

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



**Distribución Eléctrica Subterránea, Plan de Desarrollo  
de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura 2015.**

PRESENTADO POR:

**ROBERTO ANTONIO MARTÍNEZ CÁRCAMO**

**OSWALDO JAVIER RODRÍGUEZ REYES**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

**INGENIERO ELECTRICISTA**

CIUDAD UNIVERSITARIA, OCTUBRE DE 2016

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

**RECTOR INTERINO :**

**LIC. JOSÉ LUIS ARGUETA ANTILLÓN**

**SECRETARIA GENERAL :**

**DRA. ANA LETICIA ZAVALA DE AMAYA**

**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 :

**Distribución Eléctrica Subterránea, Plan de Desarrollo  
de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura 2015.**

Presentado por :

**ROBERTO ANTONIO MARTÍNEZ CÁRCAMO**

**OSWALDO JAVIER RODRÍGUEZ REYES**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

**MSC. JORGE ALBERTO ZETINO CHICAS**

San Salvador, Octubre de 2016

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

**MSC. JORGE ALBERTO ZETINO CHICAS**

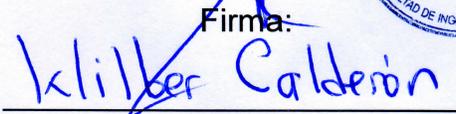
## ACTA DE CONSTANCIA DE NOTA Y DEFENSA FINAL

En esta fecha, viernes 7 de octubre de 2016, en la Sala de Lectura de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, a las 4:00 p.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:

1- MSc. Jorge Alberto Zetino Chicas

2- MSc. Luis Roberto Chévez Paz

3- Ing. Numa Pompilio Jiménez Cortez

Firma: 

Se efectuó la defensa final reglamentaria del Trabajo de Graduación:

Distribución Eléctrica Subterránea, Plan de Desarrollo de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura 2015.

A cargo de los Bachilleres:

- Martínez Cárcamo Roberto Antonio

- Rodríguez Reyes Oswaldo Javier

Habiendo obtenido en el presente Trabajo una nota promedio de la defensa final: 8.0

( Ocho punto cero. )

## **RESUMEN EJECUTIVO**

El presente estudio se ha desarrollado en la Facultad de Ingeniería y Arquitectura (FIA), de la Universidad de El Salvador, en conjunto con el “plan de desarrollo FIA 2015”, para proporcionar un mejor crecimiento y modernización de la red eléctrica primaria de la FIA. Adicionalmente se ha efectuado una investigación de campo, para cuantificar la capacidad de generación fotovoltaica FV de la Facultad en base a la irradiancia solar y al área de techos existentes en el sitio. Como resultado, se diseñaron aplicaciones FV conectadas a la red, con el propósito de reducir la facturación de energía eléctrica de la FIA. Cada diseño puede ser implementado por etapas ya que su presupuesto ha sido elaborado por edificación.

Se elaboró un diseño de la red eléctrica subterránea a media tensión de la FIA, tomando en cuenta el Plan de Desarrollo de la FIA 2015 elaborado por la escuela de Arquitectura, formando una troncal desde la acometida del Polideportivo-FIA hasta la línea primaria proveniente de la acometida de Agronomía, y un anillo que cubre el sector de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, este anillo estará conformado por transformadores tipo Pad-Mounted, con diferentes capacidades para suplir la demanda actual y futura de la facultad.

El trabajo se ha desarrollado de manera que sirva de insumo para someter el proyecto a licitación.

## **SUMMARY EXECUTIVE**

The present study It has developed in the Faculty of Engineering and Architecture of the University of El Salvador, together with the "development plan FIA 2015", to provide better growth and modernization, where It has been executed an investigation of field, to quantitate the ability of photovoltaic generation FV of the faculty, based on the irradiance solar and the area of existing ceilings in the place. As a result, were designed applications FV connected to network, with the purpose of reduce billing of electric power of the FIA. Each design It can be implemented by stages as its budget It has been prepared by edifice.

Also it was made a design of electrical grid subterranean to medium voltage of the FIA, taking into consideration the "development plan FIA 2015" prepared by the School of Architecture , forming a trunk from the electrical connection of the sports Center-FIA until the primary line from the electrical connection of Agronomy, and a ring covering the sector of the Faculty of Engineering and Architecture, this ring will comprised of transformers type Pad-Mounted, with different capacities to supply the demand current and future of the faculty.

The work has been developed so as to serve as an input to subdue the project to tender.

## INDICE

INTRODUCCIÓN.....	11
OBJETIVOS.....	13
Objetivo General .....	13
Objetivos Específicos .....	13
ALCANCES.....	14
ANTECEDENTES.....	15
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	16
JUSTIFICACIÓN .....	17
CAPITULO I.....	18
1.1 SISTEMA FOTOVOLTAICO .....	19
1.1.1 Fundamentación teórica .....	19
1.2 Memoria del proyecto .....	23
1.2.1 Descripción de la instalación.....	23
1.2.2 Acometida Complejo Deportivo-FIA.....	24
1.2.3 Demanda y consumo.....	25
1.2.4 Perfil de carga.....	26
1.3 Dimensionamiento de subestaciones de nuevos edificios .....	26
1.4 Recurso solar disponible e índice de productividad .....	31
1.5 Diseño del sistema FV de cada edificio .....	32
1.5.1 Criterios para determinar el tamaño del Módulo Fotovoltaico.....	34
1.5.2 Elección del inversor.....	36
1.5.3 Análisis de temperatura .....	37
1.6 Edificaciones B, C y D .....	38
1.6.1 Distribución de panes solares al costado sur de las edificaciones B, C y D. ....	39
1.6.2 Especificaciones del Inversor .....	40
1.6.3 Análisis para capacidad de MFV a conectar al inversor .....	41
1.6.4 Diagrama DC de edificios B, C Y D.....	42
1.6.5 Diagrama unifilar AC de edificio B. ....	42
1.6.6 Selección de dispositivos de protección contra sobretensiones (DPS).....	44
1.7 Edificio de Administración Académica .....	45
1.7.1 Diagrama DC de edificio administración .....	48

1.7.2 Diagramas unifilares AC de edificio de Administración .....	48
1.7.3 Conexión de los inversores a tableros STI y TG.....	49
1.8 Estructura de soporte para MFV .....	50
1.9 Potencia generada por MFV .....	51
1.10 Presupuesto de los Sistemas Fotovoltaico Conectado a la Red (SFVCR) .....	55
2. CAPITULO II .....	59
2.1 Planteamiento teórico .....	60
2.2 Factibilidad de construcción del sistema subterráneo .....	60
2.3 Tipos de sistema de eléctricos utilizados en redes eléctricas subterráneas .....	61
2.4 Consideraciones del calibre y tipo cable a utilizar en instalaciones subterráneas .....	63
2.5 Dimensionamiento del cable de neutro .....	64
2.6 Consideraciones de diferentes parámetros a cumplir, en los ductos o tuberías. ....	65
2.6.1 Porcentaje de utilización .....	66
2.6.2 Acuñaamiento .....	66
2.6.3 Claro .....	67
2.6.4 Tensiones y longitud máxima de jalado .....	67
2.6.5 Presión lateral .....	69
2.6.6 Factor de corrección de peso .....	69
2.7 Desarrollo del diseño eléctrico subterráneo .....	69
2.7.1 Cálculo del calibre del cable a utilizar por tramos .....	71
2.7.2 Tensión de jalado para cable a instalar en la FIA y Polideportivo .....	73
2.7.3 Consideraciones en la construcción de banco de ductos .....	80
2.7.4 Dimensionamiento de canalización .....	81
2.7.5 Diseños de pozos .....	83
2.8 Equipo a instalar en el sistema subterráneo .....	85
2.8.1 Switchgear o tablero de distribución en media tensión .....	85
2.8.2 Interruptores de carga y falla Visi-Gap .....	87
2.8.3 Transformadores tipo pedestal .....	89
2.8.4 Recloser .....	91
2.8.5 Terminales de potencia .....	92
2.9 Presupuesto para realizar la ejecución del proyecto de la línea de distribución eléctrica subterránea de la FIA .....	93

2.10	Análisis de cortocircuito .....	105
2.10.1	Cálculo de impedancia de secuencia positiva del cable de distribución subterránea....	105
2.10.2	Calculo de impedancia de secuencia cero del cable de distribución subterránea.....	110
2.10.3	Análisis de cortocircuito utilizando el software ETAP .....	114
2.11	Coordinación de protecciones .....	127
2.11.1	Coordinación de protecciones en sistema de distribución eléctrica subterránea de la FIA .....	127
2.11.2	Coordinación entre el recloser e interruptores de falla Visigap realizada en ETAP.....	130
2.11.3	Coordinación de Circuit Breaker y fusible limitador de corriente en los transformadores Pad-Mounted .....	133
2.12	Sistema de puesta a tierra .....	134
	Conclusiones.....	144
	Referencias.....	145
	ANEXO A.....	146
	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS .....	146
	PLAN DE OFERTA .....	172
	ANEXO B .....	195

## INTRODUCCIÓN

En busca de un desarrollo y modernización en la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, se proyecta la realización de nuevas edificaciones para suplir la demanda de estudiantes, es por ello que la Escuela de Arquitectura elaboró el “Plan de desarrollo FIA 2015”, en el cual se contempla el levantamiento de nuevos edificios tales como, Escuela de Posgrado, Ciencias Básicas, Escuela de Arquitectura y Asociaciones, así mismo la realización de un parqueo.

Considerando el crecimiento de energía eléctrica que se tendría que brindar para el desarrollo de este plan, y con base a la demanda de energía actual de la Universidad de El Salvador, en que la facturación por energía eléctrica durante el año 2014 y 2015, alcanzó un monto agobiante, con valores alrededor de \$122,000.00 Dólares mensuales. Sólo en la acometida Complejo Deportivo-FIA, la facturación alcanzó los \$24,000.00 Dólares mensuales.

Debido al incremento en facturación de energía eléctrica, se tomó la iniciativa de implementar sistemas fotovoltaicos, de manera que se aproveche el recurso energético, y se reduzca el monto en la facturación. Es por ello que se realizaron diseños de sistemas fotovoltaicos conectados a la red (SFVCR), en techos de las diferentes edificaciones de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, considerando que la instalación fuese fiable, para un buen aprovechamiento del recurso solar.

En la Ciudad Universitaria se ha iniciado un proyecto de reducción de acometidas, con la finalidad que solo dos acometidas brinden energía eléctrica al campus de la Ciudad Universitaria, estas dos acometidas serían; la acometida del polideportivo-FIA y la acometida de agronomía, así mismo se fomenta para la creación de un sistema de distribución a media tensión con mayor confiabilidad.

La implementación de un diseño de distribución eléctrico subterráneo en el Plan de desarrollo FIA 2015, en donde se busca mayor confiabilidad tanto en servicio, ornato y seguridad, de tal forma el diseño estaría conformado por un tramo troncal y un anillo. El tramo troncal es la interconexión de la acometida del polideportivo-FIA y línea primaria proveniente de la acometida de agronomía. El anillo tiene como función principal, abastecer la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, este anillo estará conformado por transformadores Pad-Mounted que suministrarán a las diferentes cargas actuales y futuras de la Facultad, se busca tener redundancia en el diseño, es por ello que la alimentación en ambos extremos de la troncal será automatizada, con esto se pretende que el sistema brinde un servicio lo más constante posible.

## INTRODUCTION

In search of a development and modernization in the Faculty of Engineering and Architecture, It is projected the realization of new buildings to supply the demand of students, It is for this reason that School of Architecture elaborated the "Development Plan 2015 FIA", in which it is contemplated the lifting of new buildings such as, Graduate School, Basic sciences, School of Architecture and Associations, likewise the accomplishment of a parking.

Considering the growth of electrical power that would have to provide for the development of this plan, and based on the demand of power current of the University of El Salvador, in that billing for electric power during the year 2014 and 2015, it reached an amount overwhelming, with values around of \$ 122,000.00 Dollars monthly. Only at the connection Complex Sports-FIA, The Billing it reached the \$ 24,000.00 Dollars monthly.

Due to the increase in billing of electrical power, it took the initiative of implement photovoltaic systems, so it takes advantage the resource energy, and it is reduced the amount in billing. That is why we were made designs of photovoltaic systems connected to network (SFVCR), in ceilings of different buildings of the Faculty of Engineering and Architecture, considering that the installation was reliable, for a good utilization resource solar.

In the City University It has started a project of reduction of electrical connections, with the goal that only two electrical connections provide electricity the campus of the City University, these two connections would; the electrical connection of sports center-FIA and the electrical connection of agronomy, likewise is it encouraged to create of a system of distribution at medium voltage with greater reliability.

The implementation of a design of distribution electrical underground in the Development Plan 2015 FIA, is sought higher reliability both service, ornament and security, in such a way the design would be comprised of a section trunk and a ring. The section trunk is the interconnection of the electrical connection of sports center-FIA and line primary coming of the connection electrical of agronomy. The ring has function main of, supply the Faculty of Engineering and Architecture, this ring will comprise by transformers Pad-Mounted that they supply to different loads current and future of the Faculty, is searched have redundancy in the design, is for this reason that feeding at both ends of the trunk will automated, this is intended that the system provides a service as constant as possible.

## OBJETIVOS

### Objetivo General

Formular el Proyecto de la Red Eléctrica del Plan de Desarrollo de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura 2015.

### Objetivos Específicos:

- ✓ Completar los Diseños Eléctricos y Fotovoltaicos de las nuevas edificaciones.
- ✓ Elaborar presupuesto oficial.
- ✓ Preparar los documentos de licitación.

## ALCANCES

El proyecto comprende la nueva red de distribución primaria de la FIA. El cual está contemplado desde la acometida actual del Polideportivo cuya medición primaria se realiza con el medidor #95203325, hasta las instalaciones de la FIA, incluyendo las nuevas edificaciones comprendidas en el Plan de Desarrollo FIA 2015 y la instalación de sistemas fotovoltaicos conectados a la red (SFVCR) en las edificaciones actuales (Biblioteca, Administración Académica, Aulas, Escuela de Ingeniería Eléctrica) y futuras (Ingeniería Mecánica, Asociaciones Estudiantiles, Posgrado, Ciencias básicas y la Escuela de Arquitectura), de manera que se genere al mismo tiempo una disminución de la facturación por consumo de electricidad en la FIA.

El diseño contempla la instalación de medidores en cada subestación, los que se incorporan al sistema de subestaciones de toda la Universidad de El Salvador, cuyo monitoreo se realiza desde la Escuela de Ingeniería Eléctrica.

En la construcción de la red subterránea a media tensión, se desmontaran 6 subestaciones y 39 postes, junto con la línea de distribución aérea y se instalaran 16 transformadores Pad-Mounted (cuyos valores se presentan en el desarrollo del documento), de estos transformadores 5 son monofásicos y 11 son trifásicos. Se instalaran 3 switchgear de estos, dos tendrán una vía automatizada, uno se encontrara por la entrada del polideportivo y el otro cercano a las instalaciones donde se encuentran los servidores de la Universidad en Línea, la comunicación del equipo de control entre estos dos switchgear se realizara con cable de fibra óptica instalado en ductos subterráneos, con esto se pretende la interconexión (la cual normalmente estará abierta) de las que en su momento serán las únicas acometidas de la Universidad de El Salvador. El diseño subterráneo estará compuesto por un tramo troncal que interconectan todas las subestaciones de los edificios de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, generando redundancia en la línea de distribución eléctrica.

El proyecto en su totalidad se pretende ejecutar con un presupuesto alrededor de los 2.2 millones de dólares . En el desarrollo del documento se detalla cada una de las partidas de ejecución de obra de los SFVCR, como también de la distribución eléctrica subterránea.

## **ANTECEDENTES.**

Actualmente el único edificio de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura que cuenta con un sistema fotovoltaico es la Escuela de Ingeniería Eléctrica cuyo valor de potencia pico no supera los 7KW, con esto no se está aprovechando de gran manera la abundante energía solar con la que contamos en nuestra país prácticamente todo el año y que pueden instalarse en la edificaciones de la FIA.

Por otra parte la actual línea de distribución con la que cuenta la Facultad de Ingeniería y Arquitectura es aérea, la cual inicia en la acometida que se encuentra por la entrada del Polideportivo, desde ahí continua hasta la Biblioteca donde se tiene una derivación (actualmente se encuentra desconectada), luego la línea pasa por toda la facultad haciendo una "U" hasta llegar a una interconexión con una línea que proviene de la acometida de Agronomía que se encuentra por las instalaciones de los servidores de la Universidad en Línea.

Las subestaciones que actualmente se encuentran dando servicio de energía eléctrica a los edificios, son bancos de transformadores monofásicos instalados en piso, en estructuras tipo "H" y algunos transformadores instalados en poste.

El proyecto pretende dejar las instalaciones preparadas para el sistema de unificación de acometidas y distribución subterránea en todo el campus de la UES, en el que se contempla dejar únicamente dos acometidas subterráneas para toda la Ciudad Universitaria; con la posibilidad de interconectarse entre ellas.

La capacidad de las subestaciones actuales han sido redimensionadas, basado en cargas reales y un 50% de carga futura; los factores de utilización de las subestaciones actuales son sumamente bajos y en varios casos hasta del 20%, estando dichas subestaciones sobre dimensionadas.

En lo posible se emplearan las mismas acometidas secundarias existentes para reducir los costos de instalación.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En los últimos años la Universidad de El Salvador ha venido enfrentando problemas presupuestarios por los pocos recursos económicos que le son asignados por el estado. El alto monto económico de la factura energética que le toca pagar a la universidad agrava aún más la situación económica, con lo cual en el desarrollo de este proyecto se busca llevar un paliativo con respecto al alto monto económico de la factura eléctrica de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura.

Otra de las problemáticas que se pueden encontrar en la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, es el gran número de cortes de energía eléctrica que sufren los diferentes edificios de la facultad, sobre todo en temporadas de vientos e inviernos esto se debe a varias causas entre ellas el poco mantenimiento que se le da a la línea de distribución eléctrica aérea, un buen número de árboles de varios metros de altura, un buen número de aves y ardillas que en algún momento llegan a provocar fallas en el sistema de distribución eléctrica. Estos fallos que pueden ser momentáneos o de corta a mediana duración, pueden ocasionar no solo suspensión de actividades administrativas sino también la suspensión de clases que es la principal razón de existir de la Universidad de El Salvador, si no también puede ocasionar daños a equipos de laboratorio, servidores entre otros.

También es importante que las autoridades de la Universidad y de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura se preocupen por la seguridad de su comunidad tanto académica, administrativa y estudiantil, para que no sufran en algún momento algún accidente con los postes o el tendido eléctrico. También se debe buscar la modernización de la institución empezando por la facultad más grande de la Universidad de El Salvador, lo cual siempre influye en el estatus que se pueda tener hacia el exterior.

## JUSTIFICACIÓN

Actualmente se es testigo del gran auge que está teniendo la implementación de generadores fotovoltaicos en el país, y es precisamente porque la energía solar con la que se cuenta es muy abundante, por lo tanto debe ser ampliamente aprovechada. Por tal motivo se ha realizado el diseño de SFVCR, con estos sistemas fotovoltaicos instalados en los techos de los edificios, se podrá reducir los costos en la tarifa eléctrica de la FIA, he incluso empezar a vender la energía eléctrica generada en aquellos periodos del año, donde la Universidad de El Salvador se encuentra cerrada o en periodos que no son de clase, por lo que el consumo es mínimo, esto una vez se apruebe la legislación por parte de SIGET.

Ahora con la realización del sistema eléctrico subterráneo se busca reducir significativamente, la tasa de fallas de la línea de distribución eléctrica de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, tomando en cuenta que en la facultad se cuenta con una buena cantidad de árboles de altura considerable, y estos al haber vientos o lluvia propician fallas al caer alguna de sus ramas en la línea de distribución aérea. A parte de esto se encuentra la fauna que habita en algunas zonas de la facultad, que también propician fallas (sobre todo ardillas y aves), esto perjudica a la facultad sobre todo en la vida útil de equipos delicado de laboratorio y servidores de red.

Otro de los puntos que se contempla es el bajo mantenimiento que necesita las líneas subterráneas. Este punto es muy importante tomando en cuenta que en la facultad no hay un itinerario para dar mantenimiento a las líneas de eléctricas de media tensión.

## **CAPITULO I**

**“DISEÑO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EN  
DIFERENTES EDIFICACIONES DE LA FACULTAD DE  
INGENIERIA Y ARQUITECTURA”**

## **1.1 SISTEMA FOTOVOLTAICO**

### **1.1.1 Fundamentación teórica.**

En los últimos años en El Salvador ha tomado auge la implementación de Sistemas Fotovoltaicos, de tal manera que se está convirtiendo en el país con mejor puntuación en gestión y ejecución de inversión en energías limpias en América Latina y El Caribe. Esto de acuerdo al informe para el año 2014 del Fondo Multilateral de inversiones (FOMIN) del Banco Interamericano de desarrollo (BID) <sup>1</sup>.

### **Energía solar**

La energía solar está constituida por la porción de luz que emite el sol y que es interceptada por la tierra. Existen varias maneras de recoger y aprovechar los rayos del sol para generar energía eléctrica, que dan lugar a los distintos tipos de energía solar:

Fotovoltaica.

Fototérmica.

Termoeléctrica.

El presente trabajo va enfocado a aprovechar energía solar del tipo fotovoltaica la cual consiste en la transformación directa de la radiación solar en electricidad, para lograr esto se presenta la necesidad de diseñar e implementar sistemas fotovoltaicos.

¿Que son los Sistemas Fotovoltaicos (SFV)?

Un sistema fotovoltaico se encuentra conformado por paneles solares y otros elementos (como el inversor, que es considerado el corazón del sistema), que producen energía eléctrica, en condiciones de ser aprovechada por el hombre.

Hay dos tipos de SFV que pueden ser utilizados:

Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red (SFVCR).

Sistema fotovoltaico aislado.

Durante el desarrollo del presente trabajo, el SFV se encuentra dirigido hacia el diseño de SFVCR para cada uno de los edificios de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura donde es factible implementar el sistema, así como aquellos que han sido contemplados en el plan de desarrollo FIA 2015 por parte de la Escuela de Arquitectura.

(1): <http://www.ultimahora.sv/index.php/es/nacionales/item/2295-el-salvador-desarrollara-proyectos-de-energia-limpia-durante-2016>

## Sistemas Fotovoltaicos Conectados a la Red (SFVCR).

Un Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red (SFVCR) consiste básicamente en un generador fotovoltaico acoplado a un inversor que opera en paralelo con la red eléctrica convencional.

La instalación de estos sistemas se puede realizar básicamente en cualquier lugar, cuando no se observen problemas de sombras, los diferentes diseños se realizaron para ser implementados en techos de los edificios de la facultad, los cuales consideran el problema de sombra y el tipo de techo donde se realizara la instalación.

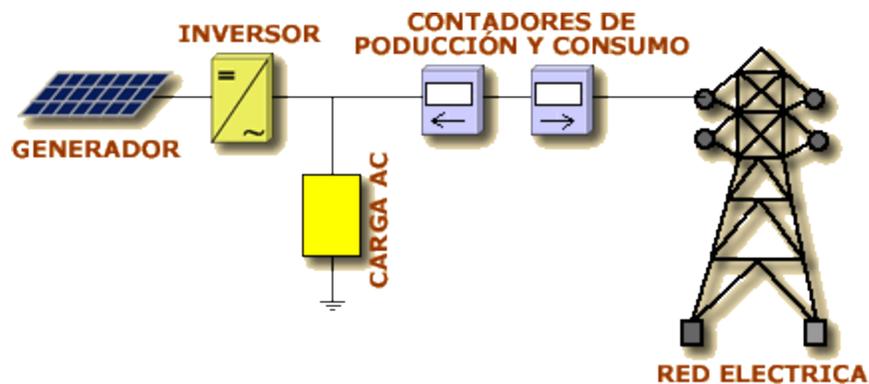


Figura 1: Esquema de un SFVCR.

Componentes principales de un SFVCR:

Módulos fotovoltaicos.

Inversores.

### Módulo fotovoltaico.

Los diseños que se realizaron en el presente trabajo, se utilizaron módulos fotovoltaicos del tipo policristalino de silicio. Este tipo de celda contiene varias regiones de silicio cristalino que se mantienen juntas a través de un enlace covalente y separados por límites de grano. El silicio pasa a través de un menor número de ciclos de filtración intensiva de energía que los procesos de separación de las células monocristalinas y por lo tanto son un material de menor costo para los fabricantes. Estas celdas son fabricadas en una forma cuadrada. Esto es debido a que el líquido fundido en los lingotes (cuadrado) no es para ser extruido o ir a través de otro proceso, sino para producir un bloque de silicio fuera de los cuales las pequeñas células son cortadas. Las uniones entre los granos tienen un efecto interesante en la eficiencia de la celda solar.

El parámetro estandarizado para clasificar su potencia se denomina potencia pico, y se corresponde con la potencia máxima que el módulo puede entregar bajo condiciones

estandarizadas que son: radiación de  $1000\text{W}/\text{m}^2$ , temperatura de célula de  $25\text{ }^\circ\text{C}$  (no temperatura ambiente).

### **Inversor.**

El inversor es considerado el corazón del sistema fotovoltaico por ser el elemento de mayor complejidad e importancia del sistema. La importancia del inversor obedece a que es el encargado de convertir la corriente directa en corriente alterna, esto permite que la distribución de electricidad sea más fácil y barata, ya que si la distribución se realizara en corriente directa los cables serían mucho más robustos y por ende mucho más caros, por las pérdidas que presenta el sistema DC.

La simbología para representar los inversores es la siguiente:

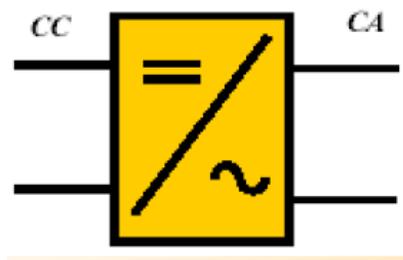


Figura 2: Representación de inversor monofásico.

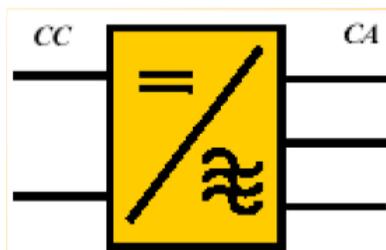


Figura 3: Representación de inversor trifásico.

### **Clasificación de inversores.**

Se clasifican básicamente por su potencia nominal de salida, sin embargo existen otros parámetros a considerar como son:

Tipo de onda: cuadrada, sinusoidal, sinusoidal modificada (cuasi-sinusoidal)

Conexión: inversores conectados a la red, inversores que se pueden conectar a bancos de baterías para almacenar energía.

La construcción de los inversores considera dos etapas convertidoras, estas son:  
Sintetizadora

## Filtradora

La etapa sintetizadora es la encargada de producir una onda de impulsos a partir de una tensión DC, mientras la etapa filtradora se encarga de eliminar los armónicos indeseados de la onda de impulso para obtener a la salida una señal sinusoidal. Estas etapas son las que determinan la eficiencia del inversor, cuya importancia dependerá de la aplicación para la que se vaya a requerir.

Los inversores electrónicos que se fabrican hoy en día alcanza eficiencias de hasta el 98.3% (Inversores SMA Sunny Boy TL). Pero para no desaprovechar este alto porcentaje de eficiencia, el diseño de los “string” fotovoltaicos a conectarse a la entrada de cada inversor, deben de ser adecuadamente dimensionados tomando en cuenta las variaciones de tensión y temperatura del MF y el rango o banda de operación en el punto de máxima potencia MPP del inversor.

## Topologías de inversores conectados a la red.

Los sistemas de generación fotovoltaica conectados a la red permiten a los usuarios alimentar sus propios consumos utilizando la energía solar disponible e inyectar el excedente a la red. En estos sistemas generalmente se utilizan cuatro tipos de topologías las cuales se presentan en la figura 4.

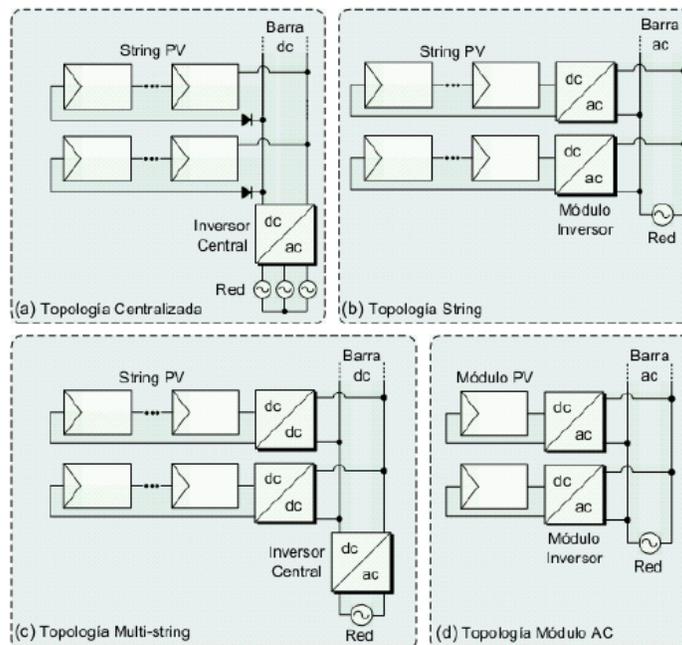


Figura 4: Topologías de inversores fotovoltaicos conectados a la red.

La topología mayormente utilizada por su economía y simplicidad es la “Centralizada” esta solo utiliza un inversor con varios string de módulos fotovoltaicos conectados a él. Pero tiene la desventaja que un solo modulo que se vea afectado por sombras, baja la eficiencia de todo el sistema, por lo que esta topología se utiliza en lugares despejados, como por ejemplo en techos de edificios que no se vean afectados por sombras.

## 1.2 Memoria del proyecto.

En el siguiente apartado se detalla en qué consiste el proyecto FV a realizar, especificando el lugar y descripción de la instalación, los cálculos necesarios y decisiones tomadas en base a dichos cálculos.

### 1.2.1 Descripción de la instalación.

La Universidad de El Salvador, UES, se encuentra ubicada al norte de la ciudad de San Salvador, su Campus, consta de un complejo de 74 edificios, nueve facultades y un estimado de 50000 alumnos, a su vez, la facultad de Ingeniería FIA, está constituida por 17 edificaciones, con aproximadamente 12000 estudiantes para ocho diferentes carreras. El suministro eléctrico del Campus Universitario, es servido por la Compañía distribuidora CAESS actualmente por medio de tres acometidas a 23 KV, denominadas respectivamente:

- A. Complejo Deportivo-FIA (Facultad de Ingeniería y Arquitectura): Medición primaria con medidor #95203325, puede alcanzar 704 kW.
- B. UES- Sector Nor-Oeste frente a ANDA (Facultad Humanidades y Economía): Medición primaria con medidor #95203319, presenta una demanda máxima mensual de 480 kW.
- C. Facultad de Agronomía: Medición primaria con medidor #95203324, y que presenta una demanda promedio mensual de 1166 kW.

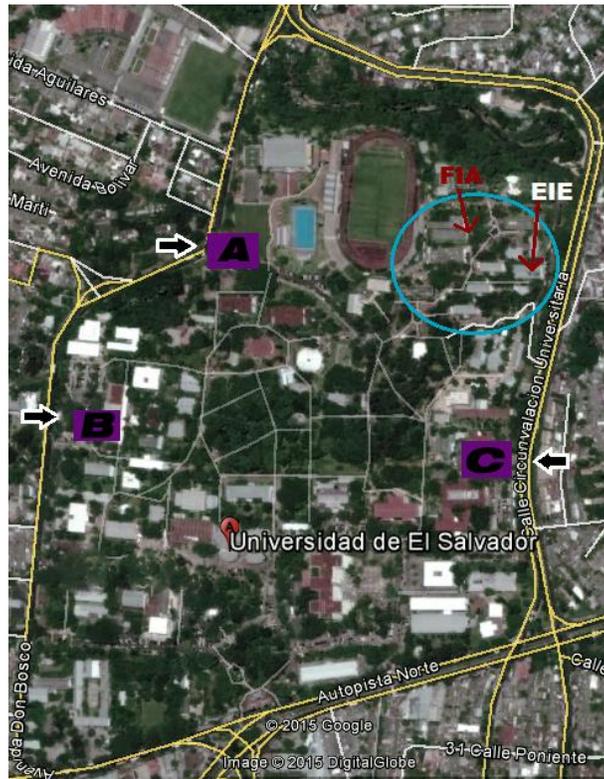


Figura 5: Campus Ciudad Universitaria y sus principales acometidas.

Interesa en particular la acometida “A” Complejo deportivo-FIA, dado que en esta se encuentra la FIA. Se tienen instalados 30 medidores de potencia y energía en 30 subestaciones del Campus. El consumo se registra en el Centro de Monitoreo de la red ubicado en la EIE (Figura 5).

### 1.2.2 Acometida Complejo Deportivo-FIA

La acometida Complejo Deportivo-FIA está clasificada en el pliego tarifario como Grandes Clientes, GD2-MT con medidor horario, y la estructura de cobro la constituye: un cargo por demanda, basado en la potencia máxima demandada durante el mes, un cargo por energía dividido en tres períodos de tiempo denominados Pico, de 6 pm a 11 pm; Valle, de 11 pm a 5 am y Resto de 5 am a 6 pm., y un cargo por comercialización.

Esta acometida comprende las edificaciones del complejo deportivo, las de la FIA y dos edificios de la Facultad de Agronomía. Internamente se ha instalado una medición primaria, que denominaremos MFIA, y otros sistemas de medición con los cuales puede calcularse el consumo de la FIA, Complejo deportivo y otros. La figura 6 muestra la red primaria de la acometida Complejo Deportivo-FIA, en ella se indica la ubicación de los diferentes medidores y subestaciones involucradas en el presente estudio y en el que se distinguen:

Mcd: Medidor Complejo Deportivo-FIA Mfia: Medidor FIA Ma: Medidores de agronomía.



Figura 6: Acometidas FIA y subestaciones

El suministro primario de la FIA, es trifásico a 23 KV, sostenida en postes de 35 pies con una línea de distribución que bordea las diferentes edificaciones formando una “U” invertida.

### 1.2.3 Demanda y consumo

Un conjunto de transformadores de diferente capacidad se encuentran ubicados en puntos estratégicos de la FIA, para proporcionar servicio secundario a las diferentes edificaciones, la gran mayoría de subestaciones están conectadas estrella/estrella para servicio a 208/120 V, el servicio a través de transformadores monofásicos a 240/120 V, está destinado para iluminación exterior y los edificios B, C y D. La siguiente tabla muestra la factura de uno de los meses con mayor consumo durante el año 2015.

<b>Número Contrato:</b>	5050160	GD2 - MT con Med. Hor.CAESS	Potencia contratada: 99.00 kw
<b>Dirección del Suministro:</b>	<b>AV DON BOSCO FTE EDIF ALAS TOBAR, AULAS FACULT CIENCIAS ECON</b>		Potencia facturada: * kw
	<b>COMPLEJO DEPTVO ENT FAC INGRÍA Y ARQ</b>		Ruta-Itin-Aol: 84 9 3
			CGV: <b>SUB 980 KVA</b>

Medidor	Mult.	Desde	Hasta	Lectura Actual	Lectura Anterior	Consumo
95203325	1100	02/10/2015	02/11/2015	1,289.87	1,275.09	16,258.00 kwh
95203325	1100	02/10/2015	02/11/2015	1,158.45	1,145.56	14,179.00 kwh
95203325	1100	02/10/2015	02/11/2015	4,729.93	4,661.05	75,768.00 kwh
95203325	1100	02/10/2015	02/11/2015	0.64	0.34	704.00 kw
95203325	1	02/10/2015	02/11/2015	95.30	95.50	95.30 F.P.

Cargo de Comercializacion	14.910000
Costo por tasa municipal por poste	0.550000
Cargo por Energia Punta	2,482.230000
Cargo por Energia Valle	2,135.990000
Cargo por Energia Resto	11,659.280000
Cargo de Distribucion Potencia	5,034.900000
Retencion IVA(Factura)	-189.450000
Compensacion por fallas	-2.800000
Interes por mora	78.580000
<b>Subtotal:</b>	<b>\$21,214.190000</b> ✓

Figura 7: Factura del mes de Noviembre del 2015

La factura muestra que el consumo total de energía en el mes; valle, punta, resto, es de 106,205.00 KWh/mes, solo en Resto, 5 am a 6 pm, es de 75,768.00 KWh/mes, presentando una potencia pico máxima demandada durante el mes es 704.00 KW. La facturación mensual fue de \$ 16,277.50 dólares en concepto de energía y \$ 5,034.90 en concepto de cargo por distribución por potencia.

## 1.2.4 Perfil de carga.

Se realizó mediciones eléctricas en diferentes edificaciones de la FIA, utilizando un analizador de redes marca DRANETZ versión 4000, en el cual se dejó instalado para captura de datos, durante un periodo de 3 días, se hizo encender en su mayoría todo equipo dentro de las edificaciones por un corto tiempo, con la finalidad de observar la demanda máxima de potencia, para efectos ilustrativos se muestra el perfil de carga del edificio de Administración Académica FIA.

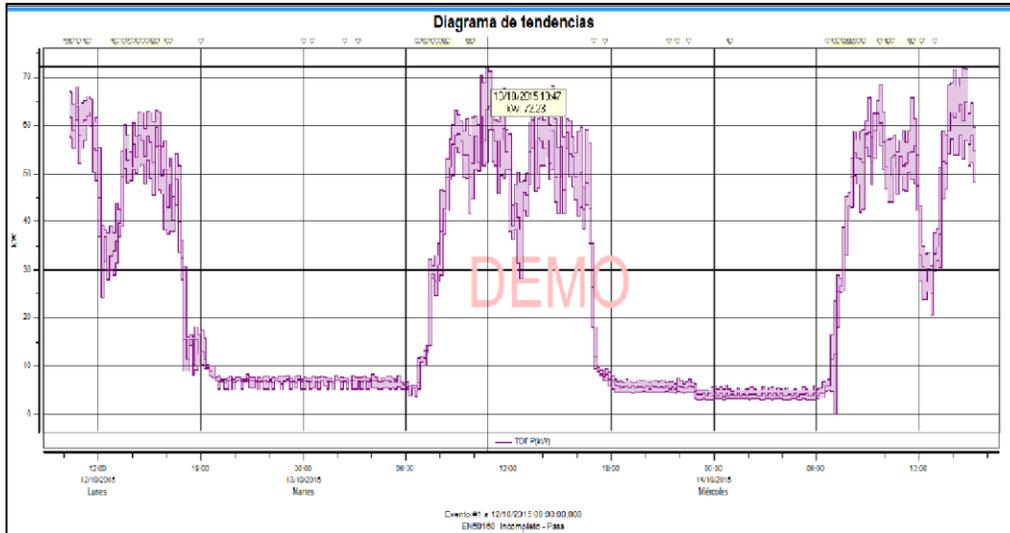


Figura 8: Perfil de carga Administración Académica

Se observa en la figura 8 la demanda de potencia del edificio. Se enmarca en el día ya que es cuando trabaja todo el personal administrativo y cuando le dan uso a los centros de cómputo que se encuentran en el edificio, empezando a crecer la demanda a partir de las 06:47 am, hasta llegar a su pico más alto a las 10:47 am de 72.18 KW, luego al mediodía hay una disminución considerable de la demanda ya que el personal sale a almorzar y cierran la mayoría de sus instalaciones. En la noche se puede observar que a pesar de que la potencia demandada es mucho menor que en el día sigue siendo considerable y llega hasta 8.24 KW y esto se debe al equipo de red (entre ellos servidores) que hay instalados en el edificio.

## 1.3 Dimensionamiento de subestaciones de nuevos edificios.

Para realizar un dimensionamiento razonable de las subestaciones eléctricas de los edificios a construirse en la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, se realizó la aplicación de factores de simultaneidad a las diferentes cargas y paneles de distribución. Se tomó como referencia la tabla 101 de la norma IEC 61439-2, se aplicó el factor de simultaneidad a los diferentes paneles de distribución, en base al número de circuitos que tendrá cada panel, los factores aplicados se muestran en la tabla 1.

Number of main circuits	Assumed loading factor
2 and 3	0,9
4 and 5	0,8
6 to 9 inclusive	0,7
10 (and above)	0,6

Tabla 1: Factores de simultaneidad para tableros de distribución según número de circuitos <sup>2</sup>.

Función del circuito	Factor de simultaneidad (ks)	
Iluminación	1	
Calentadores de agua <sup>(3)</sup>	0.75	
Aire acondicionado <sup>(4)</sup>	0.85	
Tomacorrientes	0,1 a 0,2 <sup>(1)</sup>	
Ascensores y montacargas <sup>(2)</sup>	• Para el motor de mayor potencia	1
	• Para el motor que le sigue en potencia	0,75
	• Para todos los motores	0,60
<p>(1) En ciertos casos, especialmente en instalaciones industriales, este factor puede ser mayor.</p> <p>(2) La corriente a tomar en consideración es igual a la corriente nominal del motor incrementada por un tercio de la corriente de arranque.</p> <p>(3) Aplica a un tablero de alimentación de varios circuitos de resistencias empleadas para calentar el medio circundante.</p> <p>(4) Aplica a tableros de alimentación de varios circuitos de climatizadores. No aplica en circuitos con muy pocos aparatos de climatización donde, en un día de mucho calor, puedan estar funcionando todos los equipos conectados</p>		

Tabla 2: Factores de simultaneidad aplicados a diferentes cargas <sup>2</sup>.

En la tabla 2 se observa que para tomas de servicio se sugiere utilizar el factor de 0.2, pero en el presente análisis se utilizara 0.5 para dejar un poco mas sobrado cada uno de los tomas de servicio.

Como ejemplo de uso del factor de simultaneidad, se presenta el cálculo desarrollado para el edificio de Ciencias Básicas, para ejemplificarlo se seleccionan 4 circuitos de tomas del sub-tablero del primer nivel, se observa en la figura 9 la carga total por circuito, a esta carga se le aplica el factor de simultaneidad, en la figura 10 se muestran cargas por circuito del tipo luminarias, se optó por dejarlo al 100% de su carga.

(2): extraído de la norma IEC 61439-2

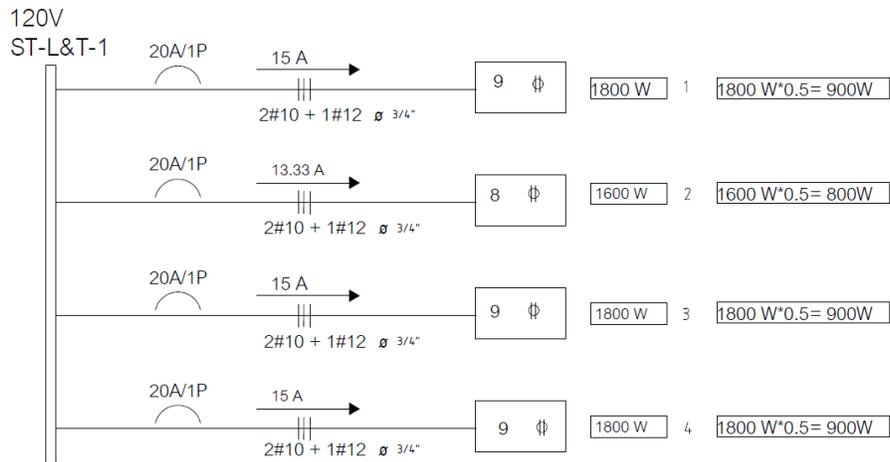


Figura 9: Sección de ST en el nivel1 del edificio de Ciencias Básicas.

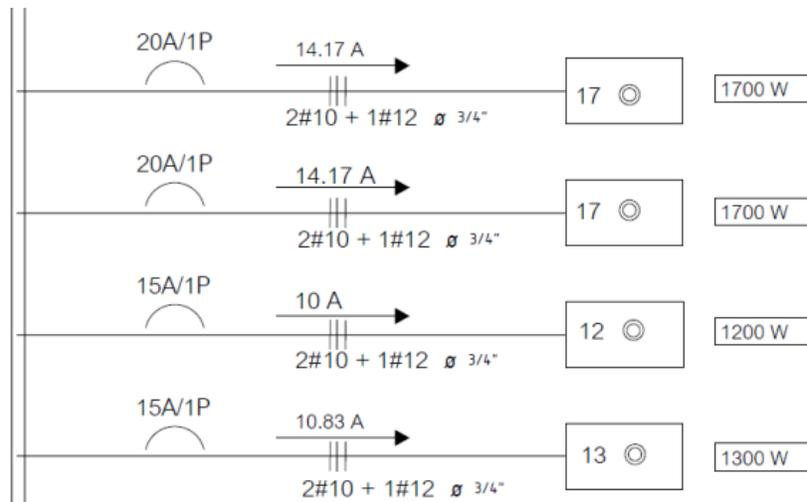


Figura 10: Sección de ST en el nivel1 del edificio de Ciencias Básicas. Tipo de carga luminarias

Después de haber aplicado el factor de simultaneidad a cada uno de los circuitos del ST-1, se procede a calcular la carga total, a esta carga se le aplica nuevamente el factor en base a la tabla 1 , que es el factor para tableros de distribución según el número de circuitos.

Carga total de tomas: 8,600 W

Carga total de luces: 9,600 W

$$8600 + 9600 = 18,200 \text{ W}$$

Los 18,200 W representan la carga total que tendrá el tablero, pero al tomar en cuenta que dicho tablero tiene 17 circuitos se le aplica un factor de 0.6.

$$18,200 * 0.6 = 10,920 \text{ W}$$

Los 10,920 W representan la carga que será considerada para el ST-1, al momento de dimensionar la subestación. La carga de los demás sub-tableros de luces y tomas se calcula siguiendo el mismo procedimiento.

En el edificio también hay un sub-tablero de aires acondicionados, a este tipo de carga se le aplica un factor de 0.85 tal y como se encuentra en la tabla 2.

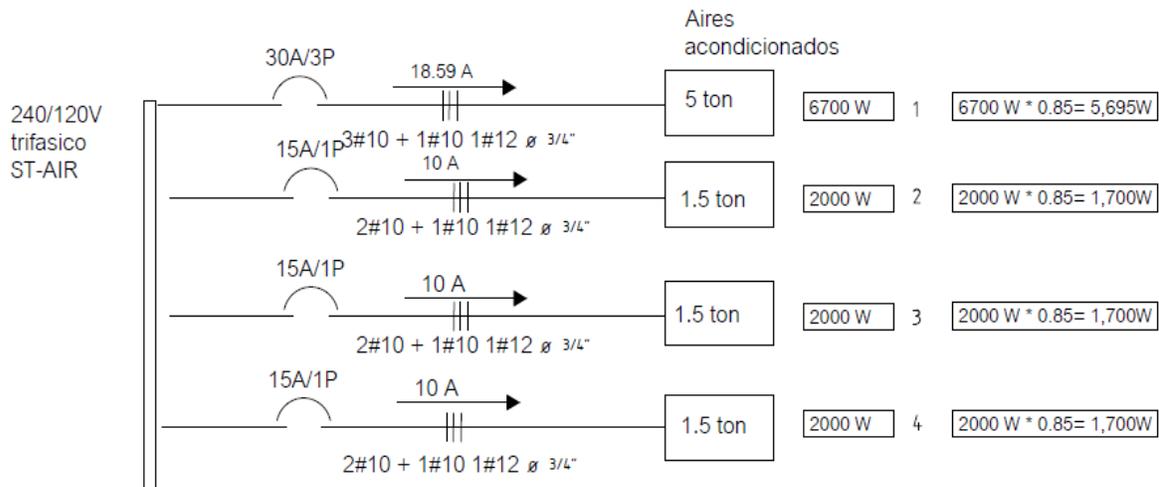


Figura 11: Sección de tablero de aires acondicionados

El ST-AA tiene 9 circuitos por lo que se le aplica un factor de 0.7 a la carga total para obtener la carga que se utilizara para el dimensionamiento de la subestación.

Al tablero general también se le aplica el factor de simultaneidad de la tabla 1, luego que se haya sumado la carga de todos los sub-tableros.

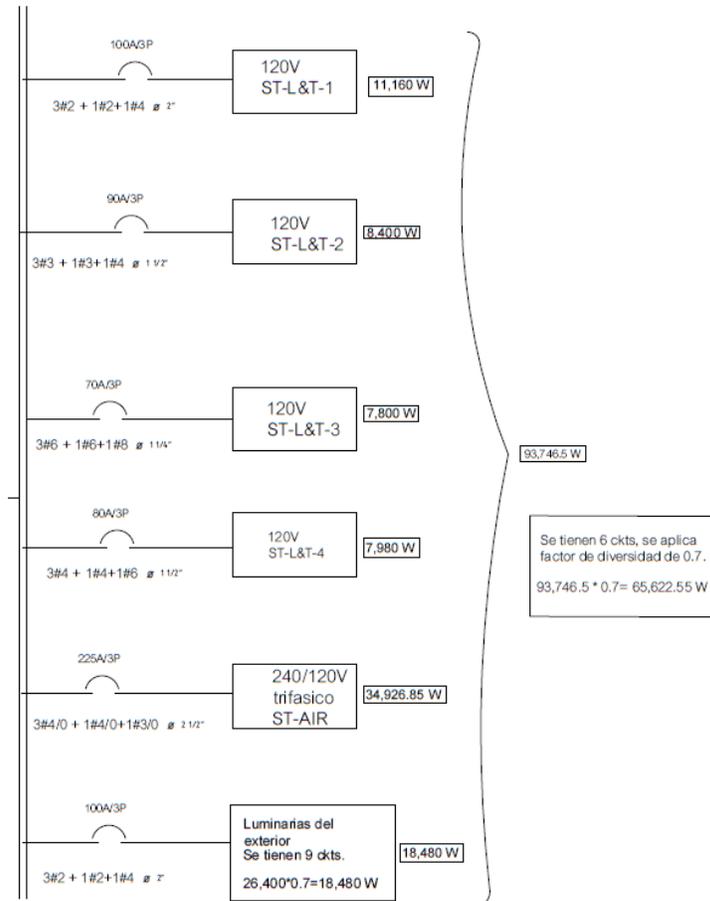


Figura 12: Sección de tablero general

Al resultado obtenido de 65,622.55 W se le aplica un 50% más para carga futura y para determinar la capacidad del transformador en KVA utilizamos un factor de potencia 0.8:

$$KVA \text{ trafo} = \frac{65,622.55 * 1.5}{0.8} = 123,042 \text{ VA}$$

Por lo tanto la capacidad de valor comercial del transformador Pad-Mounted para el edificio de Ciencias básicas será de 150KVA, este mismo procedimiento se ha utilizado para calcular la capacidad de los transformadores para los nuevos edificios de Asociaciones y Posgrado.

A continuación se hizo una comparación de la potencia demandada por los edificios, donde se realizó la medición y el porcentaje de carga que ocupan del transformador al que están conectados actualmente, después se proyectó nuevas capacidades de transformadores donde se tomó un incremento del 50% de carga, se hace la aclaración que inicialmente se le hizo un incremento al edificio Auditorio Marmol de 40KW para aire acondicionado. (Cuadros anaranjados son edificaciones futuras).

EDIFICIO	CARGA ACTUAL Y % DE SUBESTACION ACTUAL		INCREMENTO CARGA FUTURA PROYECTADA %50	CARGA TOTAL KW	CAPACIDAD SUBESTACION ACTUAL KVA	CARGA TOTAL KVA CON FP 0,8	CAPACIDAD SUBESTACION NUEVA
	KW	%					
BIBLIOTECA	40,290	13%	20,145	60,435	300	75,5438	112,5KVA 3φ
EDIFICIO B-C-D	17,700	18%	8,850	26,550	100	33,1875	50KVA 1φ
MECANICA	51,640	23%	25,820	77,460	225	96,825	112,5 KVA 3φ
INDUSTRIAL	40,030	13%	20,015	60,045	300	75,0563	112,5 KVA 3φ
CIVIL	29,250	13%	14,625	43,875	225	54,8438	225KVA 3φ
ADMINISTRATIVO	72,180	32%	36,090	108,270		135,338	
AUDITORIO MARMOL	46,250	185%	23,125	69,375	25	86,7188	112,5KVA 3φ
ELECTRICA.POTENCIA	29,900	10%	14,950	44,850	300	56,0625	112,5KVA 3φ
ARQUITECTURA	-	-	-	-		-	
ASOCIACIONES	64,923	-	32,462	97,385		-	
CIENCIAS BASICAS	65,62255	-	32,811	98,434	-	123,042	150 KVA 3φ
POSGRADO	39,936911	-	19,968	48,825	-	61,0313	75KVA 3φ

Tabla 3: Cuadro comparativo de cargas en edificaciones de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura.

#### 1.4 Recurso solar disponible e índice de productividad

Debido a la ubicación geográfica del país el recurso solar es favorable para invertir en generación de energía eléctrica fotovoltaica, con base al estudio realizado en el proyecto SWERA coordinado por el PNUMA, y de los trabajos de investigación desarrollados en la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la UES, entre ellos, los resultados de estudio realizado en el SFV de 24.57 Kwp instalado en el edificio de Cel. La información obtenida proviene de condiciones reales de operación lo que permite validar mejor los resultados.

Estación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Promedio
S-27	5,1	5,6	6,2	5,9	5,2	5,3	5,9	5,6	4,9	4,8	5,0	4,8	5,4
S-25	4,9	5,4	5,7	5,4	4,9	5,1	5,5	5,2	4,6	4,8	4,8	4,8	5,1
NASA	5,8	6,4	6,7	6,6	5,9	5,7	6,2	6,2	5,4	5,5	5,6	5,5	6,0
NASA 15"	6,6	6,9	6,9	6,4	5,8	5,7	6,2	5,9	5,3	5,7	6,2	6,3	6,2
CEL	5,9	6,6	6,6	5,6	5,2	5,1	6,2	6,7	5,8	5,7	5,3	5,3	5,8
CEL 15"	6,8	6,8	6,8	5,5	5,0	4,8	5,8	6,5	5,8	6,1	5,9	6,2	5,9

Tabla 4: Comparativa de valores de irradiancia promedio en KWATTS/m<sup>2</sup> en Julio del 2011

La tabla 4 muestra que las mediciones obtenidas en CEL, son representativas del recurso solar existente en la Ciudad Universitaria, distante aproximadamente un Km del sitio CEL, por tanto dichos valores, incluyendo el índice de productividad  $Y_f = 1537.71$  KWh/KWp obtenido de las mediciones efectuadas durante un año, representan una buena referencia para la evaluación del sistema fotovoltaico de la FIA. Las abreviaturas S-27 y S-25, corresponden a estaciones meteorológicas ubicadas en San Salvador y obtenidas del proyecto SWERA<sup>3</sup>.

(3): SWERA, MAGMA UCA, Determinación del potencial Solar y Eólico en El Salvador" Octubre 2005.

## 1.5 Diseño del sistema FV de cada edificio.

La instalación solar fotovoltaica proyectada aquí, se ubicará sobre los edificios de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura citados en el apartado anterior, El generador fotovoltaico estará formado por paneles marca ALBATECH (o equivalentes), la potencia máxima del generador variará de acuerdo a la capacidad de colocación de MFV en el área del techo de cada edificio. Estos módulos fotovoltaicos se situarán sobre soportes metálicos fijos.

La instalación eléctrica del proyecto se ha dividido en tres circuitos diferentes de conductores, de sección distinta desde los paneles solares hasta el punto de conexión a la red de baja tensión. El primer circuito tendrá el arreglo de MFV hacia una caja de conexión del generador fotovoltaico, de esta saldrá solo dos cables para conectarlo al inversor, siendo este el circuito dos, el tercer circuito implementará la conexión del inversor hacia la red de baja tensión.

Con el objeto de determinar el tipo de Inversor y MFV a emplear se generaron los siguientes criterios:

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, se ejecute dentro del rango de operación donde el inversor controla el MPPT.

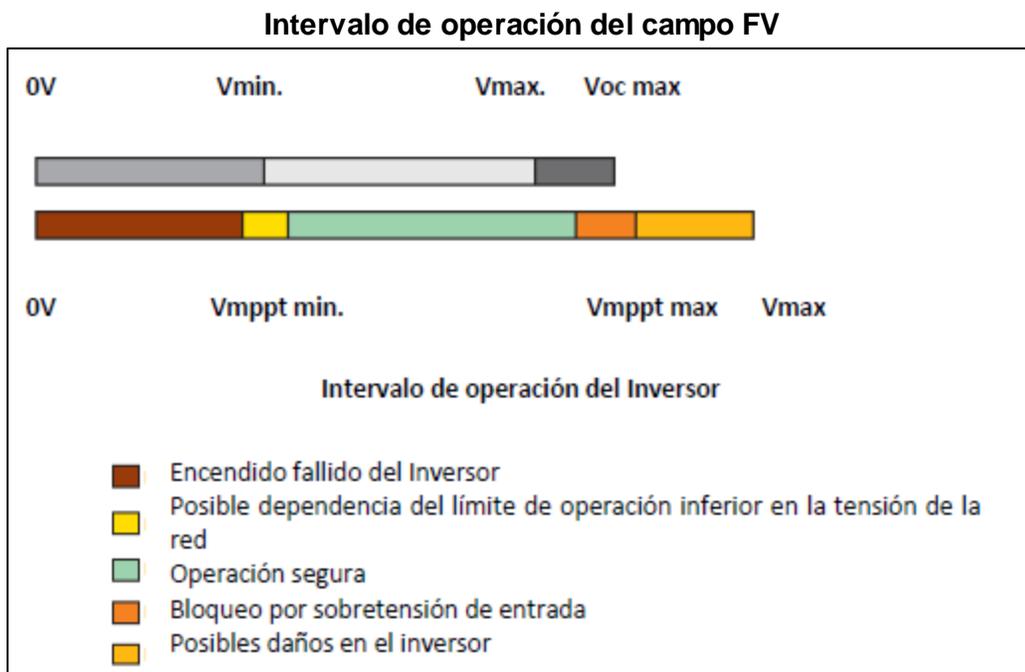


Figura 13: Intervalo de operación en DC del campo FV y del inversor.

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 <sup>4</sup>.

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  $\text{KWp}/\text{Área}$  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.

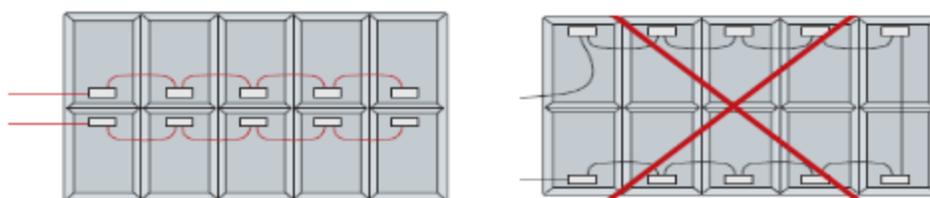


Figura 14: conexión entre MFV

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.

(4): Documento de Weidmüller. "Protección contra sobretensiones en instalaciones fotovoltaicas".



Figura 15: 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, en la FIA se instalaran sobre techo inclinado y losa <sup>5</sup>.

### 1.5.1 Criterios para determinar el tamaño del Módulo Fotovoltaico.

Se evaluaron diferentes tamaños de MFV de manera que la relación KWp/área sea la mayor, con lo cual se optimiza el área disponible.

DIMENSIONES		POTENCIA	ÁREA	RELACIÓN	TECNOLOGIA
LARGO(M)	ANCHO(M)	W	m <sup>2</sup>	W/Área	
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	165,30	Monocristalino
1,95	0,99	300	1,93	155,40	Monocristalino
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 5: Cuadro comparativo Wp/área entre tecnologías <sup>5</sup>.

La Tabla 5 muestra los resultados de la evaluación, entre los módulos que tiene un mayor índice de relación KWp/área, está el de 310W a utilizar en este proyecto.

Algunas características de este módulo fotovoltaico son su eficiencia de conversión de 15.7%, 72 celdas solares policristalinas, que se ocupan para la captación de irradiancia solar.

(5): Tesis: "Aplicación del recurso fotovoltaica en el Campus de la Universidad de El Salvador".

MODULO SOLAR ALBATECH 310W		
72 Celdas/Policristalino		
RENDIMIENTO BAJO CONDICIONES DE PRUEBA (STC)*		
Potencia Máxima	Pmax	310 W
Voltaje de Circuito Abierto	Voc	45.7 V
Voltaje de Máxima Potencia	Vmpp	37.14 V
Corriente de Corto Circuito	Isc	8.87 A
Corriente Máxima Potencia	Impp	8.41 A

Figura. 16: Especificaciones de MFV a utilizar.

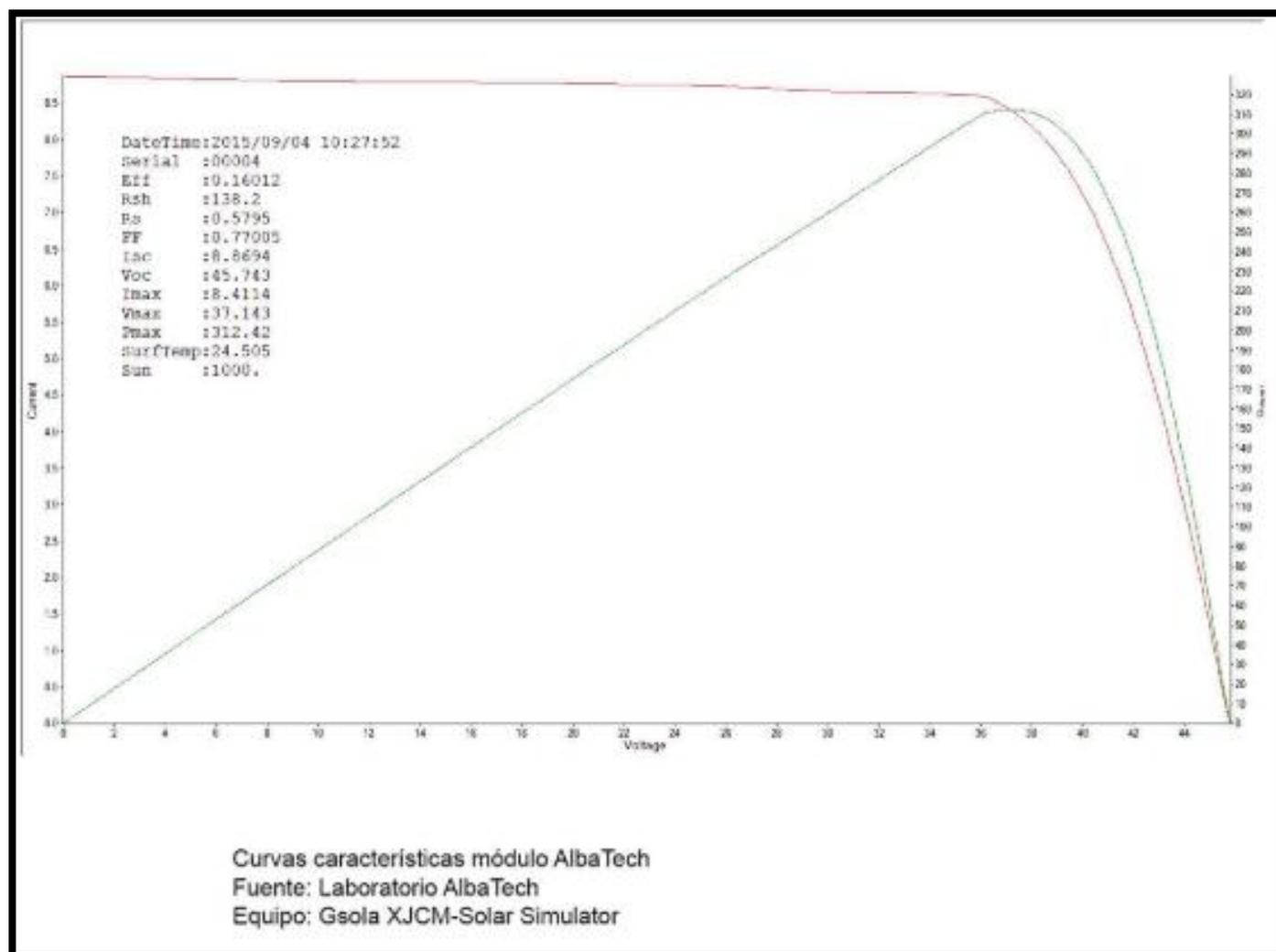
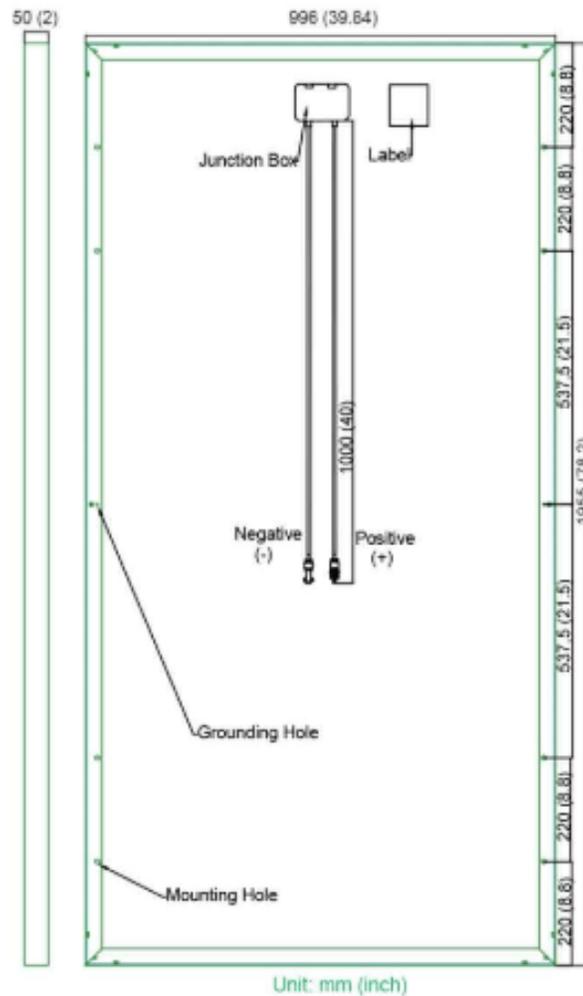


Figura 17: Características técnicas de MFV.

Dimensiones del MFV:



### 1.5.2 Elección del inversor.

Una de las decisiones más importantes que se deben tomar en este tipo de diseños es la elección correcta del inversor. Para la selección de un inversor que cumpla los requerimientos técnicos que imponen los paneles solares, se calcularán las tensiones y corrientes máximas y mínimas que podrían tenerse a la salida del generador, teniendo en cuenta todo el funcionamiento normal de los paneles solares a la hora de entregar la máxima potencia, como el funcionamiento de los módulos solares cuando están sometidos a condiciones de temperaturas distintas a las establecidas en las especificaciones estándar de medida <sup>6</sup>.

(6): Diseño de una instalación fotovoltaica de venta a red con monitorización de energía, Rubén Crego Villarroel.

Se optó como referencia los inversores fabricados por SMA, aunque podrían ser ABB, Advanced Energy, Aurora y de otros fabricantes debidamente certificados y de amplia experiencia en la fabricación de inversores de conexión a la red. El balanceo de la producción de energía, también es importante, de manera que en el caso de suministro trifásico se escogerá el número de inversores en un múltiplo de tres, distribuidos uniformemente entre las fases.

### 1.5.3 Análisis de temperatura

Donde se planea colocar los MFV, se considera un rango de temperaturas de 10 °C a 75 °C para el análisis de parámetros eléctricos a temperaturas de funcionamiento extremas.

Para dicho análisis se asumieron 3 valores de coeficiente de temperatura según tecnología del MFV, debido a que en la hoja técnica del panel solar a utilizar, no se muestran.

$$\beta = \frac{-0.30 \%}{^{\circ}\text{C}} * \frac{45.7V}{100} = -0.137 \quad \text{Para voltaje de circuito abierto.}$$

$$\alpha = \frac{0.02 \%}{^{\circ}\text{C}} * \frac{8.87}{100} = 0.0017 \quad \text{Para corriente de corto circuito.}$$

$$\gamma = \frac{-0.37 \%}{^{\circ}\text{C}} * \frac{37.14}{100} = -0.137 \quad \text{MPP tensión.}$$

Para conocer la tensión de circuito abierto, se medirá a la salida de cada MFV cuando están trabajando bajo estas condiciones de temperatura de célula diferente a 25 °C, se aplicara el coeficiente de temperatura para la tensión de circuito abierto (VOC) especificado como  $\beta$ .

$$V_{OC(X^{\circ}\text{C})} = V_{OC(25^{\circ}\text{C})} + \Delta T * \Delta V_{OC}(T)$$

Dónde:

$V_{OC(X^{\circ}\text{C})}$  : Es la tensión a circuito abierto del panel a una temperatura X.

$V_{OC(25^{\circ}\text{C})}$  : Es la tensión a circuito abierto del panel en condiciones estándar.

$\Delta T$ : Es la variación de la temperatura de trabajo del panel y las condiciones estándar de medida.

$\Delta V_{OC}(T)$ : Es el coeficiente de temperatura de la tensión de circuito abierto del panel.

Se obtiene la variación de tensión a temperaturas extremas para el MFV a utilizar.

Para Voc y Vmpp a 10 °C:

$$V_{OC(10^{\circ}\text{C})} = 45.7V + (10 - 25) * (-0.137) = 47.755V$$

$$V_{mpp(10^{\circ}\text{C})} = 37.14V + (10 - 25) * (-0.137) = 39.195V$$

Para Voc y Vmpp a 75 °C:

$$V_{OC(75^{\circ}\text{C})} = 45.7V + (75 - 25) * (-0.137) = 38.85V$$

$$V_{mpp(75^{\circ}\text{C})} = 37.14V + (75 - 25) * (-0.137) = 30.29V$$

La corriente de cortocircuito que se producirá a la salida de cada MFV cuando están trabajando bajo condiciones de temperatura diferentes a 25 °C, se aplicara el coeficiente de temperatura para la corriente de cortocircuito (Isc) especificado como  $\alpha$ .

$$I_{SC(X^{\circ}\text{C})} = I_{SC(25^{\circ}\text{C})} + \Delta T * \Delta I_{SC} (T)$$

Donde:

$I_{SC(X^{\circ}\text{C})}$  : Es la corriente de cortocircuito del panel a una temperatura X.

$I_{SC(25^{\circ}\text{C})}$  : Es la corriente de cortocircuito del panel en condiciones estándar.

$\Delta I_{SC} (T)$ : Es el coeficiente de temperatura de cortocircuito del panel.

Se obtiene la variación de corriente de cortocircuito a temperaturas extremas para el MFV a utilizar.

Para Isc a 10 °C:

$$I_{SC(10^{\circ}\text{C})} = 8.87 + (10 - 25) * (0.0017) = 8.84A$$

Para Isc a 75 °C:

$$I_{SC(75^{\circ}\text{C})} = 8.87 + (75 - 25) * (0.0017) = 8.96A$$

En la siguiente tabla se muestra los resultados obtenidos de los parámetros eléctricos que se ven afectados con la variación de temperatura, en un MFV. Observando que a menor temperatura la tensión de circuito abierto tiende a ser mayor, mientras que la corriente de cortocircuito es mayor si aumenta la temperatura.

	10 °C	25 °C	75 °C
Voc	47.755 V	45.7 V	38.85 V
Vmpp	39.195 V	37.14 V	30.29 V
Isc	8.84 A	8.87 A	8.96 A

Tabla 6: Variación de parámetros eléctricos según temperatura.

## 1.6 Edificaciones B, C y D.

Son edificios de cuatro niveles con techo de lámina galvanizada distribuido en dos aguas una orientada al sur y la otra al norte. Los edificios B y C son exclusivos para aulas, en D alberga Aulas y oficinas de Arquitectura. Por ser los tres edificios de iguales características

se empleará el mismo diseño, sin embargo, debe considerarse que el SFV, no exceda la capacidad del transformador de alimentación de 50 KVA, por esta razón solo se instalarán MFV en los techos orientados al Sur. En cada edificio el área de techos al sur es de 159 m<sup>2</sup>, con pendiente de 7°. Se observa en los costados este y oeste una pared que en su punto más alto tiene una altura de 1.30 metros, factor que se ha considerado en el espaciamiento de los MFV para no proyectar sombra. El tablero de inversores TI, se instalará en el último nivel de cada edificio.



Figura 18: Techo de edificaciones.

### 1.6.1 Distribución de panes solares al costado sur de las edificaciones B, C y D.

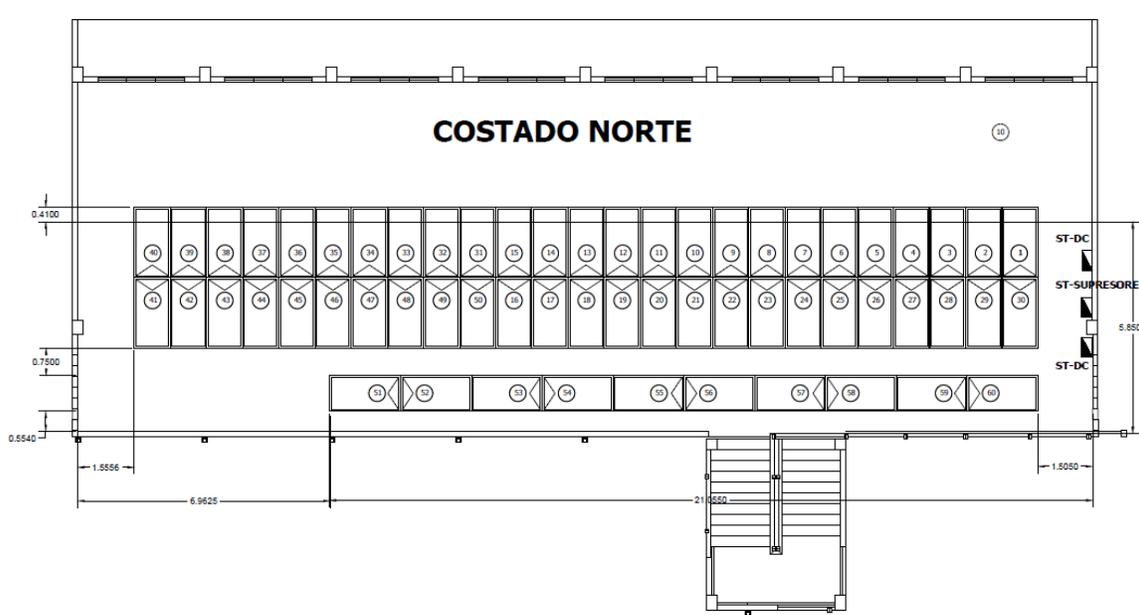


Figura 19: Colocación de MFV.

De acuerdo con la distribución, pueden instalarse 60 MFV de 310 W, esto equivale a 18.6 KW que se pueden generar, de manera que se instalarán 2 inversores de 9,000 W, modelo del inversor Sunny Boy, cada inversor tiene una potencia máxima de entrada de 9400W, por lo cual hace factible la conexión con respecto a la potencia generada de los MFV.

Cada arreglo de 3 string se conectarán al combiner box (ST-DC), que tendrá fusibles DC a 15 A para ambas polaridades, así mismo habrá un punto común para tierra, el cual unirá las 3 string, se optó poner un gabinete para intemperie que contendrá los supresores de cada combiner box.

## 1.6.2 Especificaciones del Inversor

Technical data	Sunny Boy 9000TL-US	
	208 V	240 V
<b>Input (DC)</b>		
Max. usable DC power (@ cos φ = 1)	9400 W	9400 W
Max. input voltage	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	31.0 A	27.1 A
Max. input current per string	31.0 A	27.1 A
Number of independent MPP inputs	1	1
Strings per MPP input @ Combiner Box	6	6
<b>Output (AC)</b>		
Rated power / max. apparent AC power	9000 W / 9000 VA	
Nominal AC voltage / nominal AC voltage range	208 V / 183 V - 229 V	240 V / 211 V - 264 V
AC power frequency / range	60 Hz / 59.3 Hz ... 60.5 Hz	60 Hz / 59.3 Hz ... 60.5 Hz
Max. output current	43.3 A	37.5 A
Power factor at rated power	1	
Feed-in phases / connection phases	1 / 2	
<b>Efficiency</b>		
CEC efficiency / max. efficiency	98 % / 98.6 %	98 % / 98.7 %
<b>Protective devices</b>		
DC reverse polarity protection	●	
AC short-circuit current capability	●	
Galvanic isolation	-	
All-pole-sensitive residual-current monitoring unit	●	
Arc-fault circuit interrupter (according to UL 1699B)	●	
Protection class	I	
Overvoltage category	IV	
<b>General data</b>		
Dimensions (W / H / D)	470 / 615 / 240 mm (18.4 / 24.1 / 9.5 inch)	
Dimensions of DC Disconnect (W / H / D)	187 / 297 / 190 mm (7.28 / 11.7 / 7.5 inch)	
Weight	35 kg / 78 lb	
Weight of DC Disconnect	3.5 kg / 8 lb	
Operating temperature range	-40 °C ... +60 °C / -40 °F ... +140 °F	
Noise emission (typical)	46 dB(A)	
Self-consumption (night)	0.15 W	
Topology	Transformerless H5	
Cooling concept	OptiCool	
Degree of protection	NEMA 3R	
Degree of protection of connection area	NEMA 3R	
Max. permissible value for relative humidity (non-condensing)	100 %	
<b>Features</b>		
DC connection	Screw terminal	
AC connection	Screw terminal	
Display	Text line	
Interface: RS485 / Bluetooth / WebConnect	○ / ○ / ○	
Warranty: 10 / 15 / 20 years	● / ○ / ○	
Certificates and approvals (more available on request)	UL1741, UL1998, IEEE1547, FCC Part 15 (Class A & B), CAN/CSA C22.2 107.1-1, UL 1699B	
● Standard features ○ Optional features - Not available		
NOTE: US inverters ship with gray lids Data at nominal conditions		
Type designation	SB 9000TLUS-12	

Figura 20: Hoja técnica de inversor.

### 1.6.3 Análisis para capacidad de MFV a conectar al inversor

Para la elección de este modelo SB 9,000TL- US de inversor se han tenido en cuenta varios puntos a destacar:

El rango de tensiones en el que puede trabajar al punto de máxima potencia oscila entre 300 V y 480 V, de manera que para el MFV escogido cuyo voltaje MPP es de 37.14 V se requiere un máximo de  $480/37.14 = 12.92$  MFV, de igual manera se requiere un mínimo de  $300/37.14 = 8.07$  MFV.

Si la máxima potencia recomendada en MFV en el inversor es de 9400 Wp, se requiere  $9400/310 = 30.32$  MFV por inversor, si se emplean 3 String por inversor, se tendrán 10 MFV por String, lo que hace un total de 30 MFV por inversor y  $30 \times 310 \text{ Wp} = 9.3\text{KWP}$  por inversor.

Con 10 MFV por String se tiene:  $V_{oc} = 10 \times V_{oc} = 10 \times 45.7\text{V} = 457\text{V}$ , lo cual es aceptable ya que la máxima tensión que soporta a la entrada es de 600 V.

De igual manera se tiene una tensión  $V_{mpp}$  aceptable de  $V_{mpp} = 10 \times 37.14 = 371.4 \text{ V}$ .

La corriente de cortocircuito  $I_{sc}$  por String = 8.87 A, se colocaran 3 String generando una corriente de  $I_{sc} = 26.61 \text{ A}$ , lo que es satisfactorio ya que la máxima corriente de entrada es de 31 A.

Los MFV tienen la característica de modificar sus parámetros eléctricos con respecto a la variación de temperatura, por ello con respecto a la tabla 6, donde se muestran los parámetros eléctricos a diferentes temperaturas del panel solar a utilizar, se verifica si el arreglo de MFV encontrado anteriormente es favorable para los parámetros eléctricos de entrada del inversor.

	SB 9,000TL- US	Arreglo de MFV
<b>Maximo voltaje de entrada</b>	600 V	$V_{oc}(10^\circ\text{C}) * 10 = 47,75\text{V} * 10 = 477,55 \text{ V}$
<b>Tensión MPP maxima</b>	480 V	$V_{mpp}(10^\circ\text{C}) * 10 = 39,195\text{V} * 10 = 391,95\text{V}$
<b>Tensión MPP minima</b>	300V	$V_{mpp}(75^\circ\text{C}) * 10 = 30,29\text{V} * 10 = 302,9\text{V}$
<b>Corriente de entrada</b>	31 A	$I_{sc}(75^\circ\text{C}) * 10 = 8,96\text{A} * 3 = 26,88 \text{ A}$

Tabla 7: Variación de parámetros eléctricos para arreglo de MFV.

Como se logra apreciar en la tabla 7, el arreglo de MFV es favorable ya que no está fuera de los límites permitidos por el inversor SB 9,000TL-US, y se logra que el arreglo de MFV este siempre en el rango de tensión de MPP, obteniendo así el aprovechamiento eficiente del inversor dentro de los límites de temperaturas establecidos.

### 1.6.4 Diagrama DC de edificios B, C Y D.

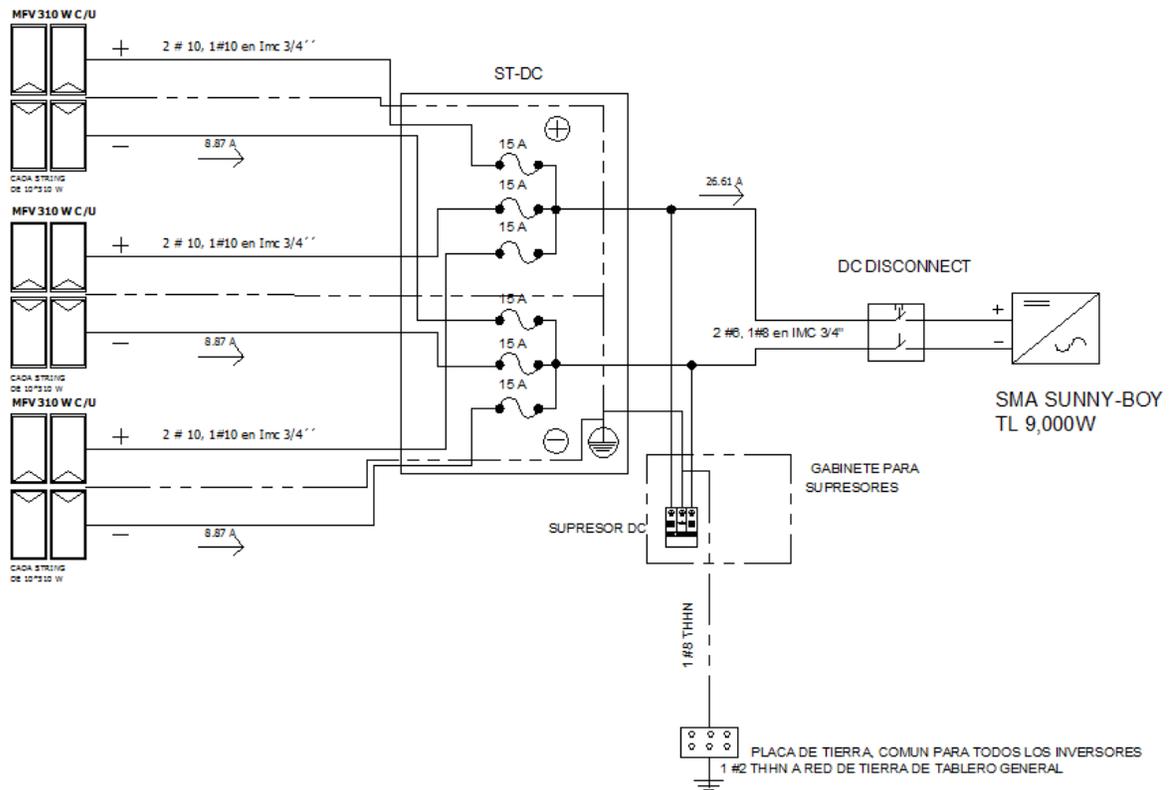


Figura 21: Diagrama unifilar del circuito DC del generador fotovoltaico de edificios de aulas.

El calibre de los cables, diámetros de tuberías y ampacidad de los fusibles mostrados en el diagrama unifilar han sido calculados en base a la normativa del NEC 2008.

### 1.6.5 Diagrama unifilar AC de edificio B.

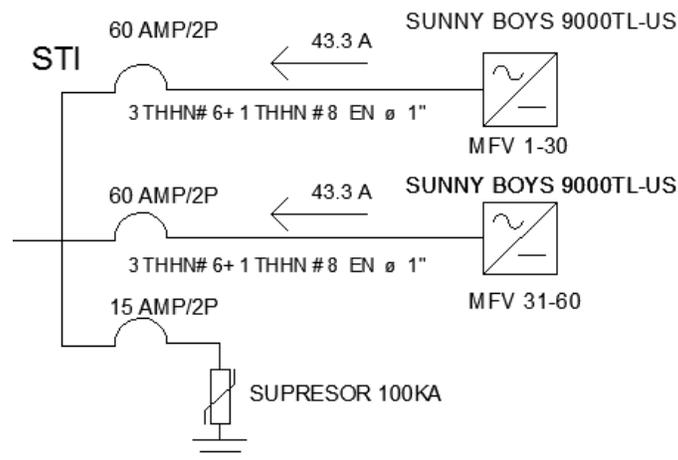


Figura 22: Diagrama unifilar AC para ST de inversores

La siguiente figura muestra que cada inversor se conectará entre fases al tablero de inversores.

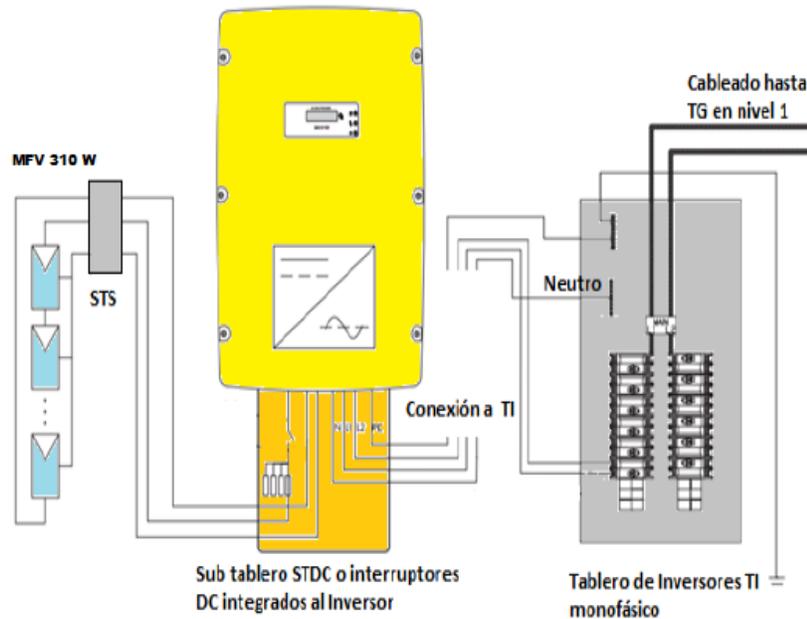


Figura 23: Modo de conexión tablero de inversores (STI).

Tanto los inversores como el subtablero de inversores será ubicado en la cuarta planta del edificio, los inversores se conectan entre fases, así mismo se sugiere que se conecte el neutro del inversor con el del sistema, se debe tomar en cuenta el equilibrio de fases, para este caso son 2 inversores, cada inversor en su salida generará una corriente de 43.3A.

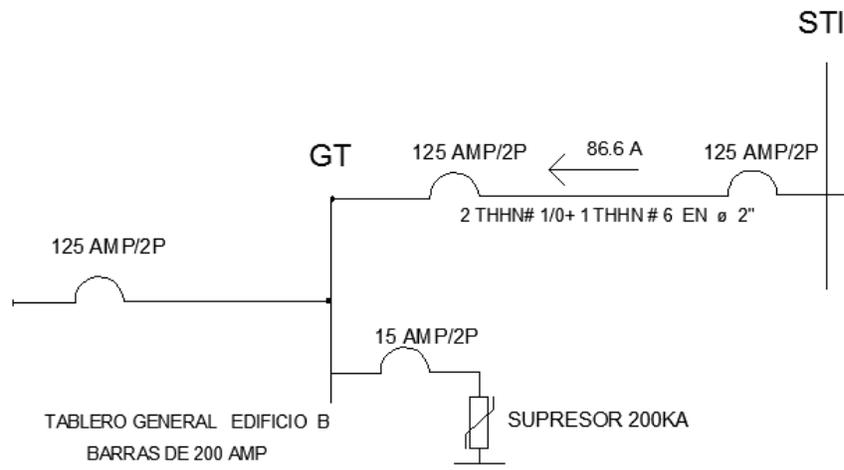


Figura 24: Diagrama unifilar AC para TG

El STI se conectar a un Tablero general con barra de 200 A, ubicado en la primera planta, este TG es alimentado por un transformador de 100KVA 240/120 V, el cálculo de calibre de conductores se realizó en base al NEC 2008.

### 1.6.6 Selección de dispositivos de protección contra sobretensiones (DPS).

Las sobretensiones son picos de tensión de muy corta duración que también se conocen como transitorios, estos son producidos por la caída de rayos sobre algún conductor de la red o en una zona muy cercana, que pueden crear corrientes inducidas, por tal motivo en el diseño de las figuras 21, 22 y 24 se han incorporado DPS o supresores, para proteger los diferentes equipos de transitorios.

La selección se ha hecho en base a las normas **DIN VDE 0100-712** y **UL 1449 3rd Edición**.

Según la norma **DIN VDE 0100-712**, deben instalarse un DPS en el lado DC para proteger al inversor de las sobretensiones que provengan del lado de los módulos y uno del lado AC para protegerlo de sobretensiones que provengan de la red, estos DPS's debe de ser de Tipo II según la norma **UL 1449 3rd Edición**.

Descripción del DPS tipo II.

Este DPS se puede instalar en las partes de la instalación eléctrica que se encuentran después del interruptor principal. Los DPS's o supresores que se encuentran en las figuras 21 y 22 son de tipo II.

Descripción del DPS tipo I.

Este DPS debe instalarse en los tableros generales, el DPS que se encuentra en el diagrama unifilar de la figura 24 es de tipo I.

Otro dato importante a parte del tipo de DPS a utilizar, es la corriente de supresión que estos deben de soportar. Para determinar este valor de supresión es necesario clasificar el nivel de exposición en base al **Std. IEEE C62.41.1 2002**, en la figura 25 se muestran los diferentes niveles de exposición.

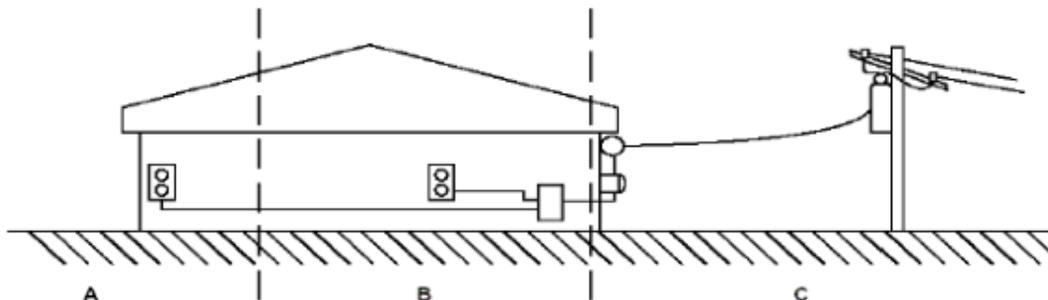


Figura 25: Niveles de exposición de acuerdo con la IEEE C62.41.1 2002

El nivel C es el que se ve más expuesto a transitorios externos, esta es el área de acometidas, alimentadores aéreos y tableros generales en baja tensión. Estos DPS deben de tener una corriente de supresión que este entre 125KA a 250KA. Para el caso de este diseño la corriente de supresión del supresor instalado en el tablero general es de 200KA tal y como se muestra en la figura 24.

El nivel B es considerada como de exposición media, aquí se encuentran el area de los subtableros, alimentadores, UPS's entre otros. La corriente de supresión para este nivel se encuentra entre 80A a 160KA. Este nivel no se utiliza en el diseño.

El nivel A es considerado el de menor exposición, aquí se encuentran tableros de distribución terminales que alimentan a cargas finales, también se encuentran circuitos derivados que alimentan cargas criticas altamente electrónicas (Como el caso de los inversores Sunny Boy). Las corrientes de supresión tomando en cuenta que ya ha pasado por una de las etapas anteriores o ambas, tienen un rango entre 40 KA y 120KA. El supresor del STI está clasificado en este nivel y se ha seleccionado con una corriente de supresión de 100 KA, tal y como se observa en la figura 22. En este mismo nivel se clasifica el supresor del lado DC del inversor con una corriente de supresión de 40KA. Los valores antes expuestos se resumen en la siguiente tabla.

Minimum surge current capacity based on ANSI / IEEE C62.41 location category			
CATEGORY	Application	Per Phase	Per Mode
C	Service Entrance Locations (Switchboards, Switchgear, MCC, Main Entrance)	250 kA	125 kA
B	High Exposure Roof Top Locations (Distribution Panelboards)	160 kA	80 kA
A	Branch Locations (Panelboards, MCCs)	120 kA	40 kA

Tabla 8: valores de corriente de supresión de los DPS según el nivel de exposición.

Todos los DPS de los diseños para los demás edificios, se han establecido siguiendo el mismo criterio que se acaba de describir.

### 1.7 Edificio de Administración Académica.

Para el edificio de Administración académica se ha tomado la distribución de los paneles fotovoltaicos según se observa en la figura 26, los paneles se colocan de forma opuesta para poder ahorrar cable al momento de realizar las conexiones. El techo de este edificio es de tipo plafón.



Figura 26: Vista del techo de Administración



Figura 27: Distribución de los módulos fotovoltaicos en el techo del edificio de administración académica (todos los valores en metros).

Como se observa en la figura 27 el techo de la edificación posee varias inclinaciones, en este caso se calculó la separación que debe de llevar cada MFV, así evitar sombra entre ellos.

$$H = (90^\circ - \text{latitud}) - 23.5^\circ$$

Latitud para San Salvador:  $13.7^\circ$

$$H = (90^\circ - 13.7^\circ) - 23.5^\circ = 52.8^\circ$$

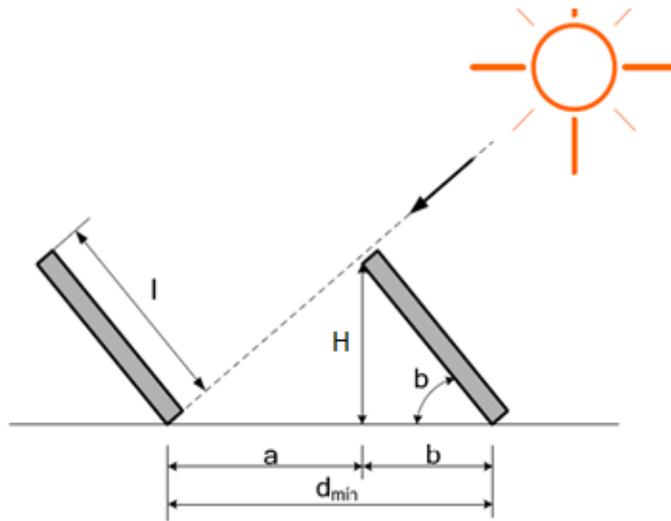


Figura 28: Distancia mínima entre módulos para evitar sombras.

$$d_{min} = l * (\cos\beta + \frac{\sin\beta}{\tan H})$$

Donde:

$d_{min}$ : Distancia mínima entre módulos para evitar sombras.

$l$ : Longitud del módulo, incluido el marco y el soporte correspondiente.

$H$ : Altura de solar en el medio día del mes más desfavorable (21 de diciembre).

$\beta$ : El grado de inclinación de los módulos respecto a la horizontal.

$$d_{min} = 3.91 * (\cos 13.7^\circ + \frac{\sin 13.7^\circ}{\tan 52.8^\circ})$$

$$d_{min} = 4.5 \text{ m}$$

Ahora que ya se calculó ( $d_{min}$ ), se calcula la distancia "a" para que se le pueda dar mantenimiento a los PFV:

$$b = (\cos 13.7^\circ)(3.91) = 3.8 \text{ m}$$

Por lo tanto "a" tiene el siguiente valor:

$$a = 4.5 - 3.8 = 0.7 \text{ m}$$

Tomando en cuenta que este espacio será ocupado para realizar mantenimiento se extiende a 1m. Según la distribución presentada en la figura 27 se obtiene un total de 162 paneles que en total generan una potencia instalada de 50,220 W.

### 1.7.1 Diagrama DC de edificio administración

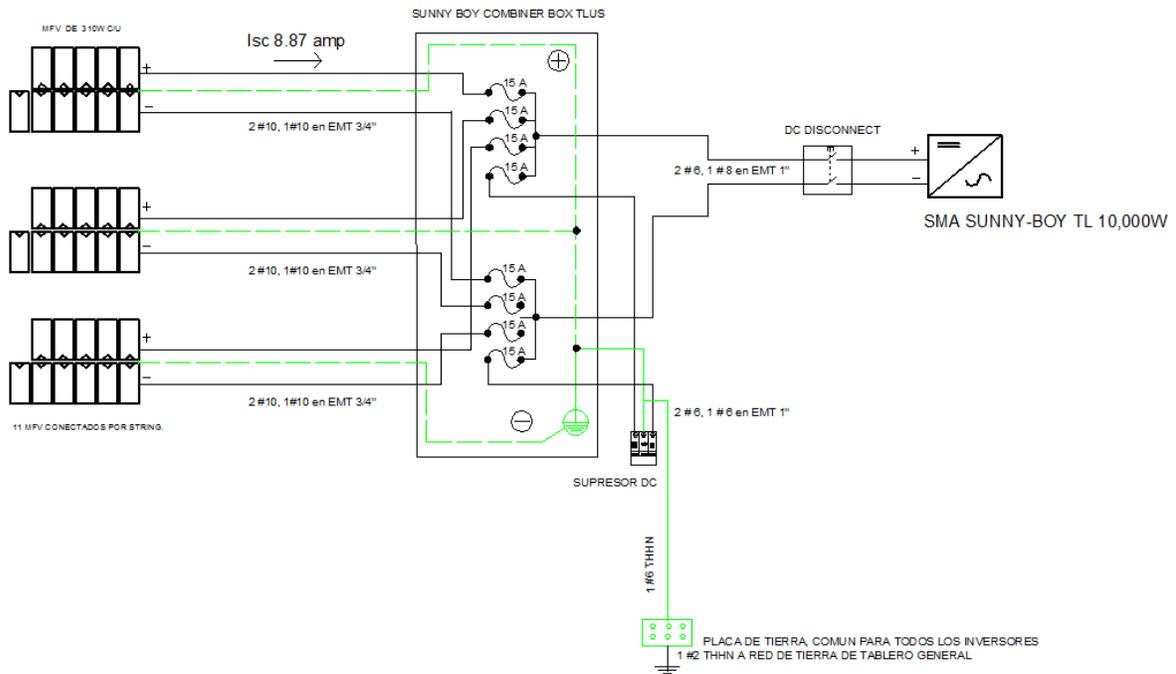


Figura. 29: Diagrama unifilar parte DC.

### 1.7.2 Diagramas unifilares AC de edificio de Administración

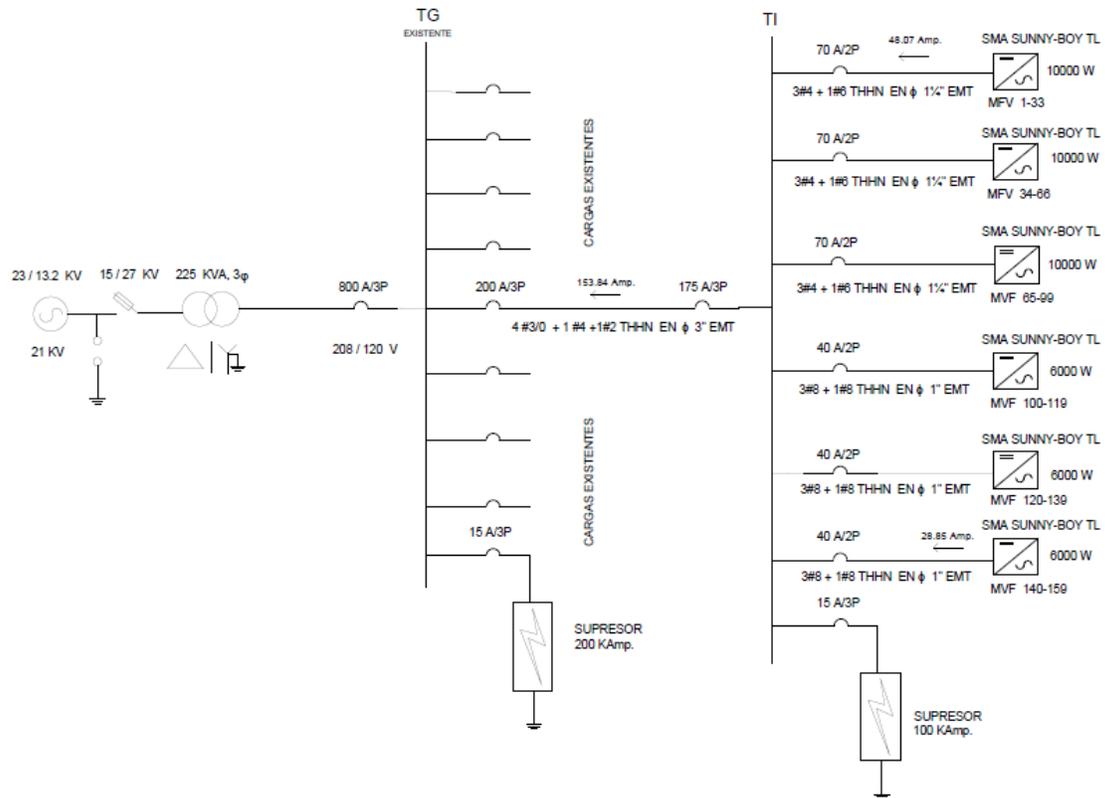


Figura 30: Diagrama unifilar AC.

Inversores	Fase A	Fase B	Fase C
10000 W	48,07	48,07	
10000 W		48,07	48,07
10000 W	48,07		48,07
6000 W	28,85	28,85	
6000 W		28,85	28,85
6000 W	28,85		28,85
<b>TOTAL (Amp)</b>	<b>153,84</b>	<b>153,84</b>	<b>153,84</b>

Tabla 9: Balance de corriente

Debido a que en este diseño por su capacidad instalada y arreglos de string, los inversores varían en capacidad de potencia, por ello para ser conectados al tablero trifásico de inversores, se deberá balancear la corriente entregada por los inversores en cada una de las fases, así como se muestra en la tabla 9.

NOTA: Los demás diseños FV se adjuntan en la sección de anexos.

### 1.7.3 Conexión de los inversores a tableros STI y TG.

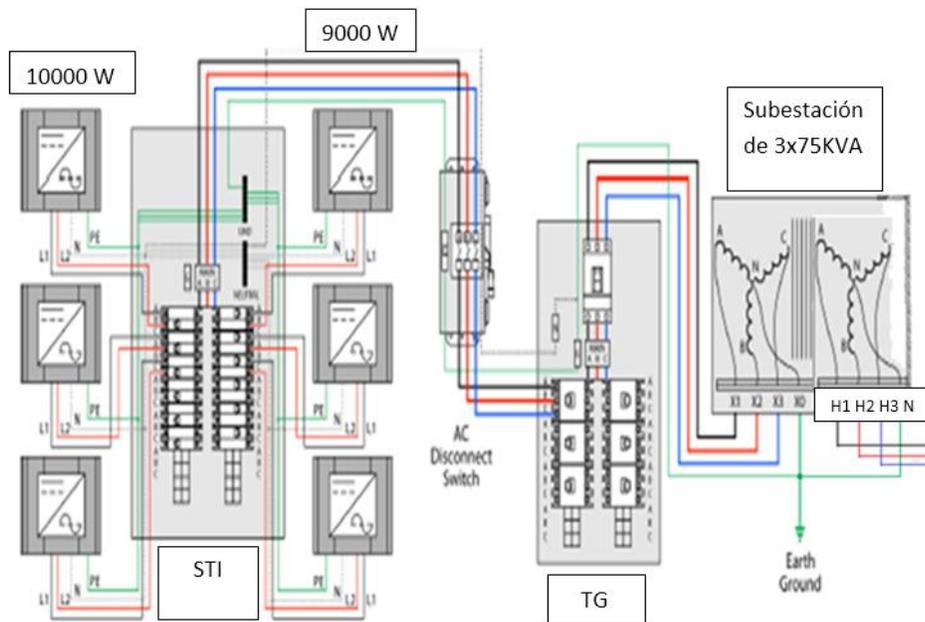


Figura 31: Esquema de conexión de inversores a tableros STI y TG.

Como ejemplo de los dos diseños anteriores, se realizaron en las demás edificaciones donde fuese factible, para mayor detalle de planos en anexos se muestran los planos realizados.

## 1.8 Estructura de soporte para MFV.

Para realizar el diseño de la estructura de soporte para los MFV que se instalarán en los techos inclinados de los diferentes edificios se ha realizado el siguiente análisis, tomando en cuenta el caso particular del techo que se encuentra en el costado norte del edificio de la Biblioteca de la FIA.

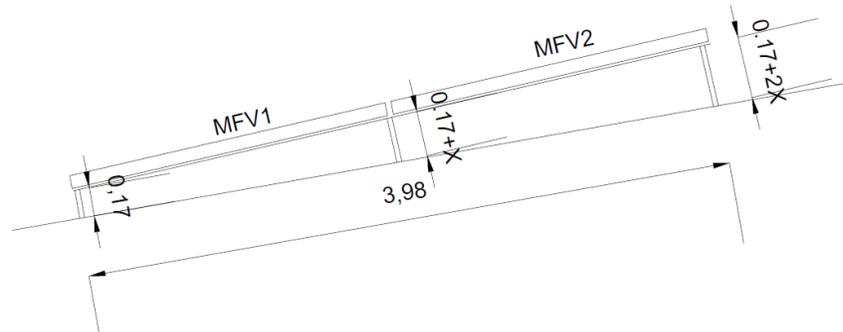


Figura 32: bosquejo para realizar el diseño de la estructura para MFV en techo inclinado.

X se calculó de la siguiente manera:

$$x = 1.955 * \sin(2^\circ)$$

$$x = 0.068 \text{ m}$$

Con el cálculo de “x” se obtiene las siguientes dimensiones que son mostradas en la figura 34.



Figura 33: vista de perfil de estructura de soporte para MFV.

En la figura 33 se observa el perfil de la estructura de soporte de MFV para techos con cierta inclinación, en este caso se ha realizado el bosquejo para el techo del edificio de la Biblioteca de la FIA en su costado norte, que es precisamente donde el techo de lámina tiene 11° de inclinación.

Para los otros edificios con diferentes inclinaciones en sus techos se utilizara la misma estructura ya que esta cuenta con varillas tipo rosca con las cuales se podrán realizar los ajustes correspondientes.

La estructura para poder colocar cuatro paneles solares o módulos fotovoltaicos se presenta en la figura 34:

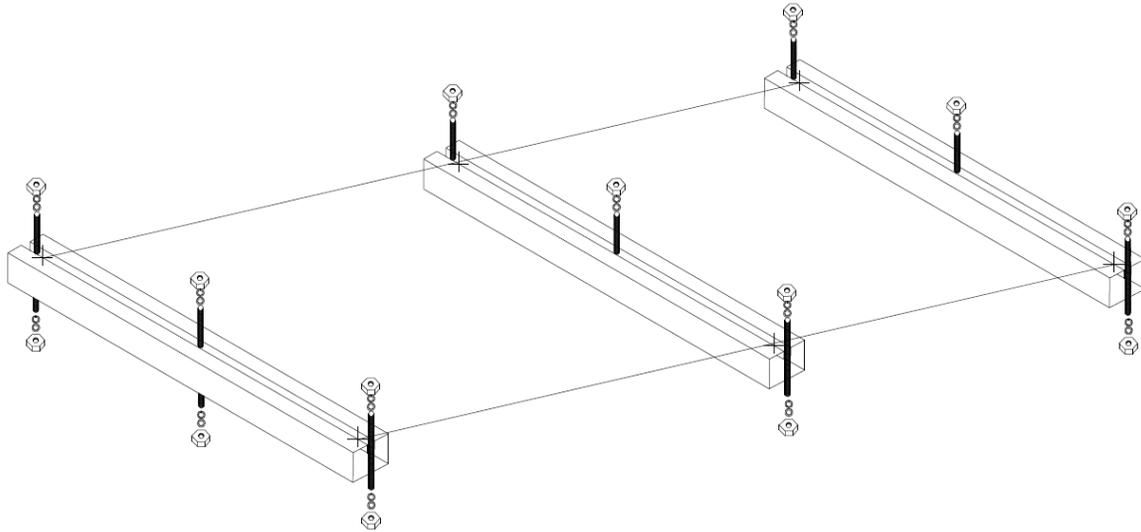


Figura 34: estructura de soporte para MFV en techo inclinado.

Descripción de materiales:

Riel Struct pacho.

Lámina metálica Troquelada.

Varilla roscada de 1/2".

Arandela plana Zinc de 1/2".

Arandela de presión Zinc 1/2".

Tuerca R/O Zinc 1/2".

### **1.9 Potencia generada por MFV.**

Con el objetivo de aprovechar el recurso solar y lograr disminuir el consumo de energía eléctrica brindado por la distribuidora, se implementó MFV en edificaciones donde es factible su utilización, se obtuvo una capacidad de 194.68 KWp para edificaciones existentes mientras que para edificaciones futuras 126.79 KWp, en la siguiente tabla se muestra la potencia generada en KWP por edificio.

EDIFICIO	CAPACIDAD DE MFV en KWp
BIBLIOTECA	24,80
EDIFICIO B-C-D	55,80
MECANICA	49,29
ADMINISTRATIVO	49,29
ELECTRICA.POTENCIA	15,50
ARQUITECTURA	15,50
ASOCIACIONES	24,80
CIENCIAS BASICAS	55,80
POSGRADO	30,69
<b>TOTAL</b>	<b>321,47</b>

Tabla 10: Capacidad instalada en edificios de la FIA.

Para determinar la producción en KWh de un SFV, se emplea en este estudio, los datos reales del índice de productividad “Yf” obtenidos de instalaciones existentes en San Salvador. De acuerdo a la relación:

$$Yf = \frac{E_{GFV}}{P_{nomG}}$$

“Yf”, se expresa en KWh/KWp y se calcula con los resultados obtenidos de mediciones efectuadas en San Salvador. En base a datos recabados por la escuela de Ingeniería Eléctrica en diferentes sitios, se presenta la tabla 11, en el cual se encuentran las cantidades netas de energía medida, entregada a la red en un año dividida entre la capacidad en KWp de la instalación FV. Este factor considera todas las pérdidas existentes en el sistema, en el inversor, resistencia de los conductores, etc., dado que la energía medida KWh, es la neta entregada a la red.

Instalación Fotovoltaica	Valor de Yf= KWh/KWp
Oficinas de CEL	1658,6
Escuela de Ingeniería Eléctrica UES	1426,54
Oficinas de SEESA, San Salvador	1528
Resumen: Promedio anual	<b>1537,71</b>
Resumen: Promedio diario, 365 días	<b>4,21</b>

Tabla 11: Índices de productividad Yf, de varios SFV instalados en San Salvador <sup>7</sup>.

El periodo de mayor consumo de energía por parte de la FIA, se encuentra en el Resto que comprende desde las 5:00 AM a 6:00 PM, para este mismo periodo, en base al pliego tarifario del 15 de abril de 2016 brindado por la SIGET, el precio de energía por KWh, a grandes demandas en media tensión, para la distribuidora CAESS es de \$ 0.093190 + IVA, con este valor se realizó un estimado de ahorro monetario al año por energía producida. En la siguiente tabla se presenta el ahorro esperado para edificaciones actuales y futuras.

(7): SWERA, MAGMA UCA, 2Determinación del potencial Solar y Eólico en El Salvador” Octubre 2005.

EDIFICIO	CAPACIDAD DE MFV en KWp	GENERADO POR SFV EN KWh/Año Ip(1537,71Kwh/Wp)	AHORRO ESPERADO
BIBLIOTECA	24,80	38135,21	\$ 42.645,84
EDIFICIO B-C-D	55,80	85804,22	\$ 95.953,14
MECANICA	49,29	75793,73	\$ 84.758,61
ADMINISTRATIVO	49,29	75793,73	\$ 84.758,61
ELECTRICA.POTENCIA	15,50	23834,51	\$ 26.653,65
<b>TOTAL</b>	<b>194,68</b>	<b>299361,38</b>	<b>\$ 334.769,85</b>
ARQUITECTURA	15,50	23834,51	\$ 26.653,65
ASOCIACIONES	24,80	38135,21	\$ 42.645,84
CIENCIAS BASICAS	55,80	85804,22	\$ 95.953,14
POSGRADO	30,69	47192,32	\$ 52.774,23
<b>TOTAL</b>	<b>126,79</b>	<b>194966,25</b>	<b>\$ 218.026,86</b>

+ IVA

Tabla 12: Ahorro esperado por cada sistema fotovoltaico.

Con el propósito de recopilar la información, se realizó la siguiente tabla donde se muestra el consumo actual de cada edificación, su porcentaje de utilización con respecto a la subestación conectada, así mismo se proyecta un 50% de carga futura con el objetivo de redimensionar la capacidad de cada subestación para la realización del diseño subterráneo que se propone más adelante en este documento, de igual forma se enmarca los resultados de los SFV propuestos, capacidad instalada, generación de electricidad al año y valor económico ahorrado.

#### NOTA:

Los inversores SMA Sunny Boy- TL, los cuales han sido utilizados en el diseño de los SFVCR no poseen un sistema de corrección de factor de potencia, por lo tanto al momento de finalizar la implementación del proyecto se debe verificar si la conexión de los MFV a la red afecta el factor de potencia (Hay que considerar la nueva carga a instalarse en la FIA), en el caso que el factor de potencia varié, se deberá instalarse bancos de capacitores en la red de media tensión para inyectar potencia reactiva y estabilizar el factor de potencia.

EDIFICIO	CARGA ACTUAL Y % DE SUBESTACION ACTUAL		INCREMENTO CARGA FUTURA PROYECTADA %50	CARGA TOTAL KW	CAPACIDAD SUBESTACION ACTUAL KVA	CARGA TOTAL KVA CON FP 0,8	CAPACIDAD SUBESTACION NUEVA	CAPACIDAD DE MFV EN KWp	GENERADO POR SFV EN KWh/Año Ip(1537,71Kwh/Wp)	AHORRO ESPERADO AL AÑO
	KW	%								
BIBLIOTECA	40,290	13%	20,145	60,435	300	75,54375	112,5KVA 3φ	24,80	38135,21	\$ 42.645,84
EDIFICIO B-C-D	17,700	18%	8,850	26,550	100	33,1875	50KVA 1φ	55,80	85804,22	\$ 95.953,14
MECANICA	51,640	23%	25,820	77,460	225	96,825	112,5 KVA 3φ	49,29	75793,73	\$ 84.758,61
INDUSTRIAL	40,030	13%	20,015	60,045	300	75,05625	112,5 KVA 3φ	-	-	-
CIVIL	29,250	13%	14,625	43,875	225	54,84375	225KVA 3φ	-	-	-
ADMINISTRATIVO	72,180	32%	36,090	108,270		135,3375		49,29	75793,73	\$ 84.758,61
AUDITORIO MARMOL	46,250	185%	23,125	69,375	25	86,71875	112,5KVA 3φ	-	-	-
ELECTRICA.POTENCIA	29,900	10%	14,950	44,850	300	56,0625	112,5KVA 3φ	15,50	23834,51	\$ 26.653,65
ARQUITECTURA	-	-	-	-		-		15,50	23834,51	\$ 26.653,65
ASOCIACIONES	64,923	-	32,462	97,385		-		121,730625	150 KVA 3φ	24,80
CIENCIAS BASICAS	65,62255	-	32,811	98,434	-	123,042281	150 KVA 3φ	55,80	85804,22	\$ 95.953,14
POSGRADO	39,936911	-	19,968	48,825	-	61,03125	75KVA 3φ	30,69	47192,32	\$ 52.774,23
METROLOGIA	-	-	-	-	-	-	25KVA 1φ	-	-	-
POLIDEPORTIVO	-	-	-	-	-	-	2 100kVA 1φ	<b>Total edificaciones actuales</b>		\$ 334.769,85
	-	-	-	-	-	-	75KVA 1φ	<b>Total edificaciones futuras</b>		\$ 218.026,86
	-	-	-	-	-	-	225kVA 3φ	<b>TOTAL</b>		\$ 552.796,71

Valorsin  
incluir IVA.

Tabla 13: Tabla informativa del consumo actual, y proyección tanto en capacidad de transformadores como SFV de la FIA.

### 1.10 Presupuesto de los Sistemas Fotovoltaico Conectado a la Red (SFVCR).

El presupuesto de los diferentes diseños de SFVCR, constan de 17 partidas divididas en 4 campos tal y como se muestra en la tabla 14. Dicha tabla se presenta el presupuesto para el edificio de Administración Académica de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, los demás presupuestos diseñados para los edificios de Aulas (B, C y D), Escuela de Ingeniería Mecánica, Escuela de Ingeniería Eléctrica, Biblioteca, Asociaciones estudiantiles, Posgrado y Ciencias Básicas se adjuntan en los anexos del presente documento.

Edificio de Administración Académica								
Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	P.U. material(\$)	P.U. mano de obra (\$)	P.U. admón.(\$)	P.U. (\$)	P.T. (\$)
1	Adquisición de elementos importados							
1.1	Supresores de transientes de 600V, 40KA	6	U	200			200	1200
1.2	Sunny Boy Combiner Box TLUS (SBCBTL6), fusibles 15A 600V AC/DC, 50KA @ 600V DC para terminal + y - de cada string.	6	U	310			310	1860
1.3	Gasto por importación	1	S.U	2169,94			2169,94	2169,94
2	Adquisición e instalación de sistema DC							
2.1	Estructura soporte MFV, con tubo o riel strut de aluminio o acero galvanizado en caliente, y elementos para soporte (perno hexagonal rosca ordinaria, arandelas , tuerca de y electrodos 68.81 OK)	159	U	38	11	17,15	66,15	10517,85
2.2	Panel solar policristalino 310W (Albatech)	159	U	232	12	85,40	329,40	52374,60
2.3	Alimentador desde cada String de MFV a 6 Sunny Boy Combiner Box TLUS, con dos cables fotovoltaicos CCA 600V #10 en tubería EMT de 3/4", elementos de conexión, tubería sostenidas con abrazaderas.	414	m	4,53	2	2,29	8,82	3649,62

Continuación.

Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	P.U. material (\$)	P.U. mano de obra (\$)	P.U. admón.(\$)	P.U. (\$)	P.T. (\$)
2.4	Gabinete de supresores para instalación en intemperie (60x50x25 cm) y su alimentador a cada Sunny Boy Combiner Box TLUS, compuesto por 2#6+1#6+1#6 THHN en Tubería EMT de 1".	1	S.G	1539,22	30	549,227	2118,45	2118,447
2.5	Inversores SMA SUNNY-BOY TL de 10000 W con su alimentador compuesto por 2#6+1#8+1#6 THHN en tubería EMT de 1", desde Sunny Boy Combiner Box hasta el inversor.	3	U	4130,28	180	1508,598	5818,88	17456,63
2.6	Inversores SMA SUNNY-BOY TL de 6000W con su alimentador compuesto por 2#8+1#8 THHN en tubería EMT de 1", desde Sunny Boy Combiner Box hasta el inversor.	3	U	2500,74	180	938,259	3619	10857
3	<b>Adquisición e instalación de sistema AC</b>							
3.1	Alimentador de 3 Inversores de 10KW a TI, con 3#4+1#6 THHN en tubería EMT de 1 1/4" con sus elementos de conexión de tubería al tablero y abrazaderas.	10	m	18,95	3	7,6825	29,6325	177,795
3.2	Alimentador de 3 Inversores de 6KW a TI, con 3#8+1#8 THHN en tubería EMT de 1" con sus elementos de conexión de tubería al tablero y abrazaderas.	10	m	9,14	2	3,899	15,039	90,234

Continuación.

Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	P.U. material (\$)	P.U. mano de obra (\$)	P.U. admón. (\$)	P.U. (\$)	P.T. (\$)
3.3	Sub tablero TI, trifásico, 30 espacios, 5H, barras de 175A, 240/120V, montaje superficial, main de 175 A/3p, AIC 10 Kamp 240/120V AC y protecciones (3 breaker de 70A/2p, 3 breaker de 40A/2p, 1 breaker de 15A/3p, todos con AIC 10Kamp y 240/120V).	1	U	486,74	40	184,359	711,099	711,099
3.4	Circuit Breaker de 175 amperios, 3 polos, 240/120V, 10 Kamp, ubicado en el TG.	1	U	197	10	72,45	279,45	279,45
3.5	Supresor en AC, 208/120 voltios, 100 Kamp. Trifásico, conexión a TI con polarización.	1	U	600	15	215,25	830,25	830,25
3.6	Alimentador de TI a TG, con 4#3/0+1#4+#2 THHN en tubería EMT de 3", con abrazaderas y elementos de conexión de tubería a tablero.	21	U	73,12	4	26,992	104,112	2186,352
3.7	Supresor en AC, 208/120 voltios, 200 Kamp. en TG, con protección 15/3P, 18 Kamp, conexión a TG, cable de tierra de 1/0	1	U	1115	15	395,5	1525,5	1525,5
4	Adquisición e instalación de sistema de tierra							
4.1	Polarizaciones de MFV (15 string) con cable #10 THHN	414	m	0,6	0,5	0,385	1,485	614,79
4.2	Placa de tierra 24"X3/8" con aisladores	1	U	36,17	5	14,41	55,58	55,58
							<b>Total</b>	<b>107055.1</b>

Tabla 14: Presupuesto del diseño SFVCR para el edificio Administración Académica.

El precio unitario de administración se ha calculado tomando en cuenta que este monto debe estar establecido entre un rango del (20% --- 40%), de la suma de los precios unitarios de materiales y mano de obra, para este caso, se proyectó un 35%.

$$P.U. \text{ administración} = (P.U. \text{ materiales} + P.U. \text{ mano de obra}) * 0.35$$

El monto del precio unitario total por partida que se muestra en la tabla 13 se obtiene sumando los precios unitarios de material, mano de obra y administración.

$$P.U. \text{ total} = P.U. \text{ material} + P.U. \text{ mano de obra} + P.U. \text{ administración}$$

El precio total por partida se obtiene multiplicando el precio unitario por la cantidad de unidades que se especifica por cada partida.

$$P.T. = P.U. \text{ total} * \text{Cantidad}$$

En la siguiente tabla se muestra las cantidades totales de cada uno de los diseños de SFVCR junto con la potencia pico a instalarse, en cada uno de los techos de los diferentes edificios.

NOTA: estos valores no incluyen IVA.

Presupuesto total de SFVCR		
Edificio	Potencia instalada (KW)	Costo (\$)
Administración Académica	49,29	107055,10
Arquitectura	15,5	36155,152
Asociaciones	24,8	55385,15
Biblioteca	24,8	62795,374
Ciencias Básicas	55,8	121160,51
Edificios de Aulas (B,C,D)	55,8	134590,02
Posgrado	30,69	71122,037
Mecánica	49,6	113186,53
Eléctrica	15,5	39627,379
<b>Total</b>	<b>321.78</b>	<b>741078,25</b>

Tabla 15: Totalización del presupuesto de SFVCR.

El costo promedio por KW pico instalado para este proyecto está valorado en \$2,303.05, sin incluir IVA.

El monto total del proyecto SFVCR, incluyendo el 13% de IVA, queda de la siguiente manera:

$$741,078.25 * 1.13 = \$837,418.4$$

## **2. CAPITULO II**

**“SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA  
SUBTERRÁNEA PARA LA FACULTAD DE INGENIERÍA Y  
ARQUITECTURA”**

## 2.1 Planteamiento teórico.

En la Universidad de El Salvador todo el sistema de distribución eléctrica que brinda servicio actualmente es aéreo, con el desarrollo del presente proyecto se pretende cambiar el sistema de distribución aéreo a subterráneo en la FIA.

Para interconectar los diferentes transformadores tipo pedestal que suministraran energía a cada uno de los edificios de la FIA, se utilizan conductores que deben estar evidentemente aislados, e instalarse dentro de tubos protectores que puede ser de material PVC grado eléctrico, que se van distribuyendo por bancos de ductos que se construyen a través de zanjas y pozos de registros.

## 2.2 Factibilidad de construcción del sistema subterráneo.

Ventajas del sistema eléctrico subterráneo con respecto al aéreo:

**Seguridad:** Un sistema eléctrico subterráneo proporciona mayor continuidad del servicio ya que garantiza su operación en condiciones meteorológicas críticas, gran porcentaje de inmunidad con accidentes de tránsito y fallas provocados por la fauna, tres situaciones que comúnmente afectan a los sistemas de distribución eléctrica aérea.

**Infraestructura moderna:** La eliminación de postes de soportes de líneas de distribución aérea da una mejor apariencia al sitio en el cual se ha desarrollado el sistema eléctrico subterráneo.



Figura 35: Sitio donde se implementa un sistema eléctrico subterráneo genera una mejor imagen visual.

**Mantenimiento:** Las redes de distribución subterránea requieren de menor mantenimiento que las redes de distribución aérea, lo cual significa una reducción considerable en los costos de mantenimiento. Según la CFE de México (Comisión federal de electricidad) el costo de mantenimiento a una línea aérea es 19.4 veces mayor que a una línea subterránea.

**Desventaja del sistema eléctrico subterráneo.**

Costo: este sistema de distribución eléctrica se requiere de una alta inversión inicial para la ejecución del proyecto.  
Se encuentran con problemas de corrosión.

### 2.3 Tipos de sistema de eléctricos utilizados en redes eléctricas subterráneas.

**Sistema radial:** Este tipo de configuración es el más sencillo en diseño y el que demanda menor recurso económico, aunque en el momento de una falla en algún punto del sistema radial, todos los elementos que se encuentren aguas abajo a partir de ese punto quedarán desenergizados, dado que solamente posee una sola fuente de alimentación.

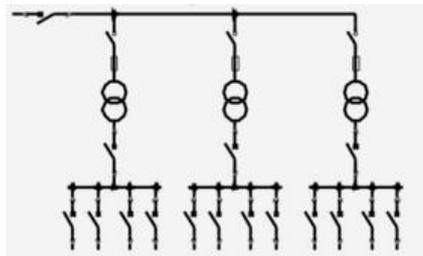


Figura 36: Sistema radial extendido.

Dos características que ayudan a distinguir transformadores para utilizar en sistemas de distribución tipo radial, es que estos tienen tres boquillas en media tensión y un solo seccionador de operación con carga de dos posiciones.



Figura 37: Transformador pedestal para conectar en red radial.

**Sistema en anillo abierto:** En este tipo de redes de distribución se construyen formando un anillo, pero en algún punto de la red se presenta un equipo de seccionamiento que se encuentra normalmente abierto (N.A.). El esquema puede tener una o dos fuentes de alimentación.

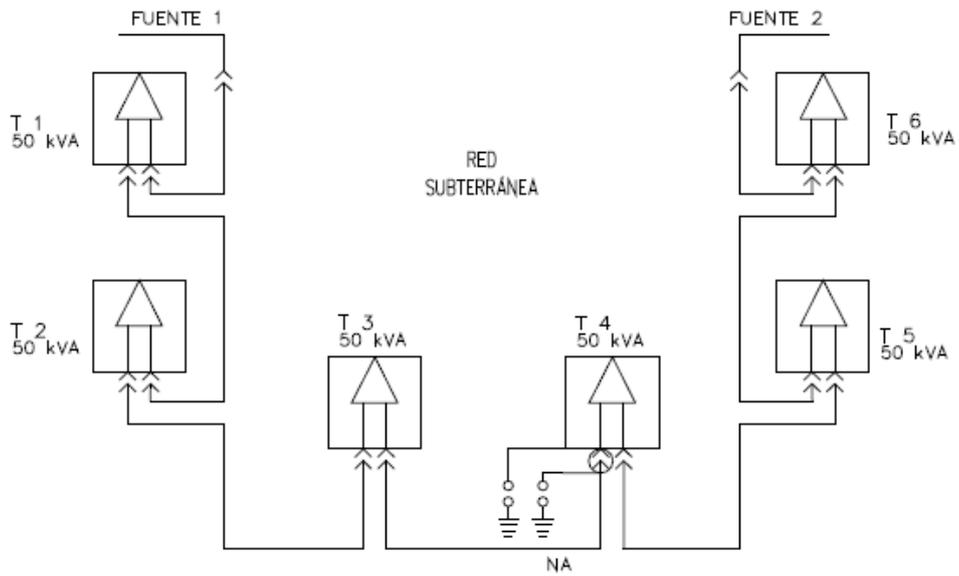


Figura 38: Sistema anillo con dos fuentes de alimentación, normalmente abierto en una de las conexiones de T4.

Dos de las características que distinguen a un transformador para conexión tipo anillo, es que estos tienen 6 boquillas en media tensión y cuentan con un seccionador de operación con carga del tipo anillo de cuatro posiciones.



Figura 39: Transformador pedestal para conectar en red anillo.

## 2.4 Consideraciones del calibre y tipo cable a utilizar en instalaciones subterráneas.

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.

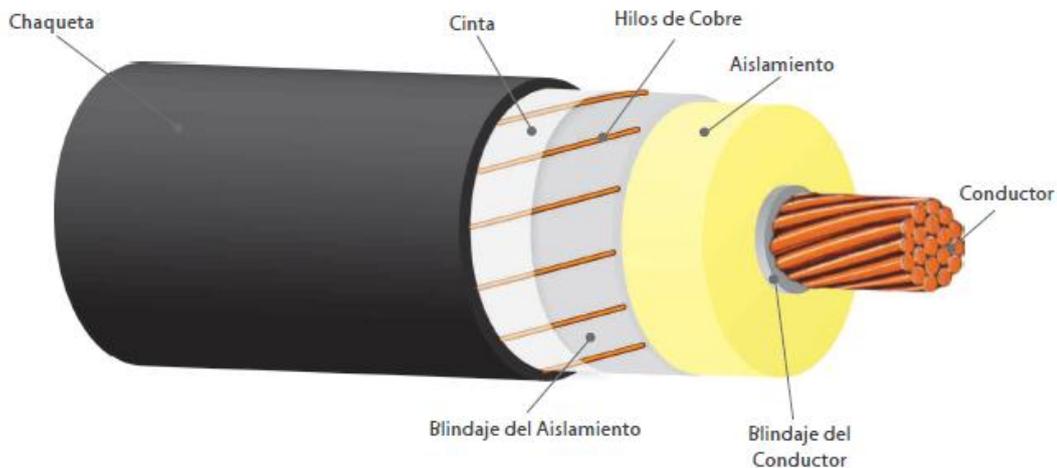


Figura 40: Cable para media tensión con apantallamiento de neutro concéntrico.

### Descripción de las partes que conforman dicho cable.

#### **Blindaje de aislamiento:**

El blindaje es una capa de material que recubre al aislamiento, y se encuentra hecha de Polietileno semiconductor. El objetivo del blindaje es permitir el confinamiento homogéneo de las líneas del campo eléctrico al interior del aislamiento; es una función complementaria a la de la primera capa semiconductor que recubre al conductor. Esta capa de material también es conocida comúnmente como segunda capa semiconductor. De acuerdo con las prácticas de instalación, este material puede estar firmemente adherido al aislamiento o puede ser de fácil remoción, siendo este último caso el más usado por las empresas distribuidoras de energía.

## Apantallamiento:

El apantallamiento es un elemento metálico no magnético que se coloca sobre el blindaje del aislamiento con el fin de complementar las funciones de este último y permitir el proceso de puesta a tierra. Por otra parte, cuando se requiere manejar corrientes de neutro, se adiciona área de cobre y entonces la pantalla sirve adicionalmente como conductor de neutro. El elemento metálico está hecho de cobre y puede presentarse en las tres configuraciones siguientes:

- Pantalla de cinta de cobre
- Pantalla de hilos de cobre
- Pantalla de neutro concéntrico

### En este caso se explica un poco sobre el cable con pantalla de neutro concéntrico.

Este tipo de pantalla corresponde a un conjunto de hilos de cobre que además de ejecutar la función de blindaje actúan como conductor de neutro en el sistema. De acuerdo a la configuración eléctrica del mismo, se poseen diferentes alternativas para el neutro, uno de los más utilizados en sistemas trifásicos es el **Neutro Concéntrico al 100%** que significa que los hilos de la pantalla suman un área equivalente del conductor de fase.

## Chaqueta.

Es el elemento que recubre el cable y que queda finalmente expuesta al medio, por tal motivo se busca con especial particularidad que tenga resistencia a la humedad, esta es la capacidad del material para impedir la penetración de la humedad al interior del cable para Media Tensión.

### 2.5 Dimensionamiento del cable de neutro.

El calibre del neutro que se utiliza en los sistemas de distribución eléctrico subterránea a media tensión se consulta en la norma IEEE Std. 835-1994 “**IEEE Standard Power Cable Ampacity Tables**”. En la cual se encuentra la siguiente tabla:

25 a 46 kV Conductor Blindado Monofásico de Potencia con aislamiento Extruido Banco de ductos subterráneo – Tres (3) conductores triplexados - Un circuito							
Calibre del conductor	Calibre del neutro	25 °C Temperatura ambiente de la Tierra					
		90 °C - Conductor de cobre - Cableado concéntrico					
		60 Rho		90 Rho		120 Rho	
		75 FC	100 FC	75 FC	100 FC	75 FC	100 FC
2	Full	--	---	---	155	---	---
1/0	Full	230	219	220	206	211	195
4/0	Full	330	313	314	292	301	275
350	1/3	436	412	414	383	394	359

Tabla 16: Ampacidad para cables y selección del neutro del sistema según norma IEEE Std. 835-1994.

Se muestra en la tabla 16 que el neutro del sistema tiene que ser del mismo calibre que el conductor de fase. En la tabla 16 también se observa que para 25KV el calibre menor que se recomienda es número 2, pero la mayoría de fabricantes para el nivel de tensión de 25 KV, tienen como calibre mínimo el número 1/0.

CALIBRE AWG O KCMIL	ÁREA NOMINAL DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL mm <sup>2</sup>	NÚMERO DE HILOS	DIÁMETRO DEL CONDUCTOR mm	100% NIVEL DE AISLAMIENTO ESPESOR DE AISLAMIENTO : 6,60 mm ( 260 mils)				133% NIVEL DE AISLAMIENTO ESPESOR DE AISLAMIENTO : 8,10 mm ( 319 mils)			
				DIÁMETRO SOBRE EL AISLAMIENTO mm	DIÁMETRO TOTAL APROXIMADO mm	PESO TOTAL APROXIMADO ( kg / 100 m )		DIÁMETRO SOBRE EL AISLAMIENTO mm	DIÁMETRO TOTAL APROXIMADO mm	PESO TOTAL APROXIMADO ( kg / 100 m )	
						COBRE	ALUMINIO			COBRE	ALUMINIO
1/0	53,48	19	9,2	23,89	32,5	125	90,7	26,89	36,0	143	108
2/0	67,43	19	10,3	25,01	34,1	144	100	28,01	37,1	160	116
3/0	85,01	19	11,6	26,28	35,4	165	110	29,28	38,5	182	126
4/0	107,2	19	13,0	27,95	37,1	192	123	30,95	40,2	209	140
250	126,7	37	14,2	29,43	38,6	218	135	32,43	41,7	235	153
300	152	37	15,5	30,78	40,0	246	147	33,78	43,1	264	166
350	177,3	37	16,8	32,02	41,3	274	159	35,02	44,4	293	178
400	202,7	37	17,9	33,19	42,5	302	171	36,19	45,6	322	190
500	253,4	37	20,0	35,3	44,7	357	193	38,3	47,7	378	213
600	304	61	22,0	37,44	46,9	414	217	40,44	50,4	439	241
750	380	61	24,6	40,03	49,9	498	251	43,03	53,0	520	273
1 000	506,7	61	28,4	43,84	55,4	649	320	46,84	58,5	675	345

Tabla 17: Tabla de calibre de cables XLPE para niveles de tensión entre 25 KV, según fabricante Conductores del Norte.

La selección del nivel de aislamiento se realiza según lo que se especifica en la sección 7.2.5 del estándar de la IEEE 141, en la cual especifica que cuando el sistema está sólidamente conectado a tierra se pueden utilizar cables con un 100% de nivel de aislamiento y cuando es otro tipo de sistema en el cual al suceder una falla se eleve el nivel de tensión se utiliza aislamiento al 133%, siempre y cuando la falla sea despejada en menos de una hora.

En el caso del presente proyecto se utilizara cable con un nivel aislamiento al 133 %.

## 2.6 Consideraciones de diferentes parámetros a cumplir, en los ductos o tuberías<sup>8</sup>.

Una de las consideraciones importantes que se debe tomar en cuenta al realizar el diseño de una línea subterránea es el diámetro del ducto en cual se colocan los cables alimentadores. El ducto seleccionado debe garantizar que no habrá sobrecalentamiento en los cables y por ende una disminución en la capacidad de conducción de corriente y mayores pérdidas de energía, para lograrlo el tamaño mínimo del cable debe ser seleccionado en función del diámetro exterior del cable y número de cables que se

(8): Norma AES El Salvador del año 2011 con código SNE-EC-DS.

alojaran en el ducto, en la siguiente ecuación se calcula el porcentaje de utilización de la tubería.

### 2.6.1 Porcentaje de utilización.

El espacio que el cable cubre en el interior de la tubería está relacionado con la disipación de calor, este debe de ser considerado para evitar sobrecalentamiento en los cables. Esto puede producir que el cable disminuya su capacidad de conducción de corriente y por ende mayores pérdidas de energía.

Las limitaciones del llenado de tubería se han considerado según la tabla 1 del apartado “Percent of Cross Section of Conduit and Tubing for Conductors”, que se encuentra en la norma National Electrical Code (NEC), ANSI/NFPA 70-2008, se presenta en la tabla 18.

Número de conductores	Porcentaje de área utilizada
1	53
2	31
3 o más	40

Tabla 18: Porcentaje de area utilizada en una tubería.

Para calcular el porcentaje de llenado de la tubería se emplea la siguiente ecuación:

$$Pa = \frac{N \frac{\pi}{4} d^2}{\frac{\pi}{4} D^2} * 100\% = \frac{Nd^2}{D^2} \quad (1)$$

Donde:

*Pa*: Porcentaje de utilización.

*d*: Diámetro del cable.

*D*: Diámetro de la tubería.

Según la norma presentada por AES El Salvador en el año 2011 con código SNE-EC-DS en la instalación de cables en ductos, estos deben ser **PVC grado eléctrico de 4”** como diámetro mínimo para transportar cables alimentadores, con un nivel de tensión de 23 KV.

### 2.6.2 Acuñaamiento.

Este fenómeno se presenta cuando tres cables se jalan en un ducto con curva o acuñaado, uno de ellos se tuerce. Se debe observar la relación entre el diámetro interior del ducto “D”, y el diámetro exterior del cable “d” para evitar acuñaamiento; debido a que un ducto con curva produce una sección oval, es aconsejable usar 1.05 D para el diámetro interior del ducto.

Las tres consideraciones que deben de ser tomadas en cuenta para verificar si se puede llegar a dar acuíamiento en un ducto son:

Acuíamiento no puede ocurrir cuando:  $1.05D / d > 3.2$

Acuíamiento no es posible cuando:  $1.05D / d < 2.8$ , pero se debe verificar el claro.

Acuíamiento es posible cuando:  $2.8 \leq 1.05D / d \leq 3.2$ .

### 2.6.3 Claro.

El claro mínimo C es el que permite evitar presión de la parte superior del cable contra la parte superior del ducto. El claro C debe estar entre 6 y 25 mm para cables de diámetros y longitudes grandes.

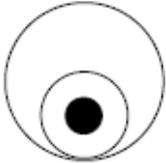
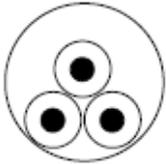
Conductores	Configuración	Expresión del claro C
1/C		$D - d$
3 -1/C	 Triplexado	$D/2 - 1.366d + \frac{D-d}{2} \sqrt{1 - \left(\frac{d}{D-d}\right)^2}$
3 -1/C	 Acuíado	$D/2 - d/2 + \frac{D-d}{2} \sqrt{1 - \left[\frac{d}{2(D-d)}\right]^2}$

Tabla 19: Diferentes configuraciones para cables en un ducto.

### 2.6.4 Tensiones y longitud máxima de jalado.

La tensión máxima de un conductor individual no debe exceder la que se obtenga de la siguiente ecuación.

$$T_{\text{conductor}} = K * A \quad (2)$$

$T_{\text{conductor}}$ : Es la máxima tensión de jalado permisible en un conductor individual, en libras  
A: Es el área de sección transversal en mil circular mils de cada conductor (kcmil)

K: Es igual a 8 lb/kcmil para cobre recocido y aluminio duro (en este caso se utiliza cobre)

Cuando se jalen juntos dos o tres conductores de igual tamaño, la tensión de jalado no debe exceder dos veces la tensión la máxima tensión de un conductor individual.

$$T_{m\acute{a}x} = 2 * T_{conductor} \quad (3)$$

Las ecuaciones que se utilizan para poder realizar los cálculos de la tensión necesaria para jalar el cable en diferentes puntos del terreno donde se implementa el sistema subterráneo, se presentan a continuación.

Tramo recto:

$$T = w * f * l * W \quad (4)$$

Jalado inclinado:

Hacia arriba  $T = W * l(\sin A + wf \cos A) \quad (5)$

Hacia abajo  $T = W * l(\sin A - wf \cos A) \quad (6)$

Curva horizontal:

$$T_S = T_e * \cosh wf\theta + \sinh wf\theta \sqrt{T_e^2 + WR^2} \quad (7)$$

Curva vertical, jalado hacia arriba:

Cóncava con ángulo hacia abajo:

$$T_S = T_e * e^{wf\theta} + \frac{WR}{1 + (wf)^2} [2wf e^{wf\theta} \sin \theta + (1 - w^2 f^2)(1 - e^{wf\theta} \cos \theta)] \quad (8)$$

Cóncava con ángulo hacia arriba:

$$T_S = T_e * e^{wf\theta} - \frac{WR}{1 + (wf)^2} [2wf e^{wf\theta} \sin \theta - (1 - w^2 f^2)(e^{wf\theta} - \cos \theta)] \quad (9)$$

Curva vertical, jalado hacia abajo:

Cóncava con ángulo hacia abajo:

$$T_S = T_e * e^{wf\theta} + \frac{WR}{1 + (wf)^2} [2wf * \sin \theta - (1 - w^2 f^2)(e^{wf\theta} - \cos \theta)] \quad (10)$$

Cóncava con ángulo hacia arriba:

$$T_S = T_e * e^{wf\theta} + \frac{WR}{1 + (wf)^2} [2wf e^{wf\theta} * \sin \theta + (1 - w^2 f^2)(1 - e^{wf\theta} \cos \theta)] \quad (11)$$

La longitud máxima de jalado:

$$T = \frac{T_{m\acute{a}x}}{wfW} \quad (12)$$

Descripción de parámetros:

T: tensión de jalado en kg.

$l$  : Longitud del ducto.

W: peso total del cable.

$T_{m\acute{a}x}$ : Tensión máxima en kg.

w: Factor de corrección de peso.

A: Angulo con horizontal en radianes.

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

$T_S$ : Tensión de salida de la curva en kg

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

R: Radio de la curva en m.

### 2.6.5 Presión lateral.

La presión lateral es la fuerza radial ejercida en el aislamiento y cubierta de un cable en una curva, cuando el cable está bajo tensión.

Excediendo la máxima presión lateral permisible, el cable puede dañarse por aplastamiento.

Para tres cables triplexados:

$$T = \frac{wT_S}{2R} \quad (13)$$

### 2.6.6 Factor de corrección de peso.

Tres cables formación triplexada:

$$w = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{d}{D-d}\right)^2}} \quad \text{con limite inferior} = 2.55 \quad (14)$$

## 2.7 Desarrollo del diseño eléctrico subterráneo.

En la Universidad de El Salvador se ha empezado a implementar en sus nuevas edificaciones, transformadores Pad-mounted con alimentadores instalados subterráneamente en busca de seguridad, confiabilidad y ornato. Así mismo el alma mater busca reducir los puntos de entrega de energía por parte de la distribuidora, se espera que en un futuro las únicas acometidas sean las de Polideportivo-FIA y Agronomía, es por ello que se propone un diseño eléctrico subterráneo en media

tensión, ligado al “Plan de desarrollo FIA 2015”, dicho plan ha sido elaborado por la Escuela de Arquitectura.

Se contempla para el diseño eléctrico Subterráneo, el diseño de un trocal, el cual a sus extremos estará conectado a la acometida del Polideportivo-FIA y a la línea primaria proveniente de la acometida de agronomía, también se diseñó un anillo el cual cubrirá el sector de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura.

Para la realización del diseño fue necesario conocer las capacidades de las subestaciones que se instalarán en cada uno de los edificios de la FIA, estas capacidades son basada en la demanda de potencia que presenta cada edificación, estos datos se obtuvieron gracias a diseños eléctricos y de la instalación de analizadores de red en los tableros principales de algunos edificios.

EDIFICIO	CAPACIDAD SUBESTACION NUEVA
BIBLIOTECA	112,5KVA 3φ
EDIFICIO B-C-D	50KVA 1φ
MECANICA	112,5 KVA 3φ
INDUSTRIAL	112,5 KVA 3φ
CIVIL	225KVA 3φ
ADMINISTRATIVO	
AUDITORIO MARMOL	112,5KVA 3φ
ELECTRICA.POTENCIA	112,5KVA 3φ
ARQUITECTURA	
ASOCIACIONES	150 KVA 3φ
CIENCIAS BASICAS	150 KVA 3φ
POSGRADO	75KVA 3φ
METROLOGIA	25KVA 1φ
<b>TOTAL</b>	<b>1237,5 KVA</b>

Tabla 20: Capacidades de transformadores Pad-Mounted a instalarse en la FIA.

La potencia que demandará la Universidad de El Salvador contemplando las nuevas edificaciones del Plan de Desarrollo FIA 2015, diseñado por la escuela de arquitectura, se presentan en la tabla 21.

Potencia demandada en (KW)	Potencia demandada en (KVA)
2,917.68	3,647.1

Tabla 21: Potencia demandada en la UES.

### 2.7.1 Cálculo del calibre del cable a utilizar por tramos.

Se debe tomar en cuenta que el proyecto consta de un tramo troncal y una trayectoria en anillo por lo tanto se debe calcular 2 diferentes calibres de cable. El sistema de distribución eléctrica subterránea es trifásico por lo que se utiliza la siguiente ecuación para el cálculo de la ampacidad:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} * V_{ll}} \quad (15)$$

Donde:

P: potencia aparente en KVA.

$V_{ll}$ : tensión línea a línea.

#### **Cálculo de Ampacidad para cable que se instalara en la red subterránea configuración anillo FIA.**

El valor de potencia que se utiliza es el total que se obtiene de la tabla 20, el factor aplicado de 1.4 corresponde a un 40% de carga futura. La tensión de línea a línea a la cual se le suministra energía eléctrica a la Universidad de El Salvador es de 23KV, sustituyendo estos valores en la ecuación (15), se obtiene lo siguiente:

$$I = \frac{1.237.5 * 1.4}{\sqrt{3} * 23} = 43.49 A$$

Aplicando factor de corrección de corriente para efectos de diseño tenemos:

$$I_{corregida} = I * 0.8 \quad (16)$$

$$I_{corregida} = 206 * 0.8 = 164.8 A$$

Ahora que ya se tiene el valor de ampacidad se debe seleccionar el calibre del conductor según el factor de carga (FC) y la resistividad térmica del terreno (RHO), para el diseño de este proyecto se utilizarán los valores establecidos por el NEC – NFPA 70-2008, indicados en las tablas de ampacidad 310.67 a 310.86, que son FC=100% y RHO=90.

Como se observa en el resultado obtenido de la ecuación (16) el cable #1/0, cumple con la Ampacidad requerida por el sistema.

25 a 46 kV Conductor Blindado Monofásico de Potencia con aislamiento Extruido Banco de ductos subterráneo – Tres (3) conductores triplexados - Un circuito							
Calibre del conductor	Calibre del neutro	25 °C Temperatura ambiente de la Tierra					
		90 °C - Conductor de cobre - Cableado concéntrico					
		60 Rho		90 Rho		120 Rho	
		75 FC	100 FC	75 FC	100 FC	75 FC	100 FC
2	Full	--	---	---	155	---	---
1/0	Full	230	219	220	206	211	195
4/0	Full	330	313	314	292	301	275
350	1/3	436	412	414	383	394	359

Tabla 22: Calibre del conductor utilizado en el anillo.

### Cálculo de Ampacidad del alimentador troncal del Sistema eléctrico con acometida en la entrada del Polideportivo.

El valor de potencia que se utiliza para realizar este cálculo es el que se presenta en la tabla 19, considerando un 40% más por carga futura proyectada para la toda la Ciudad Universitaria, sustituyendo este valor en la ecuación 15 se obtiene:

$$I = \frac{3.647 \times 10^6 * 1.4}{\sqrt{3} * 23} = 128.17 A$$

$$I_{corregida} = 292 * 0.8 = 233.6 A$$

Con el valor obtenido luego de aplicar el factor de corrección de corriente de 0.8 se toma la decisión de utilizar cable calibre #4/0 ya que este soporta 233.6 A y es superior a la corriente demanda por la carga. La ampacidad se ha seleccionado tomando las mismas consideraciones de FC y RHO, de la trayectoria anillo.

NOTA: hay que tomar en cuenta que la norma de AES **Código SNE-EC-DS** no permite un calibre menor de #4/0 para tramos troncales.

25 a 46 kV Conductor Blindado Monofásico de Potencia con aislamiento Extruido Banco de ductos subterráneo – Tres (3) conductores triplexados - Un circuito							
Calibre del conductor	Calibre del neutro	25 °C Temperatura ambiente de la Tierra					
		90 °C - Conductor de cobre - Cableado concéntrico					
		60 Rho		90 Rho		120 Rho	
		75 FC	100 FC	75 FC	100 FC	75 FC	100 FC
2	Full	--	---	---	155	---	---
1/0	Full	230	219	220	206	211	195
4/0	Full	330	313	314	292	301	275
350	1/3	436	412	414	383	394	359

Tabla 21: Calibre del conductor utilizado en tramo troncal.

### 2.7.2 Tensión de jalado para cable a instalar en la FIA y Polideportivo.

Luego de haber determinado el cableado del sistema eléctrico a implementar se procede a realizar el cálculo de la tensión de jalado a la cual será sometido el cable en cada uno de los tramos en la trayectoria expuesta en el plano de distribución del sistema eléctrico subterráneo (agregado en anexos de este documento).

Las ecuaciones que se han utilizado son las siguientes:

Tramo recto:

$$T = w * f * l * W \quad (4)$$

Jalado inclinado:

Hacia arriba

$$T = W * l(\sin A + wf \cos A) \quad (5)$$

Hacia abajo

$$T = W * l(\sin A - wf \cos A) \quad (6)$$

En el desarrollo del presente diseño se utiliza un coeficiente de fricción de 0.5 y se toma en cuenta el ángulo de inclinación del suelo en aquellas partes donde el terreno es bastante inclinado, todos los cálculos realizados se presentan en la tabla 22.

### Secciones del diseño de la red subterránea que se ha realizado para la FIA.

En la figura 41 se observan los pozos de paso y de registro tanto para ir distribuyendo la línea como para ir conectando los transformadores Pad-Mounted, este tramo de la red es monofásico el cable que será utilizado es calibre #1/0 del tipo XLPE-TR a 23 KV. Este tramo será utilizado para reemplazar la actual línea aérea que alimenta los

reflectores que se encuentran en las canchas, también el edificio y el comedor del polideportivo entre otras cargas.

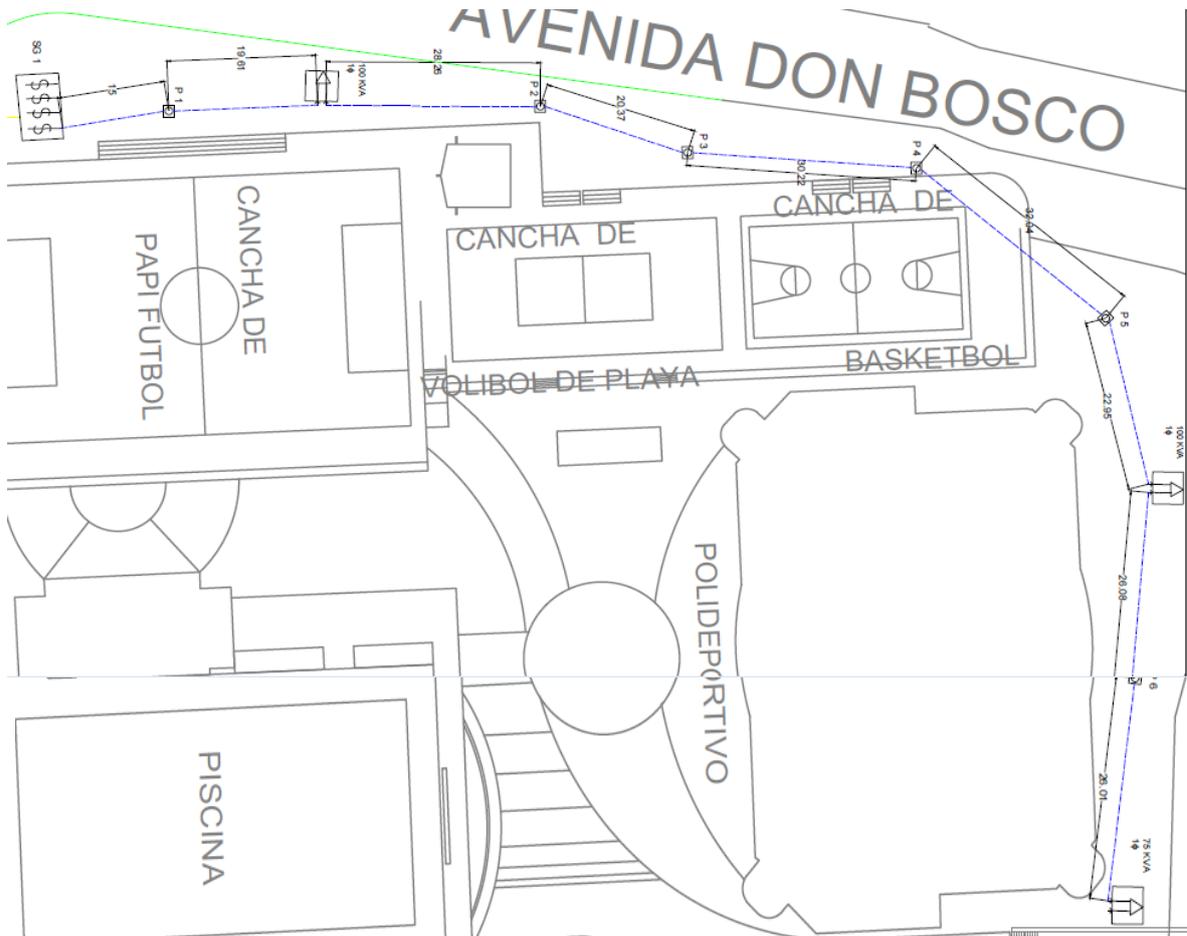


Figura 41: Tramo de línea monofásica en el polideportivo.



Figura 42: Primer tramo troncal con cable #4/0 a 23KV.

En la figura 42 se observa la línea troncal que va del switchgear 1 al switchgear 2 pasando por la subestación que se encuentra frente a la piscina del polideportivo, también se encuentra la canalización para futura expansión del sistema subterráneo para la parte de la Facultad de Humanidades.

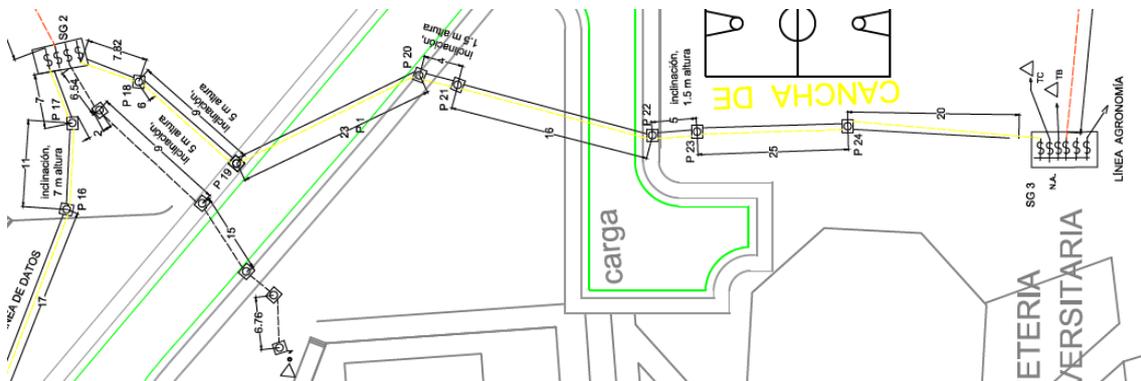


Figura 43: Segundo tramo troncal.

El segundo tramo troncal va del switchgear 2 al switchgear 3 que se encuentra en el punto de enlace que se pretende dejar entre las dos únicas acometidas que en algún momento tendrá la Universidad de El Salvador que son la acometida, entrada hacia Polideportivo y la acometida que se encuentra en la Facultad de agronomía.

El swichtgear 3 será el más complejo a instalarse en el diseño que se presenta ya que cuenta con 6 vías una de las cuales se encontrará normalmente abierta para que se encuentren de forma independiente las dos acometidas antes mencionadas, también tendrá un equipo de control para la debida automatización del interruptor tipo Visi-Gap que tendrá el ramal hacia Agronomía. Entre el Swichtgear 1 y 3 se instalará un cable para red de datos, como comunicación del equipo de control que se encargará de la operación de moto operadores instalados en el switchgear 1 y 3, para despejar fallas al accionar los interruptores de falla Visi-Gap y así se deja el sistema, siempre alimentado por una de las dos acometidas que quedarán en la Universidad de El Salvador.

En la figura 44 se muestra el esquema en anillo propuesto para la facultad de ingeniería y arquitectura el cual consta de pozos de registros cuyas distancias van desde 10 a 45 metros dependiendo de la particularidad del terreno donde se encuentren.

Todas las subestaciones que conforman el anillo están compuestas por transformadores trifásicos 208/120V conexión delta/estrella, a excepción de dos transformadores monofásicos que se encuentran instalados para abastecer la demanda de los edificios de aulas y uno más para el edificio de Metrología de 50 y 25 KVA respectivamente, todos los trasformadores serán de tipo Pad-Mounted instalados en lo posible en el mismo sitio donde se encuentran actualmente las subestaciones, para que se logre aprovechar las diferentes acometidas .

El calibre del cable utilizado en esta sección será de 1/0, se pondrá una tubería de reserva en toda la trayectoria del anillo y dos pozos derivadores más para futura expansión del sistema.

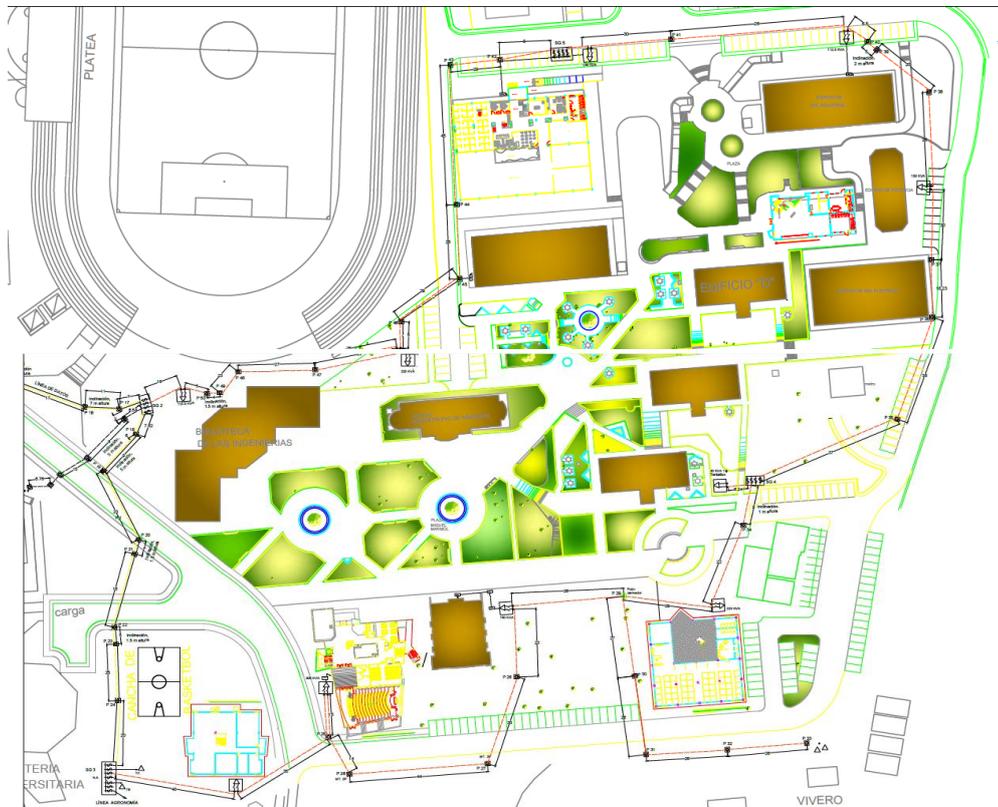


Figura 44: Esquema de línea subterránea configuración anillo para la FIA.

Tramo	Longitud (m)	Calibre Cable	Diámetro total del conductor (mm)	Coefficiente de corrección de peso	Peso del cable kg/100m	Angulo de inclinación del suelo(°)	Tensión (Kg)
Switchgear 1 - Pozo1	15	1/0	32,5	0,96517134	125	0	27,15
Pozo 1 - Pozo de registro	19,6	1/0	32,5	0,96517134	125	0	35,47
Pozo de registro - Pozo 2	28,3	1/0	32,5	1	125	0	35,38
Pozo 2 - Pozo 3	20,4	1/0	32,5	1	125	0	25,50
Pozo 3 - Pozo 4	30,22	1/0	32,5	1	125	0	37,78
Pozo 4 - Pozo 5	32,04	1/0	32,5	1	125	0	40,05
Pozo 5 - Pozo de registro	22,95	1/0	32,5	1	125	0	14,34
Pozo de registro - Pozo 6	26,1	1/0	32,5	1	125	0	16,31
Pozo 6 - Pozo de registro	26	1/0	32,5	1	125	0	16,25
Switchgear 1 - Pozo7	3,5	4/0	37,1	0,951934024	192	34.85	3,66
Pozo 7 - Pozo 8	25,2	4/0	37,1	0,951934024	192	0	69,09
Pozo 8 - Pozo 9	25	4/0	37,1	0,951934024	192	0	68,54
Pozo 9 - Pozo 10	26,1	4/0	37,1	0,951934024	192	0	71,55
Pozo 10 - Pozo 11	6,05	4/0	37,1	0,951934024	192	15.34	25,18
Pozo 11 - Pozo 12	21	4/0	37,1	0,951934024	192	0	57,57
Pozo 12 - Pozo 13	4	4/0	37,1	0,951934024	192	22.02	18,78
Pozo 13 - Pozo de registro	4	4/0	37,1	0,951934024	192	0	10,97
Pozo de registro - Pozo 14	8	4/0	37,1	0,951934024	192	0	21,93
Pozo 14 - Pozo 15	3,5	4/0	37,1	0,951934024	192	27.20	0,70

Tramo	Longitud (m)	Calibre Cable	Diámetro total del conductor (mm)	Coefficiente de corrección de peso	Peso del cable kg/100m	Angulo de inclinación del suelo(°)	Tensión (Kg)
Pozo 15 - Pozo 16	17	4/0	37,1	0,951934024	192	0	46,61
Pozo 16 - Pozo 17	11	4/0	37,1	0,951934024	192	39.52	63,54
Pozo 17 - Switchgear 2	7	4/0	37,1	0,951934024	192	0	19,19
Switchgear 2 - Pozo 18	7,82	4/0	37,1	0,951934024	192	0	21,44
Pozo 18 - Pozo 19	9	4/0	37,1	0,951934024	192	33.75	8,33
Pozo 19 - Pozo 20	23	4/0	37,1	0,951934024	192	0	63,06
Pozo 20 - Pozo 21	4	4/0	37,1	0,951934024	192	22.02	18,78
Pozo 21 - Pozo 22	16	4/0	37,1	0,951934024	192	0	43,87
Pozo 22 - Pozo 23	5	4/0	37,1	0,951934024	192	27,2	1,00
Pozo 23 - Pozo 24	25	4/0	37,1	0,951934024	192	0	68,54
Pozo 24 - Switchgear 3	20	4/0	37,1	0,951934024	192	0	54,83
Switchgear 3 - Pozo registro	40	1/0	32,5	0,96517134	125	0	72,39
Pozo registro - Pozo 25	35	1/0	32,5	0,96517134	125	0	63,34
Pozo 25 - Pozo registro	15	1/0	32,5	0,96517134	125	0	27,15
Pozo 25 - Pozo 26	14	1/0	32,5	0,96517134	125	0	25,34
Pozo 26 - Pozo 27	44	1/0	32,5	0,96517134	125	0	79,63
Pozo 27 - Pozo 28	30	1/0	32,5	0,96517134	125	0	54,29
Pozo 28 - Pozo Registro	23	1/0	32,5	0,96517134	125	0	41,62
Pozo Registro - Pozo 29	26	1/0	32,5	0,96517134	125	0	47,05
Derivador 1 - Pozo 30	27	1/0	32,5	0,96517134	125	0	48,86
Pozo 30 - Pozo 31	26	1/0	32,5	0,96517134	125	0	47,05
Pozo 31 - Pozo 32	26	1/0	32,5	0,96517134	125	0	47,05
Pozo 32 - Pozo 33	26	1/0	32,5	0,96517134	125	0	47,05
Derivador1 - Pozo Registro	29	1/0	32,5	0,96517134	125	0	52,48

Tramo	Longitud (m)	Calibre Cable	Diámetro total del conductor (mm)	Coefficiente de corrección de peso	Peso del cable kg/100m	Angulo de inclinación del suelo(°)	Tensión (Kg)
Pozo Registro - Pozo 34	22	1/0	32,5	0,96517134	125	0	39,81
Pozo 34 – Derivador 2	9	1/0	32,5	0,96517134	125	6.38	19,68
Derivador 2 - Pozo Registro	6,24	1/0	32,5	1	125	0	3,90
Derivador 2 – Derivador 3	37	1/0	32,5	0,96517134	125	0	66,96
Derivador 3 - Pozo 36	38	1/0	32,5	0,96517134	125	0	68,77
Pozo 36 - Pozo 37	18,23	1/0	32,5	0,96517134	125	0	32,99
Pozo 37 - Pozo Registro	30	1/0	32,5	0,96517134	125	0	54,29
Pozo Registro - Pozo 38	25,83	1/0	32,5	0,96517134	125	0	46,74
Pozo 38 - Pozo 39	20	1/0	32,5	0,96517134	125	0	36,19
Pozo 39 - Pozo 40	5	1/0	32,5	0,96517134	125	25	16,00
Pozo 40 - Pozo registro	6,5	1/0	32,5	0,96517134	125	0	11,76
Pozo Registro - Pozo 41	26	1/0	32,5	0,96517134	125	0	47,05
Pozo 41 - Pozo Registro	30	1/0	32,5	0,96517134	125	0	54,29
Derivador 4 - Pozo 42	9	1/0	32,5	0,96517134	125	0	16,29
Pozo 42 - Pozo 43	29	1/0	32,5	0,96517134	125	0	52,48
Pozo 43 - Pozo 44	45	1/0	32,5	0,96517134	125	0	81,44
Pozo 44 - Pozo 45	25	1/0	32,5	0,96517134	125	0	45,24
Pozo 45 - Pozo 46	29	1/0	32,5	0,96517134	125	0	52,48
Pozo 46 - Pozo Registro	5	1/0	32,5	0,96517134	125	0	9,05
Pozo Registro - Pozo 47	25	1/0	32,5	0,96517134	125	0	45,24
Pozo 47 - Pozo 48	27	1/0	32,5	0,96517134	125	0	48,86
Pozo 48 - Pozo 49	23	1/0	32,5	0,96517134	125	0	41,62
Pozo 49 - Pozo 50	4	1/0	32,5	0,96517134	125	0	7,24
Pozo 50 - Pozo registro	5	1/0	32,5	0,96517134	125	0	9,05
Pozo registro - Switchgear 2	18	1/0	32,5	0,96517134	125	0	32,57

Tabla 23: Tensiones de jalado para línea subterránea a instalar.

### 2.7.3 Consideraciones en la construcción de banco de ductos.

Los ductos a utilizar serán tubería PVC grado eléctrico, EB 40 en acera y tubería tipo EB 80 bajo tráfico, ambos tipos de tubería deberán ser recubiertos en concreto. También podrá utilizarse tuberías DB 60 para la acera y DB 120 para zonas con tráfico vehicular ambas recubiertas en concreto.

Para utilizar otro tipo de servicio como red de datos se instala una tubería de 3" de diámetro y si es necesario instalar tubería para red secundaria se instalan junto con esta a 0.6 metros de profundidad.

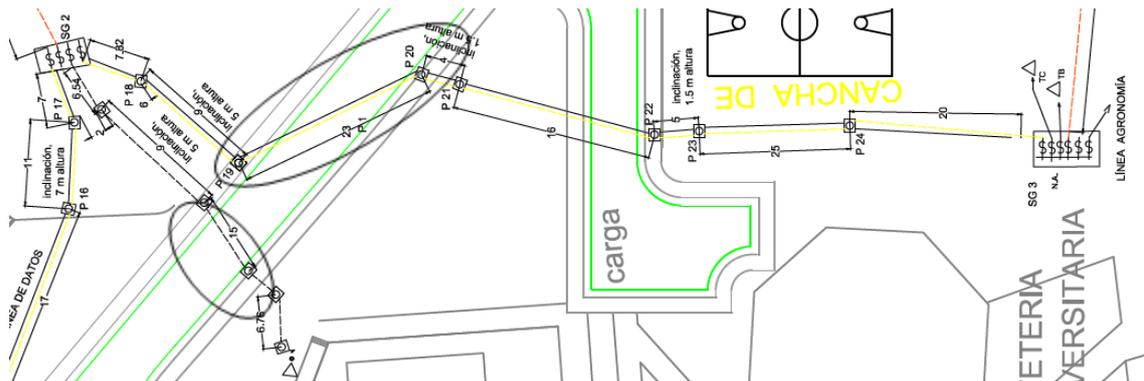


Figura 45: se muestra algunos de los tramos que cruzan calle, donde se abrirá canal para que pase la línea subterránea.

En los tramos que se muestran en la figura 45 se encuentra el cruce que tiene que dar la línea del switchgear 2 que esta por la Biblioteca, siguiendo la trayectoria para llegar al switchgear 3 y el otro tramo es una ramificación que se deja para expansión futura en la zona de la facultad de idiomas, las líneas que pasen por los tramos antes mencionados tendrán que estar a 1.1 metros de profundidad y aparte debe ser tubería de 6" EB80 o DB120.

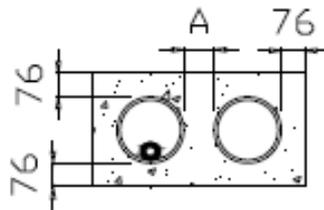


Figura 46: separación entre tuberías y paredes del canal.

La distancia de A en la figura corresponde a 7.6 cm para tuberías de 6".

#### 2.7.4 Dimensionamiento de canalización.

Continuando con las consideraciones para la construcción de línea primaria subterránea, cuando se considera una futura ampliación de la carga, como el caso del terreno que se encuentra después de los edificios de Mecánica e Industrial, o el circuito de línea primaria sea una troncal, o la línea subterránea pase adyacente a calles principales; se deberá instalar tubería de 6" en la ejecución del proyecto, de manera que a futuro se facilite la re-calibración del conductor.

Los tubos de PVC se deben instalar en separadores para tubos cada tres metros en toda la trayectoria del banco de ductos, a fin de mantener constantes las distancias de separación entre tubería y los espesores de recubrimiento de concreto.

Distancia entre ductos con cables eléctricos y ductos de telefonía, tubería servicio eléctrico debe mantenerse a un mínimo de 60 cm de distancia de otra canalización.

Todas las canalizaciones llevarán una cinta preventiva de polietileno de color amarillo, con dimensiones mínimas de 10 cm de ancho, con una nota "PELIGRO -ALTO VOLTAJE" en letras de color negro, impresas en intervalos como máximo cada 20 cm a lo largo de ésta. La cinta se colocará a una profundidad de 40 cm de la superficie y deberá cubrir como mínimo la tercera parte del ancho de la canalización, en la siguiente figura se muestra un esquema de cómo debe quedar instalada la cinta de precaución.

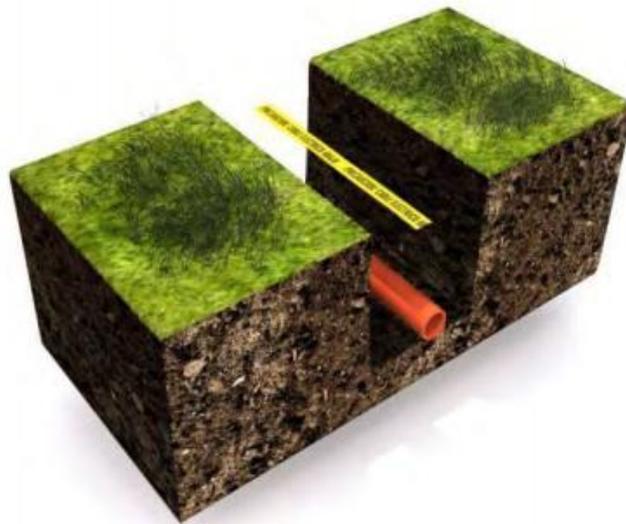


Figura 47: instalación de cinta de precaución.

La tubería del conductor primario se instalará a una profundidad de 1 m en aceras, a 1.1 m cuando se requiera instalar pozos de registro secundario sobre el trayecto de la línea primaria y bajo carreteras o zonas de tráfico vehicular.

El diámetro del ducto para línea primaria será de 6" en el caso de este proyecto.

Todas las consideraciones antes expuestas se plasman en la figura 48, donde se observa un corte frontal de la canalización, esto permite distinguir las diferentes capas en las que está dividido el canal. El relleno compactado está formado por la tierra que se extrae al abrir el canal, luego de rellenar con arena la base de la canalización y recubrir los ductos con concreto y este ya esté listo, se vuelve a rellenar el canal y con herramientas se compacta el suelo.

Además se observa que se ha agregado una capa asfáltica, esto solamente se realiza para tramos donde la línea cruza por calles donde hay afluencia de tráfico.

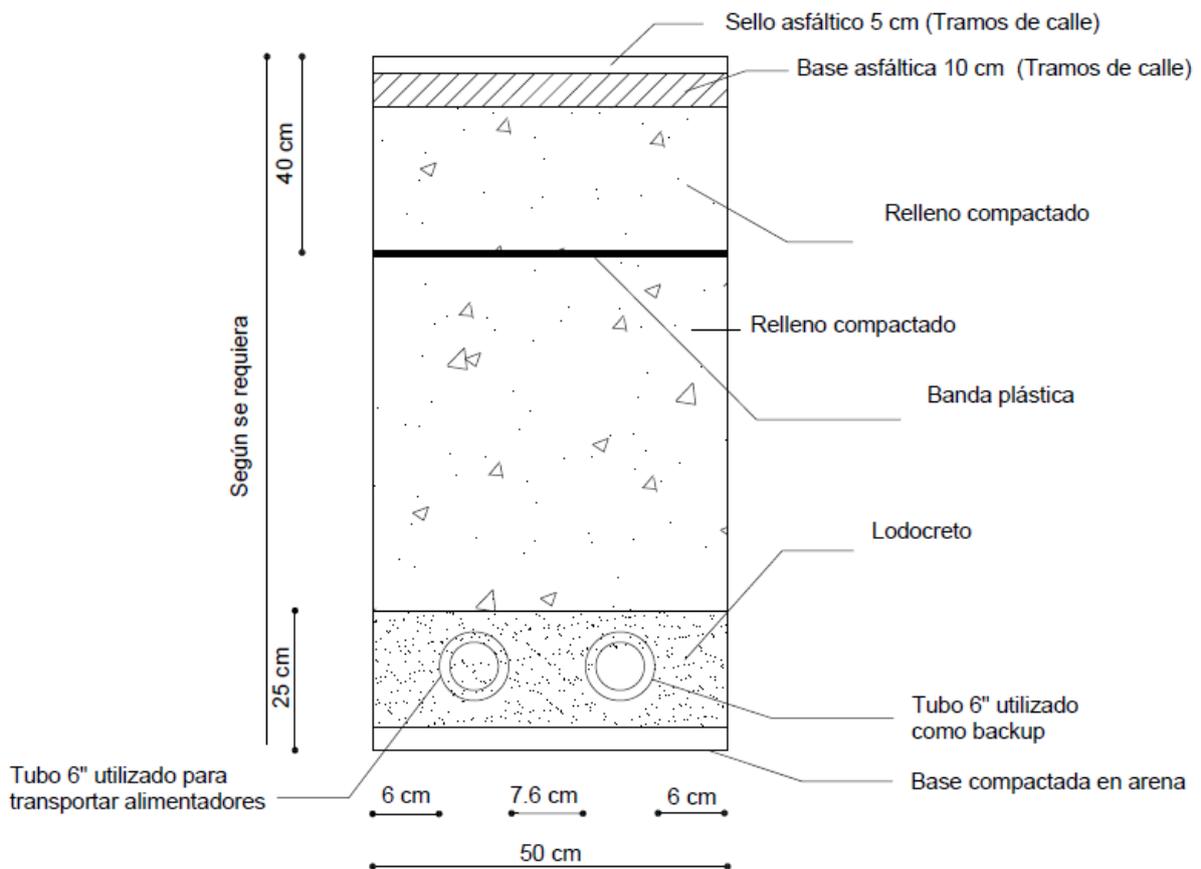


Figura 48: descripción de banco de dos ductos.

### 2.7.5 Diseños de pozos.

Se tomó como referencia el documento “Sistemas de distribución de líneas subterráneas”, código SNE-EC-DS, de AES El Salvador, para el diseño de pozos de paso y derivación, en estos diseños se da el espacio adecuado para brindar seguridad a la hora de manipular accesorios eléctricos instalados (Codos, derivadores, etc). A continuación se presenta pozos diseñados en base al documento SNE-EC-DS y algunos detalles durante la instalación de un sistema subterráneo de un proyecto externo a la Ciudad universitaria, con el objetivo de dar a conocer un diseño real de pozos.



Figura 49: Pozo de paso de línea Primaria.



Figura 50: Pozo derivador.

En la figura 50 se observa un pozo derivador, aun sin colocar el derivador, se aprecia que es este pozo maneja tanto línea primaria como secundaria, algunos detalles importantes: son que durante la instalación el codo debe permanecer protegido contra el polvo, se le da una vuelta al cable XLP dentro del pozo, el cable desnudo de cobre que se distingue, es la mecha que se dejó durante la instalación de SPT para la conexión de dispositivos a tierra.



Figura 51: Prueba de resistencia de aislamiento de cable XLP y detalle superficial de pozo.

En la figura 51 se observa los detalles de superficie de pozos, también se logra apreciar una de las pruebas que se realiza a este tipo de instalación eléctrica durante su construcción, la medición de resistencia de aislamiento del conductor XLP, el equipo utilizado es el megóhmetro. Un valor bajo puede ser provocado por suciedad o humedad y puede dar lugar a daño en el aislamiento. El problema puede corregirse antes que continúe el trabajo. La Conexión para esta prueba se muestra en la siguiente figura, donde cada pantalla metálica y puntas de cables se ponen a tierra, una punta del equipo de medición se coloca en el cable a medir la resistencia de aislamiento (esta punta de cable no va a tierra), mientras que la otra punta del medidor se pone a tierra.

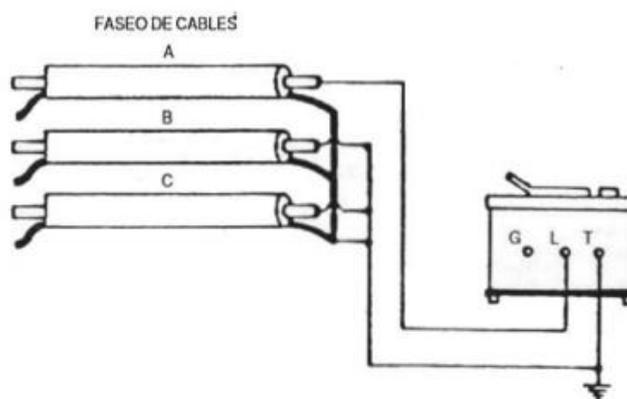


Figura 52: Conexión de megóhmetro.



Figura 53: Pad-mouted monofásico de 100KVA.

## 2.8 Equipo a instalar en el sistema subterráneo.

### 2.8.1 Switchgear o tablero de distribución en media tensión.

El switchgear a utilizar será del tipo Vista fabricado por la empresa S&C, para instalación en exteriores, tipo pedestal, el switchgear puede ser especificado con interruptores de carga y de falla, el switchgear puede ser especificado con el número de vías que se requiera en la aplicación a ser utilizado.

El tipo de seccionamiento y protección que se puede instalar en el switchgear VISTA:

Los seccionadores interruptores de carga de tres posiciones (cierre, apertura, aterrizado) se pueden operar de forma manual o mediante motores, y proporcionan seccionamiento tripolar en vivo de circuitos trifásicos de hasta 600 amperes. Se da una separación abierta visible sin que haya exposición a la media tensión ni necesidad de manipular los codos.

Los interruptores de fallas de 200, 600 y 900 amperios cuentan con interruptores de vacío reajustables en serie con los desconectores de tres posiciones (cierre, apertura, aterrizado), que se operan manualmente, para aislar y aterrizar internamente cada fase.

Los interruptores de fallas proporcionan seccionamiento de carga tripolar e interrupción de fallas de hasta 25 kA simétricos, o seccionamiento de carga monopolar e interrupción de fallas de hasta 12.5 kA simétricos. A continuación se describe cómo será la composición de los switchgear que se proponen para el diseño del proyecto.

### Descripción del equipo.

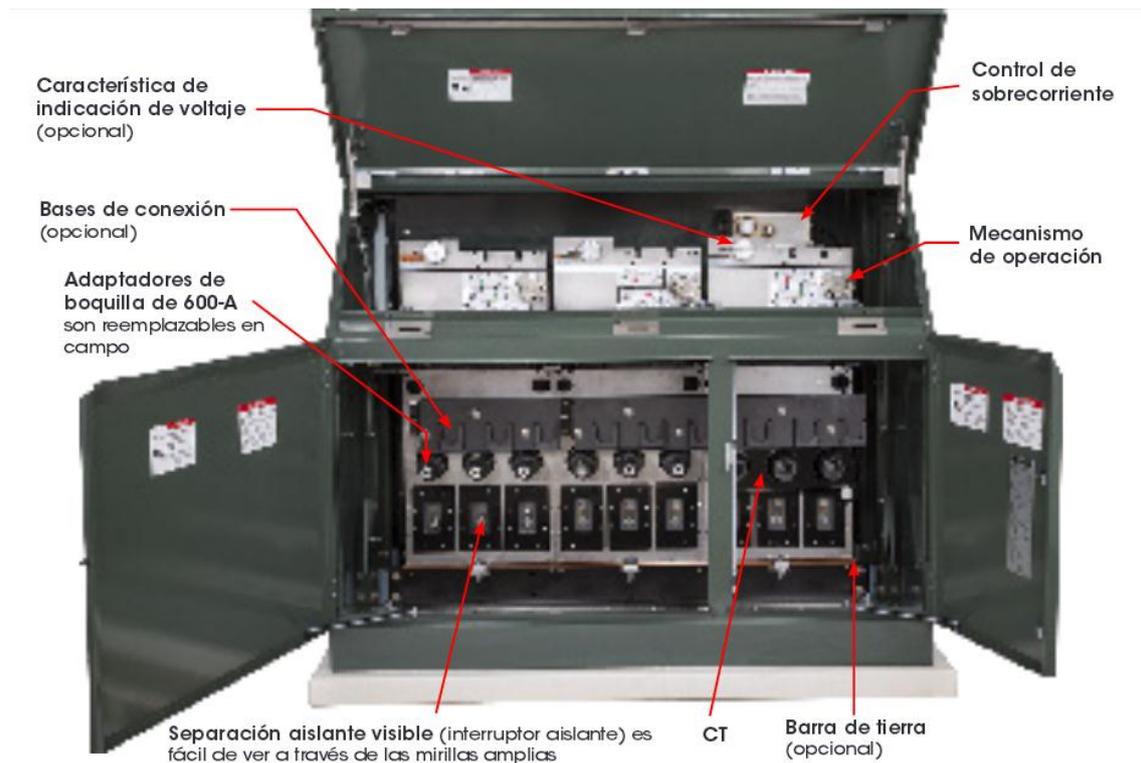


Figura 54: switchgear VISTA de S&C.

### Switchgear 1:

En la siguiente figura se presentan las diferentes celdas de las cuales estará compuesto el switchgear 1, que será del tipo Vista de la empresa S&C, el cual será instalado por la entrada del polideportivo dentro del perímetro de la universidad.

#### Descripción de celdas:

La primera celda contendrá el interruptor principal del sistema que aparte del interruptor de carga y falla Visi-Gap tendrá un moto operador.

Tres ramales, una para la línea monofásica, otro para el tramo troncal y uno más como backup.

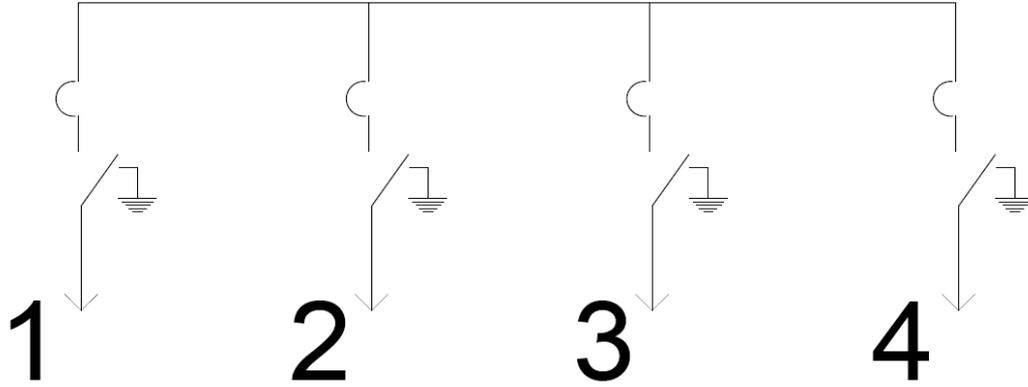


Figura 54: Celdas que conforman el switchgear que se instalara por la entrada de la facultad.

### 2.8.2 Interruptores de carga y falla Visi-Gap.

Los interruptores de falla Visi-Gap de S&C utilizan un interruptor en vacío en serie con un interruptor aislante de dos posiciones operado manualmente, pero en el caso de la celda 1 estará automatizado con un moto-operador y un equipo de control que estará intercomunicado con el Switchgear 3. Este interruptor puede realizar la conmutación de carga tripolar de circuitos de 200 o 600-amperes e interrupción de falla hasta 16 kA simétricos a 17.5 kV y hasta 12.5 kA simétricos a 29 kV.

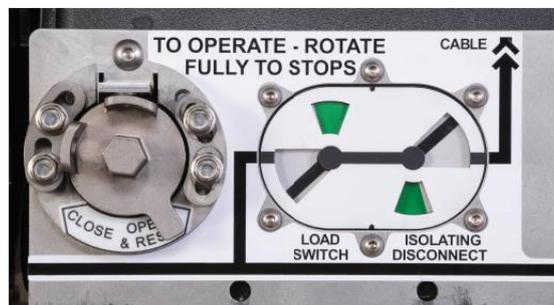


Figura 55: Indicador de posición de interruptores de carga y falla.

Forma manual de accionamiento de interruptores Visi-Gap:

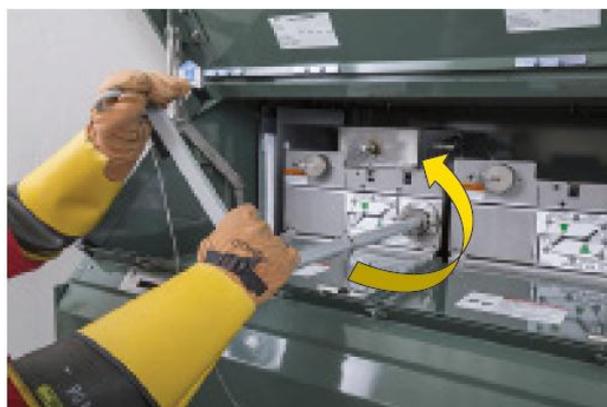


Figura 56: accionamiento manual con palanca.

Instalación de moto operador para el accionamiento de los interruptores de carga y falla:



Figura 57: instalación de moto operadores para la automatización de los interruptores.

### Switchgear 3:

Este se encontrará en las cercanías del Comedor Universitario al lado de donde se encuentran los servidores de la Universidad en Línea.

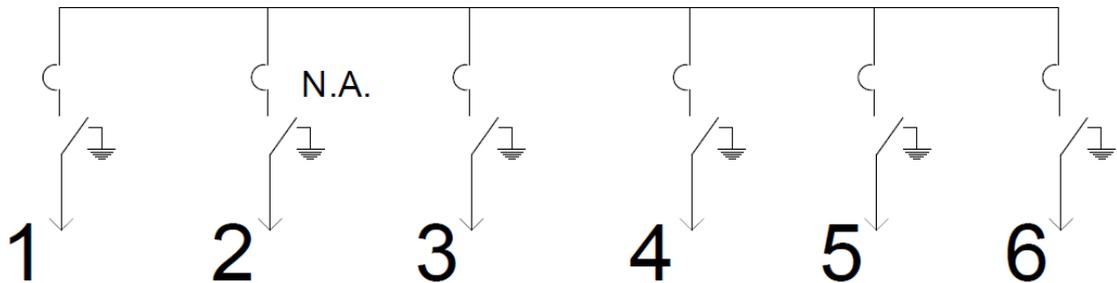


Figura 58: Switchgear con 6 vías, con una normalmente abierta.

### Descripción de celdas:

Tendrá dos ramales trifásicos que se utilizará para alimentar dos transformadores. Tendrá una vía normalmente abierta y automatizada para cuando ocurra una falla en la acometida de la FIA, esta vía debe estar equipada con un equipo de enclavamiento mecánico (vía 2).

Y las demás celdas tendrán ramales para hacer derivaciones, la vía 1 será el punto de donde termine el tramo troncal y debe estar equipada con un equipo de enclavamiento mecánico.

**El switchgear 2**, tendrán idéntica distribución de celdas como las que se acaban de describir con la diferencia que no tendrán ninguna vía automatizada y solo tendrá cuatro vías.

### 2.8.3 Transformadores tipo pedestal.

En el diseño de la red subterránea se propone usar transformadores trifásicos tipo pedestal marca EATON especificados en la hoja técnica 17001. El Pad-Mounted a utilizar tiene en el primario una configuración tipo “T Blade” que se utiliza en redes subterráneas en configuración anillo, el esquema se muestra en la figura 59

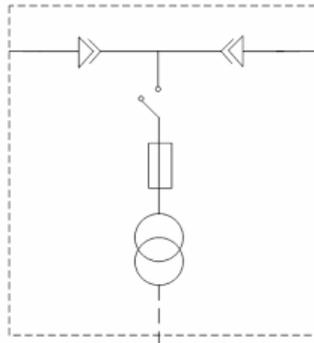


Figura 59: Esquema “T Blade” a utilizar en diseño.

Las cuatro posiciones en las cuales se puede accionar el switch en el primario del transformador en su función (Loop Feed) son las siguientes:

Las dos fuentes conectadas junto a la bobina del devanado primario del transformador. La fuente A conectada junto a la bobina y la fuente B (o la siguiente sección del circuito primario) desconectada.

La fuente B conectada junto a la bobina y la fuente A (o la siguiente sección del circuito primario) desconectada.

La bobina del devanado primario del transformador desconectado, y el anillo continúa operando de manera normal.

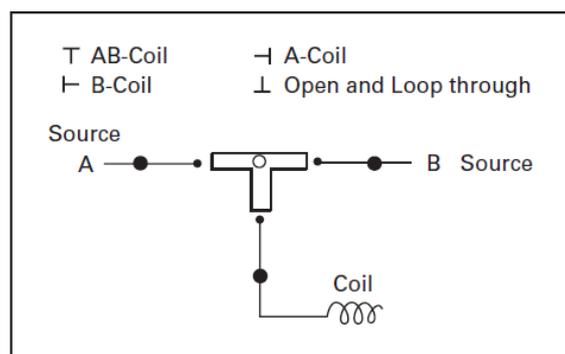


Figura 60: Switch para operar en loop-feed.

### Acometida aéreo-subterránea ubicada por la entrada de Polideportivo.

Tomando en consideración el cálculo realizado en la sección 2.7.1, se ha seleccionado un recloser trifásico de 25 KV como dispositivos de protección en el punto de entrega. La vista frontal de la estructura y elementos que forman parte de la acometida aéreo-subterránea se muestra en las figuras 61 y 62.

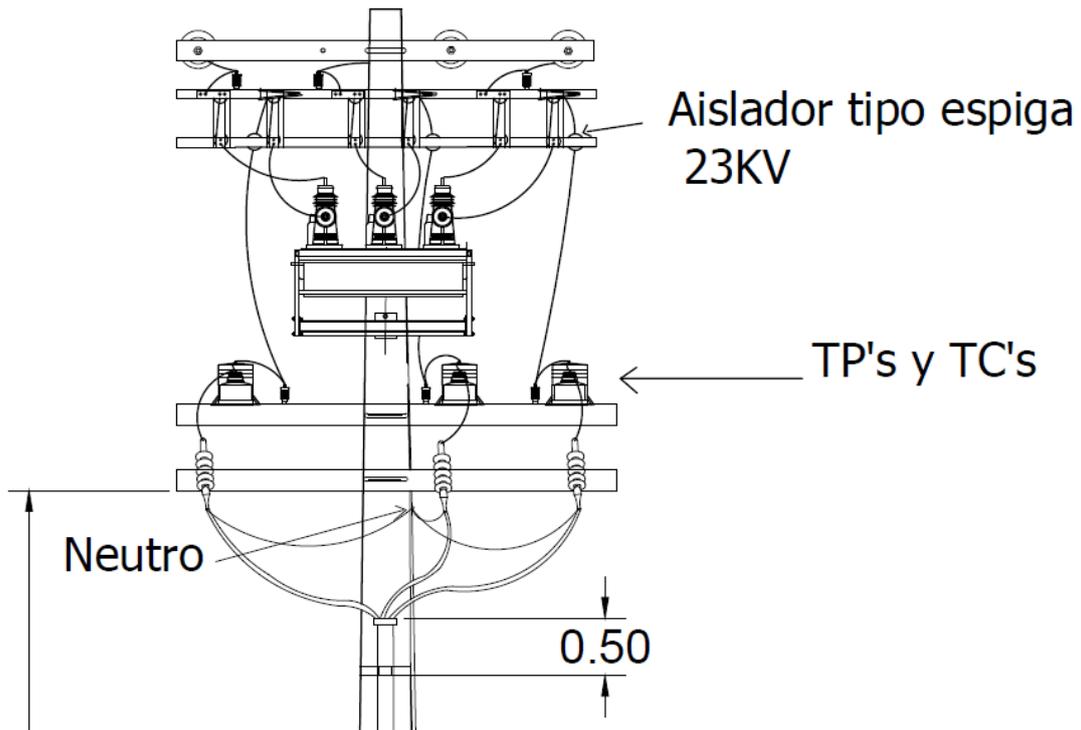


Figura 61: montaje de recloser, TC's, TP's y terminales de potencia.

Descripción de vías (switchgear figura 54):

A: En esta vía se conectara la acometida de entrega de servicio por parte de la distribuidora.

B: Ramal monofásico para alimentar a los transformadores que se encuentran en el area del polideportivo.

C: Esta vía será donde se conecte la línea troncal que va del SG1 hacia SG2.

D: Backup.

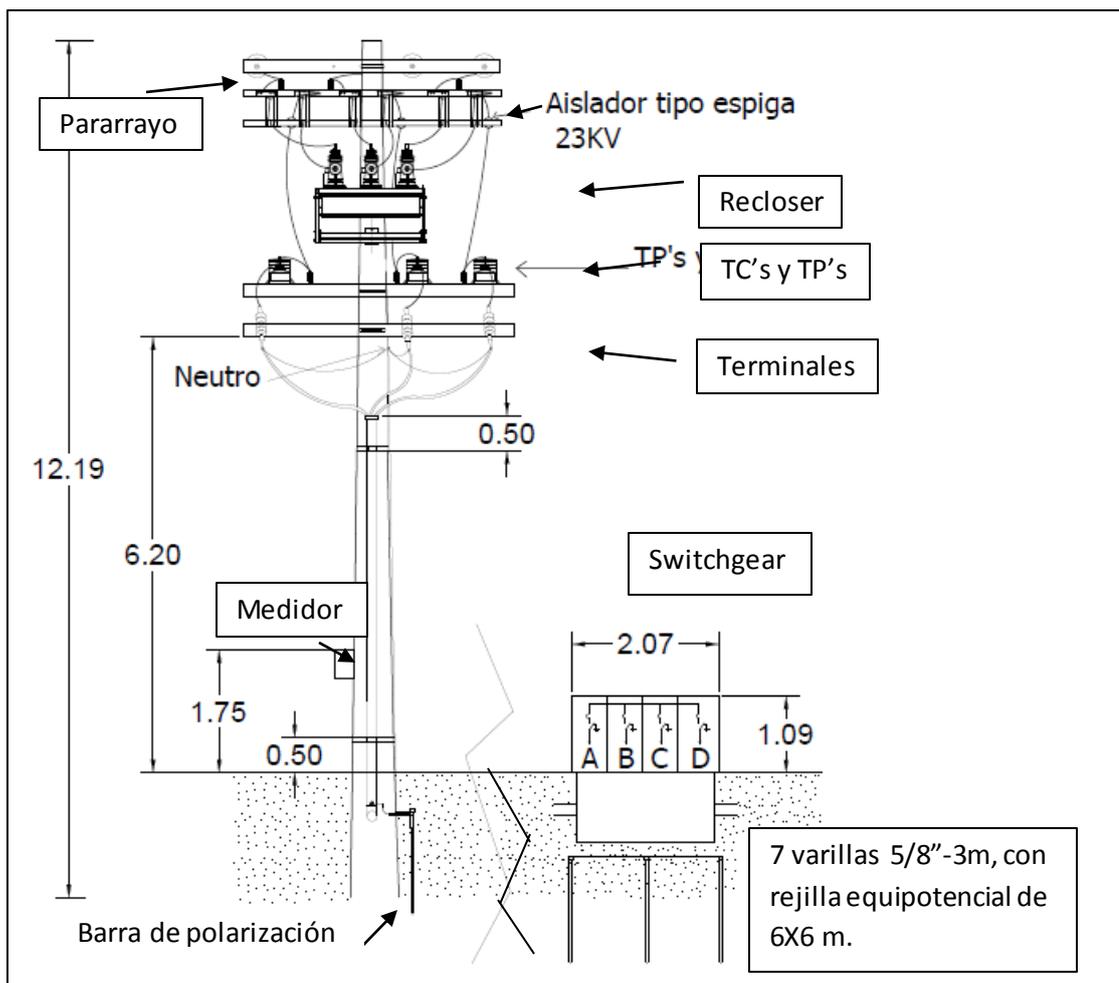


Figura 62: Esquema de acometida aéreo-subterránea.

### 2.8.4 Recloser.

El equipo que se propone para instalarse en la acometida del Polideportivo es un recloser marca COOPER (aunque también pudiera ser de otra marca), serie NOVA 27KV.

Sus características se muestran a continuación:

Descripción	15 kV	15 kV	27 kV	27 kV	38 kV
Voltaje máximo	15,5 kV	15,5 kV	27,0 kV	27,0 kV	38,0 kV
Nivel básico de impulso nominal	110,0 kV	125,0 kV	125,0 kV	150,0 kV	170,0 kV*
Límite de ruido radioeléctrico (µV)	100 a 9,4 kV	100 a 9,4 kV	100 a 16,4 kV	100 a 16,4 kV	100 a 23,0 kV
Frecuencia de voltaje no disruptivo, en seco 50 kV	50 kV	60 kV	60 kV	70 kV	
Frecuencia de voltaje no disruptivo, en húmedo	45 kV	45 kV	50 kV	50 kV	60 kV

Figura 63: Tensión del Recloser trifásico.

Descripción	15 kV	15 kV	27 kV	27 kV	38 kV
Corriente continua nominal	630 A*	630 A*	630 A*	630 A*	630 A*
Corriente en cortocircuito simétrica	12,5 kA**	12,5 kA**	12,5 kA**	12,5 kA**	12,5 kA
Corriente de cierre de cresta asimétrica	32,0 kA	32,0 kA	32,0 kA	32,0 kA	32,0 kA
Corriente de carga de cable	10 A	10 A	25 A	25 A	40 A

Figura 64: Corrientes del Recloser trifásico.

Descripción	15 kV	15 kV	27 kV	27 kV	38 kV
Operaciones mecánicas/eléctricas mínimas sin mantenimiento (cierre-apertura)	10 000	10 000	10 000	10 000	10 000
Masa (peso) - kg (lb)	86 (190)	91 (200)	91 (200)	101 (223)	101 (223)

Figura 65: accionamientos mecánicos del recloser trifásico.

## 2.8.5 Terminales de potencia.

Los terminales que se han seleccionado son de la marca 3M, estos terminales están contruidos bajo el estándar IEEE 48-1990. Para la tensión de 25KV estos están compuestos de cuatro faldones y pueden ser instalados a la intemperie.

Los terminales están compuestos con aislante de hule silicón, los tubos de control de tensión de EDPM, el controlador de tensión y los compuestos para sellado con silicón son compatibles con el aislante dieléctrico polietileno de cadena cruzada (XLP).

Para seleccionar el tipo de terminal que se va utilizar en la aplicación a desarrollar se debe tener claro el tipo de ambiente a la cual estará expuesto el elemento. En la siguiente imagen se especifica la serie del terminal, el nivel de tensión a la cual puede ser instalado y los criterios de selección.

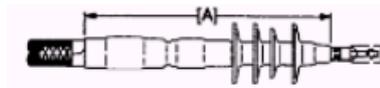
Juego de Terminal	Sistema de Voltaje	Ambiente de Operación			
		Ligero	Medio	Pesado	Extremadamente Pesado
(2 Faldones) 7620-S-2 - 7621-S-2	5 & 8 kV	[	[	[	
(2 Faldones) 7622-S-2	15 kV	[	[	[	
(4 Faldones) 7692-S-4 - 7696-S-4	15 kV	[	[	[	[
8 (Faldones) 7683-S-8 - 7686-S-8	15 kV	[	[	[	[
(4 Faldones) 7692-S-4 - 7696-S-4	25/28 kV	[	[	[	
(8 Faldones) 7683-S-8 - 7686-S-8	25/28 kV	[	[	[	[
(8 Faldones) 7683-S-8 - 7686-S-8	34.5 kV	[	[	[	

Figura 66: serie y nivel de tensión de los terminales de potencia.

Ligero	Pesado
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Áreas sin industria y con baja densidad urbana.</li> <li>• Áreas sujetas a vientos fuertes y/o lluvia con baja densidad de industria y urbana.</li> <li>• Áreas agrícolas.</li> <li>• Áreas montañosas.</li> </ul> <p>Todas estas regiones deben estar situadas al menos a 7 millas de la costa y no deben estar expuestas a vientos costeros. □</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Áreas con alta densidad industrial y algunas áreas urbanas con alta densidad, especialmente aquellas con lluvia poco frecuente.</li> <li>• Áreas sujetas a concentración moderada de polvo conductor, particularmente humo industrial produciendo depósitos.</li> <li>• Área generalmente cercanas a la costa o expuestas a rocío de la costa o a fuertes vientos acarreado arena y sal y sujetos a condensación regular.</li> </ul>
Medio	Extremadamente Pesado
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Áreas industriales no contaminantes sujetas a lluvia poco frecuente y con una densidad urbana promedio.</li> <li>• Áreas sujetas a vientos frecuentes y/o lluvia con alta densidad urbana e industrial.</li> <li>• Áreas expuestas a viento de la costa pero generalmente a más de dos millas de la costa.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Generalmente áreas muy limitadas teniendo contaminantes extremadamente pesados de sitios industriales especialmente aquellos localizados cerca de océanos y sujetas a vientos predominantes del mar.</li> <li>• Áreas aisladas muy pequeñas donde las terminales se localizan inmediatamente adyacentes a la fuente de contaminación, especialmente sotaventos (plantas de cemento, molinos de papel, etc.)</li> </ul>

Figura 67: criterios de selección.

En el caso de este proyecto se utilizarán terminales de potencias a 25 KV y con ambiente de operación medio, se ha elegido el terminal que contiene cuatro faldones ya que no es necesario que el terminal pueda trabajar en ambientes extremadamente pesado, ya que el sitio de ubicación no se encuentra cerca de la costa, a continuación se presentan las propiedades físicas y eléctricas de la terminal de potencia seleccionada.



Numero del Juego	Dimensión A (Máxima)	Distancia Máxima de Corrimiento (Escorrimento) Mojado	Máxima Distancia del Arco
7692-S-4	311 mm (12.25")	470 mm (18.5")	311 mm (12.25")

Figura 68: propiedades físicas y eléctricas del elemento

## 2.9 Presupuesto para realizar la ejecución del proyecto de la línea de distribución eléctrica subterránea de la FIA

En la siguiente tabla 24 se presenta el presupuesto totalizado de la línea de distribución eléctrica subterránea a media tensión para la FIA, el procedimiento para realizar el cálculo del precio unitario de administración (P.U. admón.) es igual al que se realizó para el presupuesto fotovoltaico presentado en la sección 1.10.

Línea de distribución eléctrica subterránea de la FIA								
Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	P.U. material (\$)	P.U. mano de obra (\$)	P.U. admón. (\$)	P.U. (\$)	P.T. (\$)
1	Equipo e instalación							
1.1	Acometida aéreo-subterránea, compuesta por una estructura de remate de una línea trifásica de 15 metros; formada por cable ACSR #1/0, medición primaria en el punto de entrega a 23KV, todo instalado en un poste de concreto de 40 ft.	1	S.U	15568,39	4407,7	6991,6315	26967,72	26967,7215
1.2	Recloser trifásico de 25 KV con controlador electrónico, cuchillas de by-pass de 25 KV, incluyendo elementos de soporte para instalación en poste.	1	S.U	13365	3666.38	5960,983	22992,36	22992.363
1.3	Switchgear Vista modelo 623, 29KV, 12.5KA, tipo Pad-Mounted, con equipo de automatización compuestos por sensores de corriente y tensión, moto operador para una vía con su respectivo módulo de control. Interruptores de falla tripolares de 12.5KA. Se incluye software para programación de curvas TCC.	1	S.U	165136,49	100	57832,7715	223069,3	223069,2615

Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	P.U. material (\$)	P.U. mano de obra (\$)	P.U. admón. (\$)	P.U. (\$)	P.T. (\$)
1.4	Switchgear Vista modelo 423, 29KV, 12.5KA, tipo Pad-Mounted, con equipo de automatización compuestos por sensores de corriente y tensión, moto operador para una vía con su respectivo módulo de control. Interruptores de falla tripolares de 12.5KA. Se incluye software para programación de curvas TCC.	1	S.U	139911,66	100	49004,081	189015,7	189015,741
1.5	Switchgear Vista modelo 423, 29KV, 12.5KA, tipo Pad-Mounted, interruptores de falla tripolares de 12.5KA.	1	S.U	78533,83	100	27521,8405	106155,7	106155,6705
1.6	Tubería DB-60 de 2" con cable de fibra óptica para exteriores, para comunicar equipo de control del switchgear 1 y 3.	300	m	14	5	6,65	25,65	7695
1.7	Convertidores de comunicación serial RS-232 a fibra óptica.	2	U	110	5	40,25	155,25	310,5
1.8	Tubería DB-60 de 2" para futura instalación de cable de fibra óptica para la red anillo de la FIA.	911	m	2,26	5	2,541	9,801	8928,711
1.9	Transformador Pad mounted monofásico de 25KVA, 60 Hz, 23/13,2 KV, BIL 125KV, lado de baja 240/120 V con BIL de 30KV, frente muerto, con fusible tipo bayoneta (con curva C05) y fusible limitador de corriente, 2 terminales tipo codo 25KV, conectores para baja tensión tipo espada con 4 agujeros, terminales para baja tensión. Se toma en cuenta la instalación, conexión en baja y media tensión.	1	U	2500	90	906,5	3496,5	3496,5

Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	P.U. material (\$)	P.U. mano de obra (\$)	P.U. admón. (\$)	P.U. (\$)	P.T. (\$)
1.10	Transformador Pad mounted monofásico de 50KVA, 60 Hz, 23/13,2 KV, BIL 125KV, lado de baja 240/120 V con BIL de 30KV, frente muerto, con fusible tipo bayoneta (con curva C08) y fusible limitador de corriente, 2 terminales tipo codo 25KV, conectores para baja tensión tipo espada con 4 agujeros, terminales para baja tensión. Se toma en cuenta la instalación, conexión en baja y media tensión.	1	U	3250	230	1218	4698	4698
1.11	Transformador Pad mounted monofásico de 75 KVA, 60 Hz, 23/13,2 KV, BIL 125KV, lado de baja 240/120 V con BIL de 30KV, frente muerto, con fusible tipo bayoneta (con curva C08) y fusible limitador de corriente, 2 terminales tipo codo 25KV, 1 para rayo tipo codo 25 KV, conectores para baja tensión tipo espada con 4 agujeros, terminales para baja tensión. Conexión en baja y media tensión.	1	U	3925	230	1454,25	5609,25	5609,25
1.12	Transformador Pad mounted monofásico de 100 KVA, 60 Hz, 23/13,2 KV, BIL 125KV, lado de baja 240/120 V con BIL de 30KV, frente muerto, con fusible tipo bayoneta (con curva C08) y fusible limitador de corriente, 2 terminales tipo codo 25KV, conectores para baja tensión tipo espada con 4 agujeros, terminales para baja tensión. Se toma en cuenta la instalación, conexión en baja y media tensión.	2	U	3950	90	1414	5454	10908

Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	P.U. material (\$)	P.U. mano de obra (\$)	P.U. admón. (\$)	P.U. (\$)	P.T. (\$)
1.13	Transformador Pad mounted trifásico de 75 KVA, 60 Hz, 23/13,2 KV, BIL 125KV, T "Blade" conexión en anillo, lado de baja 208/120 V con BIL de 30KV, frente muerto, con fusible tipo bayoneta (con curva C05) y fusible limitador de corriente, 6 terminales tipo codo 25KV, conectores para baja tensión tipo espada con 4 agujeros, terminales para baja tensión. Se toma en cuenta la instalación, conexión en baja y media tensión.	1	U	4800	90	1711,5	6601,5	6601,5
1.14	Transformador Pad mounted trifásico de 112,5 KVA, 60 Hz, 23/13,2 KV, BIL 125KV, T "Blade" conexión en anillo, lado de baja 208/120 V con BIL de 30KV, frente muerto, con fusible tipo bayoneta (con curva C05) y fusible limitador de corriente, 6 terminales tipo codo 25KV, conectores para baja tensión tipo espada con 4 agujeros, terminales para baja tensión. Se toma en cuenta la instalación, conexión en baja y media tensión.	5	U	6867	90	2434,95	9391,95	46959,75
1.15	Transformador Pad mounted trifásico de 150 KVA, 60 Hz, 23/13,2 KV, BIL 125KV, T "Blade" conexión en anillo, lado de baja 208/120 V con BIL de 30KV, frente muerto, con fusible tipo bayoneta (con curva C05) y fusible limitador de corriente, 6 terminales tipo codo 25KV, conectores para baja tensión tipo espada con 4 agujeros, terminales para baja tensión. Se toma en cuenta la instalación, conexión en baja y media tensión.	2	U	7300	90	2586,5	9976,5	19953

Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	P.U. material (\$)	P.U. mano de obra (\$)	P.U. admón. (\$)	P.U. (\$)	P.T. (\$)
1.16	Transformador Pad mounted trifásico de 225 KVA, 60 Hz, 23/13,2 KV, BIL 125KV, T "Blade" conexión en anillo, lado de baja 208/120 V con BIL de 30KV, frente muerto, con fusible tipo bayoneta (con curva C08) y fusible limitador de corriente, 6 terminales tipo codo 25KV, conectores para baja tensión tipo espada con 4 agujeros, terminales para baja tensión. Se toma en cuenta la instalación, conexión en baja y media tensión.	2	U	7800	90	2761,5	10651,5	21303
1.17	Equipo de medición de diferentes parámetros eléctricos (tensión, corriente, potencia, energía, frecuencia entre otros) modelo Shark 200-S. Se incluye 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.	11	U	2886,48	30	1020,768	3937,25	43309,728
2	<b>Obra civil y tendido de cable</b>							
2.1	Canalización de tramo troncal en tubería PVC de 6" grado eléctrico DB-60, más una tubería de 6" DB-60 de reserva y una tubería de PVC grado eléctrico DB-60 de 2" para línea de datos (costo de tubería y cable de datos se incluye en partida 1.3), recubiertas en lodocreto, con separadores cada 3 metros, 3 cables XLPE-TR #4/0 + 1 cable RHW-2 para polarización. La zanja tendrá un ancho de 0,5 m y una profundidad de 1,65 m.	272	m	191,07	9,27	70,119	270,459	72437,544

Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	P.U. material (\$)	P.U. mano de obra (\$)	P.U. admón. (\$)	P.U. (\$)	P.T. (\$)
2.2	Canalización para futura conexión de la facultad de idiomas. Compuesto por dos tubos PVC DB-60 de 6", separadores de tubo cada 3 metros y con zanja de 0,5m de ancho y 1,65 m de profundidad.	38	m	59,3	6,27	22,9495	88,5195	3363,741
2.3	Canalización para distribución configuración anillo, en la FIA; 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.	908	m	138,03	9,27	51,555	198,855	180560,34
2.4	Canalización para ramal monofásico que alimenta la carga del polideportivo, compuesto por dos tuberías de PVC DB-60 de 6", separadores de tubo cada 3 metros, 2 cables XLPE-TR #1/0 de 25KV y zanja de 0,5m de ancho y 1,65 m de profundidad.	218	m	104,34	9,27	39,7635	153,3735	33435,423
2.5	Pozos de paso de 1,4x 1,4x 1,95 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.	55	U	917,45	100	356,1075	1373,558	75545,6625

Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	P.U. material (\$)	P.U. mano de obra (\$)	P.U. admón. (\$)	P.U. (\$)	P.T. (\$)
2.6	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.	3	U	2800	175	1041,25	4016,25	12048,75
2.7	Pozo de registro para transformadores Pad-Mounted con dimensiones de 1,5x1,6 x1,95 metros, con un hueco de 0,33x0,66 metros para subir con la tubería y dejar la mecha de conexión para el transformador. Las paredes del pozo serán de ladrillo de arcilla de 28x14x16 cm y deberán tener acabado liso de concreto, escalaria, estructura de soportes para cables, 3 tapaderas de concreto de 0,53 x 0,88 metros con un marco de Angulo de 2"x2"x1/4". La tubería para cable primario y de reserva debe quedar a 0,88 m de profundidad y la del cable secundario y de reserva a 0,6 metros de profundidad.	15	U	1032,32	120	403,312	1555,632	23334,48

Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	P.U. material (\$)	P.U. mano de obra (\$)	P.U. admón.(\$)	P.U. (\$)	P.T. (\$)
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.	18	U	420	150	199.5	769.5	13851
3	Desmontaje de estructuras							
3.1	Desconexión de línea aérea primaria y Desmontaje de estructura "H" con banco de tres transformadores. Movilización de equipo con grúa.	4	U	250	50	105	405	1620
3.2	Desconexión de línea primaria y secundaria, desmontaje de banco de tres transformadores en piso. Movilización en equipo en grúa.	2	U	150	50	70	270	540
3.3	Desconexión de línea primaria y secundaria, desmontaje de transformadores montados en poste. Movimiento de equipo en grúa.	6	U	100	25	43,75	168,75	1012,5
3.4	Desconexión y desmontaje de línea primaria de 23KV, distribuida en postes alrededor de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Retiro de postes con grúa.	30	U	50	15	22,75	87,75	2632,5
4	Acometida de baja tensión para edificios nuevos							
4.1	Alimentador de TG edif. Arquitectura a TG edif. Potencia, con 4 #1/0 +1#4 THHN en tubería PVC de 2 1/2", canalización subterránea entre los edificios, incluye Circuit Breaker de 125A/3p, 240/120 V, AIC de 10KA instalado en TG edif. Arquitectura.	30	m	40,12	12	18,24	70,36	2110,86

Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	P.U. material (\$)	P.U. mano de obra (\$)	P.U. admón.(\$)	P.U. (\$)	P.T. (\$)
4.2	Alimentador desde el transformador hacia el TG del edificio de Ciencias Básicas, con 9 cables #250MCM (3 por fase)+ 3#250MCM (1 por fase) + 1#2/0 THHN EN 3 $\phi$ 4" PVC, canalización subterránea, incluye Circuit Breaker de 600 amperios, 240/120V, 3 polos, AIC 10 Kamp, instalado en el TG.	25	m	255,53	15	94,6855	365,216	9130,3875
4.3	Alimentador desde el transformador hacia el TG del edificio de Posgrado, con 4 cables #350MCM + 1 #2 EN $\phi$ 4" PVC, canalización subterránea, incluye Circuit Breaker de 600 amperios, 240/120V, 3 polos, AIC 10 Kamp, instalado en el TG.	30	m	110,36	12	42,826	165,186	4955,58
4.4	Alimentador desde el transformador hacia el TG del edificio de Asociaciones Estudiantiles, con 9 cables #250MCM (3 por fase)+ 3#250MCM (1 por fase) + 1#2/0 THHN EN 3 $\phi$ 4" PVC, incluye Circuit Breaker de 600 amperios, 240/120V, 3 polos, AIC 10 Kamp, instalado en el TG.	25	m	255,53	15	94,6855	365,216	9130,3875

Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	P.U. material (\$)	P.U. mano de obra (\$)	P.U. admón.(\$)	P.U. (\$)	P.T. (\$)
5	Sistema de puesta a tierra							
5.2	SPT configuración S9: 58mts de cable de cobre THHN #2/0, 7 barras coperweld 5/8"x10', 2 molde thermoweld cable-cable 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.	16	U	807,71	161,542	339,2382	1308,49	10467,922
6	Sistema de puesta a tierra							
6.1	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	U	2000		700	2700	2700
6.2	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	S.G	13955,496		4884.42	18839.92	18839.92
Total								1242041,41

Tabla 24: Presupuesto de línea de distribución subterránea de la FIA.

### **Tiempo de recuperación de la inversión del proyecto.**

El monto de inversión del proyecto incluyendo IVA es el siguiente:

SFVCR: \$837,418

Sistema de distribución eléctrica subterránea: 1,403,507.25

Monto total: \$2,240,925.25

Para calcular el PRI (Periodo de Recuperación de Inversión) se toma en cuenta el valor presentado en la tabla 13 (ahorro esperado por año), el cual tiene un monto de: 624,660.282 con IVA incluido.

En tres años se recupera la siguiente cantidad:

$$624,660.282 * 3 = \$1,873,980.85$$

El monto restante es el siguiente:

$$2,240,925.25 - 1,873,980.85 = \$366,944.4$$

El cual se recupera en:

$$\frac{365 * 324,364.24}{624,660.282} = 189.53 \approx 190 \text{ días}$$

En conclusión la inversión se recupera en **3 años 5 meses y 18 días.**

## 2.10 Análisis de cortocircuito.

Para el desarrollo de la línea de distribución eléctrica subterránea, se realizó el análisis de cortocircuito solo para media tensión. Para la implementación del análisis fue necesario calcular la impedancia del cable de distribución subterránea.

### 2.10.1 Cálculo de impedancia de secuencia positiva del cable de distribución subterránea.

La impedancia de un cable se puede representar como una cantidad compleja donde la parte real representa la resistencia del cable y la parte imaginaria la combinación de reactancias inductiva y capacitiva del cable. Para el caso de líneas de distribución se desprecia la reactancia capacitiva ya que se trabaja en tramos cortos, (este tipo de reactancia se considera en líneas de transmisión), por lo tanto la impedancia del cable se representa de la siguiente manera:

$$Z = R + jX_L \quad (16)$$

Para tener la impedancia se debe calcular la resistencia del cable y la reactancia inductiva por separado. La resistencia de un cable es diferente si este se encuentra conectado a una fuente de corriente directa o a una fuente de corriente alterna por lo que se presentan ambas ecuaciones:

$$R_{dc} = \rho \frac{L}{A} (1 + K_c) \quad (\text{Para una } T^\circ \text{ de } 20^\circ\text{C}) \quad (17)$$

$\rho$ : Resistividad volumétrica del material del conductor. Para el cobre  $17.24 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{Km}}$

$K_c$ : Factor de cableado, que para el caso de cable redondo normal tiene el valor de 0.020.

$$R_{ac} = R_{dc}(1 + Y_s + Y_p) \quad (18)$$

$Y_s$ : Factor de efecto piel.

$Y_p$ : Efecto de proximidad.

#### Factor de efecto piel <sup>8</sup>.

Si el conductor está compuesto por uno o más elementos circulares concéntricos, la parte central del conductor se verá envuelto por un flujo magnético mayor que aquellos que se encuentren en el exterior. En consecuencia, la auto-inductancia inducida por vuelta será mayor hacia el centro del conductor, causando así que la densidad de corriente sea menor en el centro que en la superficie del conductor. Esta concentración adicional en la superficie es conocida como el efecto piel, y resulta en un aumento de la resistencia efectiva del conductor.

(9): Tesis de la UNAM que lleva por nombre "Manual para la instalación de cables de energía de media tensión".

La ecuación para poder calcular el efecto piel, se presenta a continuación:

$$Y_s = \frac{X_s^4}{(192 + 0.8X_s^4)} \quad (19)$$

$$X_s^2 = \frac{8 * \pi * f(Hz) * K_s * 1x10^{-7}}{R_{dc}} \quad (20)$$

f: frecuencia en Hz.

Ks: factor determinado por la construcción del conductor, para conductores redondos y trenzados es 1.

### Efecto de proximidad <sup>8</sup>.

El efecto de proximidad también aumenta la resistencia efectiva y se asocia con los campos magnéticos de dos conductores que están próximos entre sí. Si cada uno lleva una corriente en la misma dirección, la mitad de los conductores más próximos, recortarán más flujo magnético que las mitades más distanciadas. En consecuencia, la actual distribución no es uniforme en toda la sección transversal, una mayor proporción es transportada por las mitades más alejadas. Si las corrientes están en direcciones opuestas, las dos mitades próximas, llevarán la mayor densidad de corriente.

La ecuación para calcular el efecto de proximidad es la siguiente:

$$Y_p = \frac{X_p^4}{(192 + 0.8X_p^4 \left(\frac{dc}{S}\right)^2 * [0.132 * \left(\frac{dc}{S}\right)^2 + 1.18 / \left\{ \frac{X_p^4}{192 + 0.8X_p^4} + 0.27 \right\}])} \quad (21)$$

Donde:

$$X_s^2 = \frac{8 * \pi * f(Hz) * K_s * 1x10^{-7}}{R_{dc}} \quad (22)$$

$$X_s^2 = \frac{8 * \pi * f(Hz) * K_s * 1x10^{-7}}{R_{dc}} \quad (23)$$

f: frecuencia en Hz.

Ks: factor determinado por la construcción del conductor, para conductores redondos y trenzados es 1.

dc: diámetro del conductor en (mm).

Rdc: resistencia de corriente directa.

S: distancia entre centros de conductores en (mm).

(8): Tesis de la UNAM que lleva por nombre "Manual para la instalación de cables de energía de media tensión".

Para que se pueda obtener el valor de  $R_{dc}$  a la temperatura de operación en la que trabaja el conductor se utiliza la siguiente ecuación:

$$R_t = R_{20^\circ\text{C}}[1 + \alpha_{20^\circ\text{C}}(T - 20^\circ\text{C})] \quad (24)$$

$R_{20^\circ\text{C}}$ :  $R_{dc}$  a  $20^\circ\text{C}$

$\alpha_{20^\circ\text{C}}$ : Coeficiente de corrección de temperatura, para el caso del cobre es de 0.00393.

T: temperatura de operación.

La diferencia entre  $R_{dc}$  y  $R_{ac}$  recae en los factores de efecto piel y efecto de proximidad, aunque con cables de calibre no muy gruesos como los que se especifican en el diseño, estos factores no influyen tal y como se comprueba más adelante.

Ahora se calcula la resistencia del cable para el tramo comprendido desde el SG1 hasta el transformador trifásico del polideportivo.

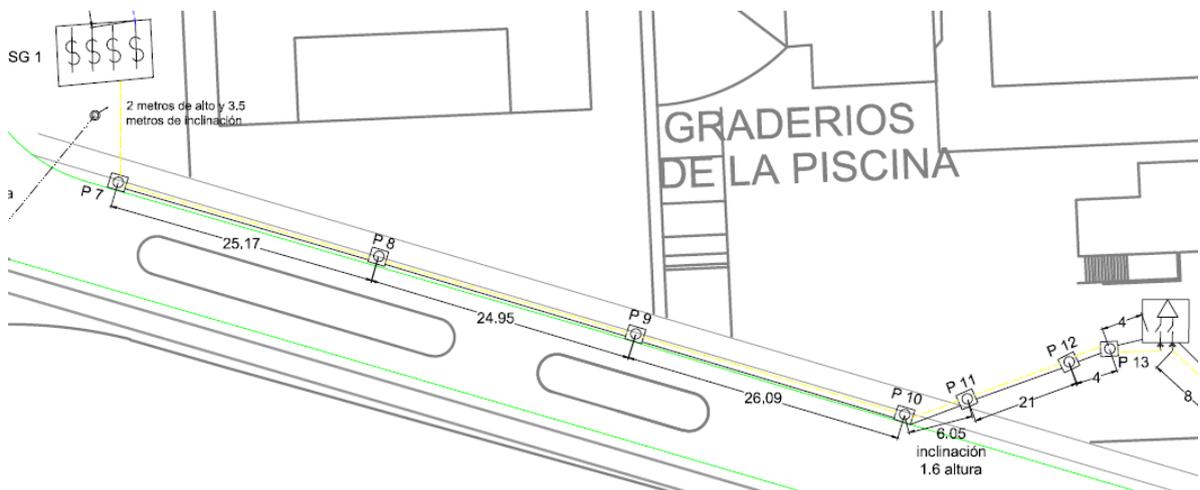


Figura 69: se muestra el tramo de línea que se toma como ejemplo para el cálculo de resistencia del cable.

Longitud del cable: 189.36 m (Tomando en cuenta el cable de reserva en cada pozo de paso y registro).

Calibre de cable: #4/0

Area de sección transversal:  $107.2 \text{ mm}^2$

Aplicando la ecuación (17) se obtiene lo siguiente:

$$R_{dc} = 17.241 \left( \frac{0.18936}{107.2} \right) (1 + 0.002)$$

$$R_{dc} = 0.030516 \Omega \text{ (A } 20^\circ\text{C)}$$

La temperatura máxima de operación que se ha tomado para el cable subterráneo es de  $90^\circ\text{C}$ , ya que se toma en cuenta la sugerencia de la normativa de AES El Salvador

(sistemas de distribución de líneas subterráneas, SNE-EC-DS), con lo cual se calcula la  $R_{dc}$  a la temperatura máxima de operación utilizando la ecuación (24).

$$R_t = 0.030516[1 + 0.00393 * (90^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C})]$$

$$R_t = 0.03891 \Omega$$

Ahora que ya se tiene el valor de resistencia DC se procede a calcular la resistencia AC, y con esto se comprueba que los factores de efecto piel y de proximidad no influyen en conductores de bajos calibres.

Factor de efecto piel:

$$X_s^2 = \frac{8 * \pi * 60 * 1 * 1 \times 10^{-7}}{0.03891}$$

$$X_s^2 = 0.003876$$

$$Y_s = \frac{(0.003876)^2}{(192 + 0.8 * (0.003876)^2)}$$

$$Y_s = 7.82467 \times 10^{-8}$$

Factor de proximidad:

$$Y_p = \frac{(0.003876)^2}{(192 + 0.8(0.003876)^2(1)^2 * [0.132 * (1)^2 + 1.18 / \{ \frac{(0.003876)^2}{192 + 0.8(0.003876)^2} + 0.27 \}])}$$

$$Y_p = 6.1225 \times 10^{-15}$$

Por la tanto  $R_{ac}$  es:

$$R_{ac} = 0.03891(1 + 7.82467 \times 10^{-8} + 6.1225 \times 10^{-15})$$

$$R_{ac} = 0.03891 \Omega$$

### Calculo de reactancia inductiva.

Para realizar el cálculo de la reactancia inductiva del cable XLPE, se tomó ecuaciones presentadas por el fabricante ABB. Donde se calcula la inductancia posteriormente la reactancia.

$$L = 0.0152 + 0.061 * \ln\left(\frac{k * s}{rc}\right) \left[ \frac{mH}{1000ft} \right] \quad (25)$$

Donde:

K=1, para formación triplexada.

S= distancia entre centros de los conductores.

rc= radio de los conductores.

Ecuación para calcular la reactancia:

$$X = 2\pi * f * \frac{L}{1000} \left[ \frac{\Omega}{1000 ft} \right] \quad (26)$$

Donde:

f: frecuencia en Hz.

L: inductancia en  $\frac{mH}{1000ft}$

Se calcula la reactancia inductiva desde el tramo SG 1 hasta el transformador trifásico del polideportivo, para obtener el valor completo de la impedancia.

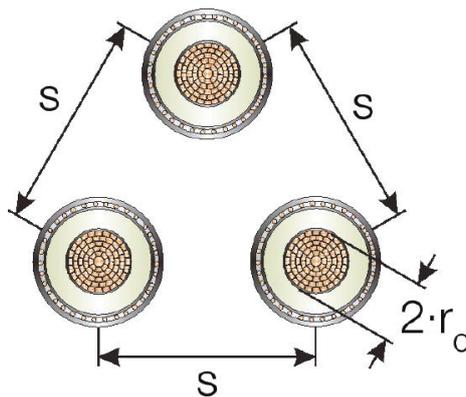


Figura 70: formación triplexada para cables.

Para el cable #4/0 se tienen los siguientes valores:

Diámetro total del cable: 37.1 mm

Radio del conductor: 6.05 mm

$$L = 0.0152 + 0.061 * \ln\left(\frac{37.1}{6.05}\right) \quad \left[ \frac{mH}{1000ft} \right]$$

$$L = 0.125827 \quad \left[ \frac{mH}{1000ft} \right]$$

Calculando reactancia inductiva:

$$X = 2\pi * 60 * \frac{0.125827}{1000} \left[ \frac{\Omega}{1000 ft} \right]$$

$$X = 0.047436 \left[ \frac{\Omega}{1000 \text{ ft}} \right]$$

Para el tramo de 189.36 m la reactancia es equivalente a:

$$X = 0.047436 \left[ \frac{\Omega}{1000 \text{ ft}} \right] * \left[ \frac{1 \text{ ft}}{0.3048 \text{ m}} \right] * 189.36 \text{ m} = 0.02947 \Omega$$

Por lo tanto la impedancia del cable para el tramo calculado, utilizando la ecuación (16) que da de la siguiente manera:

$$Z = (0.03891 + j0.02947)\Omega$$

En la tabla 26 se muestra las impedancias que se calcularon para los demás tramos que componen el sistema de distribución eléctrica subterránea de la FIA (siguiendo el procedimiento antes expuesto).

### 2.10.2 Cálculo de impedancia de secuencia cero del cable de distribución subterránea.

La corriente de secuencia cero se presenta cuando hay desbalance de carga en un sistema (lo cual es común en la práctica), esta corriente puede retornar por la pantalla del cable y un conductor de polarización adicional, indiferentemente si el sistema es monofásico o trifásico.

A continuación se presenta el procedimiento para obtener el valor de impedancia de secuencia cero para cables mono polares.

Ecuación para obtener impedancia de secuencia cero:

$$Z_0 = Z_c - \frac{Z_m^2}{Z_s} \quad (27)$$

Donde:

Zc: impedancia del conductor de tierra.

Zm: impedancia mutua entre conductor y pantalla.

Zs: impedancia de la pantalla.

#### Procedimiento del cálculo de Zm.

El valor de resistividad del suelo para la Ciudad Universitaria es de 100 ohm/metros, la ecuación para calcular Zm es la siguiente:

$$Z_m = r_e + j0.8382 * \frac{f}{60} * \log_{10} \left( \frac{D_e}{GMD_{3C-3S}} \right) \quad (28)$$

Donde:

re: resistencia en corriente alterna de retorno por tierra en ohmios por milla.

f: frecuencia (60 HZ).

De: Profundidad equivalente de retorno por tierra en pulgadas.

$GMD_{3C-3S}$ : media geométrica entre todas las separaciones entre pantallas de conductores.

Los valores de Profundidad equivalente de retorno por tierra (De) y resistencia en corriente alterna de retorno por tierra (re) se obtienen de la tabla 25 utilizando el valor de resistividad del suelo 100 ohm/metros.

Earth Resistivity (meter-ohm)	Equivalent Depth of Earth Return. $D_e$		Equivalent Earth Resistance $r_e$ (ohms per miles)	Equivalent Earth Reactance $x_e$ (ohms per miles)
	inches	feet		
1	$3.36 \times 10^3$	280	0.286	2.05
5	$7.44 \times 10^3$	620	0.286	2.34
10	$1.06 \times 10^4$	880	0.286	2.47
50	$2.40 \times 10^4$	2000	0.286	2.76
100	$3.36 \times 10^4$	2800	0.286	2.89
500	$7.44 \times 10^4$	6200	0.286	3.18
1000	$1.06 \times 10^5$	8800	0.286	3.31
5000	$2.40 \times 10^5$	20000	0.286	3.60
10000	$3.36 \times 10^5$	28000	0.286	3.73

Tabla 25: valores De y re, dadas por la resistividad del suelo <sup>9</sup>.

Ecuación para calcular  $GMD_{3C-3S}$ .

$$GMD_{3C-3S} = \sqrt[3]{\frac{r_o + r_i}{2} * GMD3c^2} \quad (29)$$

Donde:

$r_o$ = radio externo de la pantalla en pulgadas.

$r_i$ =radio interno de la pantalla en pulgadas.

$GMD3c$ = distancia media geométrica entre centros de conductores.

$$GMD3c = \sqrt[3]{S_{ab} * S_{bc} * S_{ca}} \quad (30)$$

### Procedimiento del cálculo de $Z_s$ .

La ecuación para obtener la impedancia de la pantalla ( $Z_s$ ) es la siguiente:

$$Z_s = r_s + r_e + j0.8382 * \log_{10} \left( \frac{De}{GMR3c} \right) \quad (31)$$

(10): Documento electrical-transmission-and-distribution-reference-book-of-westinghouse, capítulo 4 tabla 3.

Donde:

$r_s$  = resistencia de una pantalla en ohm/milla.

$$r_s = \frac{0.200}{r_o + r_i * r_o - r_i} \quad (32)$$

$GMR_{3c}$  = radio medio geométrico de la senda de conducción hecha sobre los tres conductores tomados en grupos.

$$GMR_{3c} = \sqrt[3]{GMR_{1c} * GMD_{3c}^2} \quad (33)$$

Donde:

$GMR_{1c}$  = radio medio geométrico de 1 conductor individual.

$GMD_{3c}$  = distancia media geométrica entre centros de conductores en pulgadas.

$$GMR_{1c} = \frac{\text{diametro del conductor}}{2} * 0.726 \text{ (en pulgadas)} \quad (34)$$

**Procedimiento del cálculo de  $Z_c$ .**

$$Z_c = r_c + r_e + j0.8382 * \log_{10} \left( \frac{De}{GMR_{3c}} \right) \quad (35)$$

Donde:

$r_c$ : resistencia de corriente alterna de un conductor.

**Calculo de impedancia de secuencia cero para cable XLPE-TR 4/0.**

**$Z_m$ :**

Según la figura 64  $GMD_{3c}$  sería igual ha:

$$GMD_{3c} = 37.1 \text{ mm} * \frac{0.03937 \text{ pulg.}}{1 \text{ mm}} = 1.461 \text{ pulg.}$$

$$GMD_{3c-3s} = \sqrt[3]{\frac{1.46}{2} * 1.461^2} = 1.1593 \text{ pulg.}$$

Ahora tomando los valores  $r_e$  y "De" de la tabla 25 se calcula  $Z_m$ :

$$Z_m = 0.286 + j0.8382 * \frac{60}{60} * \log_{10} \left( \frac{3.36 * 10^4}{1.1593} \right)$$

$$Z_m = 0.286 + j3.74 \quad \Omega - \text{milla}$$

**$Z_s$ :**

$$r_s = \frac{0.200}{(1.46) * (1.10)} = 0.1507 \quad \Omega - \text{milla.}$$

$$GMR1c = \frac{0.512}{2} * 0.726 = 0.1859 \text{ pulgadas.}$$

$$GMR3c = \sqrt[3]{0.1859 * (1.461)^2} = 0.7337 \text{ pulgadas.}$$

$$Zs = 0.1507 + 0.286 + j0.8382 * \log_{10}\left(\frac{3.36 \times 10^4}{0.7337}\right)$$

$$Zs = 0.4367 + j3.9067 \Omega - \text{milla}$$

**Zc:**

$$rc = 17.24 \frac{\Omega - mm^2}{km} * \frac{1.609 km}{107.2 mm^2}$$

$$rc = 0.2588 \Omega - \text{milla}$$

$$rc = 0.2588(1 + 0.020) = 0.2639 \Omega - \text{milla}$$

$$rc = 0.2639[1 + 0.00393(90 - 20)]$$

$$rc = 0.3365 \Omega - \text{milla.}$$

$$Zc = 0.3365 + 0.286 + j0.8382 * \log_{10}\left(\frac{3.36 \times 10^4}{0.7337}\right)$$

$$Zc = 0.6225 + j3.9067 \Omega - \text{milla.}$$

Ahora que se tienen todos los valores se procede al cálculo de la impedancia de secuencia cero:

$$Z_0 = (0.6225 + j3.9067) - \frac{(0.286 + j3.74)^2}{0.4367 + j3.9067}$$

$$Z_0 = 0.4746 + 0.3307 \Omega - \text{milla}$$

El mismo procedimiento que se ha seguido para calcular la impedancia de secuencia cero del cable #4/0 se sigue para el cálculo del cable #1/0, el procedimiento antes expuesto fue extraído del documento "Apuntes de Cables 2008" de la Universidad de Mendoza.

En la tabla 26 se presentan los valores de impedancia de secuencia positiva y cero, para cada uno de los tramos que conforman el trayecto de la línea de distribución eléctrica subterránea de la FIA.

Item	Tramo	Impedancia sec.(+)( $\Omega$ )	Impedancia de sec. cero ( $\Omega$ )
1	Acometida - SG1	0,0044+j0,00179	0,01604+ j0,01117
2	SG1-Trafo1	0,03891+j0,0295	-----
3	SG1-Trafo2	0,04095+j0,0204	-----
4	SG1-Trafo3	0,10542+j0,0453	-----
5	SG1-Trafo4	0,14186+j0,04713	0,15448+ j0,10764
6	Trafo1-SG2	0,01919+j0,01656	0,07232+ j0,05039
7	SG2-SG3	0,03858+j0,0277	0,15074+ j0,10504
8	SG3-Trafo5	0,02222+j0,0088	0,05840+ j0,02684
9	Trafo5-Trafo6	0,02013+j0,012	0,17545+ j0,08065
10	Trafo6-Trafo7	0,07304+j0,0291	0,26411+ j0,12140
11	Trafo7-Derivador 1	0,01761+j0,007	0,04619+j0,02123
12	Derivador 1- Trafo8	0,06297+j0,0251	0,18607+ j0,08553
13	derivador 1- Trafo9	0,01585+j0,0063	0,05574+ j0,02562
14	Trafo9 - Derivador 2	0,02214+j0,0088	0,06609+ j0,03038
15	Derivador 2-Derivador 3	0,02097+j0,0083	0,06105+ j0,02806
16	Derivador 3 - Trafo12	0,04722+j0,0188	0,15103 +j0,06942
17	Trafo12 - Trafo13	0,03888+j0,0154	0,12330+ j0,05667
18	Trafo13 - Derivador 4	0,04101+j0,0163	0,09927+ j0,04563
19	Derivador 4 - Trafo15	0,08646+j0,0343	0,26013+ j0,11957
20	Trafo15 - Trafo16	0,05551+j0,0242	0,17147+ j0,07882
21	Trafo16 - SG2	0,01845+j0,0073	0,03716+ j0,01708

Tabla 26: Valores de impedancia del cable por tramo.

### 2.10.3 Análisis de cortocircuito utilizando el software ETAP.

ETAP es una herramienta de análisis y control para el diseño, simulación y operación de sistemas de potencia eléctricos de generación, distribución e industriales. Para el presente diseño se utilizó la versión 12.6.0, específicamente se aprovechó para la realización del análisis de cortocircuito en cada tramo de media tensión.



En la Figura 71 se presenta el diagrama unifilar realizado en ETAP, del Bus1 al Bus2 se encuentra el tramo aéreo, que va desde el punto de entrega de la distribuidora hasta el poste que se encontrara dentro de la universidad, donde se construirá la acometida aéreo- subterráneo, este tramo de cable será del tipo ACSR calibre 1/0. Los tramos (3,4 y 5) que están conectados al SG1 son tramos monofásicos para alimentar los transformadores Pad-Mounted monofásicos, (dos de 100KVA y uno de 75KVA). En estos tramos se utilizan adaptadores de fases (PA, por sus siglas en ingles), aparte de estos transformadores monofásicos también se tiene uno de 50KVA para los edificios de aulas y otro de 25KVA para el edificio de metrología.

Es importante saber cómo configurar los adaptadores de fase ya que con estos elementos se puede combinar circuitos trifásicos con circuitos monofásicos, en la figura 66 se muestra la ventana de configuración de este elemento de ETAP.

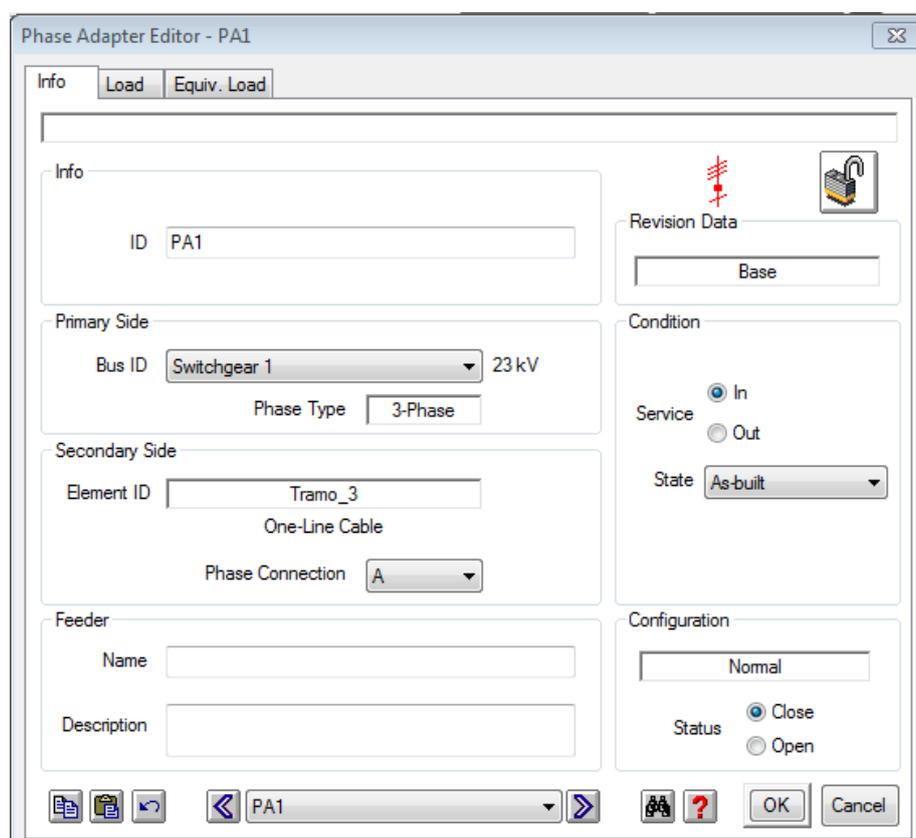


Figura 72: Ventana de configuración de adaptadores de fase.

Tal y como se observa en la figura 72, se debe indicar los dos puntos de conexión tanto del lado primario como secundario, en lado secundario es donde se elige si se utilizara un circuito monofásico bifilar o unifilar, en este caso se elige unifilar utilizando la fase "A".

### **Pasos para ejecutar análisis de cortocircuito en ETAP.**

1. Configuración de los parámetros de red externa, diferentes tramos de cable y parámetros eléctricos de transformadores.
2. Selección del punto de falla.
3. Ejecución del análisis para obtener las  $I_{sc}$ .

1. Configuración de los parámetros de la red externa, diferentes tramos de cable y parámetros eléctricos de transformadores.

Se configuro como primer parámetro, la acometida del Complejo Deportivo-FIA, en ese punto se otorgó por parte de la distribuidora la corriente de cortocircuito trifásica, para el medidor #95203325, la cual fue de  $I_{cc}=5433$  A (216.435 MVA<sub>sc</sub>).

En la figura 73 se muestra la configuración de la red externa que es el punto de entrega por parte de la distribuidora de CAESS.

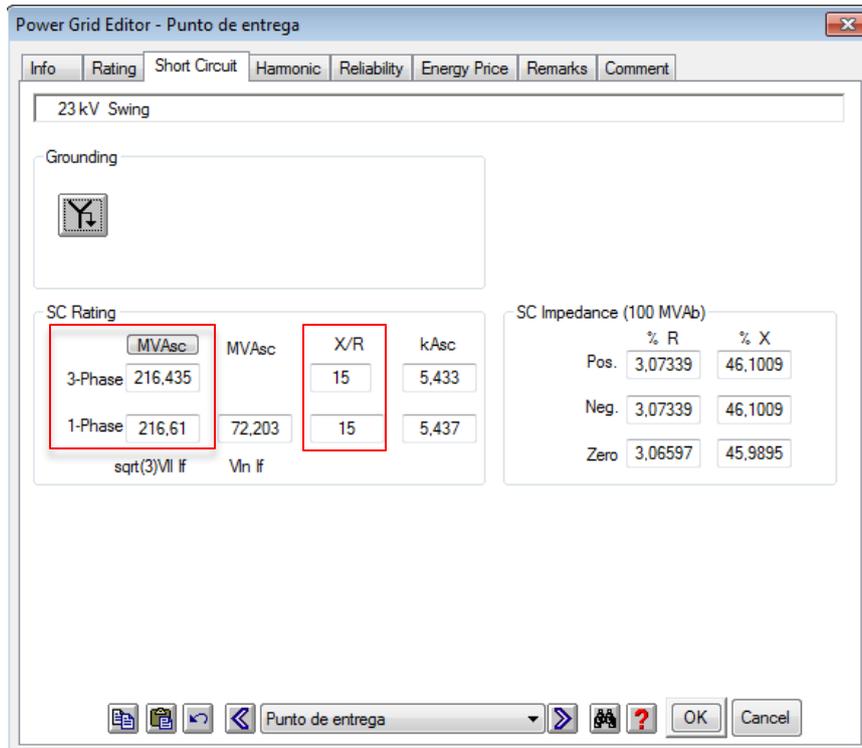


Figura 73: Ventana de configuración de la red externa.

En la ventana Power Grid se ingresa el valor de la potencia de cortocircuito brindada por la distribuidora CAESS, se indica el tipo de configuración de la red que para este caso es estrella sólidamente aterrizada y se coloca la relación de X/R según lo que se muestra en la figura 74.

**Table 1.2-3. Typical System X/R Ratio Range (for Estimating Purposes)**

Type of Circuit	X/R Range
Remote generation through other types of circuits such as transformers rated 10 MVA or smaller for each 3-phase bank, transmission lines, distribution feeders, etc.	15 or less
Remote generation connected through transformer rated 10 MVA to 100 MVA for each 3-phase bank, where the transformers provide 90 percent or more of the total equivalent impedance to the fault point.	15 – 40
Remote generation connected through transformers rated 100 MVA or larger for each 3-phase bank where the transformers provide 90 percent or more of the total equivalent impedance to the fault point.	30 – 50
Synchronous machines connected through transformers rated 25 to 100 MVA for each 3-phase bank.	30 – 50
Synchronous machines connected through transformers rated 100 MVA and larger.	40 – 60
Synchronous machines connected directly to the bus or through reactors.	40 – 120

Figura 74: Tabla para valores estimados de X/R, extraído del documento de EATON Ref. No. 0039 enero del 2003.

Como se indica en la figura 74, se ha seleccionado el valor de  $X/R=15$ , ya que este valor es contemplado para líneas de distribución.



Cable

Figura 75: selección de tramo de cable.

Ahora se continúa con la configuración de los parámetros a los diferentes tramos de cable, aquí se colocan los valores de impedancia de la tabla 26, las distancias, tipo de ducto, entre otros.

Se selecciona el icono para poder agregar el tramo de cable, luego se abre la ventana Cable editor y en la pestaña info se le coloca el tipo de conexión y la distancia.

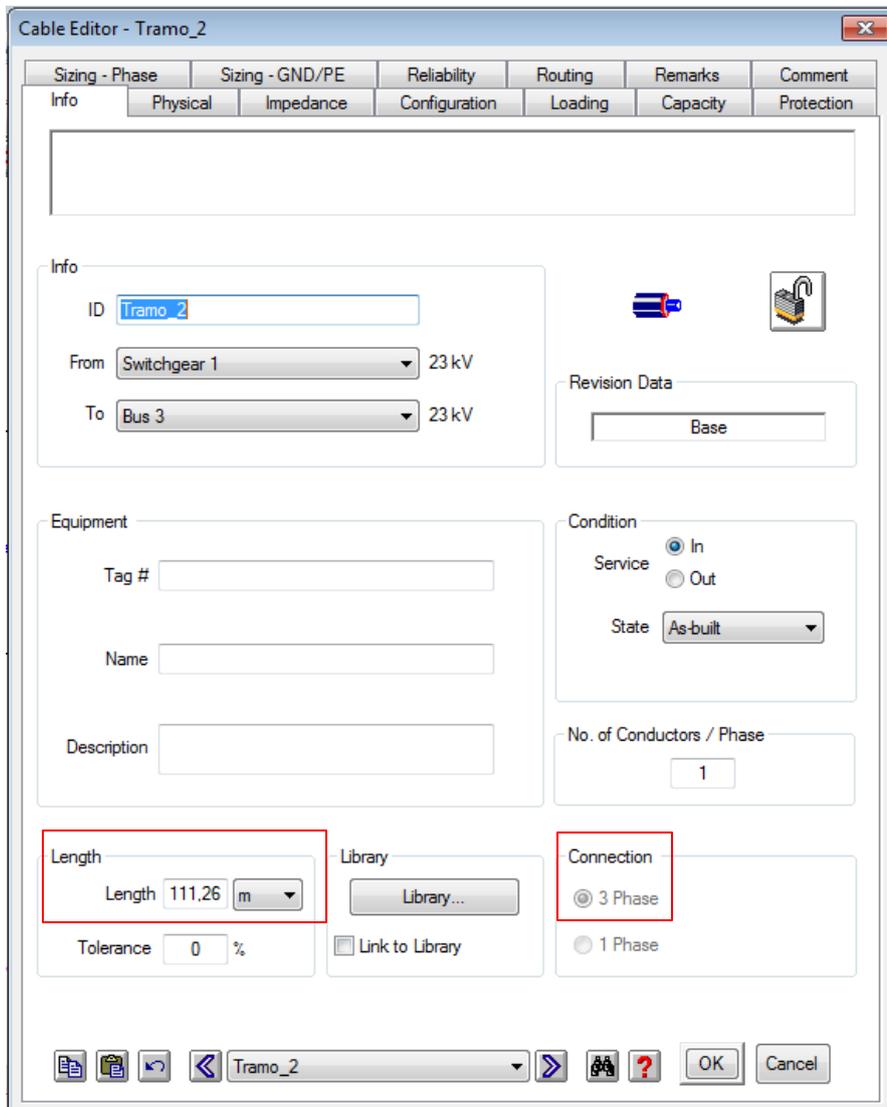


Figura 76: ventana de Cable Editor.

Luego en la pestaña de impedance, se colocan los valores de resistencia y reactancia.

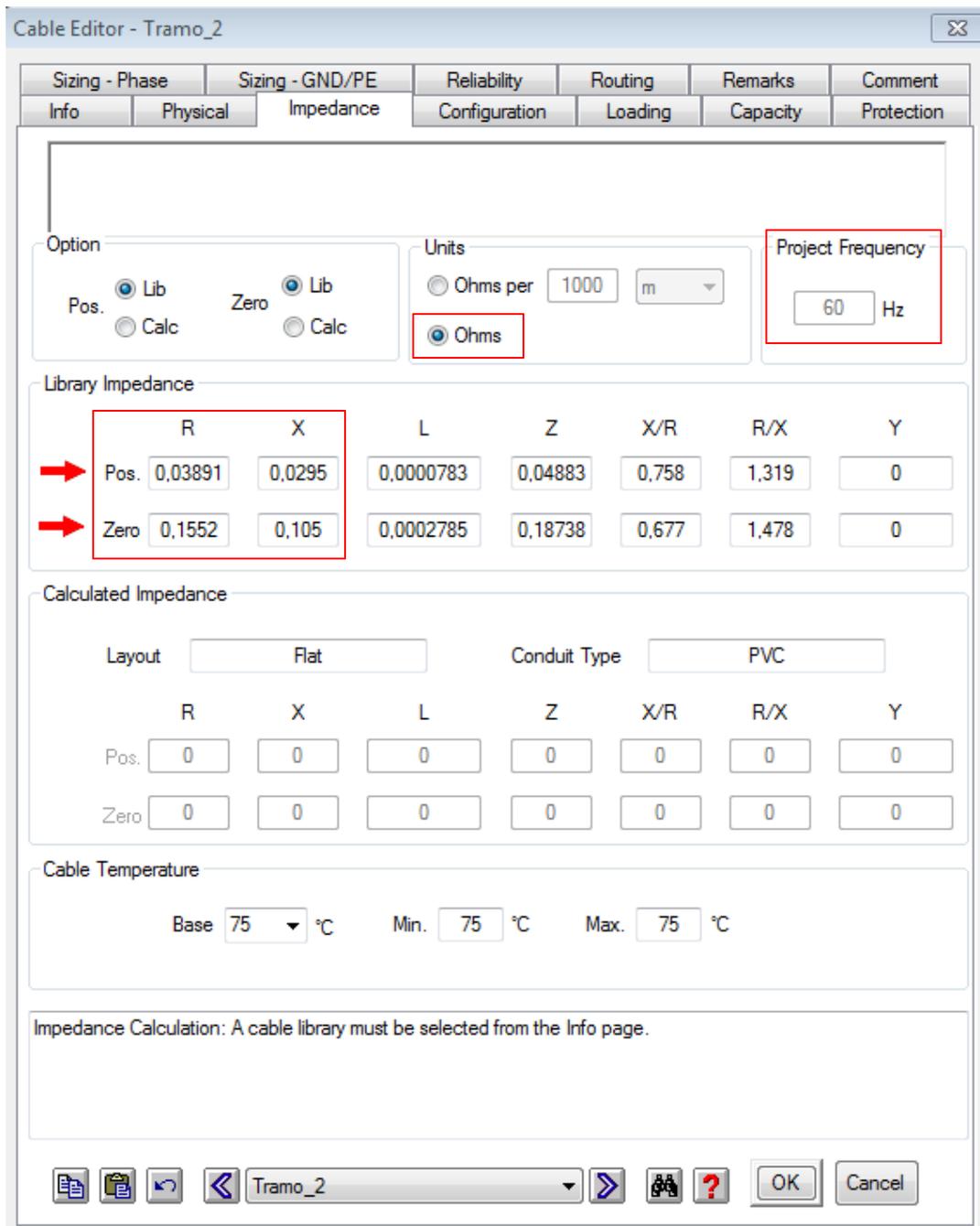


Figura 77: se asigna impedancia del cable.

En esta ventana se selecciona si la resistencia y reactancia se coloca en ohmios o en ohmios por cada 1000 m, en este caso se selecciona en ohmios, aparte se puede observar a la frecuencia que trabaja el sistema (60Hz). Luego en la pestaña Configuration se asigna el tipo de ducto que se utiliza para transportar los cables y el tamaño.

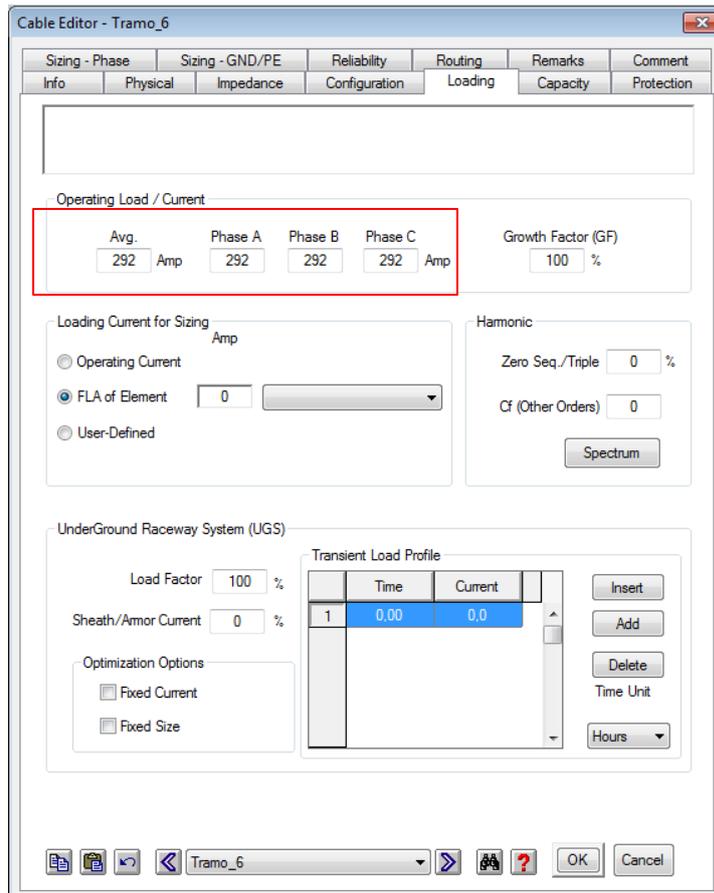


Figura 78: Asignación de Ampacidad del cable.

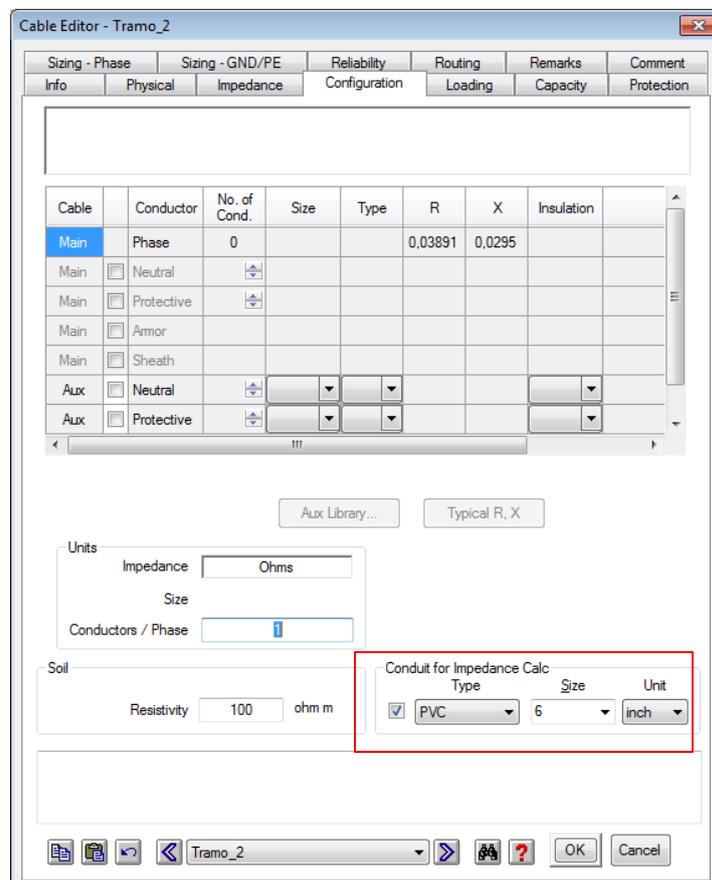


Figura 79: Selección de ducto o tubería.

Configuración de parámetros eléctricos a los Transformadores.

**Tabla 10: Valores nominales de impedancia de cortocircuito para transformadores trifásicos.**

Potencia Nominal del Transformador [kVA]	Impedancia de Cortocircuito [%]
<500	4 %
≥500	5 %

Figura 80: Impedancia de cortocircuito transformadores Pad-Mounted Trifasicos <sup>10</sup>.

En este caso como todas las capacidades de los transformadores son menores a 500 KVA se utiliza una impedancia de cortocircuito del 4%.

Para el caso de transformadores Pad-Mounted monofásicos se utiliza los valores que se muestran en la figura 81.

kVA	Low Voltage	%R	%IX	%IZ
<b>HIGH VOLTAGE 14400/24940GRDY OR 24940GRDY/14400</b>				
10		1.9	1.3	2.3
15		2.2	1.6	2.7
25		1.6	2.1	2.6
37½	<b>120/240</b>	1.7	2.3	2.9
50		1.2	1.9	2.2
75		1.0	2.1	2.3
100		0.8	2.1	2.3

Figura 81: valores de impedancia de corto circuito para transformadores monofásicos.

En la figura 81 se muestra el valor correspondiente para impedancia de cortocircuito de transformadores monofásicos de 50, 75 y 100 KVA que se utilizan en el diseño.

A continuación se muestra la configuración de los transformadores en ETAP:

(11): Tabla 10 de la especificación técnica de “CENTROS DE TRANSFORMACIÓN COMPACTOS DE SUPERFICIE TIPO PAD-MOUNTED (E-MT-020)” publicada por la empresa española ENDESA.

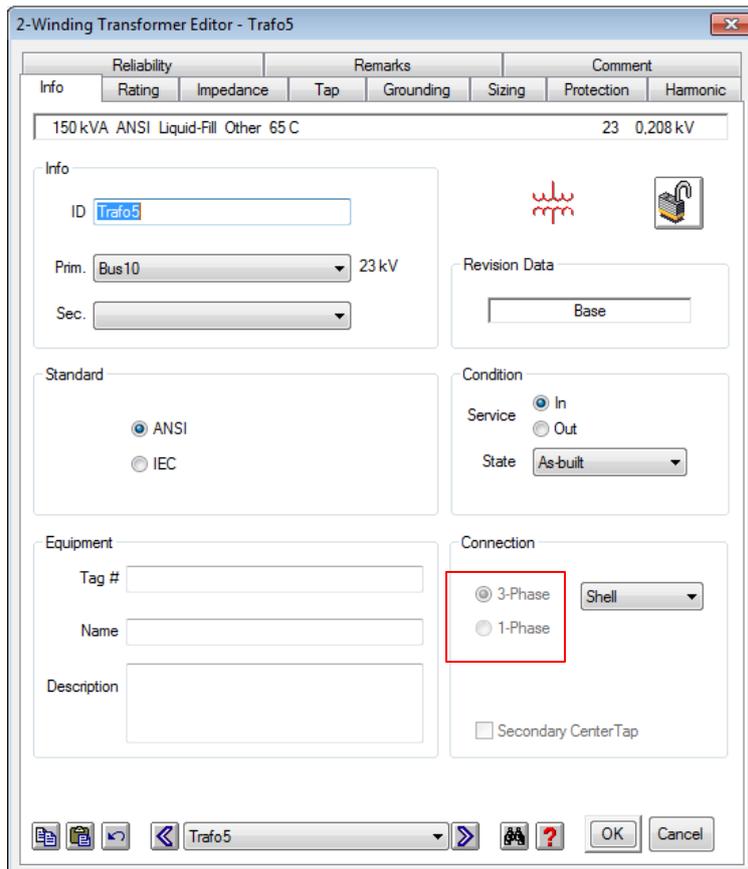


Figura 82: tipo de transformador a utilizar.

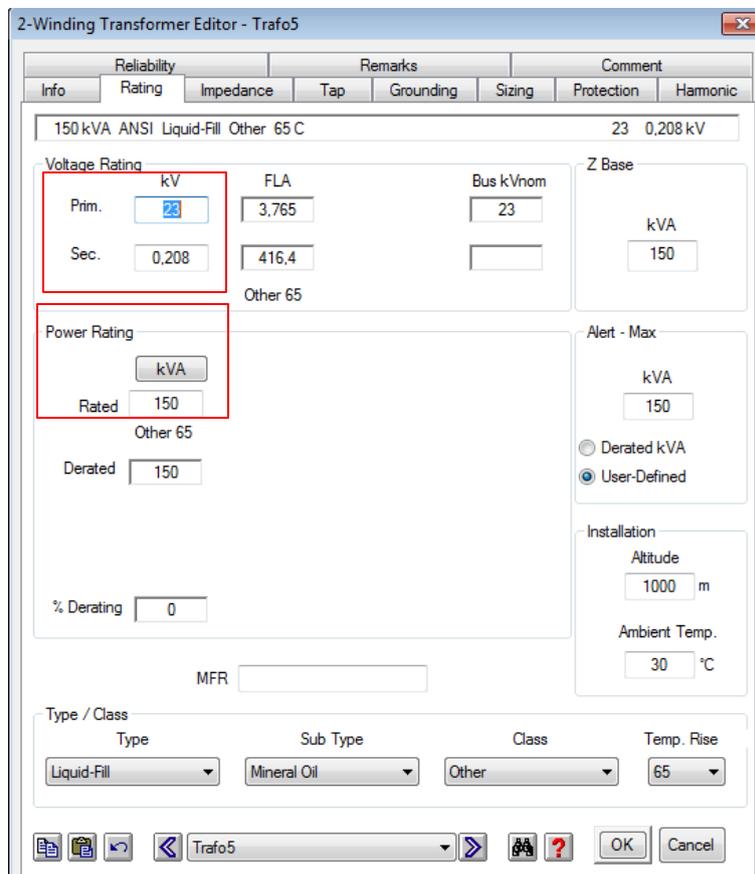


Figura 83: selección de niveles de tensión y potencia aparente.

2-Winding Transformer Editor - Trafo5

Reliability		Remarks			Comment		
Info	Rating	Impedance	Tap	Grounding	Sizing	Protection	Harmonic
150 kVA ANSI Liquid-Fill Other 65 C						23	0,208 kV
Impedance						Z Base	
	%Z	X/R	R/X	%X	%R		
Positive	4	2,47	0,405	3,708	1,501	kVA	
Zero	4	2,47	0,405	3,708	1,501	150	
						Other 65	

Figura 84: Valor de impedancia de cortocircuito del transformador.

2-Winding Transformer Editor - Trafo5

Reliability		Remarks			Comment		
Info	Rating	Impedance	Tap	Grounding	Sizing	Protection	Harmonic
150 kVA ANSI Liquid-Fill Other 65 C						23	0,208 kV
Phase Shift							
<input checked="" type="checkbox"/> Font	<input checked="" type="radio"/> Vector Group		Vector	Angle	HV leads LV		
	<input type="radio"/> Winding Connection		Dyn1	30			
<input type="checkbox"/> Symbols (Grounding Element)							
Primary							
<input type="checkbox"/> 							
Earthing Type							
Not Applicable							
Secondary							
<input checked="" type="checkbox"/> 				Grounding			
				Solid			
Earthing Type							
TN-C							

Trafo5

OK Cancel

Figura 85: tipo de conexión del transformador.

## 2. Selección del punto de falla.

En la ventana principal, en la parte superior se selecciona el icono que se muestra en la figura 86, para que se realice el análisis de cortocircuito:



Figura 86: Análisis de cortocircuito AC.

Luego se selecciona el icono de Edit Study Case, para que se defina el punto de falla:



Figura 87: Análisis de cortocircuito AC.

Luego que se abra la ventana se selecciona el punto de falla, dejando dicho punto en solitario en el recuadro de Fault, y todos los demás puntos se dejan en la columna de Don't Fault.

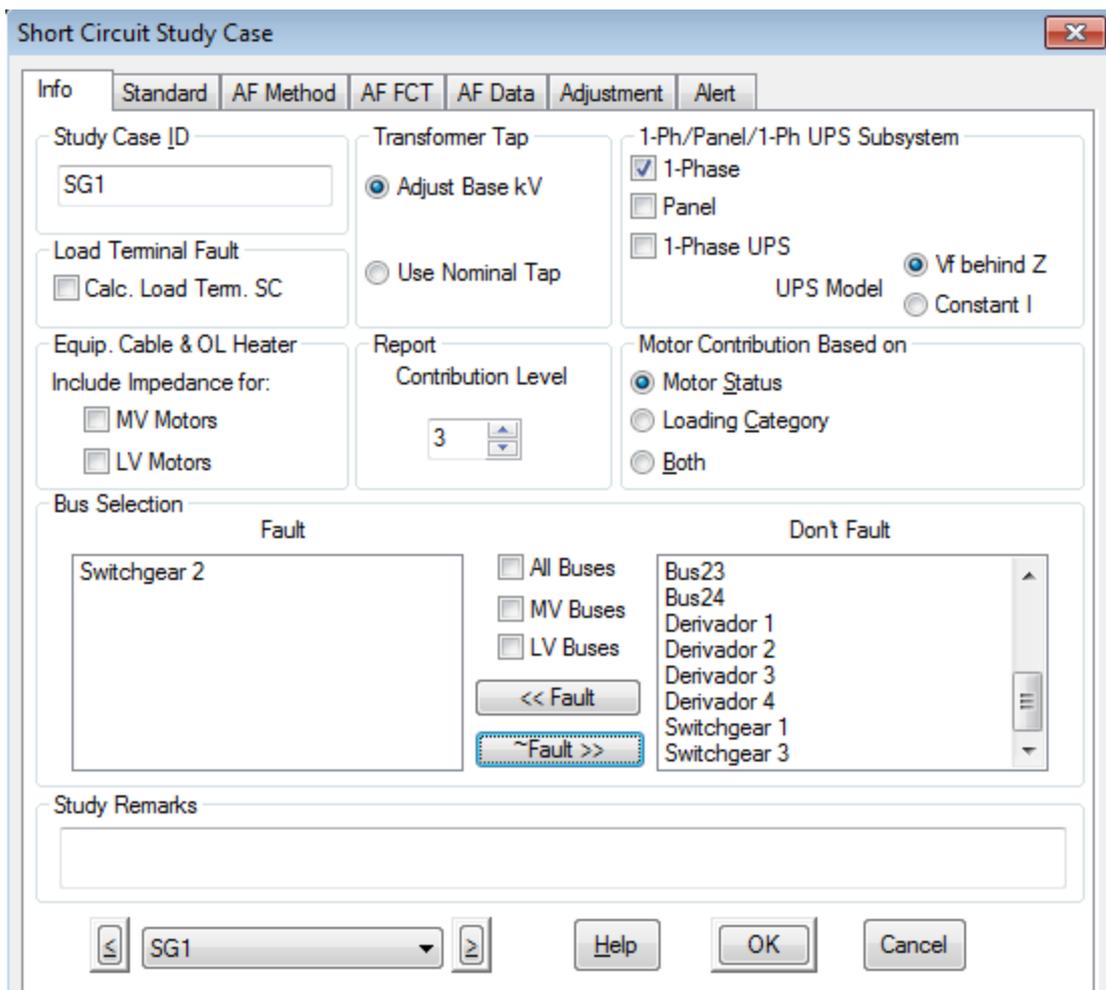


Figura 88: selección del punto de falla.

### 3. Ejecución del análisis para obtener las Isc.

Para que se lleve a cabo el análisis se selecciona el icono Run 3-Phase Dvice Duty ANSI (C37), y se obtiene el resultado presentado en la figura 88.

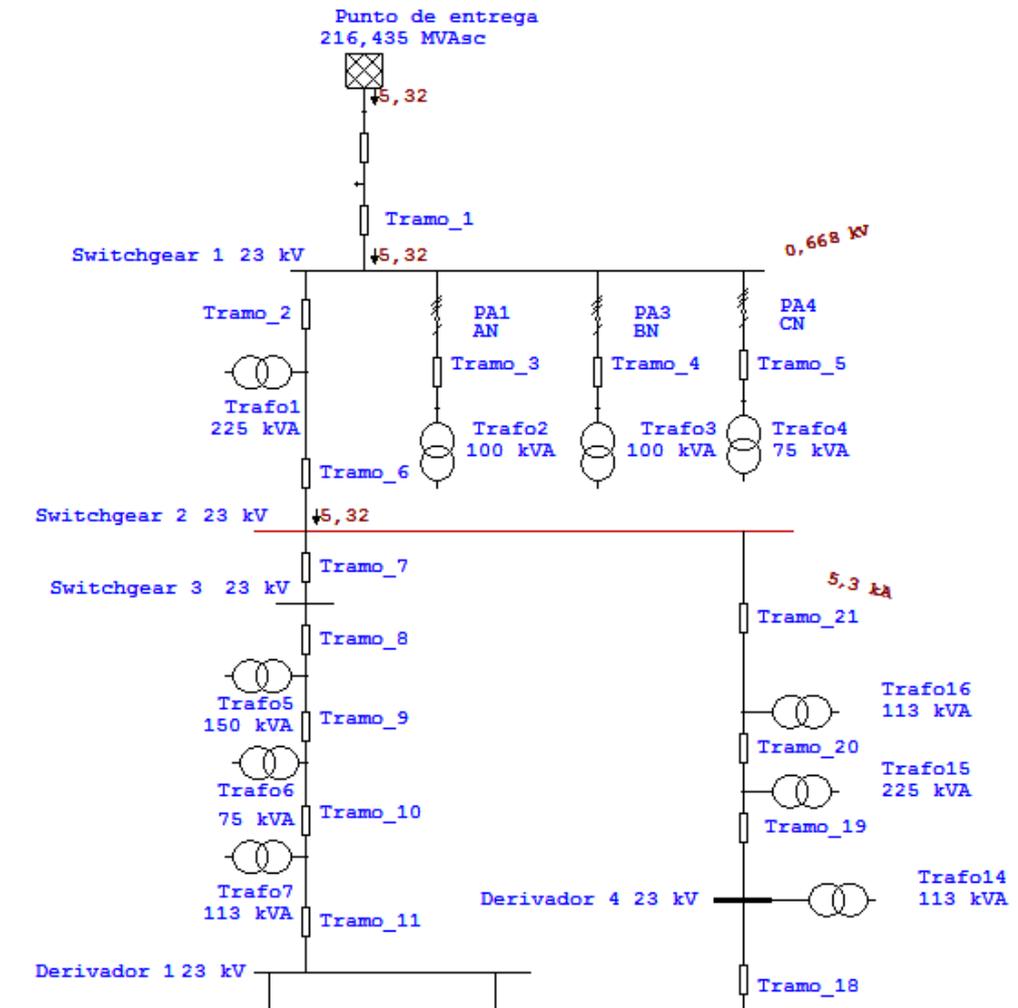


Figura 89: Corriente de cortocircuito en switchgear 2.

En la tabla 27 se observa la recopilación de resultados de corrientes de cortocircuito que se han obtenido en diferentes puntos de la red de distribución subterránea, también se incluyen la relación X/R de los transformadores trifásicos a instalarse en la facultad de Ingeniería y Arquitectura. Para la obtener los valores de corriente de cortocircuito se ha seguido el procedimiento que se ha explicado detalladamente desde el paso 1 al paso 4.

Punto de falla	Falla trifásica en primario (KA)	Falla trifásica en el secundario (KA)	Relación X/R
SG1	5,42	----	----
transformador trifásico polideportivo	5,35	15.26	1.5
SG2	5,32	----	----
SG3	5,3	----	----
Transformador edificio de Asociaciones Estudiantiles	5,24	10.23	2.47
Transformador edificio de Posgrado	5,19	5.16	2.47
Transformador edificio de Auditorium	5,18	7.74	2.47
Derivador 1	5,18	----	----
Transformador edificio de Ciencias Básicas	5,17	10.23	2.47
Derivador 2	5,18	----	----
Derivador 3	5,17		
Transformador de los edificios de Eléctrica, Arquitectura y Potencia	5,18	10.23	2.47
Transformador del edificio de industrial	5,18	7.74	2.47
Derivador 4	5,19	----	----
Transformador de edificio Administración y Civil.	5,24	15.21	3.09
Transformador del edificio de la Biblioteca	5,29	7.74	2.47

Tabla 27: valores de Isc y relación de X/R.

### Calculo de energía incidente.

El cálculo de energía incidente se ha realizado tomando el punto con el nivel de corriente de falla más alto de los equipos de media tensión a instalarse en la FIA, como se observa en la tabla 27, este se encuentra en el switchgear 1. El cálculo se realiza utilizando la siguiente ecuación <sup>12</sup>.

$$E = \frac{793 * F * V * t_a}{D^2}$$

E: Energía incidente del arco en ( $cal/cm^2$ )

F: corriente de cortocircuito.

V: tensión de línea – línea.

$t_a$ : Tiempo de duración de arco (en segundos)

D: distancia a la fuente del arco (en pulgadas)

(12): Metodología para el diagnóstico del nivel de riesgo por arco eléctrico en subestaciones de transmisión de energía. Elaborado por INTERCONEXIÓN ELÉCTRICA S.A

$$E = \frac{793 * 23 \times 10^3 * 5.42 \times 10^3 * 0.5}{(39.37)^2}$$

$$E = 31.89 \text{ cal/cm}^2$$

## 2.11 Coordinación de protecciones.

La coordinación de protecciones para tratar a las sobre corrientes se realiza para proteger el equipo que se utiliza en una línea de distribución eléctrica, instalaciones eléctricas industriales, líneas de transmisión entre otros. El fin no es únicamente darle protección al equipo (Transformadores, cables, motores, etc.) sino también a las personas que prestan mantenimiento a las diferentes instalaciones y las que transitan cerca de dichas instalaciones.

En el momento de realizar la coordinación se debe tomar en cuenta un aspecto muy importante que es la “selectividad” para que al presentarse una falla queden sin servicio eléctrico el menor número de cargas posibles.

### 2.11.1 Coordinación de protecciones en sistema de distribución eléctrica subterránea de la FIA

La coordinación se empieza a realizar desde el recloser trifásico que se instalarán en la acometida aéreo-subterránea en la entrada del Polideportivo de la FIA, continuando con los interruptores de falla Visigap que se encontraran en las celdas de los swithgear VISTA (1,2 y 3).

La particularidad de los interruptores Visigap es que son controlados por un microprocesador al cual se le pueden programar diferentes curvas características tiempo corriente (TCC) en la figura 84 se presenta el módulo de control.

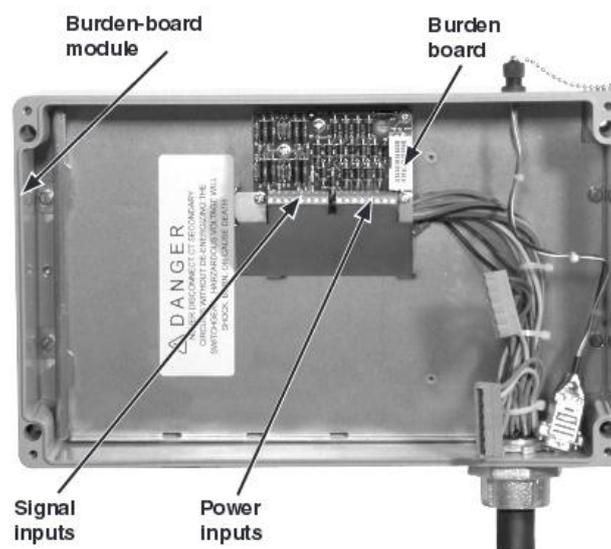


Figura 90: Módulo de control electrónico de S&C, hoja de instrucciones 681-515.

Los diferentes tipos de curvas <sup>11</sup> que se le pueden programar al microprocesador se presentan en el siguiente listado:

- ✓ Velocidad estándar de S&C.
- ✓ Velocidad "K" de S&C.
- ✓ Velocidad del interruptor de derivación.
- ✓ Velocidad moderadamente inversa (U.S., U1).
- ✓ Velocidad inversa (U.S., U2).
- ✓ Velocidad extremadamente inversa (U.S., U4).
- ✓ Velocidad inversa de tiempo corto (U.S., U5).

Las que se utilizan para este proyecto son las curvas tipo "E" o estándar.

En la siguiente tabla se detalla los tipos de protecciones que se instalaran en el sistema de distribución y los interruptores termomagnéticos (Circuit Breaker) de los tableros generales en baja tensión.

Tipo	Tensión(KV)	Corriente nominal (A)	Corriente de interrupción
Recloser trifásico	27	200	12,5 KA
Interruptor de falla VISIGAP	25	200 *	12,5 KA*
Fusible limitadores de corriente marca COOPER	25	2--->7	47-141 A para 0,01s
Circuit Breaker ABB	0,24	800,500,400	100KA
Circuit Breaker Cutler-Hammer	0,24	225,25	100KA

Tabla 28: protecciones a utilizar, los valores con "\*" son ajustables según la programación de microcontrolador.

En la figura 91 se muestra el diagrama unifilar del todo el sistema, la coordinación a media tensión se realizara entre el recloser y los interruptores de falla VisiGap, hay que tomar en consideración que el sistema tiene un punto que se encuentra normalmente abierto y este se halla en el transformador 9 que corresponde al nuevo edificio de Ciencias Básicas, aquí se apertura uno de los seccionadores de la conexión "T Blade" del lado primario del transformador.

También se ha realizado la coordinación de los circuit breaker que protegen al transformador en el lado de baja tensión con el fusible limitador de corriente que protege al transformador en media tensión. Esto se ha realizado tomando en cuenta la curva de daño y el punto de Inrush de cada uno de los transformadores Pad-Mounted.

(13): Esta información fue extraída del sitio <http://es.sandc.com/support/publications/vista-tccs.asp>

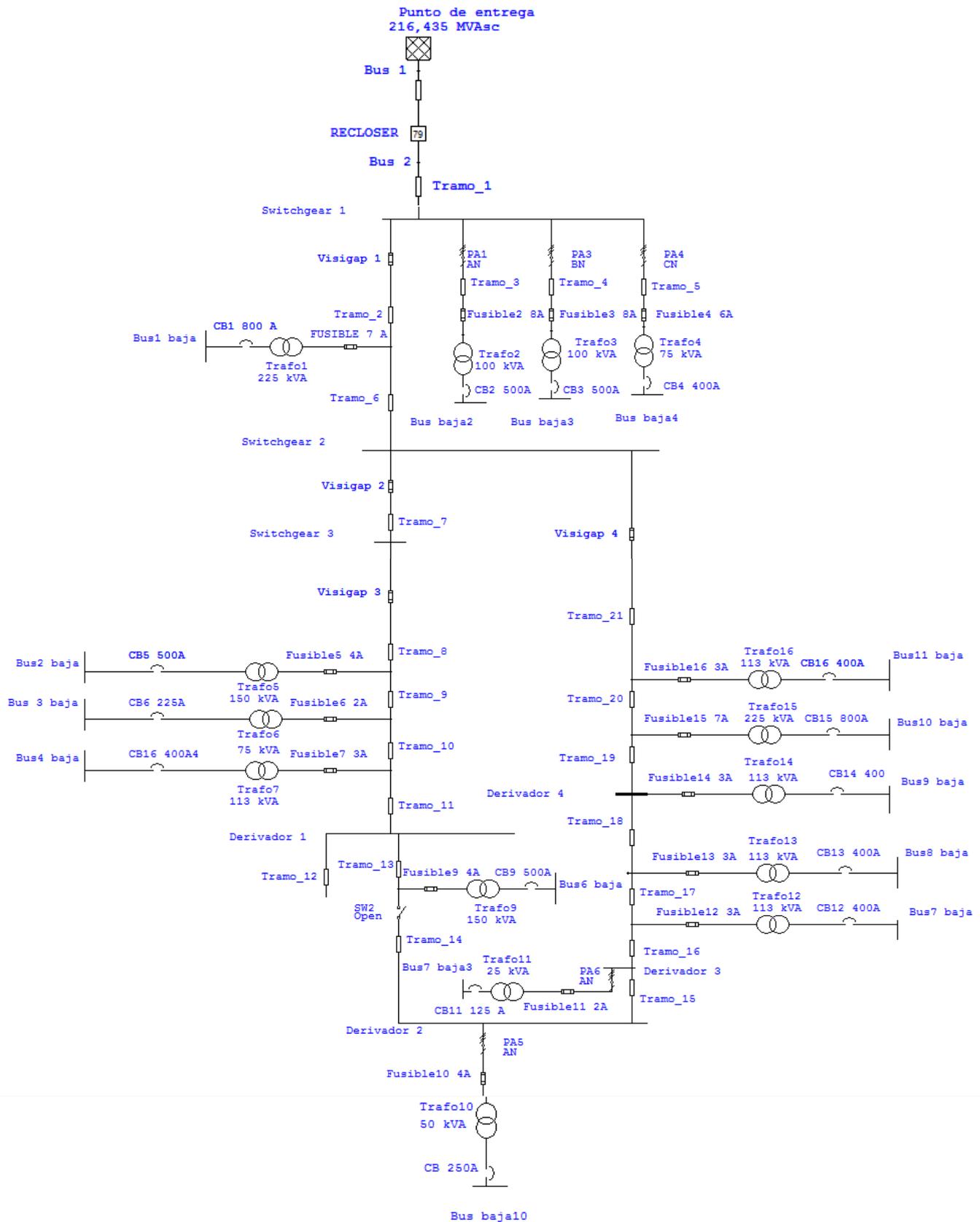


Figura 91: diagrama unifilar completo del sistema de distribución eléctrica subterránea de la FIA.

## 2.11.2 Coordinación entre el recloser e interruptores de falla Visigap realizada en ETAP.

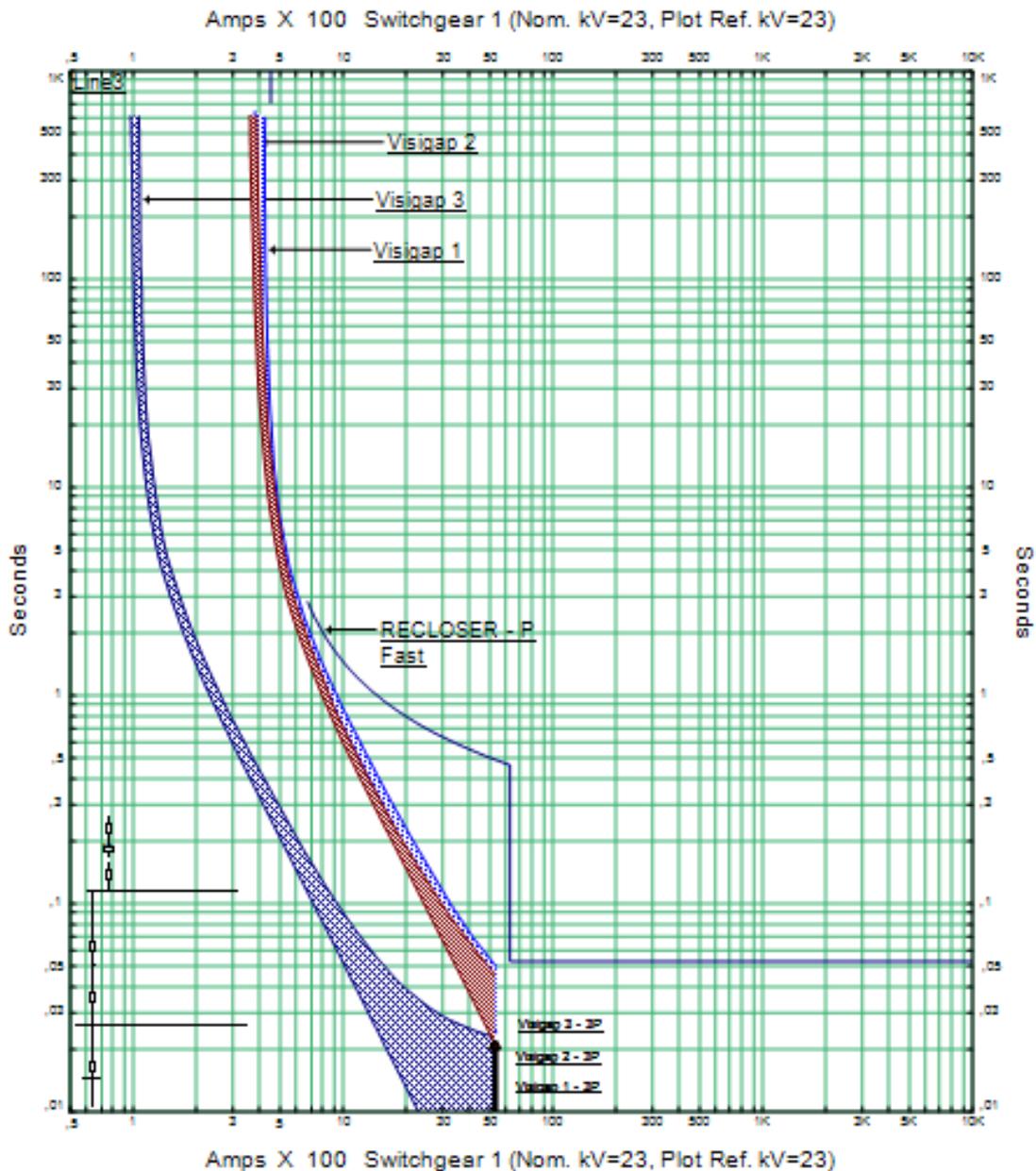


Figura 92: Curvas tiempo-corriente de los dispositivos de protección.

En la figura 92 se muestra el valor de corriente de cortocircuito del sistema que se encuentra entre 5.2 y 5.4 KA en diferentes puntos del sistema.

La curva tiempo-corriente del interruptor de falla Visigap4 es idéntica a la del interruptor de falla Visigap 3.

Para realizar la coordinación entre el recloser que se instalarán en la acometida del Polideportivo y la protección más cercana de la distribuidora de energía eléctrica hacia la acometida, la distribuidora tendrá que evaluar el nivel de corriente de falla en ese punto y la carga total a la que prestara servicio por medio de esa acometida.

## Coordinación entre recloser y visigap1.

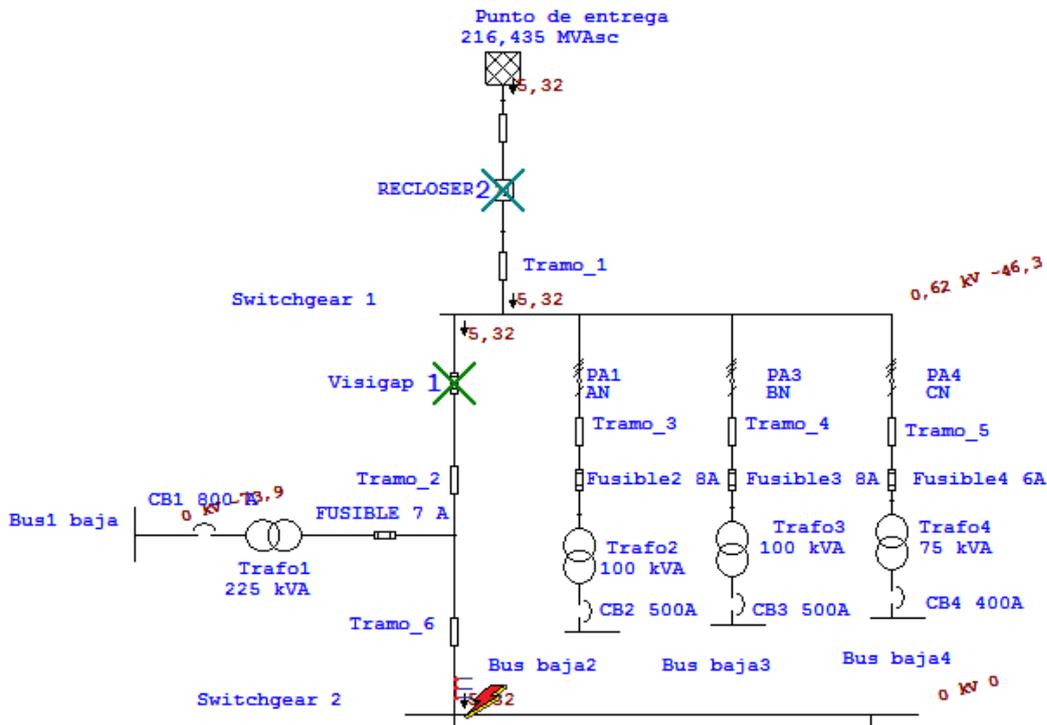


Figura 93: Falla colocada en switchgear

Tal y como se observa en la figura 93 ambas protecciones están bien coordinadas, ya que la primera protección que se acciona es el visigap 1 y luego el recloser.

A continuación se muestra la configuración realizada en ETAP para ambas protecciones.

Standard		Type		
<input checked="" type="radio"/> ANSI <input type="radio"/> IEC		Recloser - Electronic		
Recloser & Controller Library				
<input type="button" value="Library..."/> <input type="checkbox"/> Exclude Controller				
Operation Intervals				
Time Unit	Interrupting Time	Opening Time	Release Delay	CPT
Millisecond	40	30	70	100
Ratings				
kV	Max. Amps	BIL Limit		
24,9	280	125		
Interrupting kA	Test X/R	Making kA rms	Making kA Peak	
6	15	6	8	
ST Withstand	Tkr			
0	1			

Figura 94: Configuración para el Recloser.

Standard

ANSI  
 IEC

Rating

kV	Size	Continuous Amp	Interrupting	Test PF
17	175E	175	12,5	6,65

Figura 95: Configuración para el interruptor de falla Visigap

### Coordinación entre Visigap 2 y 3.

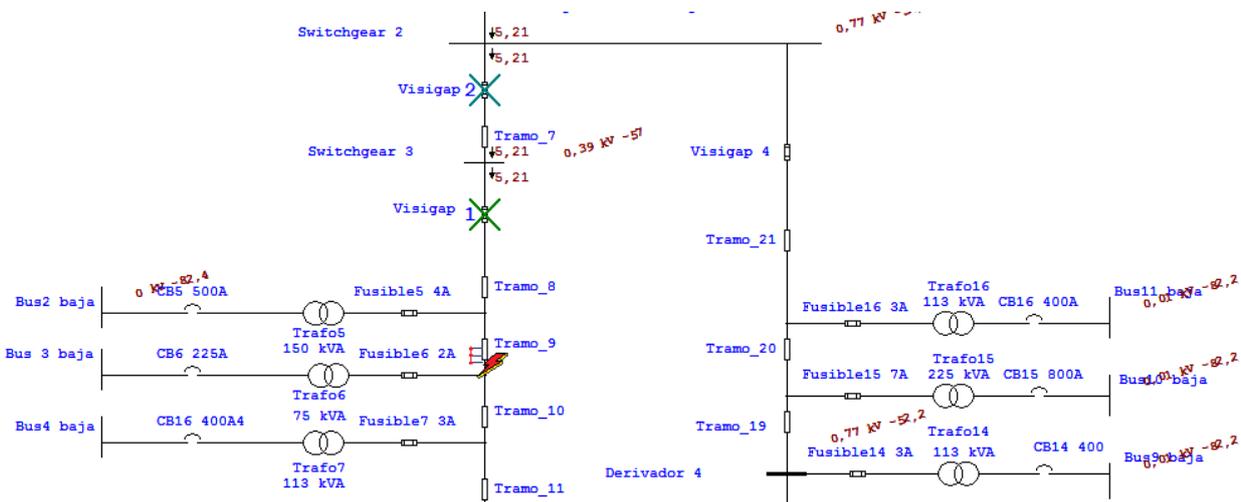


Figura 96: Falla en el lado de media tensión del transformador del Auditorio Miguel Mármol.

Según el resultado de la simulación realizada en ETAP se comprueba la coordinación de los interruptores de falla Visigap 2 y 3, tal como se observa, primero se acciona el Visigap 3 que protege al switchgear 3 y luego el Visigap 2 que protege el switchgear 2.

### 2.11.3 Coordinación de Circuit Breaker y fusible limitador de corriente en los transformadores Pad-Mounted.

Para la coordinación de estos dos dispositivos de protección se debe asegurar que protejan al transformador para que no llegue a operar a los valores de su curva de daño y que las protecciones no se accionen con la corriente de Inrush del mismo.

Tal como se observa en la Figura 97 con las protecciones seleccionadas descritas en la tabla 28, se cumplen con la restricción ya que la TCC del fusible limitador de corriente queda por debajo de la curva de daño del transformador.

La coordinación de los demás transformadores se ha realizado, según las curvas que se observan en la figura 96 para el transformador tipo Pad-Mounted de la Biblioteca de la FIA.

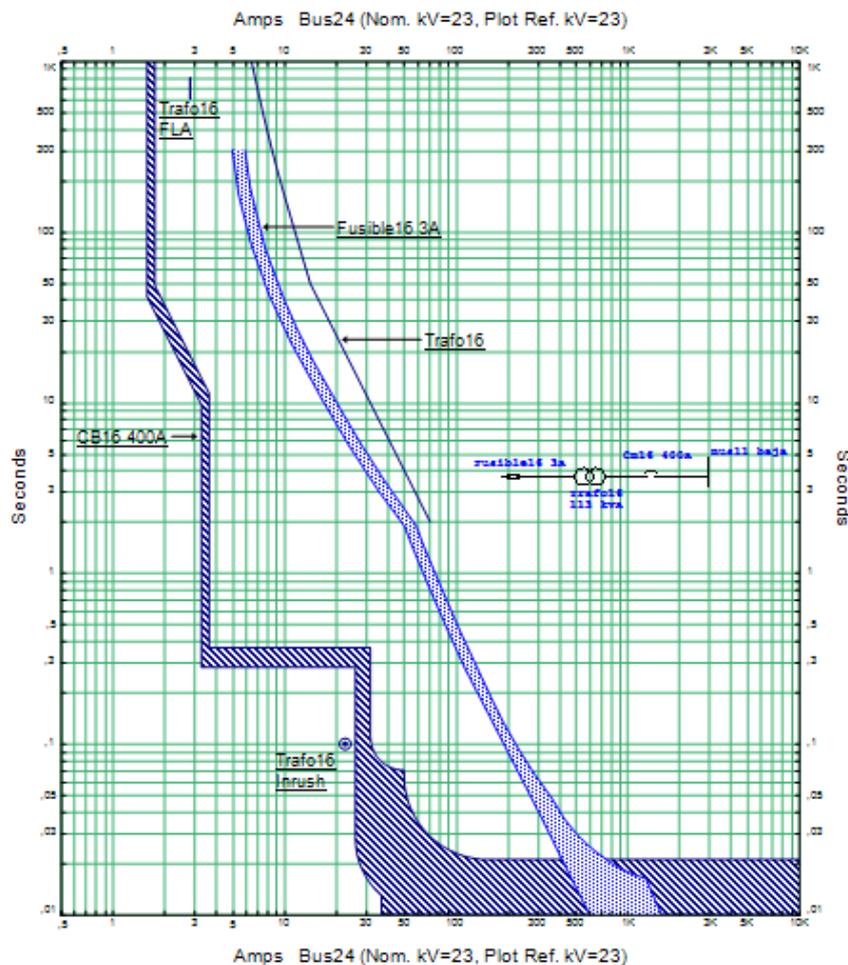


Figura 97: Coordinación de protecciones del transformador Pad-Mounted de la Biblioteca de la FIA.

En la figura 98 se observa la simulación realizada en ETAP para dicho transformador, colocando una falla en el lado de baja tensión:

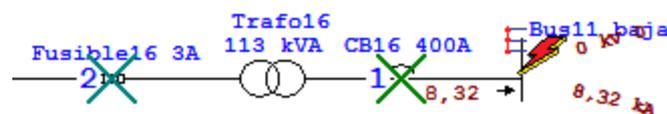


Figura 98: Secuencia de accionamiento de las protecciones obtenida en la simulación.

## 2.12 Sistema de puesta a tierra <sup>13</sup>.

Como parte del desarrollo de la red subterránea, se realizó el cálculo del sistema de puesta a tierra (SPT), para cada dispositivo tipo pedestal y pozos de derivación, como ejemplo se calcula la red de tierra para la subestación del polideportivo con una capacidad de 225 KVA. Se aplica el estándar IEEE 80-2013 para dicho diseño y algunas consideraciones por parte de la SIGET.

DATOS GENERALES		
ρ terreno	100	Ω-m
ρ terreno superficie	2500	Ω-m
Tc	0,5	seg
Ts	0,5	seg
Ta ambiente	40	°C
Io en el primario	5350	A
Potencia de transformador	225	KVA
Relación X/R	1,5	
Io en el secundario	15260	A
Profundidad h	0,5	M
Profundidad hs	0,12	M

Tabla 29: Datos generales para el diseño de SPT.

**PASO 1:** Se tiene un área para una malla cuadrada de 6m X 6m, con varillas de puesta a tierra en las esquinas.

$$A = 6 * 6 = 36m^2$$

**PASO 2:** Tamaño del conductor de la malla. El calibre del conductor debe ser capaz de soportar la mayor corriente sin fundirse es por ello que se toma la corriente lo trifásica en el lado de baja del transformador.

$I_f = D_f * (I_o)$  (36) Donde el factor de decremento  $D_f$  está dado por:

$$D_f = \sqrt{1 + \frac{T_a}{t_f} * \left(1 - e^{-\frac{2*t_f}{T_a}}\right)} \quad (37) \quad T_a = \frac{X}{R} * \frac{1}{2*\pi*f} \quad (38)$$

Donde:

$T_a$  = Constante de tiempo del componente DC.

$t_f$  = Duración de la falla en S.

$$T_a = 1.5 * \frac{1}{2 * \pi * 60Hz} = 0.003979$$

(14): Se tomó como referencia la IEEE-80 del año 2013.

$$D_f = \sqrt{1 + \frac{0.003979}{0.5} * (1 - e^{\frac{-2*0.5}{0.003979}})} = 1.00397$$

$$I_f = 1.00397 * (15.26KA) = 15320.6 A$$

Calculando el tamaño del conductor.

$$A_{MCM} = I_f * \frac{197.4}{\sqrt{\left(\frac{TCAP}{t_c * \alpha_r * \rho_r}\right) * \ln\left(\frac{K_o + T_m}{K_o + T_a}\right)}} \quad (39)$$

Se empleó datos de la tabla1 – constante de materiales de la IEEE 80-2013 para un porcentaje de conductividad del 97%. Con una temperatura ambiente de 40 °C.

Table 1—Material constant

Description	Material <sup>a</sup> conductivity (% IACS)	$\alpha_r$ factor <sup>a</sup> at 20 °C (1/°C)	$K_o$ at 0 °C (°C)	Fusing <sup>a</sup> temperature $T_m$ (°C)	Resistivity <sup>a</sup> at 20 °C $\rho_r$ ( $\mu\Omega$ -cm)	Thermal <sup>a</sup> capacity $TCAP$ [ $J/(cm^3 \cdot ^\circ C)$ ]
Copper, annealed soft-drawn	100.0	0.003 93	234	1083	1.72	3.4
Copper, commercial hard-drawn	97.0	0.003 81	242	1084	1.78	3.4

Figura 99: Constante de materiales del conductor eléctrico.

$$A_{MCM} = 15.3206 KA * \frac{197.4}{\sqrt{\left(\frac{3.4}{0.5 * 0.00381 * 1.78}\right) * \ln\left(\frac{242 + 1084}{242 + 40}\right)}}$$

$$A_{MCM} = 76.7602 MCM$$

El conductor más cercano por encima es el N° 1 AWG de cobre, el cual tiene un área de 83.715 MCM, pero la norma exige emplear como mínimo el N° 2/0 AWG debido a requerimientos de esfuerzo mecánico, con diámetro  $d= 0.01051$  m y un área de 133.1 MCM, para este análisis se ocupa N° 2/0 AWG.

**PASÓ 3:** Tensiones de toque y de paso a 50kg.

Para una superficie de grava con espesor de  $hs 0.12$  m, con una resistividad de 2500  $\Omega$ -m (mojada) y una tierra con resistividad de 100  $\Omega$ -m, el factor de reducción de la resistividad de la capa superficial se calcula con la siguiente ecuación.

$$C_s = 1 - \frac{0.09 \left(1 - \frac{\rho}{\rho_s}\right)}{2 * h_s + 0.09} \quad (40)$$

$$C_s = 1 - \frac{0.09 \left(1 - \frac{100}{2500}\right)}{2 * 0.12 + 0.09} = 0.738182$$

Se asume como peso mínimo esperado por las personas de 50Kg.

$$E_{step50} = (1000 + 6 * C_s * \rho_s) \frac{0.116}{\sqrt{t_s}} \quad (41)$$

$$E_{step50} = (1000 + 6 * 0.738182 * 2500) \frac{0.116}{\sqrt{0.5}} = 1980.52 \text{ V}$$

Tensión tolerable de toque:

$$E_{touch50} = (1000 + 1.5 * C_s * \rho_s) \frac{0.116}{\sqrt{t_s}} \quad (42)$$

$$E_{touch50} = (1000 + 1.5 * 0.738182 * 2500) \frac{0.116}{\sqrt{0.5}} = 618.16 \text{ V}$$

**PASÓ 4:** Diseño inicial de la malla:

Se propone una malla de 6 X 6, configuración S9, utilizando conductores igualmente espaciados como se muestra en la siguiente figura.

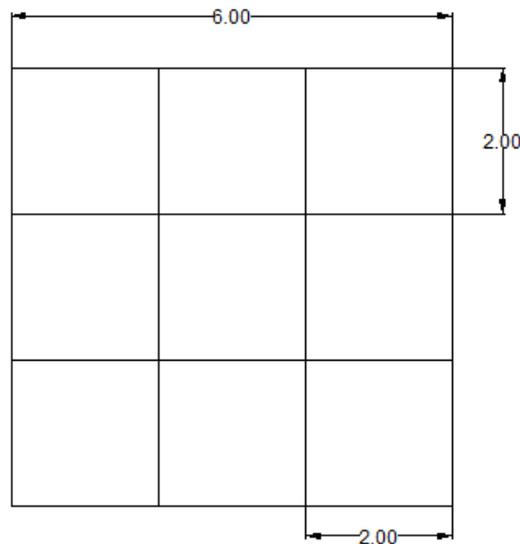


Figura 100: Dimensiones de Malla de puesta a

Número de conductores en el eje X:  $N = 4$   
 Número de conductores en el eje Y:  $M = 4$   
 Longitud de conductores:  $LC = N * L_x + M * L_y = 48$   
 Longitud de varillas:  $LR = nr * L_r = 6 * 3 = 18 \text{ m}$   
 Longitud total:  $LT = LC + LR = 48 + 18 = 66 \text{ m}$   
 Longitud total del perímetro:  $LP = 4 * L_x = 24$

**PASÓ 5:** Resistencia de malla (Rg)

En base a la tabla 22 del acuerdo SIGET 29-E-2000, para transformadores de distribución, recomienda valores de Rg según capacidad de MVA a instalar. Para nuestro caso el valor a alcanzar es de 2 ohm.

**TABLA N° 22**  
**VALORES MAXIMOS PERMITIDOS DE RESISTENCIA DE RED DE TIERRA DE UNA SUBESTACION EN FUNCION DE SU CAPACIDAD.**

CAPACIDAD DE LA SUBESTACION (MVA)	RESISTENCIA DE LA RED DE TIERRA (OHMIOS)
≤0.05	12
0.05 - 0.1	6
0.1 - 0.5	2
0.5 - 1	1.5
1-50	1
50-100	0.5
>100	0.2

Figura 101: Valor de Rg requerido en base a capacidad en MVA.

Se utilizara las ecuaciones de Schwarz's para una mayor exactitud, con valores de  $d_c=0.01051m$ ,  $K_1 = 1.15$  y  $K_2= 4.78$  para una malla cuadrada, con varillas de 5/8" por 3 de largo,  $d_r=0.01587$ .

$$R_1 = \frac{\rho}{\pi * L_c} \left( \ln \left( \frac{2 * L_c}{\sqrt{a * 2h}} \right) + \frac{K_1 * L_c}{\sqrt{A}} - K_2 \right) \quad (43)$$

$$R_1 = \frac{100}{\pi * 180} \left( \ln \left( \frac{2 * 180}{\sqrt{\frac{0.01051}{2} * 2 * 1}} \right) + \frac{1.15 * 180}{\sqrt{225}} - 4.78 \right) = 7.6982$$

$$R_2 = \frac{\rho}{2 * \pi * n_r * L_r} \left( \ln \left( \frac{4 * L_r}{\frac{d_r}{2}} \right) - 1 + \frac{2 * K_1 * L_r}{\sqrt{A}} * (\sqrt{n_r} - 1)^2 \right) \quad (44)$$

$$R_2 = \frac{100}{2 * \pi * 16 * 3} \left( \ln \left( \frac{4 * 3}{0.01587/2} \right) - 1 + \frac{2 * 1.15 * 3}{\sqrt{225}} * (\sqrt{16} - 1)^2 \right) = 7.7256$$

$$R_m = \frac{\rho}{\pi * L_c} \left( \ln \left( \frac{2 * L_c}{L_r} \right) + \frac{K_1 * L_c}{\sqrt{A}} - K_2 + 1 \right) \quad (45)$$

$$R_m = \frac{100}{\pi * 180} \left( \ln \left( \frac{2 * 180}{3} \right) + \frac{1.15 * 180}{\sqrt{225}} - 4.78 + 1 \right) = 5.8925$$

$$R_g = \frac{R_1 * R_2 - R_m^2}{R_1 + R_2 - 2 * R_m} \quad (46)$$

$$R_g = \frac{3.0387 * 3.4687 - (2.6185)^2}{3.0387 + 3.4687 - 2 * 2.6185} = 6.8021 \Omega$$

En este caso para reducir el valor de Rg se sugiere unir la malla de red de tierra con la base del edificio más cercano que se encuentre a la subestación.

**PASÓ 6:** Corriente máxima a disipar por la malla.

Para encontrar el valor Sf, ya que se tiene una contribución de neutro en el lado de MT y BT, se optó por ocupar tabla C.1 de la IEEE 80. Para una Rtg de 15 ohm.

**Table C.1—Approximate equivalent impedance of transmission line overhead shield wires and distribution feeder neutrals**

Number of transmission lines	Number of distribution neutrals	$R_{tg} = 15; R_{dg} = 25;$ $R + jX (\Omega)$	$R_{tg} = 100; R_{dg} = 200;$ $R + jX (\Omega)$
1	1	$0.91 + j0.485$	$3.27 + j0.652$

Figura 102: Impedancia equivalente de líneas de transmisión con cables de guarda y líneas de distribución con neutro.

$$S_f = \left| \frac{Z_{eq}}{Z_{eq} + R_g} \right| \quad (47)$$

$$S_f = \left| \frac{0.91 + j0.485}{0.91 + j0.485 + 2.8997} \right| = 0.13344$$

Como:  $I_g = S_f * I_o$  e  $I_G = D_f * I_g$

Entonces:  $I_G = D_f * S_f * I_o$

$$I_G = 1.00397 * 0.2685 * 5.35KA = 716.76 A$$

**PASÓ 7:** Elevación de potencial a tierra (GPR)

$$GPR = I_G * R_g \quad (48)$$

$$GPR = 1442.18A * 2.8997 \Omega = 4875.53 V$$

Comparando el voltaje de toque que fue de 618.16V es demasiado bajo con respecto al GPR, por lo cual se procede a realizar evaluaciones adicionales, pero se logra cumplir lo establecido por la SIGET, donde el GPR debe ser menor a 5000V.

**PASÓ 8:** Calculando tensión de malla.

Para mallas cuadradas con varillas a las esquinas  $K_{ii}=1$  y  $n = n_a$ , en base al diseño se tiene una  $D= 2$

$$K_h = \sqrt{1 + \frac{h}{h_o}} = \sqrt{1 + \frac{1}{1}} = 1.22474$$

$$n_a = \frac{2 * L_c}{L_p} = \frac{2 * 180}{60} = 4$$

$$K_m = \frac{1}{2 * \pi} * \left( \text{Ln} \left( \frac{D^2}{16 * h * d} + \frac{(D + 2 * h)^2}{8 * D * d} - \frac{h}{4 * d} \right) + \frac{K_{ii}}{K_h} * \text{Ln} \left( \frac{8}{\pi(2 * n - 1)} \right) \right) \quad (49)$$

$$K_m = \frac{1}{2 * \pi} * \left( \text{Ln} \left( \frac{2^2}{16 * 0.5 * 0.01051} + \frac{(2 + 2 * 0.5)^2}{8 * 2 * 0.01051} - \frac{0.5}{4 * 0.01051} \right) + \frac{1}{1.22474} * \text{Ln} \left( \frac{8}{\pi(2 * 4 - 1)} \right) \right)$$

$$K_m = 0.58334$$

$$K_i = 0.644 + 0.148 * n = 0.644 + 0.148 * 6 = 1.236$$

$$L_M = L_c + \left( 1.55 + 1.22 \left( \frac{L_r}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}} \right) \right) * L_R \quad (50)$$

$$L_M = 180 + \left( 1.55 + 1.22 \left( \frac{3}{\sqrt{15^2 + 15^2}} \right) \right) * 48 = 83.6640$$

$$E_m = \frac{\rho * I_G * K_m * K_i}{L_M} \quad (51)$$

$$E_m = \frac{100 * 1442.18 * 0.6086 * 1.532}{262.982} = 617.6981 V$$

**PASÓ 9:** La tensión de malla  $E_m$  es menor que la tensión de toque  $E_{touch}$ , lo cual cumple con lo establecido en la norma.

$$E_m \mathbf{617.6981 V} < E_{touch} \mathbf{618.16V}$$

**PASÓ 10:** Tensión de paso.

$$L_s = 0.75 * L_c + 0.85 * L_R \quad (52)$$

$$L_s = 0.75 * 180 + 0.85 * 48 = 51.3$$

$$K_s = \frac{1}{\pi} * \left( \frac{1}{2 * h} + \frac{1}{D + h} + \frac{1}{D} (1 - 0.5^{n-2}) \right) \quad (53)$$

$$K_s = \frac{1}{\pi} * \left( \frac{1}{2 * 1} + \frac{1}{3 + 1} + \frac{1}{3} (1 - 0.5^{6-2}) \right) = 0.565$$

$$E_s = \frac{\rho * K_s * K_i * I_G}{L_s} \quad (54)$$

$$E_s = \frac{100 * 0.565 * 1.236 * 716.76}{51.3} = 975.714 V$$

La tensión de paso real ( $E_s$ ) es menor que la tensión de paso Estep, lo cual cumple con lo establecido en la norma.

$$E_s \ 975.714 \ V < E_{step} \ 1980.52 \ V$$

Para el diseño de este sistema de puesta a tierra, se tomó como consideración el uso mínimo de materiales buscando minimizar costos, así mismo se buscó darle seguridad, cumpliendo con lo establecido en la norma IEEE 80 2013, para este diseño es necesario colocar una capa superficial de grava general, donde la finalidad de cumplir con las condiciones de tensión de toque y de paso.

En el diseño de Subestación eléctrica tipo pedestal se optó por colocar una canaleta para aceite en forma de u, esta canaleta se dimensiono en base a la capacidad de galones que posee el Pad-Mounted, como ejemplo se tomó la siguiente figura de especificaciones técnicas que ofrece el fabricante Rymel. Para una capacidad de 225 KVA.

### Transformadores Pedestales Tipo Radial Trifásicos 15 -25 Kv

Tensión serie hasta 25 KV /1.2 KV Conexión D/y o Y/y.

KVA	Volumen aceite (Lt.)	Peso aprox. (Kg.)	A	B	C	D	E
30	253	552	1050	1310	970	470	350
45	296	637	1070	1340	1000	470	380
75	318	744	1100	1340	1000	470	380
112.5	405	919	1100	1340	1000	470	480
150	429	995	1145	1340	1195	470	480
225	560	1251	1270	1400	1290	470	540
300	682	1548	1320	1400	1395	470	610
400	694	1775	1390	1400	1340	470	590
500	798	2072	1440	1540	1415	470	600
630	989	2527	1530	1620	1480	470	630
750	1105	2867	1660	1640	1450	470	620
1000	1432	3590	1680	1790	1560	470	710

Figura 103: Volumen de aceite según capacidad en KVA.

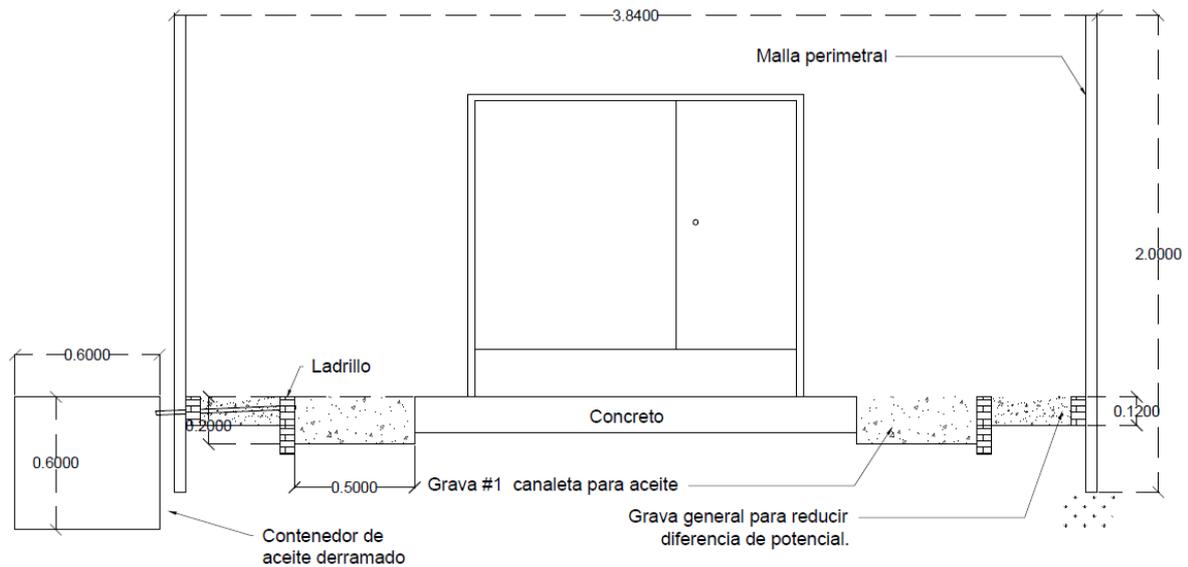


Figura 104: Vista frontal de subestación con canaleta 0.2X0.5 mts.

En la figura 104 se muestra una representación de una subestación de 225KVA, con canaleta para aceite para una capacidad de 560 Lts. Se colocó en lo restante del terreno, dentro del área que forma la cerca perimetral, grava general a 0.12m de altura. Para más detalles en anexos se coloca el diseño. Se logró cumplir con todas las condiciones de seguridad tanto las establecidas por IEEE 80-2013 como el acuerdo 29-E-2000 de la SIGET.

### Redes de tierra para equipos de troncal y anillo.

Equipo	Requerimientos de seguridad-50Kg							Configuración malla	Conductor Amcm	Numero de varillas 5/8" - 3m				
	GPR< 5000V	Estep	Etouch	Rg	Em	Es	IG				KVA	Io Primario	X/R	Io Secundario
SG1	4893,700	1980,516	618,166	6,450	639,900	670,100	759,000	S9	27,125	7	-	5420	0,67	-
Transformador-Polideportivo	4181,976	1980,516	618,166	6,592	621,115	650,389	736,720	S9	76,538	7	225,0	5350	1,50	15260
SG2	480,3,50	1980,516	618,166	6,450	628,100	657,700	745,000	S9	26,625	7	-	5320	0,67	-
SG3	4784,100	1980,516	618,166	6,450	625,600	655,000	742,000	S9	26,525	7	-	5300	0,67	-
Transformador-Asociaciones	4106,433	1980,516	618,166	6,592	609,895	638,640	723,410	S9	51,441	7	150,0	5240	2,47	10230
Transformador-Posgrado	4732,500	1980,516	618,166	6,450	618,800	648,000	734,000	S9	25,947	7	75,0	5220	2,47	5160
Transformador-Auditórium	4059,413	1980,516	618,166	6,592	602,912	631,328	715,130	S9	38,920	7	112,5	5180	2,47	7740
Derivador 1	4674,500	1980,516	618,166	6,450	611,200	640,000	725,000	S9	25,910	7	-	5180	0,46	-
Transformador-Ciencias básicas	4051,577	1980,516	618,166	6,592	601,748	630,109	713,750	S9	51,441	7	150,0	5170	2,47	10230
Derivador 2	4674,500	1980,516	618,166	6,450	611,200	640,000	725,000	S9	25,910	7	-	5180	0,46	-
Derivador 3	4661,600	1980,516	618,166	6,450	609,500	638,300	723,000	S9	25,860	7	-	5170	0,46	-
Transformador- Eléctrica, Arquitectura, Potencia	4059,413	1980,516	618,166	6,592	602,911	631,328	715,130	S9	51,441	7	112,5	5180	2,47	10230
Transformador- Industrial	4059,413	1980,516	618,166	6,592	602,911	631,328	715,130	S9	38,920	7	112,5	5180	2,47	7740
Derivador 4	4681,000	1980,516	618,166	6,450	612,100	640,900	726,000	S9	25,960	7	-	5190	0,46	-
Transformador-Civil, Administración	4113,094	1980,516	618,166	6,592	610,884	639,676	724,590	S9	76,606	7	225,0	5240	3,09	15210
Transformador-Biblioteca	4145,617	1980,516	618,166	6,592	615,714	644,734	730,320	S9	38,920	7	112,5	5290	2,47	7740

Tabla 30: condiciones para los SPT.

### Configuración de malla

La malla S9 tiene una longitud total de conductor de 48 m con 7 barra coperweld de 5/8" 3m, enterados a una profundidad de 1m, posee un separación de 2m.

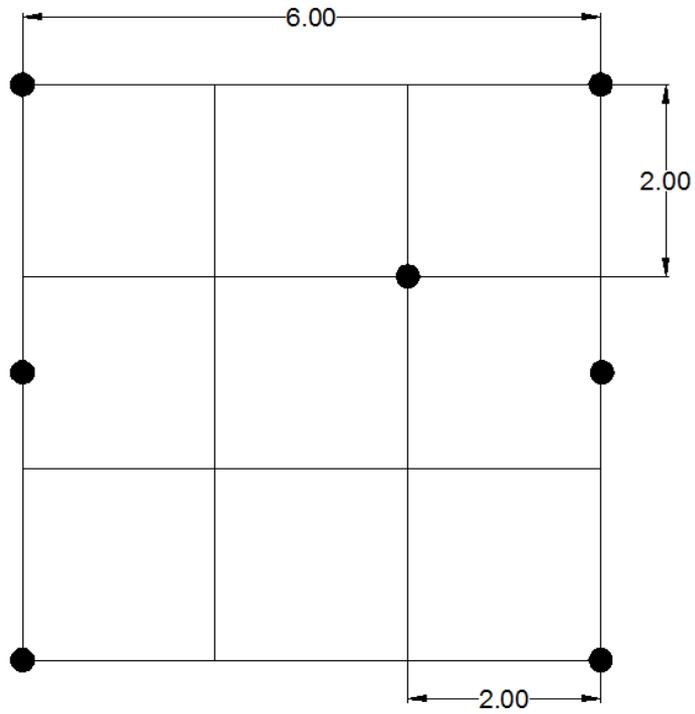


Figura 105: Malla S9.

## Conclusiones

- Los resultados obtenidos del diseño para el proyecto de “Distribución Eléctrica Subterránea, Plan de Desarrollo de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura 2015”, se tiene un tramo troncal que interconectara a las acometidas del polideportivo y de la Facultad de Agronomía, cuya línea estará compuesta con cable XLPE-TR #4/0 para 25KV, a parte que se ha agregado al diseño una canalización como respaldo. Todas las tuberías que transportaran cable de media tensión se han considerado como PVC grado eléctrico de 6”. Aparte del tramo troncal el diseño de la línea subterránea se compone de un anillo con cable XLPE-TR #1/0 en el cual se conectarán diferentes transformadores tipo Pad-Mounted cuya conexión en el primario será “T Blade”, estos transformadores se han colocado en lo posible en el mismo sitio donde se encuentran las subestaciones actuales para poder aprovechar las acometidas existentes. La ubicación de switchgear se ha realizado en puntos estratégicos, uno es en la acometida del Polideportivo, otro por la Biblioteca de la FIA donde se da el inicio y el final del anillo y por último se tiene el que se encontrara por las instalaciones de la Universidad en Línea en el cual se integra la interconexión de las dos únicas acometidas que en su momento tendrá la UES que son la del Polideportivo y la que se encuentra en la Facultad de Agronomía. La colocación de pozos de paso se han realizado respetando las irregularidades del terreno por donde se distribuirá la línea de media tensión en la Facultad de Ingeniería y Arquitectura.
- En el desarrollo de este trabajo también se ha realizado el análisis de los diseños eléctricos de los nuevos edificios aplicando factores de simultaneidad para realizar un correcto dimensionamiento de la subestación que blindara servicio eléctrico a los edificios considerando un 50% de carga futura. También se ha realizado el diseño de sistemas fotovoltaicos conectados a la red de servicio, en todos los nuevos edificios contemplados en el “Plan de Desarrollo FIA 2015” elaborado por la Escuela de Arquitectura, así como en algunos de los ya existentes. Los sistemas están conformados por paneles solares policristalinos de 310W, inversores monofásicos conectados a 208V y las respectivas protecciones eléctricas del sistema como lo son circuit breaker, fusibles y supresores de transientes.
- Se ha elaborado el presupuesto para los sistemas fotovoltaicos a instalarse en cada uno de los edificios. Se ha realizado un presupuesto basado en partidas y a parte se realizó el presupuesto de la línea de distribución eléctrica subterránea, el cual también es basado en partidas. En total el monto del proyecto completo está contemplado en alrededor de 1.9 millones de dólares.
- Basado en el mismo formato de partidas se ha presentado la oferta para licitación de cada uno de los edificios a los cuales se les instalara sistemas fotovoltaicos, así como también de la línea de distribución subterránea. Los oferentes podrán realizar observaciones luego de visitar e inspeccionar el campus de la FIA, así como sus edificios.

## Referencias

- (1): <http://www.ultimahora.sv/index.php/es/nacionales/item/2295-el-salvador-desarrollara-proyectos-de-energia-limpias-durante-2016>
- (2): Norma IEC 61439-2
- (3): SWERA, MAGMA UCA, Determinación del potencial Solar y Eólico en El Salvador” Octubre 2005.
- (4): Documento de Weidmüller. “Protección contra sobretensiones en instalaciones fotovoltaicas”.
- (5): Tesis: “Aplicación del recurso fotovoltaica en el Campus de la Universidad de El Salvador”.
- (6): Diseño de una instalación fotovoltaica de venta a red con monitorización de energía, Rubén Crego Villarroel.
- (7): SWERA, MAGMA UCA, 2Determinación del potencial Solar y Eólico en El Salvador” Octubre 2005.
- (8): Norma AES El Salvador del año 2011 con código SNE-EC-DS.
- (9): Tesis de la UNAM que lleva por nombre “Manual para la instalación de cables de energía de media tensión”.
- (10): Documento electrical-transmission-and-distribution-reference-book-of-westinghouse, capítulo 4 tabla 3.
- (11): Tabla 10 de la especificación técnica de “CENTROS DE TRANSFORMACIÓN COMPACTOS DE SUPERFICIE TIPO PAD-MOUNTED (E-MT-020)” publicada por la empresa española ENDESA.
- (12): <http://es.sandc.com/support/publications/vista-tccs.asp>
- (13): Metodología para el diagnóstico del nivel de riesgo por arco eléctrico en subestaciones de transmisión de energía. Elaborado por INTERCONEXIÓN ELÉCTRICA S.A.
- (14): Norma IEEE-80 del año 2013.

## **ANEXO A**

### **ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.**

A continuación se presenta las especificaciones técnicas para la instalación de SFVCR y la línea de distribución eléctrica subterránea de la FIA. Estas especificaciones deberán ser respetadas a cabalidad por los licitantes del proyecto.

#### **Objetivos del proyecto.**

- ✓ La construcción del Proyecto de la Red Eléctrica del Plan de Desarrollo de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura 2015.
- ✓ La instalación de SFVCR en los edificios de la FIA contemplados en el plan de oferta.

#### **Alcances del proyecto.**

El proyecto comprende la nueva red de distribución primaria de la FIA. El cual está contemplado desde la acometida actual del polideportivo cuya medición primaria se realiza con el medidor #95203325, hasta las instalaciones de la FIA, incluyendo las nuevas edificaciones comprendidas en el Plan de Desarrollo FIA 2015 y la instalación de sistemas fotovoltaicos conectados a la red (SFVCR) en las edificaciones actuales (Biblioteca, Administración Académica, Aulas, Escuela de Ingeniería Eléctrica) y futuras (Ingeniería Mecánica, Asociaciones Estudiantiles, Posgrado, Ciencias básicas y la Escuela de Arquitectura), de manera que se genere al mismo tiempo una disminución de la facturación por consumo de electricidad en la FIA.

El diseño contempla la instalación de medidores en cada subestación, los que se incorporan al sistema de subestaciones de toda la Universidad de El Salvador, cuyo monitoreo se realiza desde la Escuela de Ingeniería Eléctrica.

En la construcción de la red subterránea a media tensión, se desmontaran 6 subestaciones y 39 postes, junto con la línea de distribución aérea y se instalaran 16 transformadores Pad-Mounted (cuyos valores se presentan en el desarrollo del documento), de estos transformadores 5 son monofásicos y 11 son trifásicos. Se instalaran 3 switchgear de estos, dos tendrán una vía automatizada, uno se encontrara por la entrada del polideportivo y el otro cercano a las instalaciones donde se encuentran los servidores de la Universidad en Línea, la comunicación del equipo de control entre estos dos switchgear se realizara con cable de fibra óptica instalado en ductos subterráneos, con esto se pretende la interconexión (la cual normalmente estará abierta) de las que en su momento serán las únicas acometidas de la Universidad de El Salvador. El diseño subterráneo estará compuesto por un tramo troncal que interconectan todas las subestaciones de los edificios de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, generando redundancia en la línea de distribución eléctrica.

El proyecto en su totalidad se pretende ejecutar con un presupuesto alrededor de los 1.9 millones de dólares (Sin incluir IVA). En el desarrollo del documento se detalla cada una de las partidas de ejecución de obra de los SFVCR, como también de la distribución eléctrica subterránea.

## **Antecedentes.**

Actualmente el único edificio de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura que cuenta con un sistema fotovoltaico es la Escuela de Ingeniería Eléctrica cuyo valor de potencia pico no supera los 7KW, con esto no se está aprovechando de gran manera la abundante energía solar con la que contamos en nuestra país prácticamente todo el año y que pueden instalarse en la edificaciones de la FIAPor otra parte la actual línea de distribución con la que cuenta la Facultad de Ingeniería y Arquitectura es aérea, la cual inicia en la acometida que se encuentra por la entrada del polideportivo, desde ahí continua hasta la Biblioteca donde se tiene una derivación (actualmente se encuentra desconectada), luego la línea pasa por toda la facultad haciendo una “U” hasta llegar a una interconexión con una línea que proviene de la acometida de Agronomía que se encuentra por las instalaciones de los servidores de la Universidad en Línea.

Las subestaciones que actualmente se encuentran dando servicio de energía eléctrica a los edificios, son bancos de transformadores monofásicos instalados en piso, en estructuras tipo “H” y algunos transformadores instalados en poste.

El proyecto pretende dejar las instalaciones preparadas para el sistema de unificación de acometidas y distribución subterránea en todo el campus de la UES, en el que se contempla dejar únicamente dos acometidas subterráneas para toda la Ciudad Universitaria; con la posibilidad de interconectarse entre ellas.

La capacidad de las subestaciones actuales han sido redimensionadas, basado en cargas reales y un 50% de carga futura; los factores de utilización de las subestaciones actuales son sumamente bajos y en varios casos hasta del 20%, estando dichas subestaciones sobre dimensionadas.

En lo posible se emplearan las mismas acometidas secundarias existentes para reducir los costos de instalación.

## **Descripción de instalaciones.**

La Universidad de El Salvador, UES, se encuentra ubicada al norte de la ciudad de San Salvador, su Campus, consta de un complejo de 74 edificios, nueve facultades y un estimado de 50000 alumnos, a su vez, la facultad de Ingeniería FIA, está constituida por 17 edificaciones, con aproximadamente 12000 estudiantes para ocho diferentes carreras. El suministro eléctrico del Campus Universitario, es servido por la Compañía distribuidora AES-CAESS actualmente por medio de tres acometidas a 23/13.2 KV, denominadas respectivamente:

- A. Complejo Deportivo-FIA (Facultad de Ingeniería y Arquitectura): Medición primaria con medidor #95203325, presenta una demanda promedio de 374 kW.
- B. UES- Sector Nor-Oeste frente a ANDA (Facultad Humanidades y Economía): Medición primaria con medidor #95203319, presenta una demanda promedio mensual de 480 kW.
- C. Facultad de Agronomía: Medición primaria con medidor #95203324, y que presenta una demanda promedio mensual de 1166 kW.

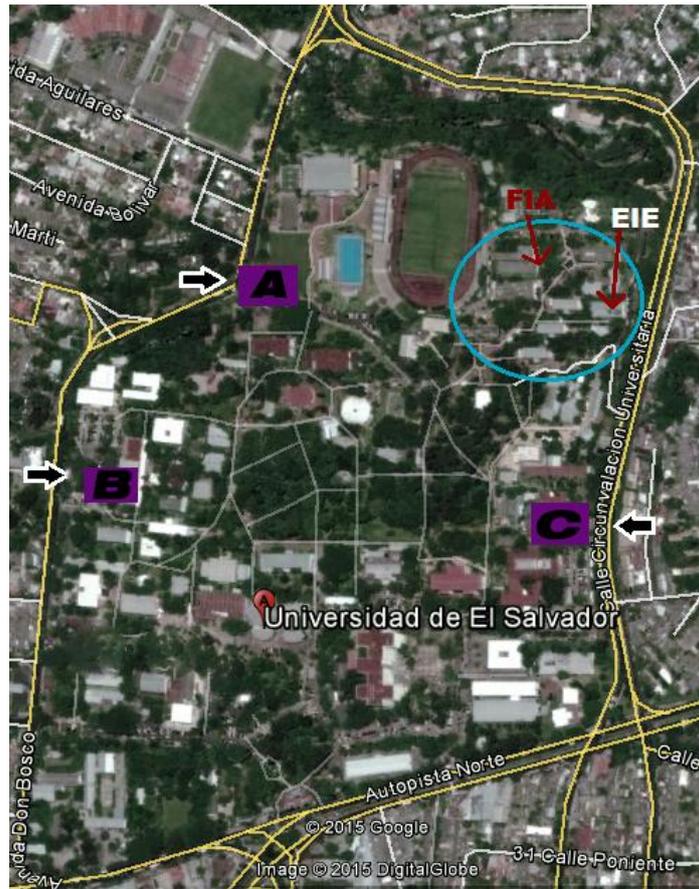


Figura 1: Campus Ciudad Universitaria y sus principales acometidas.

### **Punto de entrega en acometida Complejo Deportivo-FIA**

La acometida Complejo Deportivo-FIA está clasificada en el pliego tarifario como Grandes Clientes, GD2-MT con medidor horario, y la estructura de cobro la constituye: un cargo por demanda, basado en la potencia máxima demandada durante el mes, un cargo por energía dividido en tres períodos de tiempo denominados Pico, de 6 pm a 11 pm; Valle, de 11 pm a 5 am y Resto de 5 am a 6 pm., y un cargo por comercialización.

Esta acometida comprende las edificaciones del complejo deportivo, las de la FIA y dos edificios de la Facultad de Agronomía. Internamente se ha instalado una medición primaria, que denominaremos MFIA, y otros sistemas de medición con los cuales puede calcularse el consumo de la FIA, Complejo deportivo y otros. La figura 2 muestra la red primaria de la acometida Complejo Deportivo-FIA, en ella se indica la ubicación de los diferentes medidores y subestaciones involucradas en el presente estudio y en el que se distinguen:

Mcd: Medidor Complejo Deportivo-FIA Mfia: Medidor FIA Ma: Medidores de agronomía.



Figura 2: Acometidas FIA y subestaciones

El suministro primario de la FIA, es trifásico a 23/13.2 KV, sostenida en postes de 35 pies con una línea de distribución que bordea las diferentes edificaciones formando una “U” invertida.

### Línea de distribución eléctrica subterránea de la FIA.

En las siguientes tablas se presenta el valor de los transformadores tipo Pad-Mounted a instalarse el cada uno de los edificios de la FIA. Los transformadores trifásicos son los que van conformar el anillo por lo que se requiere que en el lado primario tengan una configuración tipo “T Blade” para realizar las respectivas conexiones de los cables de media tensión.

EDIFICIO	CARGA ACTUAL Y % DE SUBESTACION ACTUAL		INCREMENTO CARGA FUTURA PROYECTADA %50	CARGA TOTAL KW	CAPACIDAD SUBESTACION ACTUAL KVA	CARGA TOTAL KVA CON FP 0,8	CAPACIDAD SUBESTACION NUEVA
	KW	%					
BIBLIOTECA	40,290	13%	20,145	60,435	300	75,5438	112,5KVA 3φ
EDIFICIO B-C-D	17,700	18%	8,850	26,550	100	33,1875	50KVA 1φ
MECANICA	51,640	23%	25,820	77,460	225	96,825	112,5 KVA 3φ
INDUSTRIAL	40,030	13%	20,015	60,045	300	75,0563	112,5 KVA 3φ
CIVIL	29,250	13%	14,625	43,875	225	54,8438	225KVA 3φ
ADMINISTRATIVO	72,180	32%	36,090	108,270		135,338	
AUDITORIO MARMOL	46,250	185%	23,125	69,375	25	86,7188	112,5KVA 3φ
ELECTRICA.POTENCIA	29,900	10%	14,950	44,850	300	56,0625	112,5KVA 3φ
ARQUITECTURA	-	-	-	-		-	
ASOCIACIONES	64,923	-	32,462	97,385	-	121,731	150 KVA 3φ
CIENCIAS BASICAS	65,62255	-	32,811	98,434	-	123,042	150 KVA 3φ
POSGRADO	39,936911	-	19,968	48,825	-	61,0313	75KVA 3φ

Tabla 1: Cuadro comparativo de cargas en edificaciones de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura.

EDIFICIO	CAPACIDAD SUBESTACION NUEVA
BIBLIOTECA	112,5KVA 3φ
EDIFICIO B-C-D	50KVA 1φ
MECANICA	112,5 KVA 3φ
INDUSTRIAL	112,5 KVA 3φ
CIVIL	225KVA 3φ
ADMINISTRATIVO	
AUDITORIO MARMOL	112,5KVA 3φ
ELECTRICA.POTENCIA	112,5KVA 3φ
ARQUITECTURA	
ASOCIACIONES	150 KVA 3φ
CIENCIAS BASICAS	150 KVA 3φ
POSGRADO	75KVA 3φ
METROLOGIA	25KVA 1φ
<b>TOTAL</b>	<b>1237,5 KVA</b>

Tabla 2: Capacidades de transformadores Pad-Mounted a instalarse en la FIA.

### Tipo de cable a instalarse en la línea de distribución subterránea de la FIA.

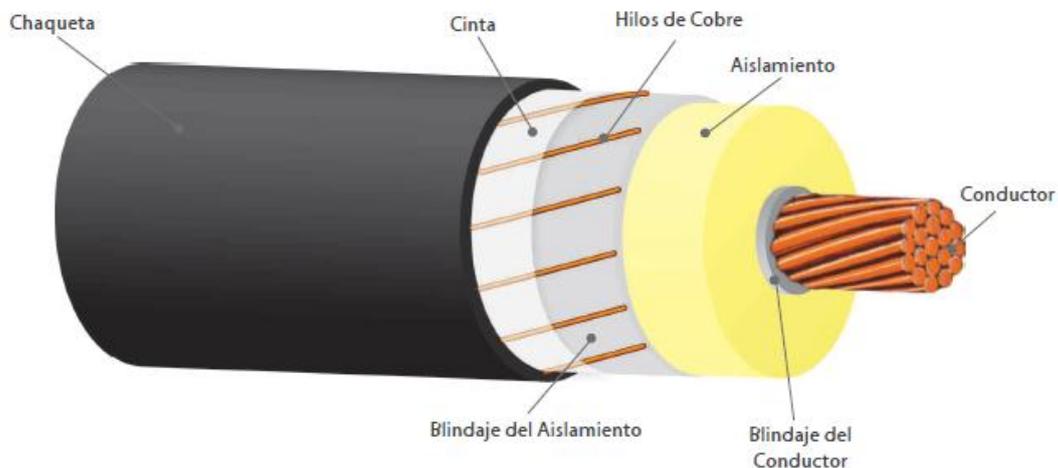


Figura 3: Cable para media tensión con apantallamiento de neutro concéntrico.

El cable a instalarse en la línea de distribución eléctrica subterránea será XLPE-TR para 25KV, con neutro concéntrico al 33% y un nivel de aislamiento del 100% (respetando la sección 7.25 de la IEEE 141). El cable debe estar fabricado según los detalles que se presentan en la figura 3, los calibres a ser utilizados se presentan en el Plano General de la Línea de Distribución Eléctrica Subterránea de la FIA.

## Tensión de jalado para el cable a instalarse en la FIA.

El cálculo de la tensión de jalado a la cual será sometido el cable en cada uno de los tramos en la trayectoria expuesta en el Plano General de la Línea de Distribución Eléctrica Subterránea de la FIA, se ha realizado utilizando las siguientes ecuaciones.

Tramo recto:

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

Jalado inclinado:

Hacia arriba

$$T = W * l(\sin A + wf \cos A)$$

Hacia abajo

$$T = W * l(\sin A - wf \cos A)$$

En el desarrollo del presente diseño se utiliza un coeficiente de fricción de 0.5 y se toma en cuenta el ángulo de inclinación del suelo en aquellas partes donde el terreno es bastante inclinado, todos los cálculos realizados se presentan en la tabla 3.

Tramo	Longitud (m)	Calibre Cable	Diámetro total del conductor (mm)	Coefficiente de corrección de peso	Peso del cable kg/100m	Angulo de inclinación del suelo(º)	Tensión (Kg)
Switchgear 1 - Pozo1	15	1/0	32,5	0,96517134	125	0	27,15
Pozo 1 - Pozo de registro	19,6	1/0	32,5	0,96517134	125	0	35,47
Pozo de registro - Pozo 2	28,3	1/0	32,5	1	125	0	35,38
Pozo 2 - Pozo 3	20,4	1/0	32,5	1	125	0	25,50
Pozo 3 - Pozo 4	30,22	1/0	32,5	1	125	0	37,78
Pozo 4 - Pozo 5	32,04	1/0	32,5	1	125	0	40,05
Pozo 5 - Pozo de registro	22,95	1/0	32,5	1	125	0	14,34
Pozo de registro - Pozo 6	26,1	1/0	32,5	1	125	0	16,31
Pozo 6 - Pozo de registro	26	1/0	32,5	1	125	0	16,25
Switchgear 1 - Pozo7	3,5	4/0	37,1	0,951934024	192	34.85	3,66
Pozo 7 - Pozo 8	25,2	4/0	37,1	0,951934024	192	0	69,09
Pozo 8 - Pozo 9	25	4/0	37,1	0,951934024	192	0	68,54
Pozo 9 - Pozo 10	26,1	4/0	37,1	0,951934024	192	0	71,55
Pozo 10 - Pozo 11	6,05	4/0	37,1	0,951934024	192	15.34	25,18
Pozo 11 - Pozo 12	21	4/0	37,1	0,951934024	192	0	57,57
Pozo 12 - Pozo 13	4	4/0	37,1	0,951934024	192	22.02	18,78
Pozo 13 - Pozo de registro	4	4/0	37,1	0,951934024	192	0	10,97
Pozo de registro - Pozo 14	8	4/0	37,1	0,951934024	192	0	21,93
Pozo 14 - Pozo 15	3,5	4/0	37,1	0,951934024	192	27.20	0,70

Tramo	Longitud (m)	Calibre Cable	Diámetro total del conductor (mm)	Coefficiente de corrección de peso	Peso del cable kg/100m	Angulo de inclinación del suelo(°)	Tensión (Kg)
Pozo Registro - Pozo 34	22	1/0	32,5	0,96517134	125	0	39,81
Pozo 34 – Derivador 2	9	1/0	32,5	0,96517134	125	6.38	19,68
Derivador 2 - Pozo Registro	6,24	1/0	32,5	1	125	0	3,90
Derivador 2 – Derivador 3	37	1/0	32,5	0,96517134	125	0	66,96
Derivador 3 - Pozo 36	38	1/0	32,5	0,96517134	125	0	68,77
Pozo 36 - Pozo 37	18,23	1/0	32,5	0,96517134	125	0	32,99
Pozo 37 - Pozo Registro	30	1/0	32,5	0,96517134	125	0	54,29
Pozo Registro - Pozo 38	25,83	1/0	32,5	0,96517134	125	0	46,74
Pozo 38 - Pozo 39	20	1/0	32,5	0,96517134	125	0	36,19
Pozo 39 - Pozo 40	5	1/0	32,5	0,96517134	125	25	16,00
Pozo 40 - Pozo registro	6,5	1/0	32,5	0,96517134	125	0	11,76
Pozo Registro - Pozo 41	26	1/0	32,5	0,96517134	125	0	47,05
Pozo 41 - Pozo Registro	30	1/0	32,5	0,96517134	125	0	54,29
Derivador 4 - Pozo 42	9	1/0	32,5	0,96517134	125	0	16,29
Pozo 42 - Pozo 43	29	1/0	32,5	0,96517134	125	0	52,48
Pozo 43 - Pozo 44	45	1/0	32,5	0,96517134	125	0	81,44
Pozo 44 - Pozo 45	25	1/0	32,5	0,96517134	125	0	45,24
Pozo 45 - Pozo 46	29	1/0	32,5	0,96517134	125	0	52,48
Pozo 46 - Pozo Registro	5	1/0	32,5	0,96517134	125	0	9,05
Pozo Registro - Pozo 47	25	1/0	32,5	0,96517134	125	0	45,24
Pozo 47 - Pozo 48	27	1/0	32,5	0,96517134	125	0	48,86
Pozo 48 - Pozo 49	23	1/0	32,5	0,96517134	125	0	41,62
Pozo 49 - Pozo 50	4	1/0	32,5	0,96517134	125	0	7,24
Pozo 50 - Pozo registro	5	1/0	32,5	0,96517134	125	0	9,05
Pozo registro - Switchgear 2	18	1/0	32,5	0,96517134	125	0	32,57

Tabla 3: Tensiones de jalado para línea subterránea a instalar.

## Dimensionamiento de canalización.

Los tubos de PVC se deben instalar en separadores para tubos cada tres metros en toda la trayectoria del banco de ductos, a fin de mantener constantes las distancias de separación entre tubería y los espesores de recubrimiento de concreto.

Distancia entre ductos con cables eléctricos y ductos de telefonía, tubería servicio eléctrico debe mantenerse a un mínimo de 60 cm de distancia de otra canalización.

Todas las canalizaciones llevarán una cinta preventiva de polietileno de color amarillo, con dimensiones mínimas de 10 cm de ancho, con una nota "PELIGRO -ALTO VOLTAJE" en letras de color negro, impresas en intervalos como máximo cada 20 cm a lo largo de ésta. La cinta se colocará a una profundidad de 40 cm de la superficie y deberá cubrir como mínimo la tercera parte del ancho de la canalización, en la siguiente figura se muestra un esquema de cómo debe quedar instalada la cinta de precaución.

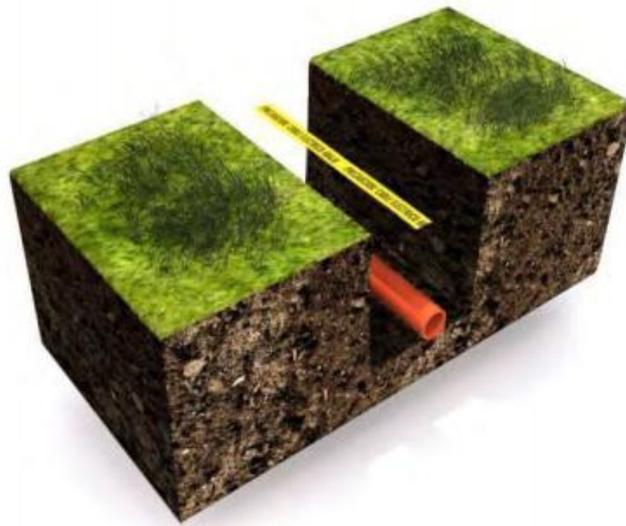


Figura 4: instalación de cinta de precaución.

La tubería del conductor primario se instalará a una profundidad de 1 m en aceras, a 1.1 m cuando se requiera instalar pozos de registro secundario sobre el trayecto de la línea primaria y bajo carreteras o zonas de tráfico vehicular.

El diámetro del ducto para línea primaria será de 6" en el caso de este proyecto.

Todas las consideraciones antes expuestas se plasman en la figura 5, donde se observa un corte frontal de la canalización, esto permite distinguir las diferentes capas en las que está dividido el canal. El relleno compactado está formado por la tierra que se extrae al abrir el canal, luego de rellenar con arena la base de la canalización y recubrir los ductos con concreto y este ya esté listo, se vuelve a rellenar el canal y con herramientas se compacta el suelo.

Además se observa que se ha agregado una capa asfáltica, esto solamente se realiza para tramos donde la línea cruza por calles donde hay afluencia de tráfico.

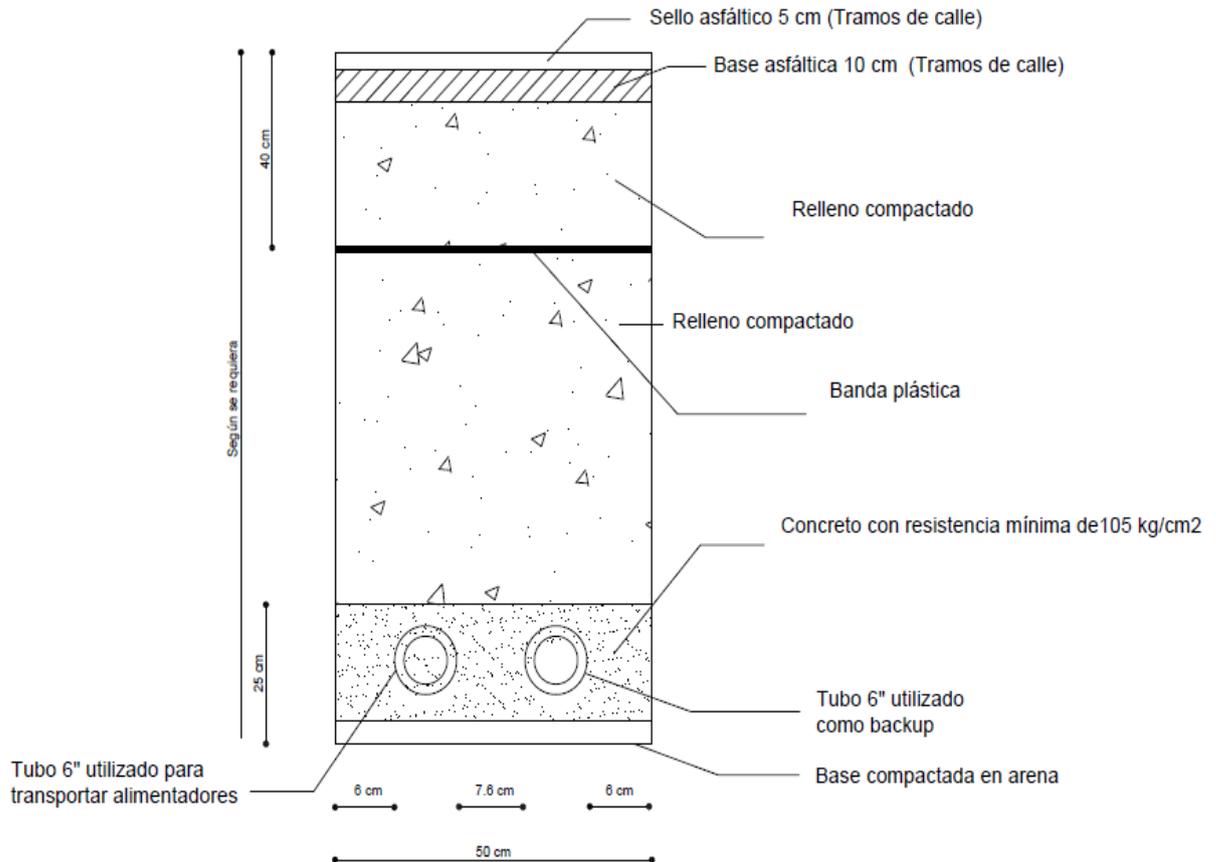


Figura 5: descripción de banco de dos ductos.

### Equipo a instalarse en el sistema subterráneo.

#### Switchgear 1:

En la siguiente figura se presentan las diferentes celdas de las cuales estará compuesto el switchgear 1, que será del tipo Vista de la empresa S&C, el cual será instalado por la entrada del polideportivo dentro del perímetro de la universidad.

#### Descripción de celdas:

La primera celda contendrá el interruptor principal del sistema que aparte del interruptor de carga y falla Visi-Gap tendrá un moto operador.

Tres ramales, una para la línea monofásica, otro para el tramo troncal y uno más como backup.

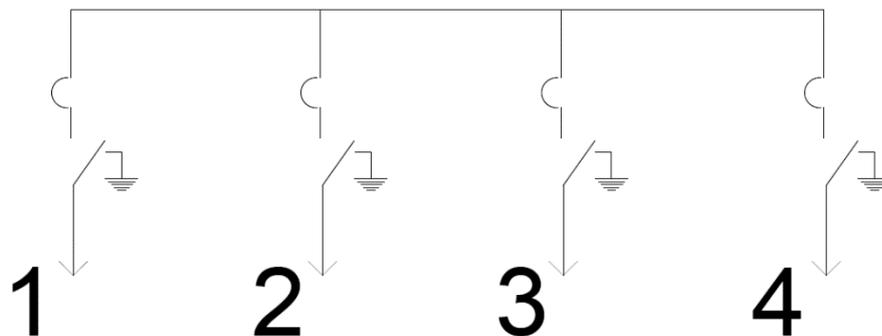


Figura 6: Celdas que conforman el switchgear que se instalara por la entrada de la facultad.

### Switchgear 3:

Este se encontrara en las cercanías del Comedor Universitario al lado de donde se encuentran los servidores de la Universidad en Línea.

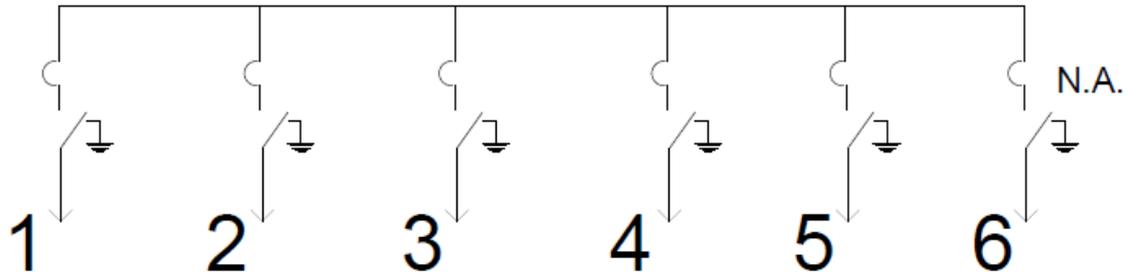


Figura 7: Switchgear con 6 vías, con una normalmente abierta.

El **switchgear 2**, tendrán idéntica distribución de celdas como las que se acaban de describir con la diferencia que no tendrán ninguna vía automatizada y solo tendrá cuatro vías.

### Descripción del equipo.

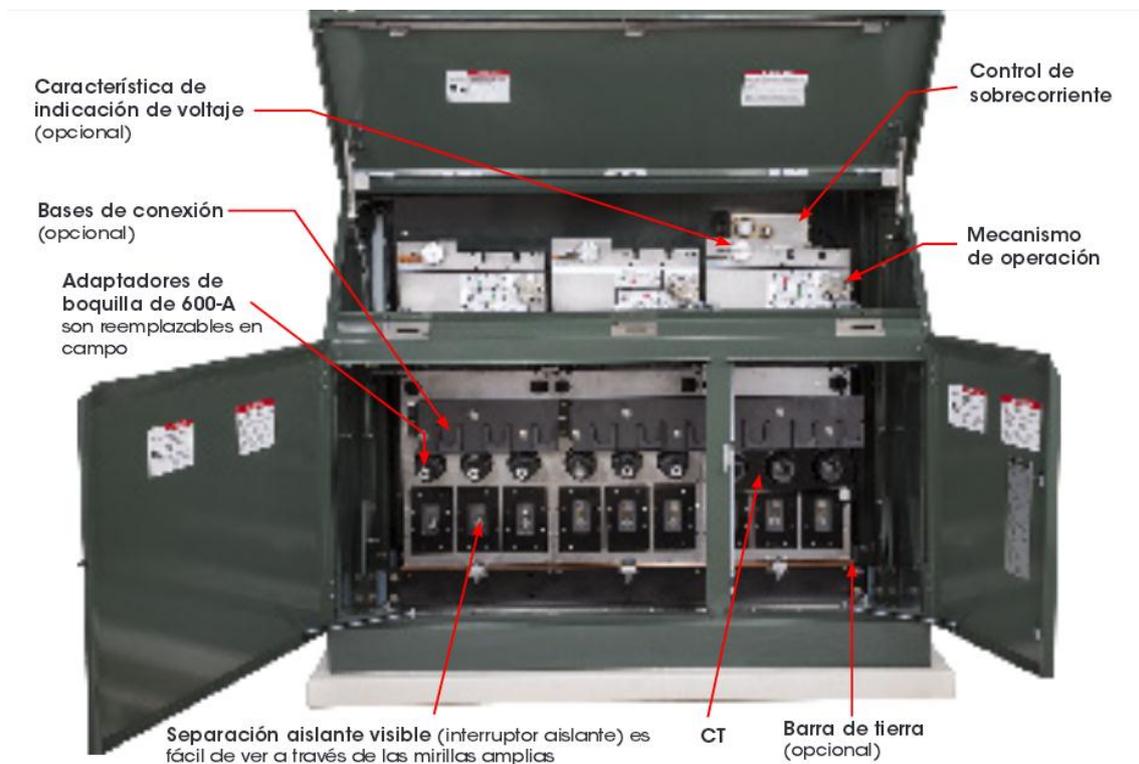


Figura 8: switchgear VISTA de S&C.

## Interruptores de carga y falla Visi-Gap.

Los dispositivos de protección a utilizarse en los switchgear serán interruptores de falla Visi-Gap de S&C, estos se encuentran compuestos por un interruptor en vacío en serie con un interruptor aislante de dos posiciones operado manualmente, pero en el caso de la celda 1 del switchgear 1 estará automatizado con un moto-operador y un equipo de control que estará intercomunicado con el Switchgear 3. Este interruptor debe realizar la conmutación de carga tripolar de circuitos de 200 amperios e interrupción de falla de 12.5 kA simétricos a 29 kV.



Figura 9: Indicador de posición de interruptores de carga y falla.

Instalación de moto operador para el accionamiento de los interruptores de carga y falla:



Figura 10: instalación de moto operadores para la automatización de los interruptores.

Transformadores tipo pedestal.

En el diseño de la red subterránea se propone usar transformadores trifásicos tipo pedestal marca EATON especificados en la hoja técnica 17001 (se puede usar transformadores equivalentes de otros fabricantes). El Pad-Mounted a utilizar tiene en el primario una configuración tipo "T Blade" que se utiliza en redes subterráneas en configuración anillo, el esquema se muestra en la figura 11.

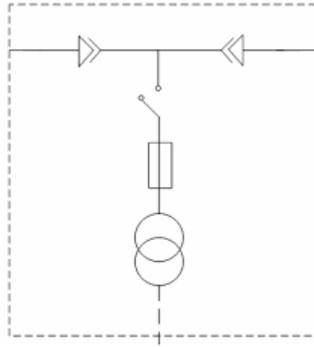


Figura 11: Esquema "T Blade" a utilizar en diseño.

Las cuatro posiciones en las cuales se puede accionar el switch en el primario del transformador en su función (Loop Feed) son las siguientes:

Las dos fuentes conectadas junto a la bobina del devanado primario del transformador. La fuente A conectada junto a la bobina y la fuente B (o la siguiente sección del circuito primario) desconectada.

La fuente B conectada junto a la bobina y la fuente A (o la siguiente sección del circuito primario) desconectada.

La bobina del devanado primario del transformador desconectado, y el anillo continúa operando de manera normal.

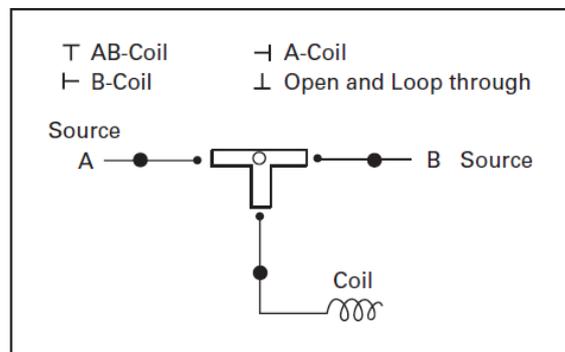


Figura 12: Switch para operar en loop-feed.

### **Acometida aéreo-subterránea ubicada por la entrada de Polideportivo.**

Se ha seleccionado un recloser trifásico como dispositivos de protección en el punto de entrega, tomando en cuenta que en algún momento sea la única acometida en servicio, tendrá que abastecer a una carga de 5.106 MVA (proyectando un 40% de carga futura), de toda la Ciudad Universitaria. La vista frontal de la estructura y elementos que forman parte de la acometida aéreo-subterránea se muestra en las figuras 13 y 14.

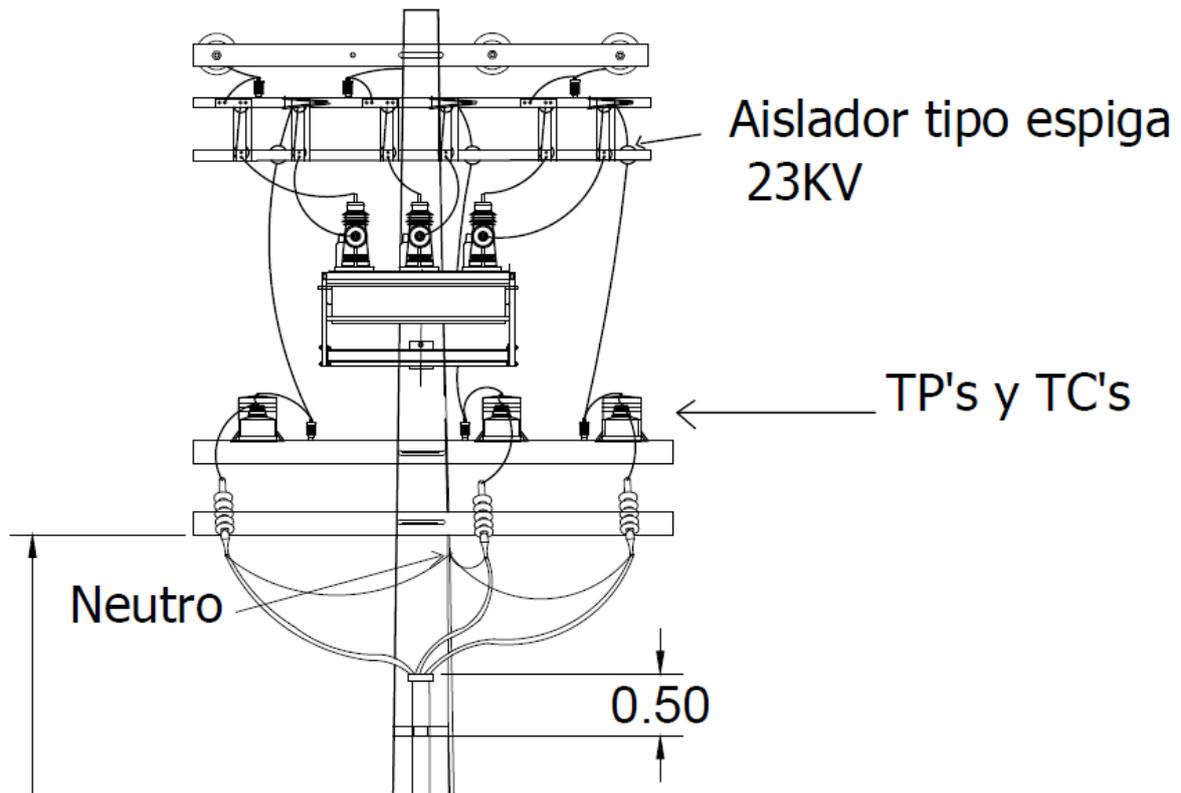


Figura 13: montaje de recloser , TC's,TP's y terminales de potencia.

Descripción de vías (switchgear figura 14):

A: En esta vía se conectara la acometida de entrega de servicio por parte de la distribuidora.

B: Ramal monofásico para alimentar a los transformadores que se encuentran en el area del polideportivo.

C: Esta vía será donde se conecte la línea troncal que va del SG1 hacia SG2.

D: Backup.



Descripción	15 kV	15 kV	27 kV	27 kV	38 kV
Corriente continua nominal	630 A*	630 A*	630 A*	630 A*	630 A*
Corriente en cortocircuito simétrica	12,5 kA**	12,5 kA**	12,5 kA**	12,5 kA**	12,5 kA
Corriente de cierre de cresta asimétrica	32,0 kA	32,0 kA	32,0 kA	32,0 kA	32,0 kA
Corriente de carga de cable	10 A	10 A	25 A	25 A	40 A

Figura 16: Corrientes del Recloser trifásico.

Descripción	15 kV	15 kV	27 kV	27 kV	38 kV
Operaciones mecánicas/eléctricas mínimas sin mantenimiento (cierre-apertura)					
Masa (peso) - kg (lb)	10 000 86 (190)	10 000 91 (200)	10 000 91 (200)	10 000 101 (223)	10 000 101 (223)

Figura 17: accionamientos mecánicos del recloser trifásico.

### Medición eléctrica en baja tensión.

Para llevar un registro controlado de la energía eléctrica consumida por cada una de las subestaciones de la FIA, se instalara un equipo electrónico de medición eléctrica en cada uno de los Circuit Breaker (MAIN) de los tableros generales de cada uno de los edificios de la FIA. El equipo a instalarse será el sub-medidor electrónico con capacidad Ethernet Wifi SHARK-200S.



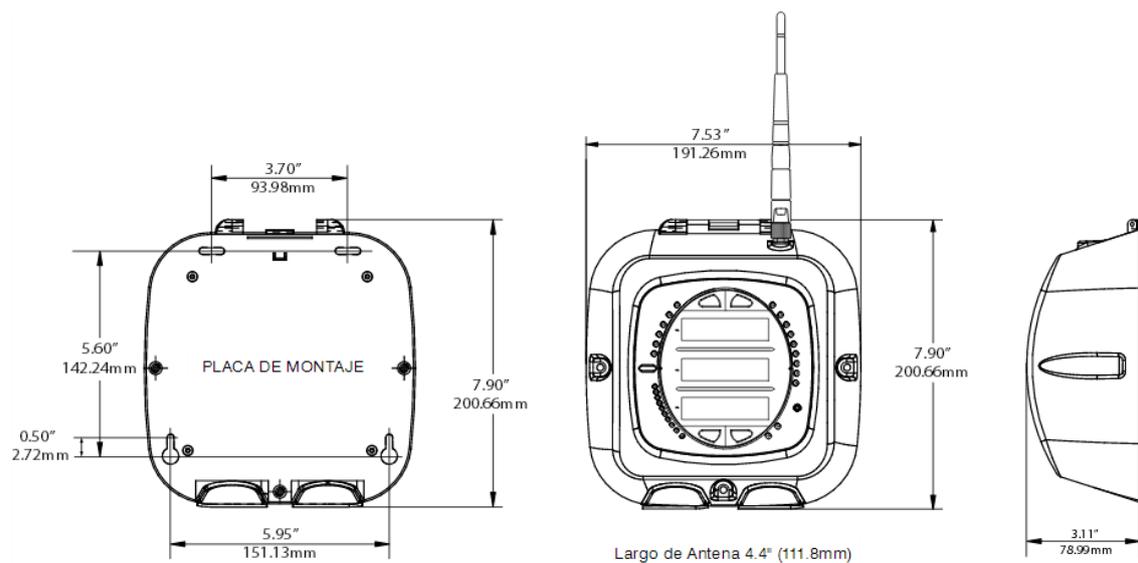
Figura 18: sub-medidor electrónico SHARK-200S

## Especificaciones técnicas del equipo

<p><b>Entradas de Voltaje</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 20-416 Voltios Línea a Neutro, (Sub Medidor Shark® 100-S), 20-576 Voltios Línea a Neutro, (Sub Medidor Shark® 200-S)</li> <li>• 0-721 Voltios Línea a Línea</li> <li>• Entradas de Voltaje Universales</li> <li>• Capacidad de Soporte de Entrada - Cumple IEEE C37.90.1 (Capacidad de Soporte de Surge)</li> <li>• Voltaje Programable a cualquier rango de TP</li> <li>• Soporta: Sistemas 3 Elementos WYE, 2.5 Elementos WYE, 2 Elementos Delta, 4 Hilos Delta</li> <li>• Burden: 0.36VA por fase Max a 600V, 0.014VA a 120 Voltios</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Corriente Programable a cualquier ratio de TC</li> <li>• Burden 0.005VA por fase Máx. a 11Amps</li> <li>• Corriente de Arranque 5mA Pickup para Clase 10</li> <li>• Corriente de Arranque 1mA Pickup para Clase 2</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• %THD Armónico (% de Distorsión Total Armónica)- Solo Sub Medidor Shark® 100-S</li> </ul>
<p><b>Entradas de Corriente</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Clase 10: 5 Amp Nominal, 10 Amp Máximo</li> <li>• Clase 2: 1 Amp Nominal, 2 Amp Secundario.</li> </ul>	<p><b>Aislamiento</b> Todas las Entradas/Salidas Galvanicamente aisladas a 2500 Voltios AC</p>	<p><b>Tasa de Actualización</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Watts, VAR y VA - cada 6 ciclos (e.g., 100ms @ 60Hz)</li> <li>• Los demás parámetros - cada 60 ciclos (e.g., 1s @ 60Hz)(1 segundo para medición solo de corriente, si no hay tensión de referencia)</li> </ul>
	<p><b>Medio Ambiente</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Almacenamiento: (-20 a +70)° C</li> <li>• Operación: (-20 a +70)° C</li> <li>• Humedad: a 95% HR (No-condensable)</li> </ul>	<p><b>Fuente de Poder</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• (90 a 400) Voltios AC y (100 a 247) Voltios DC</li> <li>• Direcciones de Puertos: 0-247</li> <li>• 8 Bit, Sin Paridad</li> <li>• Protocolos Modbus RTU o ASCII Ethernet</li> <li>• 802.11b Inalámbrico</li> <li>• Ethernet 10BaseT (RJ45)</li> <li>• Protocolo Modbus</li> <li>• Puerto RS485 (Parte Posterior)</li> <li>• IrDA (Parte Frontal)</li> <li>• Protocolo Modbus RTU, Modbus ASCII</li> <li>• Velocidad de Puertos: (9600 a 57,600)</li> </ul>
	<p><b>Método de Registro</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• RMS</li> <li>• 400+ Muestras/Ciclo En lecturas de todos los Canales simultáneamente</li> </ul>	

Figura 19: Especificaciones técnicas del equipo 1.

## Dimensiones 1:



(1): [https://www.electroind.com/pdf/sp/SP-Shark100S\\_200S.pdf](https://www.electroind.com/pdf/sp/SP-Shark100S_200S.pdf)

Diagrama de conexión:

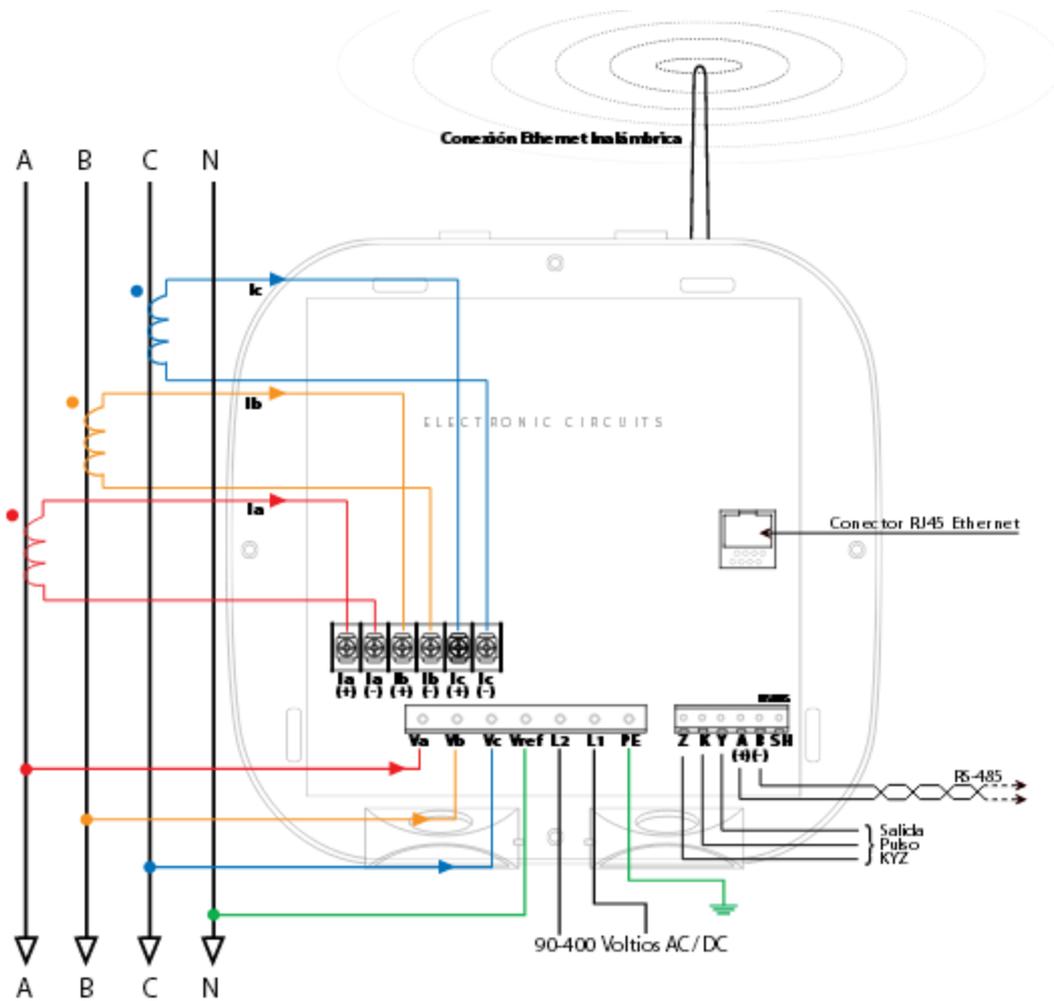


Figura 20: conexión 3 fases 4 hilos, estrella <sup>1</sup>.

### Sistemas Fotovoltaicos Conectados a la Red (SFVCR).

La instalación solar fotovoltaica proyectada aquí, se ubicará sobre los edificios de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura citados en el plan de oferta del proyecto. El generador fotovoltaico estará formado por paneles marca ALBATECH (o equivalentes), la potencia máxima del generador variará de acuerdo a la capacidad de colocación de MFV en el área del techo de cada edificio. Estos módulos fotovoltaicos se situarán sobre soportes metálicos fijos.

La instalación eléctrica del proyecto se ha dividido en tres circuitos diferentes de conductores, de sección distinta desde los paneles solares hasta el punto de conexión a la red de baja tensión. El primer circuito tendrá el arreglo de MFV hacia una caja de conexión del generador fotovoltaico, de esta saldrá solo dos cables para conectarlo al inversor, siendo este el circuito dos, el tercer circuito implementará la conexión del inversor hacia la red de baja tensión.

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  $1000W/m^2$ , 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 (se describe en los planos de diseño).

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.

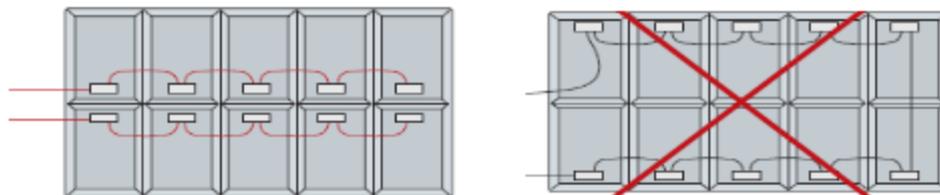


Figura 21: conexión entre MFV

Los módulos fotovoltaicos a instalarse en los techos de los edificios de la FIA deben respetar los parámetros eléctricos y dimensiones, que se presentan en la siguiente figura. Esto en el caso que la empresa que ejecute el proyecto tome una marca de módulos fotovoltaicos alternativa a la de ALBATECH.

MODULO SOLAR ALBATECH 310W		
72 Celdas/Policristalino		
RENDIMIENTO BAJO CONDICIONES DE PRUEBA (STC)*		
Potencia Máxima	Pmax	310 W
Voltaje de Circuito Abierto	Voc	45.7 V
Voltaje de Máxima Potencia	Vmpp	37.14 V
Corriente de Corto Circuito	Isc	8.87 A
Corriente Máxima Potencia	Impp	8.41 A

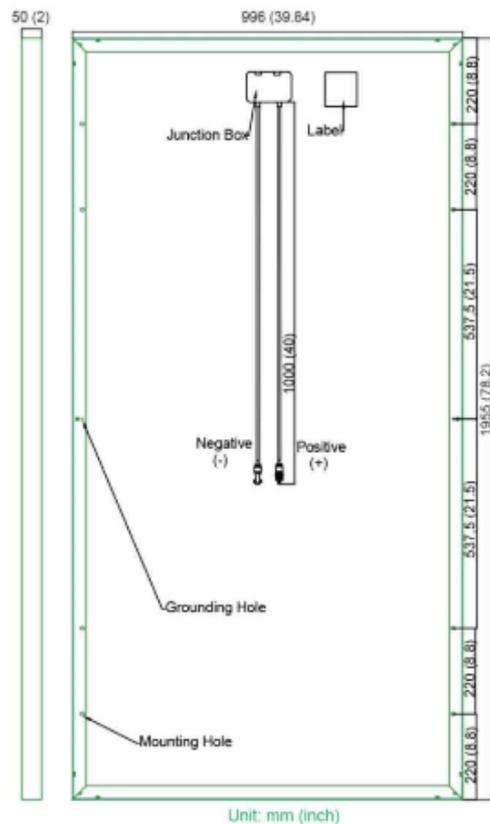


Figura. 22: Especificaciones de MFV a utilizar.

### Elección del inversor.

Una de las decisiones más importantes que se deben tomar en este tipo de diseños es la elección correcta del inversor. Para la selección de un inversor que cumpla los requerimientos técnicos que imponen los paneles solares, se calcularán las tensiones y corrientes máximas y mínimas que podrían tenerse a la salida del generador, teniendo en cuenta todo el funcionamiento normal de los paneles solares a la hora de entregar la máxima potencia, como el funcionamiento de los módulos solares cuando están sometidos a condiciones de temperaturas distintas a las establecidas en las especificaciones estándar de medida.

Se optó como referencia los inversores fabricados por SMA, aunque podrían ser ABB, Advanced Energy, Aurora y de otros fabricantes debidamente certificados y de amplia experiencia en la fabricación de inversores de conexión a la red. El balanceo de la producción de energía, también es importante, de manera que en el caso de suministro trifásico se escogerá el número de inversores en un múltiplo de tres, distribuidos uniformemente entre las fases.

## Detalles de instalación de los SFVCR.

La siguiente figura muestra que cada inversor se conectara entre fases al tablero de inversores.

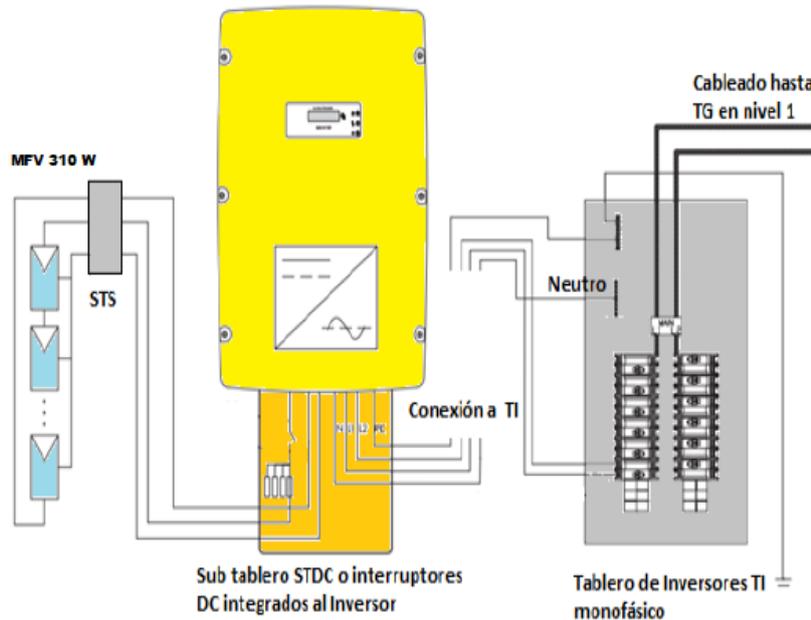


Figura 23: Modo de conexión tablero de inversores (STI).

Tanto los inversores como el subtablero de inversores será ubicado en la última planta de cada uno de los edificios especificados en el Plan de Oferta, los inversores se conectan entre fases, así mismo se sugiere que se conecte el neutro del inversor con el del sistema, se debe tomar en cuenta el equilibrio de fases.

Conexión de los inversores a tableros STI y TG.

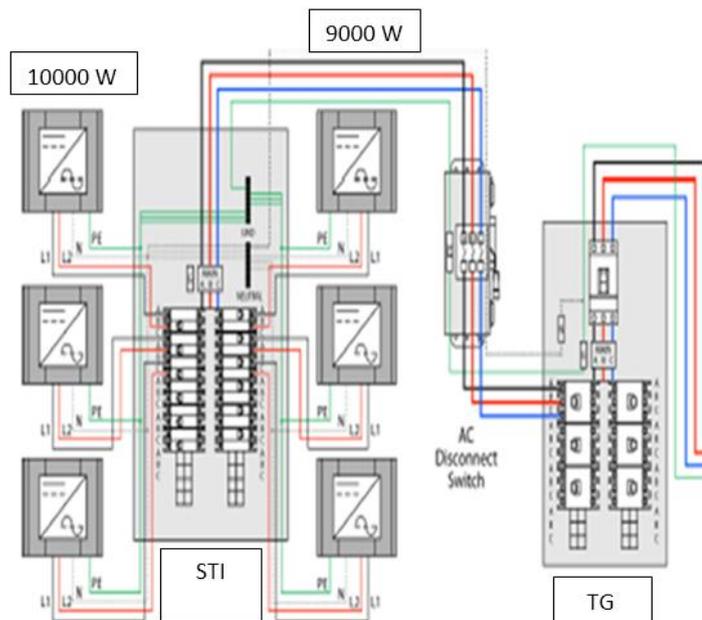


Figura 24: Esquema de conexión de inversores a tableros STI y TG.

## Estructura de soporte para MFV.

Para todos los edificios con diferentes inclinaciones en sus techos se utilizara la misma estructura ya que esta cuenta con varillas tipo rosca con las cuales se podrán realizar los ajustes correspondientes.

La estructura para poder colocar cuatro paneles solares o módulos fotovoltaicos se presenta en la figura 25:

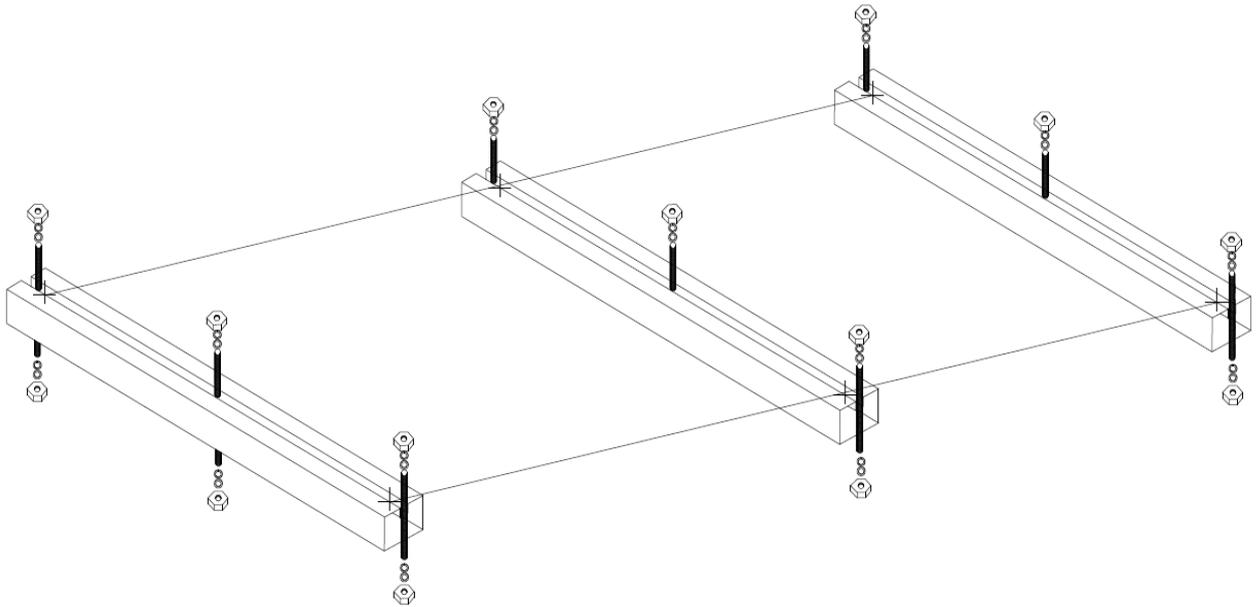


Figura 25: estructura de soporte para MFV en techo inclinado.

Descripción de materiales:

Riel Struct pacho.

Lámina metálica Troquelada.

Varilla roscada de 1/2".

Arandela plana Zinc de 1/2".

Arandela de presión Zinc 1/2".

Tuerca R/O Zinc 1/2".

Todo el material para realizar la construcción de la estructura debe ser de aluminio o hierro galvanizado en caliente. Las estructuras deben construirse a modo que se pueda colocar 2 MFV en vertical.



Figura 26: estructura de soporte para MFV en techo tipo losa de concreto.

### **Equipamiento de seguridad.**

El contratista que ejecute el proyecto de distribución eléctrica subterránea deberá proveer de todo el equipamiento de seguridad para realizar trabajos de mantenimiento en la línea de distribución, los diferentes equipos de seccionamiento y subestaciones que se encontrarán en la FIA. También deberá gestionar un programa de entrenamiento o capacitación para el personal de la FIA que se encargara de la inspección y ejecución del mantenimiento preventivo y correctivo, de la línea de distribución subterránea de la FIA.

La descripción del equipamiento de seguridad se describe a continuación:

- Loadbuster: herramienta portátil para apertura con carga 23/34.5 KV, 38 KV máximo, incluir KIT de elementos de mantenimiento y valija de transporte.
- Pértiga Escopeta 12.5 pies de largo, con bolsa de almacenamiento y adaptador universal.
- Pértiga des conectadora telescópica de hasta 40 pies, servicio pesado, con cabeza desconectadora universal, incluir como accesorio serrucho de poda adaptable (C4032213)
- Guantes aislados clase 00 hasta 500 VAC, con su respectivo guante protector de cuero, manga recta de 14", color amarillo con su correspondiente bolsa de almacenaje

- Guantes aislados Clase 3 hasta 26.5 KV, con su respectivo guante protector de cuero, manga acampanada de 14", color negro con su correspondiente bolsa de almacenaje.
- Pértiga mecánica tipo escopeta de 8ft que incorporar mandíbula, soporte de mandíbula, tope de seguridad, barra de seguridad y cierre de tope en acero inoxidable fundido. Aparte debe incorporarse sus bolsas de almacenaje.
- Sierra 16" de longitud, para conexión a pértiga universal.
- Cinturón para liniero estándar con cojín de respaldo de 89 mm de ancho, cubierto de oscaría con relleno poliuretano, talla 24-36.
- Bandola para liniero 5ft-8 pulgadas, con ganchos templados con seguro doble.
- Arnés de seguridad para liniero con un anillo tipo "D", dos anillos tipo "A", un cojín de respaldo y su bolsa de almacenaje.
- Casco azul tamaño estándar, con carcasa de polietileno con interruptor de matraca de 4 puntos, se debe incluir forro de invierno para cascos de seguridad estándar echo de sarga de algodón revestido en orlón y con cierres de contacto no metálicos.
- Guantes de cuero large tipo Mustang para puño mediano/grande, con puño de goma impermeable de 2-1/2" de largo.
- Set de conexión a tierra de 4 vías, con 4 mangas de 1-1/2", una Stud percha doble, un perno de contacto, cable 1/0, cuatro virolas y 34ft de largo.
- Casco con careta protectora de 32 cal/cm<sup>2</sup>, con bolsa de almacenaje para careta protectora y bolsa de lona para almacenar todo el equipo.
- Manta aislante y antideslizante con orejas de conexión de dos mallas adyacentes, incluir pernos, perno largo de bola, arandelas, tuercas, juego de conexión de tierra con cable #2 de 6 ft con sus casquillos montados y bolsa de almacenaje.
- Lentes claros de seguridad ultralivianos anti-impacto o rayadura.
- Lentes de seguridad color ambar tamaño estándar, para protección contra polvo, chispas e impacto de partículas y filtro U.V.
- Guantes clase 0 talla 10, tipo II flexibles y de 11" de largo.
- Protector para guante echo de cuero, talla 10 y para un nivel de tensión de 1000V clase 0.
- Guantes de algodón absorbente de transpiración.
- Arnés con línea de vida que cuenten con ganchos de acero forjado con seguro doble fabricado con cuerda de nylon de 1/2" y su bolas de almacenaje.

- Bolsa impermeable de lona con borde superior reforzado con sogas de 1/4" y presillas para cinturón.
- Barbiquejo con guarda para casco de seguridad.
- Escalera de fibra de vidrio de 32 ft tipo II, con estilo de varias secciones, con rieles laterales no conductores, unión de peldaños que garanticen antitorsión, peldaños antiderrapantes.
- Botas dieléctricas de alto aislamiento "IS", con resistencia eléctrica superior al 1000 Mohm en seco y en húmedo.
- Chaqueta ignífuga 32 cal/cm<sup>2</sup> con capucha removible.
- Botas Caterpillar interface HI ST punta acero metálica, suela antiderrapante, suela resistente a la abrasión y dieléctrica.
- Banqueta aislante 45 KV clase 5, fabricada de plástico, con patas antideslizantes, con dimensiones de 500x500x237 milímetros.
- Agarra sogas fabricado con acero inoxidable con anillo tipo "D", con doble seguro (seguro frontal y seguro de gravedad), para cuerda de 5/8".
- Pértiga aislante de salvamento de 45KV, de 1.75 m de longitud, de un solo tramo fabricado en tubo poliéster y fibra de vidrio de 32 mm de diámetro con obturaciones antihumedad en ambos extremos, guardamanos, empuñadora, contera, cabezal métrico y gancho de salvamento. Adicionar estuche de almacenamiento.
- Pértiga de puesta a tierra con cabezal de aluminio fundido de bajo peso con grampa tipo C, de 5 metros de largo.

A continuación se presenta una tabla con la cantidad requerida de equipo de maniobra y seguridad:

Equipo	Cantidad
Pértiga telescópica 35ft	1
Pértiga mecánica 8ft	1
Sierra para pértiga universal	3
Guante de hule 27KV	2
Cinturón para liniero	2
bandola para liniero 5ft	2
Arnés de seguridad para liniero	2
Casco azul	2
Guantes de cuero	2
Kit de puesta a tierra	2
Casco con careta protectora de 32 cal/cm2	3
Manta aislante	3
Lente claro de seguridad	3
Lente ámbar de seguridad	3
Guantes clase 0 talla 10	3
Protector para guantes talla 10	3
Guantes de algodón	3
Arnés con línea de vida	2
Bolsa impermeable 12"x15"	2
Barbiquejo 3M	3
Escalera de fibra de vidrio de 32ft	2
Botas dieléctricas	3
chaqueta ignífuga (32cal/cm2)	3
Botas caterpillar interface HI ST, dieléctricas	3
Loadbuster 34,5KV-600 A	2
Banqueta aislante 45KV 500x500x237 mm	2
Agarra soga	2
Pértiga aislante se salvamento 45KV, 1,5m	2
Pértiga de puesta a tierra	2

Tabla 4: Cantidad de EPP que deberá ser suministrada..

## PLAN DE OFERTA.

A continuación se presenta el plan de oferta para los SFVCR y la línea de distribución subterránea de la FIA, se pretende que al menos dos licitantes se hagan cargo del proyecto uno de la parte fotovoltaica y otro de la línea de distribución eléctrica subterránea. También es indispensable que los interesados en licitar el proyecto visiten las instalaciones de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura todas las dudas que pueda haber referente a las instalaciones de los sistemas fotovoltaicos en los diferentes edificios y de la trayectoria en la que se distribuirá la línea subterránea de media tensión en el Campus de la FIA.

El formato que se ha seguido para la presentación de ofertas es en forma de partidas, los oferentes tienen que considerar todos los materiales, detalles de instalación y obra civil que se especifica en cada una de las partidas. En el caso que hubiera algún material o rubro no especificado en las partidas, que el oferente considere es necesario para dejar el trabajo en una forma eficiente debe detallarlo a parte.

### Formato de presentación de ofertas.

Los oferentes deben presentar sus propuestas siguiendo el formato detallado a continuación, cualquier rubro adicional que el oferente considere no se ha contemplado para terminar completamente el proyecto, debe especificarlo en un cuadro aparte, de lo contrario se considera que en la oferta elaborada se encuentra todo lo necesario para terminar satisfactoriamente el proyecto.

Oferta presentada para los SFVCR:

Edificio de Administración Académica						
Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	P.U.	P.T.	Partida
1	Adquisición de elementos importados					
1.1	Supresores de transientes de 600V, 40KA	6	U			
1.2	Sunny Boy Combiner Box TLUS (SBCBTL6), fusibles 15A 600V AC/DC, 50KA @ 600V DC para terminal + y - de cada string.	6	U			
1.3	Gasto por importación	1	S.U			
	Suma partida 1					
2	Adquisición e instalación de sistema DC					
2.1	Estructura soporte MFV, con tubo o riel strut de aluminio o acero galvanizado en caliente, y elementos para soporte (perno hexagonal rosca ordinaria, arandelas, tuerca de y electrodos 68.81 OK)	159	U			
2.2	Panel solar policristalino 310W (Albotech o equivalente)	159	U			
2.3	Alimentador desde cada String de MFV a 6 Sunny Boy Combiner Box TLUS, con dos cables fotovoltaicos CCA 600V #10 en tubería EMT de 3/4", elementos de conexión, tubería sostenidas con abrazaderas.	414	m			

Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	P.U.	P.T.	Partida
2.4	Gabinete de supresores para instalación en intemperie (60x50x25 cm) y su alimentador a cada Sunny Boy Combiner Box TLUS, compuesto por 2#6+1#6+1#6 THHN en Tubería EMT de 1".	1	S.G			
2.5	Inversores SMA SUNNY-BOY TL de 10000 W con su alimentador compuesto por 2#6+1#8+1#6 THHN en tubería EMT de 1", desde Sunny Boy Combiner Box hasta el inversor.	3	U			
2.6	Inversores SMA SUNNY-BOY TL de 6000W con su alimentador compuesto por 2#8+1#8 THHN en tubería EMT de 1", desde Sunny Boy Combiner Box hasta el inversor.	3	U			
	<b>Suma partida 2</b>					
3	<b>Adquisición e instalación de sistema AC</b>					
3.1	Alimentador de 3 Inversores de 10KW a TI, con 3#4+1#6 THHN en tubería EMT de 1 1/4" con sus elementos de conexión de tubería al tablero y abrazaderas.	10	m			
3.2	Alimentador de 3 Inversores de 6KW a TI, con 3#8+1#8 THHN en tubería EMT de 1" con sus elementos de conexión de tubería al tablero y abrazaderas.	10	m			
3.3	Sub tablero TI, trifásico, 30 espacios, 5H, barras de 175A, 240/120V, montaje superficial, main de 175 A/3p, AIC 10 Kamp 240/120V AC y protecciones (3 breaker de 70A/2p, 3 breaker de 40A/2p, 1 breaker de 15A/3p, todos con AIC 10Kamp y 240/120V).	1	U			
3.4	Circuit Breaker de 175 amperios, 3 polos, 240/120V, 10 Kamp, ubicado en el TG.	1	U			
3.5	Supresor en AC, 208/120 voltios, 100 Kamp. Trifásico, conexión a TI con polarización.	1	U			
3.6	Alimentador de TI a TG, con 4#3/0+1#4+#2 THHN en tubería EMT de 3", con abrazaderas y elementos de conexión de tubería a tablero.	21	U			
3.7	Supresor en AC, 208/120 voltios, 200 Kamp. en TG, con protección 15/3P, 18 Kamp, conexión a TG, cable de tierra de 1/0.	1	U			
	<b>Suma partida 3</b>					
4	<b>Adquisición e instalación de sistema de tierra</b>					
4.1	Polarizaciones de MFV (15 string) con cable #10 THHN	414	m			
4.2	Placa de tierra 24"X3/8" con aisladores	1	U			
	<b>Suma partida 4</b>					
	Total del edificio de Administración Académica					

Edificio B (Techo sector sur)						
Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	P.U.	P.T.	Partidas
1	<b>Adquisición de elementos importados</b>					
1.1	Supresores de transientes de 600V, 40KA	2	U			
1.2	Sunny Boy Combiner Box TLUS (SBCBTL6), fusibles 15A 600V AC/DC, 50KA @ 600V DC para terminal + y - de cada string.	2	U			
1.3	Gasto por importación	1	S.U			
	<b>Suma partida 1</b>					
2	<b>Adquisición e instalación de sistema DC</b>					
2.1	Estructura soporte para MFV en techo inclinado, construida con riel struct estándar ojo chino galvanizado en caliente, lamina lisa galvanizada 3x1 yardas calibre 16, varilla roscada 1/2" y accesorios (arandelas, tuercas de 1/2" galvanizados en caliente)	60	U			
2.2	Panel solar policristalino 310W (Albatech o equivalente)	60	U			
2.3	Alimentador desde cada String de MFV a 2 Sunny Boy Combiner Box TLUS, con dos cables fotovoltaicos #10 CCA 600V en tubería EMT de 3/4", elementos de conexión, tubería sostenidas con abrazaderas.	121	m			
2.4	Gabinete de supresores para instalación en intemperie (40x30x25 cm) y su alimentador a cada Sunny Boy Combiner Box TLUS, compuesto por 2#6 + 1#8 + 1#8 THHN en tubería EMT de 1".	1	S.G.			
2.5	Inversores SMA SUNNY-BOY TL de 9000W con su alimentador compuesto por 2#6+1#8+1#8 THHN en tubería EMT de 1", desde Sunny Boy Combiner Box hasta el inversor.	2	U			
	<b>Suma partida 2</b>					
3	<b>Adquisición e instalación de sistema AC</b>					
3.1	Alimentador de 2 Inversores de 9KW a TI, con 3#6+1#8 THHN en tubería EMT de 1" con sus elementos de conexión de tubería al tablero y abrazaderas.	10	m			
3.2	Sub tablero TI, monofásico 12 espacios 4H con barra de 125 A, 240/120V, montaje superficial, main de 125 A/2p AIC 10Kamp y protecciones (2 breaker de 60A/2p, 1 breaker de 15A/3p, todos con AIC de 10Kamp y 240/120V).	1	U			
3.3	Circuit Breaker de 125 amperios, 240/120V, 2 polos, 10 Kamp, ubicado en el TG.	1	U			
3.4	Supresor en AC, 120/240 voltios, 100 Kamp. monofásico, con protección 15/2P, 18 Kamp, conexión a TI con polarización.	1	U			

Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	P.U.	P.T.	Partidas
3.5	Alimentador de TI a TG, con 3 #1/0 + 1#6 + 1#2 THHN en tubería EMT de 2 1/2", con abrazaderas y elementos de conexión de tubería a tablero.	20	U			
3.6	Supresor en AC, 120/240 voltios, 200 Kamp. en TG, con protección 15/2P, 18 Kamp, conexión a TG, cable de tierra de 1/0.	1	U			
	<b>Suma partida 3</b>					
4	<b>Adquisición e instalación de sistema de tierra</b>					
4.1	Polarizaciones de MFV (6 string) con cable #10 THHN	121	m			
4.2	Placa de tierra 24"X3/8" con aisladores	1	U			
	<b>Suma partida 4</b>					
	Total del edificio B					

Edificio C (Techo sector sur)						
Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	P.U.	P.T.	Partidas
1	<b>Adquisición de elementos importados</b>					
1.1	Supresores de transientes de 600V, 40KA	2	U			
1.2	Sunny Boy Combiner Box TLUS (SBCBTL6), fusibles 15A 600V AC/DC, 50KA @ 600V DC para terminal + y - de cada string.	2	U			
1.3	Gasto por importación	1	S.U			
	<b>Suma partida 1</b>					
2	<b>Adquisición e instalación de sistema DC</b>					
2.1	Estructura soporte para MFV en techo inclinado, construida con riel struct estándar ojo chino galvanizado en caliente, lamina lisa galvanizada 3x1 yardas calibre 16, varilla roscada 1/2" y accesorios (arandelas, tuercas de 1/2" galvanizados en caliente)	60	U			
2.2	Panel solar policristalino 310W (Albatech o equivalente)	60	U			
2.3	Alimentador desde cada String de MFV a 2 Sunny Boy Combiner Box TLUS, con dos cables fotovoltaicos #10 CCA 600V en tubería EMT de 3/4", elementos de conexión, tubería sostenidas con abrazaderas.	121	m			
2.4	Gabinete de supresores para instalación en intemperie (40x30x25 cm) y su alimentador a cada Sunny Boy Combiner Box TLUS, compuesto por 2#6 + 1#8 + 1#8 THHN en tubería EMT de 1".	1	S.G.			

Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	P.U.	P.T.	Partidas
2.5	Inversores SMA SUNNY-BOY TL de 9000W con su alimentador compuesto por 2#6+1#8+1#8 THHN en tubería EMT de 1", desde Sunny Boy Combiner Box hasta el inversor.	2	U			
	<b>Suma partida 2</b>					
3	<b>Adquisición e instalación de sistema AC</b>					
3.1	Alimentador de 2 Inversores de 9KW a TI, con 3#6+1#8 THHN en tubería EMT de 1" con sus elementos de conexión de tubería al tablero y abrazaderas.	10	m			
3.2	Sub tablero TI, monofásico 12 espacios 4H con barra de 125 A, 240/120V, montaje superficial, main de 125 A/2p AIC 10Kamp y protecciones (2 breaker de 60A/2p, 1 breaker de 15A/3p, todos con AIC de 10Kamp y 240/120V).	1	U			
3.3	Circuit Breaker de 125 amperios, 240/120V, 2 polos, 10 Kamp, ubicado en el TG.	1	U			
3.4	Supresor en AC, 120/240 voltios, 100 Kamp. monofasico, con protección 15/2P, 18 Kamp, conexión a TI con polarización.	1	U			
3.5	Alimentador de TI a TG, con 3 #1/0 +1#6 + 1#2 THHN en tubería EMT de 2 1/2 ", con abrazaderas y elementos de conexión de tubería a tablero.	20	U			
3.6	Supresor en AC, 120/240 voltios, 200 Kamp. en TG, con protección 15/2P, 18 Kamp, conexión a TG, cable de tierra de 1/0.	1	U			
	<b>Suma partida 3</b>					
4	<b>Adquisición e instalación de sistema de tierra</b>					
4.1	Polarizaciones de MFV (6 string) con cable #10 THHN	121	m			
4.2	Placa de tierra 24"X3/8" con aisladores	1	U			
	<b>Suma partida 4</b>					
	Total del edificio C					

Edificio D (Techo sector sur)						
Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	P.U.	P.T.	Partidas
1	<b>Adquisición de elementos importados</b>					
1.1	Supresores de transientes de 600V, 40KA	2	U			
1.2	Sunny Boy Combiner Box TLUS (SBCBTL6), fusibles 15A 600V AC/DC, 50KA @ 600V DC para terminal + y - de cada string.	2	U			
1.3	Gasto por importación	1	S.U			
	<b>Suma partida 1</b>					
2	<b>Adquisición e instalación de sistema DC</b>					
2.1	Estructura soporte para MFV en techo inclinado, construida con riel struct estándar ojo chino galvanizado en caliente, lamina lisa galvanizada 3x1 yardas calibre 16, varilla roscada 1/2" y accesorios (arandelas, tuercas de 1/2" galvanizados en caliente)	60	U			
2.2	Panel solar policristalino 310W (Albatech o equivalente)	60	U			
2.3	Alimentador desde cada String de MFV a 2 Sunny Boy Combiner Box TLUS, con dos cables fotovoltaicos #10 CCA 600V en tubería EMT de 3/4", elementos de conexión, tubería sostenidas con abrazaderas.	121	m			
2.4	Gabinete de supresores para instalación en intemperie (40x30x25 cm) y su alimentador a cada Sunny Boy Combiner Box TLUS, compuesto por 2#6 + 1#8 + 1#8 THHN en tubería EMT de 1".	1	S.G.			
2.5	Inversores SMA SUNNY-BOY TL de 9000W con su alimentador compuesto por 2#6+1#8+1#8 THHN en tubería EMT de 1", desde Sunny Boy Combiner Box hasta el inversor.	2	U			
	<b>Suma partida 2</b>					
3	<b>Adquisición e instalación de sistema AC</b>					
3.1	Alimentador de 2 Inversores de 9KW a TI, con 3#6+1#8 THHN en tubería EMT de 1" con sus elementos de conexión de tubería al tablero y abrazaderas.	10	m			
3.2	Sub tablero TI, monofásico 12 espacios 4H con barra de 125 A, 240/120V, montaje superficial, main de 125 A/2p AIC 10Kamp y protecciones (2 breaker de 60A/2p, 1 breaker de 15A/3p, todos con AIC de 10Kamp y 240/120V).	1	U			
3.3	Circuit Breaker de 125 amperios, 240/120V, 2 polos, 10 Kamp, ubicado en el TG.	1	U			
3.4	Supresor en AC, 120/240 voltios, 100 Kamp. monofásico, con protección 15/2P, 18 Kamp, conexión a TI con polarización.	1	U			

Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	P.U.	P.T.	Partidas
3.5	Alimentador de TI a TG, con 3 #1/0 + 1#6 + 1#2 THHN en tubería EMT de 2 1/2 ", con abrazaderas y elementos de conexión de tubería a tablero.	20	U			
3.6	Supresor en AC, 120/240 voltios, 200 Kamp. en TG, con protección 15/2P, 18 Kamp, conexión a TG, cable de tierra de 1/0.	1	U			
	<b>Suma partida 3</b>					
4	<b>Adquisición e instalación de sistema de tierra</b>					
4.1	Polarizaciones de MFV (6 string) con cable #10 THHN	121	m			
4.2	Placa de tierra 24"X3/8" con aisladores	1	U			
	<b>Suma partida 4</b>					
	Total del edificio D					

Nuevo edificio de Arquitectura						
Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	P.U.	P.T.	Partidas
1	<b>Adquisición de elementos importados</b>					
1.1	Supresores de transientes de 600V, 40KA	2	U			
1.2	Sunny Boy Combiner Box TLUS (SBCBTL6), fusibles 15A 600V AC/DC, 50KA @ 600V DC para terminal + y - de cada string.	2	U			
1.3	Gasto por importación	1	S.U			
	<b>Suma partida 1</b>					
2	<b>Adquisición e instalación de sistema DC</b>					
2.1	Estructura soporte MFV, con tubo o riel strut de aluminio o acero galvanizado en caliente, y elementos para soporte (perno hexagonal rosca ordinaria, arandelas , tuerca de y electrodos 68.81 OK)	50	U			
2.2	Panel solar policristalino 310W (Albotech o equivalente)	50	U			
2.3	Alimentador desde cada String de MFV a 2 Sunny Boy Combiner Box TLUS, con dos cable fotovoltaicos CCA 600V #10 en tubería EMT de 3/4", elementos de conexión, tubería sostenidas con abrazaderas.	85	m			
2.4	Gabinete de supresores para instalación en intemperie (22x17x14 cm) y su alimentador a cada Sunny Boy Combiner Box TLUS compuesto por 2#6+1#8+1#6 THHN en tubería EMT de 1".	1	S.G.			
2.5	Inversores SMA SUNNY-BOY TL de 9000W con su alimentador compuesto por 2#6+1#8+1#6 THHN en tubería EMT de 1", Sunny Boy Combiner Box a inversor.	1	U			

Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	P.U.	P.T.	Partidas
2.6	Inversores SMA SUNNY-BOY TL de 6000W con su alimentador compuesto por 2#8, 1#8 THHN en tubería EMT de 1", Sunny Boy Combiner Box a inductor.	1	U			
	<b>Suma partida 2</b>					
3	<b>Adquisición e instalación de sistema AC</b>					
3.1	Alimentador de Inversor de 9KW a TI, con 3#6+1#6 THHN en tubería EMT de 1 1/4" con sus elementos de conexión de tubería al tablero y abrazaderas.	10	m			
3.2	Alimentador de Inversor de 6KW a TI, con 3#8+1#8 THHN en tubería EMT de 1" con sus elementos de conexión de tubería al tablero y abrazaderas.	10	m			
3.2	Sub tablero TI, trifásico, 18 espacios, main de 100 A/3p, 240/120V, montaje superficial y protecciones (1 breaker de 60A/2p, 1 breaker de 40A/2p y 1 de 15A/3p, todos con AIC 10Kamp y 240/120V).	1	U			
3.3	Circuit Breaker de 100 amperios, 240/120V, 3 polos, 10 Kamp, ubicado en el TG.	1	U			
3.4	Supresor en AC, 208/120 voltios, 100 Kamp. Trifásico, con protección 15/3P, 18 Kamp, conexión a TI con polarización.	1	U			
3.5	Alimentador de TI a TG, con 4 #1/0 +1#6 +#2 THHN en tubería EMT de 2 1/2", con abrazaderas y elementos de conexión de tubería a tablero.	10	m			
3.6	Supresor en AC, 208/120 voltios, 200 Kamp. en TG, con protección 15/3P, 18 Kamp, conexión a TG, cable de tierra de 1/0.	1	U			
	<b>Suma partida 3</b>					
4	<b>Adquisición e instalación de sistema de tierra</b>					
4.1	Polarizaciones de MFV (5 string) con cable #10 THHN	85	m			
4.2	Placa de tierra 24"X3/8" con aisladores	1	U			
	<b>Suma partida 4</b>					
	Total del edificio de la Escuela de Arquitectura					

Nuevo edificio de Asociaciones Estudiantiles						
Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	P.U.	P.T.	Partidas
1	<b>Adquisición de elementos importados</b>					
1.1	Supresores de transientes de 600V, 40KA	3	U			
1.2	Sunny Boy Combiner Box TLUS (SBCBTL6), fusibles 15A 600V AC/DC, 50KA @ 600V DC para terminal + y - de cada string.	3	U			
1.3	Gasto por importación	1	S.U			
	<b>Suma partida 1</b>					
2	<b>Adquisición e instalación de sistema DC</b>					
2.1	Estructura soporte MFV, con tubo o riel strut de aluminio o acero galvanizado en caliente, y elementos para soporte (perno hexagonal rosca ordinaria, arandelas , tuerca de y electrodos 68.81 OK)	80	U			
2.2	Panel solar policristalino 310W (Albotech o equivalente)	80	U			
2.3	Alimentador desde cada String de MFV a 3 Sunny Boy Combiner Box TLUS, con dos cables fotovoltaicos CCA 600V #10 en tubería EMT de 3/4", elementos de conexión, tubería sostenidas con abrazaderas.	141	m			
2.5	Gabinete de supresores para instalación en intemperie (30x50x25 cm) y su alimentador a cada Sunny Boy Combiner Box TLUS compuesto 2#6+1#8+1#6 en tubería EMT 1".	1	S.G.			
2.6	Inversores SMA SUNNY-BOY TL de 9000W con su alimentador compuesto por 2#6+1#8+1#6 THHN en tubería EMT de 1".	2	U			
2.7	Inversores SMA SUNNY-BOY TL de 6000W con su alimentador compuesto por 2#8 + 1#8 THHN en tubería EMT de 1".	1	U			
	<b>Suma partida 2</b>					
3	<b>Adquisición e instalación de sistema AC</b>					
3.1	Alimentador de 2 Inversores de 9KW a TI, con 3#6+1#6 THHN en tubería EMT de 1 " con sus elementos de conexión de tubería al tablero y abrazaderas.	10	m			
3.2	Alimentador de Inversor de 6KW a TI, con 3#8+1#8 THHN en tubería EMT de 1" con sus elementos de conexión de tubería al tablero y abrazaderas.	10	m			
3.2	Sub tablero TI, trifásico, 18 espacios, montaje superficial, main de 125A/3p, AIC 10 Kamp 240/120V AC y protecciones (2 breaker 60A/2p, 1 breaker 40A/2p y 1 breaker de 15A/3p, todos con AIC de 10Kamp y 240/120V).	1	U			
3.3	Circuit Breaker de 125 amperios, 240/120V, 3 polos, 10 Kamp, ubicado en el TG.	1	U			

Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	P.U.	P.T.	Partidas
3.4	Supresor en AC, 208/120 voltios, 100 Kamp. Trifásico, con protección 15/3P, 18 Kamp, conexión a TI con polarización.	1	U			
3.5	Alimentador de TI a TG, con 4 #2/0 +1#4+1#2 THHN en tubería EMT de 2 1/2", con abrazaderas y elementos de conexión de tubería a tablero.	15	U			
3.6	Supresor en AC, 208/120 voltios, 200 Kamp. en TG, con protección 15/3P, 18 Kamp, conexión a TG, cable de tierra de 1/0	1	U			
	<b>Suma partida 3</b>					
4	<b>Adquisición e instalación de sistema de tierra</b>					
4.1	Polarizaciones de MFV (8 string) con cable #10 THHN	141	m			
4.2	Placa de tierra 24"X3/8" con aisladores	1	U			
	<b>Suma partida 4</b>					
	Total del edificio de Asociaciones Estudiantiles					

Edificio de Biblioteca FIA.						
Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	P.U.	P.T.	Partida
1	<b>Adquisición de elementos importados</b>					
1.1	Supresores de transientes de 600V, 40KA	4	U			
1.2	Sunny Boy Combiner Box TLUS (SBCBTL6), fusibles 15A 600V AC/DC, 50KA @ 600V DC para terminal + y - de cada string.	4	U			
1.3	Gasto por importación	1	S.U			
	<b>Suma partida 1</b>					
2	<b>Adquisición e instalación de sistema DC</b>					
2.1	Estructura soporte para MFV en techo inclinado, construida con riel struct estándar ojo chino galvanizado en caliente, lamina lisa galvanizada 3x1 yardas calibre 16, varilla roscada 1/2" y accesorios (arandelas, tuercas de 1/2" galvanizados en caliente)	80	U			
2.2	Panel solar policristalino 310W (Albatech o equivalente)	80	U			
2.3	Alimentador desde cada String de MFV a 4 Sunny Boy Combiner Box TLUS, con dos cables fotovoltaicos CCA 600V #10 en tubería EMT de 3/4", elementos de conexión, tubería sostenidas con abrazaderas.	130	m			

Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	P.U.	P.T.	Partida
2.4	Gabinete de supresores para instalación en intemperie (40x30x25 cm) y su alimentador a cada Sunny Boy Combiner Box TLUS compuesto por 2#8+1#8+1#8 THHN en tubería EMT de 1".	2	S.G			
2.5	Inversores SMA SUNNY-BOY TL de 6000W con su alimentador compuesto por 2#8+1#8+1#8 THHN en tubería EMT de 1", desde Sunny Boy Combiner Box hasta el inversor.	4	U			
	<b>Suma partida 2</b>					
3	<b>Adquisición e instalación de sistema AC</b>					
3.2	Alimentador de 4 Inversores de 6KW a TI, con 3#8+1#8 THHN en tubería EMT de 1" con sus elementos de conexión de tubería al tablero y abrazaderas.	24	m			
3.3	Sub tablero TI, trifásico, 18 espacios, 5H, barra de 125A, montaje superficial, main de 125A/3p, AIC 10 Kamp 240/120V AC y protecciones (4 breaker 40A/2p AIC 10Kamp, 1 breaker 15A/3p AIC 10 Kamp, todos 240/120V).	1	U			
	Circuit Breaker de 125 amperios, 3 polos, 240/120V, AIC 10 Kamp, ubicado en el TG.	1	U			
3.4	Supresor en AC, 208/120 voltios, 100 Kamp. Trifásico, conexión a TI con polarización.	1	U			
3.5	Alimentador de TI a TG, con 4 #2/0 + 1#4+ #2 THHN en tubería EMT de 2 1/2", con abrazaderas y elementos de conexión de tubería a tablero.	25	U			
3.6	Supresor en AC, 208/120 voltios, 200 Kamp. en TG, con protección 15/3P, 18 Kamp, conexión a TG, cable de tierra de 1/0	1	U			
	<b>Suma partida 3</b>					
4	<b>Adquisición e instalación de sistema de tierra</b>					
4.1	Polarizaciones de MFV (8 string) con cable #10 THHN.	130	m			
4.2	Placa de tierra 24"X3/8" con aisladores	2	U			
	<b>Suma partida 4</b>					
	Total del edificio de la Biblioteca FIA					

Nuevo edificio de Ciencias Básicas						
Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	P.U.	P.T.	Partidas
1	<b>Adquisición de elementos importados</b>					
1.1	Supresores de transientes de 600V, 40KA	6	U			
1.2	Sunny Boy Combiner Box TLUS (SBCBTL6), fusibles 15A 600V AC/DC, 50KA @ 600V DC para terminal + y - de cada string.	6	U			
1.3	Gasto por importación	1	S.U			
	<b>Suma partida 1</b>					
2	<b>Adquisición e instalación de sistema DC</b>					
2.1	Estructura soporte MFV, con tubo o riel strut de aluminio o acero galvanizado en caliente, y elementos para soporte (perno hexagonal rosca ordinaria, arandelas , tuerca de y electrodos 68.81 OK)	180	U			
2.2	Panel solar policristalino 310W (Albotech o equivalente)	180	U			
2.3	Alimentador desde cada String de MFV a 6 Sunny Boy Combiner Box TLUS, con dos cables fotovoltaicos CCA 600V #10 en tubería EMT de 3/4", elementos de conexión, tubería sostenidas con abrazaderas.	242	m			
2.5	Gabinete de supresores para instalación en intemperie (60x50x25 cm y su alimentador a cada Sunny Boy Combiner Box TLUS compuesto por 2#6+1#8+1#6 THHN en tubería 1".	1	S.G.			
2.6	Inversores SMA SUNNY-BOY TL de 9000W con su alimentador compuesto por 2#6+ 1#8+ 1#6 THHN en tubería EMT de 1", desde Sunny Boy Combiner Box hasta el inversor.	6	U			
	<b>Suma partida 2</b>					
3	<b>Adquisición e instalación de sistema AC</b>					
3.1	Alimentador de 6 Inversores de 9KW a TI, con 3#6+1#6 THHN en tubería EMT de 1" con sus elementos de conexión de tubería al tablero y abrazaderas.	20	m			
3.2	Sub tablero TI, trifásico, 30 espacios, 5H, barra de 200A, 240/120V, montaje superficial, main de 200A/3p, AIC 10 KA 240/120V AC y protecciones (6 breaker 60/2p y 1 breaker de 15A/3p, todos con AIC de 10Kamp y 240/120V).	1	U			
3.3	Circuit Breaker de 200 amperios, 240/120V, 3 polos, 10 Kamp, ubicado en el TG.	1	U			

Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	P.U.	P.T.	Partidas
3.4	Supresor en AC, 208/120 voltios, 100 Kamp. Trifásico, con protección 15/3P, 18 Kamp, conexión a TI con polarización.	1	U			
3.5	Alimentador de TI a TG, con 4 #3/0 +1#4+ 1#2 THHN en tubería EMT de 2 1/2", con abrazaderas y elementos de conexión de tubería a tablero.	28	U			
3.6	Supresor en AC, 208/120 voltios, 200 Kamp. en TG, con protección 15/3P, 18 Kamp, conexión a TG, cable de tierra de 1/0.	1	U			
	<b>Suma partida 3</b>					
4	<b>Adquisición e instalación de sistema de tierra</b>					
4.1	Polarizaciones de MFV (18 string) con cable #10 THHN	242	m			
4.2	Placa de tierra 24"X3/8" con aisladores	1	U			
	<b>Suma partida 4</b>					
	<b>Total edificio nuevo de Ciencias Básicas</b>					

Edificio de Posgrado						
Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	P.U.	P.T.	Partidas
1	<b>Adquisición de elementos importados</b>					
1.1	Supresores de transientes de 600V, 40KA	3	U			
1.2	Sunny Boy Combiner Box TLUS (SBCBTL6), fusibles 15A 600V AC/DC, 50KA @ 600V DC para terminal + y - de cada string.	3	U			
1.3	Gasto por importación	1	S.U			
	<b>Suma partida 1</b>					
2	<b>Adquisición e instalación de sistema DC</b>					
2.1	Estructura soporte para MFV en techo inclinado, construida con riel struct estándar ojo chino galvanizado en caliente, lamina lisa galvanizada 3x1 yardas calibre 16, varilla roscada 1/2" y accesorios (arandelas, tuercas de 1/2" galvanizados en caliente)	99	U			
2.2	Panel solar policristalino 310W (Albatech o equivalente)	99	U			
2.3	Alimentador desde cada String de MFV a 3 Sunny Boy Combiner Box TLUS, con dos cables fotovoltaicos CCA 600V #10 en tubería EMT de 3/4", elementos de conexión, tubería sostenidas con abrazaderas.	219	m			

Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	P.U.	P.T.	Partidas
2.4	Gabinete de supresores para instalación en interiores (30x50x25 cm), 40KA y su alimentador a cada Sunny Boy Combiner Box TLUS compuesto por 2#6+1#8+1#6 THHN en Tubería EMT de 1".	1	S.G			
2.5	Inversores SMA SUNNY-BOY TL de 10000W con su alimentador compuesto por 2#6+ 1#8 +1#6 THHN en tubería EMT de 1", desde Sunny Boy Combiner Box hasta el inversor.	3	U			
	<b>Suma partida 2</b>					
3	<b>Adquisición e instalación de sistema AC</b>					
3.1	Alimentador de 3 Inversores de 9KW a TI, con 3#4+1#8 THHN en tubería EMT de 1 1/2" con sus elementos de conexión de tubería al tablero y abrazaderas.	15	m			
3.2	Sub-tablero TI, trifásico, 18 espacios, 5H, montaje superficial, main de 100 A/3p, AIC 10 Kamp, 240/120V AC y protecciones (3 breaker de 70A/2p, 1 breaker de 15A/3p, todos con AIC de 10Kamp y 240/120V).	1	U			
3.3	Circuit Breaker de 125 amperios, 240/120V, 3 polos, 10 Kamp, ubicado en el TG.	1	U			
3.4	Supresor en AC, 120/240 voltios, 100 Kamp. trifásico, con protección 15/3P, 18 Kamp, conexión a TI con polarización.	1	U			
3.5	Alimentador de TI a TG, con 4 #1/0 +1#6+ 1#2 THHN en tubería EMT de 2 1/2", con abrazaderas y elementos de conexión de tubería a tablero.	20	U			
3.6	Supresor en AC, 120/240 voltios, 200 Kamp. en TG, con protección 15/2P, 18 Kamp, conexión a TG, cable de tierra de 1/0	1	U			
	<b>Suma partida 3</b>					
4	<b>Adquisición e instalación de sistema de tierra</b>					
4.1	Polarizaciones de MFV (9 string) con cable #10 THHN	219	m			
4.2	Placa de tierra 24"X3/8" con aisladores	1	U			
	<b>Suma partida 4</b>					
	<b>Total edificio nuevo de Posgrado</b>					

Nuevo edificio de Mecánica						
Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	P.U.	P.T.	Partidas
1	<b>Adquisición de elementos importados</b>					
1.1	Supresores de transientes de 600V, 40KA	6	U			
1.2	Sunny Boy Combiner Box TLUS (SBCBTL6), fusibles 15A 600V AC/DC, 50KA @ 600V DC para terminal + y - de cada string.	6	U			
1.3	Gasto por importación	1	S.U			
	<b>Suma partida 1</b>					
2	<b>Adquisición e instalación de sistema DC</b>					
2.1	Estructura soporte MFV, con tubo o riel strut de aluminio o acero galvanizado en caliente, y elementos para soporte (perno hexagonal rosca ordinaria, arandelas , tuerca de y electrodos 68.81 OK)	160	U			
2.2	Panel solar policristalino 310W (Albatech o equivalente)	160	U			
2.3	Alimentador desde cada String de MFV a 6 Sunny Boy Combiner Box TLUS, con dos cables fotovoltaicos CCA 600V #10 en tubería EMT de 3/4", elementos de conexión, tubería sostenidas con abrazaderas.	322	m			
2.4	Gabinete de supresores para instalación en intemperie (60x50x25 cm) y su alimentador a cada Sunny Boy Combiner Box TLUS, compuesto por 2#6+1#8+1#6 THHN en Tubería EMT de 1".	1	S.G.			
2.5	Inversores SMA SUNNY-BOY TL de 9000W con su alimentador compuesto por 2#6+ 1#8+ 1#6 en tubería EMT de 1".	4	U			
2.6	Inversores SMA SUNNY-BOY TL de 6000W con su alimentador compuesto por 2#8, 1#8 en tubería EMT de 1".	2	U			
	<b>Suma partida 2</b>					
3	<b>Adquisición e instalación de sistema AC</b>					
3.1	Alimentador de 4 Inversores de 9KW a TI, con 3#6+ 1#6 THHN en tubería EMT de 1 1/4" con sus elementos de conexión de tubería al tablero y abrazaderas.	15	m			
3.2	Alimentador de 2 Inversores de 6KW a TI, con 3#8+1#8 THHN en tubería EMT de 1" con sus elementos de conexión de tubería al tablero y abrazaderas.	20	m			
3.2	Sub tablero TI, trifásico, 30 espacios, 5H, montaje superficial main de 200A/3p, AIC 10 Kamp 240/120V AC y protecciones (4 breaker de 60A/2p, 2 breaker de 40A/2p y 1 breaker de 15A/3p, todos con AIC de 10Kamp y 240/120V).	1	U			

Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	P.U.	P.T.	Partidas
3.3	Circuit Breaker de 200 amperios, 240/120V, 3 polos, 10 Kamp, ubicado en el TG.	1	U			
3.4	Supresor en AC, 208/120 voltios, 100 Kamp. Trifásico, con protección 15/3P, 18 Kamp, conexión a TI con polarización.	1	U			
3.5	Alimentador de TI a TG, con 4#250MCM +1#4 +1#2 THHN en tubería EMT de 3", con abrazaderas y elementos de conexión de tubería a tablero.	35	U			
3.6	Supresor en AC, 208/120 voltios, 200 Kamp. en TG, con protección 15/3P, 18 Kamp, conexión a TG, cable de tierra de 1/0	1	U			
	<b>Suma partida 3</b>					
4	<b>Adquisición e instalación de sistema de tierra</b>					
4.1	Polarizaciones de MFV (16 string) con cable #10 THHN	322	m			
4.2	Placa de tierra 24"X3/8" con aisladores	1	U			
	<b>Suma partida 4</b>					
	<b>Total edificio de Escuela de Mecánica</b>					

Escuela de Ingeniería Eléctrica						
Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	P.U.	P.T.	Partidas
1	<b>Adquisición de elementos importados</b>					
1.1	Supresores de transientes de 600V, 40KA	2	U			
1.2	Sunny Boy Combiner Box TLUS (SBCBTL6), fusibles 15A 600V AC/DC, 50KA @ 600V DC para terminal + y - de cada string.	2	U			
1.3	Gasto por importación	1	S.U			
	<b>Suma partida 1</b>					
2	<b>Adquisición e instalación de sistema DC</b>					
2.1	Estructura soporte para MFV en techo inclinado, construida con riel struct estándar ojo chino galvanizado en caliente, lamina lisa galvanizada 3x1 yardas calibre 16, varilla roscada 1/2" y accesorios (arandelas, tuercas de 1/2" galvanizados en caliente)	50	U			
2.2	Panel solar policristalino 310W (Albatech o equivalente)	50	U			
2.3	Alimentador desde cada String de MFV a 2 Sunny Boy Combiner Box TLUS, con dos cables fotovoltaicos CCA 600V #10 en tubería EMT de 3/4", elementos de conexión, tubería sostenidas con abrazaderas.	120	m			

Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	P.U.	P.T.	Partidas
2.4	Gabinete de supresores para instalación en intemperie (40x30x25 cm) y su alimentador a cada Sunny Boy Combiner Box TLUS, compuesto por 2#6+1#8+1#8 THHN en Tubería EMT de 1".	1	S.G.			
2.5	Inversor SMA SUNNY-BOY TL de 9000W con su alimentador compuesto por 2#6+1#8+ 1#8 THHN en tubería EMT de 1", desde Sunny Boy Combiner Box hasta el inversor.	1	U			
2.6	Inversor SMA SUNNY-BOY TL de 6000W con su alimentador compuesto por 2#8, 1#8 en tubería EMT de 1".	1	U			
	<b>Suma partida 2</b>					
3	<b>Adquisición e instalación de sistema AC</b>					
3.1	Alimentador de un Inversor de 6KW a TI, con 3#8+1#8 THHN en tubería EMT de 1" con sus elementos de conexión de tubería al tablero y abrazaderas.	10	m			
3.2	Alimentador de un Inversor de 9KW a TI, con 3#6+1#6 THHN en tubería EMT de 2 1/2" con sus elementos de conexión de tubería al tablero y abrazaderas.	10	m			
3.3	Sub tablero TI, trifásico, 18 circuitos, montaje superficial, main de 100/3p, AIC 10 KA 240/120V AC y protecciones (1 breaker de 60A/2p, 1 breaker de 40A/2p y 1 breaker de 15A/3p, con AIC 10Kamp y 240/120V).	1	U			
3.4	Circuit Breaker de 100 amperios, 240/120V, 3 polos, 10 Kamp, ubicado en el TG.	1	U			
3.5	Supresor en AC, 208/120 voltios, 100 Kamp. Trifásico, con protección 15/3P, 18 Kamp, conexión a TI con polarización.	1	U			
3.6	Alimentador de TI a TG, con 4 #1/0 +1#6 + 1#2 THHN en tubería EMT de 2 1/2", con abrazaderas y elementos de conexión de tubería a tablero.	12	U			
3.7	Supresor en AC, 208/120 voltios, 200 Kamp. en TG, con protección 15/3P, 18 Kamp, conexión a TG, cable de tierra de 1/0	1	U			
	<b>Suma partida 3</b>					
4	<b>Adquisición e instalación de sistema de tierra</b>					
4.1	Polarizaciones de MFV (5 string) con cable #10 THHN	120	m			
4.2	Placa de tierra 24"X3/8" con aisladores	1	U			
	<b>Suma partida 4</b>					
	<b>Total del edificio de Escuela de Ing. Eléctrica</b>					

Suma total proyecto SFVCR	
13% IVA	
Monto total	

A continuación se presenta el plan de oferta para la línea de distribución eléctrica subterránea para la FIA.

Línea de distribución eléctrica subterránea de la FIA						
Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	P.U.	P.T.	Partidas
<b>1</b>	<b>Equipo e instalación</b>					
1.1	Acometida aéreo-subterránea, compuesta por una estructura de remate de una línea trifásica de 15 metros; formada por cable ACSR #1/0, medición primaria en el punto de entrega a 23KV, todo instalado en un poste de concreto de 40 ft.	1	S.U			
1.2	Recloser trifásico de 25 KV con controlador electrónico, cuchillas de bypass de 25 KV, incluyendo elementos de soporte para instalación en poste.	1	S.U			
1.3	Switchgear Vista modelo 623, 29KV, 12.5KA, tipo Pad-Mounted, con equipo de automatización compuestos por sensores de corriente y tensión, moto operador para una vía con su respectivo módulo de control y equipo de enclavamiento mecánico en dos vías. Interruptores de falla tripolares de 12.5KA. Se incluye software para programación de curvas TCC.	1	S.U			
1.4	Switchgear Vista modelo 423, 29KV, 12.5KA, tipo Pad-Mounted, con equipo de automatización compuestos por sensores de corriente y tensión, moto operador para una vía con su respectivo módulo de control. Interruptores de falla tripolares de 12.5KA. Se incluye software para programación de curvas TCC.	1	S.U			
1.5	Switchgear Vista modelo 423, 29KV, 12.5KA, tipo Pad-Mounted, interruptores de falla tripolares de 12.5KA.	1	S.U			
1.6	Tubería DB-60 de 2" con cable de fibra óptica para exteriores, para comunicar equipo de control del switchgear 1 y 3.	300	m			
1.7	Convertidores de comunicación serial RS-232 a fibra óptica.					
1.8	Tubería DB-60 de 2" para futura instalación de cable de fibra óptica para la red anillo de la FIA.	911	m			

Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	P.U.	P.T.	Partidas
1.9	Transformador Pad mounted monofásico de 25KVA, 60 Hz, 23/13,2 KV, BIL 125KV, lado de baja 240/120 V con BIL de 30KV, frente muerto, con fusible tipo bayoneta (con curva C05) y fusible limitador de corriente, 2 terminales tipo codo 25KV, conectores para baja tensión tipo espada con 4 agujeros, terminales para baja tensión. Se toma en cuenta la instalación, conexión en baja y media tensión.	1	U			
1.10	Transformador Pad mounted monofásico de 50KVA, 60 Hz, 23/13,2 KV, BIL 125KV, lado de baja 240/120 V con BIL de 30KV, frente muerto, con fusible tipo bayoneta (con curva C08) y fusible limitador de corriente, 2 terminales tipo codo 25KV, conectores para baja tensión tipo espada con 4 agujeros, terminales para baja tensión. Se toma en cuenta la instalación, conexión en baja y media tensión.	1	U			
1.11	Transformador Pad mounted monofásico de 75 KVA, 60 Hz, 23/13,2 KV, BIL 125KV, lado de baja 240/120 V con BIL de 30KV, frente muerto, con fusible tipo bayoneta (con curva C08) y fusible limitador de corriente, 2 terminales tipo codo 25KV, 1 para rayo tipo codo 25 KV, conectores para baja tensión tipo espada con 4 agujeros, terminales para baja tensión. Conexión en baja y media tensión.	1	U			
1.12	Transformador Pad mounted monofásico de 100 KVA, 60 Hz, 23/13,2 KV, BIL 125KV, lado de baja 240/120 V con BIL de 30KV, frente muerto, con fusible tipo bayoneta (con curva C08) y fusible limitador de corriente, 2 terminales tipo codo 25KV, conectores para baja tensión tipo espada con 4 agujeros, terminales para baja tensión. Se toma en cuenta la instalación, conexión en baja y media tensión.	2	U			
1.13	Transformador Pad mounted trifásico de 75 KVA, 60 Hz, 23/13,2 KV, BIL 125KV, T "Blade" conexión en anillo, lado de baja 208/120 V con BIL de 30KV, frente muerto, con fusible tipo bayoneta (con curva C05) y fusible limitador de corriente, 6 terminales tipo codo 25KV, conectores para baja tensión tipo espada con 4 agujeros, terminales para baja tensión. Se toma en cuenta la instalación, conexión en baja y media tensión.	1	U			

Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	P.U.	P.T.	Partidas
1.14	Transformador Pad mounted trifásico de 112,5 KVA, 60 Hz, 23/13,2 KV, BIL 125KV, T "Blade" conexión en anillo, lado de baja 208/120 V con BIL de 30KV, frente muerto, con fusible tipo bayoneta (con curva C05) y fusible limitador de corriente, 6 terminales tipo codo 25KV, conectores para baja tensión tipo espada con 4 agujeros, terminales para baja tensión. Se toma en cuenta la instalación, conexión en baja y media tensión.	5	U			
1.15	Transformador Pad mounted trifásico de 150 KVA, 60 Hz, 23/13,2 KV, BIL 125KV, T "Blade" conexión en anillo, lado de baja 208/120 V con BIL de 30KV, frente muerto, con fusible tipo bayoneta (con curva C05) y fusible limitador de corriente, 6 terminales tipo codo 25KV, conectores para baja tensión tipo espada con 4 agujeros, terminales para baja tensión. Se toma en cuenta la instalación, conexión en baja y media tensión.	2	U			
1.16	Transformador Pad mounted trifásico de 225 KVA, 60 Hz, 23/13,2 KV, BIL 125KV, T "Blade" conexión en anillo, lado de baja 208/120 V con BIL de 30KV, frente muerto, con fusible tipo bayoneta (con curva C08) y fusible limitador de corriente, 6 terminales tipo codo 25KV, conectores para baja tensión tipo espada con 4 agujeros, terminales para baja tensión. Se toma en cuenta la instalación, conexión en baja y media tensión.	2	U			
1.17	Equipo de medición de diferentes parámetros eléctricos (tensión, corriente, potencia, energía, frecuencia entre otros) modelo Shark 200-S. Se incluye 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.	11	U			
	<b>Suma partida 1</b>					
<b>2</b>	<b>Obra civil y tendido de cable</b>					
2.1	Canalización de tramo troncal en tubería PVC de 6" grado eléctrico DB-60, más una tubería de 6" DB-60 de reserva y una tubería de PVC grado eléctrico DB-60 de 2" para línea de datos (costo de tubería y cable de datos se incluye en partida 1.3), recubiertas en concreto, con separadores cada 3 metros, 3 cables XLPE-TR #4/0 + 1 cable RHW-2 para polarización. La zanja tendrá un ancho de 0,5 m y una profundidad de 1,65 m	272	m			

Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	P.U.	P.T.	Partidas
2.2	Canalización para futura conexión de la facultad de idiomas. Compuesto por dos tubos PVC DB-60 de 6", separadores de tubo cada 3 metros y con zanja de 0,5m de ancho y 1,65 m de profundidad.	38	m			
2.3	Canalización para distribución configuración anillo, en la FIA; compuesta por dos tuberías de 6" PVC DB-60, 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.	908	m			
2.4	Canalización para ramal monofásico que alimenta la carga del polideportivo, compuesto por dos tuberías de PVC DB-60 de 6", separadores de tubo cada 3 metros, 2 cables XLPE-TR #1/0 de 25KV y zanja de 0,5m de ancho y 1,65 m de profundidad.	218	m			
2.5	Pozos de paso de 1,4x 1,4x 1,95 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.	55	U			
2.6	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 soporte 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.	3	U			
2.7	Pozo de registro para transformadores Pad-Mounted con dimensiones de 1,5x1,6x1,95 metros, con un hueco de 0,33x0,66 metros para subir con la tubería y dejar la mecha de conexión para el transformador. Las paredes del pozo serán de ladrillo de arcilla de 28x14x16 cm y deberán tener acabado liso de concreto, escalaria, estructura de soporte para cables, 3 tapaderas de concreto de 0,53x0,88 metros con un marco de Angulo de 2"x2"x1/4". La tubería para cable primario y de reserva debe quedar a 0,88 m de profundidad y la del cable secundario y de reserva a 0,6 metros de profundidad.	15	U			

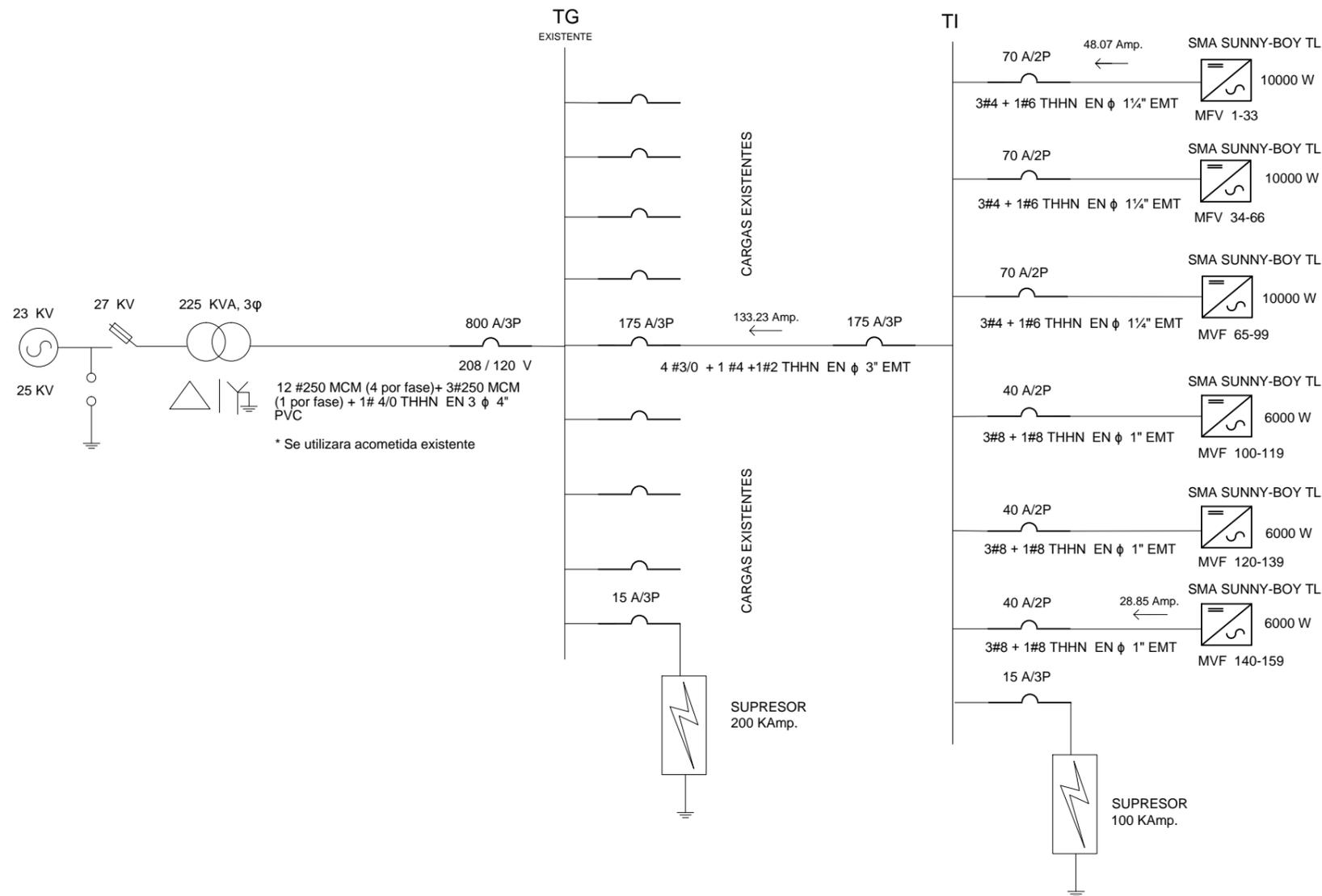
Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	P.U.	P.T.	Partidas
2.8	Bases para equipos pedestal echas con concreto de F'c= 210Kg/cm2, reforzado con varilla de hierro #3, pernos de anclaje grado 60, rodeada de una franja de grava con 50 cm ancho y 20 de profundidad conectado a un pozo impermeabilizado (0.6X0.6X0.6 m) con tubería de 1" TMG o acero al carbón. La base debe instalarse en suelo compactado.	18	U			
	<b>Suma partida 2</b>					
<b>3</b>	<b>Desmontaje de estructuras</b>					
3.1	Desconexión de línea aérea primaria y Desmontaje de estructura "H" con banco de tres transformadores. Movilización de equipo con grúa.	4	U			
3.2	Desconexión de línea primaria y secundaria, desmontaje de banco de tres transformadores en piso. Movilización en equipo en grúa.	2	U			
3.3	Desconexión de línea primaria y secundaria, desmontaje de transformadores montados en poste. Movimiento de equipo en grúa.	6	U			
3.4	Desconexión y desmontaje de línea primaria de 23KV, distribuida en postes alrededor de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Retiro de postes con grúa.	30	U			
	<b>Suma partida 3</b>					
<b>4</b>	<b>Acometida de baja tensión para edificios nuevos</b>					
4.1	Alimentador de TG edif. Arquitectura a TG edif. Potencia, con 4 #1/0 +1#4 THHN en tubería PVC de 2 1/2", canalización subterránea entre los edificios, incluye Circuit Breaker de 125A/3p, 240/120 V, AIC de 10KA instalado en TG edif. Arquitectura.	30	m			
4.2	Alimentador desde el transformador hacia el TG del edificio de Ciencias Básicas, con 9 cables #250MCM (3 por fase)+ 3#250MCM (1 por fase) + 1#2/0 THHN EN 3 φ 4" PVC, canalización subterránea, incluye Circuit Breaker de 600 amperios, 240/120V, 3 polos, AIC 10 Kamp, instalado en el TG.	25	m			
4.3	Alimentador desde el transformador hacia el TG del edificio de Posgrado, con 4 cables # 350MCM + 1 #2 EN φ 4" PVC, canalización subterránea, incluye Circuit Breaker de 600 amperios, 240/120V, 3 polos, AIC 10 Kamp, instalado en el TG.	30	m			
4.4	Alimentador desde el transformador hacia el TG del edificio de Asociaciones Estudiantiles, con 9 cables #250MCM (3 por fase)+ 3#250MCM (1 por fase) + 1#2/0 THHN EN 3 φ 4" PVC, incluye Circuit Breaker de 600 amperios, 240/120V, 3 polos, AIC 10 Kamp, instalado en el TG.	25	m			
	<b>Suma partida 4</b>					

Item	Descripción	Cantidad	Unidad	P.U.	P.T.	Partidas
<b>5</b>	<b>Sistema de puesta a tierra</b>					
5.2	SPT configuración S9: 58mts de cable de cobre THHN #2/0, 7 barras coperweld 5/8"x10', 2 molde thermoweld cable-cable 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.	16	U			
	<b>Suma partida 5</b>					
<b>6</b>	<b>Mantenimiento preventivo y correctivo</b>					
6.1	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	U			
6.2	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	S.G			

Suma total proyecto línea de distribución eléctrica subterránea	
13% IVA	
Monto total	

## **ANEXO B**

DIAGRAMA UNIFILAR PARA EDIFICIO DE ADMINISTRACIÓN ACADÉMICA DE LA FIA.



FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA SUBTERRÁNEA, PLAN DE DESARROLLO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA 2015

PRESENTAN:

Br. ROBERTO ANTONIO MARTÍNEZ CÁRCAMO.

Br. OSWALDO JAVIER RODRÍGUEZ REYES.

ASESOR:

MSC. ING. JORGE ALBERTO ZETINO.

CONTIENE:

DIAGRAMA UNIFILAR Y DISTRIBUCIÓN DE MFV DEL SFVCR DEL EDIFICIO DE ADMINISTRACIÓN ACADÉMICA FIA.

ESCALA :

SIN ESCALA

FECHA:

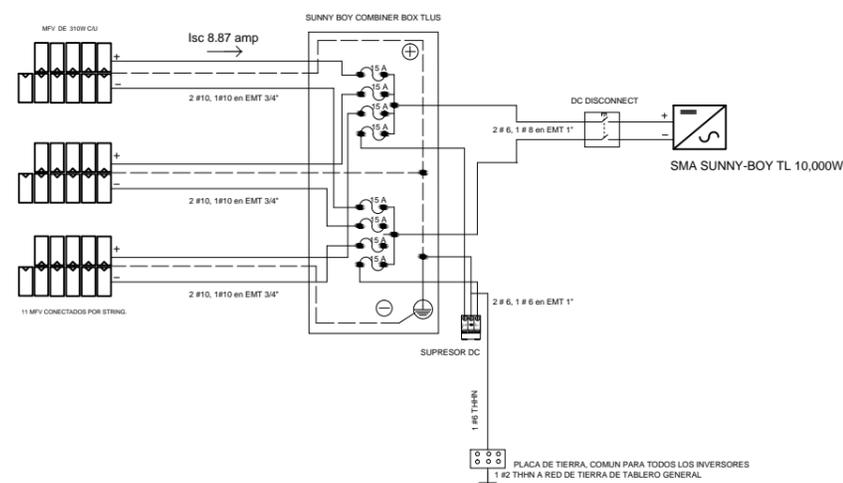
OCTUBRE 2016

NÚMERO DE PLANO:

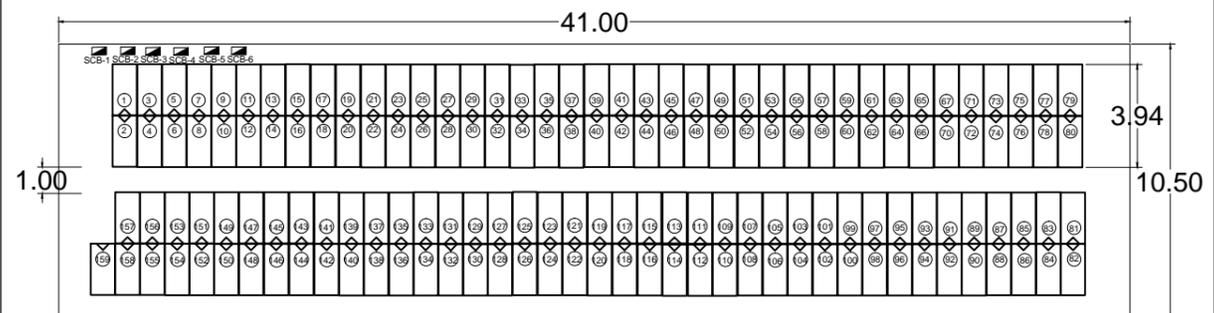
1

ANEXOS :

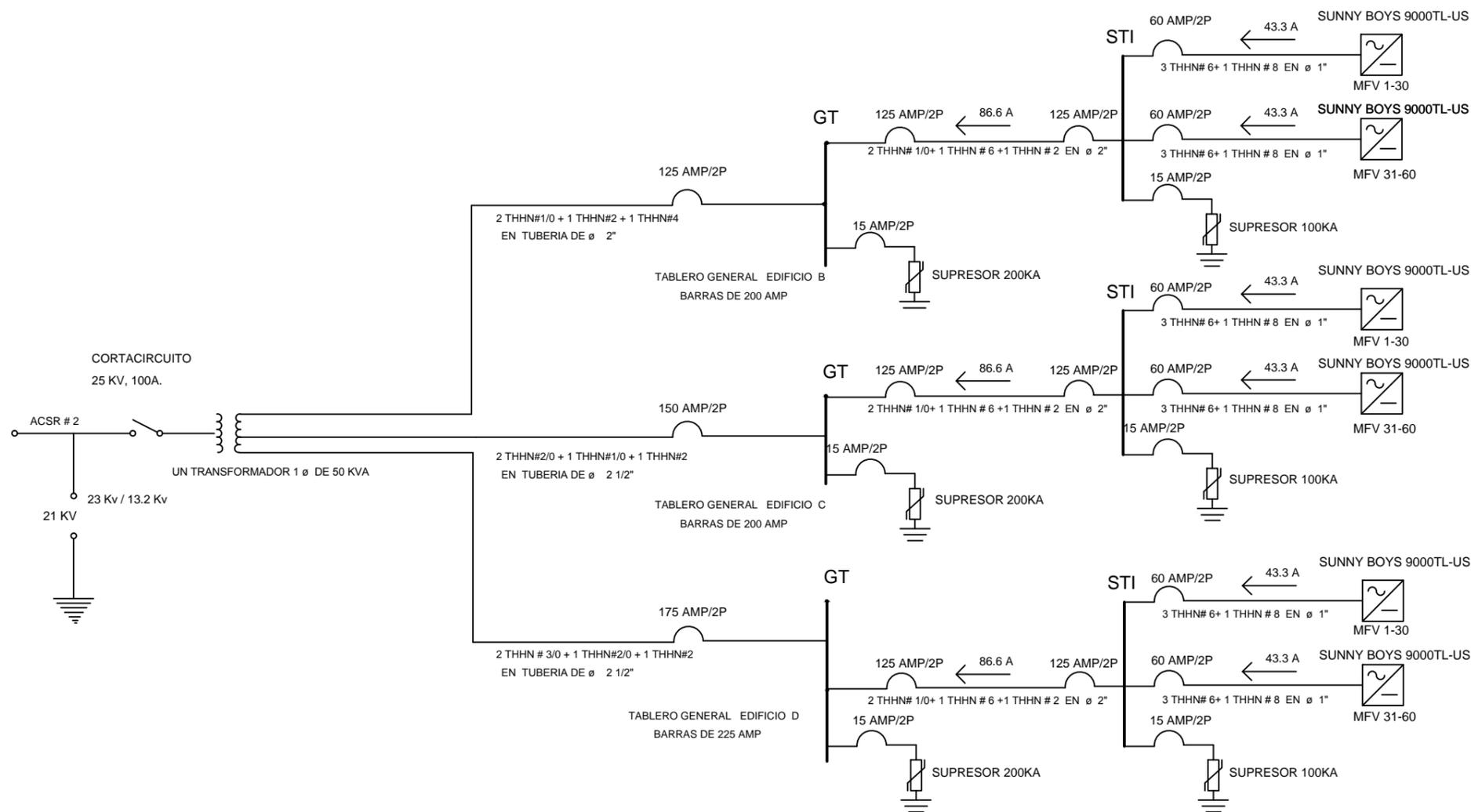
DIAGRAMA DE CONEXIONES PARA INVERSOR DE 10,000W.



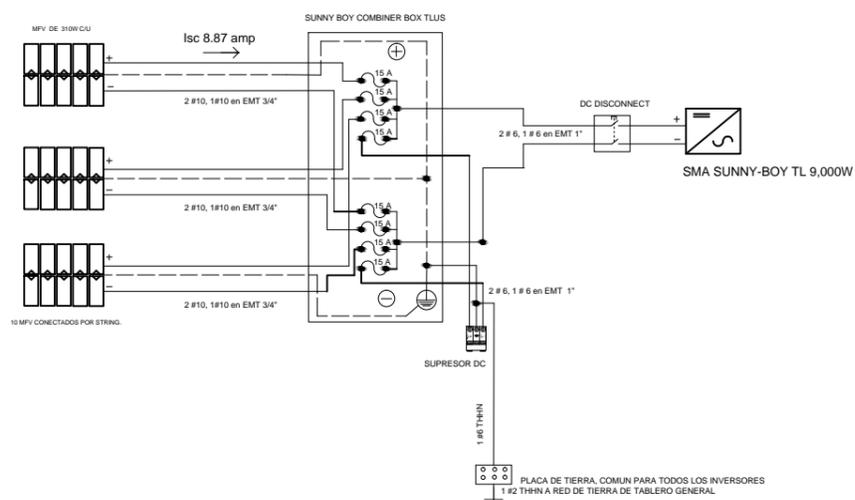
DISTRIBUCIÓN DE MFV EN TECHO DEL EDIFICIO DE ADMINISTRACIÓN ACADÉMICA FIA.



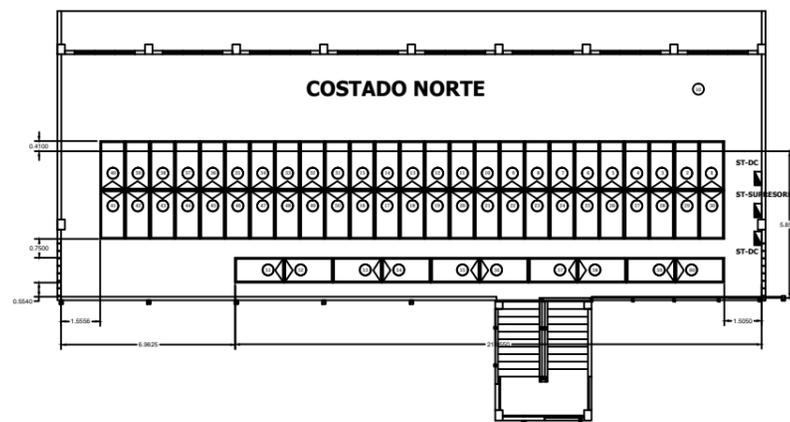
### DIAGRAMA UNIFILAR PARA EDIFICIOS DE AULAS.



### DIAGRAMA DE CONEXIONES PARA INVERSOR DE 9000W.



### DISTRIBUCIÓN DE MFV EN TECHOS DE EDIFICIO DE AULAS.



FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

TRABAJO DE GRADUACIÓN  
DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA SUBTERRÁNEA, PLAN DE DESARROLLO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA 2015

PRESENTAN:

Br. ROBERTO ANTONIO MARTÍNEZ CÁRCAMO.  
Br. OSWALDO JAVIER RODRÍGUEZ REYES.

ASESOR:

MSC. ING. JORGE ALBERTO ZETINO.

CONTIENE:

DIAGRAMA UNIFILAR Y DISTRIBUCIÓN DE MFV DEL SFVCR DE LOS EDIFICIOS DE AULAS B,C Y D.

ESCALA :

SIN ESCALA

FECHA:

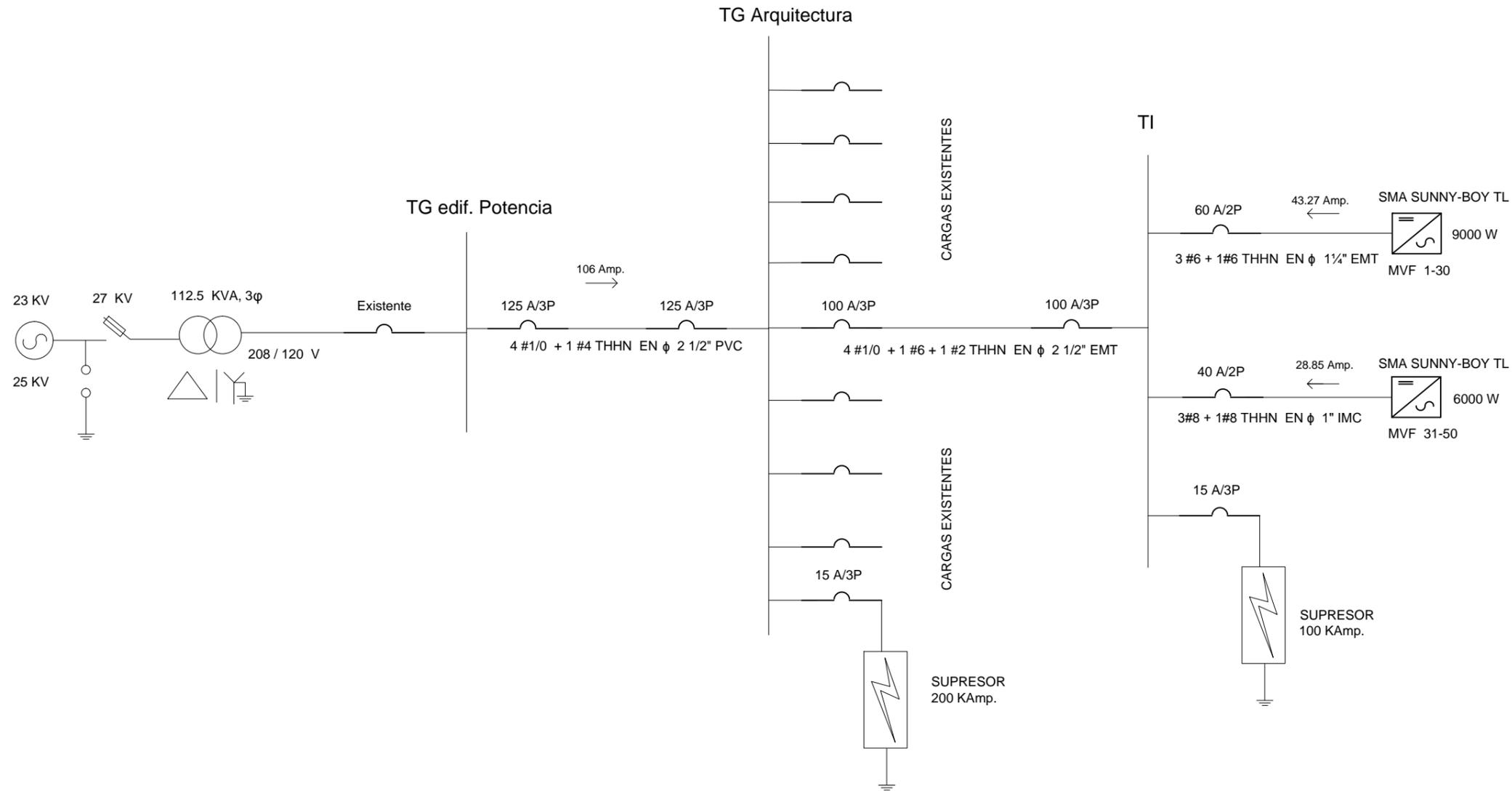
OCTUBRE 2016

NÚMERO DE PLANO:

2

ANEXOS :

DIAGRAMA UNIFILAR PARA EDIFICIO DE ARQUITECTURA.



FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

TRABAJO DE GRADUACIÓN  
DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA SUBTERRÁNEA, PLAN DE DESARROLLO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA 2015

PRESENTAN:  
Br. ROBERTO ANTONIO MARTÍNEZ CÁRCAMO.  
Br. OSWALDO JAVIER RODRÍGUEZ REYES.

ASESOR:  
MSC. ING. JORGE ALBERTO ZETINO.

CONTIENE:  
DIAGRAMA UNIFILAR Y DISTRIBUCIÓN DE MFV DEL SFVCR DEL EDIFICIO DE ARQUITECTURA.

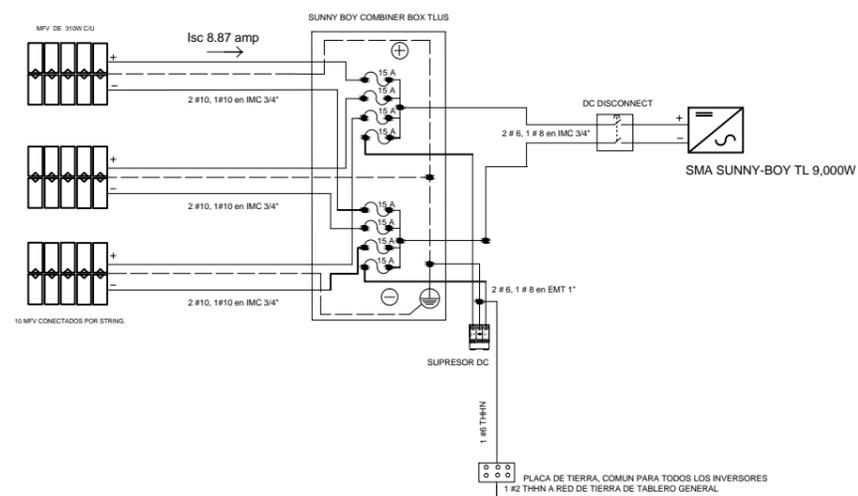
ESCALA :  
SIN ESCALA

FECHA:  
OCTUBRE 2016

NÚMERO DE PLANO: 3

ANEXOS :

DIAGRAMA DE CONEXIONES PARA INVERSOR DE 9000W.



DISTRIBUCIÓN DE PANELES EN TECHO DEL NUEVO EDIFICIO DE ARQUITECTURA.

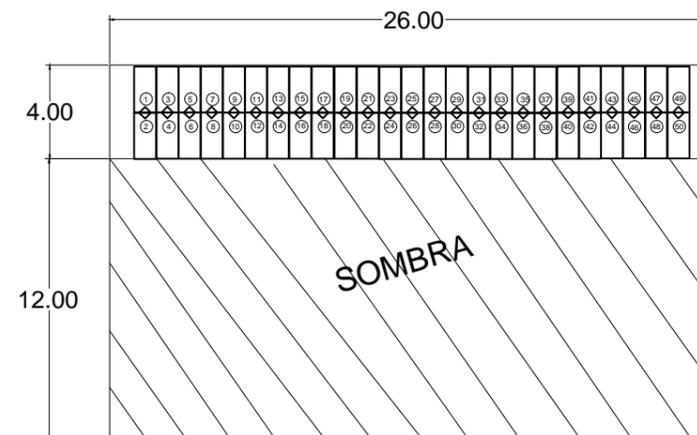
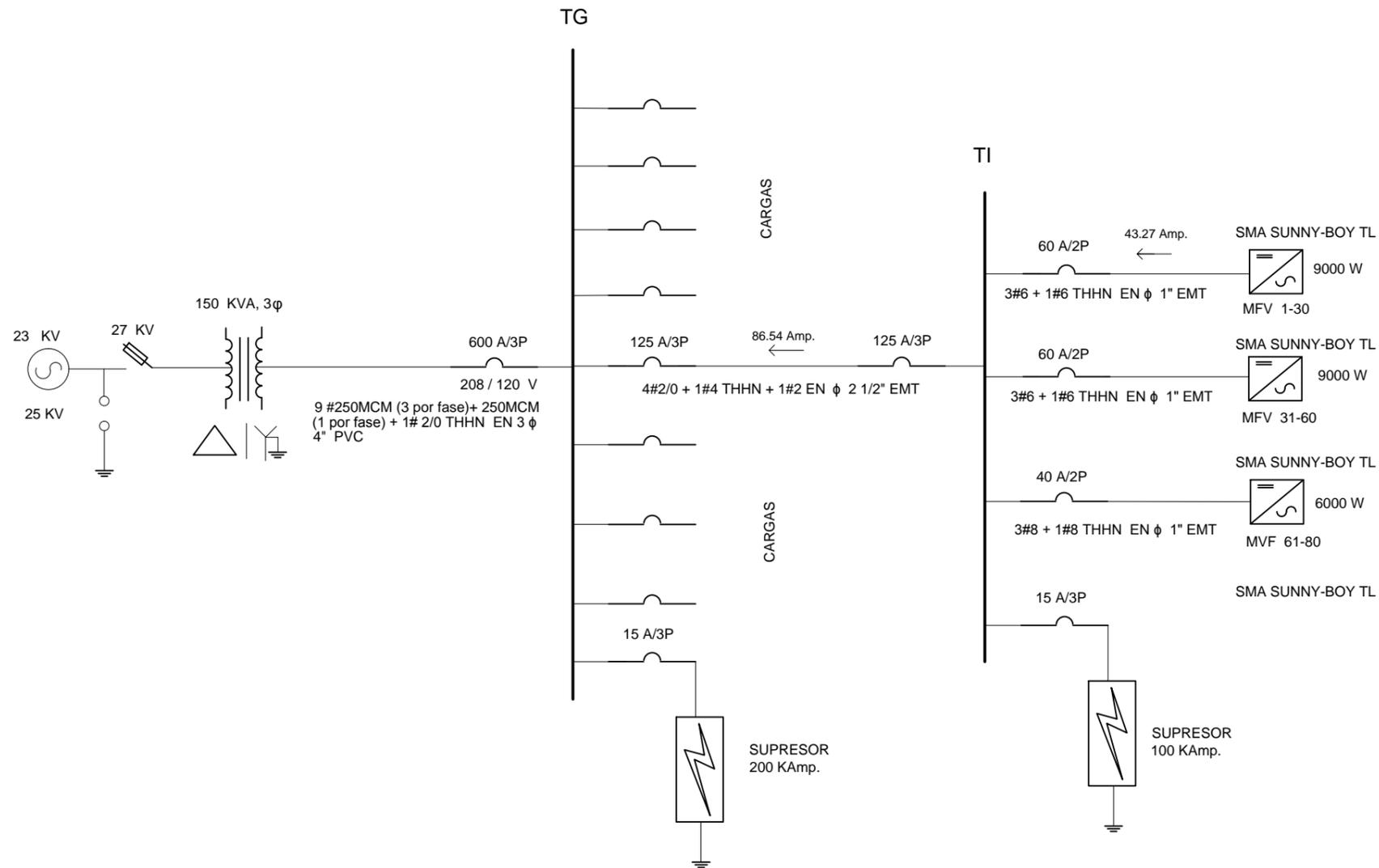


DIAGRAMA UNIFILAR PARA EL EDIFICIO DE ASOCIACIONES ESTUDIANTILES.



FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

TRABAJO DE GRADUACIÓN  
DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA SUBTERRÁNEA, PLAN DE DESARROLLO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA 2015

PRESENTAN:

Br. ROBERTO ANTONIO MARTÍNEZ CÁRCAMO.

Br. OSWALDO JAVIER RODRÍGUEZ REYES.

ASESOR:

MSC. ING. JORGE ALBERTO ZETINO.

CONTIENE:

DIAGRAMA UNIFILAR Y DISTRIBUCIÓN DE MFV DEL SFVCR DEL EDIFICIO DE ASOCIACIONES ESTUDIANTILES.

ESCALA :

SIN ESCALA

FECHA:

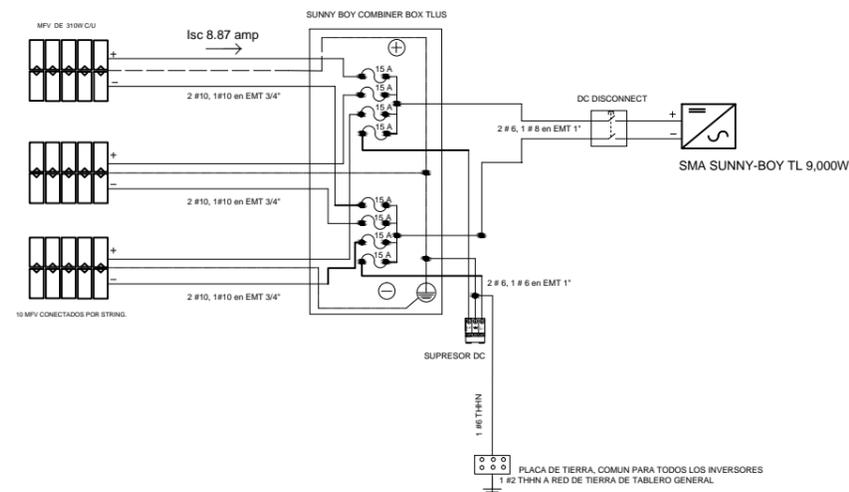
OCTUBRE 2016

NÚMERO DE PLANO:

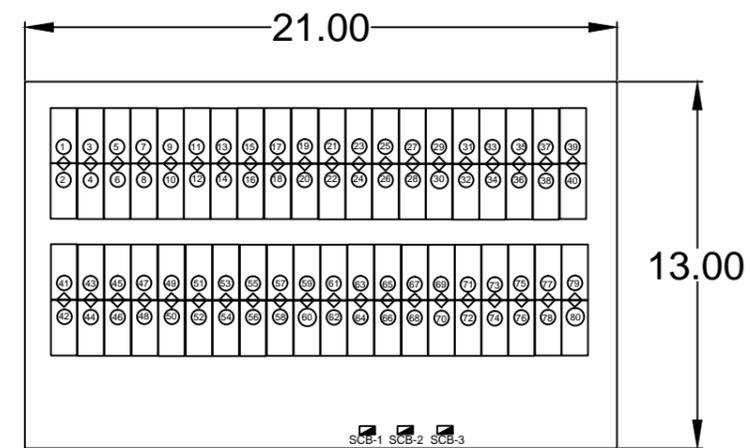
4

ANEXOS :

DIAGRAMA DE CONEXIONES PARA INVERSOR DE 9000W.

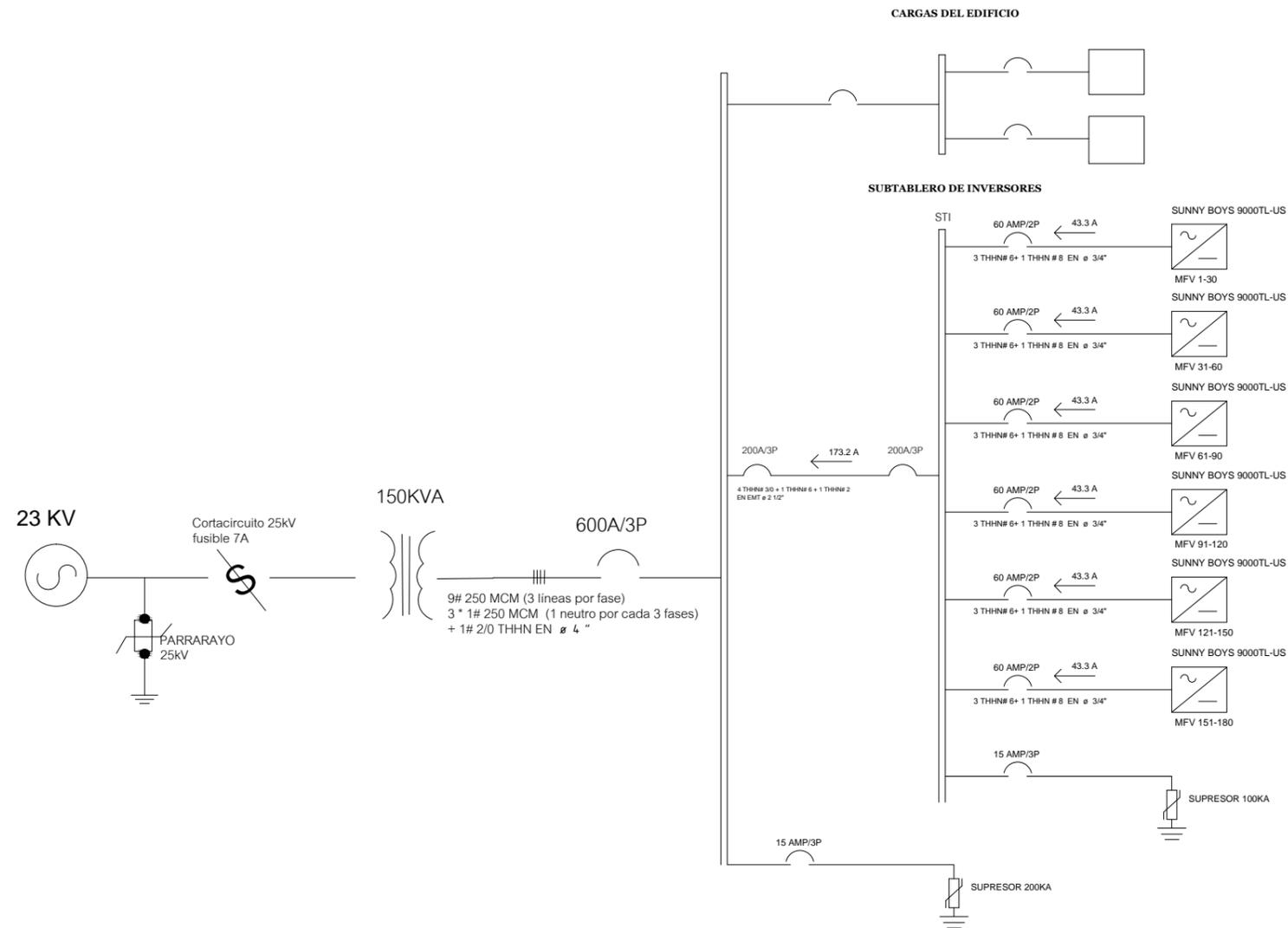


DISTRIBUCIÓN DE MFV EN EL EDIFICIO DE ASOCIACIONES ESTUDIANTILES.





# DIAGRAMA UNIFILAR PARA EDIFICIO DE CIENCIAS BÁSICAS.



FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

TRABAJO DE GRADUACIÓN  
DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA SUBTERRÁNEA, PLAN DE DESARROLLO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA 2015

PRESENTAN:  
Br. ROBERTO ANTONIO MARTÍNEZ CÁRCAMO.  
Br. OSWALDO JAVIER RODRÍGUEZ REYES.

ASESOR:  
MSC. ING. JORGE ALBERTO ZETINO.

CONTIENE:  
DIAGRAMA UNIFILAR Y DISTRIBUCIÓN DE MFV DEL SFVCR DEL EDIFICIO DE CIENCIAS BÁSICAS.

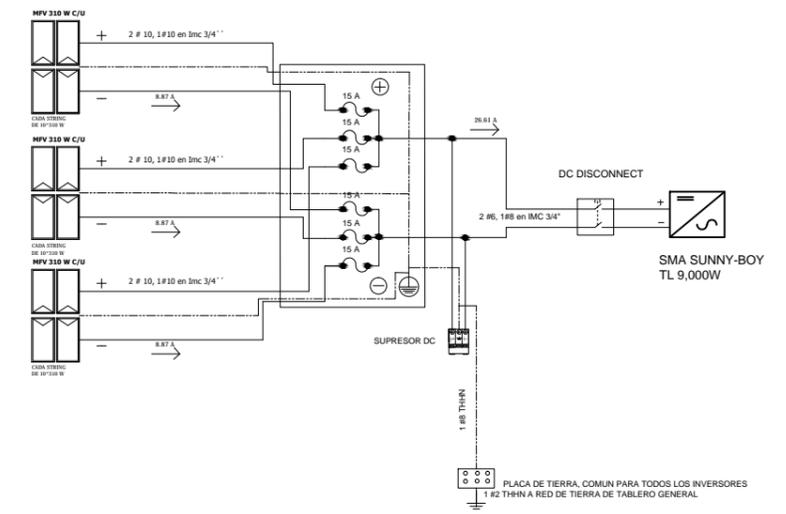
ESCALA :  
SIN ESCALA

FECHA:  
OCTUBRE 2016

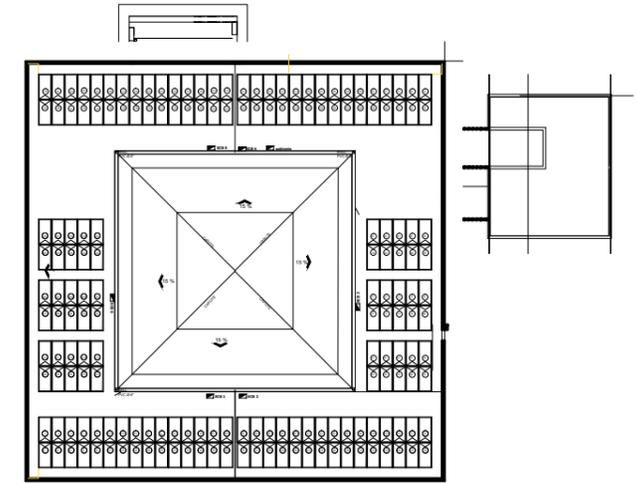
NÚMERO DE PLANO: 6

ANEXOS :

## DIAGRAMA DE CONEXIONES PARA INVERSOR DE 9000W.



## DISTRIBUCIÓN DE PANELES EN TECHO DEL EDIFICIO DE CIENCIAS BÁSICAS.





FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

TRABAJO DE GRADUACIÓN  
DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA SUBTERRÁNEA, PLAN DE DESARROLLO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA 2015.

PRESENTAN:  
Br. ROBERTO ANTONIO MARTÍNEZ CÁRCAMO.  
Br. OSWALDO JAVIER RODRÍGUEZ REYES.

ASESOR:  
MSC. ING. JORGE ALBERTO ZETINO.

CONTIENE:  
DIAGRAMA UNIFILAR Y DISTRIBUCIÓN DE MFV DEL SFVCR DEL EDIFICIO DE POSGRADO.

ESCALA :  
SIN ESCALA

FECHA:  
OCTUBRE 2016

NÚMERO DE PLANO: 7

ANEXOS :

DIAGRAMA EN DC

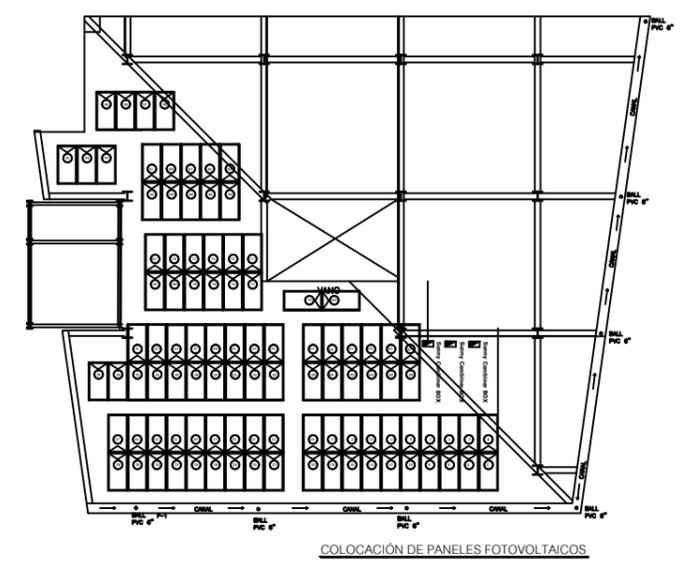
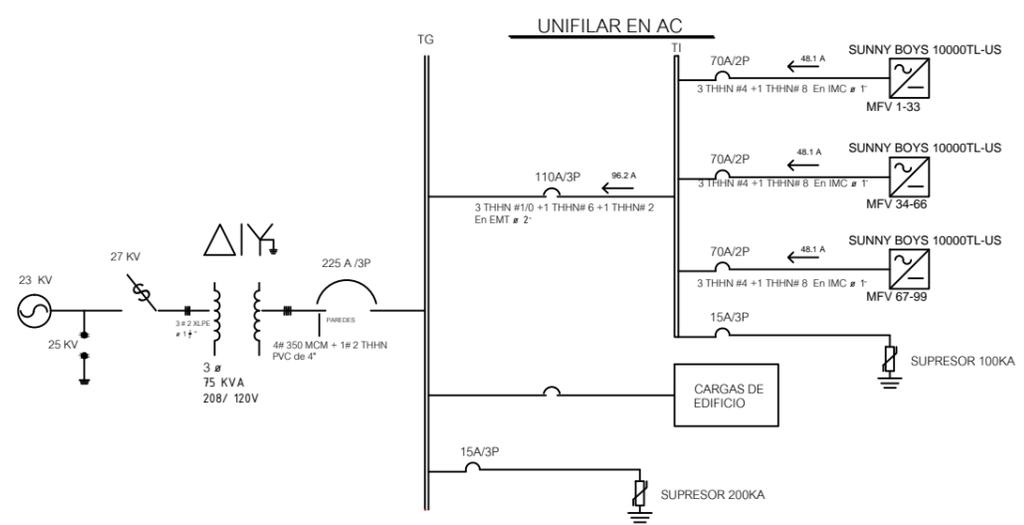
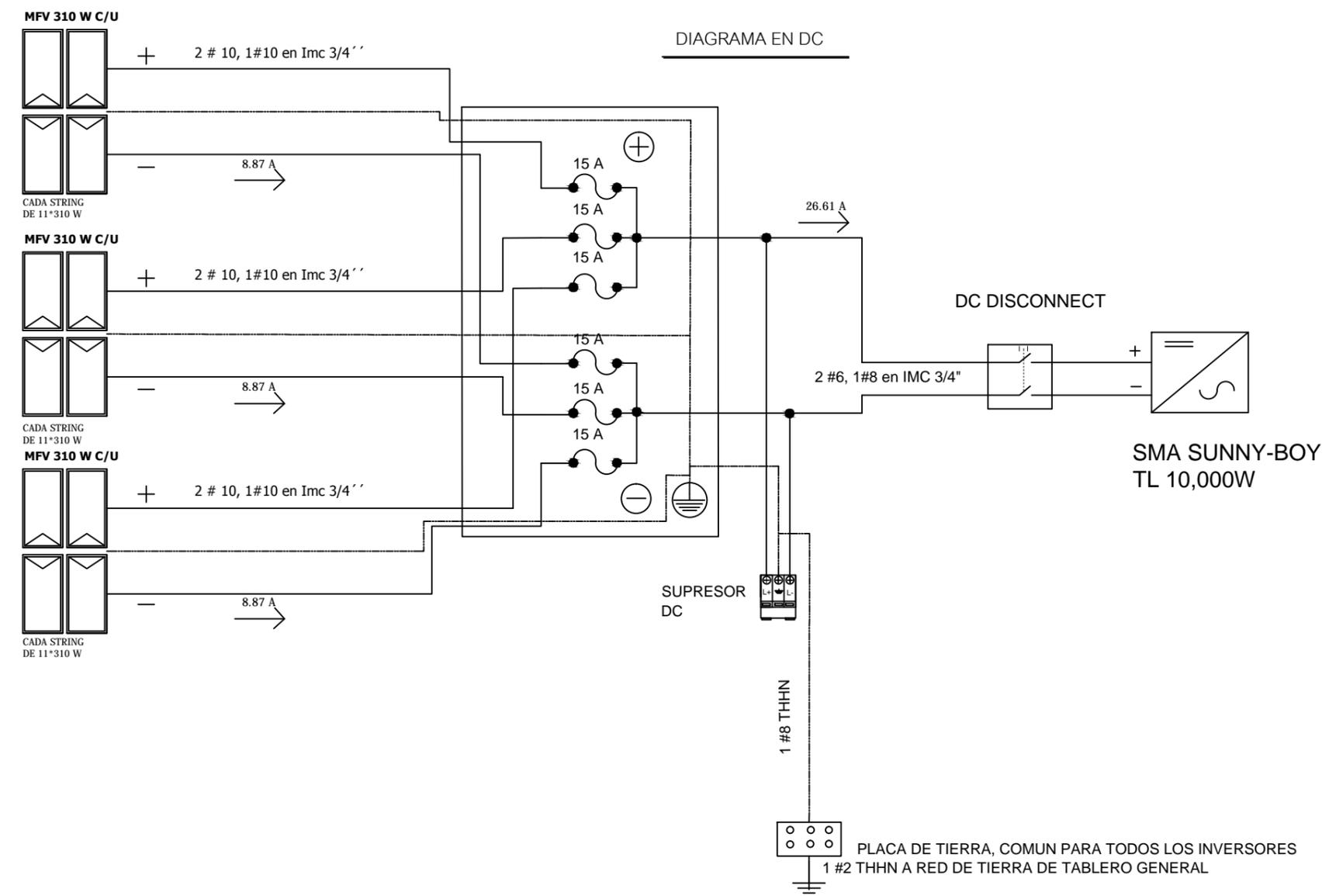
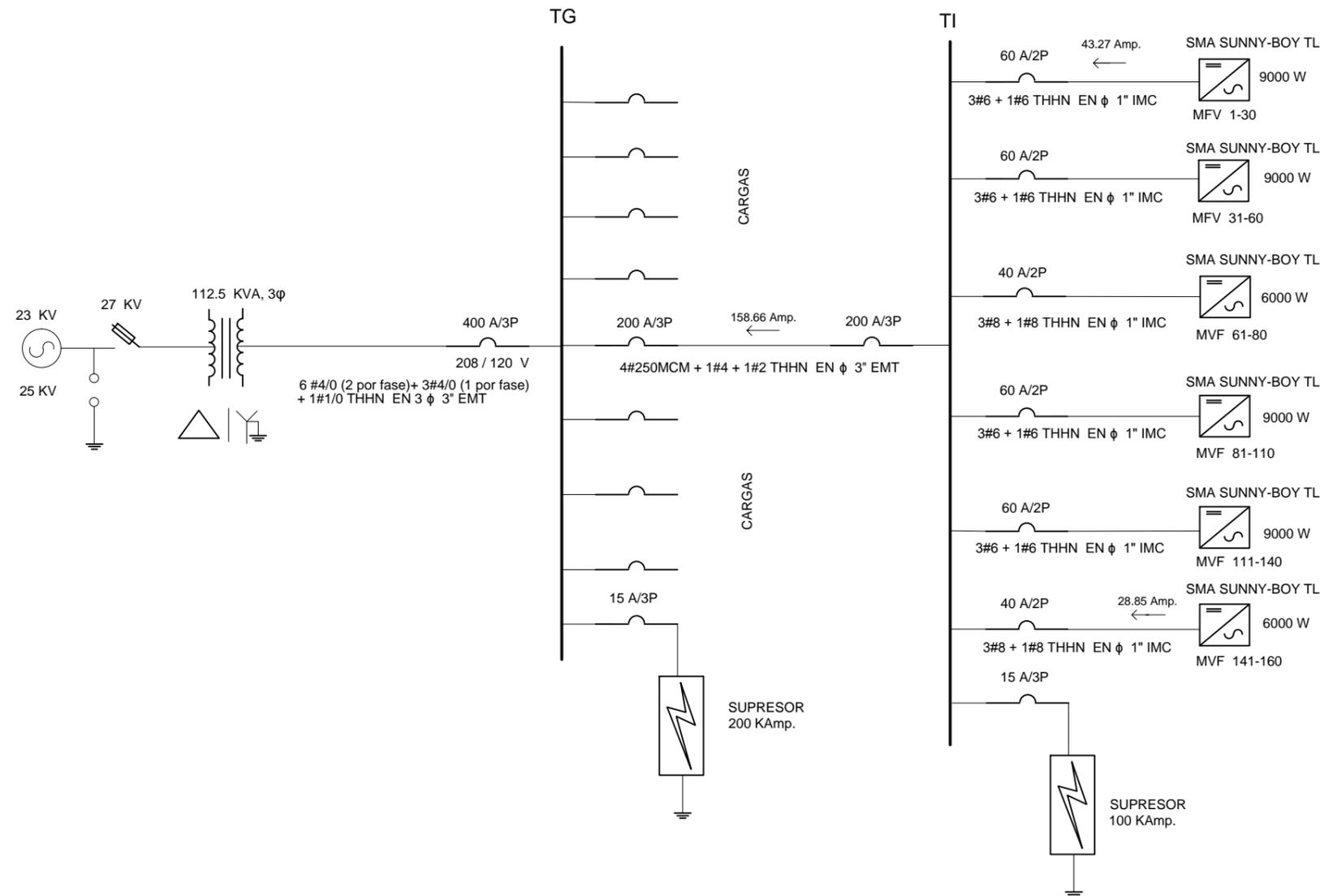


DIAGRAMA UNIFILAR PARA EL NUEVO EDIFICIO DE INGENIERÍA MECÁNICA.



FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

TRABAJO DE GRADUACIÓN  
DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA SUBTERRÁNEA, PLAN DE DESARROLLO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA 2015

PRESENTAN:

Br. ROBERTO ANTONIO MARTÍNEZ CÁRCAMO.

Br. OSWALDO JAVIER RODRÍGUEZ REYES.

ASESOR:

MSC. ING. JORGE ALBERTO ZETINO.

CONTIENE:

DIAGRAMA UNIFILAR Y DISTRIBUCIÓN DE MFV DEL SFVCR DEL EDIFICIO DE INGENIERÍA MECÁNICA.

ESCALA :

SIN ESCALA

FECHA:

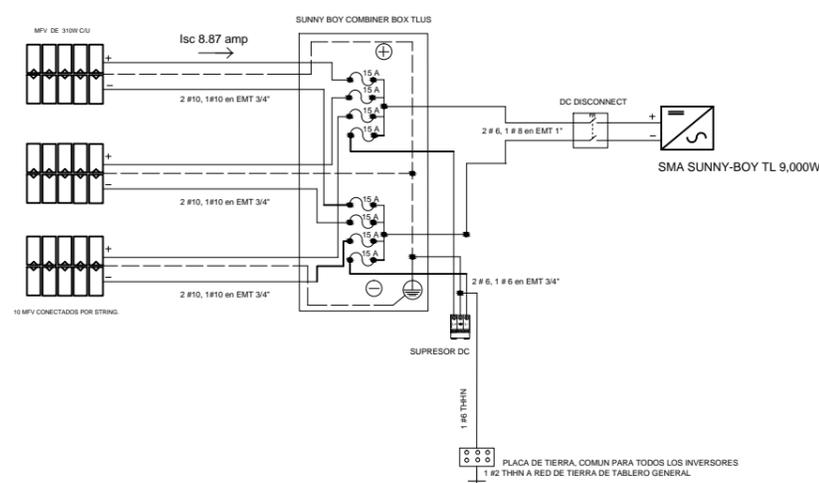
OCTUBRE 2016

NÚMERO DE PLANO:

8

ANEXOS :

DIAGRAMA DE CONEXIONES PARA INVERSOR DE 9000W.



DISTRIBUCIÓN DE MFV EN EL NUEVO EDIFICIO DE INGENIERÍA MECÁNICA.

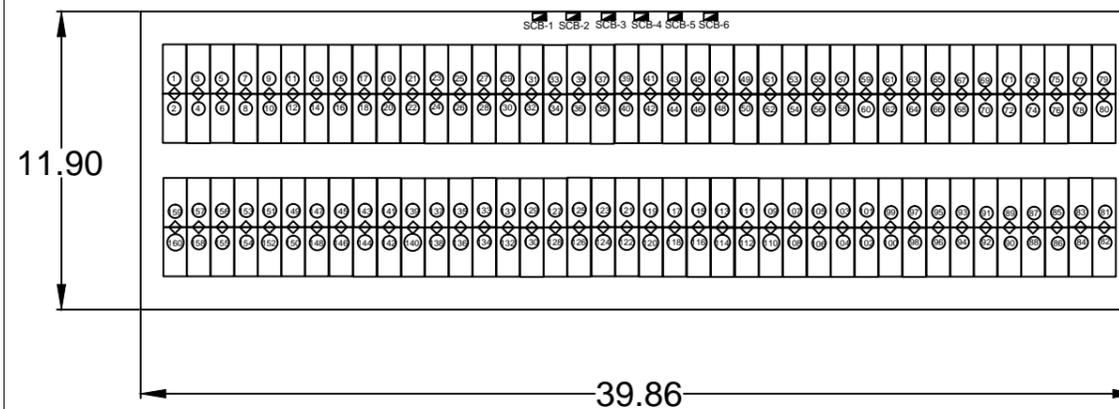
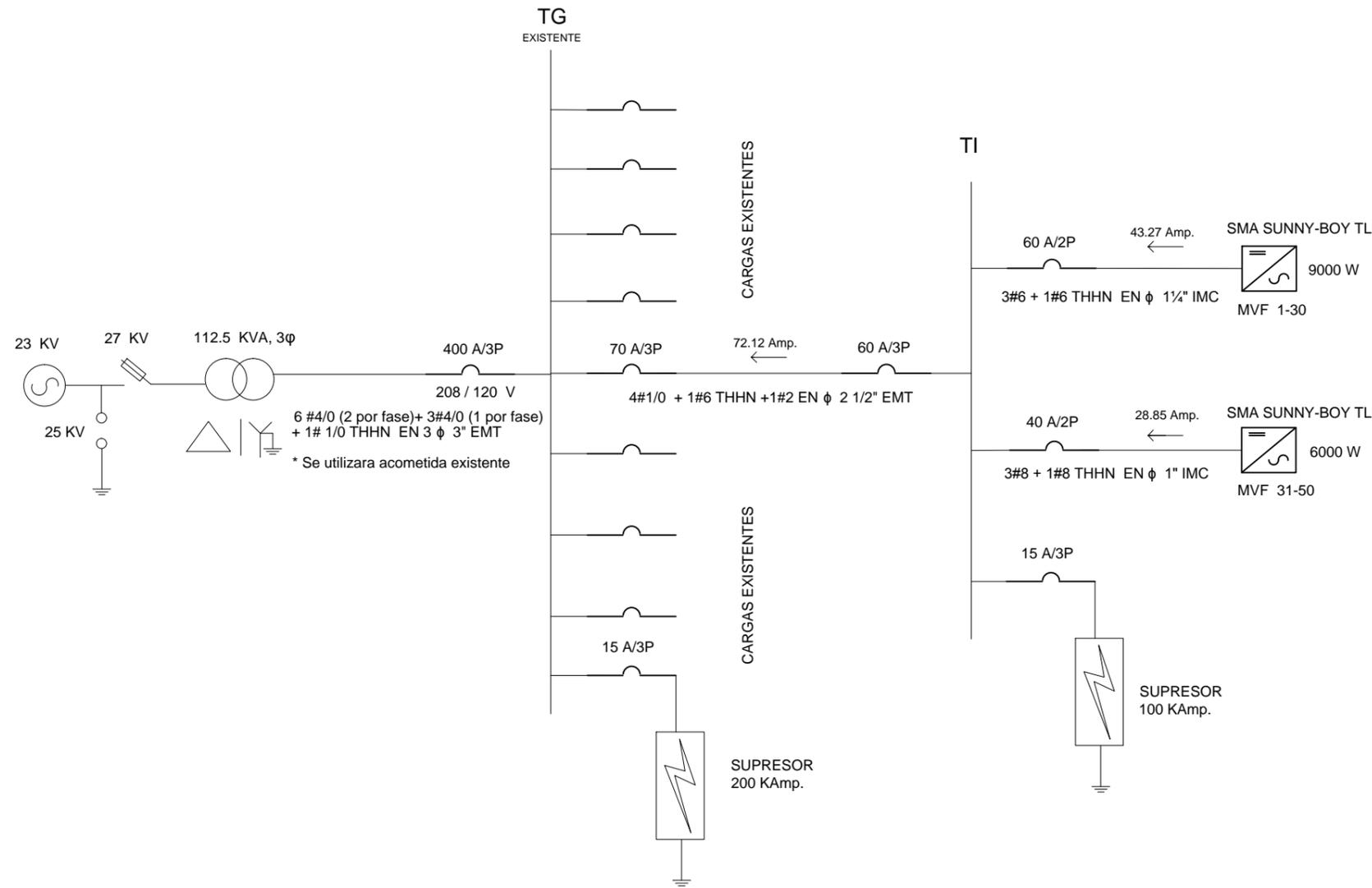


DIAGRAMA UNIFILAR PARA ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA .



FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

TRABAJO DE GRADUACIÓN  
DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA SUBTERRÁNEA, PLAN DE DESARROLLO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA 2015

PRESENTAN:

Br. ROBERTO ANTONIO MARTÍNEZ CÁRCAMO.  
Br. OSWALDO JAVIER RODRÍGUEZ REYES.

ASESOR:

MSC. ING. JORGE ALBERTO ZETINO.

CONTIENE:

DIAGRAMA UNIFILAR Y DISTRIBUCIÓN DE MFV DEL SFVCR DEL EDIFICIO DE ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA.

ESCALA :

SIN ESCALA

FECHA:

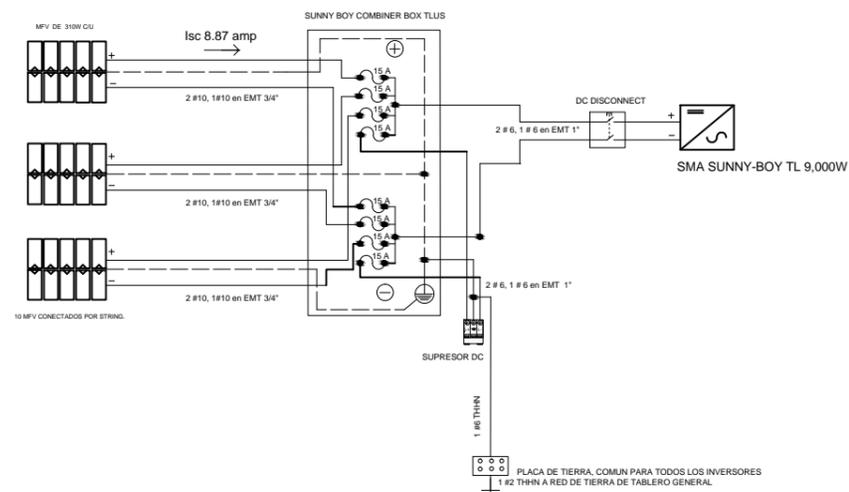
OCTUBRE 2016

NÚMERO DE PLANO:

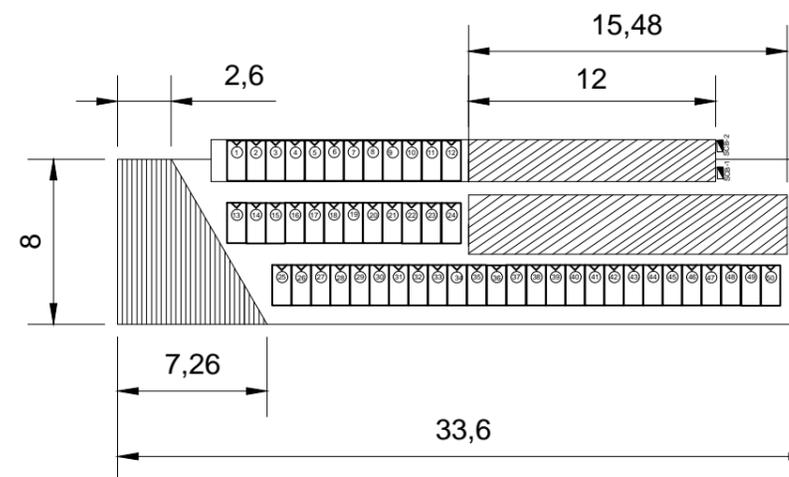
9

ANEXOS :

DIAGRAMA DE CONEXIONES PARA INVERSOR DE 9000W.



DISTRIBUCIÓN DE MFV EN TECHO DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA.





PRESENTA:

Br. ROBERTO ANTONIO  
MARTÍNEZ CÁRCAMO.

Br. OSWALDO JAVIER  
RODRÍGUEZ REYES.

ASESOR:

MSC. ING. JORGE ALBERTO  
ZETINO.

CONTIENE:

POZO DE PASO 3F  
PARA MEDIA TENSIÓN

ESCALA:

SIN ESCALA

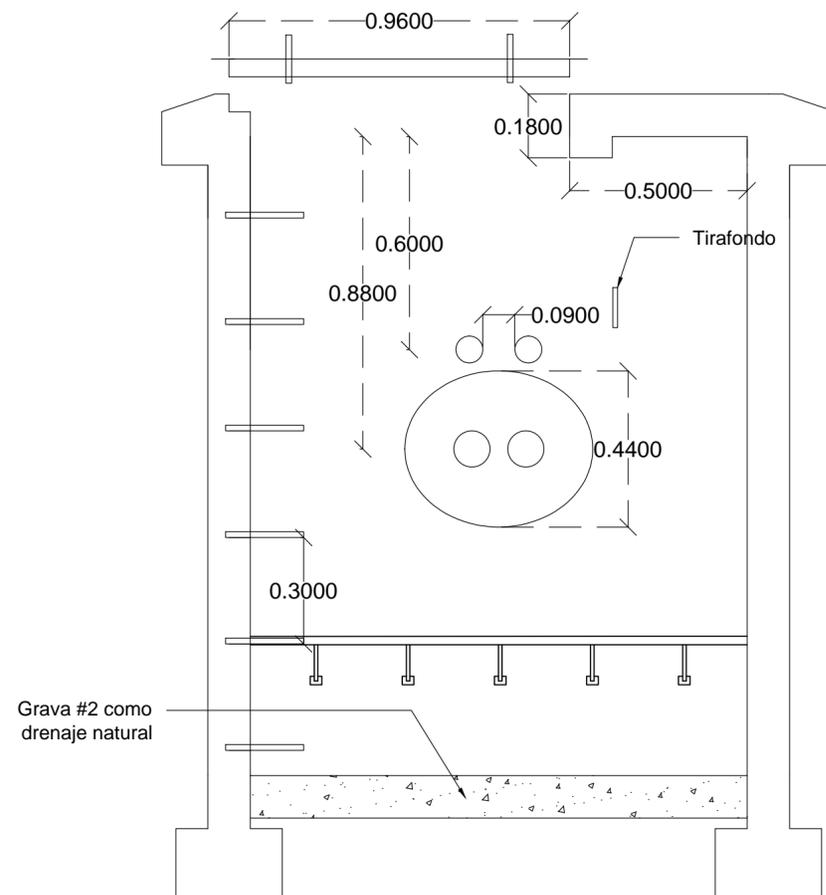
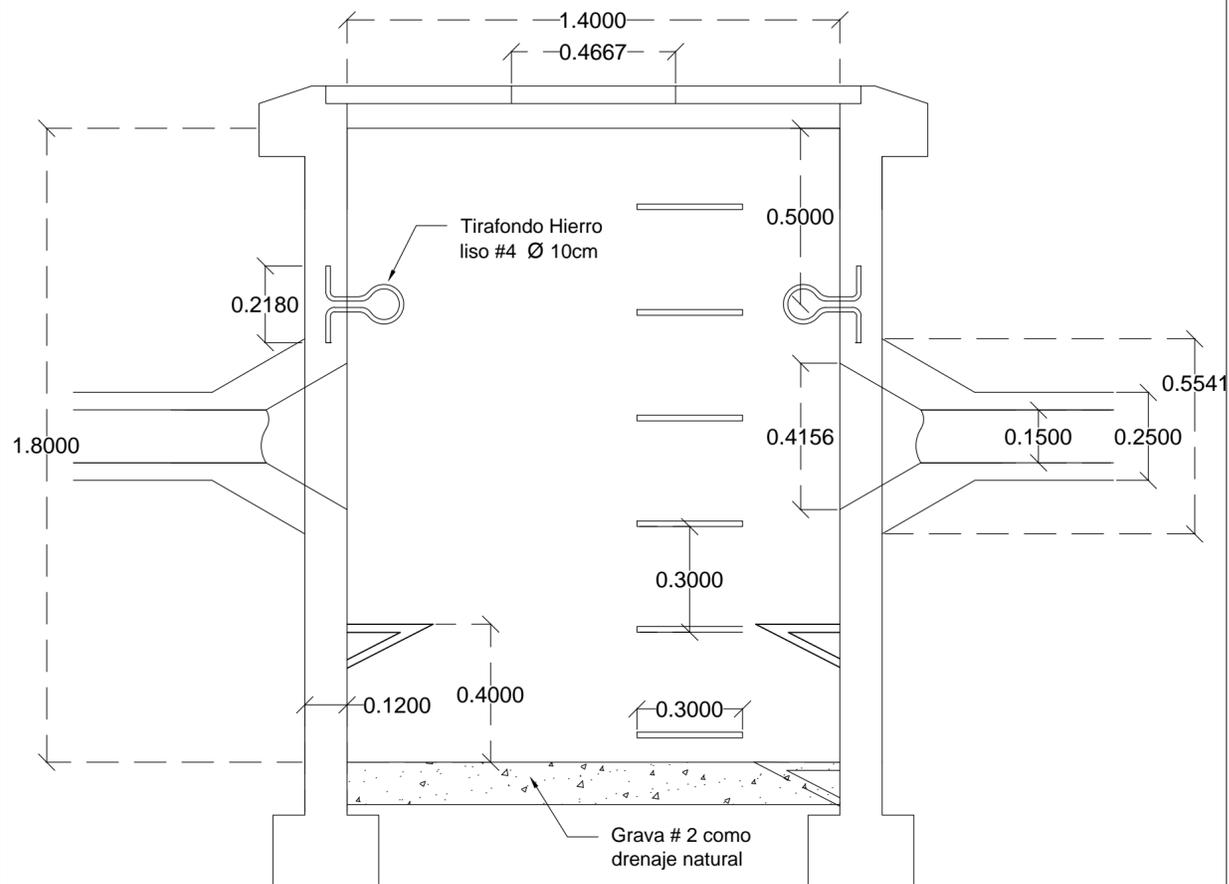
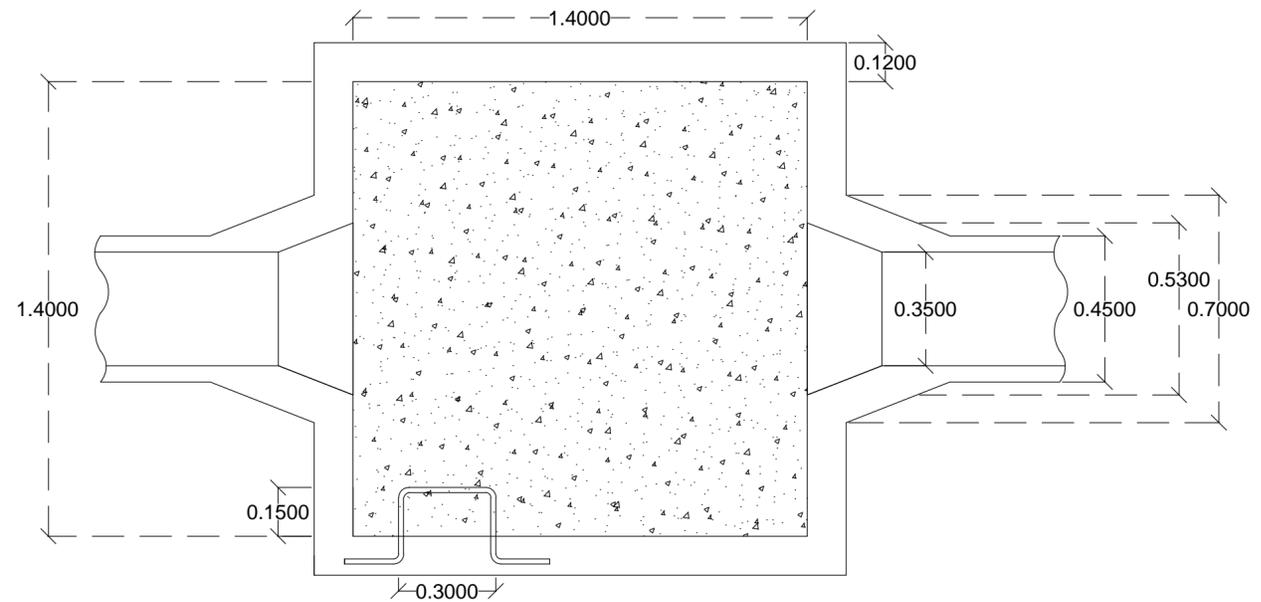
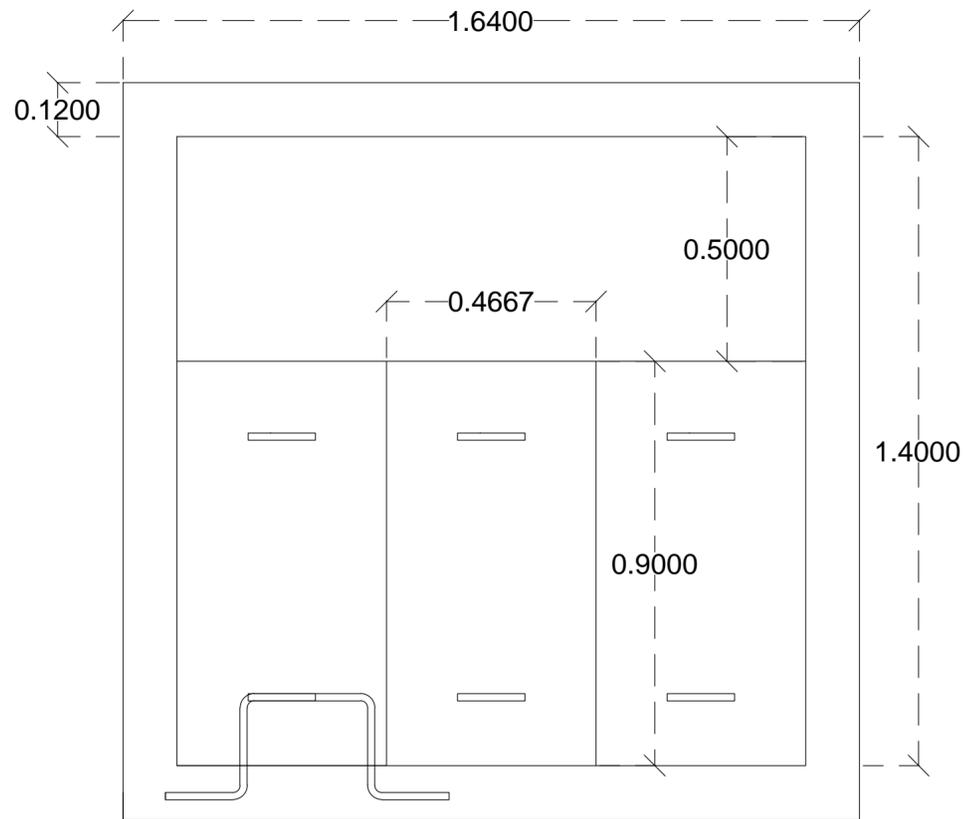
FECHA:

OCTUBRE 2016

PLANO:

10

ANEXO:





PRESENTA:

Br. ROBERTO ANTONIO  
MARTÍNEZ CÁRCAMO.

Br. OSWALDO JAVIER  
RODRÍGUEZ REYES.

ASESOR:

MSC. ING. JORGE  
ALBERTO ZETINO.

CONTIENE:

POZO DE DERIVACIÓN 4  
POSICIONES 3F  
PARA MEDIA TENSIÓN

ESCALA:

SIN ESCALA

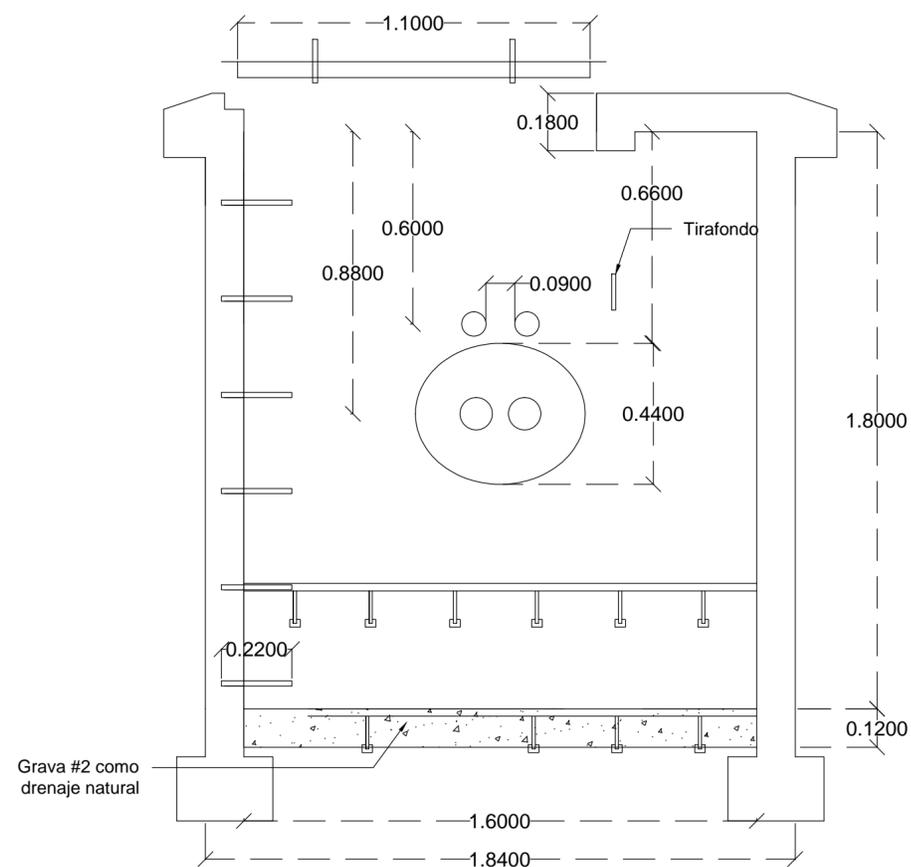
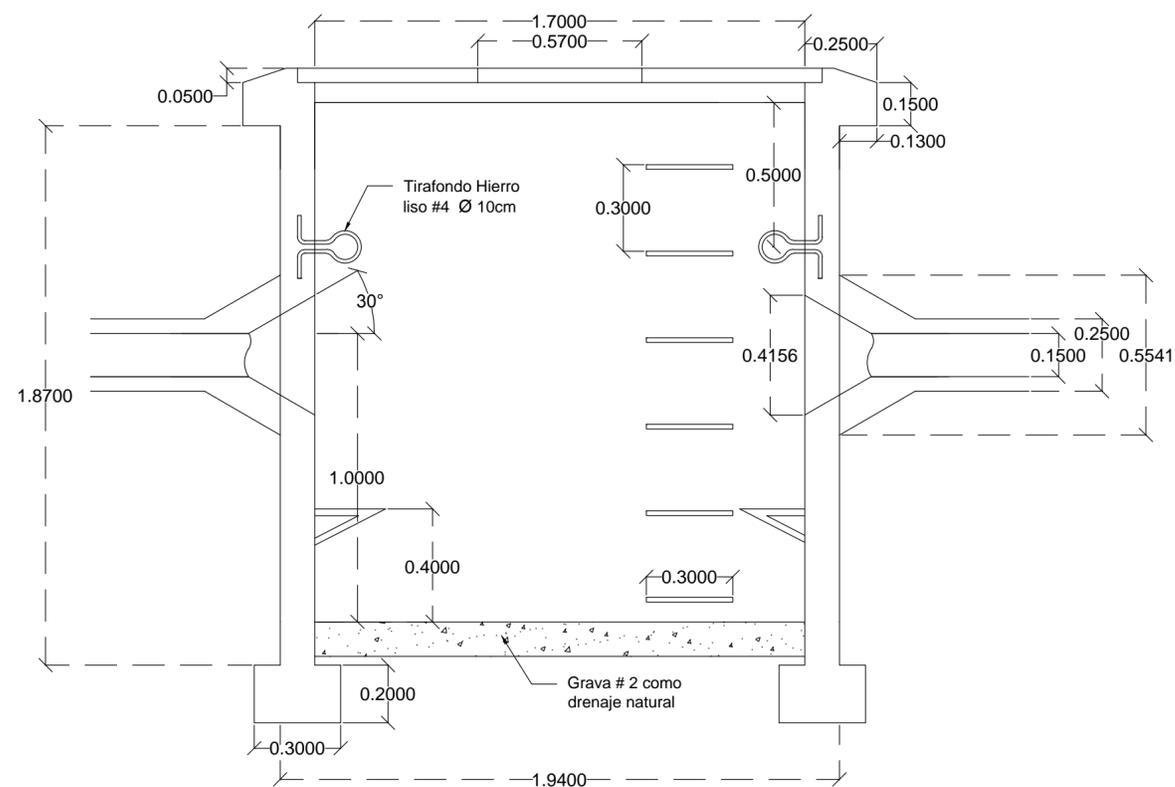
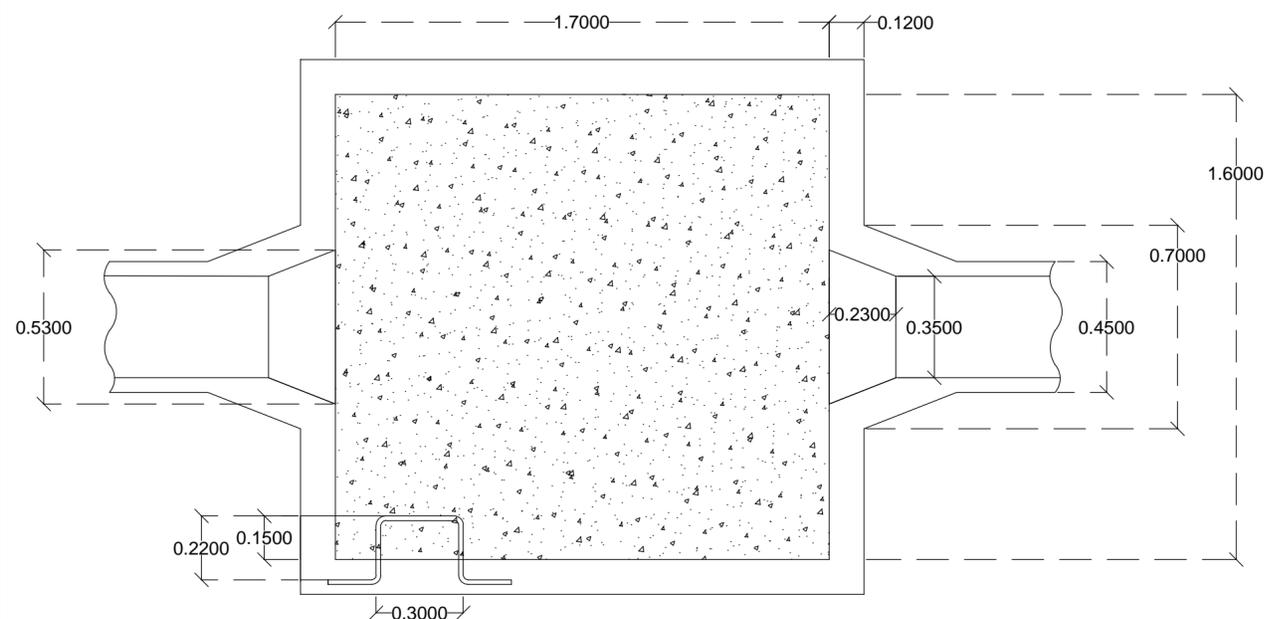
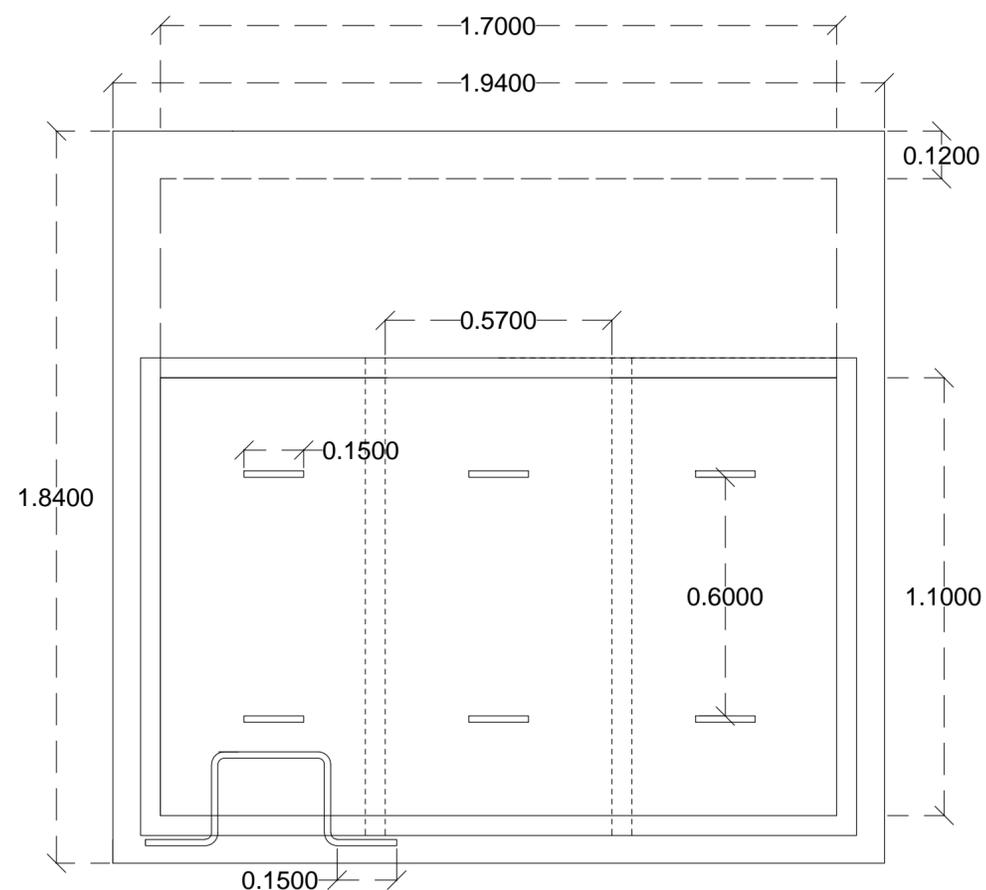
FECHA:

OCTUBRE 2016

PLANO:

11

ANEXO:





PRESENTA:

Br. ROBERTO ANTONIO MARTÍNEZ CÁRCAMO.

Br. OSWALDO JAVIER RODRÍGUEZ REYES.

ASESOR:

MSC. ING. JORGE ALBERTO ZETINO.

CONTIENE:

RED DE TIERRA PARA PADMOUTED 225KVA

ESCALA:

SIN ESCALA

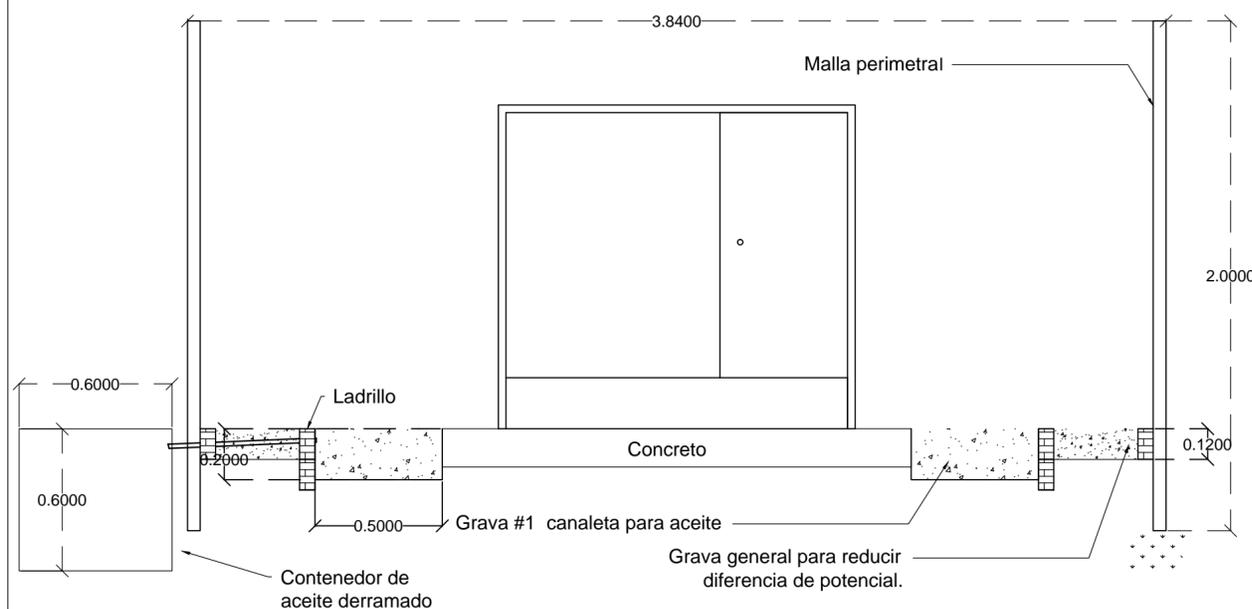
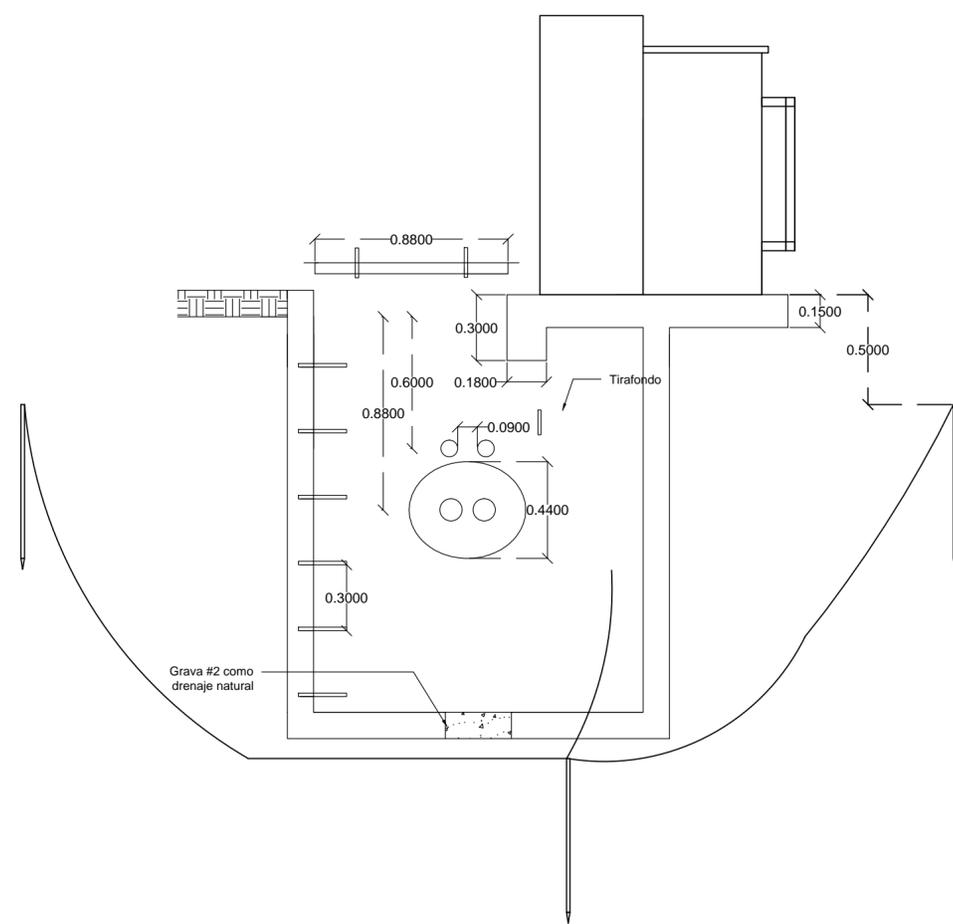
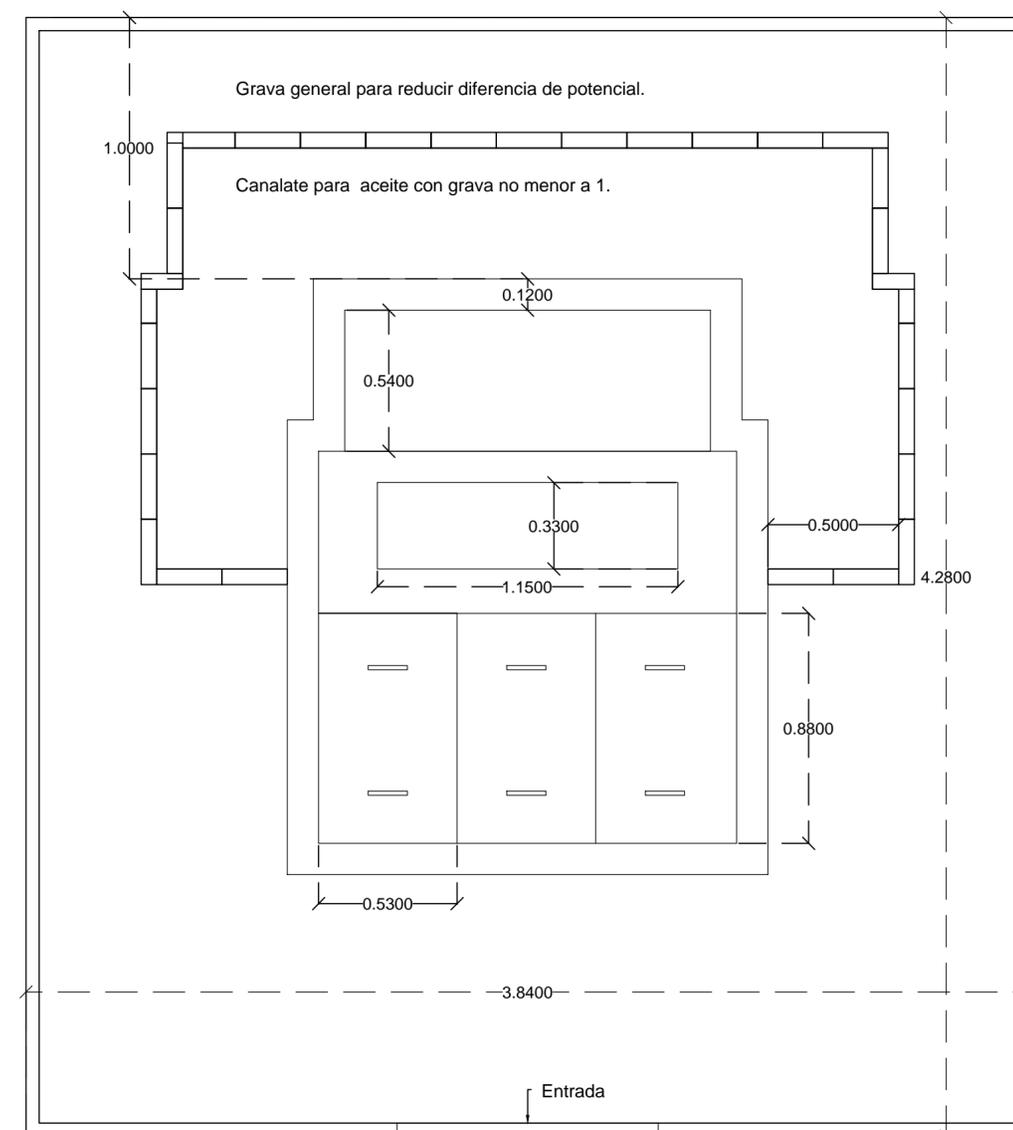
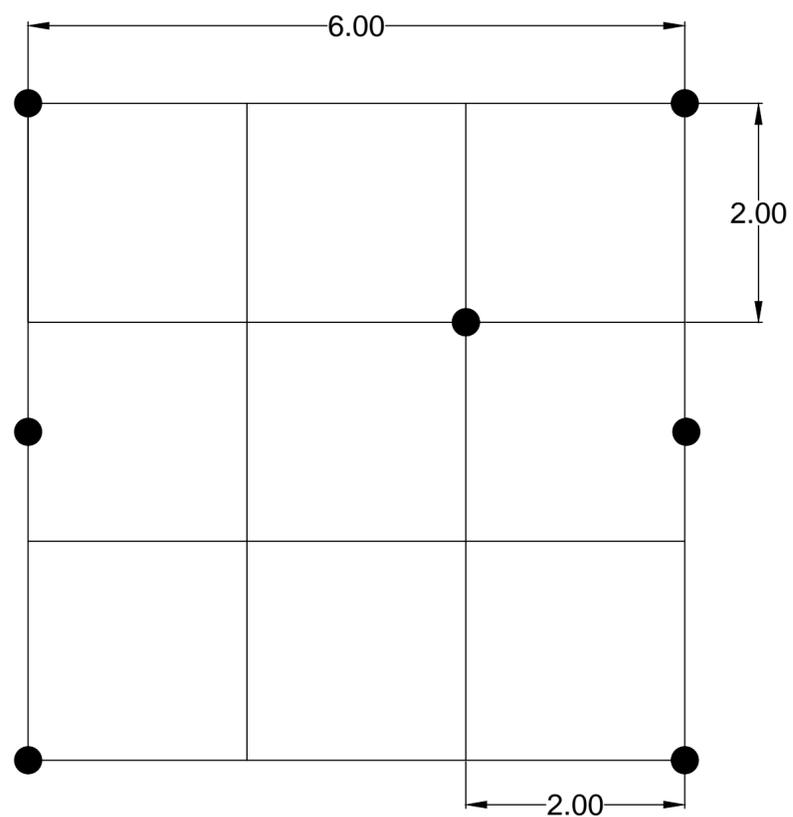
FECHA:

OCTUBRE 2016

PLANO:

12

ANEXO:





PRESENTA:

Br. ROBERTO ANTONIO  
MARTÍNEZ CÁRCAMO.

Br. OSWALDO JAVIER  
RODRÍGUEZ REYES.

ASESOR:

MSC. ING. JORGE ALBERTO  
ZETINO.

CONTIENE:

SWITCHGEAR

ESCALA:

SIN ESCALA

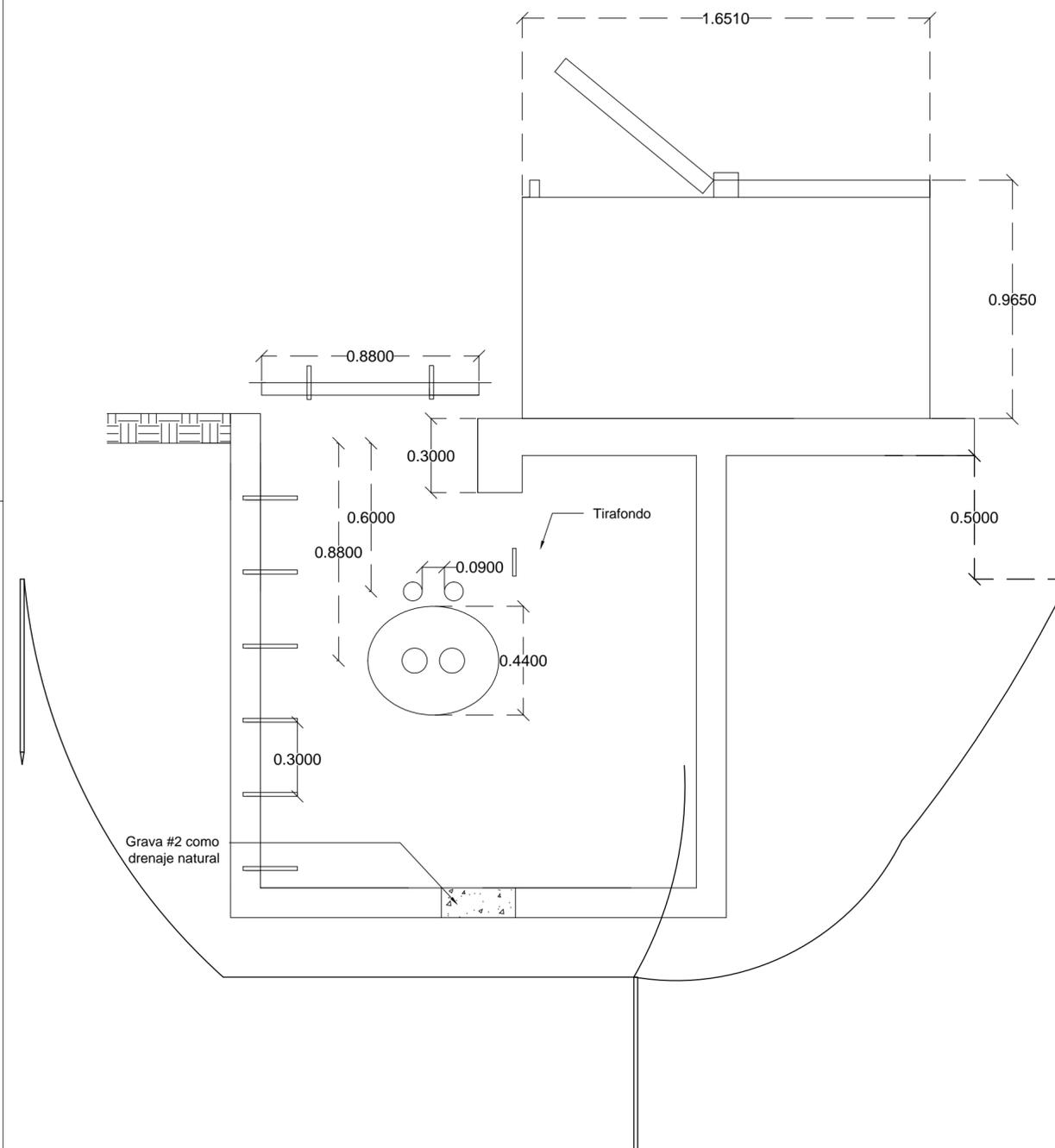
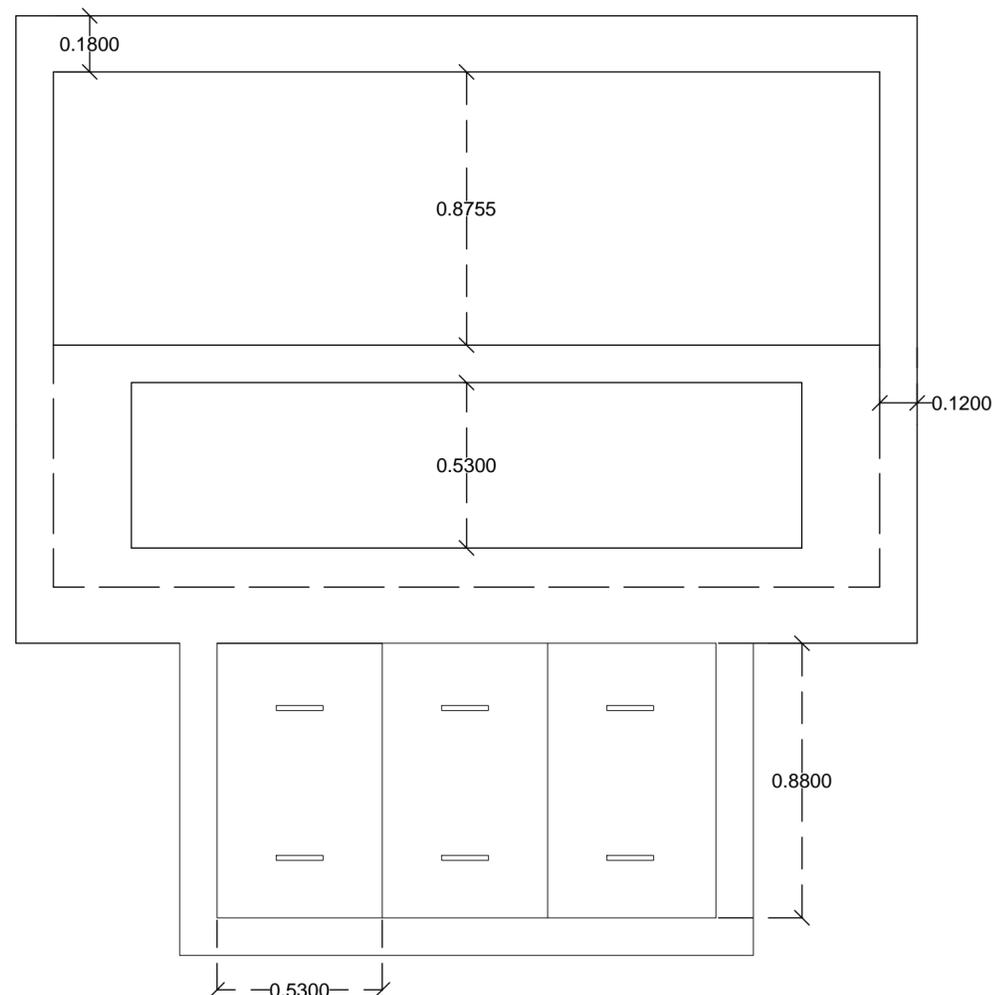
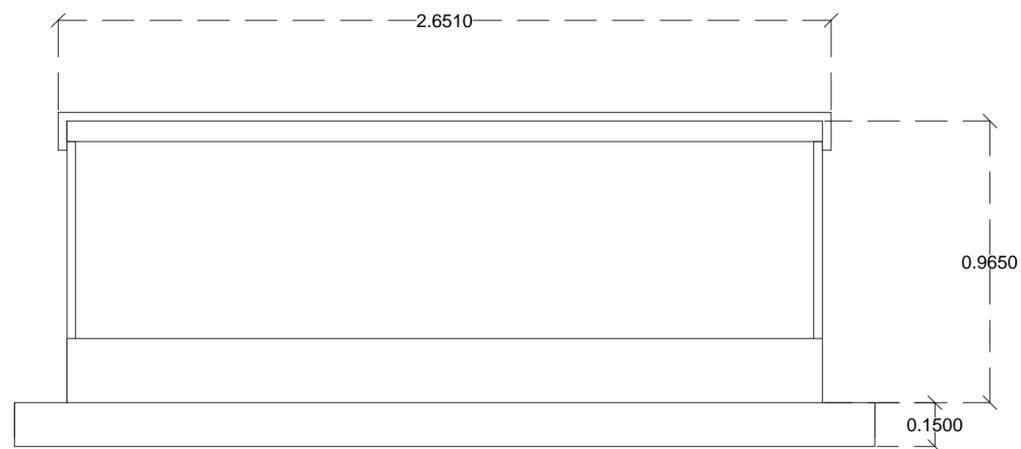
FECHA:

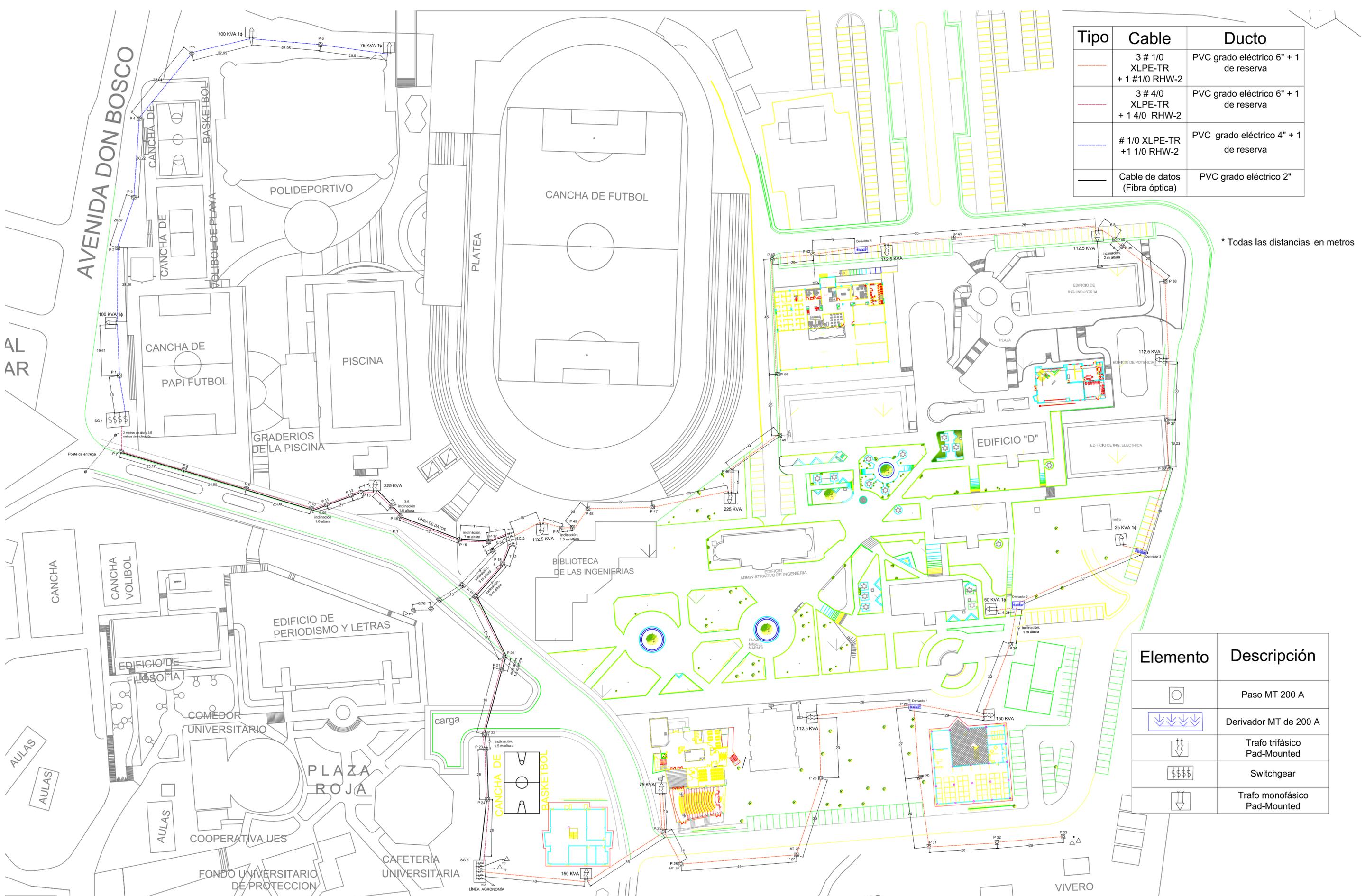
OCTUBRE 2016

PLANO:

13

ANEXO:





Tipo	Cable	Ducto
	3 # 1/0 XLPE-TR + 1 #1/0 RHW-2	PVC grado eléctrico 6" + 1 de reserva
	3 # 4/0 XLPE-TR + 1 4/0 RHW-2	PVC grado eléctrico 6" + 1 de reserva
	# 1/0 XLPE-TR + 1 1/0 RHW-2	PVC grado eléctrico 4" + 1 de reserva
	Cable de datos (Fibra óptica)	PVC grado eléctrico 2"

\* Todas las distancias en metros

Elemento	Descripción
	Paso MT 200 A
	Derivador MT de 200 A
	Trafo trifásico Pad-Mounted
	Switchgear
	Trafo monofásico Pad-Mounted