemento del circuito a fallar.

El resultado despues de fallar el tablero1 se muestra en la figura122, para este punto del sistema se tiene una corriente de cortocircuito de 15.24 kA, el mismo procedimiento se siguio para los demas tableros y todos los elementos que componen la nueva red electrica.



**Figura 122:** Resultados para la CCKTo en tablero del transformador1.

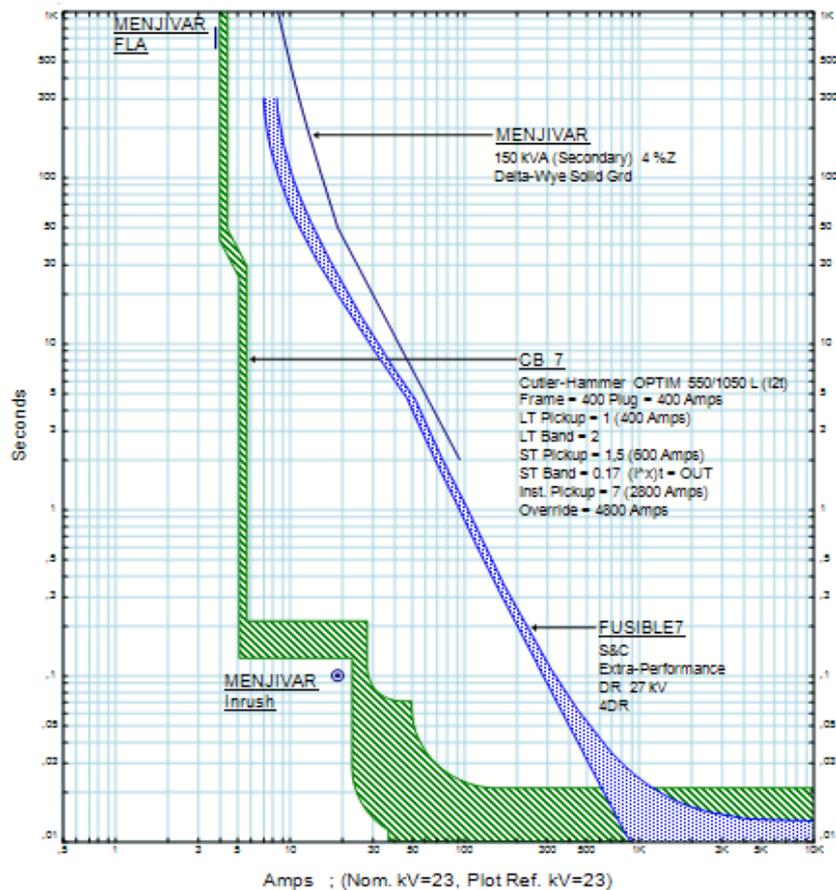
A modo de resumen se muestran en la tabla39 todas las corrientes de cortocircuito obtenidas luego de la simulacion, estas nos seran de utilidad a la hora de seleccionar los equipos de proteccion para cada punto del sistema.

CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO			
Elemento fallado	Tensión (V)	Secundario (KA)	Primario (KA)
SG-FIA	23/13.2	-----	5.43
SG1	23/13.2	-----	5.43
Transformador1	208/120	15.24	5.43
Transformador2	208/120	10.25	5.39
Transformador3	208/120	10.25	5.39
Transformador4	208/120	7.75	5.39
Transformador5	240/120	9.19	5.31
Transformador6	208/120	10.25	5.37
Transformador7	208/120	10.25	5.37
Transformador8	208/120	10.25	5.37
Transformador9	208/120	15.23	5.35
Transformador10	240/120	5.36	20.14
Transformador11	240/120	5.04	16.47
Transformador12	240/120	7.62	5.2
Transformador13	208/120	7.63	5.28
Transformador14	240/120	10.09	5.27
Derivador1	23/13.2	-----	5.43
Derivador2	23/13.2	-----	5.37
Derivador3	23/13.2	-----	5.37
Derivador4	23/13.2	-----	5.31

**Tabla 39.** Corrientes de cortocircuito obtenidas en el software ETAP.

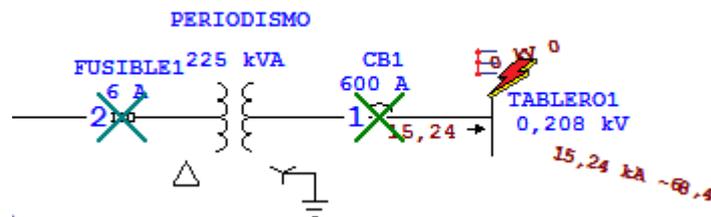
#### 4.5.2 protecciones para transformador del edificio de periodismo

Luego de conocer las corrientes de cortocircuito se debe elegir las capacidades de los elementos encargados de proteger el circuito electrico, en la figura se presentan las curvas para el circuit breaker y el fusible que protegeran al transformador1.



**Figura 123.** Esquema para la coordinación de protecciones del tranformador1.

Como se puede ver, se logro una buena coordinacion entre los dos dispositivos, puesto que el primero en actuar ante una falla es el circuit breaker1, luego actuaria el fusible1, en la siguiente figura se muestra la secuencia de operación de ambos elementos.



**Figura 124.** Esquema para la coordinación de protecciones del transformador1.

El mismo procedimiento se siguio a la hora de simular las demas protecciones de todos los transformadores que fomaran parte dela red electrica subterranea.

#### 4.5.3 PROTECCIONES EN LOS DERIVADORES

Para este punto del sistema se tienen tres protecciones, el circuit breaker5 que protege el lado de baja del transformador que alimenta el edificio de administrativo de la facultad de ciencias y humanidades, en el lado de alta se tienen dos fusibles, el fusible5 que protege al transformador y se tiene el fusible\_d2 el cual estara en el codo instalado en el

derivador2, esta proteccion se dejo con el fin de que despeje fallas que no hayan sido vistas por el fusible5 y de este modo no se propague aguas arriba del la red.

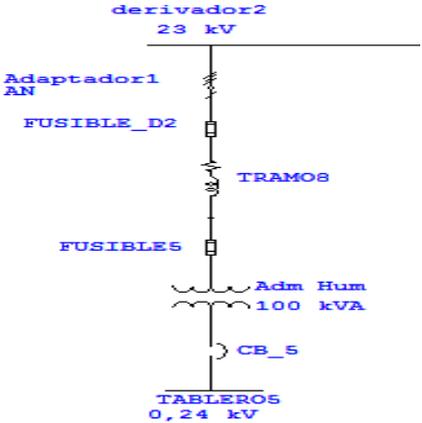


Figura 125. Elementos que protegerán el ramal del derivador2.

Las curvas de disparo para los dispositivos de proteccion de este ramal se muestran en la figura, se puede ver la coordinacion entre el fusible5 y el circuit breaker que protege el lado de baja de este transformador, luego esta la curva para el fusible que estara instalado en el derivador2.

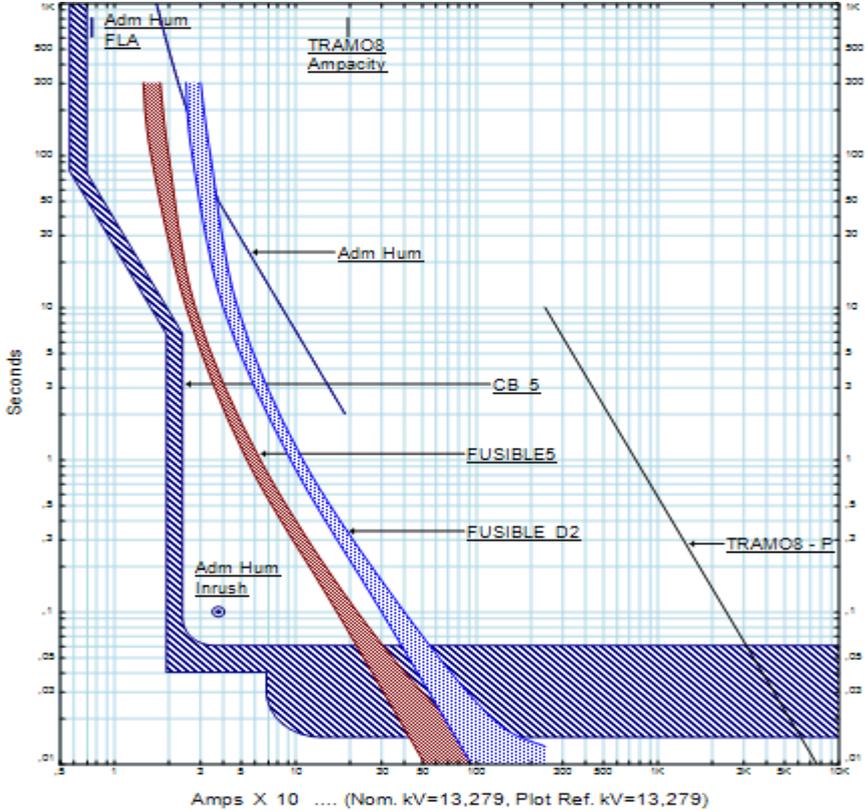


Figura 126. Esquema para la coordinacion de protecciones del transformador5.

**4.5.4 COORDINACIÓN ENTRE FUSIBLES LIMITADORES DE CORRIENTE Y FUSIBLES VISIGAP.**

El propósito de este apartado es mostrar la coordinacion que tendrán los fusibles limitadores de corriente con las protecciones instaladas en los SwitchGear. Como

ejemplo se presenta la secuencia que tendrá el fusible limitador de corriente en el transformador2 con las protecciones visigap3 y visigap2.

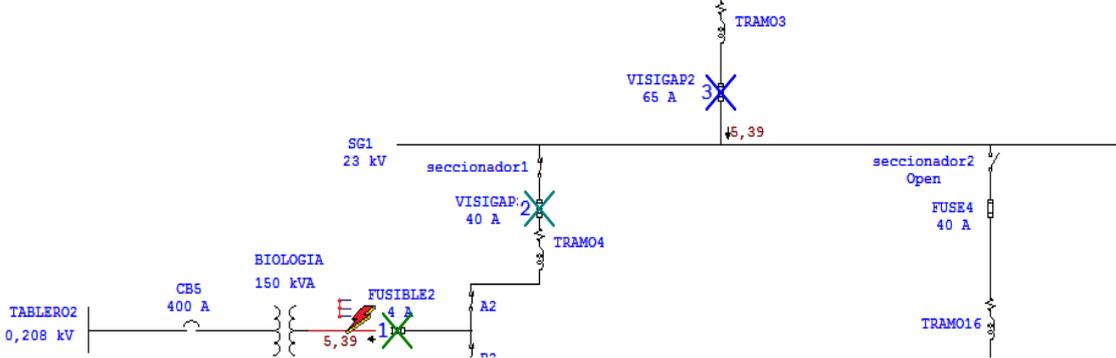


Figura 127: Secuencia de disparo para las protecciones desde el trafo1 hasta el switchgear1.

Las curvas de coordinación para estos dispositivos nos muestran la coordinación que existirá entre ellos.

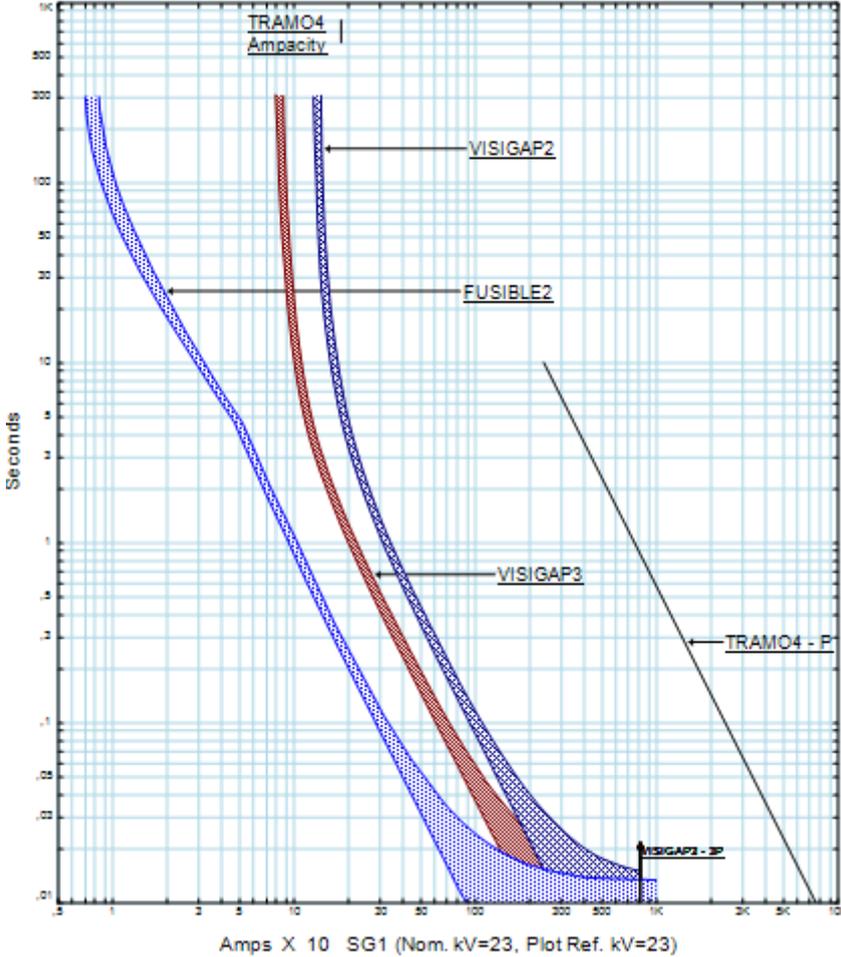


Figura 128. Curvas de coordinación de protecciones del transformador1.

#### 4.6 DISEÑO DE RED DE TIERRA

El diseño de la red de tierra de cada transformador está basado en la IEEE Recommended practices for Grounding and Commercial Power Systems Estandar 142-20017, la cual establece que la resistencia de un electrodo de puesta a tierra tipo barra se obtiene al aplicar la siguiente ecuación:

$$R = \frac{\rho}{2 * \pi * L} \left( \ln \left( \frac{4 * L}{d} \right) - 1 \right)$$

Donde

*R*: Valor de la resistencia en [ $\Omega$ ]

*$\rho$* : resistividad del terreno en [ $\Omega - m$ ]

*d*: diametro de la barra en [*m*]

*L*: longitud de la barra en [*m*]

Se usaran varillas de 5/8"x 10' y una resistividad del terreno de 100  $\Omega - m$ , con las propiedades del terreno y de las barras a utilizar obtenemos el valor de la resistencia de cada barra.

$$R = \frac{100}{2 * \pi * 3} \left( \ln \left( \frac{4 * 3}{0.01588} \right) - 1 \right)$$
$$R = 29.85 \Omega$$

Este valor es bastante alto respecto a los 5 $\Omega$  que exige esta norma como mínimo para este tipo de aplicación por lo que es necesario reducir el valor de resistencia, según la IEEE Std. 142-2007, para ello usamos el siguiente método, el cual no da el valor de varillas en paralelo que se deben instalar para lograr reducir el valor de la resistencia tierra requerido.

$$R_n = \frac{R}{n} [2 - e^{-0.17(n-1)}]$$

Donde:

*R<sub>n</sub>*: Resistencia neta en ( $\Omega$ )

*R*: Resistencia a tierra en ( $\Omega$ )

*n*: numero de varillas

Para obtener el valor requerido por la norma es necesario usar 12 varillas con lo que se obtiene el siguiente resultado.

$$R_n = \frac{29.85}{12} [2 - e^{-0.17(12-1)}]$$
$$R_n = 4.6 \Omega$$

Para determinar el calibre del conductor de puesta a tierra se usara la tabla 250.66 del NEC-2008, donde se especifica el conductor del electrodo de puesta a tierra para sistemas de corriente alterna tal y como se muestra en la siguiente tabla.

Calibre del mayor conductor no puesto a tierra de entrada de la acometida, o área equivalente para conductores en paralelo <sup>a</sup> (AWG/kcmil)		Calibre del conductor del electrodo de puesta a tierra (AWG/kcmil)	
Cobre	Aluminio o aluminio recubierto de cobre	Cobre	Aluminio o aluminio recubierto de cobre <sup>b</sup>
2 o menor	1/0 o menor	8	6
1 ó 1/0	2/0 ó 3/0	6	4
2/0 ó 3/0	4/0 ó 250	4	2
Más de 3/0 hasta 350	Más de 250 hasta 500	2	1/0
Más de 350 hasta 600	Más de 500 hasta 900	1/0	3/0

**Figura17:** Calibre del conductor del electrodo de puesta a tierra.

El calibre variara de acuerdo a la capacidad de cada transformador, el conductor de puesta a tierra o de unión se debe conectar al electrodo de puesta a tierra mediante soldadura exotérmica.

#### 4.7 PRESUPUESTO PARA LA RED ELÉCTRICA SUBTERRÁNEA

COSTO UNITARIO							
ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD	P.U. DE MATERIALES(\$)	P.U. DE MANO DE OBRA(\$)	P.U. (\$)	COSTO PARCIAL(\$)
<b>1</b>	<b>EQUIPO ELECTRICICO</b>						
1.1	Switchgear pad monted modelo 422( 4 vias, 2 interruptores de carga y 2 de falla ) de 25KV y 12.5 KA.Los interruptores de carga tipo minirupter modelo de 25KV y 600 amperios nominales, nivel basico de aislamiento 125 KV.Interruptor de falla con fusible limitador de corriente de proposito general.	1	C/U	745.36	315.36	35555	36615.72
1.2	Transformador de Pedestal, 150 KVA trifásico, 60 Hz, configuración en anillo,23/13.2 KV en el lado primario, 120/208 en el secundario, tipo frente muerto. Fusibles y codos de conexió	3	C/U	616.17	212.63	7300	24,386.40
1.3	Transformador de Pedestal, 100 KVA monofasico, 60 Hz, configuracion radial, 23/13.2 KV en el lado primario, 120/240 en el secundario, tipo frente muerto. Fusibles y codos de conexión "	2	C/U	616.17	212.63	4506.67	10,670.94
1.4	Transformador de Pedestal, 75KVA monofasico, 60 Hz, configuracion en anillo,23/13.2 KV en el lado primario, 120/240 en el secundario, tipofrente muerto. Fusibles y codos deconexión	2	C/U	616.17	212.63	1232.34	4,122.28
1.5	Equipo de medición de diferentes parámetros eléctricos (tensión, corriente, potencia, energía, frecuencia entre otros) modelo Shark 200-S. Seincluye el módulo de medición, transductores y equipo de comunicación con central de datos. El equipo será instalado en el main del tablero principal de cada edificio	1	C/U	1215.5	125.35	1500	2,840.85

1.6	Tablero con barras de 800 A, main principal de 600A/3P 120/208V. Con termicos: 2 de 200A/3P y 1 de 80A/2P, 20 espacios	1	C/U	1158.5	945.56	3343.92	5,447.98
1.7	Tablero con barras de 800 A, main principal de 600A/3P 120/208V. Con termicos: 2 de 60A/3P, 1 de 75A/3P, 20 espacios	1	C/U	1158.5	945.56	3343.92	5,447.98
1.8	Tablero con barras de 600 A, main principal 400A/3P 120/208V. Con termicos: 1 de 200A/3P y 1 de 150A/2P, 20 espacios	1	C/U	1125.61	787.54	3376.815	5289.965
1.9	Tablero con barras de 600 A, main principal 400A/3P 120/208V. Con termicos: 1 de 175A/3P, 1 de 150A/2P, 1 de 50A/3P	1	C/U	1125.61	787.54	3376.815	5289.965
1.1	Tablero con barras de 600 A, main principal 400A/3P 120/208V. Con termicos: 1 de 175A3/P, 1 de 150A/3P, 1 de 50A2/P	1	C/U	1125.61	787.54	3376.815	5289.965
1.11	Tablero con barras de 500 A, main principal 300A/3P 120/208V. Con termicos: 1 de 175A/3P; 40 espacios	1	C/U	854.56	757.5	2203.77	3815.83
1.12	Tablero con barras de 600 A, main principal 400A/2P 120/240V. Con termicos: 1 de 175A/3P y 1 de 160A/2P	1	C/U	1125.61	787.54	3376.815	5289.965
1.13	Codo portafusible de 200 Amperios, 25KV	5	C/U	15	25	236.6	1383
1.14	Caja derivadora de 4 vias de 25 KV y 200 Amperios	5	C/U	70	32	256	1790
1.15	Pararrayos tipo codo de 25KV	8		85	38	609.96	5863.68
1.16	Cable THHN # 1/0	560	m	9.78	0.51	7.51	9968
1.17	Cable THHN # 2/0	307.22	m	9.27	2.5	10.5	6841.7894
1.18	Cable THHN # 2	388.63	m	6.32	2.5	4.45	
1.19	Cable THHN # 3/0	465.26	m	9.27	2.5	13.26	11645.4578
1.2	Cable THHN # 4/0	196	m	15.1	3	16.46	6773.76
1.21	Cable THHN # 4	111.59	m	2.88	1	3.13	782.2459
1.22	Cable THHN # 6	111.6	m	1.79	0.52	1.73	450.864
1.23	Cable THHN # 8	37.2	m	1.32	0.52	1.12	110.112
1.24	Cable XLPE # 1/0	4138.66	m	7.36	3		42876.5176
1.25	Caseta para tablero de distribucion techo de lámina, piso cerámico de 2 x 1.5 mt.	7	C/U	175	85	1732.72	13949.04

2	OBRA CIVIL						
2.1	Pozos de paso de 1,5x 1,5x 1,70 metros (ancho, largo y profundidad respectivamente), tapadera de concreto, el fondo con una capa de grava #2 como drenaje natural, paredes echas con ladrillo de arcilla de 28x14x6 cm, las paredes deben tener un acabado liso, estructura de soporte para cables y una escalaria.	49	C/U	375.63	258.63	1591.7	109072.04
2.2	Pozos para instalar derivación 23KV, 200 amperios de 4 vías. El pozo tendrá dimensiones de 1,94x1,84x195 metros, tres tapaderas de concreto de 1,10x0,57 metros, con marco de Angulo 2"x2"x1/4", paredes echas con ladrillo de arcilla de 28x14x6 cm, las paredes deben tener un acabado liso, estructura de soportes para cables, una escalaria y en el fondo tendrá una capa de grava #2 como drenaje natural. En el pozo se instalaran 3 derivadores de 25KV, 200 A con 4 salidas, 6 conectores tipo codo y accesorios para polarización	5	C/U	2800	175	2225.96	26004.8
1.3	Pozo de paso para cables primarios con base de de hormigon para transformador trifasico de distribucion tipo padmonted	4	C/U	800	607.54	2225.96	14534
2.4	Pozo de paso para cables primarios con base de de hormigon para transformador monofasico de distribucion tipo padmonted	5	C/U	800	607.54	2225.56	18165.5
2.5	Canalización para distribución configuración anillo, compuesta por dos tuberías de 6" PVC DB-60, cubiertas por lodocreto, con separadores de tubo cada tres metros, 3 cables XLPE-TR 25KV #1/0, 1 cable RHW-2 #1/0 para polarización y zanja de 0,5 m de ancho y 1,65 m de profundidad.	50	C/U	104.34	9.27	154.37	13399
2.8	Bases para equipos pedestal echas con concreto de F'c= 210Kg/cm2, reforzado con varilla de hierro #3, pernos de anclaje grado 60, rodeada de una franja de grava con 50 cm ancho y 20 de profundidad conectado a un pozo impermeabilizado (0.6X0.6X0.6 m) con tubería de 1" TMG o acero al carbón. La base debe instalarse en suelo compactado.	5	C/U	420		225	3225
2.9	Tubo PVC DB 120 6"	1339	C/U	70.66	2.1	18.5	122197.14
2.1	Tubo PVC DB 120 6" reserva	1	C/U	70.66	2.1	18.5	91.26
2.11	Tubo PVC DB 120 2" Para control	16	C/U	7.51	1.05	9.75	292.96

3		SITEMA DE PUESTA A TIERRA					
3.1	18mts de cable de cobre THHN #2/0, 12 barras coperweld 5/8"x10', 2 molde thermoweld cablecable 2/0,1 molde thermoweld en T 2/0, 1 molde thermoweld cable 2/0 - varilla 5/8", 4 pólvora thermoweld #90, 3 chispero thermoweld #90.	14	C/U	807.71	161.542	969.25	27139.028
3.2	Capacitación para electricistas e ingenieros de la Universidad de El Salvador encargados de la inspección y ejecución del mantenimiento de la línea de distribución subterránea. Con duración de una semana y dirigida para 5 personas	1	C/U	2000	700	2700	2700
3.3	Equipamiento de seguridad para ser utilizados por los técnicos encargados de brindar mantenimiento correctivo y preventivo de la línea de distribución eléctrica subterránea de la FIA. La cantidad de equipo se presenta en la tabla 4 de las especificaciones técnicas.	1	SG	3955.496		4452.36	8407.856
<b>TOTAL</b>				24103.466	9598.202	92212.98	<b>562,170.89</b>

## CONCLUSIONES

De esta manera se llevó a cabo el diseño de la “red de distribución eléctrica subterránea y un sistema fotovoltaico con conexión a red para la Facultad de Ciencias y Humanidades y la Facultad de Ciencias Económicas”. Se realizó un análisis de los perfiles de carga de todos los transformadores que alimentan los edificios de dichas facultades, los cuales, haciendo un estudio de los datos se comprobó que la mayoría del equipo está sobredimensionado. El porcentaje de utilización promedio en toda la acometida, es de 23% por cada transformador, y considerando que el factor de utilización tiende que estar arriba del 60% para que el equipo sea eficiente; por lo tanto, en el nuevo diseño se hizo una mejor distribución de la carga para mejorar este factor. Pensando en la economía del proyecto se acordó utilizar los transformadores tipo pedestal que están en la red aérea actual he incluirlos en el nuevo diseño subterráneo.

El diseño de la red primaria subterránea se hizo en configuración en anillo, esto para tener una mejor calidad y continuidad en el servicio. El circuito cuenta con 14 transformadores tipo pedestal entre monofásico y trifásico, con capacidades que van desde los 50 kVA, hasta los 300 kVA, con una potencia total de 2004 kVA. El sistema se diseñó en 200 Amperios a 23kV, ya que según los cálculos la corriente máxima del sistema en condiciones normales de operación será de 50.3 amperios. Para el cálculo del calibre del conductor se utilizó corriente mencionada anteriormente y aplicándole el factor de 1.25, resultando una corriente de 62.9 amperios. El calibre del conductor será de 1/0, que es el calibre mínimo para sistemas en 200 Amperios, de acuerdo a lo que recomienda el NEC.

Se realizó el diseño fotovoltaico para nueve edificios, instalando un total de 1170 módulos fotovoltaicos, se tendrán 42 inversores dentro de los que serán 9 inversores monofásicos y 33 inversores trifásicos. Se generara un total 362.7 kWp, con esto se espera un ahorro anual de \$70,746.05 lo que ayudara a reducir el costo de energía que paga la universidad a la distribuidora.

Así mismo se elaboró un documento con especificaciones técnicas, en el cual se dan recomendaciones en cuanto a la construcción de la obra civil (Tuberías, pozos de registro, pozos de empalme, etc.) del proyecto. De igual forma se hizo un análisis completo para determinar la tensión máxima que puede soportar un cable de energía, sin que esta sufra daños. Se comprobó que la tensión máxima de jalado estará en función del área de cada conductor, del número de cables y del tipo de material que se esté utilizando. En cuanto la obra eléctrica se hizo una investigación en cuanto a los equipos a utilizar en el diseño de la red en anillo; transformadores, switchgear, tableros de distribución, etc.

Se realizó el presupuesto tanto del sistema fotovoltaico, así como el de la red eléctrica subterránea. Ambos presupuestos se realizaron en forma de partida, resultando un monto total de \$ 1,118260.11, se realizaron de forma individual, para el sistema fotovoltaico la inversión será de \$556,089.22, esto se recuperara en un tiempo de 7 años con 10 meses (el tiempo de recuperación normalmente ronda los 5 años, este por ser un presupuesto oficial de una institución pública se tienden a elevar, es por ello que se tiene un tiempo de recuperación más tardado), teniendo en cuenta que la vida útil de los equipos fotovoltaicos anda entre 25 y 30 años. El monto de inversión para la red subterránea será

de \$562,170.89. El hecho de hacer presupuestos individuales y por partidas es por si se llevan a cabo en tiempos diferentes cualquiera de los dos proyectos.

## BIBLIOGRAFIA

IEEE Recommended practices for Grounding and Commercial Power Systems Standard 142-20017

Manual conductores eléctricos Viakon

<https://herramienta-facturas.appspot.com/tabla>

AES El Salvador. 2011. Estándar de Construcción de Líneas Subterráneas. El Salvador  
<http://www.aeselsalvador.com>

<https://uesmiconsumodeenergia.appspot.com>

Código Eléctrico Nacional NEC edición 2008

*Manual para la instalación de cables de energía de media tensión*

Norma AES El Salvador del año 2011 con código SNE-EC-DS.

Redes de Distribución de Energía, SAMUEL RAMIREZ CASTAÑO

Sistemas de Distribución, ROBERTO ESPINOZA Y LARA

Proyecto del sistema de distribución eléctrico, ALBERTO NARANJO

Transmission and Distribution Electrical Engineering, Dr C. R. Bayliss CEng FIET and B. J. Hardy ACGI CEng FIET.

Boletín de Equipo Tipo Pedestal PMH de Operación Manual de S&C

IEEE Guide for Improving the Lightning Performance of Electric Power Overhead Distribution Lines.

NFPA 780 Standard for the Installation of Lightning Protection Systems 2004 Edition.

Tesis: Estándar para la construcción de líneas subterráneas de distribución de energía eléctrica, PRESENTADO POR: WILLY ALEXANDER BARAHONA ABARCA JOEL JOSÉ RIVERA CAMPOS de la Universidad de El Salvador.

Análisis de cortocircuito (fallas trifásicas) en sistemas eléctricos de potencia. CURSOS TESLA

Manual de fichas técnicas de transformadores de distribución de CAESS

## **ANEXOS**

## **NORMAS Y ESTANDARES**

### **Estándar de construcción de líneas subterráneas.**

Estándar vigente en el país por SIGET.

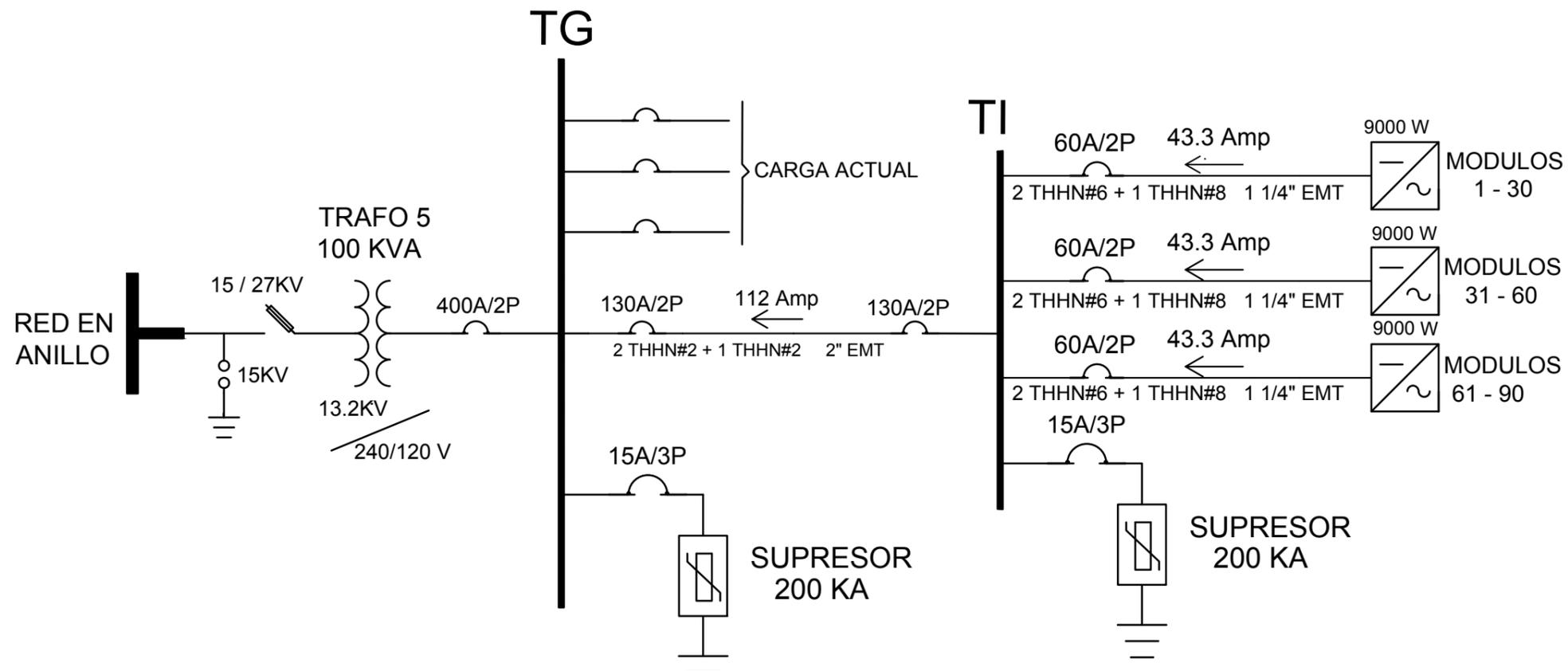
#### **NORMAS**

#### **CAMPO DE APLICACIÓN**

<b>ASTM D 3487</b>	Aceite dieléctrico para transformadores de distribución
<b>AISI</b>	Tanques de acero inoxidable para transformadores
<b>ANSI / IEEE C 57.12.00</b>	Transformadores tipo pedestal
<b>ANSI / IEEE C 57.109</b>	Requerimientos de corto circuito para transformadores de distribución
<b>ANSI / IEEE C 57.12.28</b>	Establece los requerimientos de diseño, pintura y seguridad en la construcción de gabinetes de pedestal para transformadores
<b>ANSI / IEEE 386</b>	Norma para accesorios con aislamiento en media tensión (codos, empalmes, terminales, regletas, etc.)
<b>NEMA TP1</b>	Eficiencias de transformadores
<b>ANSI / IEEE C 57.12. 90</b>	Pruebas electromecánicas en transformadores pedestal
<b>ICEA S-94-649 o IEC-840</b>	Diseño, fabricación y pruebas en cables de media tensión
<b>IEC 885-2</b>	Descargas parciales en cables de media tensión
<b>IEC 502, UL-44, UL-854</b>	Cables de baja tensión
<b>ARESEP AR-NTACO-2002</b>	Instalación y equipamiento de acometidas
<b>NEC</b>	Código Eléctrico (NFPA 70)
<b>ANSI C 37.40, C 37.41, C 37.42</b> <b>Y NEMA 5G-2</b>	Equipos de protección monopolar "Corta Circuitos".
<b>ANSI / IEEE C 37.60, C 37.63,</b> <b>C 37.71, C 37.72, C 37.73, C</b> <b>57.12.28, ASTM D 2472, IEC 56,</b>	Interruptor para protección y seccionamiento "Llave Seccionadora".

<b>NEMA 4 X</b>	Gabinete para el control electrónico de interruptor tipo poste y llave seccionadora.
<b>IEEE 386, ANSI C 62.11</b>	Pararrayos tipo codo 27 kV, 10 kA
<b>ANSI C 37.60, C 37.61, C 76.1 ANSI / IEEE C 62.11, NEMA SG-13</b>	Interruptor tipo poste para la protección y seccionamiento bajo carga
<b>IEEE 48, VDE 0278, IEC 502</b>	Terminales para cable de media tensión (mufas)
<b>ANSI C 57.13</b>	Pedestal de medición para media tensión.
<b>ASTM D 543</b>	Resistencia química en regletas de derivación secundarias (baja tensión), ante la presencia de líquidos agresivos (ácido sulfúrico, sulfato de sodio, clorato de sodio, hidróxido de sodio, etileno glicerado)
<b>ANSI C 119.4</b>	Características físicas del conector, en regletas de derivación secundarias (baja tensión)
<b>ANSI C 119.1</b>	Ampacidad en regletas de derivación secundarias (baja tensión)
<b>UL 467</b>	Conectores de puesta a tierra en estructuras mecánicas
<b>IEEE 837</b>	Conectores de compresión para puestas a tierra
<b>ASTM B1, B2, B3 y B8</b>	Especificaciones de conductores de cobre desnudo

# DIAGRAMA UNIFILAR AC PARA EL EDIFICIO DE ADMINISTRACION



FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA

DISEÑO FOTOVOLTAICO Y DISTRIBUCION ELECTRICA SUBTERRANEA PARA LAS FACULTADES DE CIENCIAS Y HUMANIDADES Y CIENCIAS ECONOMICAS

PRESENTAN:

BR. JAIME ANTONIO AGUILAR RODRIGUEZ

BR. JOSE LUIS MARQUEZ DIAZ

ASESOR.

ING. JORGE ALBERTO ZETINO

CONTIENE.

DIAGRAMA UNIFILAR EN AC, DC Y DISTRIBUCION DE PANELES FV PARA EDIFICIO ADM HUMANIDADES

ESCALA.

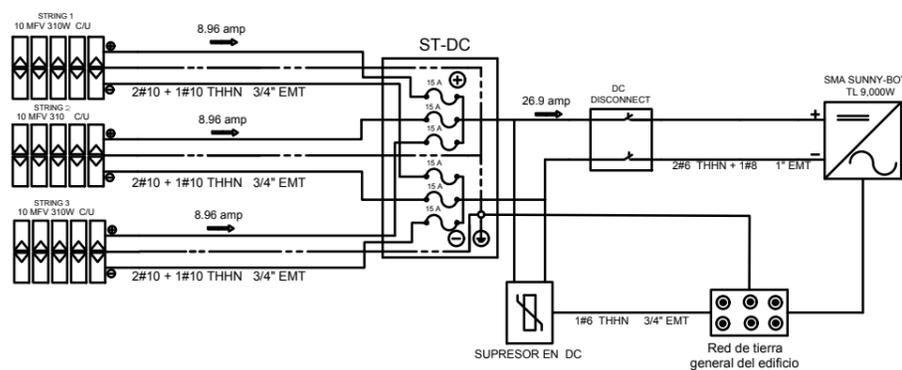
SIN ESCALA.

FECHA.

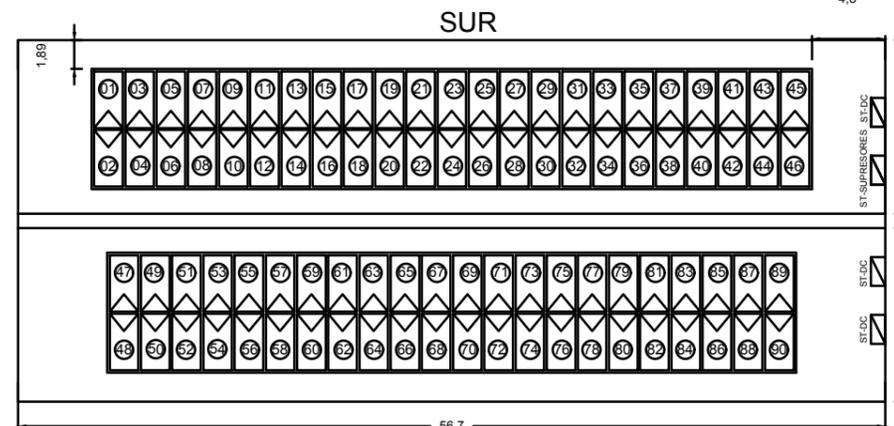
JULIO 2019.

NUMERO DE PLANO: 1

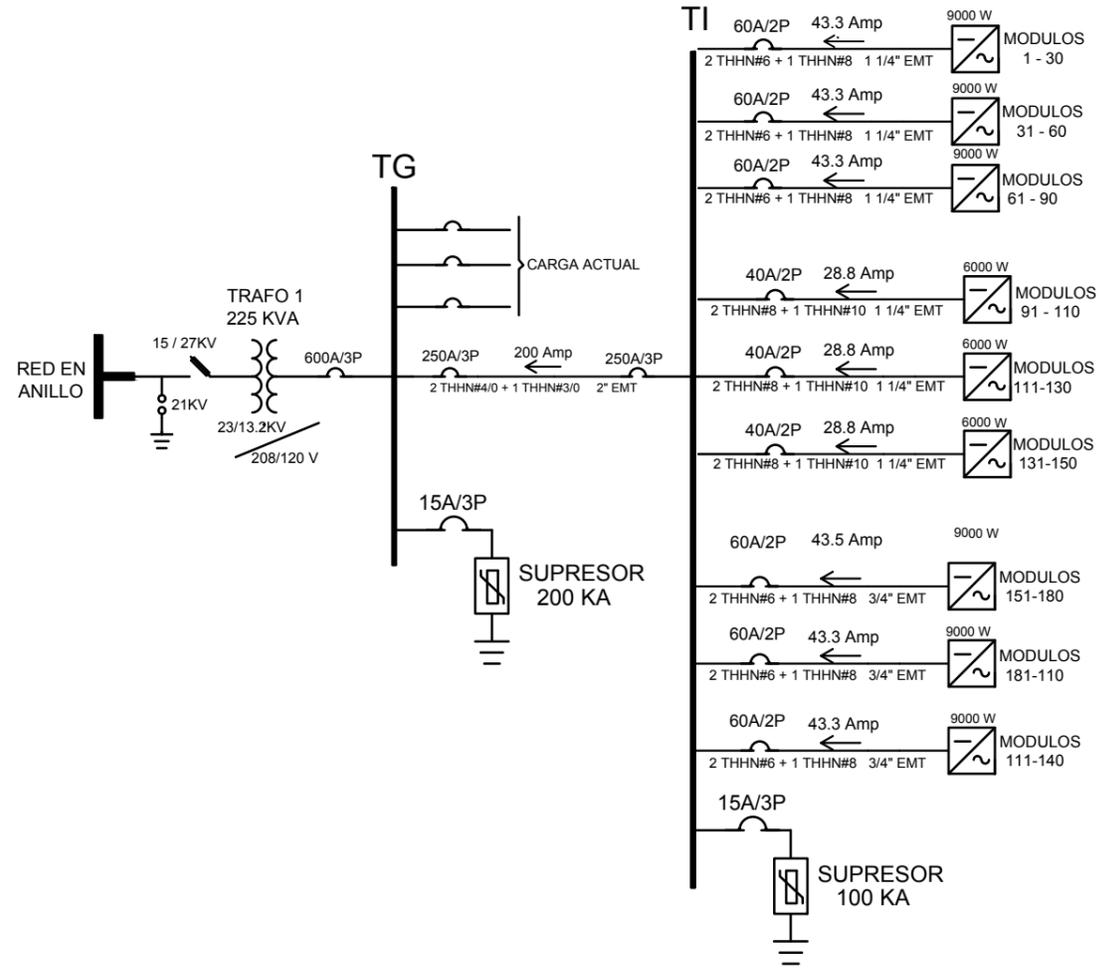
## DIAGRAMA EN DC PARA LA CONEXION DEL INVERSOR 9000W



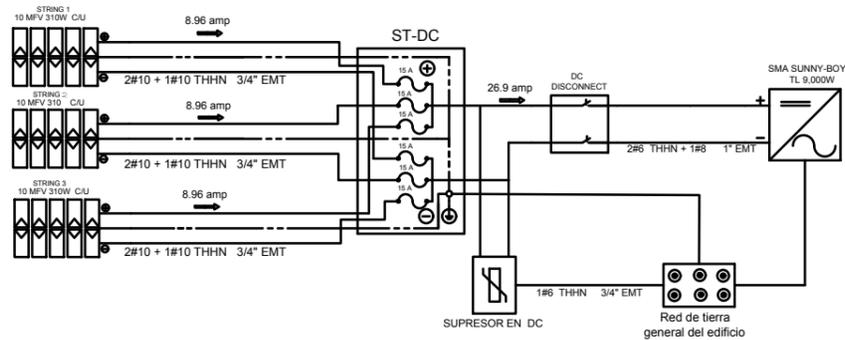
## DISTRIBUCION DE PANELES FV PARA EDIFICIO DE ADMINISTRACION SUR



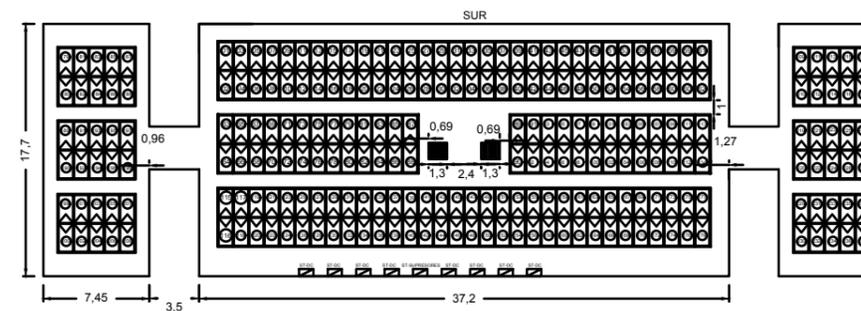
## DIAGRAMA UNIFILAR AC PARA EL EDIFICIO DE PERIODISMO Y LETRAS



## DIAGRAMA EN DC PARA LA CONEXION DEL INVERSOR 9000W



## DISTRIBUCION DE PANELES FV PARA EDIFICIO DE PERIODISMO Y LETRAS



FACULTAD DE INGENIERIA Y  
ARQUITECTURA

ESCUELA DE INGENIERIA  
ELECTRICA

DISEÑO FOTOVOLTAICO Y  
DISTRIBUCION ELECTRICA  
SUBTERRANEA PARA LAS FACULTADES  
DE CIENCIAS Y HUMANIDADES Y  
CIENCIAS ECONOMICAS

PRESENTAN:

BR. JAIME ANTONIO AGUILAR  
RODRIGUEZ

BR. JOSE LUIS  
MARQUEZ DIAZ

ASESOR.

ING. JORGE ALBERTO ZETINO

CONTIENE.

DIAGRAMA UNIFILAR EN AC, DC  
Y DISTRIBUCION DE PANELES  
FV PARA EDIFICIO DE  
PERIODISMO Y LETRAS

ESCALA.

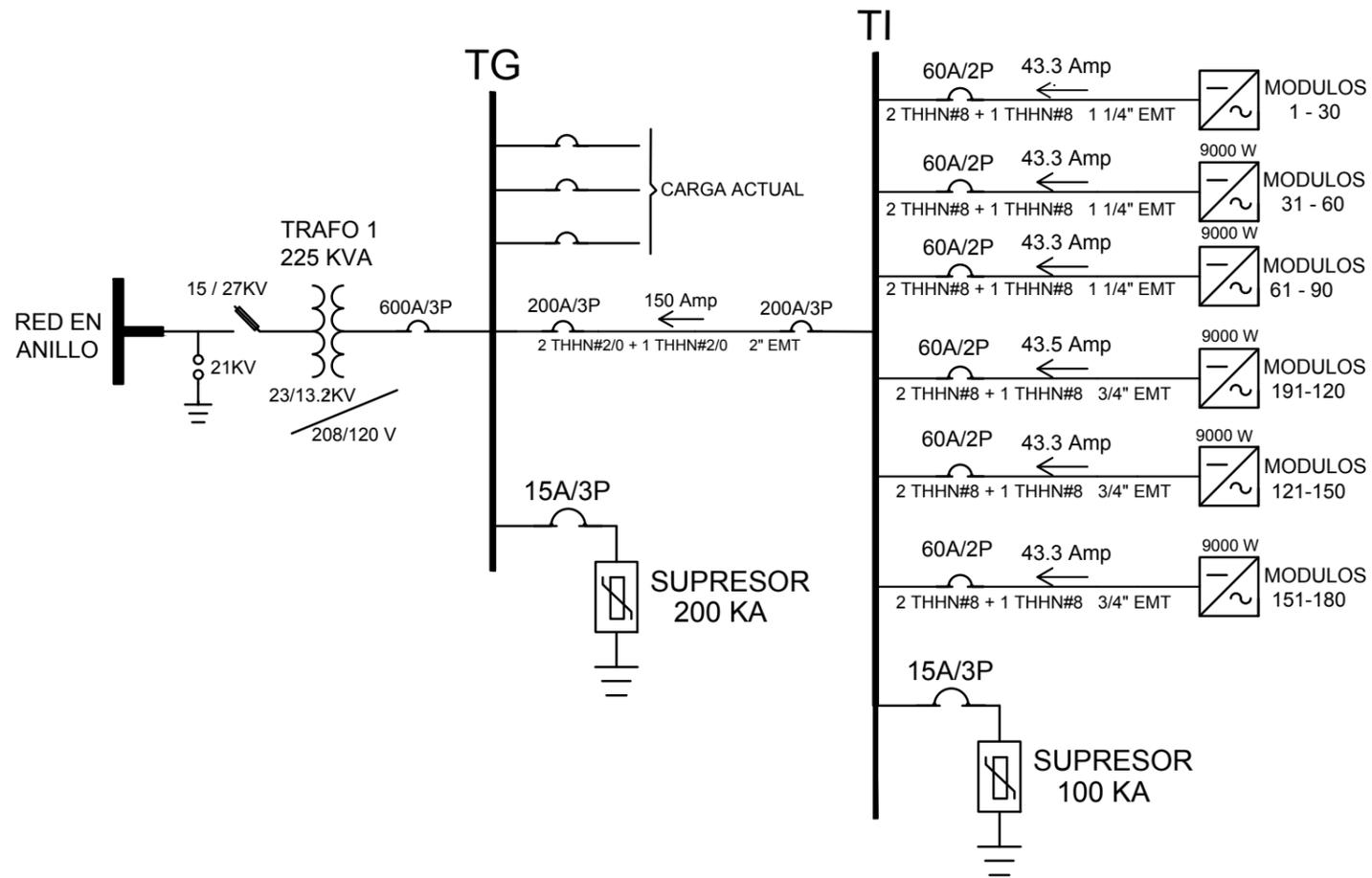
SIN ESCALA.

FECHA.

JULIO 2019.

NUMERO DE PLANO:

## DIAGRAMA UNIFILAR AC PARA EL EDIFICIO DE FILOSOFIA



FACULTAD DE INGENIERIA Y  
ARQUITECTURA

ESCUELA DE INGENIERIA  
ELECTRICA

DISEÑO FOTOVOLTAICO Y  
DISTRIBUCION ELECTRICA  
SUBTERRANEA PARA LAS FACULTADES  
DE CIENCIAS Y HUMANIDADES Y  
CIENCIAS ECONOMICAS

PRESENTAN:

BR. JAIME ANTONIO AGUILAR  
RODRIGUEZ

BR. JOSE LUIS  
MARQUEZ DIAZ

ASESOR.

ING. JORGE ALBERTO ZETINO

CONTIENE.

DIAGRAMA UNIFILAR EN AC, DC  
Y DISTRIBUCION DE PANELES  
FV PARA EDIFICIO DE  
FILOSOFIA

ESCALA.

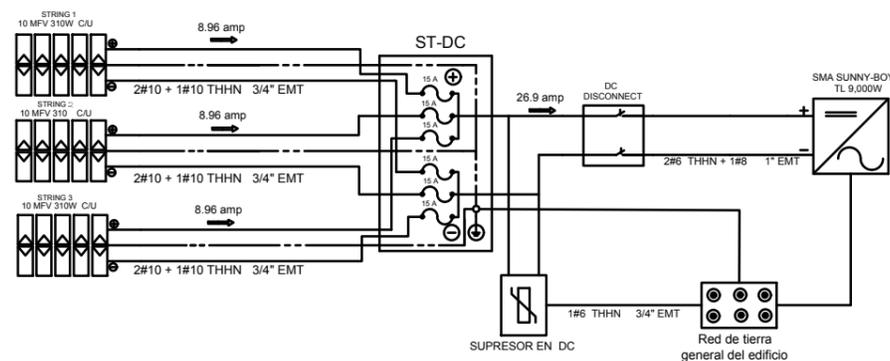
SIN ESCALA.

FECHA.

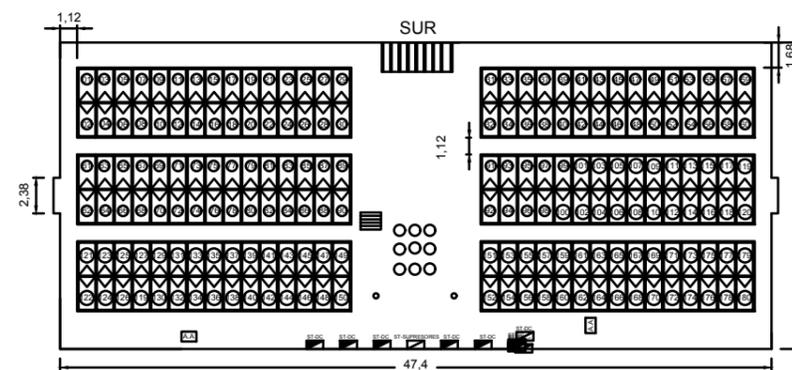
JULIO 2019.

NUMERO DE PLANO:

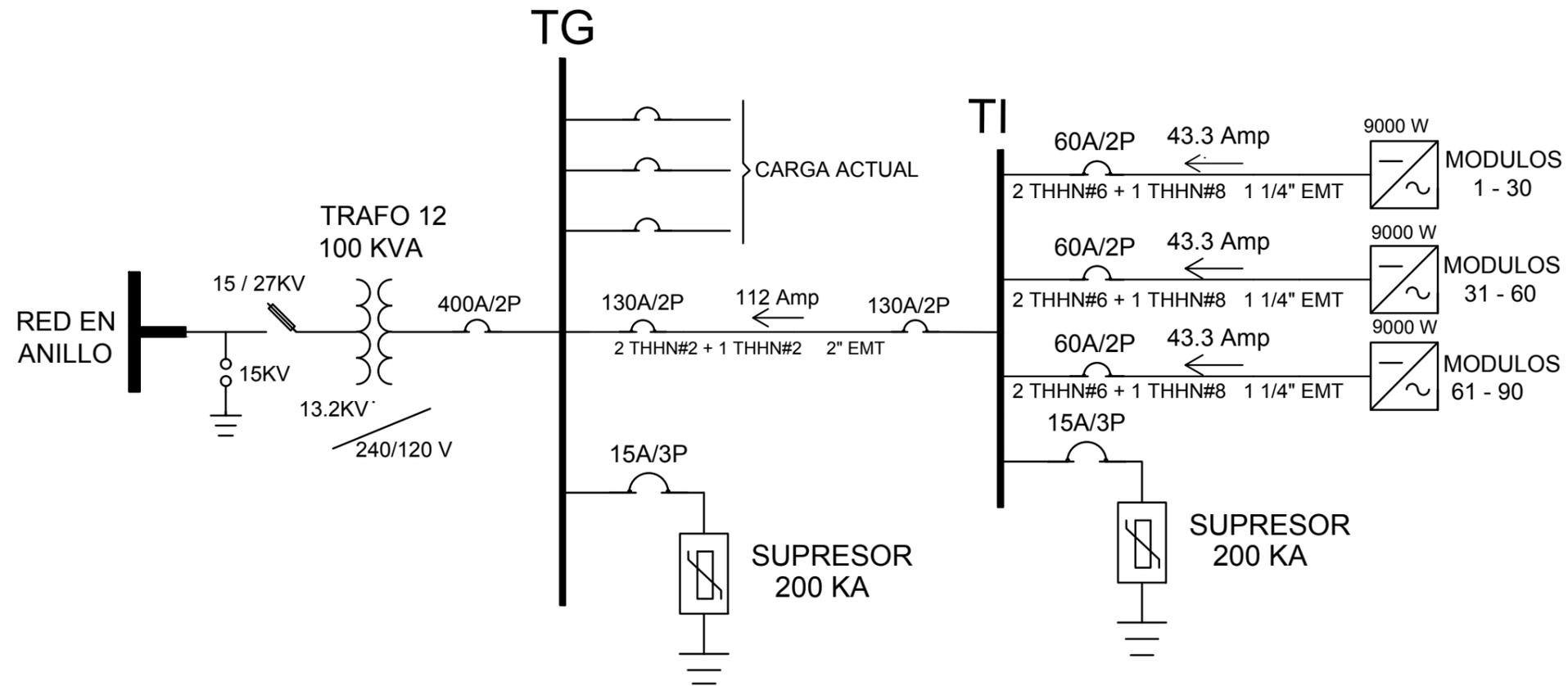
## DIAGRAMA EN DC PARA LA CONEXION DEL INVERSOR 9000W



## DISTRIBUCION DE PANELES FV PARA EDIFICIO DE IDIOMAS



# DIAGRAMA UNIFILAR AC PARA EL EDIFICIO FELIPE PEÑA



FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA

DISEÑO FOTOVOLTAICO Y DISTRIBUCION ELECTRICA SUBTERRANEA PARA LAS FACULTADES DE CIENCIAS Y HUMANIDADES Y CIENCIAS ECONOMICAS

PRESENTAN:

BR. JAIME ANTONIO AGUILAR RODRIGUEZ

BR. JOSE LUIS MARQUEZ DIAZ

ASESOR.

ING. JORGE ALBERTO ZETINO

CONTIENE.

DIAGRAMA UNIFILAR EN AC, DC Y DISTRIBUCION DE PANELES FV PARA EDIFICIO FELIPE PEÑA

ESCALA.

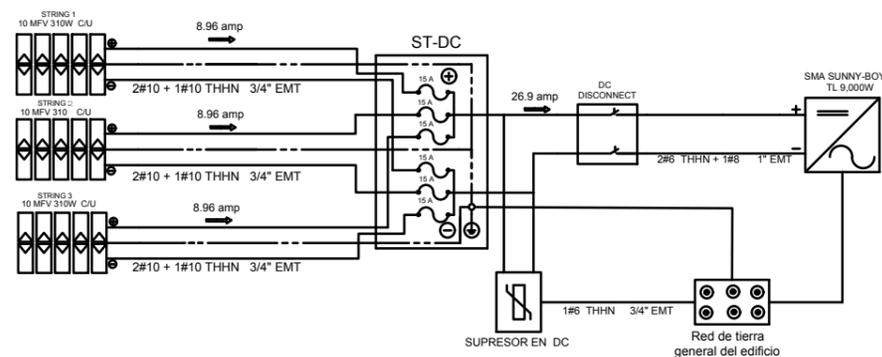
SIN ESCALA.

FECHA.

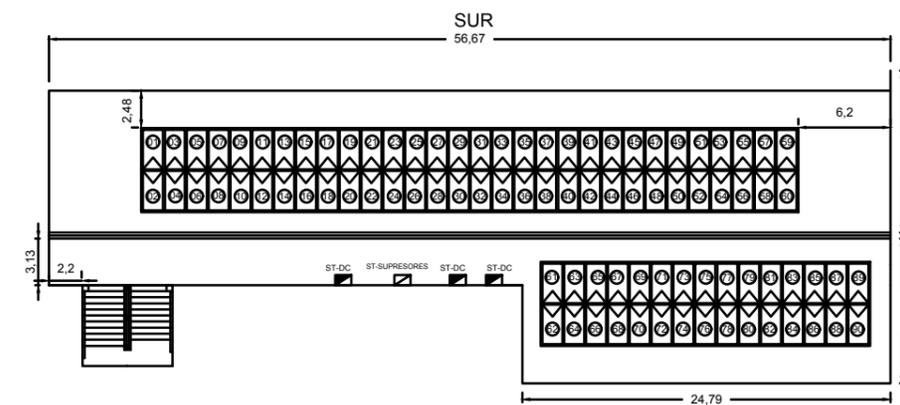
JULIO 2019.

NUMERO DE PLANO:

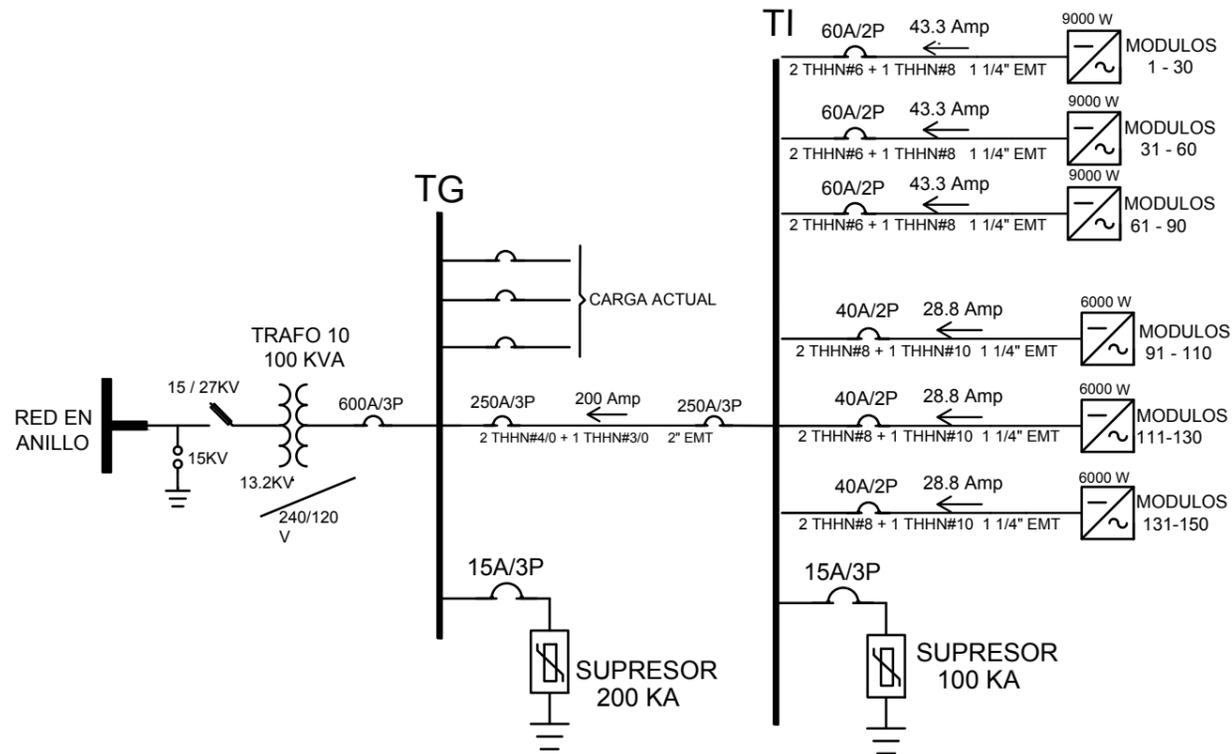
## DIAGRAMA EN DC PARA LA CONEXION DEL INVERSOR 9400W



## DISTRIBUCION DE PANELES FV PARA EDIFICIO FELIPE PEÑA



## DIAGRAMA UNIFILAR AC PARA EL EDIFICIO DE FACULTAD DE ECONOMIA COMPARTIDO CON LA FACULTAD DE DERECHO



FACULTAD DE INGENIERIA Y  
ARQUITECTURA

ESCUELA DE INGENIERIA  
ELECTRICA

DISEÑO FOTOVOLTAICO Y  
DISTRIBUCION ELECTRICA  
SUBTERRANEA PARA LAS FACULTADES  
DE CIENCIAS Y HUMANIDADES Y  
CIENCIAS ECONOMICAS

PRESENTAN:

BR. JAIME ANTONIO AGUILAR  
RODRIGUEZ

BR. JOSE LUIS  
MARQUEZ DIAZ

ASESOR.

ING. JORGE ALBERTO ZETINO

CONTIENE.

DIAGRAMA UNIFILAR EN AC, DC Y  
DISTRIBUCION DE PANELES FV  
PARA EDIFICIO DE ECONOMIA  
COMPARTIDO CON DERECHO

ESCALA.

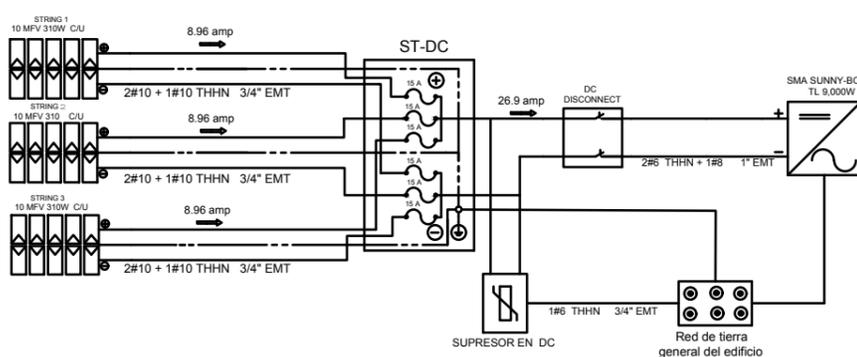
SIN ESCALA.

FECHA.

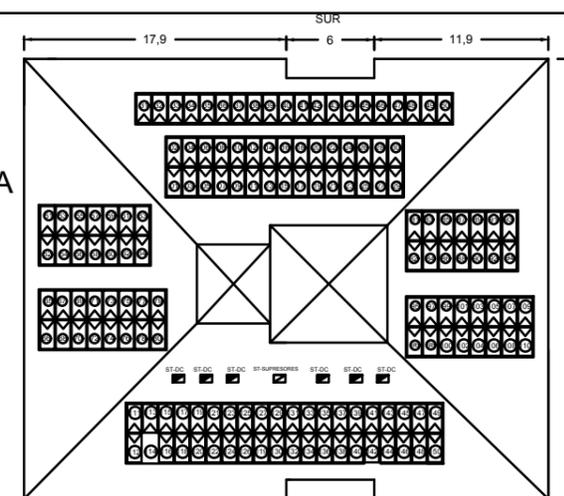
JULIO 2019

NUMERO DE PLANO:

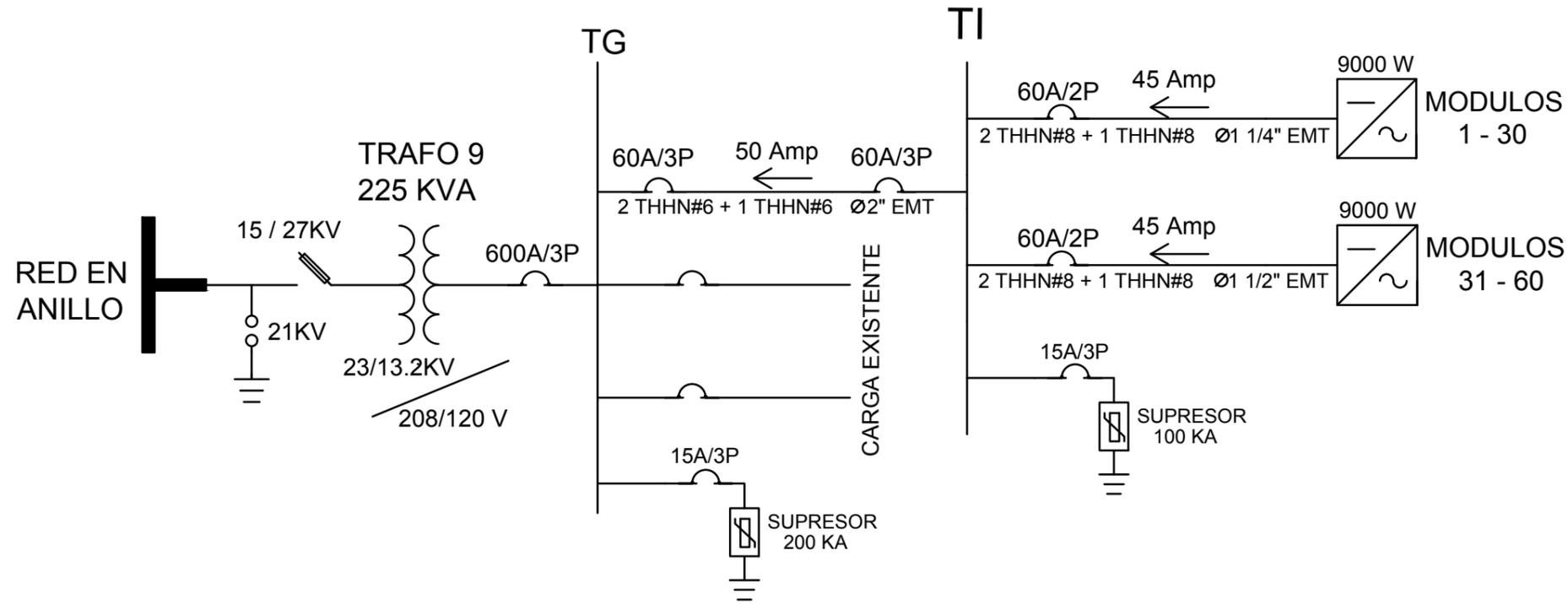
### DIAGRAMA EN DC PARA LA CONEXION DEL INVERSOR 9000W



### DISTRIBUCION DE PANELES FV PARA EDIFICIO FACULTAD DE ECONOMIA COMPARTIDO CON LA FACULTAD DE DERECHO



# DIAGRAMA UNIFILAR AC PARA EL EDIFICIO DAGOBERTO MARROQUIN



FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA

DISEÑO FOTOVOLTAICO Y DISTRIBUCION ELECTRICA SUBTERRANEA PARA LAS FACULTADES DE CIENCIAS Y HUMANIDADES Y CIENCIAS ECONOMICAS

PRESENTAN:

BR. JAIME ANTONIO AGUILAR RODRIGUEZ

BR. JOSE LUIS MARQUEZ DIAZ

ASESOR.

ING. JORGE ALBERTO ZETINO

CONTIENE.

DIAGRAMA UNIFILAR EN AC, DC Y DISTRIBUCION DE PANELES FV PARA EDIFICIO DAGOBERTO MARROQUIN

ESCALA.

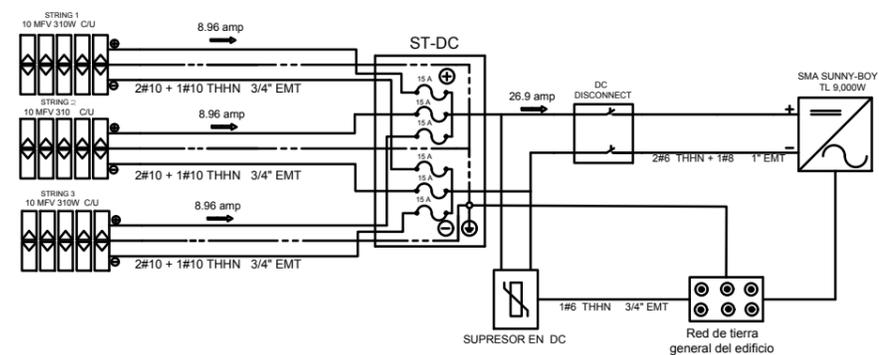
SIN ESCALA.

FECHA.

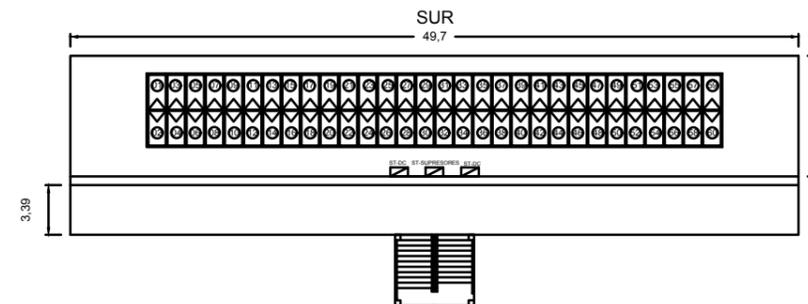
JULIO 2019.

NUMERO DE PLANO:

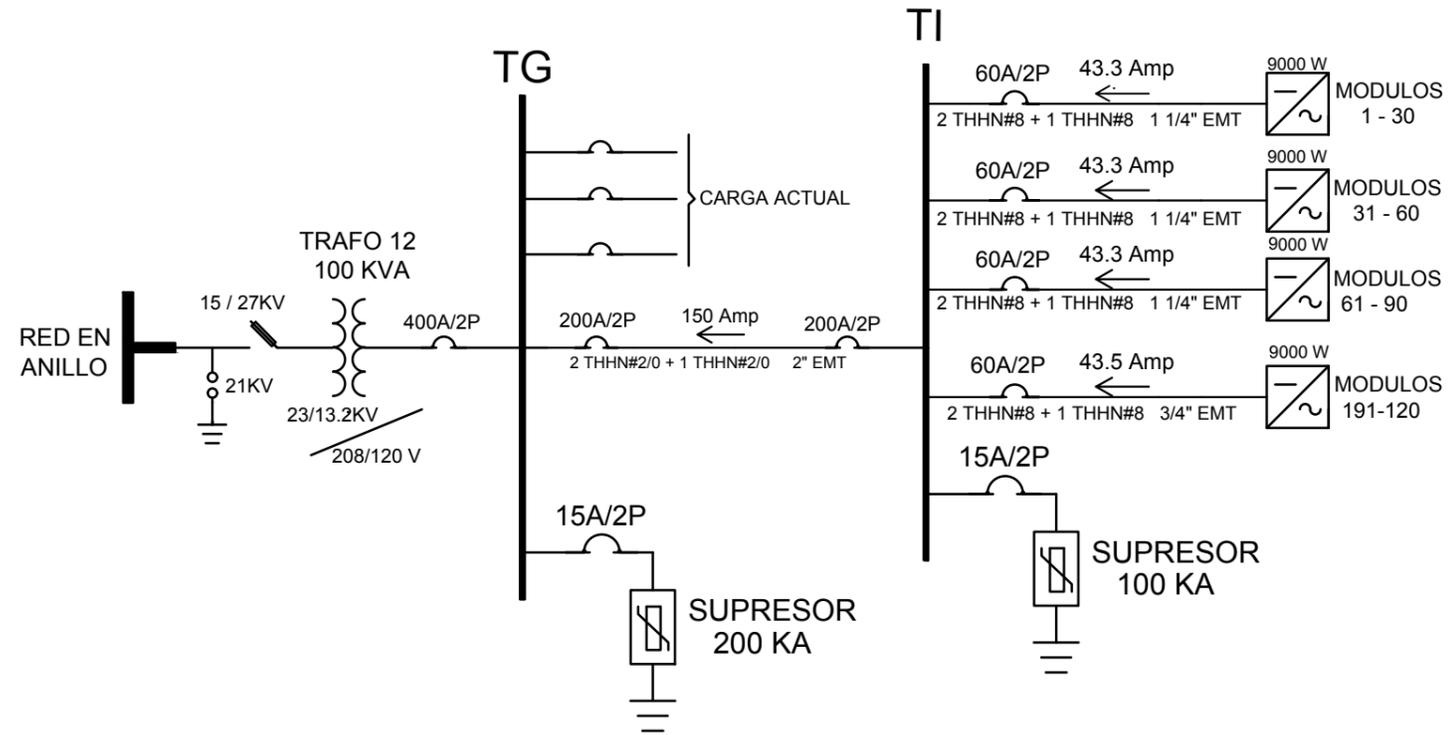
## DIAGRAMA EN DC PARA LA CONEXION DEL INVERSOR 9000W



## DISTRIBUCION DE PANELES FV PARA EDIFICIO DE PSICOLOGIA



# DIAGRAMA UNIFILAR AC PARA EL EDIFICIO EDIFICIO CARLOS RODAS



FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA

DISEÑO FOTOVOLTAICO Y DISTRIBUCION ELECTRICA SUBTERRANEA PARA LAS FACULTADES DE CIENCIAS Y HUMANIDADES Y CIENCIAS ECONOMICAS

PRESENTAN:

BR. JAIME ANTONIO AGUILAR RODRIGUEZ

BR. JOSE LUIS MARQUEZ DIAZ

ASESOR.

ING. JORGE ALBERTO ZETINO

CONTIENE.

DIAGRAMA UNIFILAR EN AC, DC Y DISTRIBUCION DE PANELES FV PARA EDIFICIO CARLOS RODAS

ESCALA.

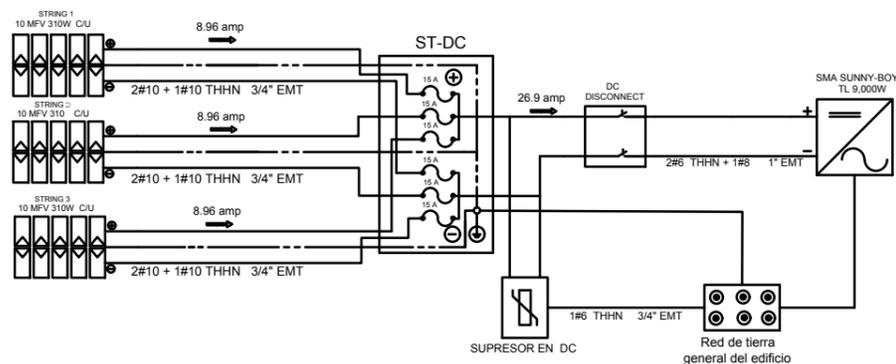
SIN ESCALA.

FECHA.

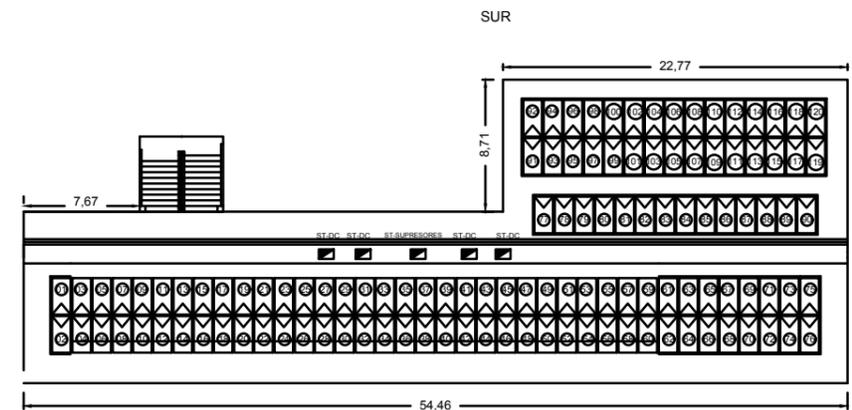
JULIO 2019.

NUMERO DE PLANO:

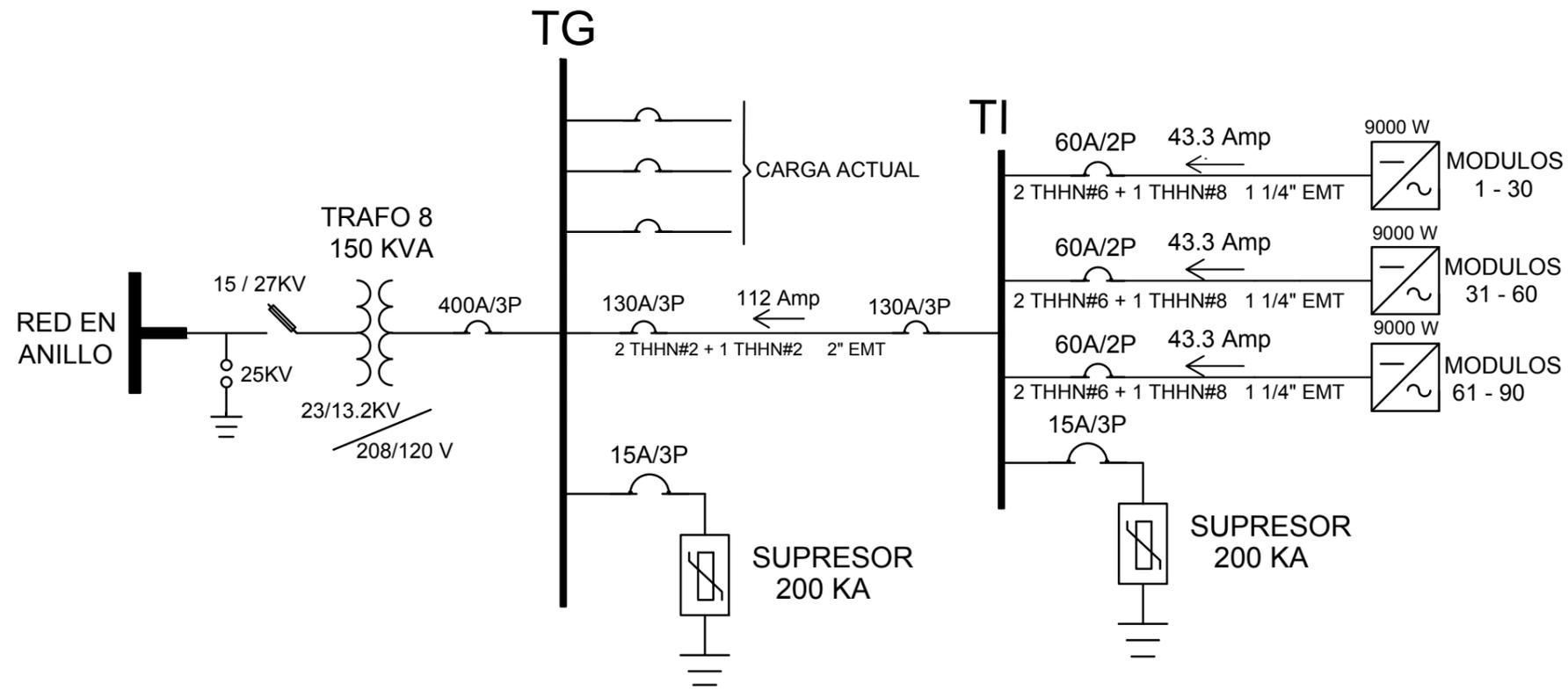
## DIAGRAMA EN DC PARA LA CONEXION DEL INVERSOR 9400W



## DISTRIBUCION DE PANELES FV PARA EDIFICIO CARLOS RODAS



## DIAGRAMA UNIFILAR AC PARA EL EDIFICIO DE ADMINISTRATIVO



FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA

DISEÑO FOTOVOLTAICO Y DISTRIBUCION ELECTRICA SUBTERRANEA PARA LAS FACULTADES DE CIENCIAS Y HUMANIDADES Y CIENCIAS ECONOMICAS

PRESENTAN:

BR. JAIME ANTONIO AGUILAR RODRIGUEZ  
BR. JOSE LUIS MARQUEZ DIAZ

ASESOR.

ING. JORGE ALBERTO ZETINO

CONTIENE.

DIAGRAMA UNIFILAR EN AC, DC Y DISTRIBUCION DE PANELES FV PARA EDIFICIO ADM. ECONOMIA

ESCALA.

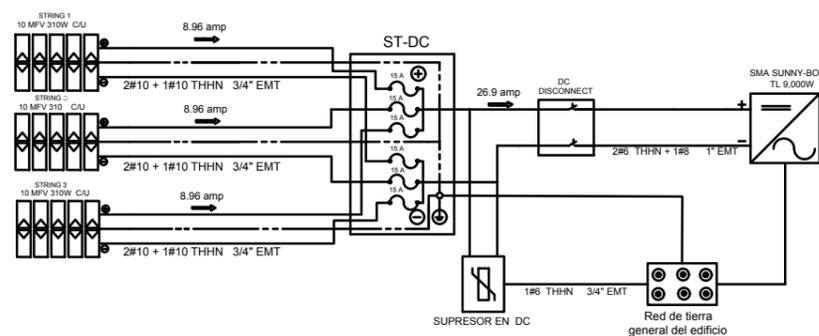
SIN ESCALA.

FECHA.

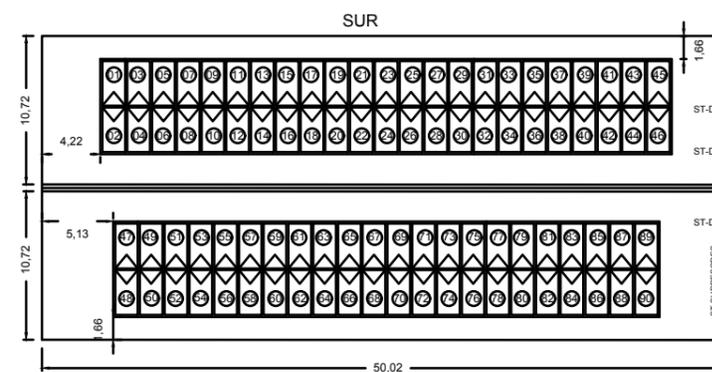
JULIO 2019

NUMERO DE PLANO:

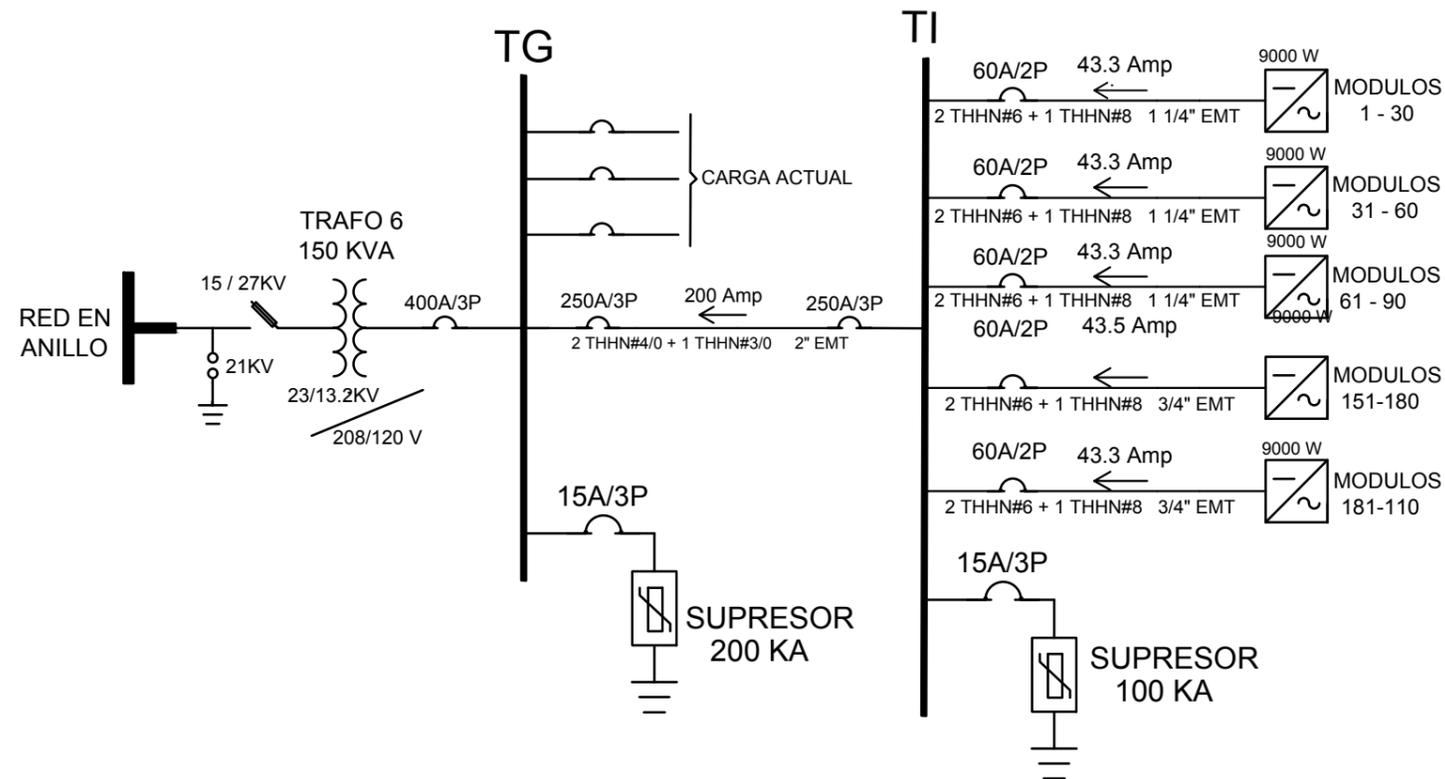
## DIAGRAMA EN DC PARA LA CONEXION DEL INVERSOR 9400W



## DISTRIBUCION DE PANELES FV PARA EDIFICIO DE ADMINISTRATIVO



## DIAGRAMA UNIFILAR AC PARA EL EDIFICIO DE DOCENTES



FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA

DISEÑO FOTOVOLTAICO Y DISTRIBUCION ELECTRICA SUBTERRANEA PARA LAS FACULTADES DE CIENCIAS Y HUMANIDADES Y CIENCIAS ECONOMICAS

PRESENTAN:

BR. JAIME ANTONIO AGUILAR RODRIGUEZ

BR. JOSE LUIS MARQUEZ DIAZ

ASESOR.

ING. JORGE ALBERTO ZETINO

CONTIENE.

DIAGRAMA UNIFILAR EN AC, DC Y DISTRIBUCION DE PANELES FV PARA EDIFICIO DE DOCENTES

ESCALA.

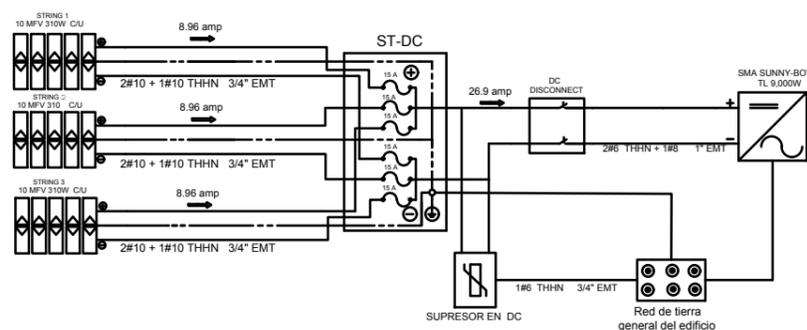
SIN ESCALA.

FECHA.

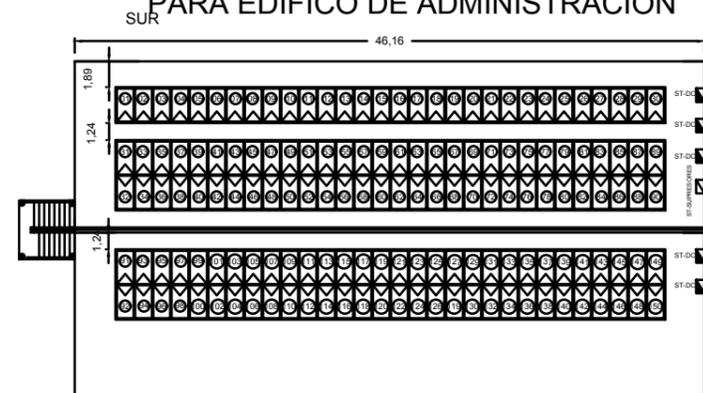
JULIO 2019.

NUMERO DE PLANO:

## DIAGRAMA EN DC PARA LA CONEXION DEL INVERSOR 9400W

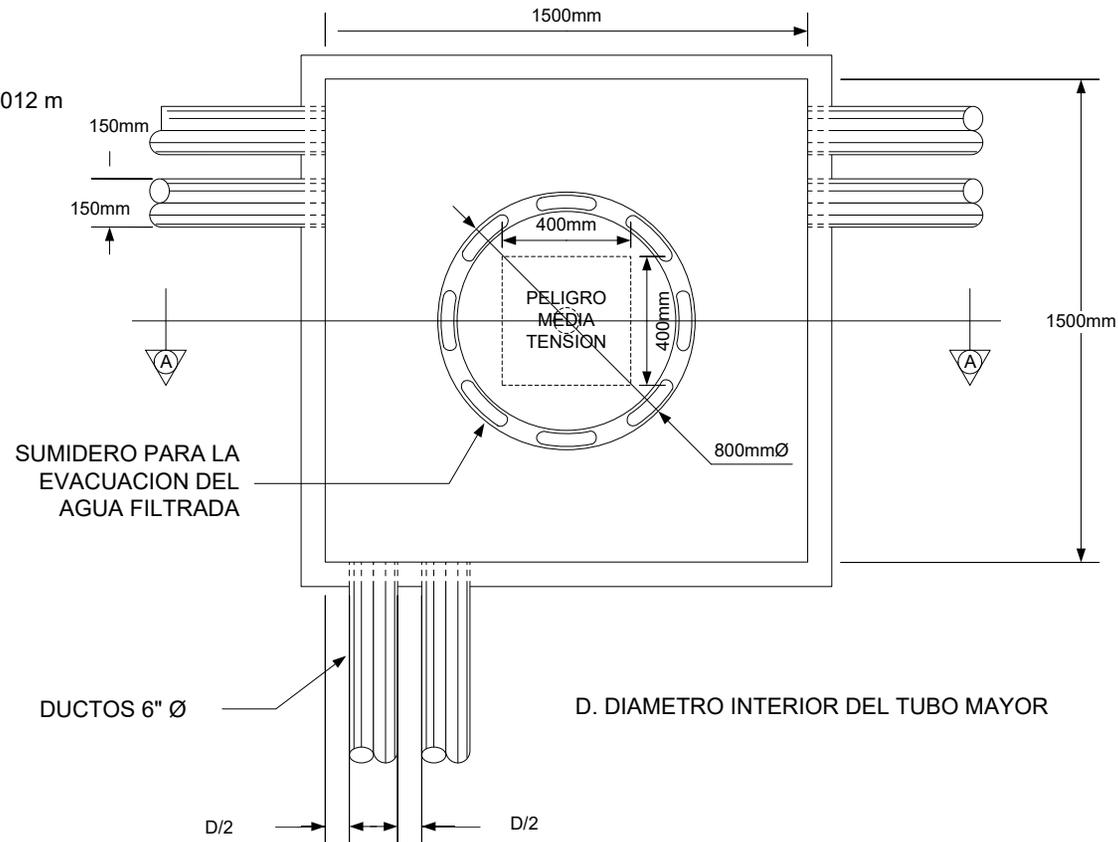


## DISTRIBUCION DE PANELES FV PARA EDIFICIO DE ADMINISTRACION



**DIMENSIONES INTERNAS:**

1. LARGO = 1.50 m
2. ANCHO = 1.50 m
3. PROFUNDIDAD = 1.70 m
4. ESPESOR DE LA PARED = 0.012 m



**NOTAS:**

- PARED DE CONCRETO ARMADO.
- LA CANALIZACION DE BAJA TENSION, ALUMBRADO PUBLICO Y ACOMETIDA, NO PODRA ENTRAR A NINGUNA CAJA REGISTRO, EXCEPTO FOSA DEL TRANSFORMADOR.
- LA UBICACION DE LOS DUCTOS DEPENDE EL RECORRIDO DEL DISEÑO.
- ESTA CAJA DE REGISTRO SE UTILIZARA PARA DISTANCIAS NO MAYORES A 30m.



**Universidad De El Salvador**  
**Escuela de Ingenieria**  
**Electrica**

**DISEÑO FOTOVOLTAICO Y**  
**DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA**  
**SUBTERRÁNEA PARA LAS**  
**FACULTADES DE**  
**HUMANIDADES Y ECONOMIA**

**CONTENIDO:**

CAJA DE REGISTRO DE MEDIA  
TENSION TRIFASICA CON  
DUCTOS DE 6"

**PRESENTA:**

JAIME ANTONIO AGUILAR  
JOSE LUIS MARQUEZ

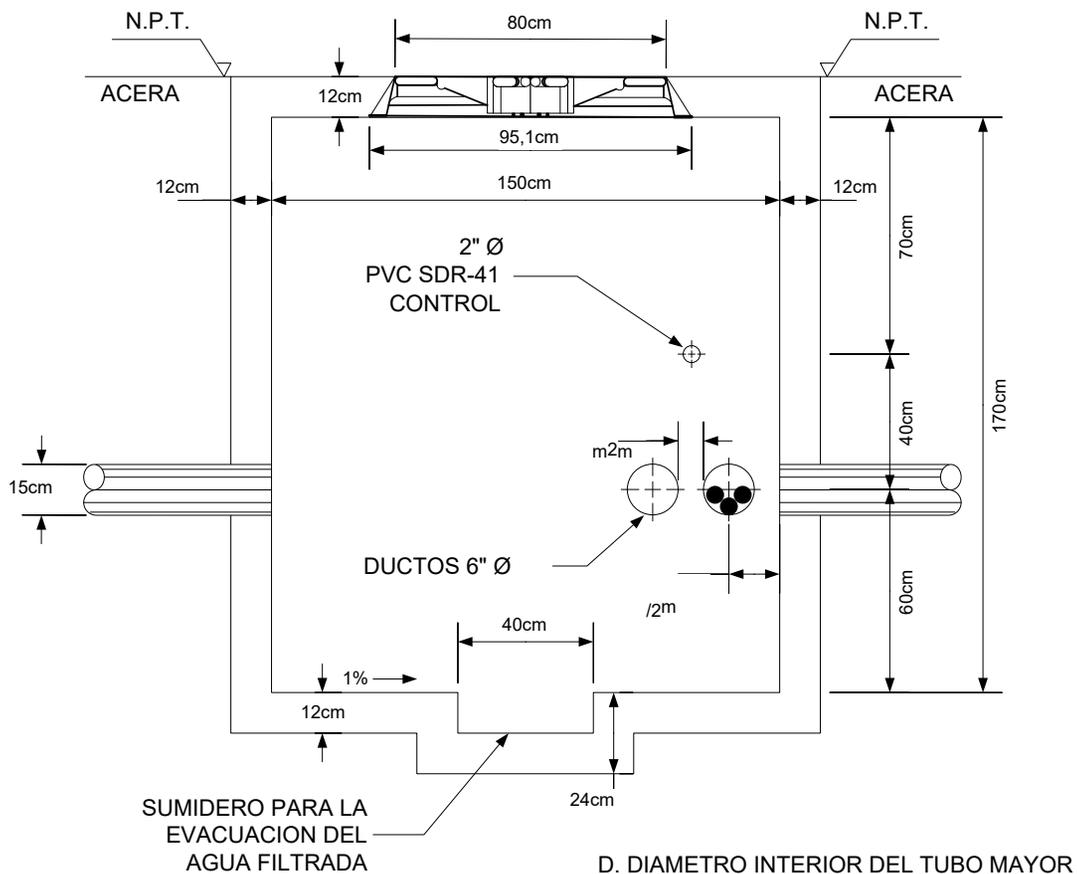
**ASESOR:**

ING. JORGE ALBERTO ZETINO

Nº DE HOJA:

ESCALA :  
INDICADA

FECHA :  
MAYO 2019



DIMENSIONES INTERNAS:

1. LARGO = 1.50 m
2. ANCHO = 1.50 m
3. PROFUNDIDAD = 1.70 m



**Universidad De El Salvador**  
**Escuela de Ingenieria**  
**Electrica**

**DISEÑO FOTOVOLTAICO Y  
 DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA  
 SUBTERRÁNEA PARA LAS  
 FACULTADES DE  
 HUMANIDADES Y ECONOMIA**

**CONTENIDO:**

CAJA DE REGISTRO DE MEDIA  
 TENSION TRIFASICA CON  
 DUCTOS DE 6"

**PRESENTA:**

JAIME ANTONIO AGUILAR  
 JOSE LUIS MARQUEZ

**ASESOR:**

ING. JORGE ALBERTO ZETINO

Nº DE HOJA:

ESCALA :  
 INDICADA

FECHA :  
 MAYO 2019

NOTAS:

- PARED DE CONCRETO ARMADO.
- LA CANALIZACION DE BAJA TENSION, ALUMBRADO PUBLICO Y ACOMETIDA, NO PODRA ENTRAR A NINGUNA CAJA REGISTRO, EXCEPTO FOSA DEL TRANSFORMADOR.
- LA UBICACIÓN DE LOS DUCTOS DEPENDE EL RECORRIDO DEL DISEÑO.
- ESTA CAJA DE REGISTRO SE UTILIZARA PARA DISTANCIAS NO MAYORES A 30m.



**Universidad De El Salvador**  
**Escuela de Ingenieria**  
**Electrica**

**DISEÑO FOTOVOLTAICO Y**  
**DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA**  
**SUBTERRÁNEA PARA LAS**  
**FACULTADES DE**  
**HUMANIDADES Y ECONOMIA**

**CONTENIDO:**

CAJA DE REGISTRO  
 SECUNDARIO

**PRESENTA:**

JAIME ANTONIO AGUILAR  
 JOSE LUIS MARQUEZ

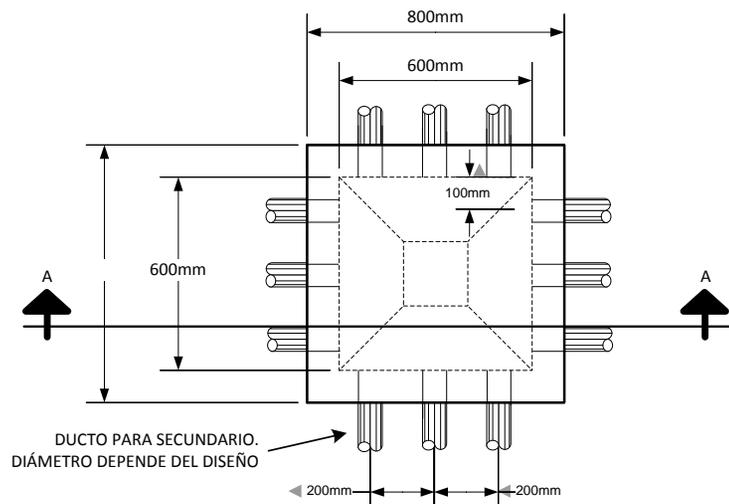
**ASESOR:**

ING. JORGE ALBERTO ZETINO

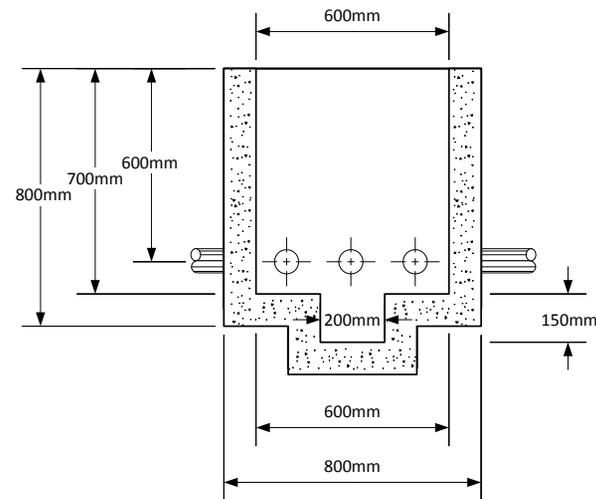
E HOJA:

ESCALA :  
 INDICADA

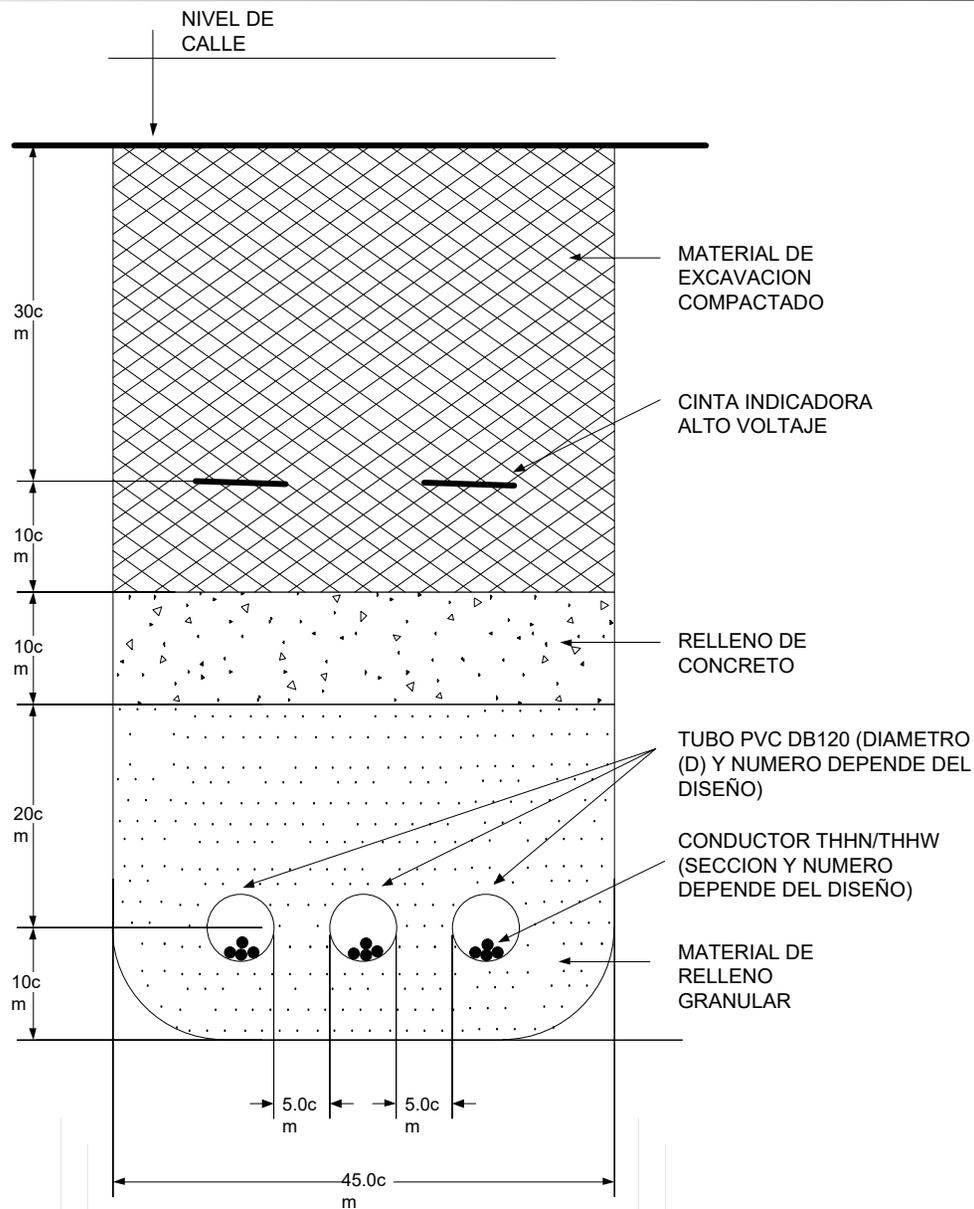
FECHA :  
 MAYO 2019



**PLANTA**



**CORTE A-A**



**Universidad De El Salvador**  
**Escuela de Ingenieria**  
**Electrica**

**DISEÑO FOTOVOLTAICO Y**  
**DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA**  
**SUBTERRÁNEA PARA LAS**  
**FACULTADES DE**  
**HUMANIDADES Y ECONOMIA**

**CONTENIDO:**

**CANALIZACION BAJA**  
**TENSION**

**PRESENTA:**

**JAIME ANTONIO AGUILAR**  
**JOSE LUIS MARQUEZ**

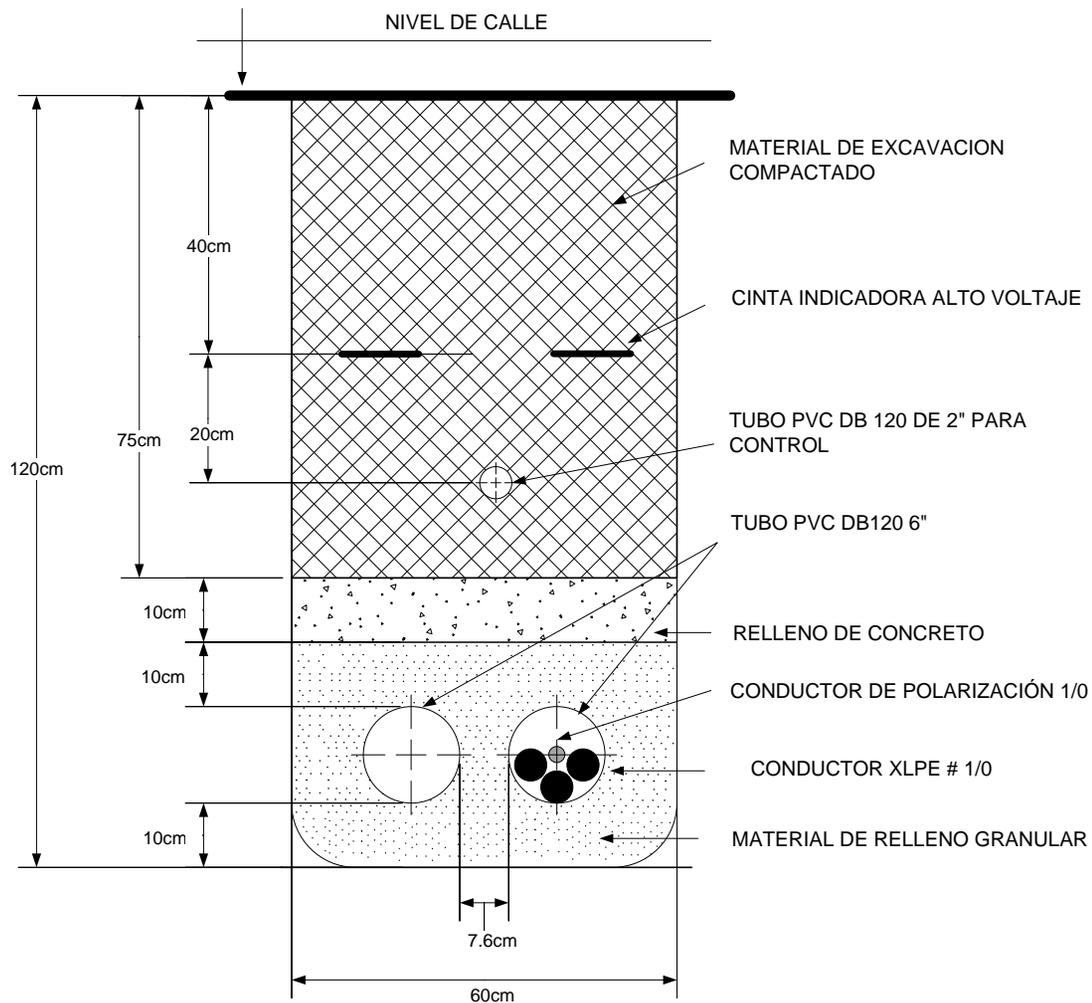
**ASESOR:**

**ING. JORGE ALBERTO ZETINO**

Nº DE HOJA:

ESCALA :  
 INDICADA

FECHA :  
 MAYO 2019



**Universidad De El Salvador**  
**Escuela de Ingenieria**  
**Electrica**

**DISEÑO FOTOVOLTAICO Y**  
**DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA**  
**SUBTERRÁNEA PARA LAS**  
**FACULTADES DE**  
**HUMANIDADES Y ECONOMIA**

**CONTENIDO:**

\ CANALIZACION MEDIA  
 TENSION

**PRESENTA:**

JAIME ANTONIO AGUILAR  
 JOSE LUIS MARQUEZ

**ASESOR:**

ING. JORGE ALBERTO ZETINO

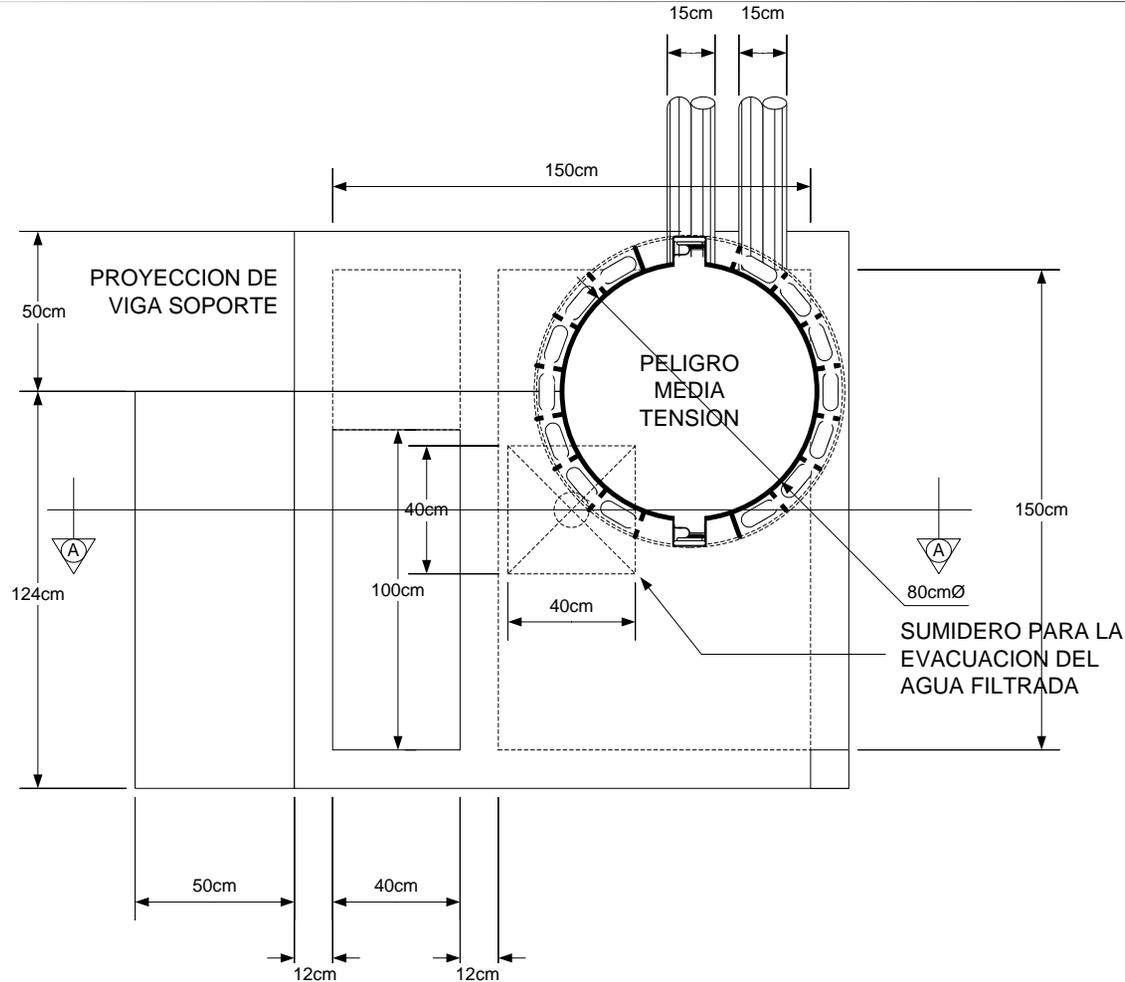
Nº DE HOJA:

ESCALA :  
 INDICADA

FECHA :  
 MAYO 2019

**DIMENSIONES INTERNAS:**

1. LARGO = 1.50 m
2. ANCHO = 1.50 m
3. PROFUNDIDAD = 1.70 m
4. ESPESOR DE LA PARED = 0.012 m



**NOTAS:**

- PAREDES DE CONCRETO.
- EL INTERIOR DE TODAS LAS CAJAS DEBE SER RECUBIERTO CON UN MORTERO IMPERMEABILIZANTE.
- LA CAJA DEBE CONTAR CON LA RESPECTIVA PREVISTA PARA MALLA A TIERRA.
- SE MUESTRA LA MAXIMA COINCIDENCIA DE DUCTOS QUE DEBE LLEGAR A LA CAJA: REFERIRSE A LA LAMINA DE PLANTA PARA DETERMINAR LA CANTIDAD EXACTA DE DUCTOS QUE SE CONECTARAN.
- LA UBICACIÓN DE LOS DUCTOS DEPENDE EL RECORRIDO DEL DISEÑO.



**Universidad De El Salvador**  
**Escuela de Ingenieria**  
**Electrica**

**DISEÑO FOTOVOLTAICO Y**  
**DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA**  
**SUBTERRÁNEA PARA LAS**  
**FACULTADES DE**  
**HUMANIDADES Y ECONOMIA**

**CONTENIDO:**

POZO PARA TRANSFORMADOR  
TRIFASICO TIPO  
PDESTAL. DUCTOS DE 6"

**PRESENTA:**

JAIME ANTONIO AGUILAR  
JOSE LUIS MARQUEZ

**ASESOR:**

ING. JORGE ALBERTO ZETINO

E HOJA:

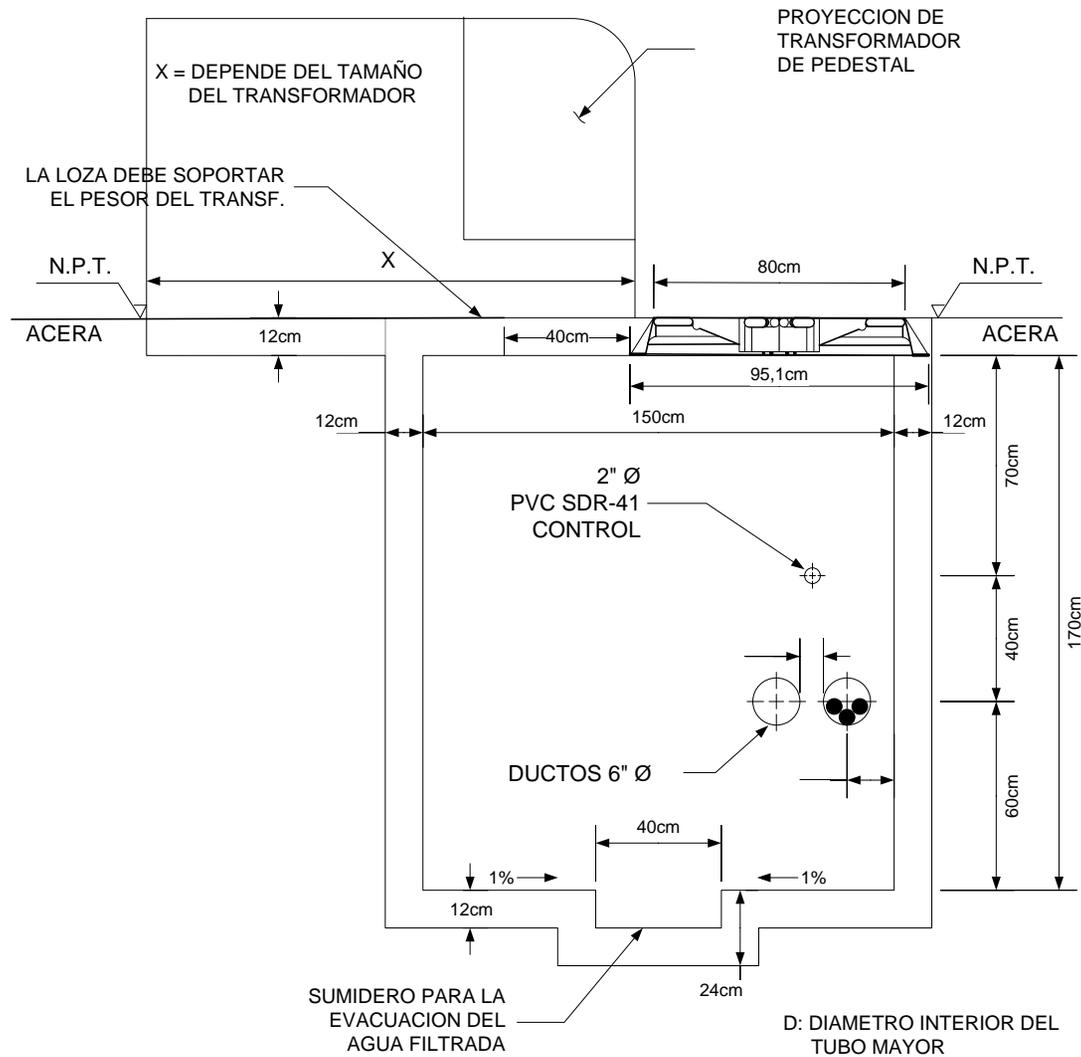
ESCALA :

INDICADA

FECHA :

MAYO 2019

- DIMENSIONES INTERNAS:
1. LARGO = 1.50 m
  2. ANCHO = 1.50 m
  3. PROFUNDIDAD = 1.70 m
  4. ESPESOR DE LA PARED = 0.012 m



NOTAS:

- PAREDES DE CONCRETO.
- EL INTERIOR DE TODAS LAS CAJAS DEBE SER RECUBIERTO CON UN MORTERO IMPERMEABILIZANTE.
- LA CAJA DEBE CONTAR CON LA RESPECTIVA PREVISTA PARA MALLA A TIERRA.
- SE MUESTRA LA MAXIMA COINCIDENCIA DE DUCTOS QUE DEBE LLEGAR A LA CAJA: REFERIRSE A LA LAMINA DE PLANTA PARA DETERMINAR LA CANTIDAD EXACTA DE DUCTOS QUE SE CONECTARAN.
- LA UBICACIÓN DE LOS DUCTOS DEPENDE EL RECORRIDO DEL DISEÑO.



**Universidad De EL Salvador**  
**Escuela de Ingenieria**  
**Electrica**

**DISEÑO FOTOVOLTAICO Y**  
**DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA**  
**SUBTERRÁNEA PARA LAS**  
**FACULTADES DE**  
**HUMANIDADES Y ECONOMIA**

**CONTENIDO:**

POZO PARA TRANSFORMADOR  
 TRIFASICO TIPO PDESTAL.  
 DUCTOS DE 6"

**PRESENTA:**

JAIME ANTONIO AGUILAR  
 JOSE LUIS MARQUEZ

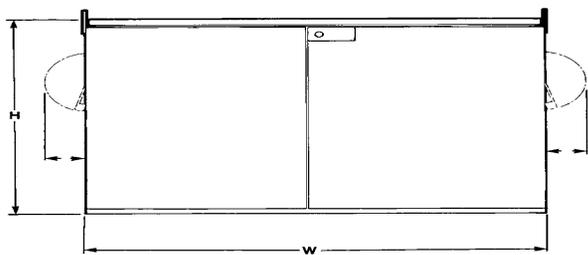
**ASESOR:**

ING. JORGE ALBERTO ZETINO

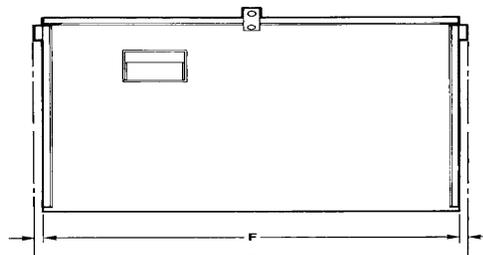
E HOJA:

ESCALA :  
 INDICADA

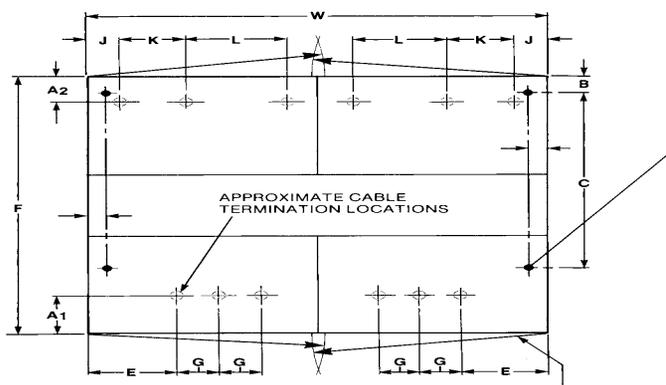
FECHA :  
 MAYO 2019



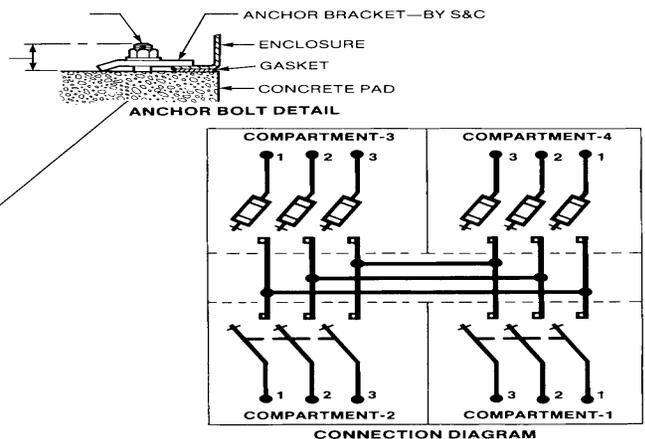
FRONT VIEW



SIDE VIEW



ANCHOR BOLT PLAN



ANCHOR BOLT DETAIL

CONNECTION DIAGRAM

kV, Nominal	A <sub>1</sub> ◆	A <sub>2</sub>	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	W
14.4	9 <sup>7</sup> / <sub>8</sub> (251)	7 (178)	5 <sup>1</sup> / <sub>8</sub> (130)	40 (1016)	63 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> (1619)	12 <sup>7</sup> / <sub>8</sub> (327)	60 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> (1543)	6 (152)	44 (1118)	4 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> (121)	9 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> (248)	14 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> (375)	34 (864)	67 (1702)
25	14 <sup>1</sup> / <sub>8</sub> (359)	11 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> (286)	7 <sup>1</sup> / <sub>8</sub> (181)	62 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> (1588)	79 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> (2026)	13 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> (349)	76 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> (1949)	7 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> (191)	55 (1397)	6 (152)	12 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> (318)	16 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> (419)	41 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> (1054)	82 (2083)



**Universidad De EL Salvador**  
**Escuela de Ingenieria**  
**Electrica**

**DISEÑO FOTOVOLTAICO Y**  
**DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA**  
**SUBTERRÁNEA PARA LAS**  
**FACULTADES DE**  
**HUMANIDADES Y ECONOMIA**

**CONTENIDO:**  
 Modelo Swichtgear

**PRESENTA:**  
 JAIME ANTONIO AGUILAR  
 JOSE LUIS MARQUEZ

**ASESOR:**  
 ING. JORGE ALBERTO ZETINO

E HOJA:  
 ESCALA :  
 INDICADA  
 FECHA :  
 Julio 2019



ESPECIFICACIONES TECNICAS	
ITEM	DESCRIPCION
T-1	TRANSFORMADOR TRIFASICO DE 225 KVA
T-2	TRANSFORMADOR TRIFASICO DE 150 KVA
T-3	TRANSFORMADOR TRIFASICO DE 150 KVA
T-4	TRANSFORMADOR TRIFASICO DE 112.5 KVA
T-5	TRANSFORMADOR MONOFASICO DE 100 KVA
T-6	TRANSFORMADOR TRIFASICO DE 150 KVA
T-7	TRANSFORMADOR TRIFASICO DE 225 KVA
T-8	TRANSFORMADOR MONOFASICO DE 75 KVA
T-9	TRANSFORMADOR MONOFASICO DE 100 KVA
T-10	TRANSFORMADOR TRIFASICO DE 300 KVA
T-11	TRANSFORMADOR MONOFASICO DE 167 KVA
T-12	TRANSFORMADOR TRIFASICO DE 150 KVA
T-13	TRANSFORMADOR TRIFASICO DE 75 KVA
T-14	TRANSFORMADOR MONOFASICO DE 75 KVA
T-R1	TRANSFORMADOR TRIFASICO PARA FURURA CARGA
T-R2	TRANSFORMADOR TRIFASICO PARA FURURA CARGA
SG1	SWITCHGEAR 1
SG2	SWITCHGEAR 2
D-1	DERIVADOR 1
D-2	DERIVADOR 2
D-3	DERIVADOR 3
D-4	DERIVADOR 4
D-5	DERIVADOR 5

EQUIPO	DESCRIPCION
	Paso MT 200 A
	Derivador MT de 200 A
	Trafo trifásico Pad-Mounted
	Switchgear
	Trafo monofásico Pad-Mounted
	Línea Trifásica
	Línea Monofásica